

Programm
Wärmespeicherung

EPF - Anlage

Produktionsbau Meister + Co AG, Wollerau SZ
Messkampagne für Erdspeicheranlagen

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

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

BAUHERRSCHAFT:	Meister + Co. AG Hauptstrasse 66 8832 Wollerau SZ
OBJEKT:	Produktionsneubau Meister + Co. AG Hauptstrasse 66 8832 Wollerau SZ
LAGE:	Parzelle Nr. 1691, In den Felsen 8832 Wollerau Südliches Zürichseeufer (ca. 130 m oberhalb See)
MESSTECHNIK:	NEK Umwelttechnik AG Clausiusstrasse 41 8033 Zürich
ANHANG:	A1 Übersicht Standort EWS - Anlage (M1:25000) A2 Lage der EWS und der Verbindungsleitungen A3 Messstellenschema A4 Betriebsstunden der WP / KM A5 Strom- und Gasverbrauch A6 Wärmeenergie aus dem Erdreich A7 Kälteenergie aus dem Erdreich A8 Energiemengen Wärme- und Kältespeicher A9 Bilanzierung Wärme- und Kälteenergien A10 Arbeitszahl der Wärmepumpen-Anlage A11 Durchschnittstemperaturen im Untergrund A12 Sole- und Erdreichtemperaturen A13 Heizleistungen der Erdwärmesonden im Jan. 97 A14 Heizleistungen der Erdwärmesonden im Feb. 98 A15 Kühlleistungen der Erdwärmesonden im Aug. 97 A16 Kühlleistungen der Erdwärmesonden im Jun. 98 A17 Druckmessung Erdwärmesondenfuss A18 Fotodokumentation A19 Fotodokumentation

VERTEILER:	Bundesamt für Energie	2 Expl.
	Meister + Co. AG	1 Expl.
	NEK Umwelttechnik AG	1 Expl.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	6
RESUME	7
ABSTRACT	8
1. AUSGANGSLAGE	9
1.1 Allgemeines	9
1.2 Auftrag und Zielsetzung der Messkampagne	10
2. SYSTEMBESCHRIEB DER ANLAGE	11
2.1 Haustechnik, Technische Daten	11
2.2 Messanordnung	13
3. GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE	14
3.1 Geologischer Schichtaufbau	14
3.2 Grundwasserverhältnisse	14
4. HAUPTERGEBNISSE ZWISCHENBERICHT	15
4.1 Zusammenfassung der Messresultate	15
4.2 Nähere Betrachtungen im Schlussbericht	16

5.	HAUPTERGEBNISSE GESAMTE MESSPERIODE	17
5.1	Betrieb der Wärmepumpe / Kältemaschine	17
5.2	Primärenergieverbrauch Strom und Gas	17
5.3	Energiebilanz des Erdwärmesondenfeldes	18
5.4	Energiemengen Wärme- und Kältespeicher (Output)	18
5.5	Bilanzierung Wärme- und Kälteenergie	19
5.6	Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage	19
5.7	Durchschnittstemperaturen im Untergrund	20
5.8	Sole- und Erdreichtemperaturen	22
5.9	Erdwärmesondenleistungen	23
5.10	Soll- Ist Vergleich	24
5.11	Druckmessung am Erdwärmesondenfuss	25
6.	AUSBLICK	26

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 Felsspeichers mit den 32 Doppel-U-Sonden zu je 135 m Tiefe sind Daten sowohl über das Kurz- als auch über das Langzeitverhalten des Untergrundes verfügbar. Ziel der Arbeit war, Angaben über die effektiv nutzbare Energiemenge, die Funktionsart der Wärmepumpe, die Temperaturverhältnisse sowie das Verhalten des Untergrundes und der Regenerierbarkeit machen zu können.

Die Messkampagne dauerte vom November 1996 bis Juni 1998.

B HAUPTERGEBNISSE

Die Messungen zeigen, dass es mit den vorgenommenen Optimierungen der Regulierung möglich ist, sowohl die Wärme im Winter monovalent mit der Wärmepumpe zu erzeugen als auch die Kälte (Raumkälte im Sommer und Prozesskälte Sommer und Winter) monovalent über den Felsspeicher im Free-cooling-Betrieb zu nutzen. Der Gaskessel wird, wie geplant, praktisch nur während Revisions- und Reparaturarbeiten benötigt. Der Wärmeentzug (WP-Betrieb) aus dem Erdreich ist mindestens vier mal grösser als der Wärmeeintrag (Free-cooling-Betrieb), was sich jedoch temperaturmässig nur sehr langsam ($\leq 1\text{K}$ pro Jahr) bemerkbar macht. Während der gesamten Messperiode lagen bezüglich Felsspeicher die Soleeintrittstemperaturen nie unter $T \leq 1.5^\circ\text{C}$, während im Sommerhalbjahr die Soleaustrittstemperaturen einen Maximalwert von $T \geq 16^\circ\text{C}$ nie überstiegen. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) beträgt ca. 3.9.

C PROBLEME UND EMPFEHLUNGEN

Die für die Kühlung im Sommer notwendige Kühlwassertemperatur ist relativ hoch, so dass die Regeltechnikfirma nur durch Feinabstimmungen den monovalenten Free-cooling-Betrieb gewährleisten konnte. Dadurch mussten die Umwälzpumpen rund um die Uhr laufen und weisen daher einen verhältnismässig hohen Stromverbrauch auf. Die Jahresarbeitszahl könnte ohne die durchlaufenden Umwälzpumpen höher liegen. Die Erdreichtemperaturen haben sich bislang nicht stabilisiert, sie nehmen nach wie vor leicht ab. Diese Entwicklung stellt kein Problem dar. Es wäre jedoch wichtig, diese Messungen fortzusetzen, um den Temperaturverlauf im Untergrund weiterhin überwachen zu können.

RESUME

A OBJECTIF DU RAPPORT

L'étude des 32 échangeurs de chaleur souterrains en double-U, longs de 135 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, la performance des échangeurs de chaleur, la température ainsi que la performance du sol et de la régénération d'énergie.

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

B RÉSULTATS PRINCIPAUX

Les mesures ont démontré qu'il est possible d'utiliser le roc comme storage thermique dans les opérations de refroidissement libre, avec des ajustements monovalents optimal pour générer du chauffage en hiver autant que pour le refroidissement l'été (refroidissement ambiant l'été et refroidissement de procédé l'été et l'hiver).

Tel que planifié, la chaudière à gaz ne sera utilisée que pendant les travaux d'entretien et de réparation. L'extraction de chaleur du sol est au moins quatre fois plus que l'échange de chaleur en opération de refroidissement libre. Cependant, ceci est perceptible seulement que durant de longues périodes ($\leq 1K$ par année). Durant toute la période d'étude, la température de base de la masse de roc n'a jamais passé dessous $T \leq 1.5^\circ C$, tandis que durant les mois d'été, la température n'a jamais excédé $T \geq 16^\circ C$. Le coefficient de performance annuel (CPA) est environ 3.9.

C PROBLÈMES ET RECOMMANDATIONS

L'opération de refroidissement libre monovalent pouvait seulement être réalisé qu'avec des ajustements précis puisque la température de l'eau de refroidissement durant l'été est relativement élevée. Pour cette raison, les pompes de recirculation doivent fonctionner 24 heures par jour, ce qui présente une consommation d'électricité relativement élevée. Par conséquent, le coefficient de performance annuel (CPA) pourrait être plus élevé sans l'usage continu des pompes. Les températures du sol ne sont pas encore stables, elles baissent encore un peu.

Ces développements ne posent pas de problème, cependant, il serait avantageux de continuer ces mesures dans le but d'étudier le profil de la température et la capacité de storage de la terre.

ABSTRACT

A PURPOSE OF STUDY

Monitoring of the 32 double-U, 135 m 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 performance of the heat exchangers, the temperature conditions as well as the performance of the ground and the energy regeneration.

The monitoring period was from November 1996 until June 1998.

B KEY RESULTS

The measurements have shown, that it is possible to utilize the rock storage in the free-cooling operation, with optimal monovalent adjustments both, for the winter heat generation as well as for summer cooling (room cooling in summer and process cooling in summer and winter).

As planned, the gas boiler will be used only during servicing and repair work. The heat extraction from the ground is at least four times larger than the heat recovery (free-cooling operation). This is however only noticeable over longer periods of time ($\leq 1\text{K}$ per year). During the entire monitoring period, the base temperatures of the rock storage were never below $T \leq 1.5^\circ \text{C}$, while during the summer months, the base temperatures never exceeded a maximum value of $T \geq 16^\circ \text{C}$. The annual coefficient of performance (COP) is about 3.9.

C PROBLEMS AND RECOMMENDATIONS

The monovalent free-cooling operation could only be achieved through fine adjustments since the cooling water temperature in the summer period is relatively high. For this reason, it was necessary to run the recirculating pumps 24 hours a day which resulted in relatively high energy consumption.

Therefore, the annual COP could be higher without the continuous use of the recirculating pumps. The ground temperatures have not stabilized yet, they are still dropping slightly.

These developments do not pose a problem, however, it would be advantageous to continue these measurements in order that the temperature profile of the earth storage can be monitored.

1. AUSGANGSLAGE

1.1 ALLGEMEINES

Der Neubau der Firma Meister + Co. AG in Wollerau wird grösstenteils über ein Erdwärmesondenfeld mit Wärme und Kälte versorgt. Dabei spielt die saisonale und temporäre Speicherung von Energie im Molassegestein, welches unterhalb des Neubaus liegt, eine massgebende Rolle. Aufgrund der Einmaligkeit des Bauvorhabens in energetischer Hinsicht hat das Bundesamt für Energie (BfE) einer wirtschaftlichen Unterstützung des Energieprojektes zugestimmt.

Die ersten Resultate der messtechnischen Überwachung der Anlage zwischen November 1996 und Oktober 1997 wurden in einem Zwischenbericht dokumentiert und beinhalten den ersten Messzyklus. Der Schlussbericht beendet den zweiten Messzyklus zwischen November 1997 und Juni 1998.

Der sechsstöckige Neubau steht auf einer Grundfläche von ca. 20 x 100m am südlichen Zürichseeufer oberhalb von Wollerau. Unterhalb der Bodenplatte wurden 32 vertikale Erdwärmesonden mit einem Sondendurchmesser von $\varnothing=32\text{mm}$ (Doppel-U) auf je 135m Tiefe eingebracht, womit ein nutzbares Speichervolumen im Molassefels und dem darüberliegenden Lockergestein von ca. 325'000 m³ geschaffen worden ist. Das gesamte Sondenfeld ist in 2 Sektoren zu 16 Sonden eingeteilt, wodurch jeder Sektor individuell betrieben und bewirtschaftet werden kann.

1.2 AUFTRAG UND ZIELSETZUNG DER MESSKAMPAGNE

Bisher gelangten in der Schweiz unseres Wissens erst sehr wenige Erdwärmesondenanlagen mit derart vielen Sonden zur Ausführung, von welchen messtechnische Überwachungsmessungen 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, der Regenerierbarkeit und einiges mehr zu erhalten, ist nach Fertigstellung des Neubaus eine messtechnische Überwachung der Gesamtanlage installiert worden.

Die Messkampagne dauerte insgesamt etwa zwei Jahre und besteht aus 2 Messzyklen. Ein Zyklus beinhaltet Kühlen im Sommer im Freecooling - Betrieb (Regenerieren) und Heizen mit der Wärmepumpe im Winter.

Die Messungen wurden im September 1995 aufgenommen. Die Rohdaten wurden nach der ersten Heizperiode (Winter 1995/96) erstmals provisorisch ausgewertet. Dabei hat sich gezeigt, dass auf Seiten der Systemregulierung grosse Verbesserungsmöglichkeiten bestehen, um eine Optimierung der Erdwärmesondenanlage zu erreichen. Nach der Umsetzung der Massnahmen wurden die Messungen erneut aufgenommen, und es zeigte sich, dass die Messresultate deutlich bessere Werte ergaben. Bei jeder Messtelle wurden stündlich Messwerte abgefragt und auf einer Harddisc abgespeichert.

Sämtliche Temperaturmessungen wurden mit PT 100 - Fühlern (Messtoleranz ± 0.05 K) vorgenommen. Die Durchflussmessungen erfolgen mittels Woltmann- und Flügelradzählern (Messtoleranz $\pm 2\%$). Die Werte für Energie und Leistung werden in einem PC errechnet.

Der Zeitraum des Schlussberichtes umfasst die Messungen nach der Optimierung im Sommer 1996, d.h. ab November 1996 bis Juni 1998. Eine Messwertauswertung vor dem November 1996 ist nicht sehr aufschlussreich, da die Anlage regeltechnisch noch nicht richtig betrieben wurde und die Daten aufgrund messtechnischer Probleme einzelner Messungen nicht vollständig waren.

2. SYSTEMBESCHREIB DER ANLAGE

2.1 HAUSTECHNIK, TECHNISCHE DATEN

2.1.1 Erdwärmenutzung

Die Erdwärmesonden bestehen aus je vier Polyäthylen - Wärmetauscherrohren, in welchen eine Flüssigkeit aus Wasser / Ethylenglykol zirkuliert. Die Sonden nehmen je nach Jahreszeit die Wärme- respektive Kälteenergie aus dem Boden und transportieren diese in das vollklimatisierte Gebäude. Jede Sonde wurde mit je 2 Vor- und Rückläufen einzeln an den zentralen Sammler angeschlossen, womit letzterer 128 Abgänge aufweist.

Wird im Gebäude Wärme benötigt, so wird diese via Wärmepumpe dem erschlossenen Felspeicher über das in den Sonden zirkulierende Wärmeträgermedium entzogen. Wird Kälte gefordert, so erfolgt deren Lieferung ebenfalls über die Sonden. Dies wird dadurch möglich, weil einerseits die ungestörte Temperatur im Fels bei ca. 10 - 13°C liegt, andererseits deshalb, weil durch den Betrieb der Sonden der Untergrund entweder ausgekühlt (Wärmebetrieb) oder erwärmt wird (Kältebetrieb). Somit dient der Boden als eigentlicher Energiespeicher, über den der weitaus grösste Teil der benötigten Wärme- und Kälteenergie abgedeckt wird.

2.1.2 Gebäudetechnik

Kühlwassererzeugung

Grundsätzlich werden sämtliche Kühlstellen, die Quell- und Fensterblasluft sowie die Kühldecken von den im Untergeschoss stehenden Kältespeichern aus versorgt. Die Ladung der Kältespeicher erfolgt primär über das Erdwärmesondenfeld. Steigt die Temperatur im Erdreich über das nutzbare Maximum an, wird die Wärmepumpe als Kältemaschine zugeschaltet. Die anfallende Kondensationswärme wird in diesem Fall an den Heizwasserspeicher abgegeben. Kann der Heizwasserspeicher keine Wärme mehr aufnehmen, wird vom Wärmerückgewinnungsbetrieb auf den Rückkühlbetrieb umgeschaltet. Die anfallende Wärme wird dann über die Erdwärmesonden an das Erdreich abgegeben und dort für den Winterbetrieb gespeichert.

