

Messprojekt :

Flüssigkeits-Erdregister zur direkten Klimakühlung



Messprojekt :

Flüssigkeits-Erdregister zur direkten Klimakühlung

Vorwort

In der Schweiz werden heute in Gewerbe- und Dienstleistungsbetrieben immer häufiger Kälteanlagen eingebaut, einerseits damit auch in sommerlichen Wärmeperioden behagliche Arbeitsplatzkonditionen vorgefunden werden, andererseits aber auch zum Schutz von wärmempfindlichen Geräten und Anlagen und zur Qualitätssicherung von Waren.

Da diese Kälteanlagen bis heute elektrisch betrieben werden, führt deren Betrieb zu einem Anstieg des gesamtschweizerischen Stromverbrauches. Dieser hat sich seit den 70er Jahren verdoppelt und ist nun, nach einer relativ konstanten Phase in den neunziger Jahren, wieder stark angestiegen (Zunahme um 3,2% allein im Jahr 1999.¹⁾).

Da der Boden im schweizerischen Mittelland über das Jahr betrachtet ein viel trägeres und ausgeglicheneres Temperaturprofil als die Umgebungsluft aufweist²⁾, besteht die Möglichkeit, diese Speicher- und Dämpfungsfähigkeit einerseits beispielsweise zur winterlichen Vorwärmung von Aussenluft, andererseits aber auch zur sommerlichen Kühlung von Gebäuden zu nutzen.

Da das Verhalten des Boden und insbesondere dessen Regeneration aber nicht bekannt ist, wenn im Sommer konstant Wärme zugeführt wird, wurde anhand einer Pilotanlage das vorliegende Messprojekt initiiert.

Geplant und durchgeführt wurde das Projekt im Jahr 1999 durch Lehmann Bau & Energie GmbH, Wohlen.

Begleitet und mitfinanziert wurde das Projekt von folgenden Stellen:

- Energiedepartement des Kantons Aargau
- *Bundesamt für Energie*
- Migros Genossenschaft, Aare
- UBS
- IBW, Industrielle Betriebe Wohlen

Ihnen allen möchten die Verfasser dieses Berichtes an dieser Stelle ihren Dank aussprechen.

1) Gesamtschweizerische Energiestatistik für das Jahr 1999, Bundesamt für Energie, August 2000

2) Die natürliche Bodentemperatur ab ca. 1m Tiefe schwankt in einem relativ engen Bereich zwischen ca. 8-15°C

Zusammenfassung

Mit einem preiswerten Flüssigkeitserdregister konnten im Sommer 99 4'620 kWh Kälte genutzt werden.

Die vorliegende Studie hat ergeben, dass ohne bauliche Einschränkungen relativ preiswerte Flüssigkeitserdregister verlegt werden können. Mit diesem Flüssigkeits-Erdregister kann dem Boden während der Kühleisaison Kälte zur direkten Klimakühlung entzogen werden. Über das Jahr 99 betrachtet konnten so 4'620 kWh Kälte genutzt werden.

Der Boden war anfangs Kühleisaison 99 mit 18°C relativ warm.

Besonders auffällig war, dass der Boden bereits zu Beginn der Kühleisaison 99 mit 18 °C relativ warm war, was verschiedene Ursachen hat. Einerseits wurde das Erdregister unter warmen Bedingungen im August 98 eingebracht. Zudem setzte der Beton beim Abbinden viel Wärme frei, welche noch im Registerkörper akkumuliert war.

Der Boden regenerierte im Winter 99/00 vollständig

Die Temperaturen nach der Regeneration des Erdregisters zeigen jedoch, dass nach der Kühleisaison 99 im März 00, ein halbes Jahr nach dem Kälteentzug, die Bodentemperatur in der Gegend von 14-15 °C lag und somit von einer vollständigen Regeneration gesprochen werden kann.

So konnten im Jahr 2000 bereits 9'150 kWh genutzt werden.

Schlussfolgerung

Ein Flüssigkeits- Erdregister kann nachhaltige Klimakälte liefern und regeneriert sich vollständig.

Die direkte Klimakühlung mit Flüssigkeitserdregistern ist möglich und hat sich als preiswert und effizient erwiesen.

Der Preis der Kälte liegt wegen der geringeren Investitionen und der vernachlässigbaren Betriebskosten mässig bis stark unter dem anderer Kühlsysteme.

Das Temperaturniveau ist generell höher und die Verfügbarkeit eingeschränkt.

Die Temperaturverteilung innerhalb des Registers ist, vereinfacht betrachtet, homogen und wird nicht stark von der darüberliegenden Raumluft beeinflusst. Das Register erwärmt sich durch den Wärmeeintrag.

Aufgrund der Regenerierfähigkeit des Bodens kann bei kontrolliertem Wärmeeintrag ein langjähriger Betrieb gesichert werden.

Eine Rückkühlung während der Kühltseason erhöht den Nutzen.

Will man einen grösseren Nutzen aus dem Erdregister ziehen, könnte es während der Kühltseason in kühleren Zeitspannen, (nachts und an regnerischen Tagen) aktiv mit Aussenluft gekühlt werden. So könnte über einen längeren Zeitraum eine tiefere Vorlauftemperatur gesichert und ein grosses ΔT genutzt werden. Das erschlossene Volumen könnte so seine ausgleichende, träge Speichereigenschaften stärker entfalten.

Die Kombination mit Kühlkompressoren kann zur kurzfristigen Speicherung in Erwägung gezogen werden. Langfristig bedeutet die Temperaturangleichung der umschliessenden Flächen ein nicht vernachlässigbarer Energieverlust.

Ferner besteht die Möglichkeit den Vorlauf mit einer Kühlmaschine auf das gewünschte Niveau nachzukühlen werden. Der preisliche Vorteil der Vorkühlung mit dem Erdregister käme uneingeschränkt zum tragen. Die Verfügbarkeit würde erhöht und das Temperaturniveau könnte freier bestimmt werden.

Bei kleinen Registern und grossem und anhalten hohem Kühlbedarf sollte das Erdregister primär als Speicher und nicht als Erzeuger betrachtet und bewirtschaftet werden.

Die Kombination mit einer Wärmepumpe kann sehr sinnvoll sein.

Die Kombination mit einer Wärmepumpe, welche dem Erdregister im Winter zu Heizzwecken die Wärme entzieht und es somit unterkühlt in den Sommer entlässt kann sehr sinnvoll sein. Zudem kann diese Wärmepumpe im Sommer als Kühlmaschine eingesetzt wer-

den. Dieses Konzept haben wir dieses Jahr bereits in einem Kaufhausneubau umgesetzt.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	1
2	Aufgabenstellung	2
3	Methodik und Versuchsanordnung	3
3.1	Messanordnung	3
3.1.1	Permanente Messung	3
3.1.2	Spezialperioden	6
3.2	Gebäude	7
3.3	Erdregister	8
3.3.1	Auslegung	8
3.3.2	Verlegesituation	8
3.4	Kühlinstallationen	11
3.4.1	Installationen	11
3.4.2	Kosten	12
4	Messungen und Auswertungen	13
4.1	Die KÜHLSAISON 1999 im Überblick	13
4.1.1	Permanente Messung	13
4.1.2	Spezialwochen	17
4.2	Der Preis der Kälte	22
4.2.1	Kapital- und Betriebskosten	22
4.2.2	Totale Kosten	22
5	Schlussfolgerungen	24
5.1	Antworten auf die Fragen	24

Anhang

Fotodokumentation

1 Ausgangslage

Aufgrund hoher innerer Lasten (EDV, Druckerei, CAD, Kopierer) und der Besonnung überhitzte der bestehende Bau der erfolgreichen Firma Messebau Wagner in Wohlen im Sommer auf zum Teil über 40°C.

Im Jahr 1998 realisierte die Firma auf 600m² einen Erweiterungsbau mit Büros, Werkstätten, und Lagerräumen und auch dieser Neubau muss, trotz guter Isolation zur Qualitätssicherung teilweise gekühlt werden.

Im vorliegenden Fall sollte auf einer Fläche von 600 m² die Kälte des Bodens unter dem Neubau zur Klimakühlung im Sommer genutzt werden. Zu diesem Zweck wurden in der 1m dicken Aufschüttung unter der Bodenplatte der Lagerhalle in zwei Lagen Flüssigkeitserdregister von total 4'000 m Länge verlegt.

