

Schlussbericht
Messperiode von März 2003 bis März 2005

EPF – Anlage
Erweiterung Dividella AG, Grabs; Energiepfahlanlage

ausgearbeitet durch
M. Morath
Lippuner Energie- und Metallbautechnik AG
Werdenstrasse 84+86, 9472 Grabs



ZUSAMMENFASSUNG**SUMMARY****RESUME****INHALTSVERZEICHNIS**

SEITE

-	Zusammenfassung / Summary / Resume.....	3 / 4
1	Einleitung / Ziel der Messung	5
2	Grundlagen der Messung	6
21	Erdwärmenutzung	6
22	Geologische und hydrogeologische Grundlagen	6
23	Haustechnik.....	7
231	Technische Daten (Übersicht):	7
232	Wärme- und Kälteerzeugung.....	7
233	Verteilung Wärme und Kälte.....	8
24	Messanordnung.....	8
3	Messauswertung	9
31	Verlauf Witterungstemperatur	9
32	Wärme aus Wärmepumpe und Ölheizkessel.....	9
33	Kälte aus Kältemaschine und Freecooling Energiepfähle	10
34	Ein- und Austrittstemperaturen Energiepfähle	11
35	Temperaturverlauf im Erdreich.....	11
36	Monatliche Energiebilanz der EPF	12
37	Leistungsmessung Wärmepumpen- und Kältemaschinenbetrieb.....	12
371	Wärmepumpenbetrieb.....	12
372	Kältebetrieb.....	12
373	Jahresarbeitszahl (JAZ).....	13
38	Vergleich geplante mit gemessenen Werten	13
39	Wirtschaftliche Betrachtungen.....	13
4	Zusammenfassung und Ausblick	15
	Anhang	16

ZUSAMMENFASSUNG

Die Messungen über zwei Jahre haben gezeigt, dass das realisierte Konzept mit den verschiedenen Betriebsarten sehr gut funktioniert. Die idealen Voraussetzungen für Wärme- und Kältenutzung mit Energiepfählen und Einbindung einer Wärmepumpe sind bei einem Fabrikationsbetrieb gegeben.

Sehr positiv ist der Freecooling-Betrieb im Hochsommer, der auch im Jahrhundertsommer 2003 täglich einen grossen Anteil der erforderlichen Kälteenergie aus dem Erdreich gebracht hat. Im „normalen“ Sommer 2004 hat über ein Jahr gemessen ca. 80% der Kälteenergie durch Freecooling oder Doppelnutzung (nutzbare Kühlenergie im Heizbetrieb) aus den Energiepfählen erbracht werden können.

Die Ein- und Austrittstemperaturen der Energiepfähle zeigen bei beiden Jahren einen ausgeglichenen Verlauf. Ein Absinken der Pfahleintrittstemperatur in Richtung der Frostgrenze ist nicht zu befürchten. Beim Temperaturverlauf im Erdreich ist nach zwei Jahren eine leicht sinkende Tendenz ersichtlich. Dies lässt sich mit dem Ungleichgewicht zwischen Kälterückgabe (80 MWh) und dem Kälteentzug (51 MWh) erklären. Mit vermehrtem Freecooling-Betrieb im Sommer wird sich dies in den nächsten Jahren ausgleichen.

Von der gesamten Wärmemenge von 783 MWh stammen 48% vom Wärmepumpenbetrieb. Dieser hat im zweiten Messjahr abgenommen, da im Neubau mehr Produktionswärme angefallen ist. Der Ölverbrauch beim Altbau ist in beiden Vergleichsjahren konstant geblieben.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) ist mit Berücksichtigung von Freecooling aus dem Erdreich bei 3.7. Im Wärmepumpenbetrieb ist die JAZ infolge der hohen Vorlauftemperaturen nur bei 2.6.

Die Wirtschaftlichkeit dieses Systems schneidet sehr gut ab. Die jährlichen Betriebskosten der Anlage betragen CHF 23'000.00 und stehen CHF 35'000.00 gegenüber, die mit Heizkessel und Kältemaschine aufgewendet werden müssten. Die gute Wirtschaftlichkeit ist einerseits der „Gratisenergie“ aus dem Erdreich und andererseits dem hohen Heizölpreis zu verdanken.

SUMMARY

Measurements collected over a period of two years have shown that the selected concept with its various modes of operation works very well. The ideal conditions for heating and cooling utilization, using energy-piles in combination with a heat pump, are realized during manufacturing operations.

Freecooling operation during midsummer, which even during the extremely hot summer of 2003 has delivered a large part of the required cooling energy from the ground, has been noted very positively. During 2004 with its more typical summer, approx. 80% of the cooling energy, measured over a period of one year, was provided by freecooling or combined usage (i.e. usable cooling energy in heating mode), utilized from the energy-piles.

The entry and exit temperatures of the energy-piles show a balanced distribution for both years. There is no concern of a cooling down of the energy-pile entry temperature towards freezing point. The ground temperature gradient shows a tendency toward a slightly lower temperature. This can be explained by the imbalance between return (80MWh) and withdrawal (51 MWh) of cooling energy. This will be equalized during the following years by an increase of freecooling operation.

Of the total supplied heating energy of 783 MWh, 48% were delivered by the heat pump. In the second year of measurements this was reduced, as more heat energy accrued due to manufacturing operation in the new building. The consumption of heating fuel for the old building has been constant over both reference years.

The Coefficient of Performance* (COP) for the system is, while taking consideration of freecooling from the ground, at a value of 3.7. For heat pump operation, due to high flow temperatures, the COP value is at 2.6.

The economic efficiency of this system scores very well. The yearly operating costs of the facility are CHF 23'000.00 vs CHF 35'000.00 that would be spent if operating with a boiler and refrigeration machine. This profitability is obtained thanks to the “free” energy from the ground, then again by the high price for heating fuel.

* *Ratio of heating performance (output) to electrical energy (input) for the year*

RESUME

Les mesures sur deux ans ont montré que le concept réalisé avec ses différents modes de fonctionnement marche très bien. Les conditions idéales pour l'utilisation de la chaleur et du froid avec des pieux énergétiques couplés à une pompe à chaleur sont données par les processus de fabrication de l'entreprise.

Le fonctionnement en freecooling en plein cœur de l'été a donné entière satisfaction. Durant l'été particulièrement chaud en 2003, il a permis d'évacuer dans le terrain une grande part de la demande d'énergie de refroidissement. Pour un été « normal » comme en 2004, les mesures ont montré que environ 80% de la demande d'énergie annuelle de refroidissement peut être couverte par freecooling ou utilisation double (énergie utile de refroidissement servant pour le chauffage) sur les pieux énergétiques.

Les températures du fluide à l'entrée et à la sortie des pieux énergétiques ont montré pour les deux ans un profil analogue. Il n'est pas à craindre un abaissement de la température du fluide à l'entrée du circuit des pieux qui la ferait passer sous la limite du gel. Après deux ans de service, la température à l'entrée des pieux n'a montré qu'une faible tendance à la baisse. Ceci s'explique avec le bilan annuel d'énergie extraite (80 MWh) et injectée (51 MWh) qui n'est pas équilibré. Pour les années à venir, l'augmentation du fonctionnement en freecooling permettra d'équilibrer ce bilan.

De la quantité de chaleur totale (783 MWh), 48% a été produit par la pompe à chaleur. Ce pourcentage a baissé la deuxième année de fonctionnement, en raison d'une production de chaleur supérieure générée par les processus de fabrication du nouveau bâtiment. La consommation de mazout pour le vieux bâtiment est restée constante pour les deux années de mesure.

Le coefficient de performance annuel* (COPA) du système se monte, en tenant compte du freecooling avec le terrain, à 3.7. En raison de la température de départ pour la distribution de chaleur élevée, le COPA de la pompe à chaleur ne vaut que 2.6.

L'aspect économique du système est très avantageux. Les coûts annuels de fonctionnement de l'installation se montent à CHF 23'000.- et serait de CHF 35'000.- si un chauffage au mazout avec une machine frigorifique avait dû être utilisé. Cet avantage économique est à attribuer d'une part à l'énergie « gratuite » donnée par le terrain et d'autre part au prix élevé du mazout.

* *Ratio entre l'énergie thermique délivrée (output) et l'énergie électrique consommé (input) pendant une année*

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

1 EINLEITUNG / ZIEL DER MESSUNG

Die Dividella AG in Grabs ist ein Produktionsbetrieb von Pharma-Verpackungsmaschinen mit Produktions-, Lager- und Verwaltungsflächen. Der Altbau aus dem Jahre 1981 ist neu vor allem mit Produktions- und Lagerflächen zweistöckig im 2003 erweitert worden. (s. Situationsplan im Anhang)

Aus statischen Gründen ist auch für die Erweiterung eine Pfahlfundation notwendig. Es ist nahe liegend, das statische Tragelement ohne grossen Mehraufwand zur alternativen Energiegewinnung heranzuziehen. Die neue Fabrikationshalle benötigt produktionsbedingt auch eine Kühlung, sodass das Potential der Erdwärme sowohl zur Beheizung als auch zur Kühlung des Gebäudes genutzt werden kann. Mit einer Wärmepumpe wird im Winter geheizt und in der Übergangszeit wird die „gespeicherte“ Kälteenergie für die Produktion aus den Energiepfählen (abgekürzt: EPF) entnommen. Sofern dies nicht ausreicht, muss die Wärmepumpe auch als Kältemaschine eingesetzt werden.

Hauptziel der Messung ist zwischen Beheizung und Kühlung ein Optimum zu finden und die Anlage in den ersten beiden Betriebsjahren energetisch zu überwachen. Damit dies möglich ist, sind Aufzeichnung der wichtigsten Grössen notwendig.

Folgende Auswertungen sind mit der installierten Messung ausgeführt worden:

- Ein- und Austrittstemperaturen der Energiepfähle
- Erdreichtemperaturen
- Monatliche Energiebilanz der EPF-Anlage
- Leistung Wärmepumpe / Kältemaschine
- Berechnung Leistungsziffer / Jahresarbeitszahl
- Vergleich geplante mit gemessenen Werten
- Wirtschaftliche Betrachtungen

2 GRUNDLAGEN DER MESSUNG

21 ERDWÄRMENUTZUNG

Die angebauten Produktion- und Lagerflächen betragen rund 2'100 m², welche auf insgesamt 177 Pfählen steht. Die Pfahltraglast wurde mit 800 kN (Grösse 30 x 30 cm) und 1'000 kN (Grösse 35 x 35 cm) vom Statiker angegeben. Die Pfahltiefe beträgt bei allen Pfählen 24 m. Als Energiepfähle ausgebildet wurden alle 800kN Fertigbetonpfähle von Total 160 Stück und von der Firma Nägelebau AG versetzt. Die aktive Energiepfahllänge ist also 3'840 m. (s. Pfahlplan im Anhang)

Im Gegensatz zur Nachbarfirma Pago AG (ca. 200m Distanz), welche im Jahre 1995 auch auf Energiepfählen von derselben Firma gebaut wurde, konnten hier neu die Energiepfähle energetisch auf der ganzen Länge gekoppelt werden, d.h. jeder Pfahl ist aus zwei Teilen à 12 m zusammengesetzt. Hydraulisch sind sie in der unteren Pfahlhälfte aus je acht Polyäthylen (PE) Wärmetauscherrohre (8-fach) und in der oberen Pfahlhälfte mit je sechs PE-Rohre (6-fach) bestückt. Jede Pfahlhälfte hat man bis zum Verteiler separat geführt und erst dort seriell gekoppelt, um bei einer defekten Rohrleitung nicht gleich den ganzen Energiepfahl zu verlieren. (s. Prinzip gekoppelte Nägele-Energiepfähle im Anhang)

In den PE-Rohren zirkuliert ein Wasser-Ethylenglykol Gemisch. Die Pfähle nehmen je nach Jahreszeit die Wärme- respektive Kälteenergie aus dem Erdreich auf und geben sie dem Nutzer direkt ab oder an die Wärmepumpe weiter.

Damit nur wenig Energie von der horizontalen Leitungsführung über die Bodenplatte in die oben liegenden Räume abfliesst, wurde unter der Bodenplatte eine Wärmedämmung von 8 cm Stärke angebracht. Zudem sind auch die gesetzlichen Anforderungen bezüglich der U-Werte der Gebäudehülle einzuhalten.

22 GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE GRUNDLAGEN

Das geologische Gutachten beschreibt eine vielfältige und mächtige Wechselfolge kiesig-sandiger Bach- und Flussablagerungen sowie lehmig-torfige Verlandungs sedimente. Die Stärke der einzelnen in sich homogenen Schichtglieder schwankt auf engstem Raum zwischen wenigen Dezimetern und mehreren Metern. Das Gebäude muss auf einer Pfahlfundation gebaut werden. Eine konventionelle Flachfundation ist wegen den Setzungsrisiken nicht möglich.

Aus Sicht der Grundwasserverhältnisse wirken praktisch sämtliche vorhandenen Kies-Sandschichten im unteren Bereich als Grundwasserleiter mit relativ beträchtlichem Grundwasserzufluss.

Da sich die Geologie sehr abwechslungsreich und kompliziert anbietet, wurde eine Annahme bei der Simulationsberechnung getroffen: mittlere Wärmekapazität 2.5 MJ/m³ und mittlere Wärmeleitfähigkeit Lambda von 2.2 W/mK. Ein Responstest wurde nicht durchgeführt.

Die lehmig-torfigen Verlandungs sedimente müssen bei der Leitungsführung generell als hochgradig setzungsempfindlich berücksichtigt werden. Deshalb wurde die horizontale Verteilung zu den Energiepfählen über ein Gitternetz an die Bodenplatte aufgehängt (in den Fotos im Anhang ersichtlich). Damit lässt sich vermeiden, dass bei Setzungen die Wärmetauscherrohre nicht abgesichert werden.

23 HAUSTECHNIK

231 Technische Daten (Übersicht):

Heizleistung WP:	235 kW
Heizleistung Ölkessel:	175 kW
Kälteleistung KM:	183 kW
Vor- / Rücklauf WP:	48°/35°C
Vor- / Rücklauf Rückkühler:	45°/40°C
Vor- / Rücklauf Verdampfer:	16°/10°C
Vor- / Rücklauf Verbraucher:	16°/13°C
Aktive Energiepfahlänge:	3'840 m (=160 x 24m)
Nutzbares Erdvolumen:	ca. 75'000 m ³
EPF-Kreislauf:	Wasser/Glykol – Gemisch bis -8°C (Basis Ethylenglykol)
Kreislauf Rückkühler:	Wasser/Glykol – Gemisch bis -10°C (Basis Ethylenglykol)

232 Wärme- und Kälteerzeugung

Als Wärmeerzeugung für die Erweiterung dient eine Wärmepumpe, welche die Kälteenergie über die Energiepfahlanlage abgibt. Die Wärmepumpe kann im Sommer umgekehrt als Kältemaschine betrieben werden.