Heiz- und Brauchwarmwassererzeugung

Während des Heizbetriebes wird die Heizenergie primär mit der Wärmepumpe erzeugt. Die hierfür erforderliche Wärme wird via Wärmepumpe zuerst den Kaltwasserspeichern entzogen. Sind diese geladen, d.h. auf dem zulässigen Temperaturminimum, wird auf das Erdwärmesondenfeld umgeschaltet und diesem Wärme entzogen. Dadurch wird die im Untergrund gespeicherte Wärme für die Beheizung des Gebäudes wiederverwendet. Der Gasheizkessel dient lediglich als Notheizung sowie im Bedarfsfall zur Spitzenabdeckung.

Wärmeverteilung

Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über Fensterblasluftheizsysteme. Das Treppenhaus wird über eine Deckenheizung erwärmt.

Lüftung

Die Büro- sowie die Produktionsgeschosse werden nach dem Prinzip der sanften Lüftung be- und entlüftet. Hier ist eine Klimaanlage mit Sommerkühlung eingebaut, so dass die Raumtemperatur ca. 3 - 4 K unter der jeweiligen Aussentemperatur liegt. Sämtliche Lüftungs- und Teilklimaanlagen sind mit einer Wärmerückgewinnung ausgerüstet.

Kühlung mit Kühldecken

Die Kühlung der Räume erfolgt zusätzlich über die Kühldecken sowie über die sanfte Lüftung (Quelluft und Fensterblasluft). Aufgrund der spartenspezifischen Arbeitsschritte ist ein verhältnismässig grosser Kühlbedarf vorhanden.

2.1.3 Technische Daten (grobe Übersicht)

Installierte Heizleistung Wärmepumpe*:	186 kW
Installierte Heizleistung Gaskessel:	185 kW
Installierte Kälteleistung*:	211 kW
Nutzbares Erdvolumen:	325'000 m ³
Vertikale Sondenmeter:	ca. 4'320 m' (32 x 135m)
Horizontale Sondenmeter:	ca. 1'800 m'

- *) Die Wärmepumpe bzw. Kältemaschine wurde auf die Heizleistung ausgelegt und ist dadurch für den Kühlbetrieb überdimensioniert. Aus diesem Grunde wurde eine Wärmepumpe mit zwei Leistungsstufen (50% und 100%) eingebaut.

2.2 MESSANORDNUNG

Die Messanordnung ist aus dem beiliegenden Messstellenschema im Anhang A3 ersichtlich.

Die Messstellen sind wie folgt definiert:

Wärmezähler:

M1: EWS-Kreislauf, Ladung des Sondenfeldes (auskühlen, Heizbetrieb)

M2: EWS-Kreislauf, Entladung des Sondenfeldes (aufwärmen, Kühlbetrieb)

M3: Heizkreislauf, Wärmeabgabe

M4: Heizkreislauf, Kälteabgabe (ohne Produktionskühlung Laser)

Energiemessstellen:

M5: Erfassung des Gasverbrauches Heizkessel

M6: Erfassung des Stromverbrauches für die Wärmepumpe

Temperaturmessstellen:

M7: Messrohr in EWS-Bohrung Sonde Nr. 26, wassergefüllt mit 1 Temperaturfühler auf 60m Tiefe.

M8: Messrohr in EWS-Bohrung Sonde Nr. 28, wassergefüllt mit 3 Temperaturfühlern auf 30, 60 und 120m Tiefe.

M9: Messbohrung zwischen den Erdwärmesonden, Tiefe 70m, mit wassergefülltem Kunststoffrohr, enthaltend 2 Temperaturfühler in 30 und 60m Tiefe.

M10: Messfühler 10.1 und 10.2 der Bodenplatte in einer Tiefe von 20 resp. 50cm

Innerhalb der Bilanzgrenzen sind sämtliche thermischen Verluste und Nebenantriebe enthalten.

Es ist zu berücksichtigen, dass der Anschluss der nachträglich installierten Produktionskühlung Laser **vor** der Wärmemessung (Kälte) abgenommen wird. Dieser Wert konnte aus den Messungen sehr exakt ermittelt werden und zeigt sich innerhalb der Messperiode als konstante Leistungsgrösse. Der ermittelte Wert wurde bei der Kälteenergie entsprechend dazugezählt. Abgesehen von letzterer Korrektur kann mit dem vorliegenden Messkonzept die JAZ exakt bestimmt werden.

Das Diagramm im Anhang A2 dient lediglich als Übersicht der Erdwärmesondenstandorte. Die horizontalen Verbindungsleitungen wurden in den eingetragenen Sammelleitungen unterhalb der Fundationsplatte vom/zum zentralen Verteiler/Sammler geführt (siehe auch Bilder im Anhang A18 + A19).

3. GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

3.1 GEOLOGISCHER SCHICHTAUFBAU

Der Produktionsstandort der Meister + Co. AG liegt an einem gegen NE exponierten Hang des "Felsen" - Hügelzuges in Wollerau. Bis mindestens 20m unter OK Terrain besteht der Untergrund aus Moränenmaterial. Dieses besteht aus einer Wechsellagerung von sandigem Lehm, lehmig-siltigem Sand und lehmig-sandigem Kies mit vielen Steinen und Blöcken. Darunter folgen steil nach NNW einfallende Schichten der Mittelländischen Molasse. Das Areal liegt ziemlich genau auf der Grenze zwischen der Oberen Meeresmolasse im Norden und der Unteren Süßwassermolasse im Süden. Die Bohrungen für die Erdwärmesonden kamen somit hauptsächlich in eine ca. 60 - 70° nach NNW einfallende Wechsellagerung von granitischem Sandstein, bunten Mergeln und Nagelfluhbänken der Unteren Süßwassermolasse zu liegen.

3.2 GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

Die Moräne führt in den sandig-kiesigen Partien Hangwasser, welches zum Teil als "schwebendes Wasser" in der Moräne hängt. Ein Abfluss des Wassers in die darunter liegende Molasse ist durch lehmige Schichten weitgehend verhindert.

Die Grundwasserverhältnisse in der steilstehenden Molasse sind noch unbekannt. Vermutlich wird der Molassefels innerhalb der Erdwärmesondentiefe von 135m nur wenig Wasser führen und deshalb als "trockenes" Gestein auftreten. Ein bedeutender Einfluss der Wärmeübertragung auf die Sonden durch Wasserkonvektion ist deshalb kaum zu erwarten und die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine wird dadurch eher niedrige Werte haben (2.0 - 2.5 W/mK).

4. HAUPTERGEBNISSE ZWISCHENBERICHT

In unserem Zwischenbericht vom 9. Dezember 1997 ging es vor allem um realistische Messdaten eines ersten Messzykluses ein Jahr nach der Umsetzung der Optimierungsmassnahmen.

4.1 ZUSAMMENFASSUNG DER MESSRESULTATE

Der geringe Gasverbrauch zeigte, dass der Gaskessel nur dann zum Einsatz kommt, wenn Revisionsarbeiten an der Wärmepumpe / Kältemaschine ausgeführt wurden.

In den Sommermonaten ist eine starke Kälteentnahme aus dem Erdreich ersichtlich. Diese Energie wurde nicht über die Wärmepumpe, sondern direkt im "Freecooling" - Betrieb an die Verbraucher abgegeben. Die im Fels gespeicherte Kältemenge ist im Winter durch den Wärmepumpenbetrieb erzeugt worden.

Die erzeugte Kältemenge durch die Wärmepumpe ist im Verhältnis zum Kältebedarf im Sommer bedeutend höher.

Die Arbeitszahl JAZ der Wärmepumpe scheint mit 3.9 zwar hoch, sollte aber durch den Freecooling-Betrieb im Sommer noch höher ausfallen.

Temperaturmässig sind in der ersten Messperiode im Untergrund unmittelbar an den Messsonden Schwankungen saisonal zwischen min. 4°C bis max. 14°C ersichtlich. Eine Einfriergefahr des Erdreiches besteht nicht. Bei den separaten Messsonden zwischen den Erdwärmesonden ist nur eine geringfügige Temperaturschwankung zwischen 9.7°C und 10.7°C gemessen worden.

Die Bodentemperatur zeigt eine Parallelität mit der Aussen- resp. Sondentemperatur. Bei den Erdreichtemperaturen in 30m und 60m Tiefe sind keine signifikanten Temperaturveränderungen ersichtlich.

Die Messungen im ersten Messzyklus zeigen, dass die Anforderungen an die Anlage erfüllt wurden.

4.2 NÄHERE BETRACHTUNGEN IM SCHLUSSBERICHT

Folgende offenen Punkte sind im Schlussbericht zu klären oder näher zu betrachten:

- Es soll das Langzeitverhalten des Felsspeichers näher überprüft werden. Das Verhältnis von Input/Output Kälte in den Felsspeicher ist auf Veränderungen zu untersuchen.
- Leistungsmässige Veränderungen des Kühlbedarfes im Sommer sollen näher betrachtet werden.
- Stomverbrauch und Laufzeiten der Nebenantriebe sind genauer unter die Lupe zu nehmen.

5. HAUPTERGEBNISSE GESAMTE MESSPERIODE

Sämtliche unten aufgeführten Erklärungen können den Diagrammen im Anhang entnommen werden.

5.1 BETRIEB DER WÄRMEPUMPE / KÄLTEMASCHINE

Im Diagramm Anhang A4 sind die Betriebsstunden der Wärmepumpe resp. Kältemaschine über die ganze Messzeit vom Januar 1996 bis Juni 1998 aufgezeichnet. Die Betriebszeiten wurden im Gegensatz zu der automatisch aufgezeichneten Messwerterfassung bereits ab November 1996 von Hand aufgenommen. Daraus ist ersichtlich, dass die Wärmepumpe grösstenteils im Winter, entsprechend der Aussentemperatur, in Betrieb ist und dass es eine erhöhte Betriebsstundenzahl vor der Optimierung der Regelung in den Sommermonaten 1996 gibt.

Beide Heizperioden (1996/97 wie 1997/98) weisen sehr ähnliche Betriebsstunden auf, wenn man von den Problemen mit der Wärmepumpe im Oktober 1997 und Januar 1998 absieht. Nach Angaben des Betriebspersonals sind damals längere Reparatur- und Wartungsarbeiten getätigt worden.

5.2 PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH STROM UND GAS

Aus dem Diagramm Anhang A5 ist der Primärenergieverbrauch (Input) von Gaskessel und Wärmepumpe ersichtlich; auffallend ist der geringe Gasverbrauch. Die Messungen zeigen, dass der Gaskessel nur dann zum Einsatz kommt, wenn an der Wärmepumpe / Kältemaschine Revisions- resp. Reparaturarbeiten ausgeführt werden. Dies ist im Januar 1997, im März 1998 und während längerer Zeit im Oktober 1997 sowie im Januar 1998 der Fall gewesen. Die übrigen kurzen Betriebszeiten des Gaskessels sind auf sehr hohe Wärmebezüge nach langen Wochenenden oder Feiertagen zurückzuführen.

Vergleicht man den Stromverbrauch der Wärmepumpe des Winters 1997/98 mit der Vorjahresperiode, so sind ca. 12% weniger Kälteenergie in das Erdreich geflossen. Dies zeigt, dass nicht immer jährlich mit denselben Energieverhältnissen zu rechnen und dadurch eine Aussage über das Langzeitverhalten äusserst schwierig ist.

5.3 ENERGIEBILANZ DES ERDWÄRMESONDENFELDES

Die im Anhang A6 ersichtliche Grafik zeigt die aus dem Erdreich bezogene Wärmeenergie in kWh/Monat. Der Wärmeentzug aus dem Erdreich war im Winterhalbjahr 1997/98 geringer als derjenige des Vorjahres, was einerseits auf die Reparaturarbeiten der Wärmepumpe (dadurch höherer Gasverbrauch), jedoch auch auf den wärmeren Winter zurückzuführen ist.

In den Sommermonaten wird nur ein sehr kleiner Anteil an Wärmeenergie für die Brauchwassererzeugung dem Erdreich entzogen.

Gemäss Grafik im Anhang A7 ist in den Sommermonaten eine starke Kälteentnahme (in MWh) aus dem Erdreich ersichtlich. Diese Energie wird allerdings nicht über die Wärmepumpe, sondern direkt im "Freecooling" - Betrieb an die Verbraucher abgegeben. Diese sehr kostengünstige Kälteenergie ist durch die im Winter betriebene Wärmepumpe im Fels gespeichert worden und deckt die ganze Kühlperiode ab. Ein (energieintensiver) Kältemaschinenbetrieb ist aufgrund des ermittelten Bedarfs nicht mehr notwendig; die Kältemaschine kam in der Betriebsperiode nie zum Einsatz, was die Effizienz des saisonalen Energiespeichers im Untergrund unterstreicht.

Ein unbedeutender Anteil Kälteenergie wird auch in den Wintermonaten für die (ungemessene) Produktion Laserkühlung benötigt. Diese Kühlmenge von ca. 1 MWh/Monat ist ganzjährig vorhanden. Dies zeigt auch die rechnerische Differenz zwischen der Verbrauchermessung (M4) und dem Energiebezug aus den Erdwärmesonden (M1).

5.4 ENERGIEMENGE WÄRME- UND KÄLTESPEICHER (OUTPUT)

Die Nutzenergie wird im Diagramm Anhang A8 dargestellt und zeigt die nach den Speichern gemessene Wärme- und Kälteenergie in Abhängigkeit zur monatlichen Aussentemperatur. Bei der gelieferten Wärmeenergie ist der verhältnismässig kleine Wärmeanteil des Gaskessels miteinbezogen. Ein Kälteverbraucher bei der Raumkühlung ist in den Wintermonaten nicht vorhanden.

Die benötigte Wärmeenergie ist in den Monaten Dezember 1996 und Januar 1997 etwas grösser als im folgenden Jahr des gleichen Zeitabschnittes. Dies ist u.a. damit erklärbar, dass die Wintermonate Dezember 1997 / Januar 1998 etwas milder waren als in derselben Vorjahresperiode.

5.5 BILANZIERUNG WÄRME- UND KÄLTEENERGIE

Als Überblick sind im Diagramm Anhang A9 nochmals alle In- und Output-Energien pro Monat aufgezeigt sowie gleichzeitig anhand einer Kurve auf ein Betriebsjahr aufsummiert.

Der Wärmeentzug durch die Wärmepumpe ergibt übers Jahr betrachtet einen bedeutend grösseren Energiewert im Vergleich zur Wärmerückgabe. Der totale Wärmeentzug aus dem Erdreich beträgt ca. 320 MWh / Jahr gegenüber einem Kältebezug von ca. 75 MWh / Jahr (23%) zwischen November 1996 und Oktober 1997 betrachtet. Ein weiterer Vergleich in der nachfolgender Periode ist nicht möglich, da die Messungen nur bis Ende Juni 1998 ausgewertet wurden. Es ist aber anzunehmen, dass sich dieses Verhältnis nicht bedeutend verändern wird. Die im Anhang A12 aufgeführten Rücklauftemperaturen liegen in den Monaten August / September 1997 auf dem Grenzwert von ca. 15°C. Im Sommerhalbjahr 1998, welches hier bis Ende Juni berücksichtigt worden ist, liegen die Rücklauftemperaturen aus dem Erdreich leicht tiefer, was wünschenswert ist, da hier selbstredend von Bauherrenseite möglichst tiefe Temperaturen angestrebt werden.