Diese Erdregister sollen mit Wasser durchströmt werden, welches sich dabei auf die Temperatur der Bodens abkühlt. Dieses kühle Wasser wird dann in Umluftkühlgeräten in den einzelnen Räumen die Luft abkühlen und die Wärme zurück in den Registerkörper transportieren.

Diese Kühlung beruht auf einer passiven Kühlung durch Umgebungskälte.

Neben der natürlichen Kühlung besteht auch die Möglichkeit einer aktiven Nachkühlung mit Kompressoren. In diesem Fall würde der Erdspeicher als Kältespeicher zur Nutzung der nächtlichen Klima- und Strompreisvorteile genutzt werden. Falls die Vorlauftemperatur zu hoch wird könnte Sie auch direkt auf das gewünschte Niveau nachgekühlt werden.

Da das Verhalten des Bodens zu Kühlzwecken und insbesondere dessen Regeneration aber nicht bekannt waren, wenn im Sommer konstant Wärme zugeführt wird, wurde anhand einer Pilotanlage unter dem Neubau der Firma Wagner Messebau in Wohlen das vorliegende Messprojekt initiiert.

2 Aufgabenstellung

Mit der vorliegenden Studie sollen folgende Aspekte der direkten Klimakühlung mit einem Flüssigkeitserdregister abgeklärt werden:

- I. Welche Kühlleistung kann aus dem Erdregister in der warmen Jahreszeit bezogen werden?
- II. Welche spezifische Kühlleistung kann pro Laufmeter in der Erde verlegtes Rohr bezogen werden?
- III. Welche spezifische Kühlleistung liefert ein m^2 , bzw. ein m^3 Erdregister unter dem Lagerhallenboden?
- IV. Wie regeneriert sich das Register kurz-, mittel- und langfristig?
- V. Welchen Temperaturverlauf zeigt das Erdregister im Profil?
- VI. Wieviel kosten eine kWh Kälte und ein kW Kühlleistung
- VII. Ist die Kältenutzung aus dem Erdregister als Gesamtanlage in der Anschaffung und im Betrieb günstiger als eine Kompressorkühlung?
- VIII. Welche gesamtökologischen Schlüsse können gezogen werden?

3 Methodik und Versuchsanordnung

3.1 Messanordnung

3.1.1 Permanente Messung

Zur Untersuchung der in Kapitel 1 beschriebenen Fragestellung wurde bei einem gewerblich genutzten Neubau auf einer Fläche von ca. 700 m² auf 2 Ebenen unter der Bodenplatte Erdregister aus einfachen Bodenheizungsrohren verlegt (Registerrohr Lage 1 auf minus 70cm und Registerrohre Lage 2 auf minus 120cm o.K. Betonbodenplatte).

Damit das Temperaturprofil des Bodens und dessen Dynamik erfasst werden konnten, wurden bereits in der Rohbauphase Lehrrohre auf verschiedenen Tiefen zur späteren Installation der Messanordnung eingelegt. Die Prinzipschema der Messinstallation ist in Figur 1 dargestellt.

Die Temperaturfühler T1 bis T6 befinden sich auf verschiedenen Lagen im Erdkörper unterhalb der Betonbodenplatte (siehe auch Fotos und Schnittzeichnung im Anhang). Die Fühler T1 bis T3 befinden sich auf Tiefen von - 45cm, -95cm und -145cm unter dem Hallenboden. Die Halle ist zur Sicherung gegen Frost mit Deckenumluftheizgeräten ausgestattet. Ansonsten gilt sie als unbeheizt. Die Fühler T4 bis T6 befinden sich auf Tiefen von ebenfalls - 45cm, -95cm und -145cm unter dem Boden des Kopfbaus. Direkt über dem Erdregister liegt die beheizte Schreinerei.

Während der Kühleisaison wird die effektiv entzogene Kühleisnergie mittels Wärmezähler (WZ) erfasst indem über die gemessene Differenz der Vorlauf- (TVL) und Rücklauftemperatur (TRL) und dem Volumenstrom die Leistung berechnet wird. Die erfassten Temperaturen und der Energiebezug werden mit Hilfe eines Datenloggers (DL) kontinuierlich registriert. Ein Elektrozähler (EZ) misst den Strom der Umwälzpumpe.

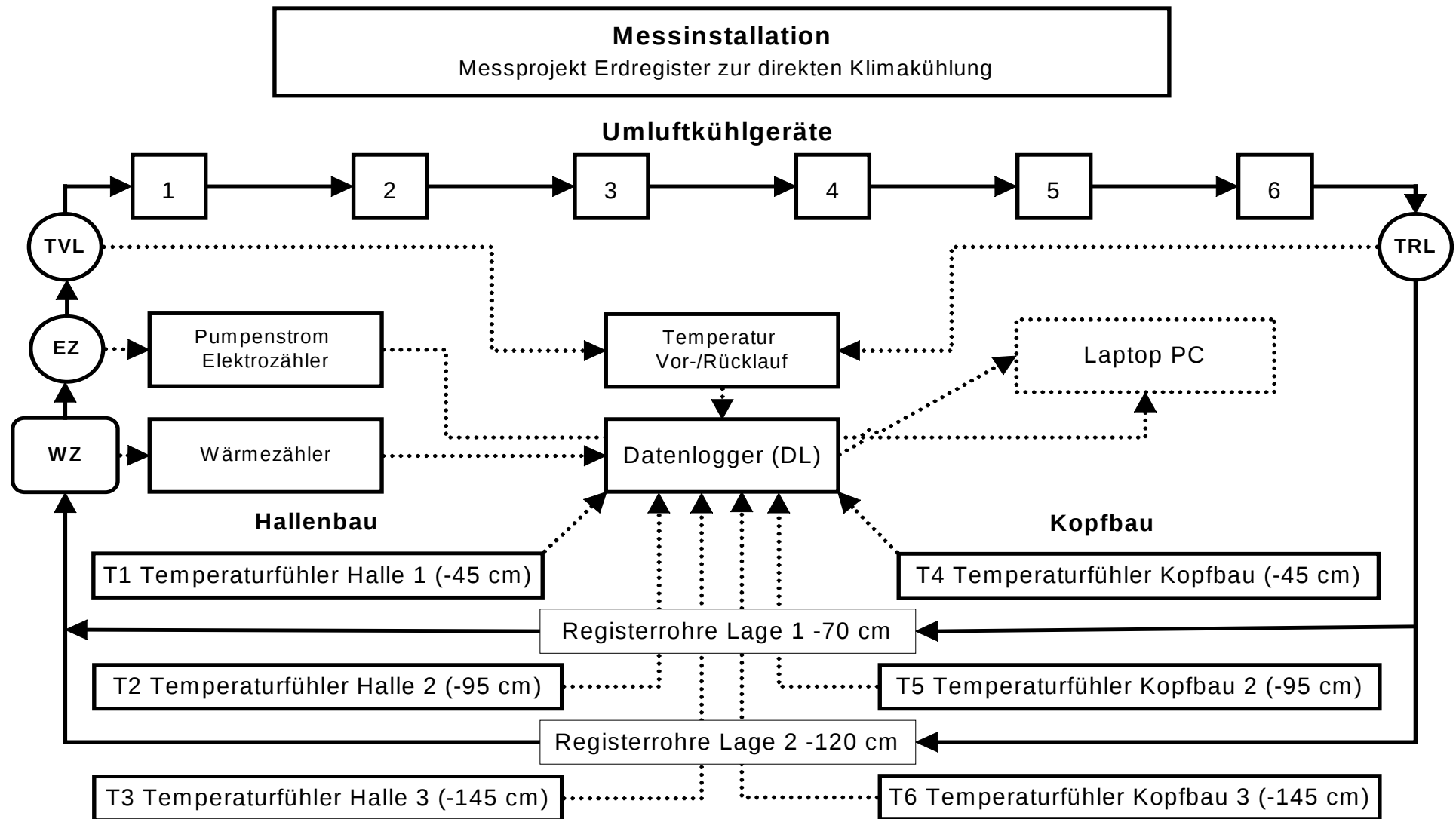
In den gekühlten Räumen sind die Umluftkühlgeräte (U1 bis U6) installiert. Deren Energieverbräuche und Betriebszeiten werden nicht einzeln erhoben.