Im Altbau ist die alte Ölheizungsanlage für die bestehenden Gebäudeteile in das System der neuen WP-Anlage integriert worden. In der Übergangszeit beliefert die WP-Anlage auch den Altbau mit Wärme. (s. Grob-Prinzipschema im Anhang).

Folgende Betriebszustände sind mit der Energieerzeugungsanlage möglich:

Heizen mit WP

In der Übergangszeit kann die Wärmepumpe den Anbau und den Altbau zusammen mit Wärme versorgen. Dabei wird dem Energiepfahl Wärme entzogen und das Erdreich abgekühlt.

Heizen mit WP und Ölkessel

Da beim Altbau die Raumheizung mit hohen Vorlauftemperaturen gebaut wurde, kann bei Temperaturen unter ca. 7°C die Wärmepumpe nicht mehr wirtschaftlich die gesamte Wärmemenge erbringen. Der Altbau wird dann wie früher mit der Ölheizung beheizt und die Wärmepumpe versorgt dann nur noch den Neubau mit Wärme. Dabei wird dem Energiepfahl Wärme entzogen und das Erdreich abgekühlt.

Kühlen mit EPF (Freecooling)

Durch den Wärmepumpenbetrieb im Winter ist das Erdreich im Frühjahr abgekühlt. Es kann bei Kältebedarf direkt von den Energiepfählen ohne Fremdenergie gekühlt werden. Dies nennt man Freecooling und geschieht so lange, bis die Vorlauf-Temperaturen nicht mehr die notwendige Kühlenergie erbringen können.

Kühlen mit EPF und Kältemaschine

Sobald der Freecooling-Betrieb nicht mehr ausreicht, muss die Kältemaschine die zusätzliche Kälteenergie beimischen. Dabei wird die nicht nutzbare Kondensatorwärme über den Rückkühler an die Aussenluft und nicht ins Erdreich abgegeben. Durch den Kältemaschinenbetrieb ohne Freecooling kann sich das Erdreich wieder regenerieren.

Kühlen mit Kältemaschine

Im Herbst (oder an aufeinander folgenden warmen Sommertagen) ist das Erdreich erschöpft und es ist nicht mehr möglich, mit Freecooling zu fahren. Die Kältemaschine muss dann die gesamte Kühlleistung übernehmen. Je nach Menge der bezogenen Kälteenergie kann sich das Erdreich jedoch rasch wieder regenerieren.

233 Verteilung Wärme und Kälte

Die Wärmeverteilung erfolgt über einen 3'500 Liter grossen Heizungsspeicher zu den bestehenden Heizgruppen Altbau und Neubau Heizkörper sowie der Gruppe Luftheritzer.

Die Kälte wird ebenfalls über einen technischen Speicher mit 2'500l Inhalt zu den Luftkühlern geführt.

24 MESSANORDNUNG

Die Messanordnung der Zählereinrichtungen ist aus beiliegendem Grob-Prinzipschema ersichtlich.

An der Wärmepumpe / Kältemaschine ist eine Strommessung und eine Kältemessung installiert. Die nutzbare Wärme, welche über den Speicher fliesst, wird ebenfalls gemessen. Die Wärme, welche im Sommer beim Kältemaschinenbetrieb über den Rückkühler an die Umgebung abgegeben wird, ist nicht relevant und wird auch nicht gemessen.

Im weiteren wird die Kälte zum Verbraucher gemessen, welche entweder die Kälteenergie aus den Energiepfählen oder von der Kältemaschine holt.

Der bestehende Ölheizkessel wird mit einem Ölzähler erfasst.

Die Temperaturen über die Energiepfähle und die Erdreichtemperaturen in 1.0m und 12.0m Tiefe sind ebenfalls Teil der Aufzeichnung.

Aus dieser Messanordnung lassen sich die Wärme- und Kältemengen, Leistungsgröße WP/KM und Temperaturverlauf von Erdreich und EPF-Ein-/Austrittstemperaturen ermitteln und auswerten.

3 MESSAUSWERTUNG

Die Messauswertungen besteht hauptsächlich aus den Aufzeichnungen von Temperaturen und der Aufteilung von Wärmepumpen-, Kältemaschinen- und Freecoolingbetrieb über die ganze Messdauer von zwei Jahren. Zudem sind punktuelle Messungen der Wärmepumpe durchgeführt worden.

Der Messbeginn im März 2003 konnte erst nach der ersten Einregulierungszeit erfolgen. Auch sind durch Stromausfälle, Rückstellungen (Resets) bei den Regeleinheiten zB. durch Umprogrammierungen und einem Defekt der Festplatte einige Daten verloren gegangen, sodass keine lückenlose Aufzeichnung im ersten Halbjahr möglich war. Dank dem Einsatz einer USV-Anlage (unterbruchslosen Stromversorgung) und dem täglichen Neustarten konnten die Messlöcher eliminiert werden.

31 VERLAUF WITTERUNGSTEMPERATUR

Die Aussentemperatur wird an der Metallfassade Nord-Nordost aufgenommen.

Die gesamte Messperiode ist im Anhang als Diagramm anhand der Tages-Mittelwerten aufgezeichnet.

In der betrachteten Messperiode vom 01.03.03 bis 31.08.03 sind im Sommer aussergewöhnlich hohe Temperaturwerte gemessen worden. So sind im Juni und vor allem im August über mehrere Tage aufeinander folgende Hitzetage von über 33°C vorgekommen. Mit diesen aussergewöhnlichen Werten (Jahrhundertsommer 2003) ist ein Vergleich mit einem Mittelwert eines üblichen Sommers, wie in der Simulation angenommen, nicht mehr möglich. Erst der zweite Messsommer im 2004 kann als „normal“ angesehen werden.

Bezüglich der beiden Winterperioden liegen die mittleren Aussentemperaturen im Winter 04/05 etwas tiefer als im Winter 03/04. Dies zeigt sich in den Heizgradtagen von Vaduz mit einer Differenz von 5%.

32 WÄRME AUS WÄRMEPUMPE UND ÖLHEIZKESSEL

Bei der Wärmeerzeugung über die gesamten 2 Jahre kommt rund 15% mehr Wärmeenergie aus dem Ölkkessel als aus der Wärmepumpe. (s. Diagramm „Monatlicher Wärmeverbrauch März 03 bis Feb 05“). Dies ist jedoch differenzierter zu betrachten:

Im Frühjahr 2003 (März bis Juni) hatten wir es mit einer defekten Wärmepumpe zu tun (siehe auch Kapitel „Leistungsmessung Wärmepumpen- und Kältemaschinenbetrieb“). Die Diagramme „Wärmeerzeugung aus der WP“ und „Wärmeerzeugung aus Heizkessel“ zeigen vor allem im März eine höhere Leistung beim Ölkkesselbetrieb. Die Diagramme zeigen in diesen Monaten die max. Wärmepumpenleistung von rund 60 kW infolge des Defekts. (Diese Leistung ist eine stündliche Durchschnittsleistung, begründbar aus der Aufzeichnungs-Periode von Messpunkt zu Messpunkt)

Im Winter 03/04 ist dann ein normaler Betrieb ersichtlich. Die erzeugte Wärmemenge von Heizkessel und Wärmepumpe halten sich in etwa die Waage.

Bei der monatlichen Wärmeerzeugung der Wärmepumpe im Winter 04/05 (Messperiode zwischen September bis Februar) kann man eine Abnahme des gesamten Wärmeverbrauchs feststellen, obwohl aus der Sicht der Heizgradtage eine leichte Zunahme von 5% zu verzeichnen ist. Dies ist der verlängerten Betriebszeit in der Produktion zuzuschreiben, welche auch zu einer erhöhten Wärmelast führte. Die Abwärme aus den Maschinen wird via WRG der Lüftungsanlage zurückgewonnen und muss nicht mehr mit der WP erzeugt werden. Dadurch ist eine verminderde Wärmeerzeugung mit der WP ersichtlich. Da der Heizkessel für den Altbau zuständig ist, hat sich dieser nicht reduziert.

Im Detail ist der Heizölverbrauch in diesen Vergleichsperioden in etwa gleich geblieben, da der Heizkessel die Wärme des Altbau abdeckt.

Im Speziellen fällt auf, dass im Dezember 2004 der Heizölverbrauch überdurchschnittlich angestiegen ist. Dies ist einer Revision der Wärmepumpe zuzuschreiben, welche eine ganze Woche in dieser kalten Jahreszeit dauerte.

Weshalb jeweils in den Sommermonaten zeitweise noch Wärme erzeugt werden musste, ist auf die Speicherladung infolge Auskühlverluste des Speichers zurückzuführen. Diese „unrelevante“ Speicherladung tritt kurzfristig und alle 3-5 Tagen auf. Da diese Wärme als „Abwärme“ infolge des Kältemaschinenbetriebs anfällt, ist diese energetisch unbedeutend.

Im Sommer ist der Heizkessel ausgeschalten. Am Ende und zu Beginn der Heizperiode wird noch ein kleiner Anteil Wärme aus dem Ölkessels benötigt. Dies ist die Warmhaltung des Kessels, welcher vom Betreiber nicht abgeschaltet werden darf, da nach kalten Nächten die Büros frühmorgens aufgeheizt werden müssen. Die Wärmepumpe reicht für die Aufheizphase leider nicht aus.

33 KÄLTE AUS KÄLTEMASCHINE UND FREECOOLING ENERGIEPFÄHLE

Wird von der Fabrikation Kälte benötigt, versucht die Anlage in erster Priorität die Kälteenergie aus dem Erdreich, also aus den Energiepfählen zu nutzen (Freecooling). Solange die Leistung und das Temperaturniveau reicht, liefern die Energiepfähle diese Kälteenergie.

Kälteenergie aus der Kältemaschine ist dann notwendig, wenn Kältebedarf verlangt wird und eine direkte Kältenutzung aus den Energiepfählen aus Leistungs- oder Temperaturgründen nicht mehr möglich ist. Der Kältemaschinenbetrieb kommt dann zum Zug, wenn die Kühlwassertemperatur seitens der Energiepfählen zu hoch wird. Es gibt keinen Parallelbetrieb von Energiepfahl- und Kältemaschinenbetrieb, wie dies ursprünglich geplant war (s. Betriebszustand „Kühlen mit Energiepfählen und Kältemaschine“). Die heutige Betriebsweise bewirkt eine Regeneration des Erdrechts während dem Kältemaschinenbetrieb und verhindert im Gegensatz zum geplanten Parallelbetrieb ein „ungewolltes Laden des Erdrechts“ mit der Kältemaschine.

WP-Betrieb (Wärmenutzung) mit Kältelieferung zu den Energiepfählen ist der normale Wärmepumpenbetrieb zur Beheizung des Gebäudes. Die Verdampferenergie der WP (Kälte) wird quasi gratis zur „Ladung des Erdrechts“ für den Sommer in die Energiepfähle abgegeben.

Es gibt jedoch noch den Fall, wenn das Büro Wärme oder eine Nachwärmung bei der Entfeuchtung und gleichzeitig Kälte in der Produktion benötigt wird. Dies nennt man Doppelnutzung, da Wärme und Kälte miteinander erzeugt werden müssen. Dann steht entweder die Kälte oder die Wärme als nutzbare „Gratisenergie“ zur Verfügung.

Bei der Aufzeichnung des monatlichen Kälteverbrauchs wird zwischen Freecooling und Kältemaschinenbetrieb unterschieden (s. Diagramm „Monatlicher Kälteverbrauch März 03 bis Feb 05“). Beim Freecooling ist auch die Kälte aus der Doppelnutzung enthalten.

Bei diesem Diagramm ist der erhöhte Kälteverbrauch des Jahrhundertsommers 2003 gegenüber dem Folgejahr klar ersichtlich. In Zahlen ausgedrückt beträgt im Sommer 2003 der totale Kältebedarf ca. 95 MWh und im Sommer 2004 ca. 72 MWh. Der Anteil der Kältemaschine ergibt im 2003 rund 34% und im 2004 nur noch rund 18%. Dies ist nicht nur mit normalen Aussentemperaturen im Sommer 2004 sondern auch aus den tieferen Temperaturen der EPF aus dem Erdreich zu verdanken. Das ist sehr erfreulich, denn dies bedeutet, dass die Kälte nur zu einem kleinen Anteil mit der Kältemaschine erzeugt werden konnte.

Im Sommer 2003 haben Tagesmessungen gezeigt, dass an heißen Tagen die Energiepfähle meist morgens die Kälteenergie liefern und erst am Nachmittag kommt die Kältemaschine zum Einsatz. Dies lässt sich beim Diagramm vom 16.07.2003 im Anhang deutlich zeigen: Bis zirka 1500 Uhr kommen die EPF mit einer Kälteleistung von 70-85 kW über 5 Stunden zum Zuge und dann reicht die Kühlwassertemperatur von 17°C nicht mehr aus (Leistungsbezug ist grösser als EPF-Leistung), sodass die Kältemaschine in Betrieb gehen muss. Die Aussentemperatur zeigt ab nachmittags bis gegen 1700 Uhr über 35°C. Die max. EPF-Leistung an diesem Tag war über 85 kW; die Kälteleistungsspitze der KM betrug um 1600 Uhr 140 kW.

Im Sommer 2004 haben wir festgestellt, dass an den meisten Tagen, vor allem im Juni 2004, gar keine Kältemaschine benötigt wurde. (als Beispiel s. Diagramm „Kälte aus EPF am 10.06.2004“) Die Ein- und Austrittstemperaturen der Energiepfähle waren noch verhältnismässig tief, obwohl die Aussentemperaturen auch bei 33°C waren. Vom Juli – September hat dann die Kältemaschine unterstützend mitgeholfen. Diese Tage sehen dann ähnlich wie beim Diagramm vom 16.07.2003 aus.

34 EIN- UND AUSTRITTSTEMPERATUREN ENERGIEPFÄHLE

Das Diagramm „Ein- und Austrittstemperaturen EPF“ im Anhang zeigt der Verlauf der EPF-Temperaturen, wobei der Wärmepumpenbetrieb und der Freecoolingbetrieb eindeutig erkennbar ist. In den Wintermonaten (WP-Betrieb) sieht man ein Temperaturniveau Eintritt / Austritt von ca. 8°/11°C und der Freecoolingbetrieb im Sommer ab Juni mit rund 18°/16°C. Es ist auch anhand der Umkehrung der Eintritts- und Austrittstemperatur die Betriebsart Kühlen oder Heizen erkennbar. Die Differenz zwischen der Eintritts- und Austrittstemperatur schwankt je nach Betriebsart und Leistung zwischen 1 bis max. 5 K. Hohe Temperaturspreizungen sind Folgen der stehenden Umwälzpumpe.

Beim Freecoolingbetrieb sind einzelne „Peaks“ nach unten ersichtlich, die auf einen kurzen Wärmepumpenbetrieb für die Speicherladung des Heizwasserspeichers schliessen lassen. In diesen Momenten wird das Erdreich kurzzeitig mit Kälte versorgt.