5.6 ARBEITSAHLE DER WÄRMEPUMPENANLAGE

Die monatliche Arbeitszahl während der gesamten Messperiode liegt mit Ausnahme der Sommermonate etwa in der Grössenordnung von ca. 3.2 und ist im Anhang A10 ersichtlich. In den Sommermonaten liegt wegen der geringen Antriebsenergie die Arbeitszahl zwischen 4.2 und 7.8. Im Sommer läuft die Wärmepumpe nur, um die Wärme- und Kältespeicher aufzuladen.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) beträgt ca. 3.9 über die Messperiode von November 1996 bis Oktober 1998 gerechnet. Bei der JAZ zeigen sich die Auswirkungen der saisonalen Energiespeicherung in einem sehr positiven Licht, indem die im Winter im Boden gespeicherte Kälteenergie ohne Einsatz einer Kältemaschine im Sommer genutzt werden kann. Obwohl eine JAZ von 3.9 auf den ersten Blick sehr beachtlich erscheint, empfinden wir den elektrischen Energieaufwand für die Kühlung in den Sommermonaten (Freecooling) als relativ hoch. Nach Auskunft des Betriebspersonals laufen aus regeltechnischen Gründen die Umwälzpumpen meist dauernd, was die JAZ in den Sommermonaten etwas mindert.

5.7 DURCHSCHNITTSTEMPERATUREN IM UNTERGRUND

Einerseit werden Erdreichtemperaturen unmittelbar an den Erdwärmesonden Nrn. 26 und 28 gemessen, andererseits sind Messfühler in Messbohrungen im Sondenfeld zwischen den Erdwärmesonden plaziert. Dazu kommen zwei Temperaturmessungen in der Bodenplatte. Sämtliche Temperaturen sind im Diagramm Anhang A11 seit Messbeginn im August 1995 im Vergleich zur Aussentemperatur und zu den Wärmepumpen - Betriebsstunden dargestellt. Die Bezeichnungen in der Legende haben folgende Bedeutungen:

- Die Zahlen 26 und 28 vor dem Schrägstrich sind die Sondennummern. Die Temperaturmessung erfolgt hier an der bezeichneten Sonde.
- Die Zahl nach dem Schrägstrich gibt die Messtiefe in Meter an.
- MS bedeutet separate Messsonde zwischen zwei Erdwärmesonden.
- BP steht für Bodenplatte.

Diejenigen Messfühler, welche unmittelbar an den Erdwärmesonden plaziert sind, zeigen deutlich den Einfluss der Soletemperatur auf das umgebende Felsmaterial. Auch nimmt mit der Messtiefe die Temperatur während des Wärmepumpenbetriebes zu, was auf eine Wärmeaufnahme schliessen lässt. Die Temperaturen im Untergrund unmittelbar an den Erdwärmesonden sinken nie unter $T \leq 4^{\circ}\text{C}$ und steigen auch nicht über $T \geq 14^{\circ}\text{C}$ im Laufe der Messperiode an. Es besteht also keine Einfriergefahr im Untergrund, solange das Betriebsverhalten zwischen Laden und Entladen des Felsspeichers nicht gross verändert wird.

Wünschenswert für den Anlagebetreiber wäre die Ladung des Felsspeichers mit tieferen Temperaturen, damit im Sommer den Verbrauchern auch tiefere Temperaturen zur Verfügung stünden. Aufgrund der regeltechnischen Vorgaben sowie dem Umstand, dass im Winter über die Wärmepumpe einfach nicht mehr Wärme aus dem Untergrund benötigt wird, kann dieser nicht weiter ausgekühlt werden.

Eine logische Parallelität zeigt sich im Zusammenhang mit der Aussentemperatur und den Betriebsstunden der Wärmepumpe sowie bei den Temperaturen in den Messsonden.

Die Temperaturmessungen in den Messsonden zeigen im Innern des Sondenfeldes einen geringen Einfluss des Energieentzuges resp. des Energieeintrages durch die

Erdwärmesonden. Zu Beginn der Messungen im September 1995 sind Temperaturen von ca. $T \approx 11.7^{\circ}\text{C}$ gemessen worden. Diese sind im zweiten Betriebsjahr von maximal $T \approx 10.7^{\circ}\text{C}$ auf minimal $T \approx 9.7^{\circ}\text{C}$ gefallen. Momentan zeigt sich ein langsames Absinken der Temperatur, so dass im Sommerhalbjahr 1998 minimale Erdreichtemperaturen in MS/60 von $T \approx 9.6^{\circ}\text{C}$ registriert worden sind. Es zeigt sich somit, dass die Speichertemperatur im Sondenfeld wenn auch nur gering, so doch messbar um einige Zehntelgrad pro Jahr fällt. Dies überrascht insofern nicht, da der Wärmeentzug aus dem Boden deutlich höher liegt als der Kältebezug. Für das zukünftige Betriebsverhalten des Erdwärmesondenfeldes wäre es interessant, die Temperaturverhältnisse im Speicher weiter zu verfolgen.

Eine Phasenverschiebung um einige Monate gegenüber dem Temperaturmaximum bei den Erdwärmesondenmessungen kann nicht mit Sicherheit eruiert werden, dazu ist der Messzyklus noch zu wenig lang .

Die entzogene Wärmeenergie (320 MWh/a) ist, wie in Kapitel 5.5 beschrieben, bedeutend grösser als die zurückgeführte Wärmeenergie (75 MWh/a) in der Messperiode von November 1996 bis Oktober 1997. Diese Grössen sind jedoch stark vom Heiz- und Kühlbedarf des jeweiligen Betriebsjahres abhängig. Obwohl wir noch kein vollständiges zweites Betriebsjahr ausgemessen haben, ist ersichtlich, dass erhebliche Differenzen bestehen. Dies hat auch einen grossen Einfluss auf die oben beschriebene Phasenverschiebung.

Die Messung der Bodenplattentemperatur ist bei der energetischen Betrachtung weniger von Bedeutung und zeigt den direkten Einfluss der Sondenfeldtemperatur sowie der Aussentemperatur auf die Bodenplatte.

Es ist allerdings zu beachten, dass die Bodenplattentemperaturen über dem Erdwärmesondenfeld von den Sondentemperaturen sehr stark beeinflusst werden (horizontale Leitungsführung). Die Raumtemperaturen im Gebäude sind normalerweise übers ganze Jahr konstant, so dass ein Einfluss seitens des Innenraumes in unserem Fall ausgeschlossen werden kann.

5.8 SOLE- UND ERDREICHTEMPORATUREN

Das Diagramm im Anhang A12 zeigt eindrücklich das gegenseitige Verhalten zwischen Erdreichtemperatur, Soletemperatur und Aussentemperatur. Zudem sind der Wärmeentzug und Kältebezug durch Umkehr der Vor- bzw. Rücklauftemperaturen deutlich ersichtlich. Ein Aussentemperaturanstieg von $T \geq 15^{\circ}\text{C}$ hat eine Umkehrung dieser beiden Temperaturen zur Folge, d.h. dass auf Freecooling - Betrieb umgeschaltet wird. Auch hier sind bei der "ungestörten" Erdreichtemperatur keine signifikanten Temperaturänderungen ersichtlich, doch fällt auf, dass sich der Boden, wie bereits weiter oben beschrieben, ganz langsam abkühlt.

Während der gesamten Messperiode lagen die Soletemperaturen (Vorlauf ins Erdwärmesondenfeld) nie unter $T \leq 1.5^{\circ}\text{C}$, während sie im Sommerhalbjahr einen Maximalwert von $T \geq 16^{\circ}\text{C}$ nie überstiegen. Diese Werte stimmen sehr gut mit denjenigen überein, die aufgrund der Simulationsergebnisse vor Beginn der Bauarbeiten zu erwarten waren.

5.9 ERDWÄRMESONDENLEISTUNGEN

Im Anhang A13 sind die Erdwärmesondenleistungen für den gesamten Januar 1997 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Anlage mit einer konstanten Entzugsleistung von $Q \cong 31 - 33 \text{ W/m'}$ Sonde gefahren worden ist. Die in der Beilage A14 dargestellten Resultate für den Februar 1998 zeigen ein ähnliches Bild, indem auch hier durch die Sonden eine konstante Entzugsleistung von $Q \cong 31 - 33 \text{ W/m'}$ in Abhängigkeit u.a. der Aussentemperatur gefahren wurde.

Die im Freecooling - Verfahren während des Sommers gemessenen Entzugsleistungen sind in Beilage A15 (August 1997) und A16 (Juni 1998) aufgezeichnet. Dabei werden Spitzenleistungen von $Q \cong 16 - 18 \text{ W/m'}$ Sonde registriert, welche je nach Aussentemperaturen dann auf Werte von $Q \cong 7 - 9 \text{ W/m'}$ Sonde rasch abnehmen. Wichtig ist nochmals der Hinweis, dass während der gesamten Messperiode die gesamte Kühlleistung der Gebäudes lediglich über das Sondenfeld **ohne** Einsatz der Kältemaschine erfolgt.

5.10 SOLL - IST VERGLEICH

Die zur Zeit der Planung 1994 berechneten Grössen sind bei Produktionsbetrieben meist sehr schwierig abzuschätzen, zudem im Laufe der Zeit noch Änderungen an Maschinen vor allem bei der Kälte die Werte massiv verändern können.

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

	Jahresverbrauch gemäss Planung 1994	Jahresverbrauch gemessen 1996/97
Total Heizenergie mit Gaskessel	61 MWh	ca. 18 MWh
Total Heizenergie (Gasanteil 0%) mit WP	349 MWh	ca. 470 MWh
Total Heizbedarf	410 MWh	ca. 488 MWh
Total Kühlenergie (durch WRG abgedeckt) *	57 MWh	ca. 50 MWh
Total Kühlenergie (durch EWS zu erbringen)	86 MWh	ca. 75 MWh
Total Kühlbedarf	143 MWh	ca.125 MWh

Spezifische Sondenleistungen		
- Heizleistung	30 W/m	ca. 30 W/m
- Kühlleistung	50 W/m	bis max. 15 W/m
Spezifische Sondenenergie:		
- Heizenergie	95 kWh / m Jahr	72 kWh / m Jahr
- Kühlenergie	45 kWh / m Jahr	17 kWh / m Jahr

*) Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung in den lufttechnischen Anlagen wurde mit $\eta = 0.4$ in der Planung berücksichtigt und ohne Messung entsprechend auf die Kältemessung übertragen.

5.11 DRUCKMESSUNG AM ERDWÄRMESONDENFUSS

Zum Zeitpunkt der Sondeneinbringung ist der Druck am Sondenfuß mit einem Drucksensor bis zu einer Dauer von 150 Stunden gemessen worden (Anhang A17). Das Beispiel zeigt, dass das aus PE gefertigte Kunststoffrohr einen Druck bei 136m Tiefe von max. 16,25 bar aushalten muss, bis das Füllmaterial Bentonit verfestigt und abgebunden ist.

Es ist deshalb notwendig, vor dem Verfüllen der Erdwärmesonden den entsprechenden Gegendruck im Innenrohr mittels Flüssigkeitsfüllung auszugleichen. Es ist nicht erforderlich, die Erdwärmesonde zusätzlich unter Druck zu setzen, da im Normalfall das ungefüllte Kunststoffrohr einen äusseren Druck kurzzeitig (1 Std.) von bis gegen 10 bar aushält. Die Abbinde­temperatur des Füllmaterials sollte jedoch nicht über 50°C betragen.

Die in der Bemerkung beschriebenen Vorgänge zu den entsprechenden Zeiten sind sehr deutlich im Diagramm ersichtlich.

6. AUSBLICK

Die Messungen zeigen, dass die Anforderungen an die Anlage erst durch die Optimierung der Regeltechnik im Sommer 1996 erreicht wurden. Durch den Heizbetrieb mit der Wärmepumpe kann der Felspeicher während des Winterhalbjahres mit Kälteenergie geladen werden, so dass für die Kühlung der Speicher - Betrieb im Sommer ausreicht. Der Spitzenlastkessel kommt praktisch ohne Kältemaschine nur bei Störungen oder Wartungsarbeiten an der Wärmepumpe zum Einsatz.

Die Temperaturen im Innern des Sondenfeldes liegen zur Zeit bei $T \cong 9.5 - 10^{\circ}\text{C}$. Sie haben mit Beginn der Messungen mehr oder weniger stetig um einige Zehntelgrade pro Jahr abgenommen, was auf das verbraucherseitig gegebene, unausgeglichene Verhältnis zwischen Wärme- und Kältebedarf bedingt ist. Die Erdreichtemperaturen haben sich bislang nicht stabilisiert, sondern nehmen nach wie vor leicht ab. Vor dem Hintergrund der relativ hohen Soletemperaturen im Winter stellt diese Entwicklung jedoch keinerlei Probleme dar. Es wäre jedoch wichtig, diese Messungen fortzusetzen, um den Temperaturverlauf im Untergrund unter Kontrolle zu behalten.

Da die Soletemperaturen bislang stets oberhalb von $T \geq 0^{\circ}\text{C}$ lagen, besteht auch bei extremen Aussentemperaturen keine Einfriergefahr des Erdreiches im unmittelbaren Sondenbereich. Hier ist anzumerken, dass eine tiefere Soletemperatur während des Winterhalbjahres grundsätzlich deshalb wünschenswert wäre, weil dadurch das Erdreich stärker ausgekühlt wird, was sich positiv auf die Soletemperaturen im Kühlfall (Sommerhalbjahr) auswirkt. Grundsätzlich ist zu sagen, dass sich die Soletemperaturen innerhalb der von uns in der Planungsphase angenommenen Werte bewegen.

Die Jahresarbeitszahl liegt mit einem Wert von ca. 3.9 während der gesamten hier betrachteten Messperiode relativ hoch. Dabei spielt der Freecooling - Betrieb im Sommerhalbjahr eine massgebende Rolle, da dadurch die Jahresarbeitszahl des Systems nach oben gedrückt wird.

Die Nebenantriebe wie Umwälzpumpen weisen einen verhältnismässig hohen Stromverbrauch auf, was sowohl vom Betreiber als auch von der Regelfirma mitgeteilt worden ist. Gemäss Auskunft der Regelfirma ist eine Verringerung des Stromverbrauchs schon deshalb schwierig, weil die Temperaturschaltpunkte sehr präzise gelegt sind. Auch gibt es im Gebäude mehrere permanente Verbraucher, was

es nicht erlaubt, jeweils Umwälzpumpen über längere Zeit abzuschalten. Auch wird die Umwälzpumpe des Sondenfeldes durchgehend betrieben, weil die permanent benötigte Laserkühlung über die Sonden erfolgt.

Die durchgeführten Messungen haben gezeigt, dass mit Ausnahme ganz weniger Spitzenstunden resp. während Wartungsarbeiten an der Wärmepumpe das Gebäude monovalent über das Erdwärmsondenfeld beheizt und gekühlt werden kann. Der Bauherr ist mit der Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit der Anlage entsprechend zufrieden und würde sich wiederum für diese Lösung entscheiden.

