

Erdwärme : Eine saubere und nachhaltige Energie für alle

Editorial

In immer mehr Gebäuden wird eine gute Belüftung verlangt, was einerseits hohe Investitions- und Unterhaltskosten mit sich bringt und andererseits auch eine Überlastung des Stromnetzes hervorrufen kann. Neben geeigneten Massnahmen an der Gebäudehülle wie guter Sonnenschutz und eine ausreichende Wärmedämmung, oder einfach durch die Wahl einer effektiven natürlichen Belüftung, gibt es auch einfache Methoden der passiven Gebäudekühlung. Zu diesen gehört das *Geocooling*, welches sich der Kälte des Untergrunds bedient. Dazu werden Erdwärmesonden, Geostrukturen (Energiepfähle) oder oberflächennahe horizontale Rohrsysteme, wie die horizontalen Luft – Erdregister eingesetzt.

Bisher wurden diese Techniken hauptsächlich zum Heizen genutzt. Es existiert jedoch auch ein enormes Potential zur Kühlung während der Sommermonate. Ohne auf herkömmliche Klimaanlage zurückzugreifen, kann so ein zufriedenstellender Innenraumkomfort erzielt werden. Trotz des grossen Interesses und der Begeisterung für die Techniken des *Geocoolings*, wurden bisher erst wenige Installationen ausgeführt.

In dieser Ausgabe von *Info-Geothermie* werden vier Installationen vorgestellt, die mit der *Geocooling*-Technik betrieben werden. Sie veranschaulichen die umfangreichen Anwendungsmöglichkeiten für Gebäude verschiedener Grössen und Nutzungen (administrative Einrichtungen, Flughafen Terminal, Telefonschaltzentralen), sowie die benutzten Techniken (Erdwärmesonden, Energiepfähle, horizontale Luft - Erdregister).

Die vorliegende Ausgabe basiert auf dem Bericht «Refroidissement par *geocooling*: Bases pour un manuel de dimensionnement». Dieser kann im Internet unter www.cuepe.ch oder www.lee.supsi.ch heruntergeladen werden.

D. Pahud

Geocooling, eine interessante Technik zur Gebäudekühlung

Die Kühlung durch Geocooling schliesst zwei wichtige Systemarten ein. Die erste basiert auf Erdwärmesonden oder Geostrukturen und die zweite auf horizontalen Luft-Erdregistern.

Im Fall der Erdwärmesonden befindet sich die Kältequelle unterhalb des durch jahreszeitliche Temperaturschwankungen beeinflussten Untergrunds ab etwa 15 m Tiefe. Somit verfügt man über einen grossen Vorrat an thermischer Kapazität, bei einer ungestörten Temperatur von etwa 10° C. Die geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Standortes bestimmen die thermische Leistung des Systems und somit auch dessen Dimensionierung. Während des Winters ist der Heizbetrieb auch deshalb nötig, um über die Jahreszeiten einen thermischen Ausgleich des Untergrunds zu erzielen, womit die Geocooling-Funktion des Systems (und umgekehrt) gesichert wird. Die Kühlflüssigkeit ist im allgemeinen eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel, welche in einem geschlossenen Kreislauf durch die Doppel-U-Rohre in den Erdwärmesonden zirkuliert.



Gebäude Schwerzenbacherhof (Schwerzenbach, ZH) gekühlt und beheizt mit einem horizontalen Luft – Erdregister (Foto: Wolgroth AG)

Im Fall der horizontalen Luft- Erdregister handelt es sich um ein System, welches die Luft des Ventilationssystems vor dem Eintritt in das Gebäude kühlt, indem sie durch horizontal in der Erde liegende Rohre geleitet wird. Dies geschieht im Boden unterhalb des Gebäudes oder nebenan. Alternativ kann auch eine Wasserzirkulation verwendet werden, welche durch einen Luft/Wasser-Wärmetauscher an das Belüftungssystem angeschlossen wird (vgl. im Folgenden: Gebäude Perret SA).