Genauere Betrachtungen haben im Wärmepumpenbetrieb keine Eintritts-Temperaturen unter 6.2°C ergeben. Das Erdreich um den Energiepfahl hat somit mindestens 8°C. Ein Absinken unter die Einfriergrenze kann über Jahre hinaus gesehen ausgeschlossen werden, sofern die heutigen Betriebsarten (mit der Regeneration) beibehalten werden.

35 TEMPERATURVERLAUF IM ERDREICH

Die beiden Fühler sind in der Mitte zwischen vier Energiepfählen in einem senkrecht stehenden Messrohr eingebettet. Der Abstand zwischen jedem Energiepfahl und dem Messrohr beträgt rund 2.5 m.

Das Erdreich ist erwartungsgemäss einer trügen Temperaturschwankung unterworfen. Beginnt die Heizperiode im Oktober/November, so zeigt die Kurve der Erdreichtemperaturen den maximalen Wert. Umgekehrt ist die tiefste Bodentemperatur Anfangs Mai, so beginnt der Freecooling-Betrieb. So gesehen ist der Verlauf zwischen dem „geladenen“ Erdreich und der Ausnutzzeit optimal. Der tiefste und der höchste Punkt ist in beiden Jahren ungefähr gleich, nämlich Anfangs Mai (Beginn Kühlperiode) und Anfangs November (Beginn Heizperiode).

Der Temperaturverlauf der WärmeträgerTemperatur EPF bis zur Messstelle ist phasenverschoben und beträgt rund 11/2 Monate.

Obwohl bei den Energiepfählen im 2. Betriebsjahr keine tieferen Ein- / Austrittstemperaturen gegenüber dem Vorjahr gemessen wurden, ergibt es beim Diagramm „Temperaturverlauf Erdreich“ eine leicht sinkende Tendenz der Temperatur von ca. 0.5°C pro Jahr. Dies scheint auch logisch aufgrund der monatlichen Energiebilanz, bei welcher klar ersichtlich ist, dass mehr Kälte ins Erdreich gebracht wird als Wärme. Daraus lässt sich ableiten, dass in diesem Fall das Erdreich sich eher als Saison-Speicher verhält. Dies verschärft sich noch, wenn die Wärmepumpe immer mehr Betriebsstunden aufweisen würde. Da jedoch im Sommer das kühlere Erdreich durch mehr Freecooling genutzt werden kann (= Regeneration), wird sich dies wieder einpendeln.

Um bessere resp. genauere Aussagen zu machen, ist eine längere Messaufzeichnung über 5 Jahre notwendig.

36 MONATLICHE ENERGIEBILANZ DER EPF

Im Zusammenhang mit der Erdreichtemperatur gilt die Energiebilanz jeweils über ein Jahr näher zu betrachten. Vor allem bei Erdspeicheranlagen ist ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Wärmeentzug und Kälterückgabe anzustreben. Wie wir aus dem Diagramm „Temperaturverlauf Erdreich“ leicht erkennen können, ist die Erdreichtemperatur über ein Messjahr (Nov 03 bis Nov 04) minim um 0.5°C gesunken. Einerseits ist in dieser Zeit parallel dazu auch die Außentemperatur etwas gefallen und der Eintrag von Kälteenergie ins Erdreich ist grösser als die Wärmeenergie. Dies zeigt das Diagramm „Monatliche Energiebilanz EPF“. Das „Ungleichgewicht“ in der Zeit ab März 04 bis Feb 05 zwischen Wärmeentzug aus den EPF (= Kühlung mit Freecooling) mit 51MWh und Kälterückgabe in die EPF (= Heizen mit WP) mit 80MWh ist eindeutig mit einem verstärkten Kälteeintrag behaftet.

Das Ungleichgewicht ist keinesfalls alarmierend, da die Eintritts- und Austrittstemperaturen schlussendlich massgebend sind. Diese sind weit von der Frostgrenze entfernt. Trotzdem muss auch zukünftig ein Auge auf diese Temperaturen geworfen werden.

Eine Korrektur drängt sich auch deshalb nicht auf, weil im Sommer durch die tieferen Erdreichtemperaturen auch vermehrt das Freecooling zum Zuge kommt und so eine vermehrte Regeneration stattfindet. (s. auch Kapitel „Temperaturverlauf im Erdreich“)

37 LEISTUNGSMESSUNG WÄRMEPUMPEN- UND KÄLTEMASCHINENBETRIEB

371 Wärmepumpenbetrieb

Anfang April 2003 wurde die Leistung der Wärmepumpe erstmals ausgemessen. Die Leistungsziffer von unter 2.0 als viel zu tief festgestellt worden. Die Lieferfirma hat einen Defekt an einer Komponente festgestellt und die Maschine neu eingestellt. Nach der Reparatur ist die Leistungsziffer auf 3.1 geklettert.

Die gemessene Leistung der Wärmepumpe wurde am 2. Juli 2003 nach der Reparatur mit 178 kW Wärmeleistung (bei Vorlauf 50°C) gemessen. Nachträgliche Messungen haben ähnliche Werte ergeben. Über die ganze Messdauer (ab Reparatur der WP) wurde eine Leistungsziffer von durchschnittlich 2.8 errechnet. Dies scheint auf den ersten Anblick nicht hoch, ist jedoch in Anbetracht der hohen Vorlauftemperaturen von 50°C angemessen. Es ist auch zu bemerken, dass die Maschine modulierend von 20-100% läuft und deshalb im unteren Bereich mit einer Einbusse der Leistungsziffer zu rechnen ist.

Das Diagramm „Leistung von Wärmepumpe und Ölheizung am 28.11.2003“ zeigt, dass bis zu einer Außentemperatur von +3°C die Wärmepumpe die Heizleistung (ca. 170 kW) von Alt- und Neubau zusammen erbringen kann. Im Diagramm vom 4.01.2004 mit Außentemperaturen von mehrheitlich unter 0°C sind Wärmepumpe und Ölheizung in Betrieb und bringen zusammen rund 180 kW Heizleistung. Die Vor- und Rücklauftemperaturen sind dann beim Altbau zu hoch für einen wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpe. Leider können die Temperaturen der verschiedenen Verbrauchergruppen nicht aufgezeichnet werden.

372 Kältebetrieb

Der Kältebetrieb ergibt nach mehreren Messungen eine Leistungsziffer um 3.2. Das Temperaturniveau kälteseitig ist 18°/8°C und kondensatorseitig 35°/30°C. Eine Aussage bezüglich der Kälteleistung kann infolge der modulierenden Betriebsweise nicht gemacht werden. Anhand der einstündigen (punktuellen) Messwertaufzeichnung haben wir eine max. Leistung von 156 kW Kälte gemessen.

373 **Jahresarbeitszahl (JAZ)**

Berechnet man die Jahresarbeitszahl nur vom Wärmepumpenbetrieb und den Hilfsaggregaten, so ergibt sich eine JAZ von 2.6. Berücksichtigt man jedoch noch die Kälteerzeugung mit der Kältemaschine und dem Freecooling, so zeigen sich die Auswirkungen der Energiefahlanlage in einem positiven Licht mit einer JAZ von 5.3. Der Freecoolingbetrieb im Sommer alleine betrachtet bringt die JAZ auf 8.8. Die Jahresarbeitszahl von Wärme und Kälte zusammen beträgt 3.7.

38 **VERGLEICH GEPLANTE MIT GEMESSENEN WERTEN**

Vor der Projektierung wurde der Heizwärmeverbrauch anhand der Gebäudehülle ermittelt und die Kühllastangaben vom Betriebspersonal zusammengestellt. Die Firma Nägelebau AG hat dann diese theoretischen Werte mit der Energiefahlanlage zusammen simuliert und anhand von Monatswerten in einem Diagramm dargestellt.

Diese Simulation ist mit den heute gemessenen Werten aus dem Jahre 2004 im Diagramm „Vergleich IST-Werte mit Simulation“ verglichen worden. Dabei zeigt sich, dass die geplanten Energiewerte zu hoch angenommen wurden, sowohl bei der Heizung wie auch bei der Kühlung. Offensichtlich wird die Abwärme seitens Produktion im Winter durch die WRG der Lüftungsanlagen erbracht und der Kältebedarf im Sommer ist kleiner als angenommen. Dies bewirkt auch bezüglich den Temperaturen (Austritt EPF) eine abgeflachte Kurve, welche im oberen Bereich „angesiedelt“ ist.

Zudem sind die IST-Werte nur auf ein Jahr (2004) bezogen, da weitere repräsentative Jahre fehlen. Im Dezember war die Wärmepumpe infolge einer Revision lange Zeit nicht in Betrieb, weshalb auch der Wärmeverbrauch zu gering ausfiel.

39 **WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNGEN**

Bei der wirtschaftlichen Betrachtung wird unsere Wärmepumpenanlage mit Energiefählen einer herkömmlichen Heizkesselanlage mit einer Kältemaschine verglichen. Untenstehend werden in Tabellen die Investitionen und die Betriebskosten dargestellt.

Die jährlichen Kapitalkosten der Wärmepumpe mit Energiefählen sehen wie folgt aus:

Wärmepumpe mit EPF	Investitionen	Nutzungsdauer in Jahren
Wärmepumpe/Kältemaschine	41'000.00	18
Rückkühler	28'000.00	18
Montage WP / KM	14'000.00	18
EPF-Anlage kompl.	145'000.00	40
Hydraulik, Glykolfüllung, etc.	40'000.00	25
Total	268'000.00	

Die jährlichen Kapitalkosten einer Heizkesselvariante mit Kältemaschine sehen wie folgt aus:

Heizkessel mit Kältemasch.	Investitionen	Nutzungsdauer in Jahren
Heizkessel, Brenner, Kamin, Öltank kompl.	64'400.00	18
Montage Kessel, MSR, Isol.	26'000.00	18
Kältemaschine	41'000.00	15
Rückkühler	28'000.00	15
Montage KM, Rückkühler	14'000.00	15
Total	173'600.00	

Damit beide Varianten auch wirklich verglichen werden können, wurde eine theoretische Betrachtungsdauer von 31 Jahren ausgewählt.

Die Investition bei der Wärmepumpenanlage mit EPF ist um rund 50% höher (CHF 95'000.00) als ein Heizkessel mit einer Kältemaschine.

Für die Berechnung der jährlichen Kosten wurden folgende Tarife / Energiepreise zugrunde gelegt:

Stromtarife:	Winter HT: 13.7 Rp/kWh
	Winter NT: 10.2 Rp/kWh
	Sommer HT: 12.3 Rp/kWh
	Sommer NT: 8.5 Rp/kWh

Heizöl EL: 7.4 Rp/kWh (entspricht einem Heizölpreis von rund 75 Rp./Liter)

Kostenart	Wärmepumpe mit EPF	Heizöl mit Kältemaschine
Wartung/Bedienung/Unterhalt	1'620.00 / a	3'120.00 / a
Energiekosten	<u>7'840.00 / a</u>	<u>19'020.00 / a</u>
Betriebskosten	9'460.00 / a	22'140.00 / a
Kapitalkosten	13'740.00 / a	13'010.00 / a
Total	23'200.00 / a	35'150.00 / a

In den Energiekosten ist die CO₂ – Steuer (ab 2006) mit 0.97 Rp./kWh beim Heizöl enthalten! Zudem wurde bei den Kapitalkosten ein realer Kapitalzins von 2.5% eingerechnet.

Erstaunlich ist der grosse Unterschied bei den jährlichen Energiekosten. Dieser ist einerseits dank der „Gratisenergie Kühlung“ aus den Energiepfählen und andererseits auch dem hohen Heizölpreis von CHF 75.00 / Liter zu verdanken. Die Wartungskosten sind bei der Heizölvariante höher, weil zwei Anlagen (Heizkessel mit Brenner, Kamin und Kältemaschine) unterhalten werden müssen.

Gesamthaft gesehen ist es erfreulich, dass diese alternative Anlage trotz der höheren Investition schlussendlich kostengünstiger ausfällt.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die erste Auswertung steht mit dem „Jahrhundertsommer“ ausserhalb von durchschnittlichen Energievergleichen resp. Annahmen, erst beim zweiten Messjahr kann man auf „normale“ Verhältnisse schliessen.

Leider hatte in der ersten Periode die Wärmepumpe einen Defekt, der dank der Messung frühzeitig erkannt wurde.

Eine nicht lückenlose Messung war beim ersten Winter nicht möglich, was jedoch durch eine USV-Anlage und täglichen Restarts bei den nachfolgenden Auswertungen weitgehend eliminiert wurde.

Bei der Wärmeerzeugung bringt der Ölheizkessel für den Altbau der grösste Teil der Wärmemenge. Der Anteil der Wärmeenergie seitens der Wärmepumpe ist im zweiten Jahr zurückgegangen, was der grösseren Abwärme aus der Produktion zuzuschreiben ist. Die Wärmepumpe weist dadurch geringere Laufzeiten auf, da die Lüftungs-WRG mehr Energie bringt.

Sehr erfreulich ist der Kältebetrieb. Die Kältemaschine ist nur dann in Betrieb, wenn die Energiepfähle leistungs- und temperaturmässig erschöpft sind. Beim monatlichen Kälteverbrauch herrscht der Freecooling-Betrieb oder die Doppelnutzung vor.