Die gesammelten Daten werden periodisch mittels Laptop (PC) ausgelesen und ausgewertet.

Das Ableses-Intervall der permanenten Messung betrug 15 Minuten.

Zur Sicherung der Genauigkeit der Messungen wurden regelmäßige Eichmessungen durchgeführt.

Figur 1 (nächste Seite): Prinzipschema der Messinstallationen



3.1.2 Spezialperioden

In den Spezialwochen wurden die permanenten Messungen im gewohnten Stil durchgeführt. Zusätzlich wurden aber noch 6 Temperaturen im Gebäude und um das Gebäude erhoben. Die Messpunkte sind alle nicht besonnt.

TA1: Lager aussen unter Vordach (Höhe 1m über Boden)

TA2: Aussen Zwischenterrasse (Höhe 1m über Boden)

TG1: Im Lager hinten (Höhe 1.8m über Boden)

TG2: Im Lager im Treppenhaus (Höhe 3m über Boden)

TG3: Grossraumbüro auf Korpus (Höhe 1.5m über Boden)

TG4: Kleines Büro auf Kasten (Höhe 2.2m über Boden)

Im Jahr 1999 wurden drei Spezialperioden durchgeführt:

- 28. Mai – 11. Juni (Anfangs Kühltseason)
- 23. August – 6. September (Mitte Kühltseason)
- 16. September bis 7. Oktober (Ende Kühltseason)

Das Ablese-Intervall in den Spezialperioden betrug 4 Minuten.

Mit diesen Spezialwochen soll einerseits untersucht werden, inwiefern die abgegebene Leistung mit den kurzzeitigen klimatischen Bedingungen und dem Wetterzustand zusammenhängen, andererseits, wie stark der Einfluss der Bodentemperatur des Erdsprechers auf die Kühlleistung ist.

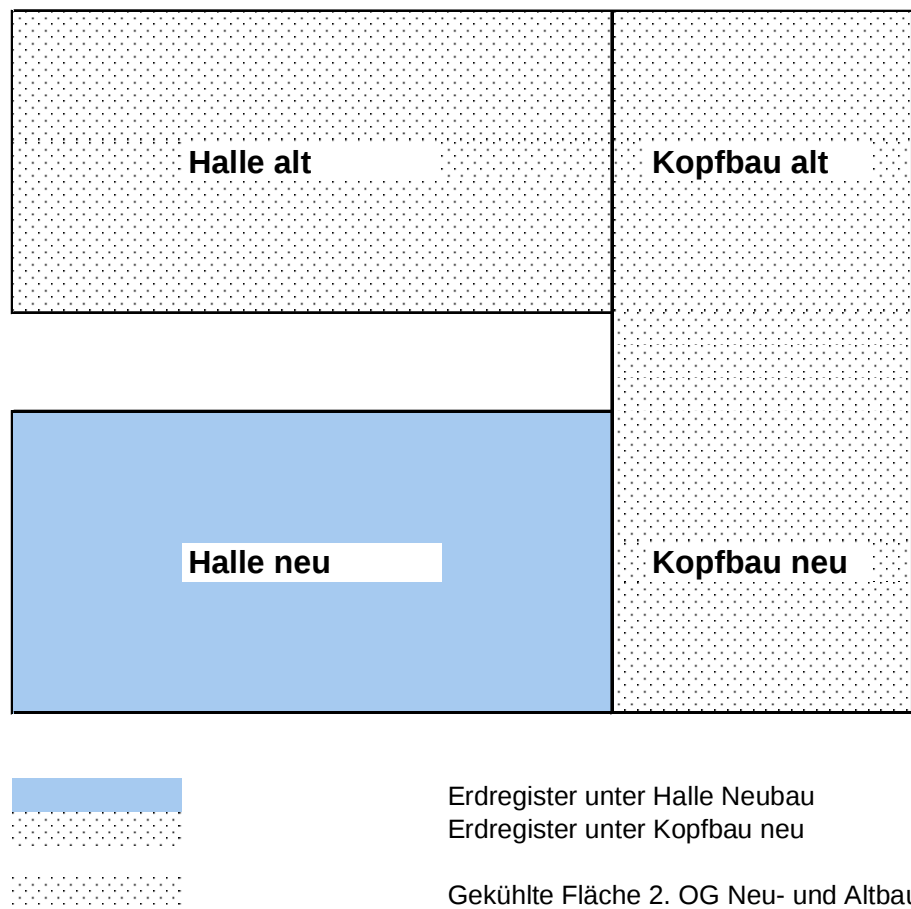
3.2 Gebäude

Kopfbau des Neubaus und
das Dachgeschoss des
Altbaus werden gekühlt.
Gesamthaft gekühlte
Fläche: 555 m²

Die Erdregister befinden sich unter dem Neubau, der aus den Teilen „Halle neu“ und „Kopfbau neu“ besteht. Neben dem Neubau befindet sich ein fast identisches Gebäude, welches aus „Halle alt“ und „Kopfbau alt“ besteht. Im unteren Bereich dieser Gebäude befinden sich Fabrikations- und Lagerräume. Im Dachgeschoss (2. OG) sind der Neu- und der Altbau miteinander verbunden. Über der „Halle alt“ sowie in den Kopfbauten des Neu- und des Altbaus sind Büro- und Verwaltungsräume untergebracht, welche gekühlt werden (siehe Figur 2).

Beim Neubau beträgt die gekühlte Fläche 209 m², beim Altbau ist das ganze Dachgeschoss gekühlt und die gekühlte Fläche beträgt 346 m². Da im Altbau über der Halle zahlreiche graphische Folien gelagert werden, ist die Kühlung zur Qualitätssicherung von grosser Wichtigkeit. Die gesamthaft gekühlte Fläche beträgt 555 m².

Figur 2:
Prinzipskizze
Neubau – Altbau
Kühlung und Lage der
Erdregistert



3.3 Erdregister

3.3.1 Auslegung

Die Auslegung für die Umluftkühlgeräte basiert auf den inneren Lasten von Mensch und Maschinen, dem Wärmeeintrag durch die Fenster und den Transmissionsleistungen (Wärmegewinn durch Dach und Wände).

Die Kühlleistung beträgt ca. 20-30 kW, der Kühlenergiebedarf 9'000 – 10'000 kWh, was ein Erdregister von 3'000 m Länge ergibt.

Es wurde ein Kühlleistungsbedarf von 20- 30 kW angenommen. Da jedoch während der Kühlsaison häufig sämtliche Fenster, zum Bewirken von Zugerscheinungen, welche ihrerseits zur Kühlung beitragen, teilweise in geöffneter Position arretiert werden, muss die Auslegung mit Vorsicht betrachtet werden.

Basierend auf einer spezifischen Kühlleistung von 8-10 W/m Rohr, wurde eine Rohrleitungslänge des Registers von 3'000 Laufmetern berechnet. Diese Auslegung muss aus den oben genannten Gründen ebenfalls mit Vorsicht betrachtet werden. Zusammen mit den Kühllaststunden von 500h/Jahr konnte von einer benötigten Kühlenergie von 9'000-10'000kWh/Kühlsaison ausgegangen werden.

Rein rechnerisch wurde ein Speicher zugrunde gelegt, der bei einem c_p von 1.21 kWh/m³ K und einem nutzbaren ΔT von 10 K ca. 11'000 kWh nutzbare Kälte speichert. Die Regeneration während der Kühlsaison wurde nicht einbezogen.