In beiden Fällen macht man sich die thermische Trägheit des Bodens zu Nutze, um die tageszeitlichen Temperaturschwankungen der Luft zu puffern und eine konstante Belüftungstemperatur während des ganzen Tages zu gewährleisten. Im Allgemeinen werden diese Bedingungen schon ab einer Tiefe von 0.5 m erreicht. Bei grösseren Tiefen – in der Grössenordnung 2 bis 3 m – sowie entsprechenden Rohrzwischenräumen, können gar die jahreszeitlichen Wetterschwankungen gedämpft werden. Dies erlaubt eine Luftvorwärmung während des Win-

ters. Eine solche Dimensionierung muss allerdings vorsichtig vorgenommen werden, da der Bereich des saisonalen Speichers innerhalb der wetterbeeinflussten Zone bzw. im Einflussbereich des Gebäudes selbst liegt. Im Gegensatz zu den Erdwärmesonden und Geostrukturen sind die Erdregister relativ unabhängig von den geologischen Gegebenheiten. Die Verwendung des Systems für den Ausgleich von Temperaturschwankungen während eines Tages ist zudem unabhängig von einer Nutzung während des Winters.



Dock Midfield des Zürcher Flughafens

Das Dock Midfield, ein Terminal für 26 Flugzeuge, wurde im Rahmen der fünften Ausbautetappe des Zürcher Flughafens erstellt. Im Dreieck der Pisten gelegen, weist dieses Gebäude eine Länge von 500 m und eine Breite von 30 m auf. Die beheizte Bodenfläche beträgt 58'000 m² und das damit zusammenhängende Volumen 200'000 m³.

Aus Gründen der schlechten Tragfähigkeit der obersten Bodenschicht wird die Last des Gebäudes von 350 Pfählen mit grossen Durchmesser (90 bis 150 cm) aufgenommen. Fundiert in Moränenablagerungen in ca. 30 m Tiefe wurden die Betonpfähle direkt vor Ort in extra dafür angelegte Bohrlöcher gegossen. Etwa 300 dieser Pfähle wurden zudem als Energiepfähle angelegt, indem sie mit U- Rohren (wie in Erdwärmesonden) für den Wärmeaustausch mit dem Boden ausgestattet wurden. Im Winter sind die Energiepfähle an eine Wärmepumpe gekoppelt, und decken so einen erheblichen Teil des Heizbedarfs ab. Im Sommer wird durch Geocooling ein Teil der Wärme des Gebäudes abgeleitet, indem der Kreislauf der Pfähle über einen Wärmetauscher direkt an das Kühlsystem gekoppelt wird. Die Rücklauftemperatur in das Kühlsystem beträgt 21° C.

Die jährlich extrahierte Wärme aus den Pfählen (1'100 MWh/a) ist viel höher als die durch Geocooling pro Jahr injizierte (470 MWh/a). Dies ist wichtig,

Wärmeleistung pro Längeneinheit eines Energiepfahls am Dock Midfield

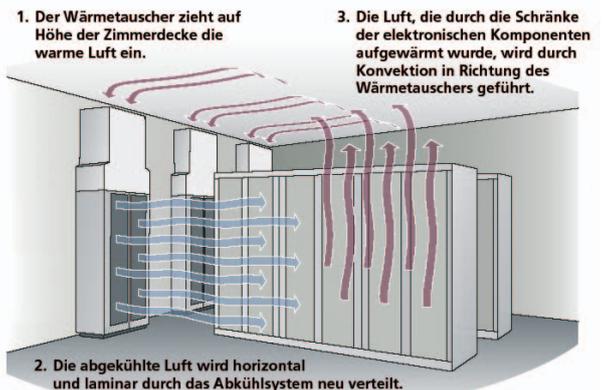
Energiepfähle	Anzahl Gesamtlänge	306 8'200 m
Geocooling	Leistung mittel Leistung maximal Energie	17 W/m 40 W/m ca. 60 kWh/m a
Heizung	Leistung Energie	ca. 50 W/m 135 kWh/m a

Blick vom Dock Midfield am Zürcher Flughafen. Die Fundamentpfähle werden zum Geocooling und zu Heizzwecken genutzt (Foto: D. Pahud)

um die direkte Erwärmung des Bodens durch das Gebäude zu kompensieren. Dadurch wird eine Erhöhung der mittleren Jahresbodentemperatur Jahr für Jahr verhindert, welche sich sonst negativ auf das durch Energiepfähle angebotene Geocooling – Potenzial auswirken würde.

Telefonschaltzentrale

Um in Telefonschaltzentralen die Räumlichkeiten mit den elektrischen Geräten zu kühlen, wurden in Schweden mehr als 30 Anlagen mit Erdwärmesonden installiert. Die grosse abzuführende Wärmeleistung von 30 bis über 200 kW ist über das Jahr relativ konstant. Der Wärmeüberschuss wird direkt nach draussen in die Luft und/oder in den Boden geleitet. Wenn die äussere Lufttemperatur unterhalb von 12° C liegt, wird sie zu 100% in die Luft abgegeben, wohingegen sie bei Aussentemperaturen über 18° C zu 100% in den Boden geleitet wird. Zwischen 12 und 18° C wird eine Kombination aus beidem angewendet. Im Innenraum wird die Temperatur auf 25° C gehalten.