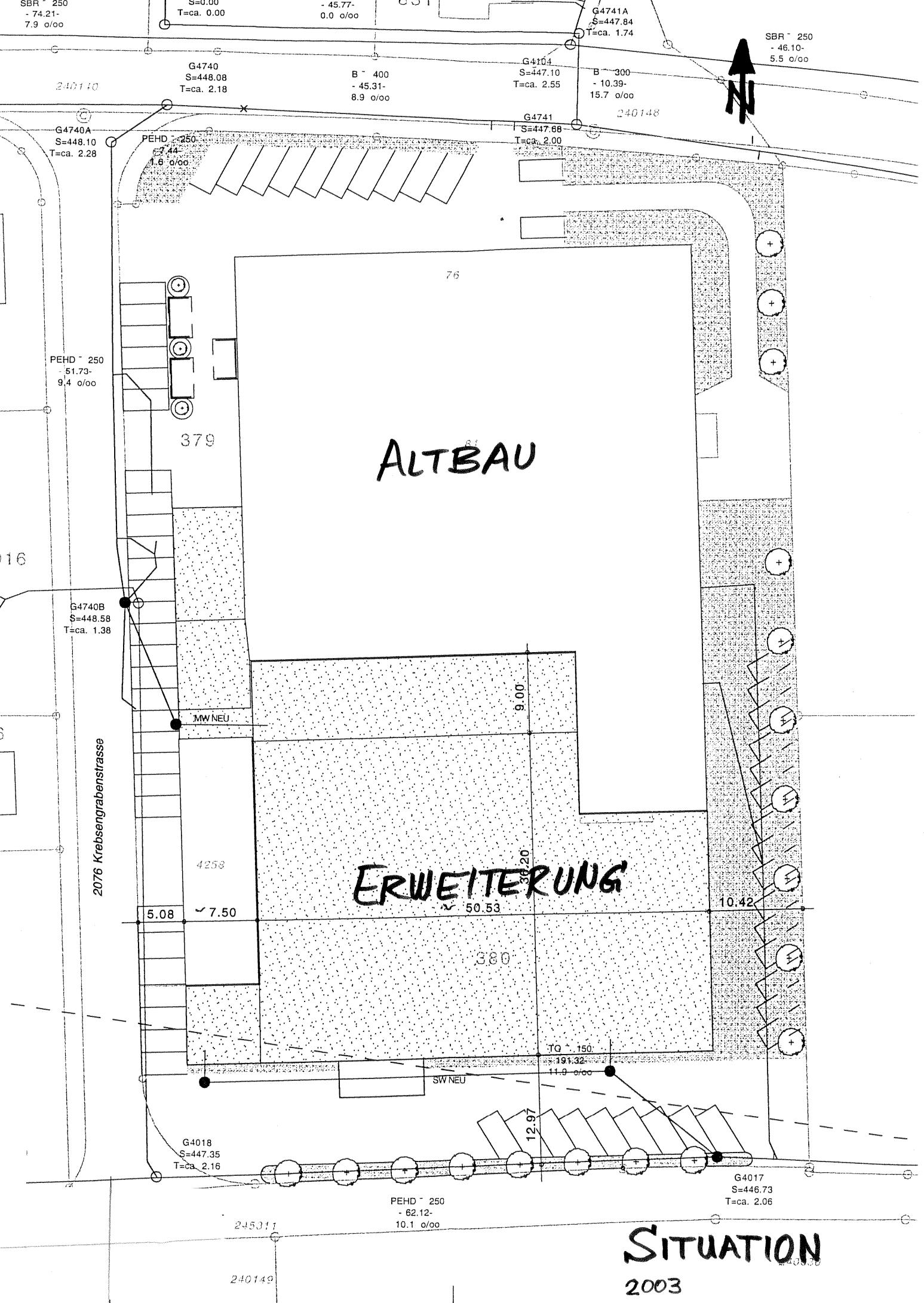
Die Ein- und Austrittstemperaturen bei den Energiepfählen zeigen ein ausgeglichener Temperaturverlauf zwischen Sommer und Winter. Ein Absinken der Eintrittstemperatur gegen die Frostgrenze ist nicht zu befürchten; die tiefste Eintrittstemperatur ist nicht unter 6.2°C gesunken. Beim Temperaturverlauf im Erdreich (Distanz 2.5 m von EPF) haben wir jedoch eine leicht sinkende Tendenz festgestellt. Ein Absinken der Temperatur von rund 0.5°C zwischen dem 1. und 2. Jahr ist feststellbar, wobei sich dies vermutlich mit einer vermehrten Freecooling-Nutzung wieder einpegeln lässt. Die monatliche Energiebilanz zeigt auch ein Ungleichgewicht zwischen der Kälterückgabe (80 MWh) und dem Kälteentzug (51 MWh).

Um exaktere Aussagen zu machen, ist eine längere Temperaturaufzeichnung von Ein- und Austrittstemperatur sowie Erdreichtemperatur über die nächsten Jahre sinnvoll. Der Betreiber soll zumindest in sporadischen Abständen im Winterhalbjahr diese Temperaturen messen.

Die Wirtschaftlichkeit dieses Systems mit Alternativenergienutzung schneidet sehr gut ab. Die jährlichen Betriebskosten der Wärmepumpe mit Energiepfählen betragen CHF 23'000.00 und stehen CHF 35'150.00 gegenüber, die mit einem herkömmlichen Heizkessel mit Kältemaschine aufgewendet werden müssten. Die gute Wirtschaftlichkeit ist einerseits der Gratisenergie aus dem Erdreich und andererseits auch dem hohen Heizölpreis von CHF 75.00 / Liter zu verdanken. Die CO₂ – Steuer ist dabei inbegriffen.

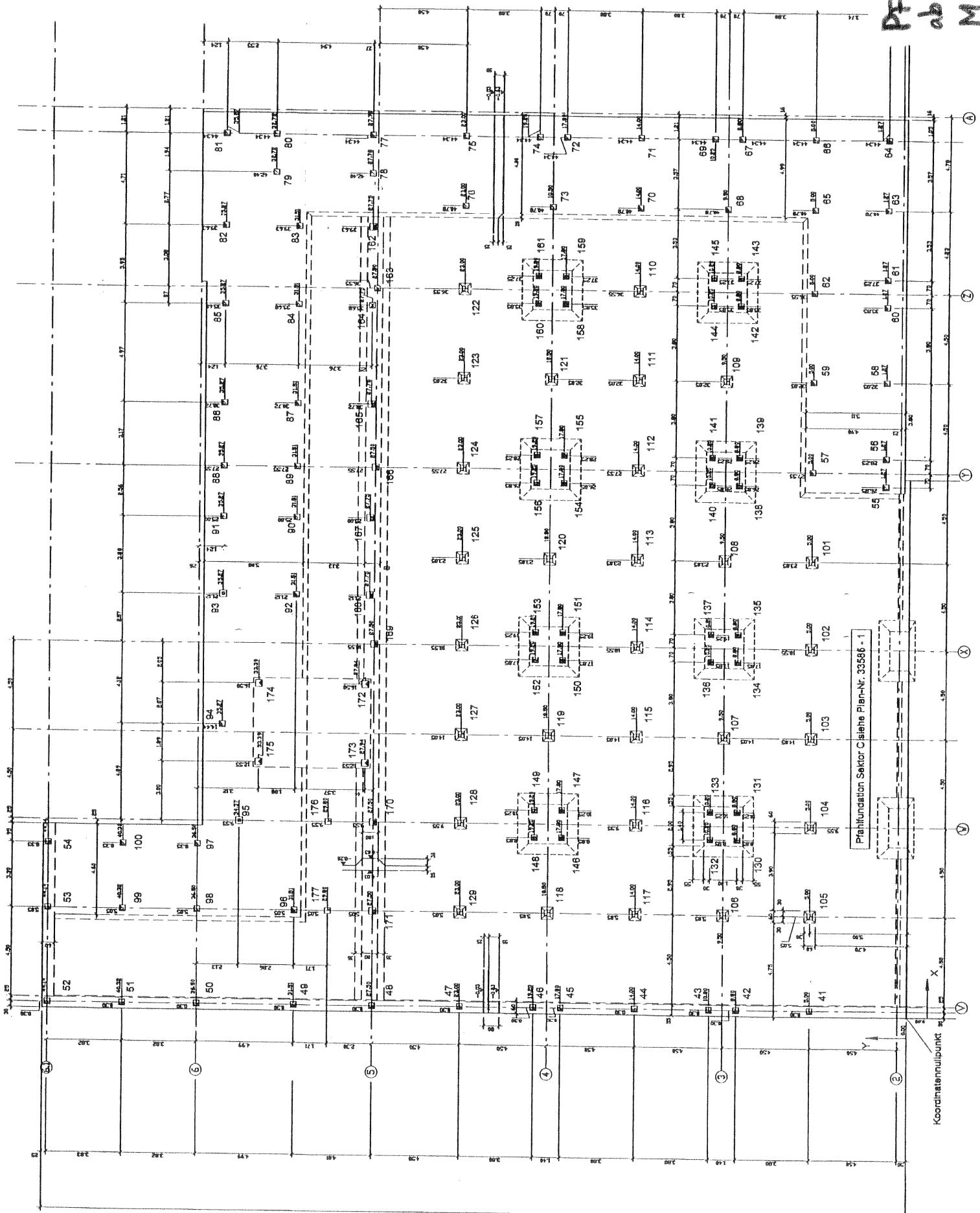
ANHANG

- Situationsplan
- Pfahlplan (Teilbereich)
- Prinzip des gekoppelten Nägele-Energiepfahls
- Schema
- EPF – Plan
- Diverse Diagramme
- Fotos