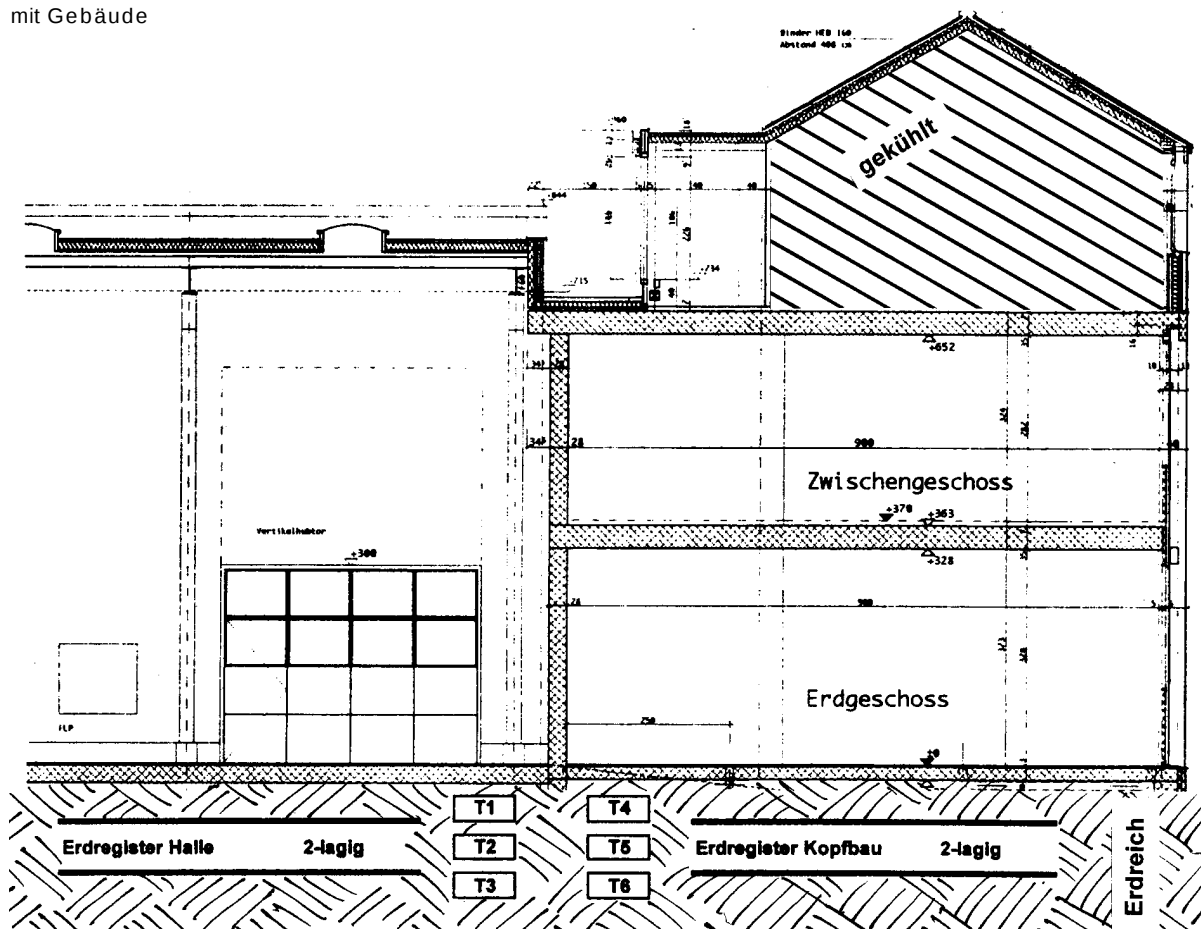
3.3.2 Verlegesituation

Da es lediglich unter dem Neubau die Möglichkeiten gab Flächen bzw. Erdspeicher-Volumina zu erschliessen, musste die gesamte Fläche mit einem Flüssigkeits-Erdregister bestückt werden.

Das Kühlregister wurde in zwei Lagen in einer Tiefe von -70 cm und -120 cm unter o.K. Betonbodenplatte verlegt (vergl. Figur 3). Damit konnte gesamthaft ein Bodenvolumen von ca. 900-1000 m³ zu Kühlzwecken erschlossen werden. Die Aufsicht des Registers (Figur 4)

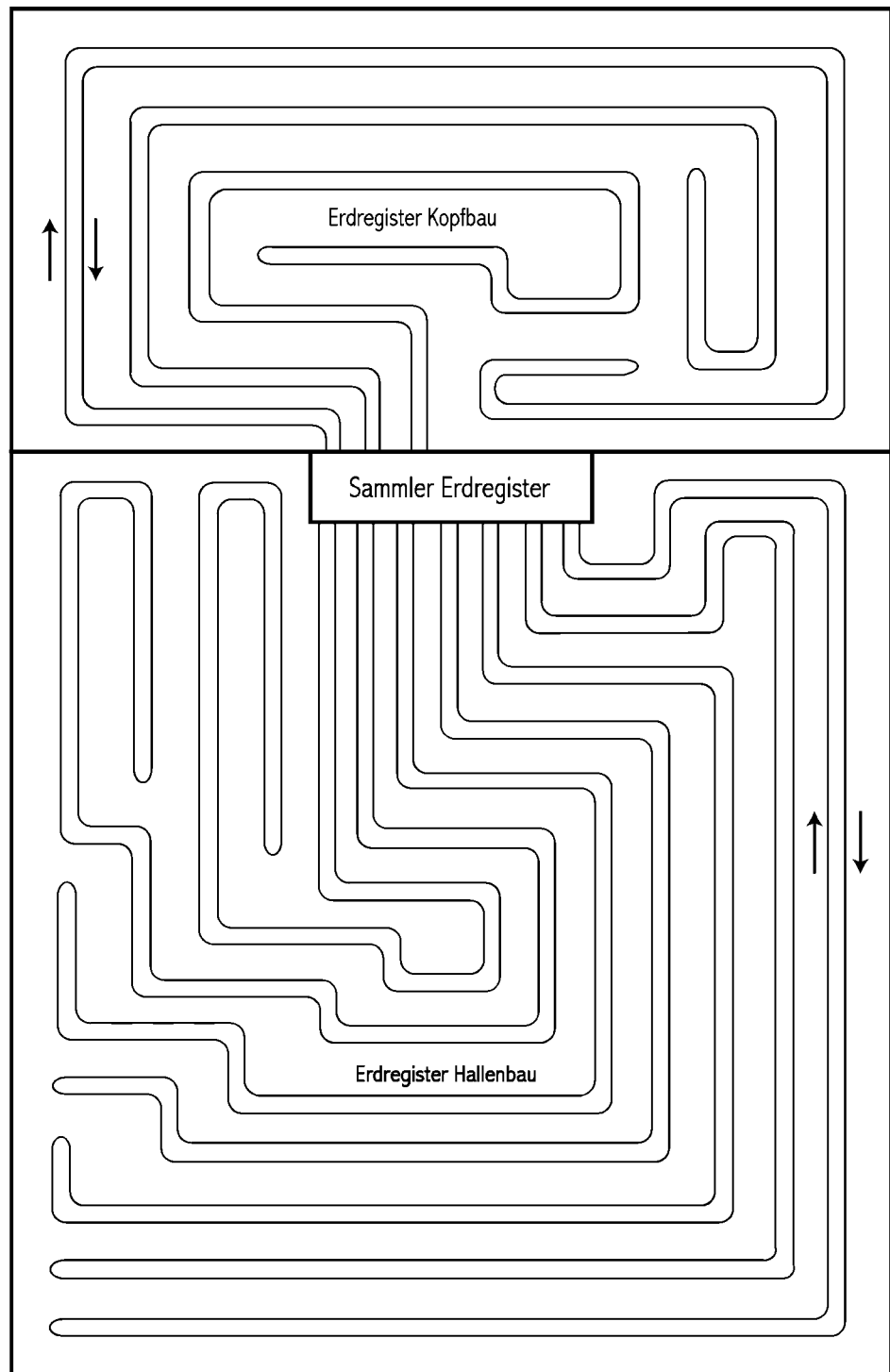
zeigt, dass versucht wurde alle Leitungen parallel zu verlegen und immer konstante Rohrlängen von 200 m zu verarbeiten. Dadurch wurde einerseits sichergestellt, dass ein homogener Energieentzug stattfindet, andererseits, dass keine Rohrabschnitte anfielen und ein hydraulisch einwandfreies System mit konstanten Druckabfällen in den einzelnen Abschnitten erstellt werden konnte.