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

NEK UMWELTTECHNIK AG

Der Projektleiter:

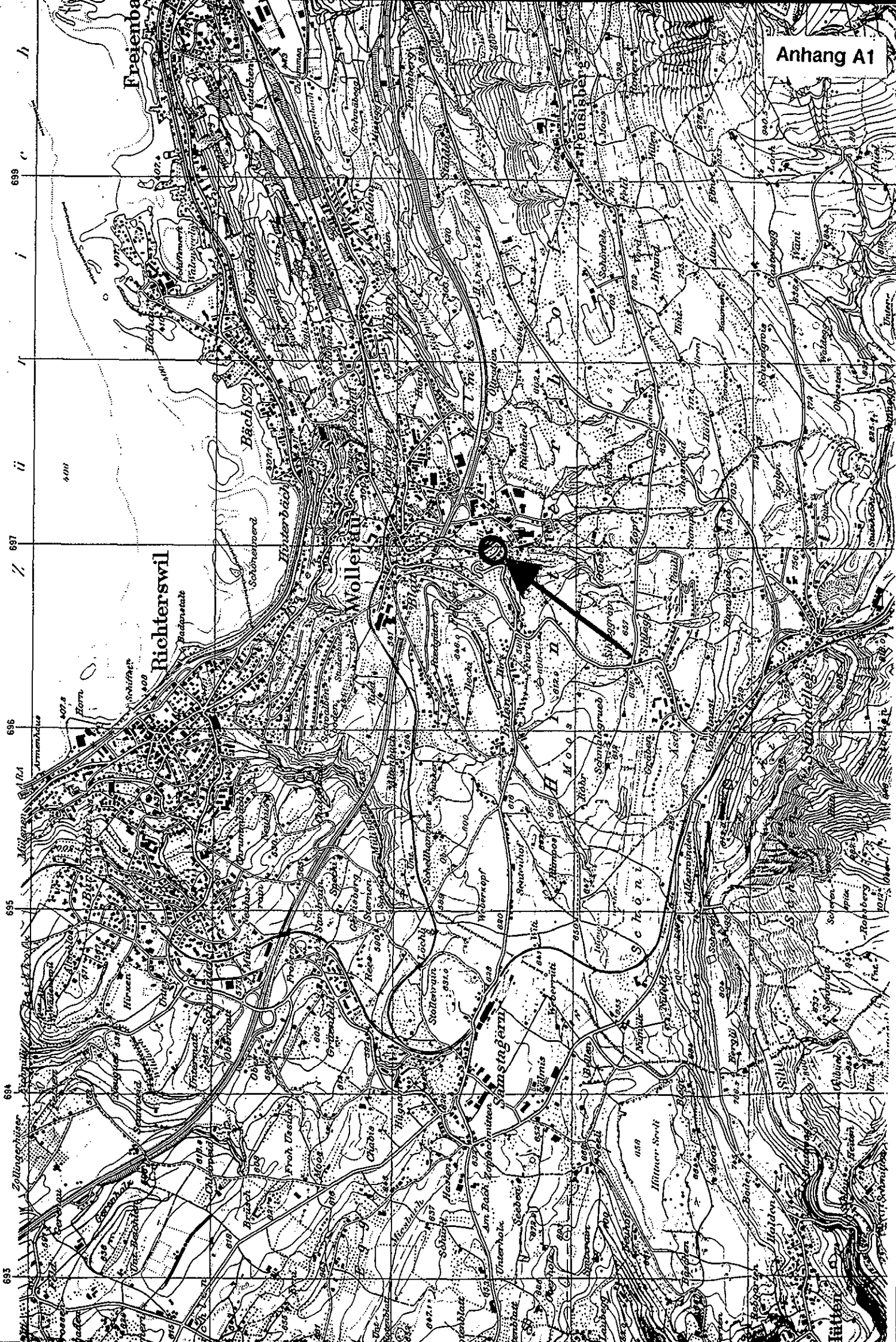
Der Sachbearbeiter:

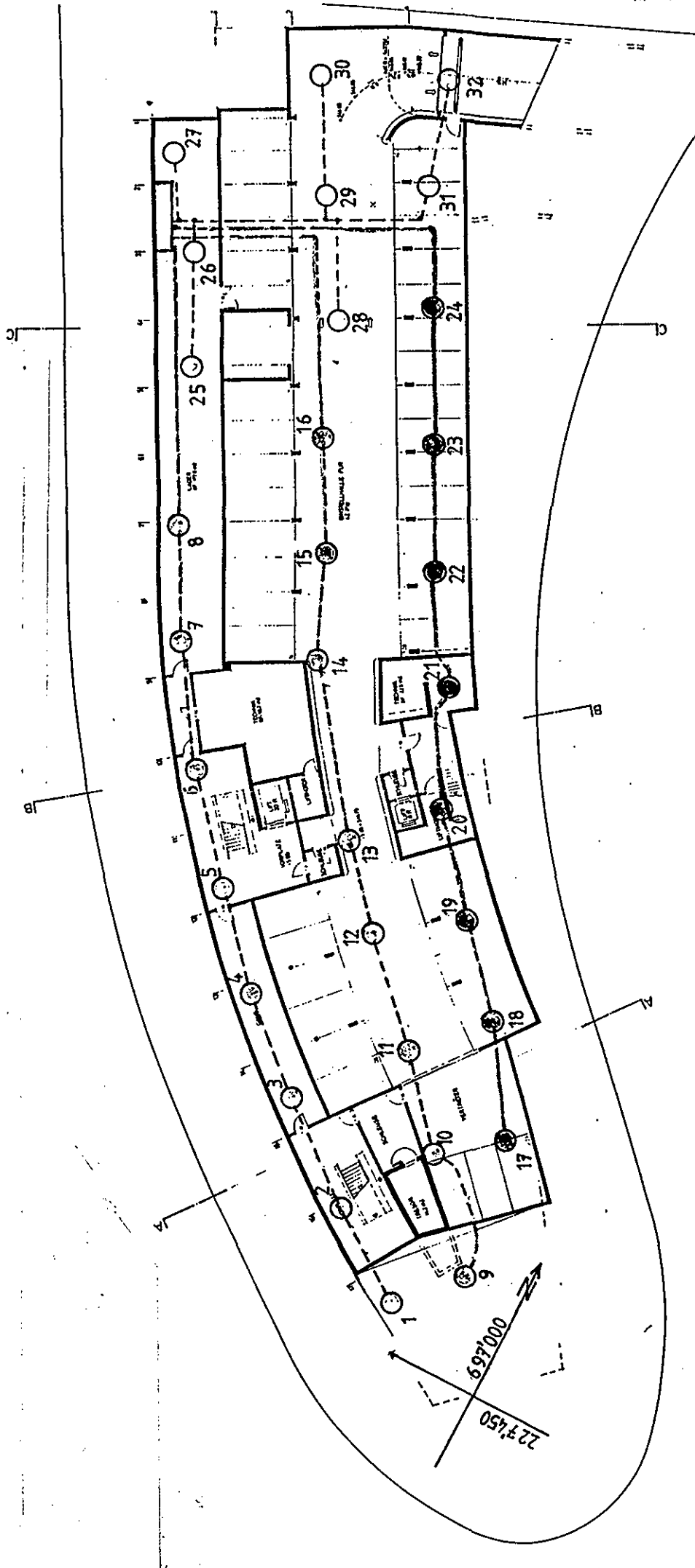
Dr. Ch. Kapp

M. Morath

Zürich, 08. Februar 1999 Mm/FI/Kp/re

C:\WINWORD\DATA\NEK_CH\BERICHTE\20218\SCHLUBE1.DOC



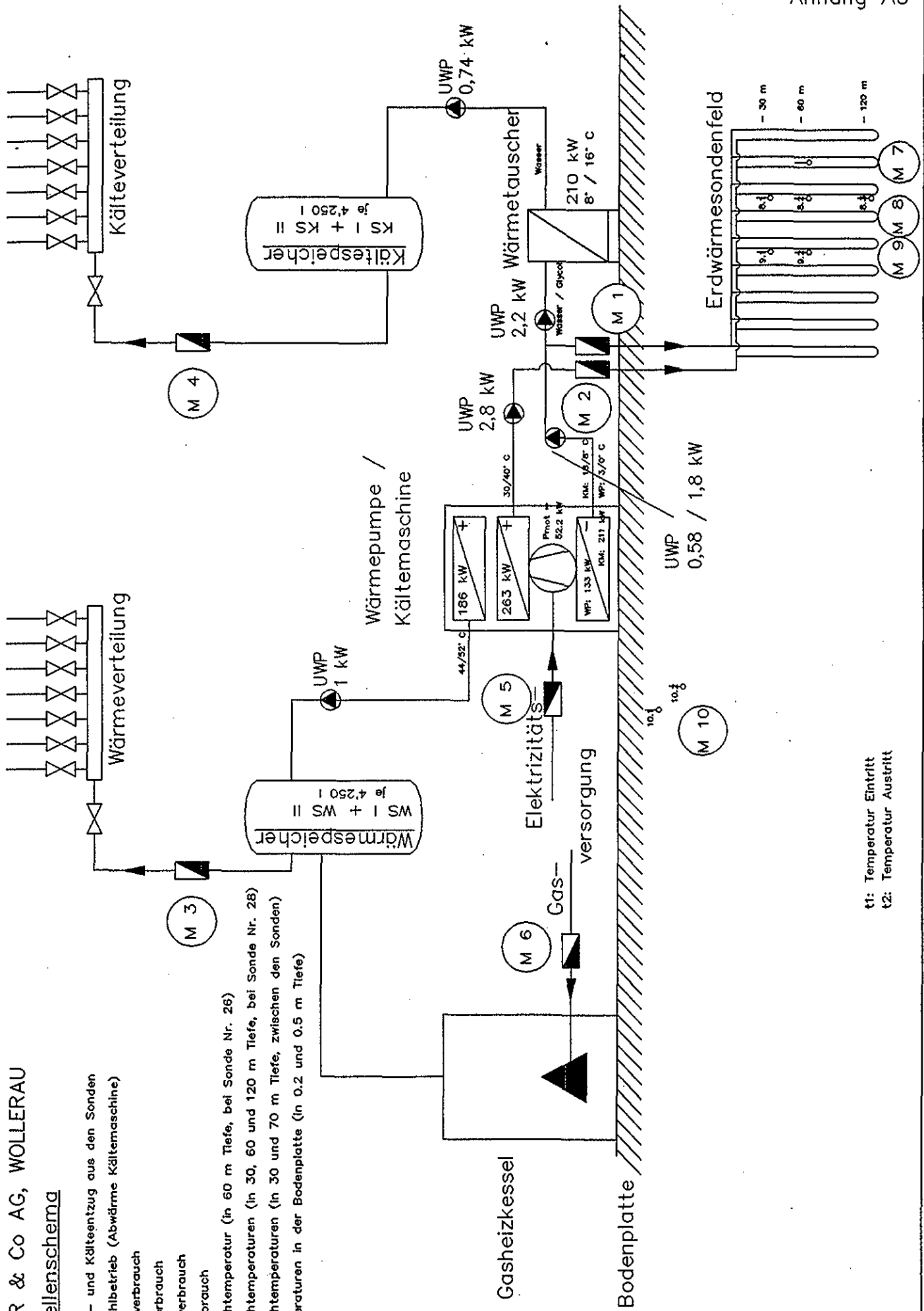


Lage der Erdwärmesonden und
der Verbindungsleitungen

MEISTER & Co AG, WOLLERAU

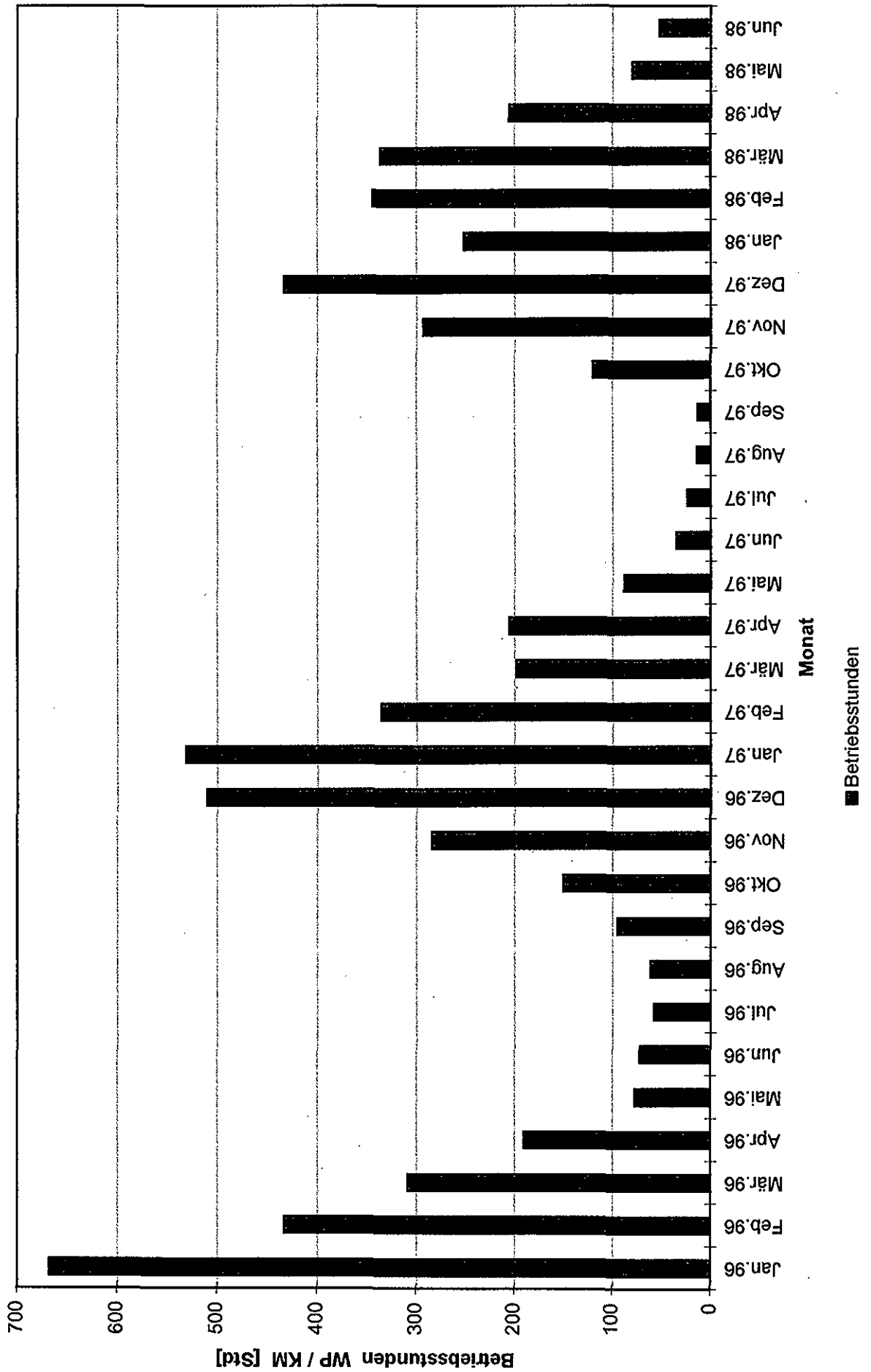
Messstellenschema

- M1: Wärme- und Kälteentzug aus den Sonden
- M2: Rückkühlbetrieb (Abwärme Kältemaschine)
- M3: Wärmeverbrauch
- M4: Kälteverbrauch
- M5: Stromverbrauch
- M6: Gasverbrauch
- M7: Erdreichtemperatur (in 60 m Tiefe, bei Sonde Nr. 26)
- M8: Erdreichtemperaturen (in 30, 60 und 120 m Tiefe, bei Sonde Nr. 28)
- M9: Erdreichtemperaturen (in 30 und 70 m Tiefe, zwischen den Sonden)
- M10: Temperaturen in der Bodenplatte (in 0.2 und 0.5 m Tiefe)