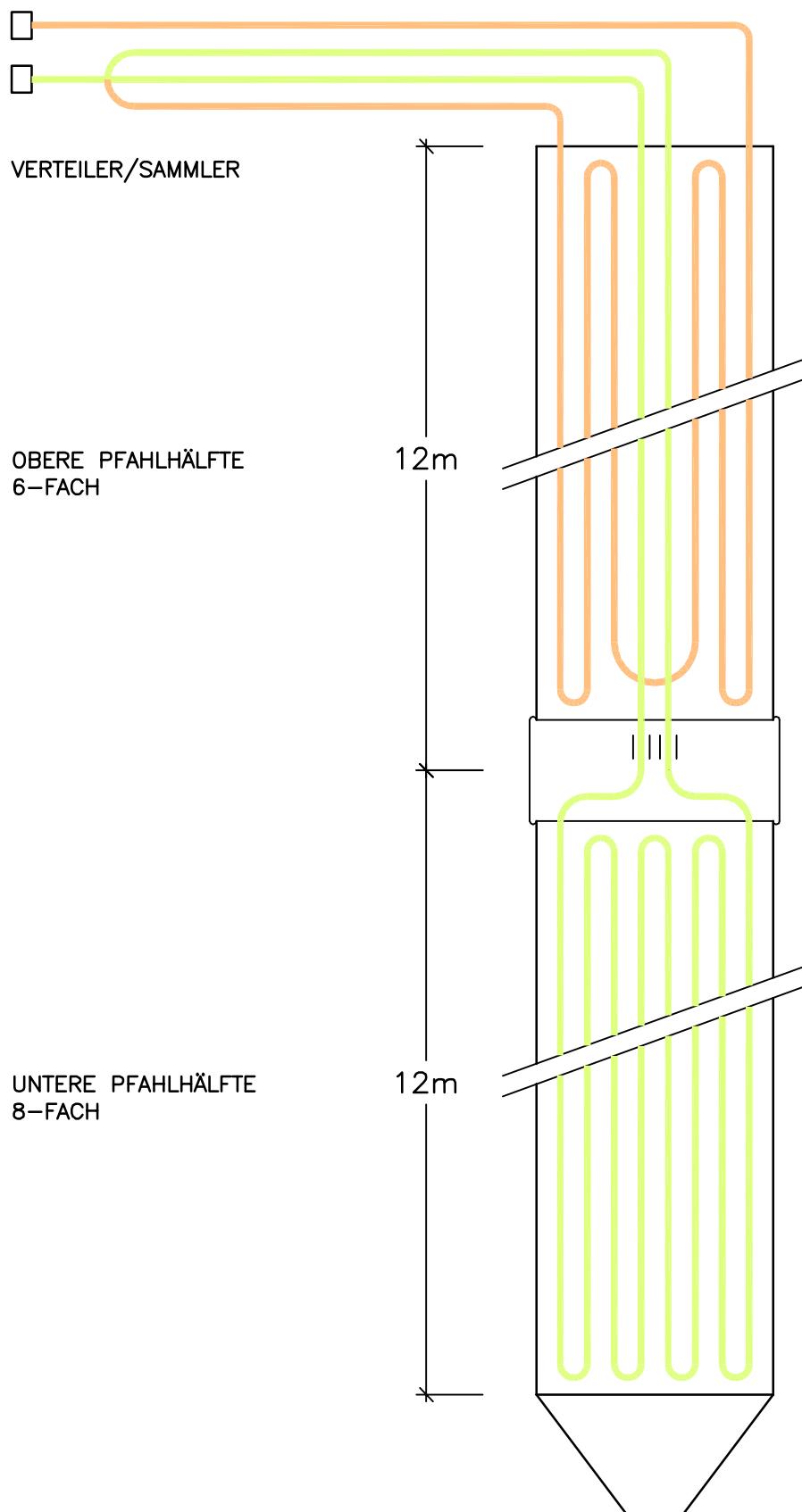


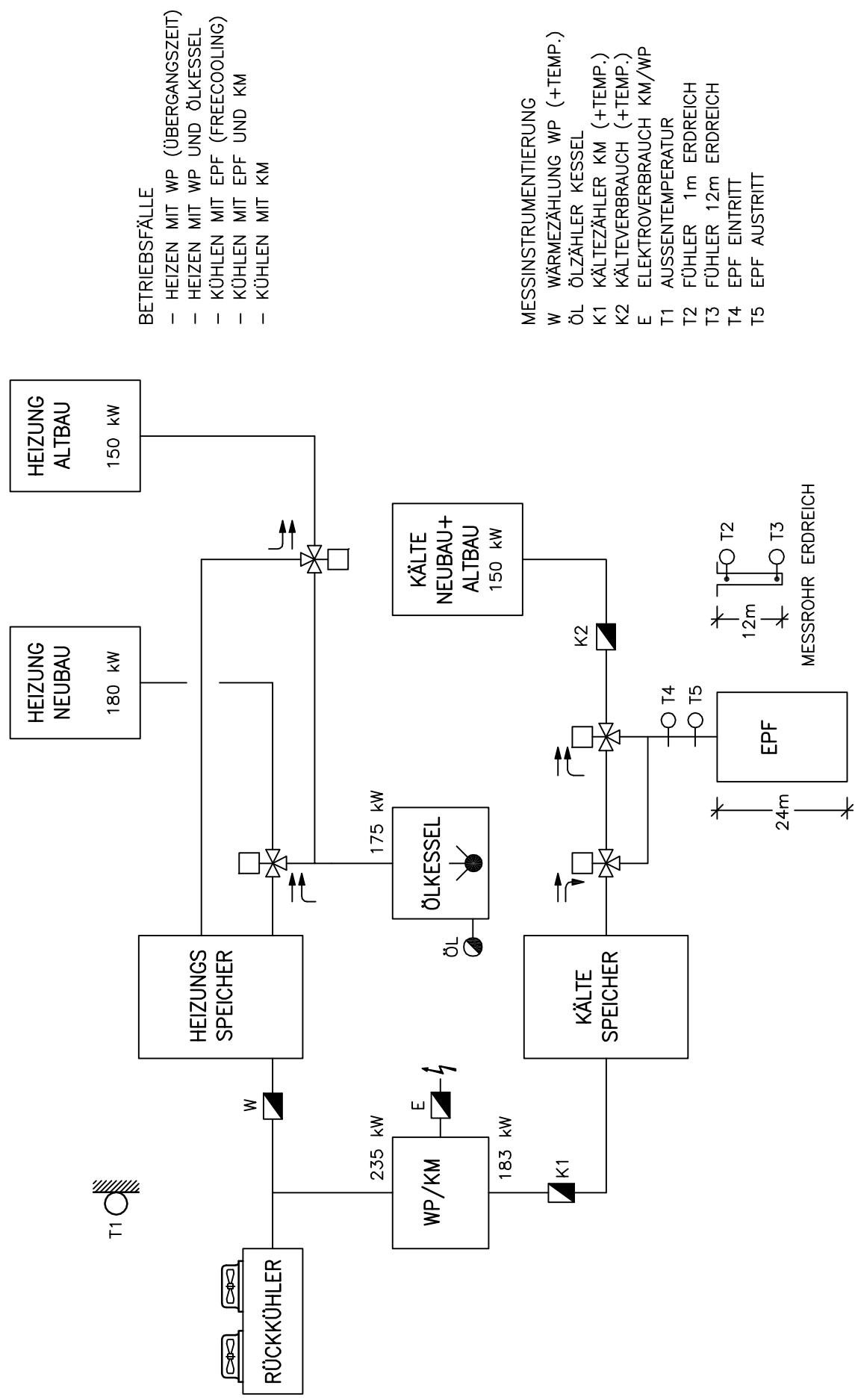
PF AHLPLAN

ab Ause 2
M 1:250

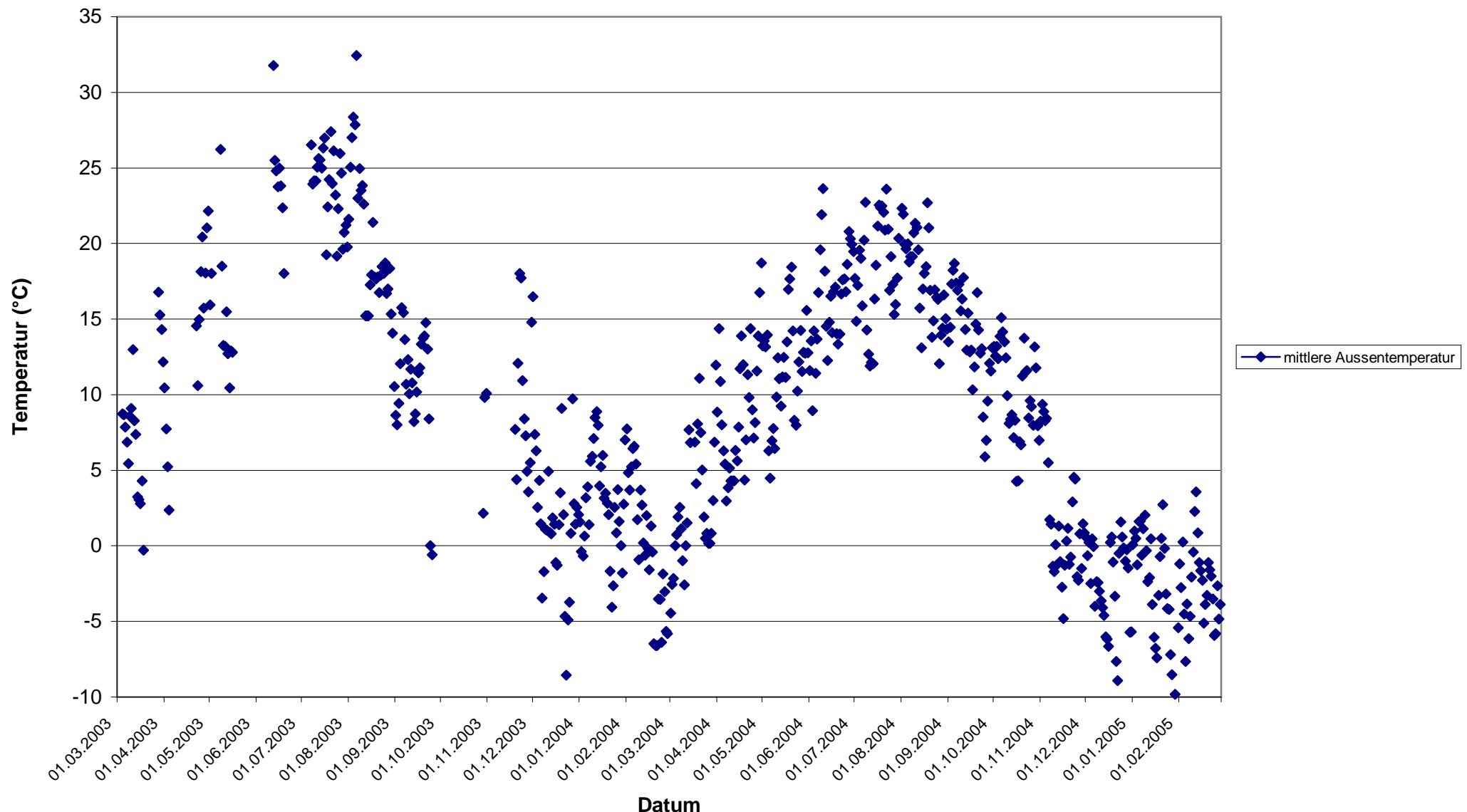


GEKOPPELTE NÄGELE-ENERGIEPFÄHLE

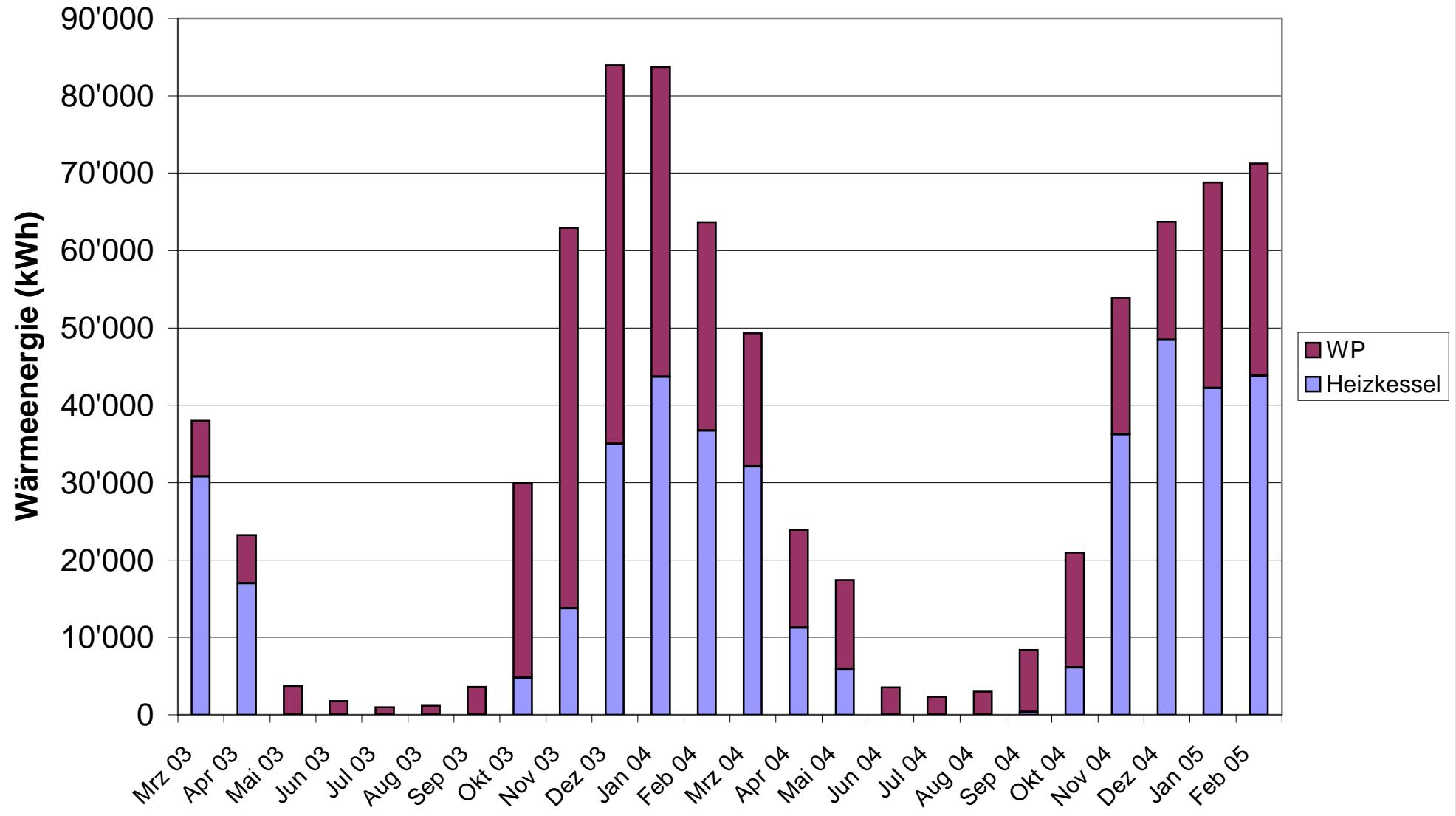




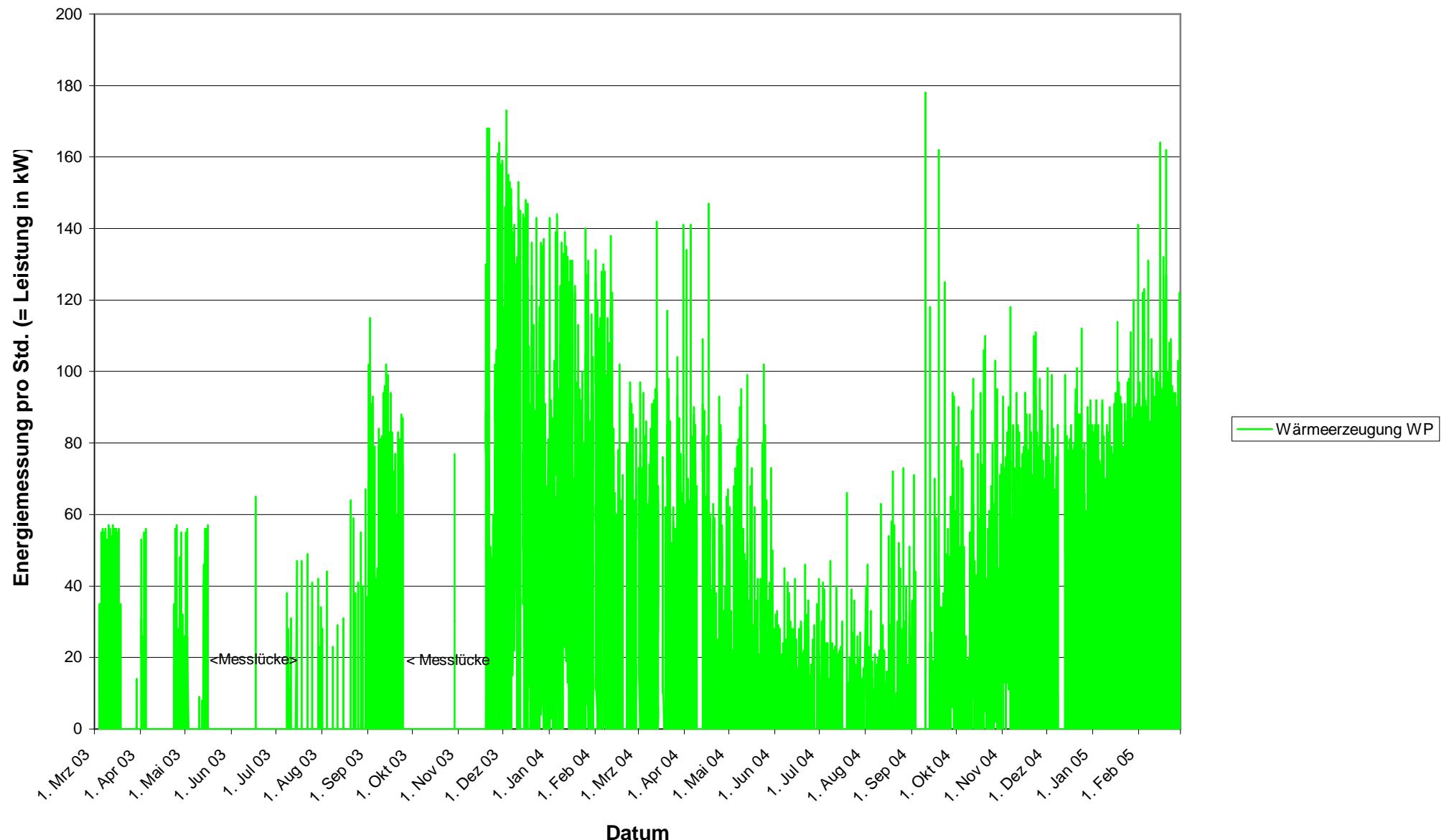
Mittelwerte Witterungstemperatur
01.03.2003 - 28.02.2005



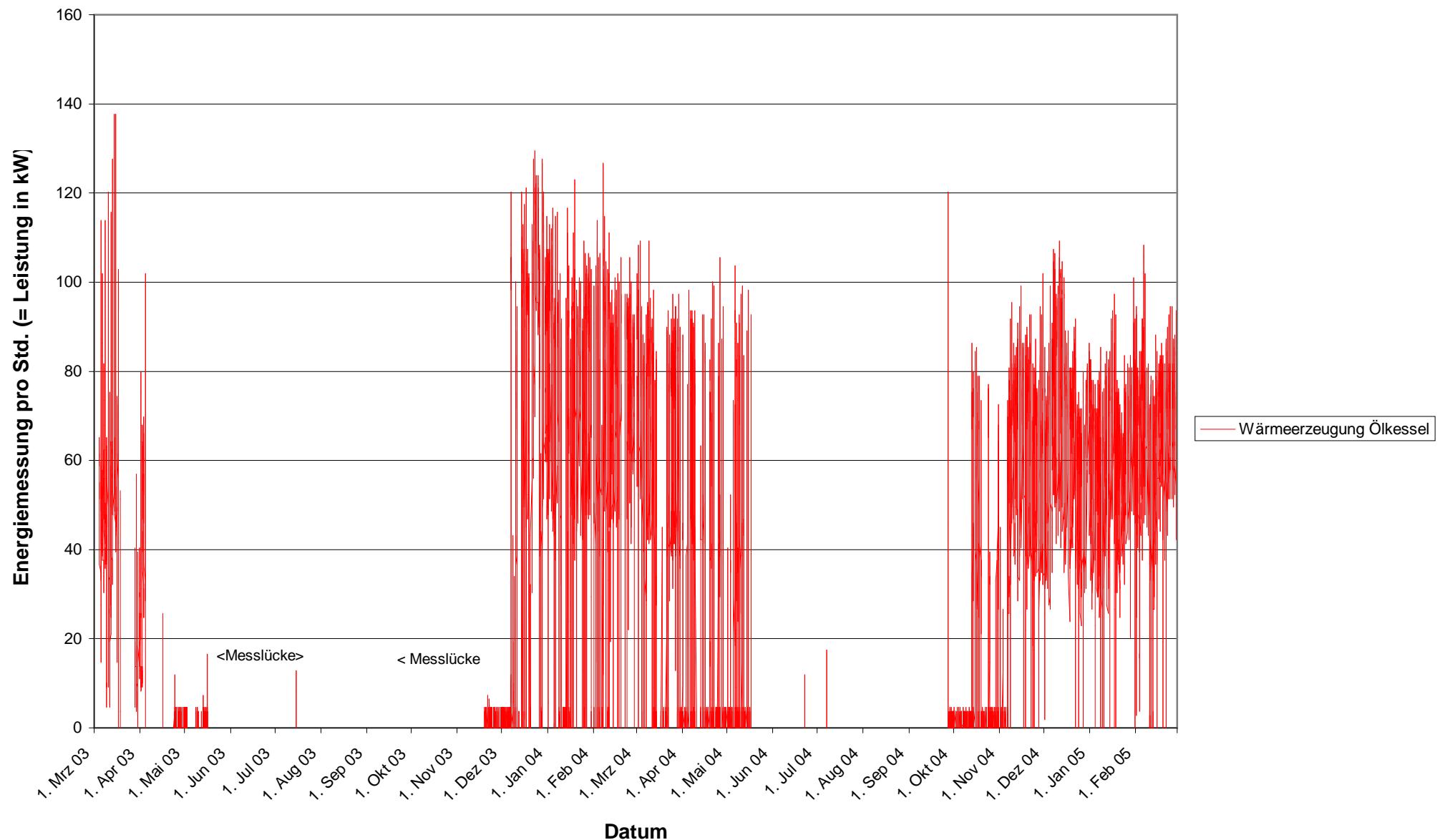
Monatlicher Wärmeverbrauch März 03 - Feb 05