Figur 3 Schnitt Erdregister mit Gebäude



Figur 3

Figur 4:
Schema Verlegeplan



Figur 4

Legende: In den 2 Registern wurden unter dem Kopfbau 3 Kreisläufe und unter der Halle 7 Kreisläufe à je 200 m verlegt

3.4 Kühlinstallationen

3.4.1 Installationen

Generell wurden in jedem Raum Umluftkühlgeräte eingesetzt, welche die Räume individuell thermostatisch kühlen. Es wurden folgende Geräte eingebaut:

Pos	Hersteller	Typ	Kühlleistung, [kW] bei 6/12	Raumbezeichnung
1	Ciat	125	1.6	Büro M.Wagner
2	Orion	K/H 250-2/2K/h/c	8	Grossraumbüro Bau 1
3	Orion	K/H 250-2/2K/h/c	8	Grafik Bau 1
4	Orion	K/H 650-2/2K/h/c	18.8	Lager Bau 1
5	Orion	K/H 250-2/2K/h/c	8	Grossraumbüro Bau 2
6	Ciat	125	1.6	CAD Raum Bau 2
7	Ciat	125	1.6	Büro S.Wagner Bau 2
Total			47	

Da davon ausgegangen werden musste, dass nicht mit grossen Temperaturdifferenzen gerechnet werden konnte und zudem auch hohe Lufteintrittstemperaturen möglich sind, wurden tendenziell grössere Geräte gewählt.

Ferner war es ein Anliegen aus Gründen der Lärmreduktion auch mit tiefen Drehzahlen noch gute Ergebnisse erzielen zu können, was den Entscheid für grosse Geräte stützte.

3.4.2 Kosten

Für die Kühlung und das Erdregister wurden gesamthaft Fr. 79'500.- investiert. Die einzelnen Positionen folgende sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1:
Kosten Erdregister und
Kälteverteilung

Position	Kosten sFr.
Erdregister	
Erdregister, Verlegung, Material)	8'000.-
Aufschüttung (Arbeit, Material)	11'000.-
Planung und Ingenieur	3'500.-
Total Erdregister	22'500.-
Kälteverteilung	
Kälteverteilung	30'000.-
Umluftkühlgeräte	15'000.-
Elektroinstallationen und Regelungstechnik	4'000.-
Planung und Ingenieur	8'000.-
Total Kälteverteilung	57'000.-
Total Erdregister und Kälteverteilung	79'500.-

Die Kosten des Erdregisters belaufen sich insgesamt nur auf 28% der Gesamtkosten. Dabei muss angemerkt werden, dass die Kosten der Kälteverteilung, unabhängig vom System der Kälteerzeugung, in jedem Fall anfallen.

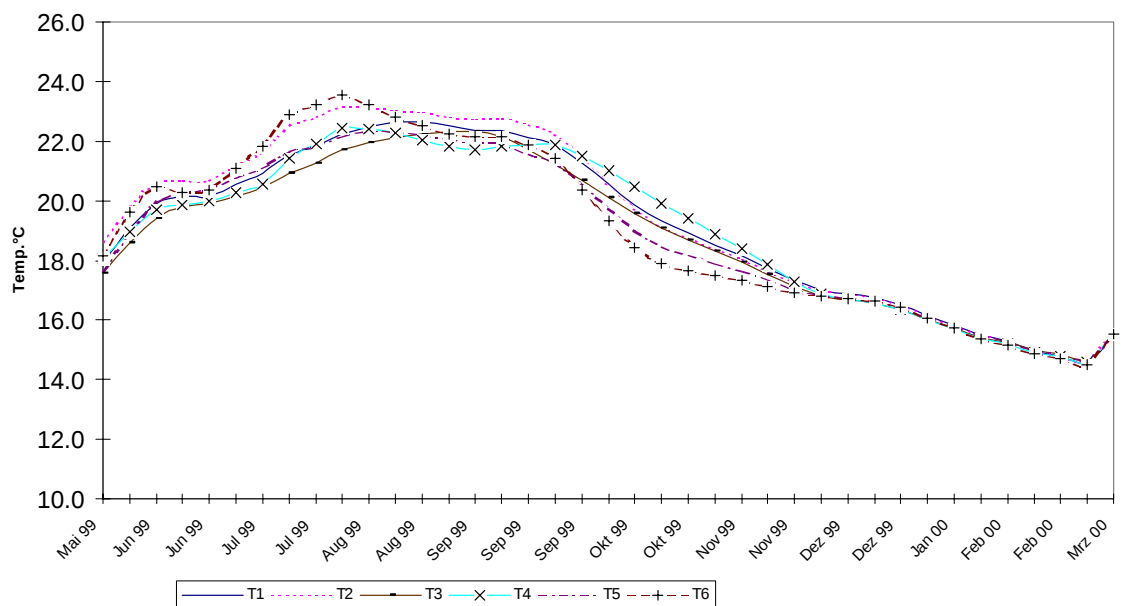
4 Messungen und Auswertungen

4.1 Die KÜHLSAISON 1999 im Überblick

4.1.1 Permanente Messung

Über die ganze KÜHLSAISON 1999 wurden gesamthaft 4'620 kWh Kälte dem Erdregister entzogen. Das Temperaturniveau des Kühlmediums bewegte sich von anfänglichen 18°C im Mai auf ca. 23°C Ende August (vergl. Figur 5). In der kalten Jahreszeit regenerierte sich das Temperaturniveau auf ca. 14.5 °C Ende Februar 2000. Im Jahr 2000 konnten mit dieser tieferen Ausgangstemperatur dem Erdspeichers gesamthaft 9'150 kWh Kälte entzogen werden.

Figur 5: Temperaturverlauf im Boden



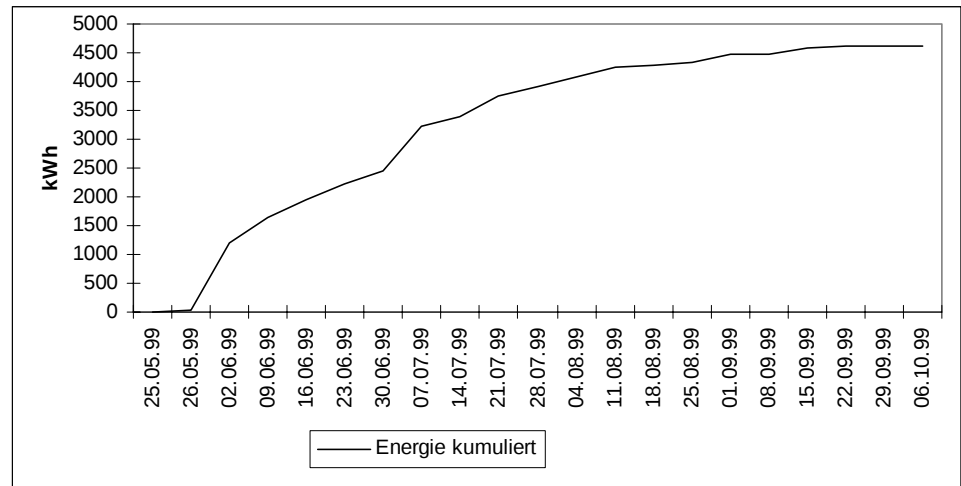
Bereits Ende Juli 1999 erreichte das Erdregister seine maximale Temperatur, was darauf schliessen lässt, dass bei hohen Temperaturen die Regeneration bereits im Sommer einsetzt.

Wie sich nach der Messung zeigen sollte, war vor allem das nutzbare Temperaturgefälle im ersten Jahr nicht so gross, weil der Boden vor der ersten KÜHLSAISON mit 17-18°C sehr warm war. Diese Wärme könnte einerseits noch aus der Einbringung des geschütteten Erdmaterials im Sommer, andererseits auch von der freigesetz-

ten Reaktionswärme des Betons herrühren. Bereits ein Jahr später war die Bodentemperatur Ende Winter wieder markant tiefer, nämlich bei ca. 14.5°C.

Der installierte Wärmehzähler hat gemessen, dass im Jahr 1999 eine Energiemenge 4'620 kWh in den Boden abgeleitet werden konnte. Der Verlauf der in den Erdspeicher abgeleiteten Energiemenge ist in Figur 6 dargestellt.