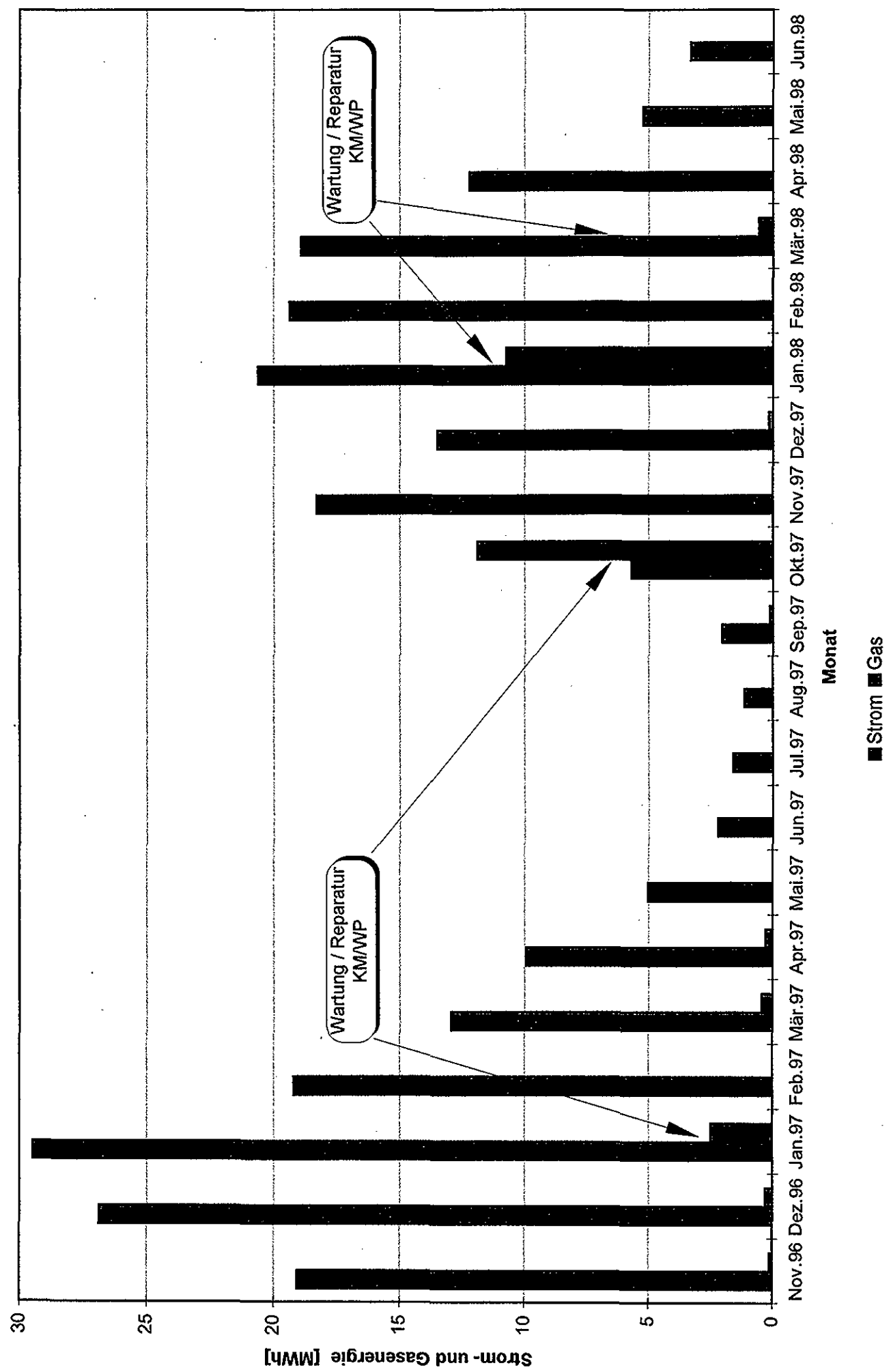


t1: Temperatur Eintritt
t2: Temperatur Austritt

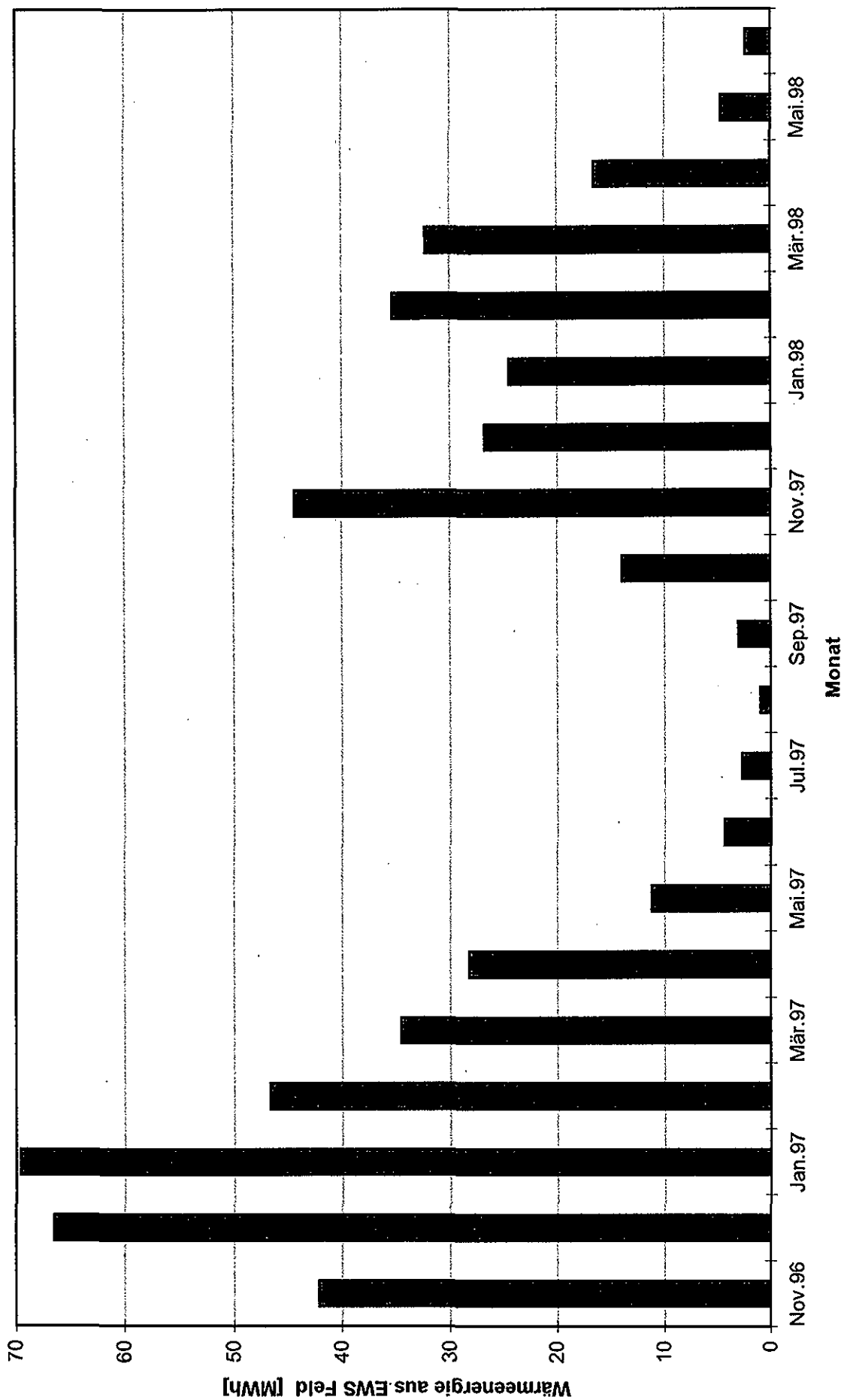
Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Betriebsstunden der Wärmepumpe/Kältemaschine



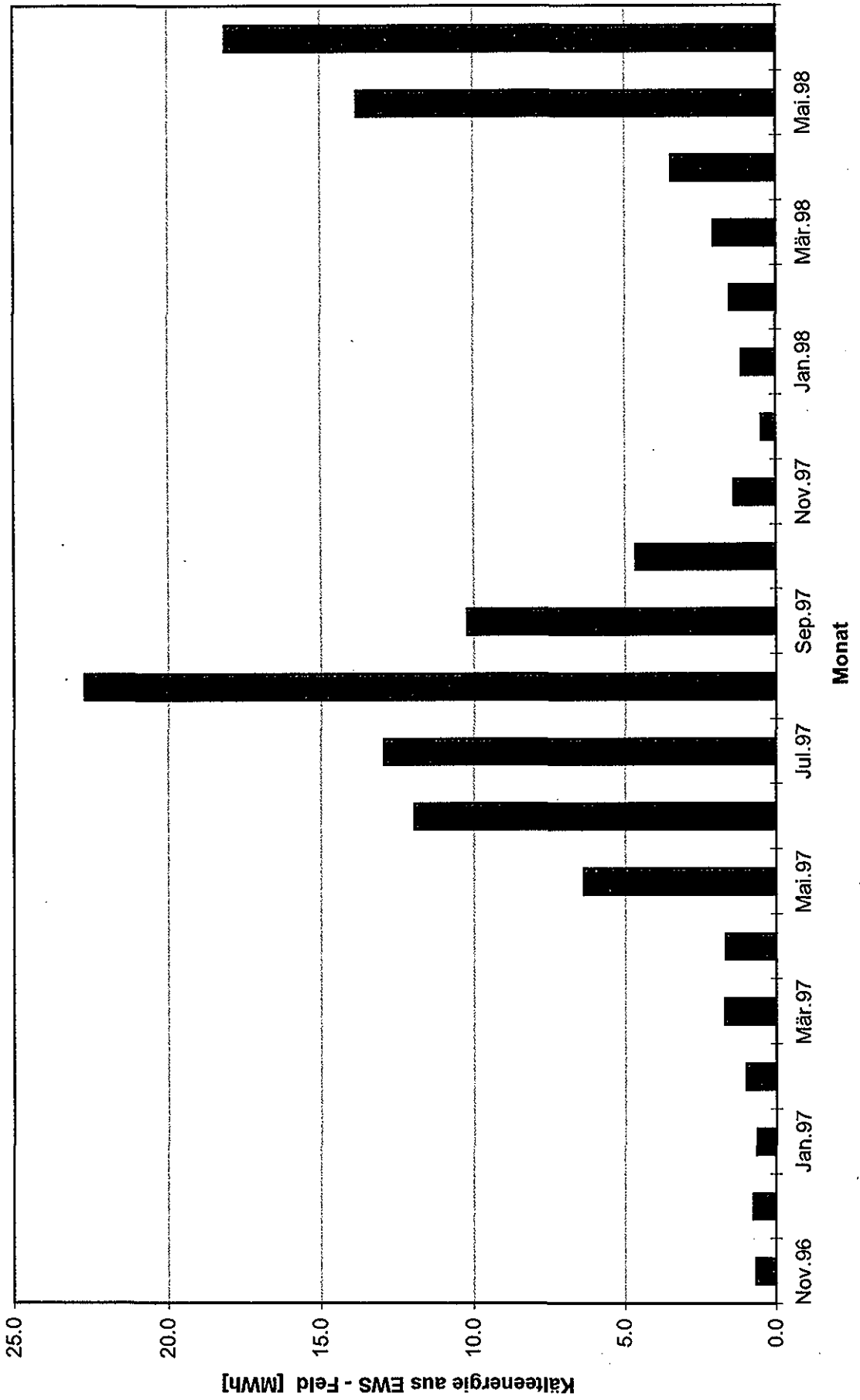
Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Strom- und Gasverbrauch: Monatswerte (input = Primärenergie)



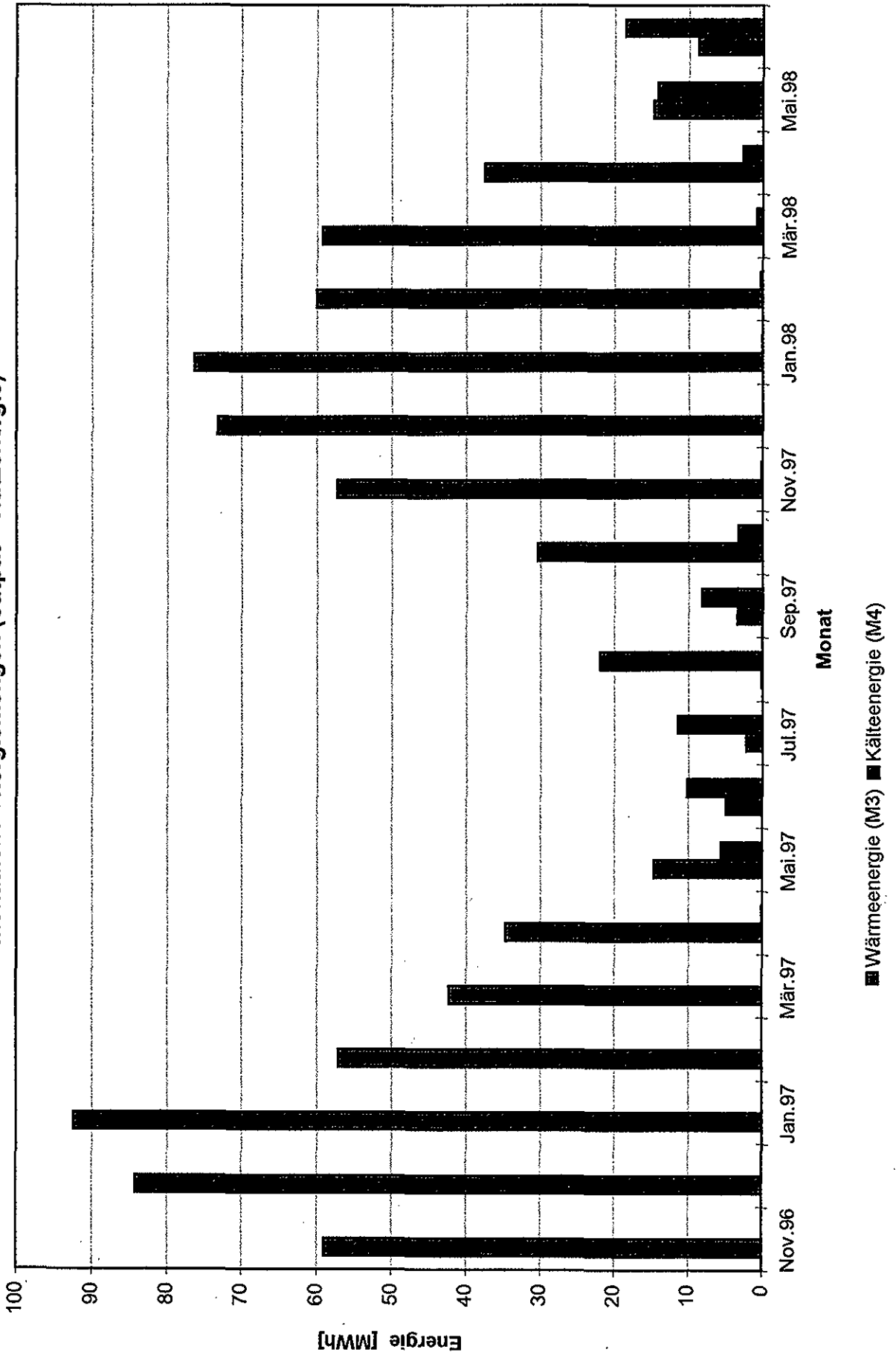
Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Monatliche Wärmeenergie aus dem Erdreich