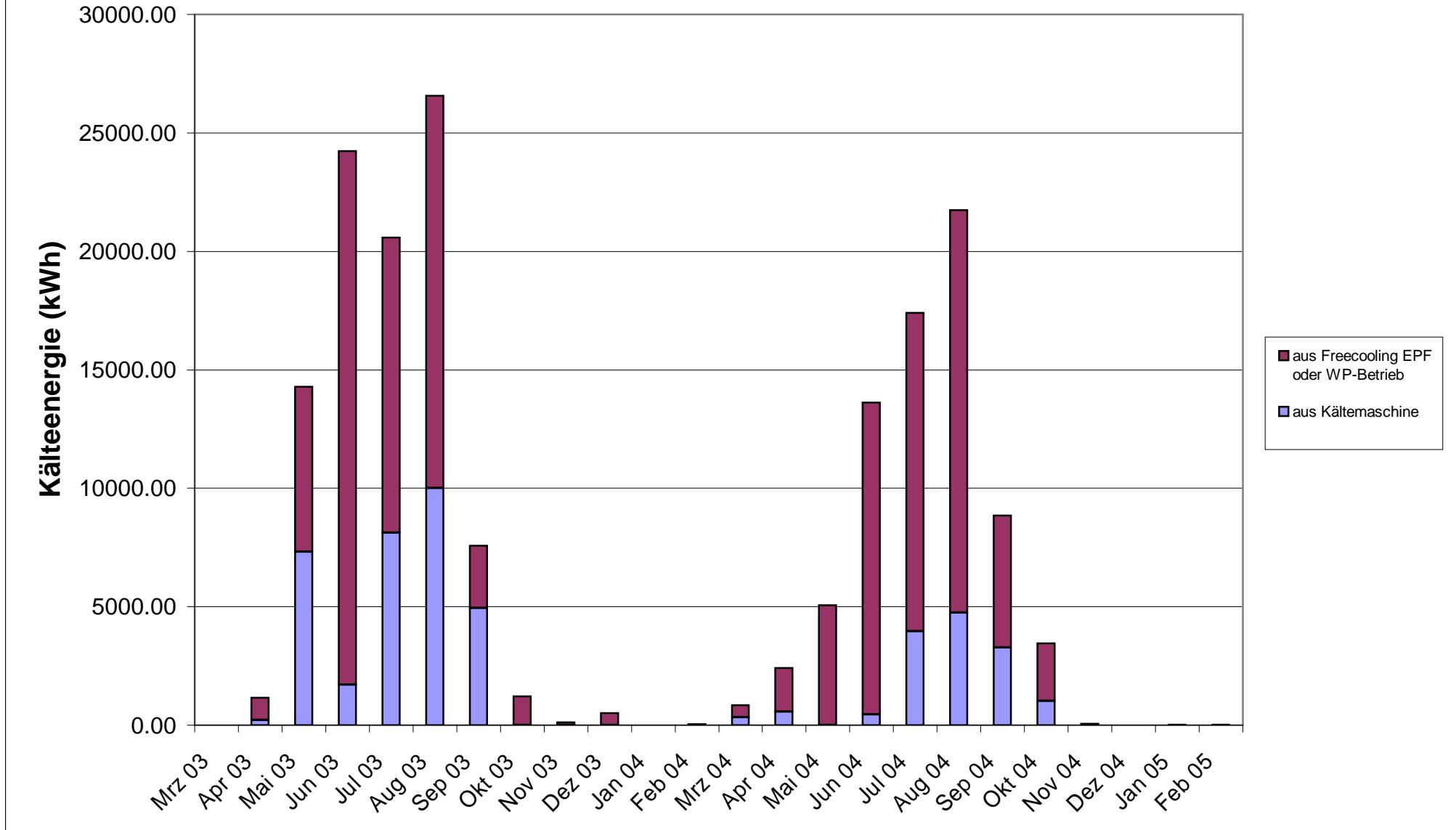
Wärmeerzeugung aus der Wärmepumpe
01.03.2003 - 28.02.2005



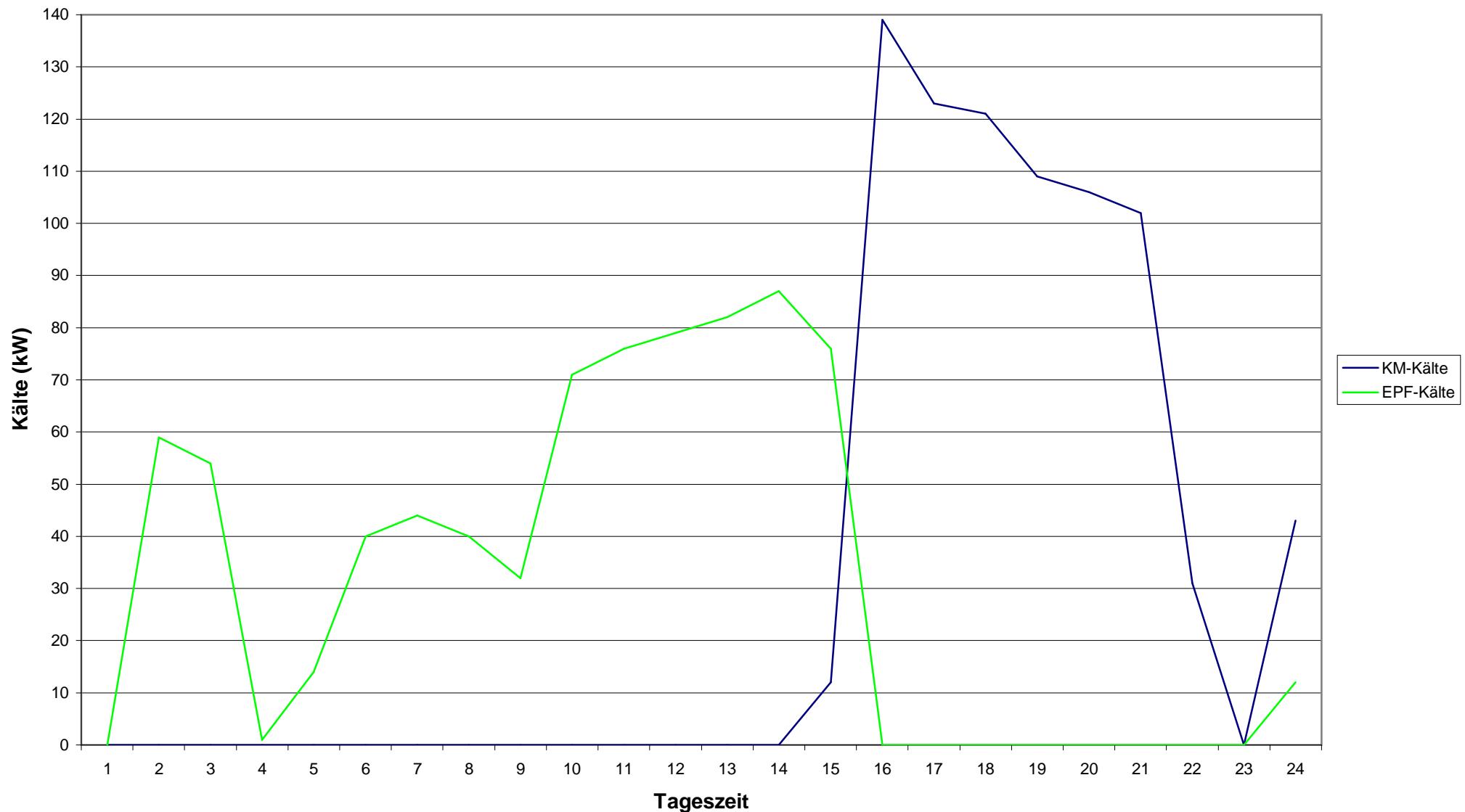
Wärmeerzeugung aus Heizkessel
01.03.2003 - 28.02.2005



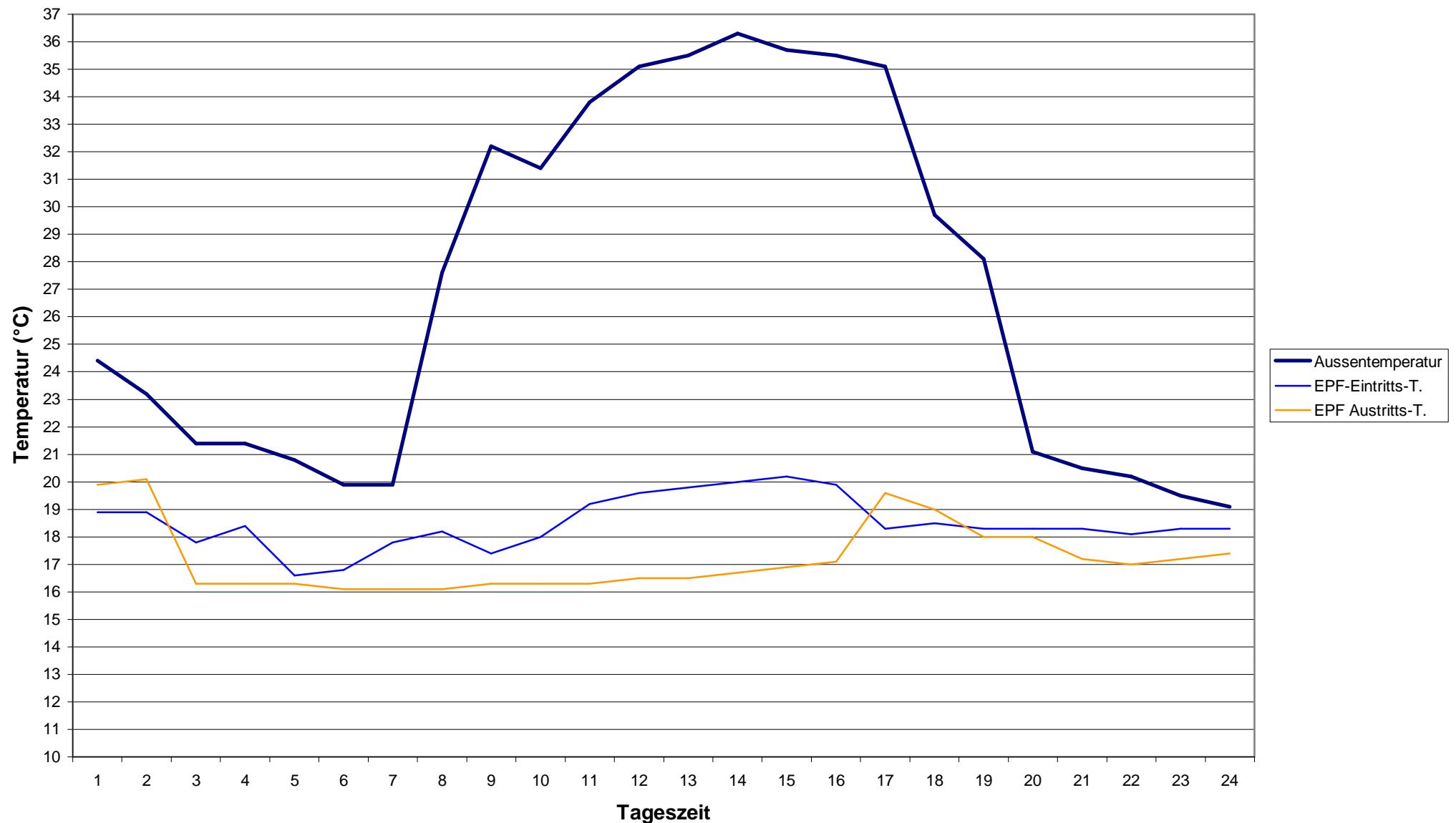
Monatlicher Kälteverbrauch Mär 03 - Feb 05



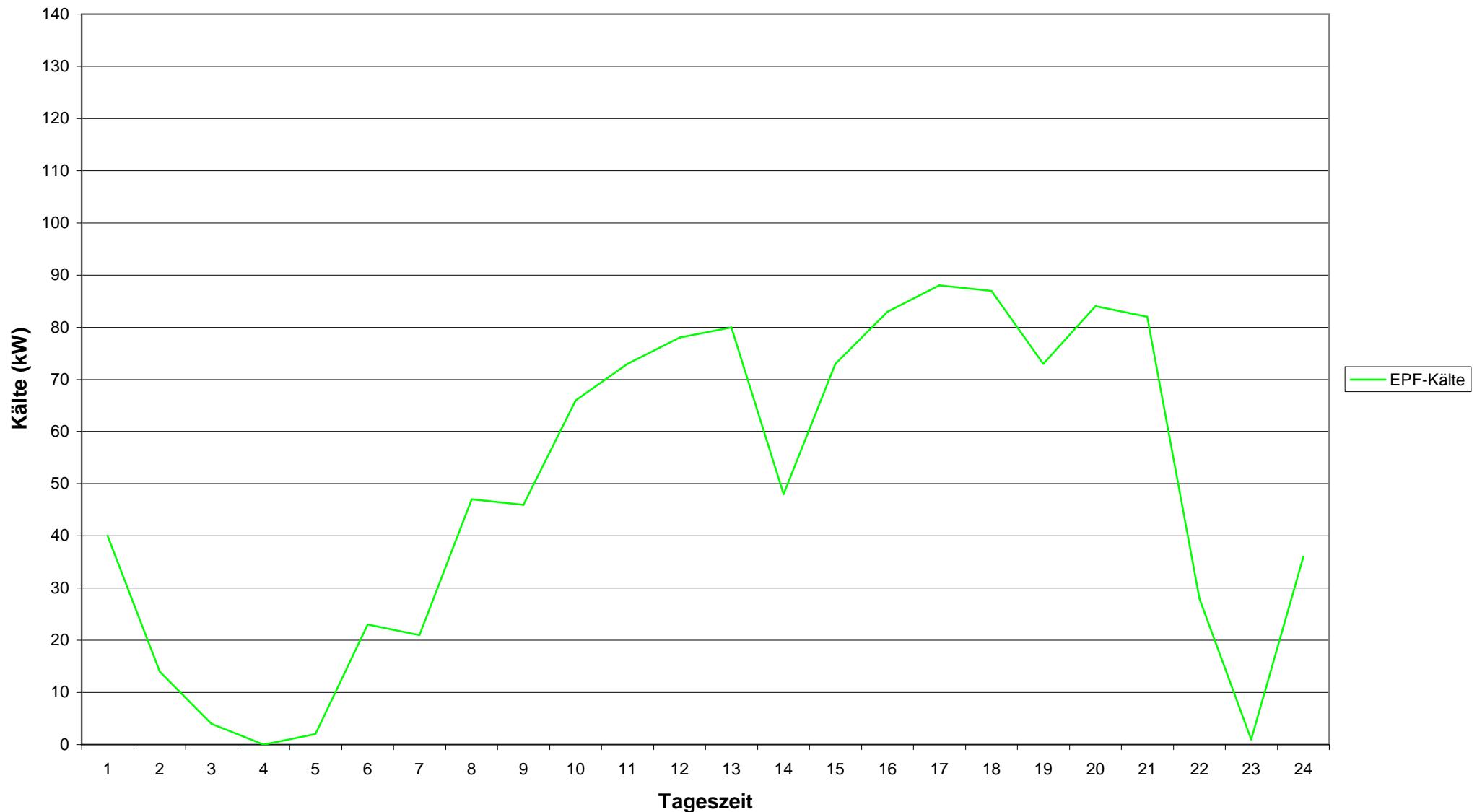
Kälte aus KM und EPF am 16.07.2003
Kälte aus EPF (Freecooling) und aus KM (ab 15.00 Uhr)