Figur 6:
Energie kumuliert



Um die durchschnittlichen Kühlleistung zu berechnen, kann von drei verschiedenen Modellen ausgegangen werden. Ausschlaggebend für die Berechnung ist die im Speicher zur Verfügung stehende Temperaturdifferenz (ΔT Anfangs – Ende Kühlperiode), sowie die Raumtemperatur, bei welcher die Kühlleistung bezogen wurde. Daraus ergeben sich sowohl unterschiedliche Kühllaststunden wie auch unterschiedliche Kühlleistungen³⁾. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2:
Berechnete Kühlleistung
des Erdspeichers

Speichertemperatur Anfangs Saison [°C]	18	18	18
Speichertemperatur Ende Saison [°C]	23	23	25
Temperaturdifferenz ΔT [°C]	5	5	5
Abgeführte Wärmeenergie [kWh]	4'620	4'620	4'620
Kühlgrenze Aussentemperatur [°C]	20	22	25
Kühllaststunden [h]	600	400	200

3) Regeln für Kühllastberechnung des Verbandes Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfachleute (VSHL), Tageskühllaststunden für Zürich, 1988

Kühlleistung [kW]	7.7	11.6	23.1
--------------------------	------------	-------------	-------------

Die für das Jahr 1999 relativ bescheidene Kühlleistung damit erklärt werden, dass sich der Erdspeicher noch nicht im Gleichgewicht befand. Wegen des Wärmeeintrages der frisch betonierten Bodenplatte startete der Speicher mit einer relativ hohen Temperatur von 18°C in die Kühlsaison. Bereits im Jahr 2000 konnten erheblich bessere Werte erzielt werden, da die Temperatur des Speichers zu Beginn der Kühlsaison 14.5°C betrug (Bezug im Jahr 2000: 9'150 kWh Kälte).

4.1.2 Spezialwochen

Im Jahr 1999 wurden drei Spezial- Messperioden durchgeführt:

- 28. Mai – 11. Juni (Anfangs KÜHLSaison)
- 23. August – 6. September (Mitte KÜHLSaison)
- 16. September bis 7. Oktober (Ende KÜHLSaison)

Es wurde dabei folgendes festgestellt:

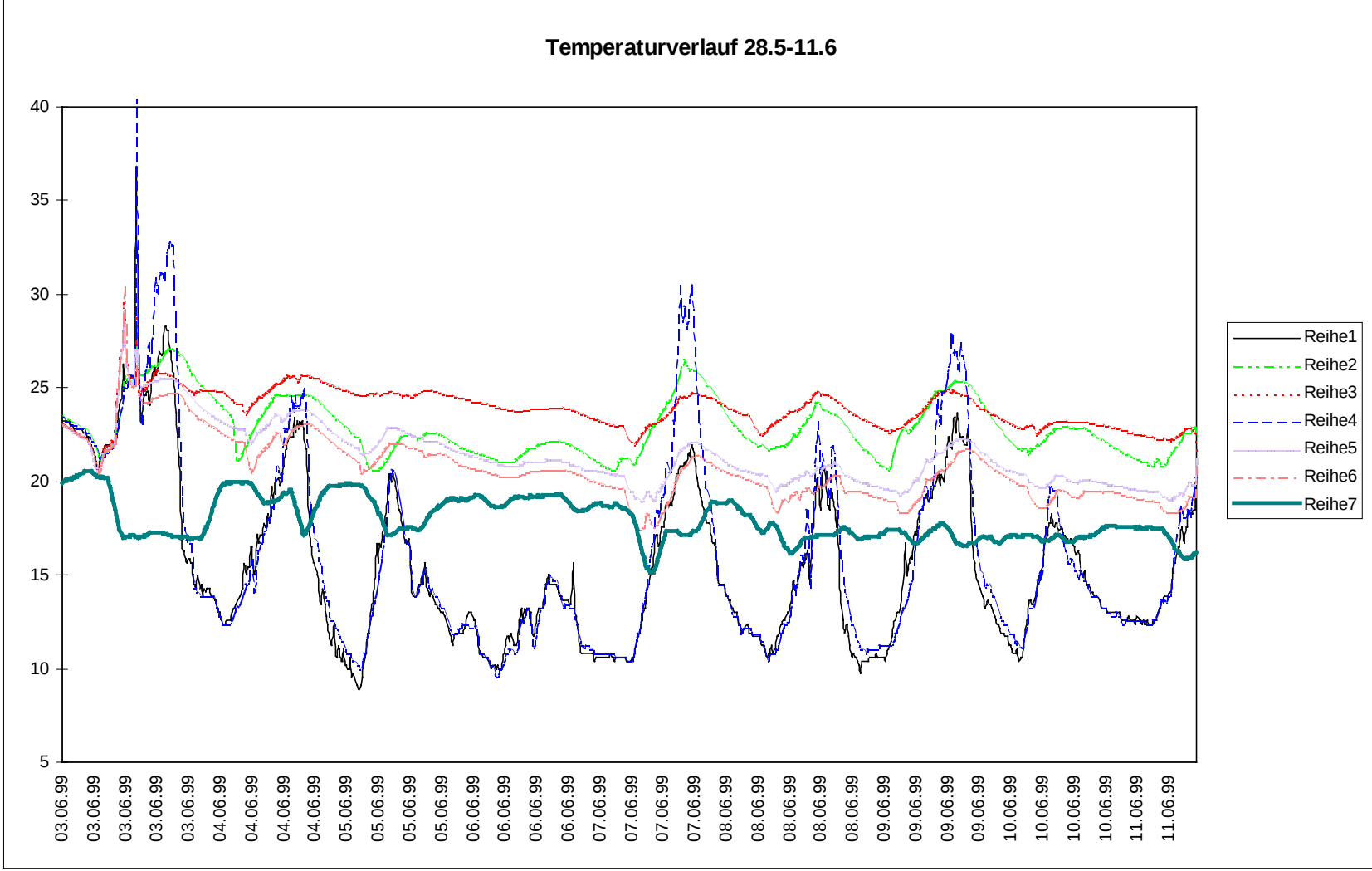
Innerhalb des Gebäudes gab es Standorte, die starke Temperaturschwankungen nach oben aufwiesen. Die mittlere Temperatur des Erdregisters schwankte aber nur innerhalb einer Bandbreite von 2 bis 3 K, was den dämpfenden Charakter des Erdregisters belegt.

Speziell die Aussentemperatur- Fühler zeigen grosse Tag-/ Nacht-Schwankungen. Sie zeigen insbesondere auch Temperaturen unterhalb der Temperatur des Erdregisters. Daher könnte zur Gewährleistung eines optimaleren Betriebes des Erdregisters somit bei geeigneten Aussentemperaturen auch während der KÜHLSaison eine Wärmeabgabe des Erdregisters an die Aussenluft in Betracht gezogen werden. Das Erdregister würde sich sogar vorzüglich dazu eignen, nicht nur die Jahres- Temperaturschwankungen, sondern auch die natürlichen Temperaturschwankungen Tag/ Nacht, oder Schönwetterperiode/ Schlechtwetterperiode auszugleichen. Da die Firma Wagner Messebau terminlich von den Messeterminen abhängt, sind die Arbeitstage länger und auch an Wochenenden wird zum Teil gearbeitet. Ein typischer Tages - respektive. Wochengang kann somit nicht in Korrelation gebracht werden.