Meister & Co. AG, Wollerau (SZ) Monatliche Kälteenergie aus dem Erdreich

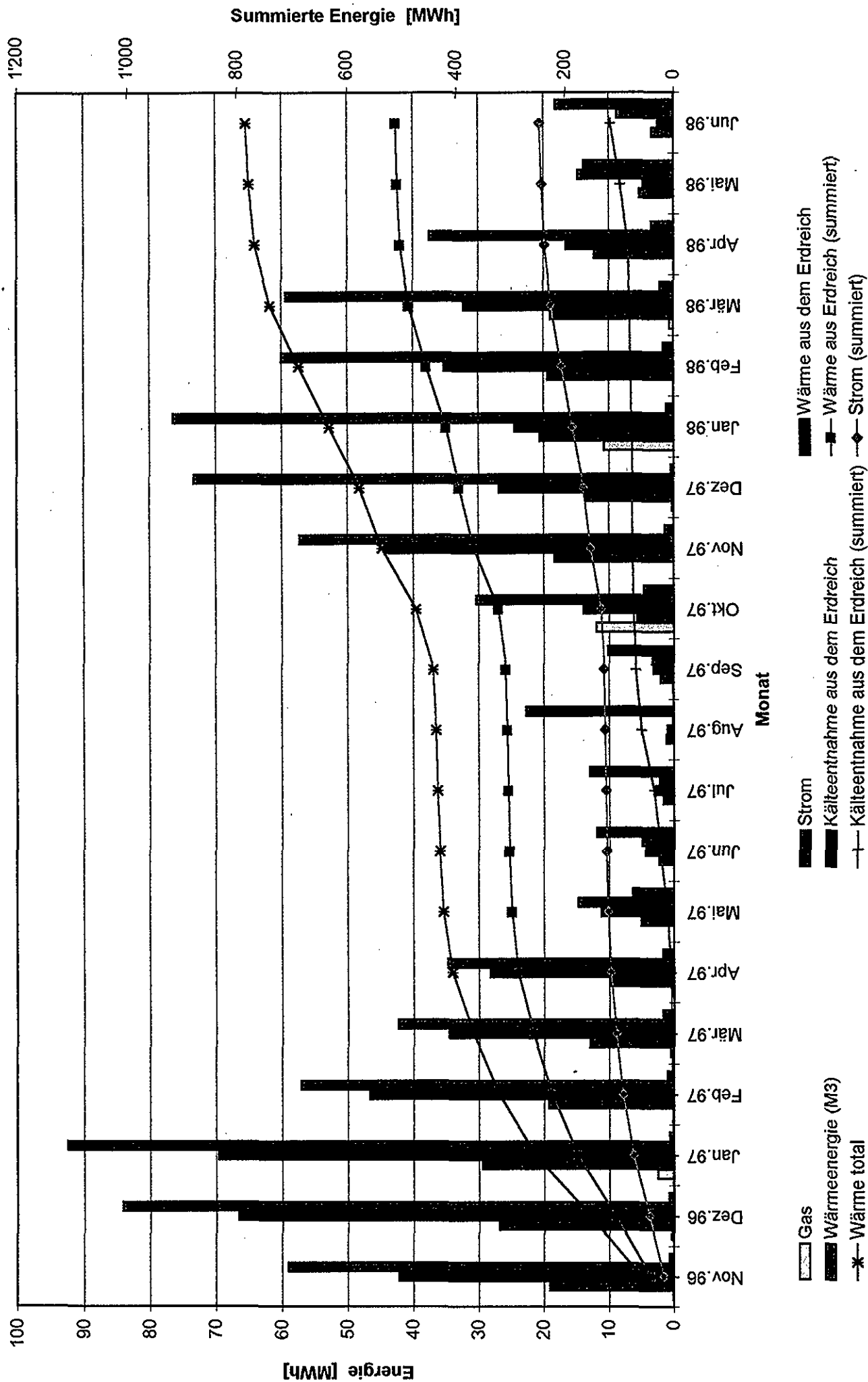


Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Wärme- (M3) und Kältemessung (M4):
monatliche Energiemengen (output = Nutzenergie)

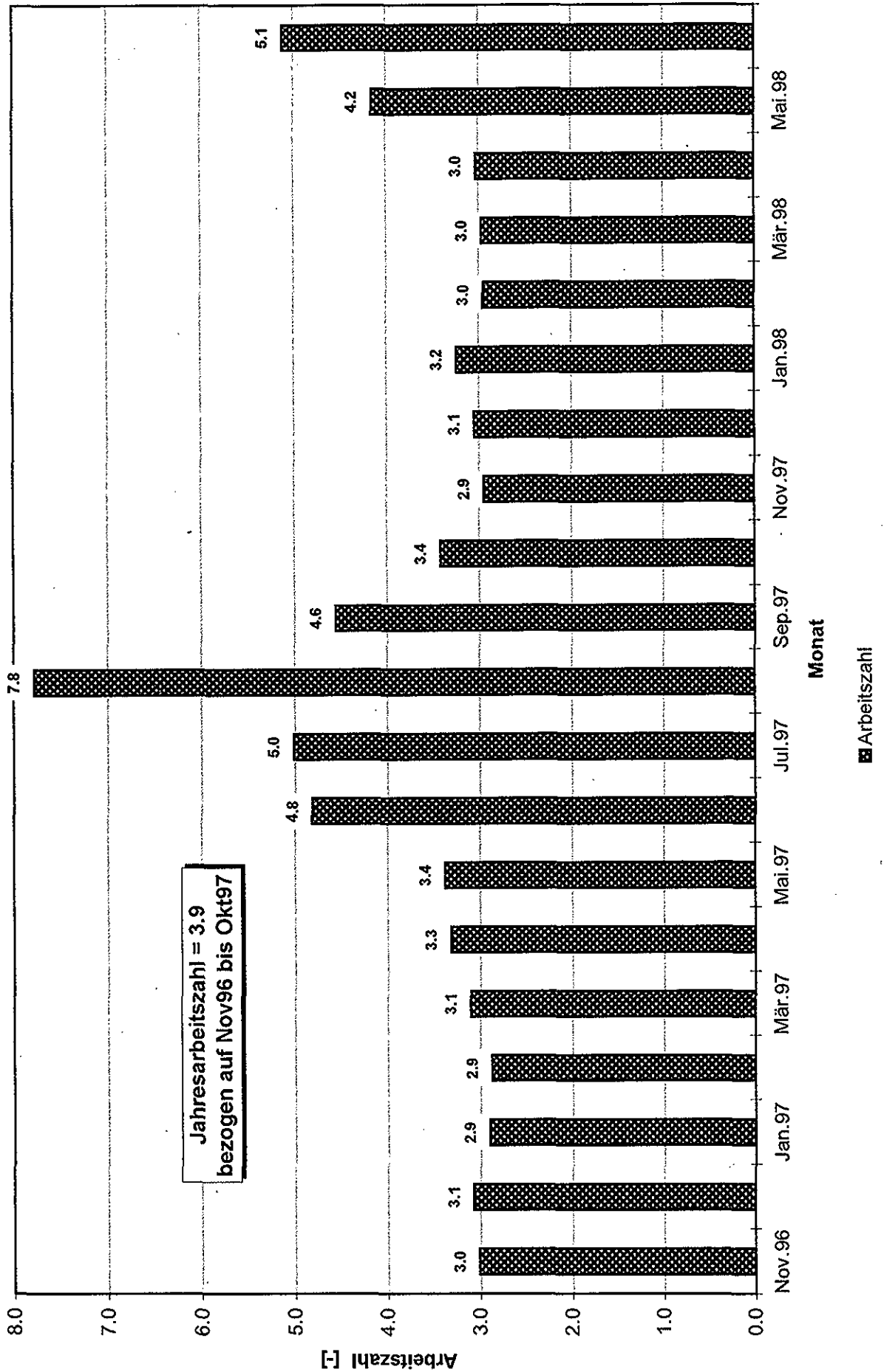


Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Bilanzierung Wärme- und Kälteenergien

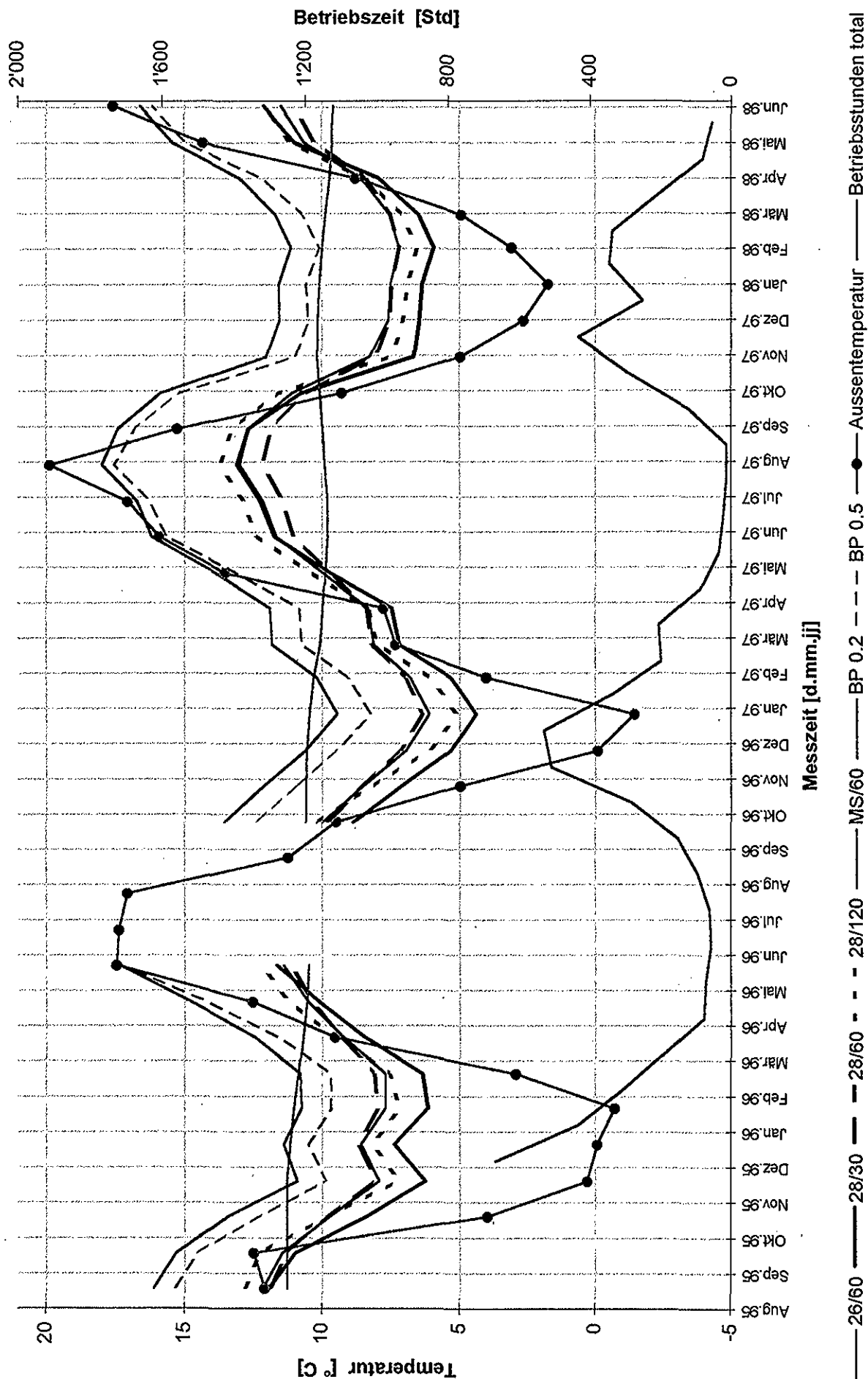
ENERBILZ.XLS/E_erz_3.03.99 CAD3



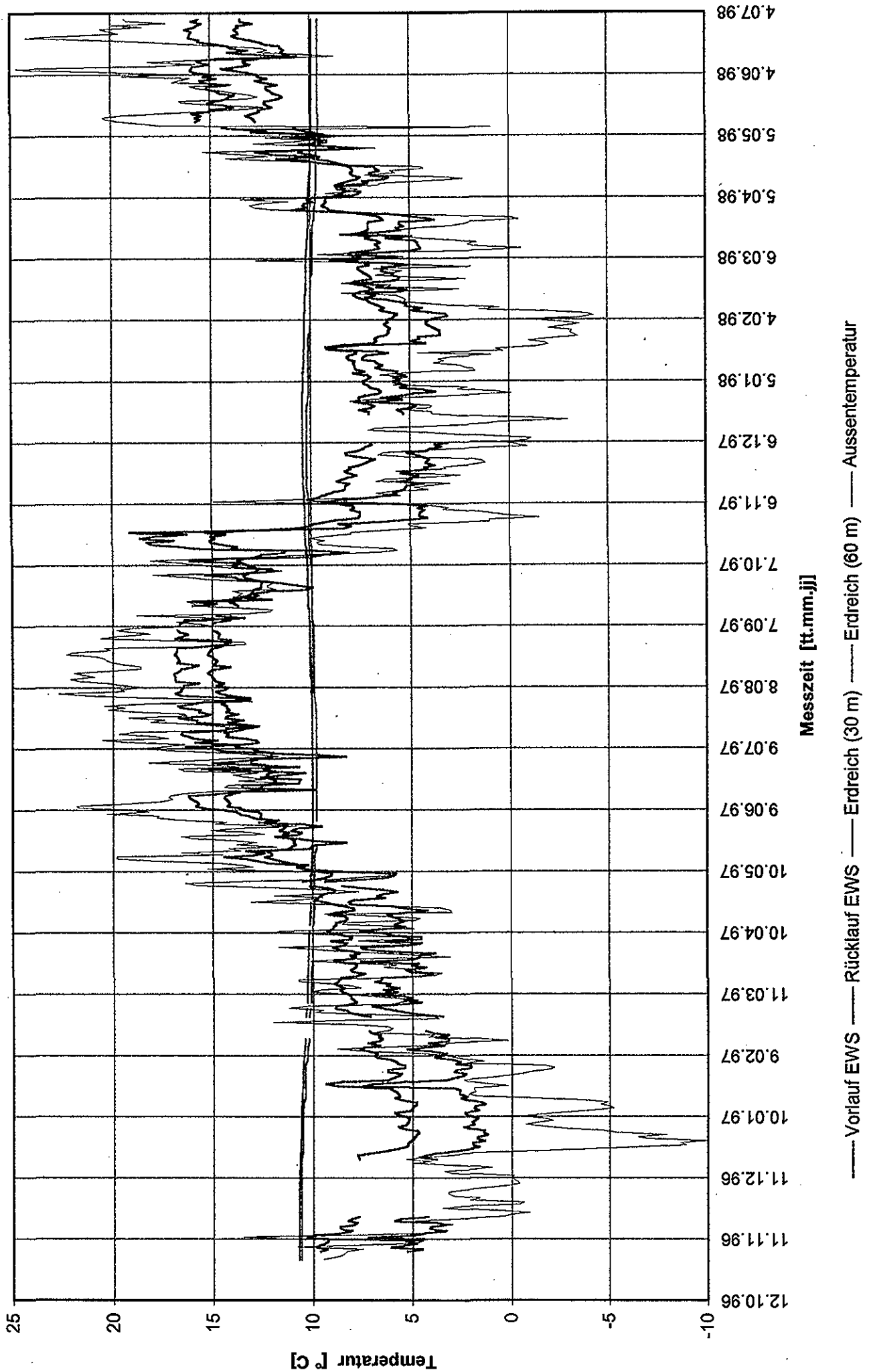
Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Arbeitszahl der Wärmepumpe