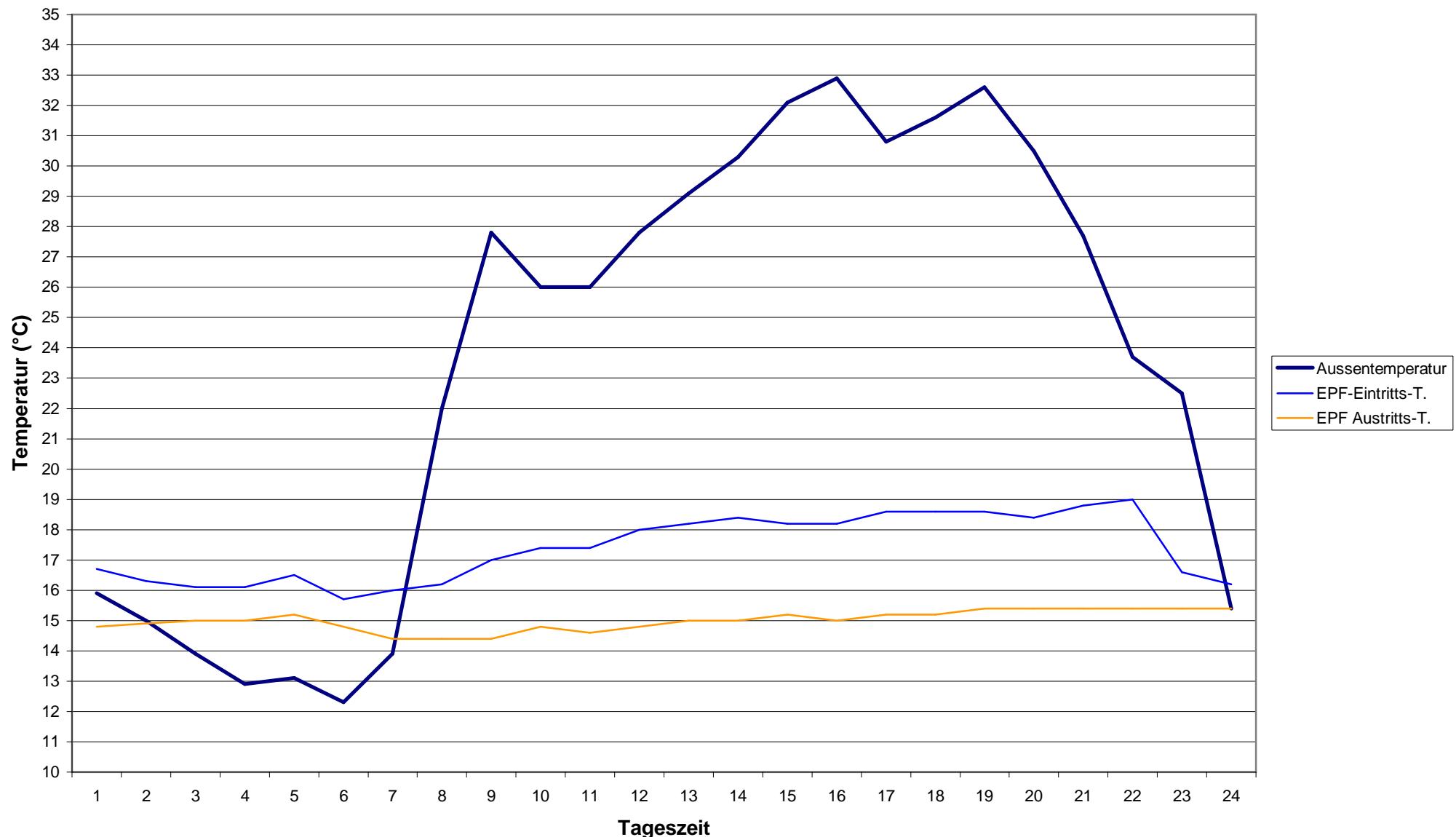
Temperaturverlauf EPF und Aussentemperatur am 16.07.2003



Kälte aus EPF am 10.06.2004
(keine Kälte aus der KM)