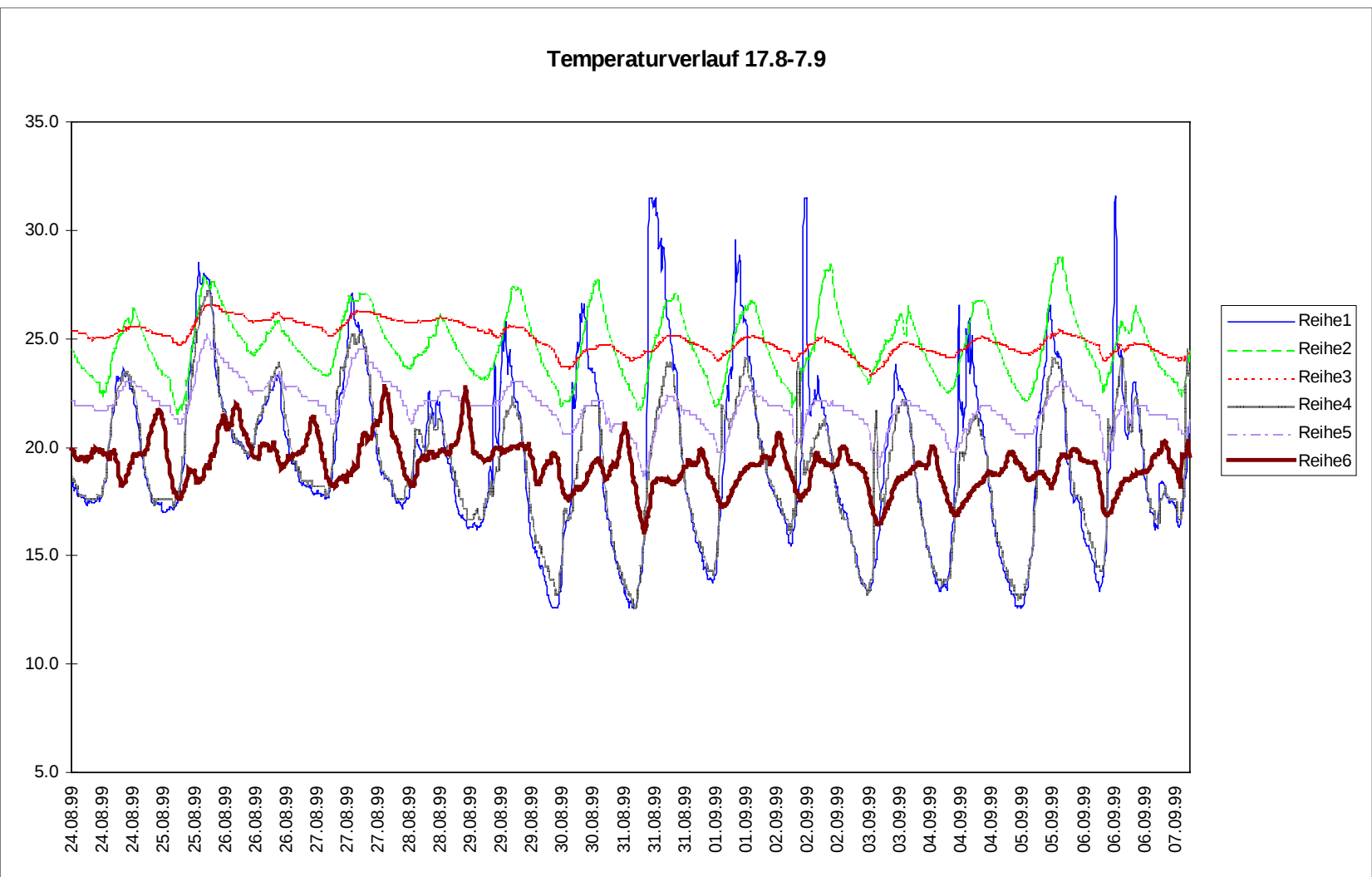
Die folgenden Abbildungen (Figur 7 bis Figur 9) zeigen die detaillierten Messresultate des Temperaturverlaufs an den unterschiedlichen Messorten.

Tabelle 3
Legende den Standorten
der Fühler

Reihe	Position	Höhe über Boden
Reihe 1	Aussen Leitplanke	1.0 m
Reihe 2	Grosses Büro	1.8 m
Reihe 3	Kleines Büro	2.2 m
Reihe 4	Aussen, Gittertreppe	1.0 m
Reihe 5	Lagertreppe	3.0 m
Reihe 6	Lager hinten	1.8 m
Letze Reihe, fett	Gemittelte Register- temperatur	Erdregister

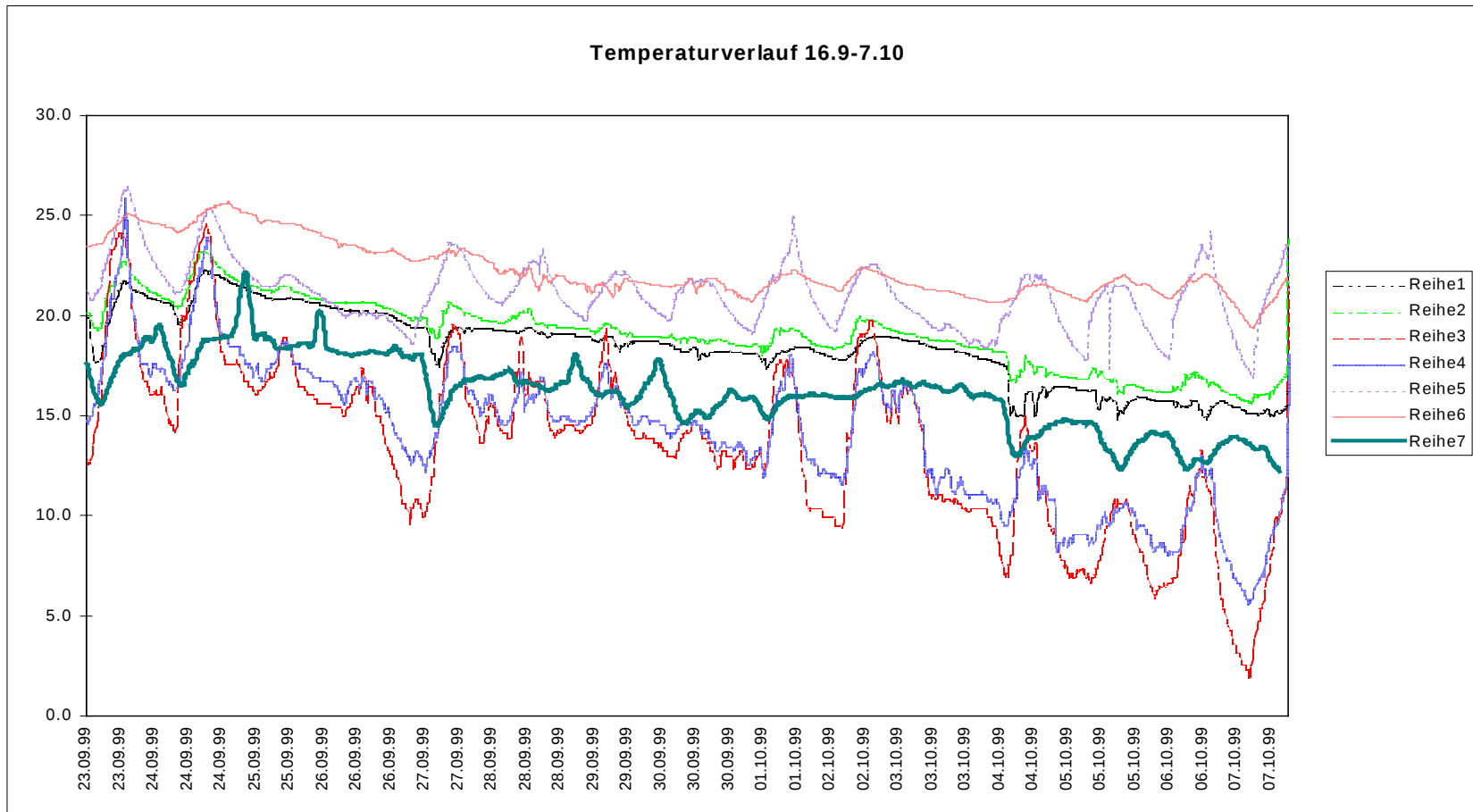


Figur 7 Spezialwoche 1



Figur 8 Spezialwoche 2

Figur 9 Spezialwoche 3



Die fetten Linien stellen die gemittelte Temperatur des Erdregisters dar

Schlüsse auf die spezifischen Leistungsdaten

Aufgrund der oben dargestellten Grafiken und Auswertungen, können folgende Kernaussagen gemacht werden:

- 1 m³ Erdregister konnte im Laufe der Kühlsaison 1.02 kWh/Kelvin entzogen werden⁴⁾.
- 1 m³ Erdregister wurde in dieser Zeit von 18°C auf 23°C erwärmt. Dabei wurde ihm eine Energie von 5.1 kWh entzogen.
- Bei der vorliegenden Verlegeart von 4'000 lm Rohren, aufgeteilt auf 2 Lagen à je 2'000 lm ergibt das eine spezifische Rohrlänge von 6 lm pro m² Bodenfläche. Pro Laufmeter können demzufolge maximal 5.4 Watt Wärme abgeführt werden.

4.2 Der Preis der Kälte

4.2.1 Kapital- und Betriebskosten

Bei Investitionskosten von Fr. 22'500 und einer Annuität von 8% ergeben sich jährliche Kapitalkosten von Fr. 1'800.-.