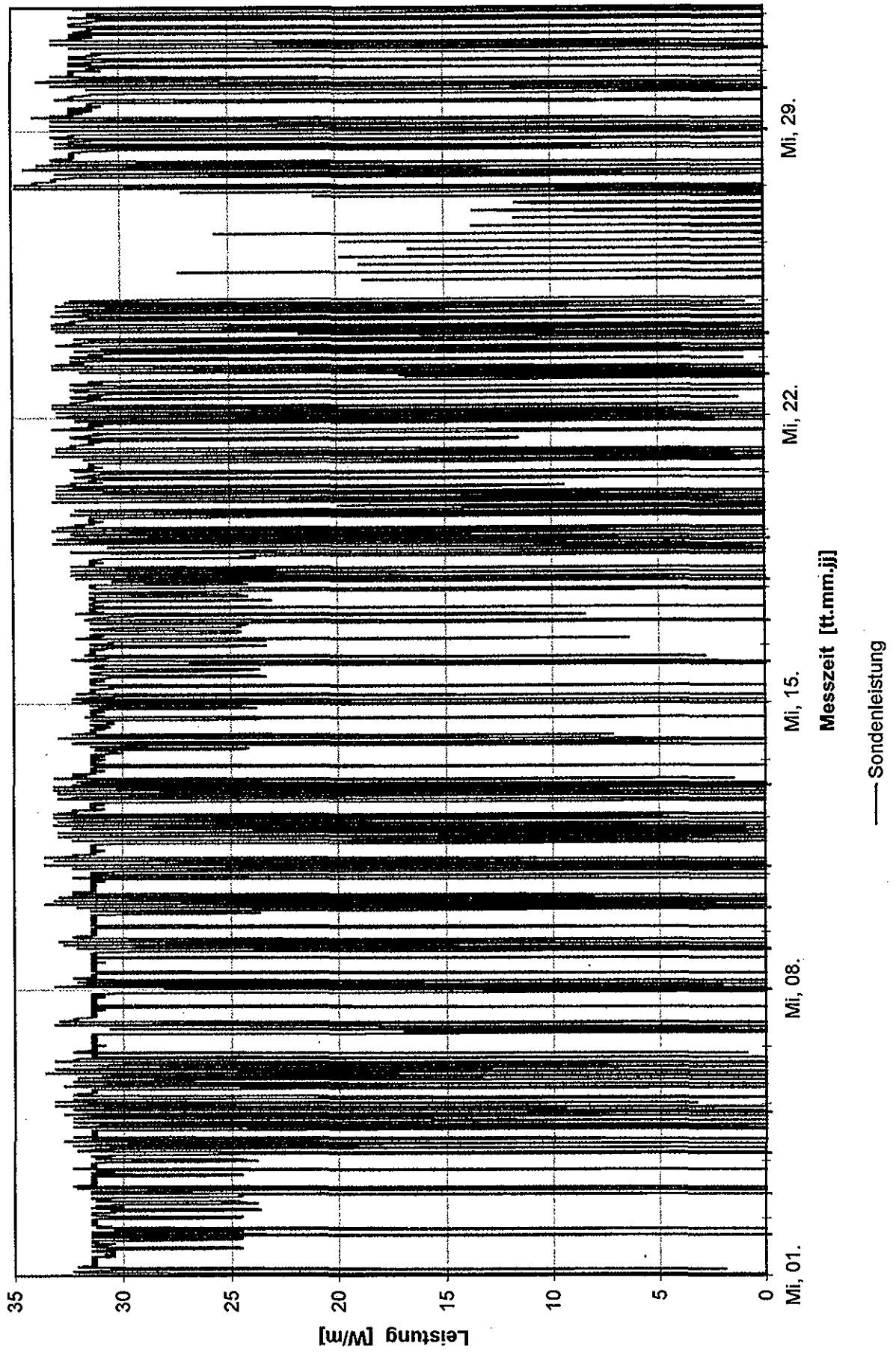
MEISTER & Co AG, Wollerau (SZ)
Monatliche Durchschnittstemperaturen im Untergrund



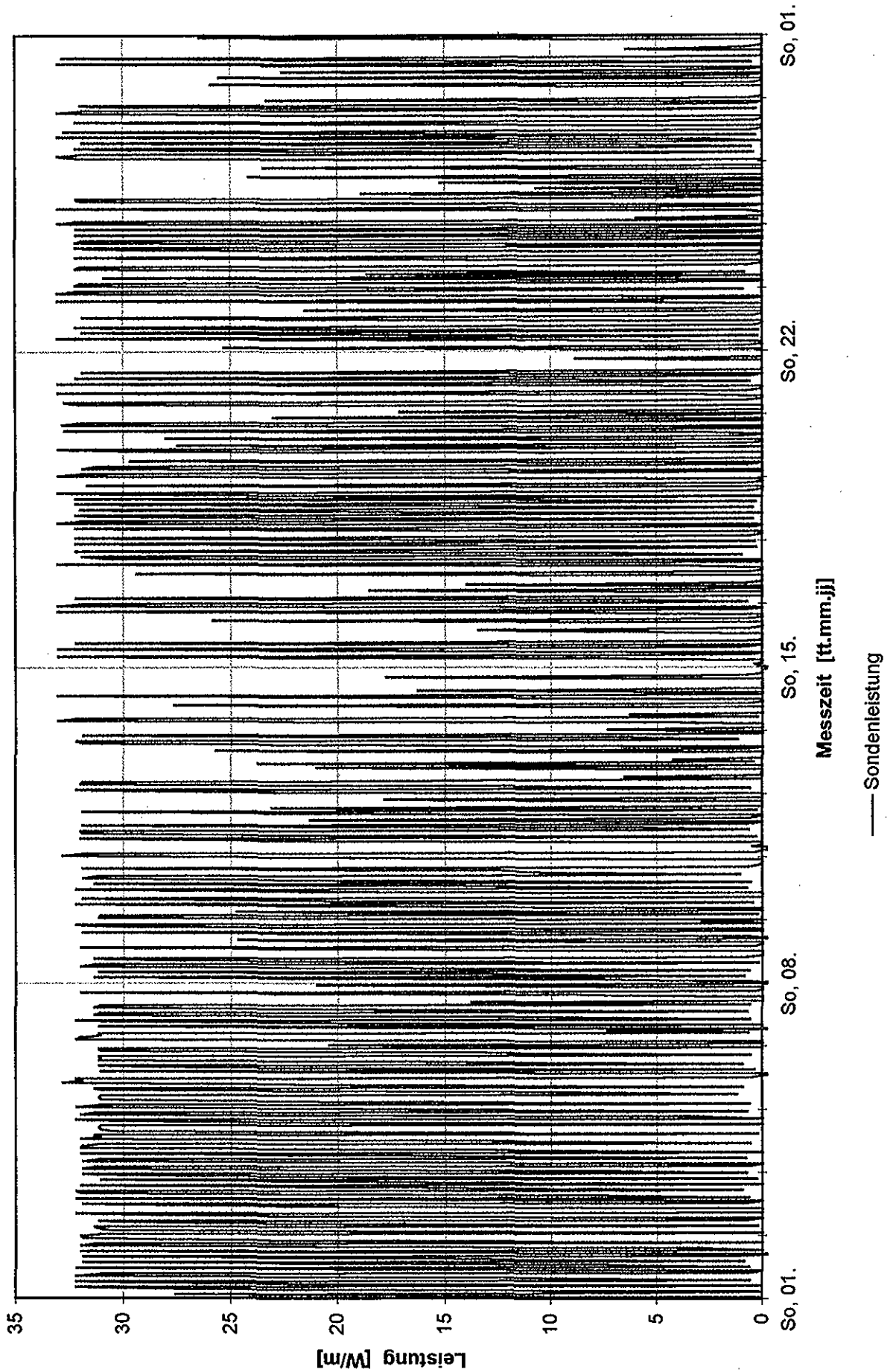
Meister & Co. AG, Wollerau (SZ) Sole- und Erdreichtemperaturen



Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Heizleistungen der Erdwärmesonden im Januar 1997

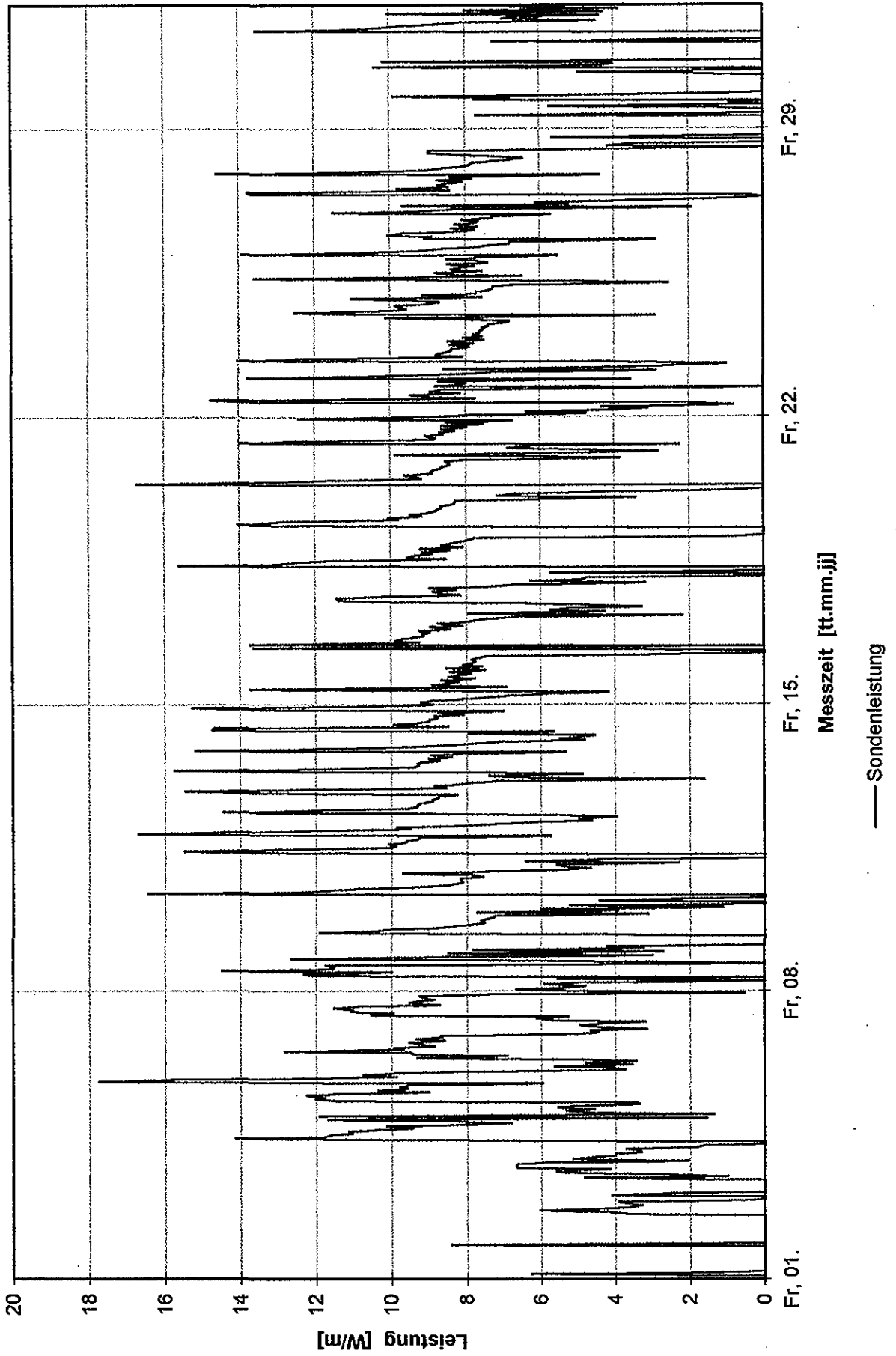


Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Heizleistungen der Erdwärmesonden im Februar 1998