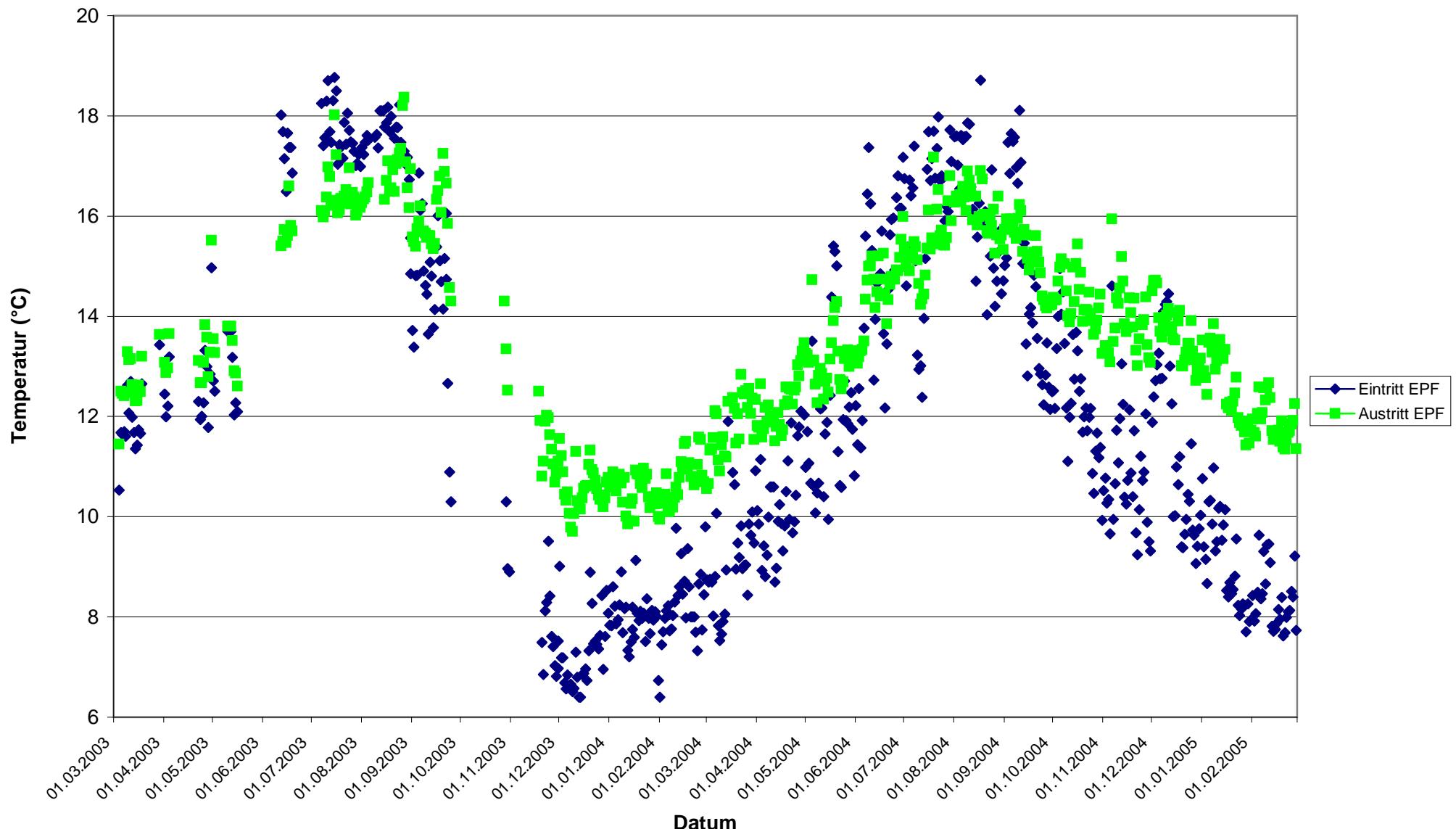


Temperaturverlauf EPF und Aussentemperatur am 10.06.2004



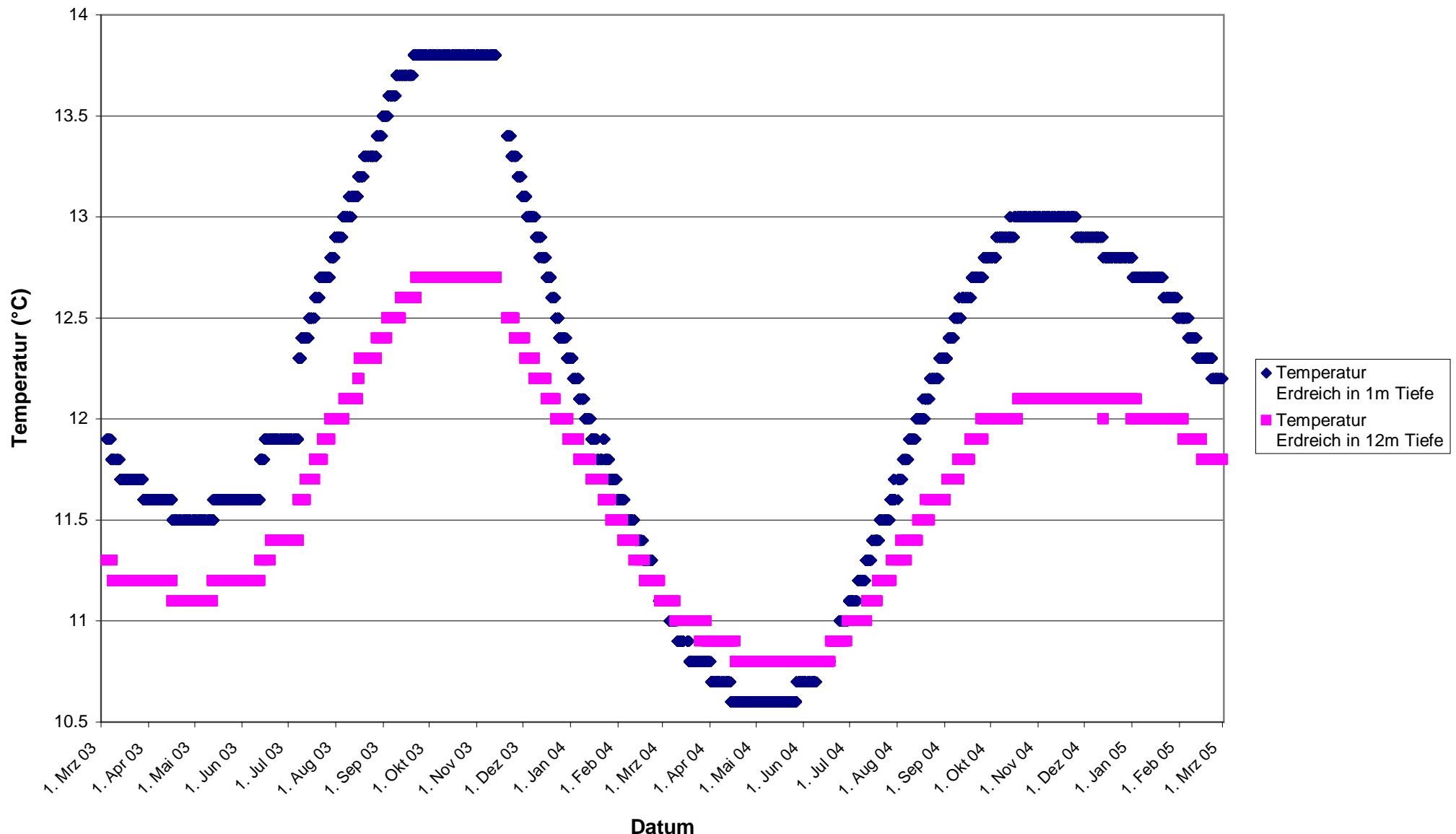
Ein- und Austrittstemperauren EPF

01.03.2003 - 28.02.2005



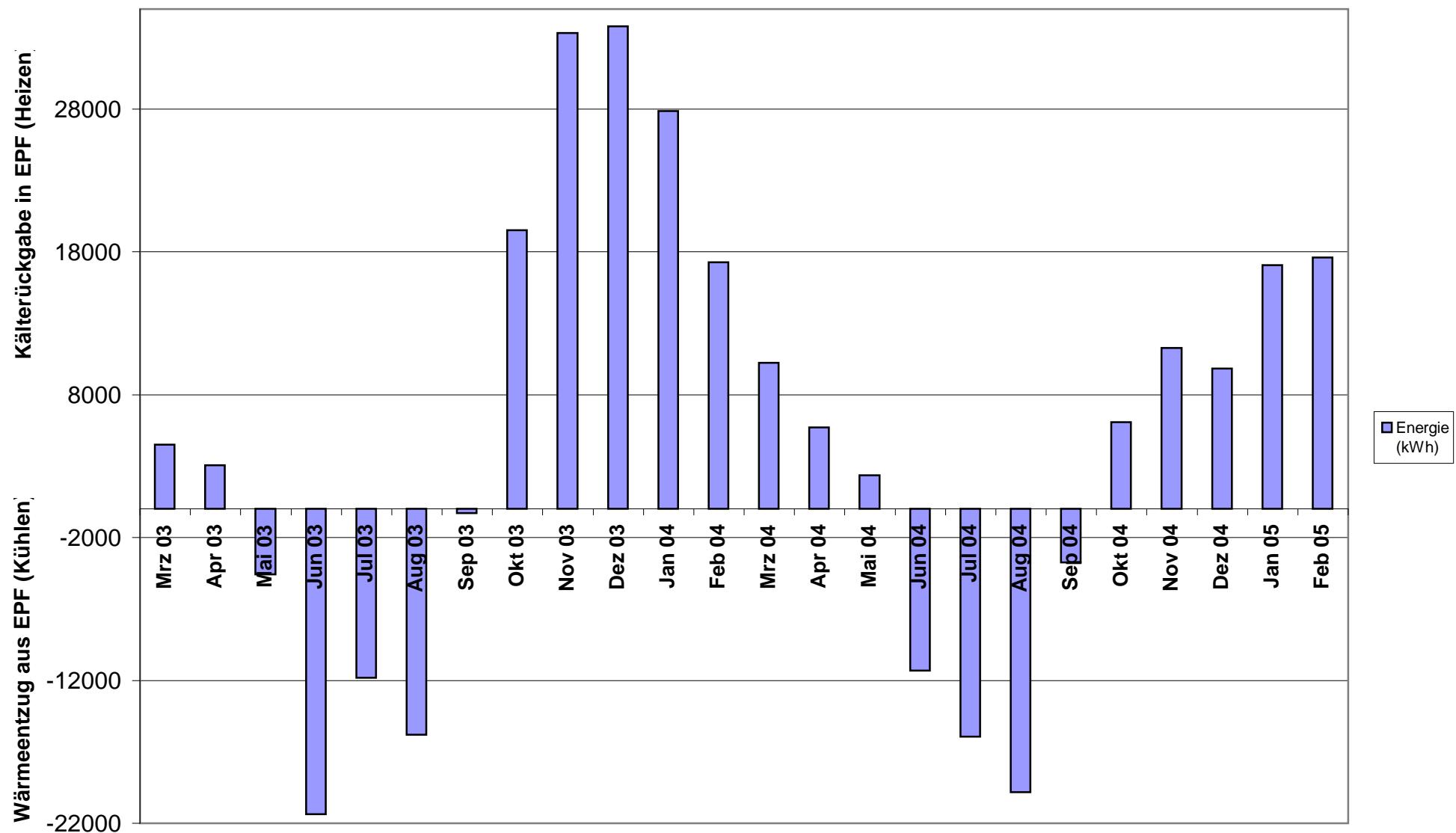
Temperaturverlauf Erdreich

01.03.2003 - 28.02.2005

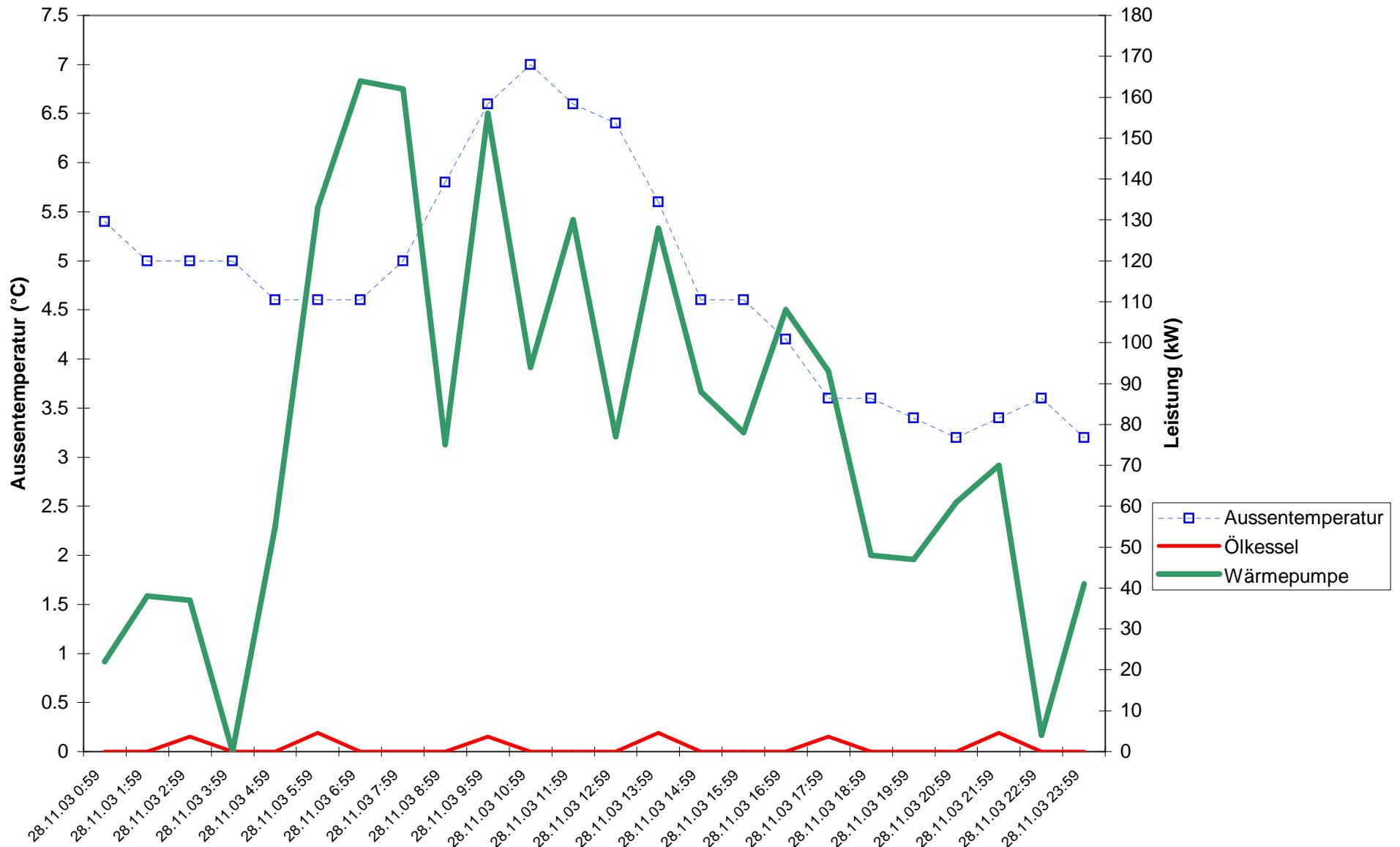


Monatliche Energiebilanz EPF Mär 03 - Feb 05

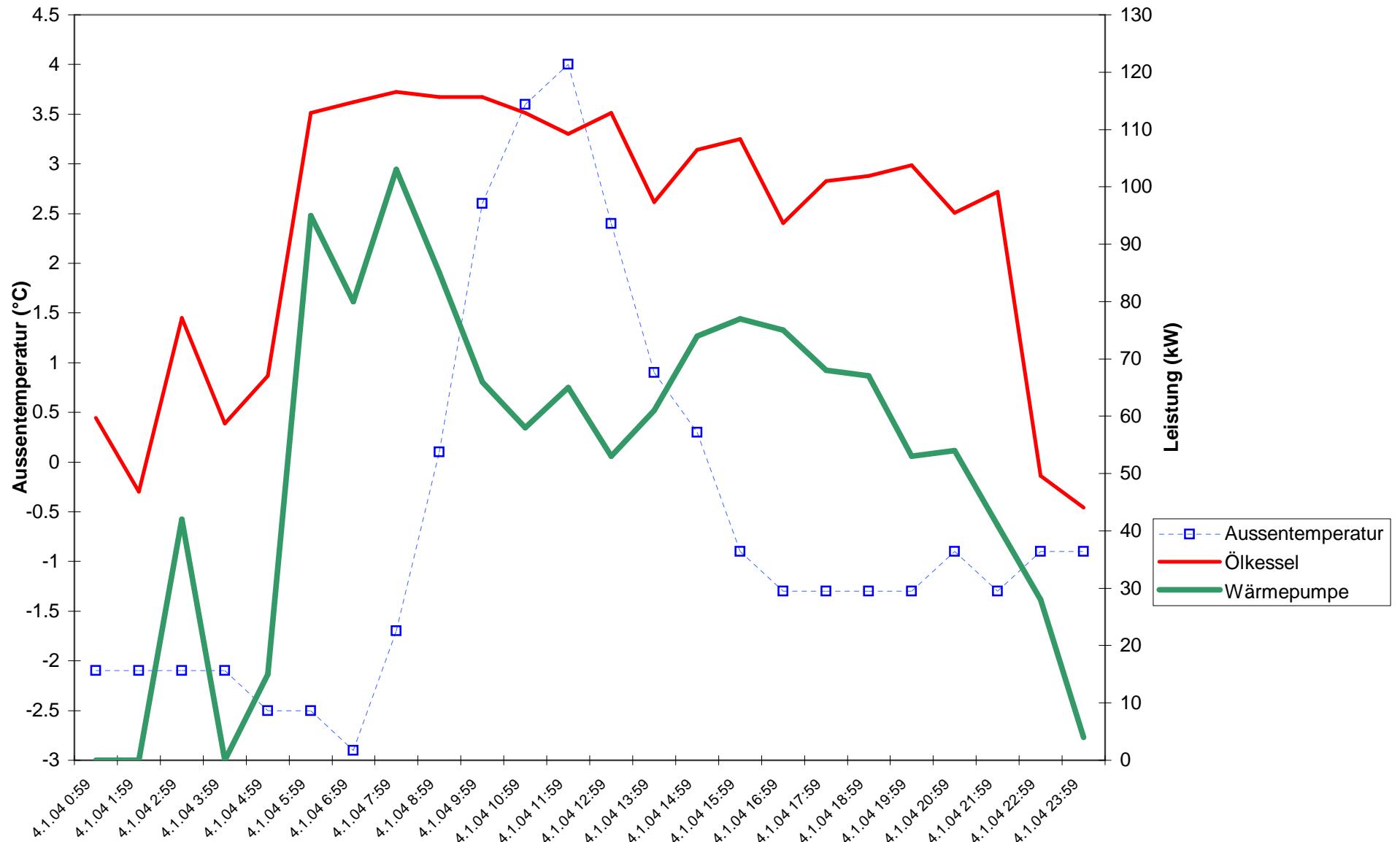
(Wärmeentzug und Kälterückgabe ins Erdreich)



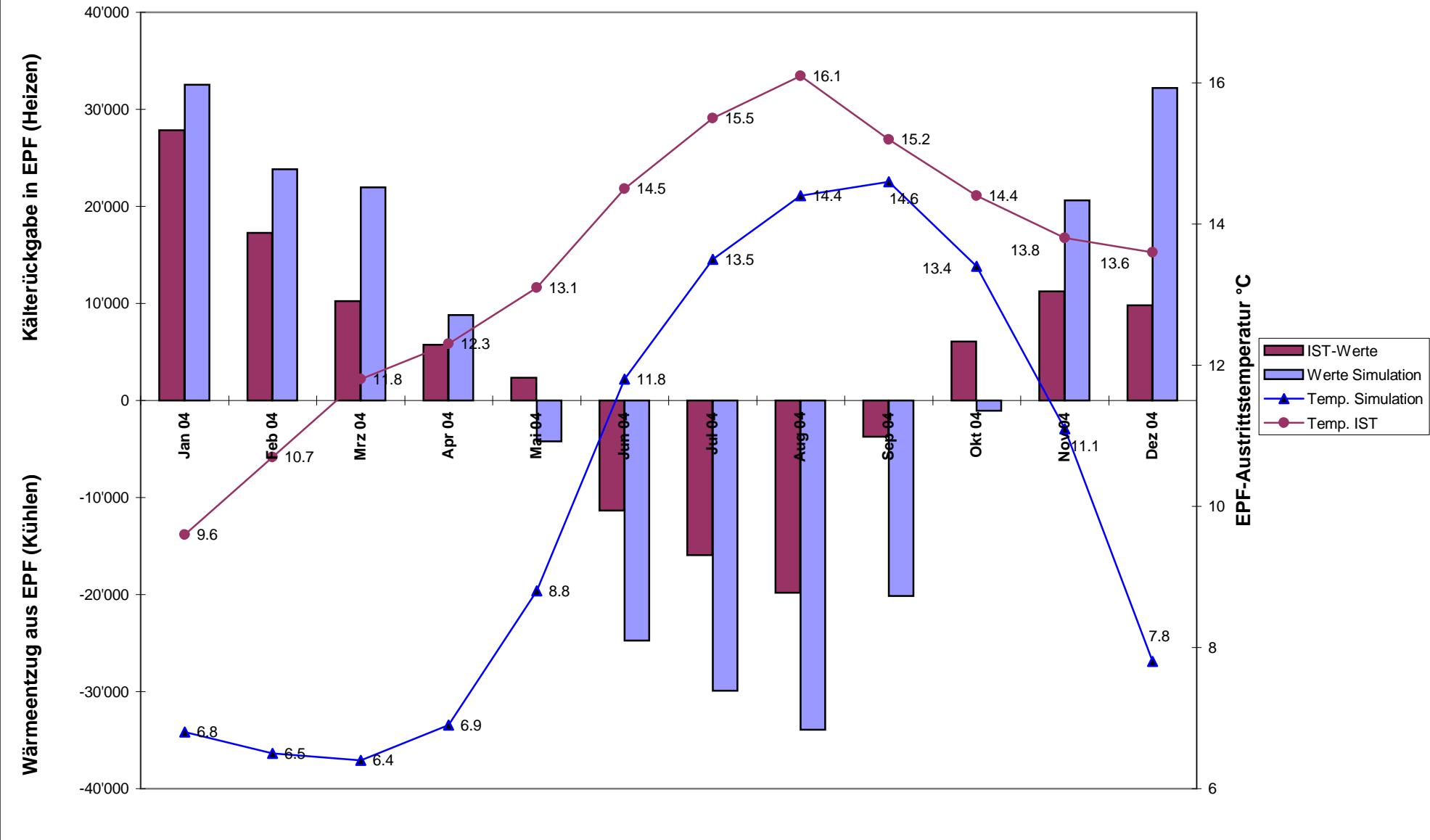
Leistung von Wärmepumpe und Ölheizung am 28.11.2003



Leistung von Wärmepumpe und Ölheizung am 04.01. 2004



Vergleich IST-Werte mit Simulation





Rammen der Energiepfähle



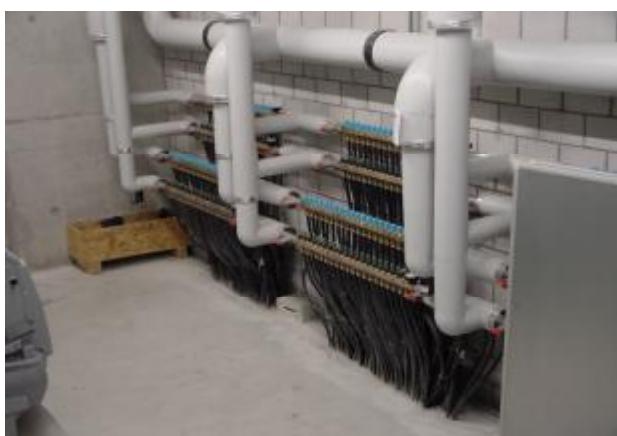
Übersicht horizontale Verteilung



Horizontale Verteilung mit Verteilervorbereitung



Aufhängung der Verteilleitungen



2 von 4 Energiepfahlverteiler à 20Stk.



Kältemaschine mit Auswertungsplatz (unten links)