Trotz bescheidenem ΔT verbrauchte die Umwälzpumpe im Laufe der Kühlsaison 1999 eine Energie von 650 kWh im Wert von ca. Fr. 140. Dieser Energieverbrauch dürfte sich aber auch bei höherem ΔT nicht wesentlich ändern. Im Jahr 1999 betrugen die Betriebskosten somit ca. 7% der Gesamtkosten (Kapital und Betriebskosten) der Anlage.

Diese Energie wird zu einem grössten Teil in Form durch Reibung in Form von Wärme ins System eingebracht.

4.2.2 Totale Kosten

Werden jährlich 4'260 kWh Kälte gewonnen, geschieht dies zu einem Preis von ca. Fr. 0.40/kWh. Die Betriebskosten sind im Kapitel 3.4.2. dargestellt.

4) Die spezifische Wärmekapazität von Erdmaterial (geschüttet) beträgt laut Tabellenwert 1.21 kWh/m³

Da jedoch im Jahr 2000 das Erdregister mit 14.5°C in die Kühlsaison startete, konnte doppelt so viel Wärme abgeführt werden. Demzufolge halbiert sich auch der Preis auf ca. Fr 0.20/kWh⁵⁾.

5) Konventionelle Kühlungen mit Kompressoren erzeugen die Kälte nicht selten zu einem Preis von Fr. 0.40 bis Fr. 0.60 pro kWh, wenn man die Kapitalkosten mit einberechnet.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Antworten auf die Fragen

- I. Welche Kühlleistung kann aus dem Erdregister in der warmen Jahreszeit bezogen werden?

Die genutzte Kühlenergie entspricht ziemlich genau der Wärme, welche benötigt wurde um den erschlossenen Erdkörper zu erwärmen. In diesem Fall sind das ca. 900 kWh/K. Die Leistung errechnet sich aus der Zeitspanne und der entzogenen Energie

Die Leistung wird zudem durch die Leistungsfähigkeit der flüssigkeitsführenden Rohre und dem Temperaturgefälle zum Erdregister beschränkt gefüllt.

Die höchste 1999 je bezogene Leistung waren ca. 13 kW bei einer Register-Temperatur von 19 °C.

- II. Welche spezifische Kühlleistung kann pro Laufmeter in der Erde verlegtes Rohr bezogen werden?

Kurzfristig können bei gutem Temperaturgefälle ca. 5 W/m entzogen werden. Begrenzend ist der „Ladezustand“, das Temperaturniveau, des Speichers. Durch aktive atmosphärische Unterkühlung könnte diese Leistung verdoppelt werden.

- III. Welche spezifische Kühlleistung liefert ein m², bzw. ein m³ Erdregister unter dem Gebäude?

Das Registervolumen und sein nutzbares ΔT bestimmen das makroskopische Kühlpotential. Die Registerrohre müssen in der Lage sein diese Energie auszutauschen. Im vorliegenden Fall konnten 1.02 kWh/ m³K Wärme eingebracht, respektive Kälte entzogen, werden. Bei einem nutzbaren ΔT von 5 K (1999) entspricht das 5.1 kWh/ m³ und bei 10 K (2000) sind es 10.2 kWh/m³.

- IV. Wie regeneriert sich das Register kurz-, mittel- und langfristig?

Das Erdregister regeneriert sich, wenn es stark erwärmt wurde und seine Temperatur über 20°C beträgt, bereits während der Kühltage ein wenig. Die massgebliche Wärmeabgabe findet von Oktober bis Februar statt. Dabei regenerierte es sich kontinuierlich von über 20°C auf 14°C. Ei-

ne permanente akkumulierende Erwärmung ist nicht zu befürchten.

V. Welchen Temperaturverlauf zeigt das Erdregister im Profil?

Die Temperaturverteilung innerhalb des Registers ist, vereinfacht betrachtet, homogen und wird nicht stark von der darüberliegenden Raumluft beeinflusst. Das Register erwärmt sich durch den Wärmeeintrag ebenfalls recht gleichmässig.

Die Temperaturen der einzelnen Schichten schwankten nie mehr als ± 1 K um den Mittelwert. Es scheint insbesondere keine massgebliche Rolle zu spielen, ob sich das Register unter einem wärmeren oder kühleren Raum befindet.

VI. Wieviel kosten eine kWh Kälte und ein kW Kühlleistung?

Der Preis der Kälte besteht in erster Linie aus den Kapitalkosten der Erstellungskosten des Erdregisters. Die Betriebsenergie ist mit Fr. 143/ Jahr marginal. Kann wie im ersten Jahr nur ein ΔT von 5 K genutzt werden, ist der Preis mit 40 Rp./kWh relativ hoch kann aber dennoch mit dem anderer System, welche zusätzlich hohen Betriebskosten aufweisen konkurrenzieren.

Kann, wie im Jahr 2000, ein ΔT von 10 K genutzt werden, sinkt der Preis auf 20 Rp./kWh.

VII. Ist die Kältenutzung aus dem Erdregister als Gesamtanlage in der Anschaffung und im Betrieb günstiger als eine Kompressorkühlung?

Die Anschaffungskosten für das Erdregister sind beträchtlich tiefer als die einer Kompressorkühlung. Der Löwenanteil beim Preisvorteil der Erdregisterkühlung liegt jedoch in den vernachlässigbaren Betriebs- und Unterhaltskosten. (Die Kosten der Kälteverteilung sind systemunabhängig). Ein deutlicher Nachteil der Erdregisterkühlung ist die begrenzte Kapazität und der Leistungsschwund bei grossen Leistungsbezügen. Die Erweiterung mit einer atmosphärischen Rückkühlung kann diese Schwächen stark mindern. Das Erdregister könnte so zusätzlich als mittelfristiger Speicher dienen. Die Regenerierfähigkeit ist eine Stärke dieser sanften Kühlung.

VIII. Welche gesamtökologischen Schlüsse können gezogen werden?

Generell sollte der Energiebedarf von Bauten durch vertretbare bauliche Massnahmen auf ein Minimum gesenkt werden. Resultiert danach immer noch ein Kühlbedarf so sollte dieser mit möglichst einfachen, energieeffizienten und störungsarmen Systemen gedeckt werden.

Unter diesen Aspekten schneidet die Klimakühlung mit Flüssigkeitserdregistern, gegebenenfalls atmosphärisch rückgekühlt, sehr gut ab. Der Materialaufwand dieser Kühlung mit Erdregistern beschränkt sich auf die PE-Rohre und die Erdbewegungen.

Die Energie für die Umwälzpumpe ist marginal und muss unabhängig von der Art der Kälteerzeugung in jedem Fall investiert werden. Das einzige Verschleisstelle ist die Umwälzpumpe, welche auch für jeden anderen Kältetransport benötigt würde.

Im Gegensatz dazu hat die Kompressorkühlung eine Vielzahl von störungsanfälligen Bauteilen. Sie verbraucht zudem permanent Antriebsenergie zur Kälteerzeugung und, sofern kein anderer Verbraucher die Wärme nutzen kann, ein eigenes Rückkühlsystem zur Wärmevernichtung. Im Gegensatz zum Erdregister kann die Kompressorkühlung jedoch permanent und temperatur-konstante Kälte liefern. Bedauerlicherweise werden bis heute die meisten Kompressor-Kühlungen mit HFKW, ozonschicht-schädigenden Substanzen betrieben. Bei Leckagen und Havarien entweichen jedes Jahr grosse Mengen dieser Problemstoffe.

Dieses Risiko besteht bei der sanften Kühlung mit Flüssigkeitserdregistern in keiner Weise. - Das Kühlmedium ist Leitungswasser.

A1 Fotodokumentation

Foto 1:
Registerebene 2
auf minus 120 cm
während der Zuschüttung



Foto 2:
Zur Verhinderung von
Quetschungen wurde das
Terrain vor dem Verlegen
kurz planiert und
Unebenheiten eingewalzt



Foto 3:
Die Rohre der Erdregisters
werden in einem Abstand
von ca. 30 cm verlegt



Foto 4:
Zur Fixierung werden die
Registerrohre an preiswerte
Abschnitte von
Armierungsgitter
gebunden



Foto 5:
Das Zuschütten erfolgt
grösstenteils maschinell