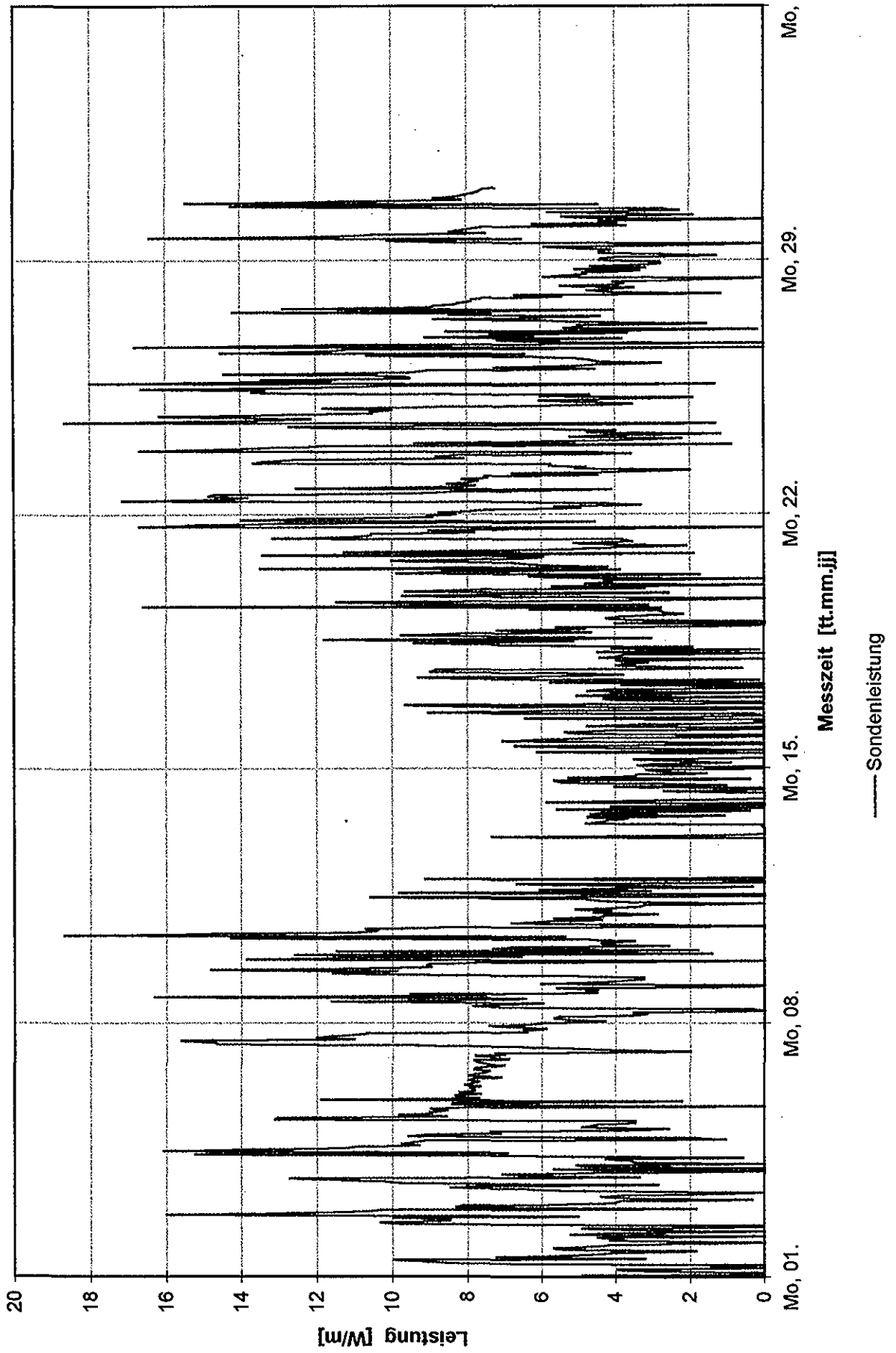


Meister & Co. AG, Wollerau (SZ)
Kühlleistungen der Erdwärmesonden im August 1997

9708.XLS/SondLeist-3.03.99 CAD3



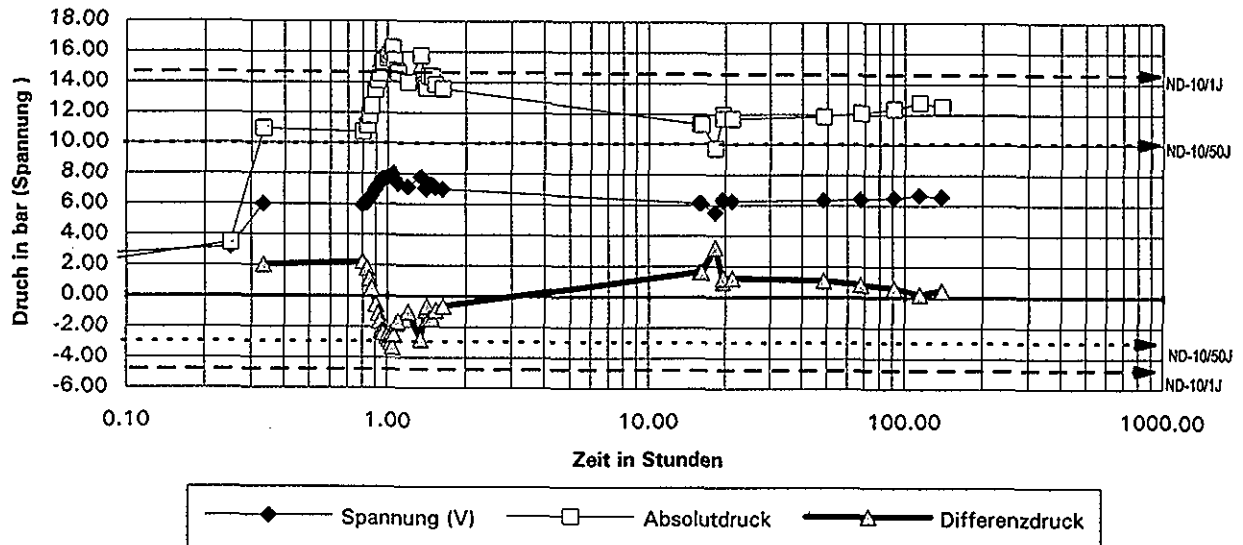
Meister & Co. AG, Wollerau (SZ) Kühlleistungen der Erdwärmesonden im Juni 1998



GRUNDAGDruckmessung Erdsondenfuss Anlage
Meister, Wollerau

Drucksensor	Haenni ED 552/311.271 piezoresistiver Druckmessumformer, Spezialkabel mit Entlüftung 136 Meter
	Druckbereich 0 bis 20 bar, Max. Druck 75 bar, max. Fehler 4.6 mbar, Bürdenwiderstand 470 Ohm
Rahmen- bedingungen	Sonde Nr. 8, 135 Meter Tiefe, Sensor ist auf 132 Meter eingebaut,
	Wasserstand in der Bohrung 32 Meter ab OKT, Aussentemperatur bei Einbau 2°C
	Injektion 1.08 m ³ , 150 kg Zement, 100 kg Bentonit, spez. Gewicht 1170 kg/m ³
	Zement : Portland , PZ35 DIN 1164, Zementwerk Thayngen
	Bentonit : Tixoton Aktiv Bentonit, Süd Chemie AG München

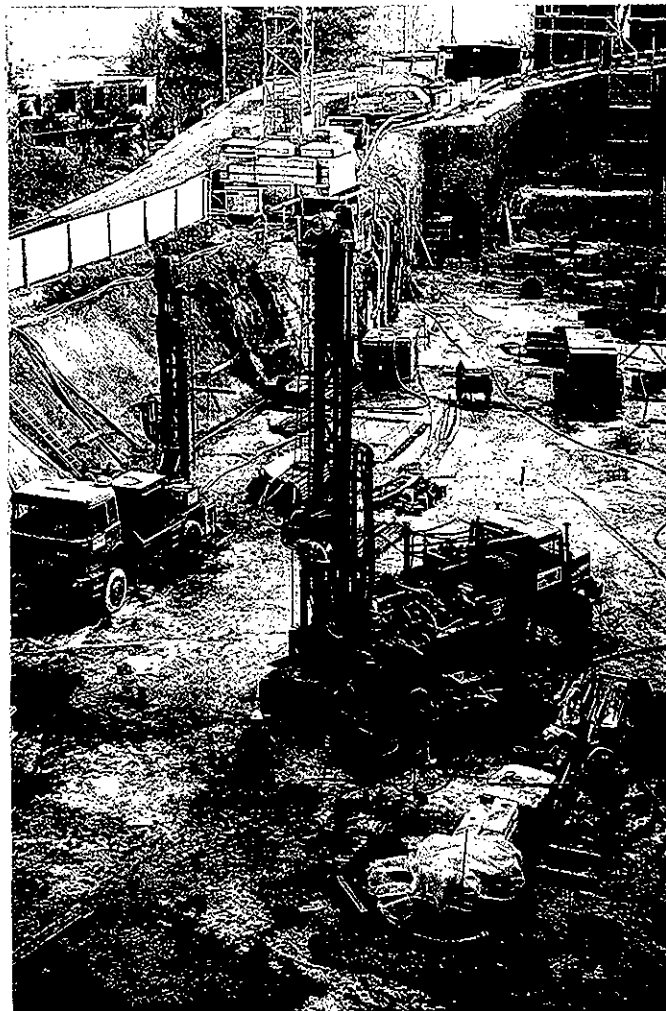
Druckverlauf über Zeit



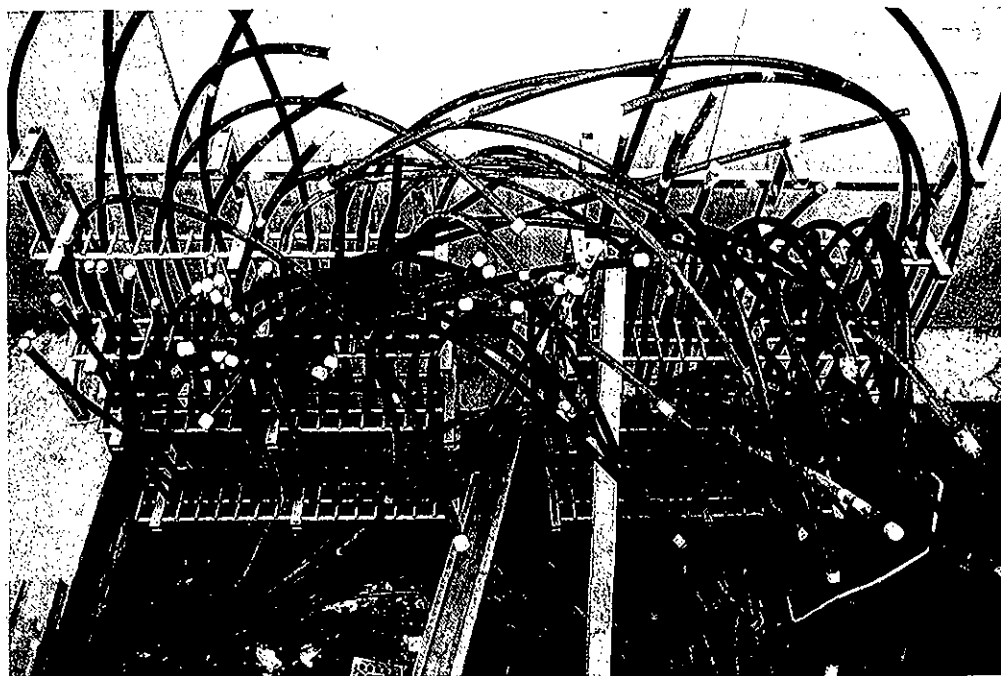
Datum	Zeit	Dauer	Spannung	Druck	Dif.	Bemerkung
		h	V	bar	bar	
18.11.1993	16:00	0.01	1.88	0.00		Einbauvorbereitung, Hohraum Drucksensor mit 65% Polypropylenglykol gefüllt
18.11.1993	16:15	0.25	3.18	3.46		Einbau, Testmessung
18.11.1993	16:20	0.33	5.99	10.93	2.02	Sonde eingebaut, Injektion vorbereiten
18.11.1993	16:48	0.80	5.91	10.72	2.23	Injektion bereit, Wasser aus Loch leicht abgeflossen
18.11.1993	16:50	0.83	6.06	11.12	1.83	Injektion Start, Einpressdruck ca. 10 bar
18.11.1993	16:51	0.85	6.32	11.81	1.14	
18.11.1993	16:52	0.87	6.55	12.42	0.53	
18.11.1993	16:54	0.90	6.95	13.48	-0.53	
18.11.1993	16:55	0.92	7.18	14.10	-1.15	
18.11.1993	16:56	0.93	7.35	14.55	-1.60	
18.11.1993	16:57	0.95	7.60	15.21	-2.26	
18.11.1993	16:58	0.97	7.64	15.32	-2.37	
18.11.1993	17:00	1.00	7.73	15.56	-2.61	
18.11.1993	17:01	1.02	7.80	15.74	-2.80	
18.11.1993	17:02	1.03	7.88	15.96	-3.01	
18.11.1993	17:03	1.05	7.99	16.25	-3.30	
18.11.1993	17:04	1.07	7.68	15.43	-2.48	Stop Injektion, Kluft bei ca. 20 Meter
18.11.1993	17:05	1.08	7.42	14.73	-1.78	
18.11.1993	17:06	1.10	7.36	14.57	-1.63	
18.11.1993	17:12	1.20	7.14	13.99	-1.04	
18.11.1993	17:21	1.35	7.80	15.74	-2.80	Nachinjektion mit 20 bar. Kein Volumenstrom mehr, da Injektion bereits zu fest
18.11.1993	17:24	1.40	7.08	13.83	-0.88	Stop Nachinjektion
18.11.1993	17:25	1.42	7.00	13.62	-0.67	
18.11.1993	17:27	1.45	7.30	14.41	-1.47	Injektion von oben in Kluft 0.5 m ³ (Wanne leer, Injektion nicht vollständig)
18.11.1993	17:29	1.48	7.28	14.36	-1.41	Injektion fließt in Kluft nach
18.11.1993	17:32	1.53	7.09	13.86	-0.91	
18.11.1993	17:38	1.63	6.99	13.59	-0.64	
19.11.1993	07:45	15.75	6.13	11.30	1.65	Injektion hat sich in Kluft verfestigt
19.11.1993	08:02	16.03	6.13	11.30	1.65	
19.11.1993	08:05	16.08	6.13	11.30	1.65	Injektion von oben in Kluft 0.5 m ³



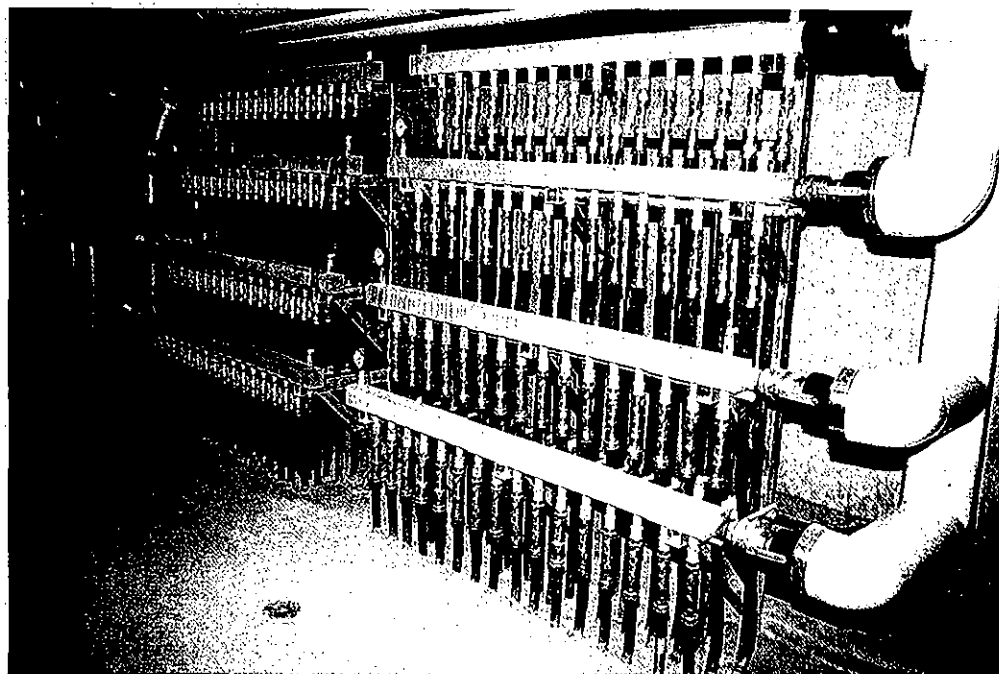
Gebäudeansicht



EWS - Bohrungen



Ausführung der EWS-Rohre beim Verteiler



Fertig angeschlossene Verteiler