Kühlung einer Telefonschaltzentrale (Bild: Skanova, Schweden)

In den Räumen der Telefonschaltzentrale ist keine Heizung notwendig. Das System ist nur zur Kühlung vorgesehen. Da sich der Boden im Bereich der Sonden nach und nach aufheizt, ist das System so dimensioniert, dass ein Kühlbetrieb von mindestens 10 Jahren sichergestellt ist.

Bezogen auf die aktuellen Bedingungen in der Schweiz hat eine Analyse einer 40 kW-Geocooling-Anlage gezeigt, dass diese nach einer bestimmten Betriebsdauer vorteilhafter als eine konventionellen Klimaanlage werden kann. Die Kosten hängen sehr stark von der lokalen Geologie, den regionalen Klimabedingungen und dem Strompreis ab. Die Analyse wurde mit verschiedenen Betriebsdauern von 2-12 Jahren durchgeführt.

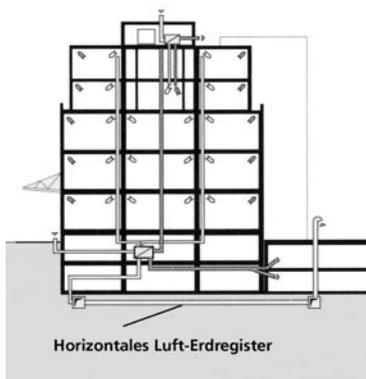
Thermische Leistung pro Längeneinheit der Erdwärmesonden für eine Telefonschaltzentrale

Erdwärmesonden	
Anzahl	8 bis 16
Gesamtlänge	1'200 - 2'400 m
Geocooling	
Leistung mittel	15 - 30 W/m
Energie	20 - 50 kWh/m a
Heizung	keine

Industrie- und Verwaltungsgebäude Schwerzenbacherhof

Das Geocooling wurde hier durch ein den industriellen und administrativen Räumlichkeiten «Schwerzenbacherhof» angepasstes horizontales Luft-Erdregister verwirklicht. Das Gebäude befindet sich in Schwerzenbach in der Nähe von Zürich und weist eine Wärmeenergiekennzahl von 144 MJ/m² für 8.050 m² beheizte Bodenfläche auf. Das horizontale Luft-Erdregister ist an eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gekoppelt und wird im Winter nur benutzt, wenn die Aussentemperatur unter 7° C fällt. Die erneuerte Luftmenge beträgt im Winter 0,6 Volumen/h. Im Sommer wird das Luft-Erdregister nur während der Geschäftszeiten genutzt, wenn die Temperatur über 22° C ansteigt und zwar mit einer Lüfterneuerungsrate von 0,8 Volumen/h, also 17'100 m³/h. Eine zusätzliche Kühlung wird durch eine nächtliche Luftzirkulation erreicht.

Das thermische Verhalten dieses Systems wurde durch eine 24-monatige Messkampagne bestimmt. In den 700 heissesten Sommerstunden wird der Luftstrom in der tagsüber betriebenen Belüftungsanlage gekühlt, um eine



Gebäude Schwerzenbacherhof, Schnitt durch das Gebäude und Schema des horizontalen Luft-Erdregisters (Bild: AIE, Annex 28, Low energy cooling)

effektive Gebäudekühlung von 13,4 MWh (5,7 MJ/m²; also 2,3 W/m² Boden) zu erreichen. An unerträglich heißen Tagen schafft es das horizontale Luft-Erdregister bei einer Lüfterneuerungsrate von 1,6 Volumen/h und gekoppelt an eine direkte nächtliche Belüftung, die mittlere Innentemperatur des Gebäudes auf sehr angenehmen 24,7° C zu halten. Nur während weniger als 15% der Zeit übersteigt die Temperatur 26° C, bleibt aber immer unterhalb der Toleranzgrenze von 28° C.

Technische Daten des Luft-Erdregisters der Einrichtung Schwarzenbacherhof

Anzahl der Rohre	43
Gesamtlänge	990 m
Durchmesser	0.25 m
Schlaufenabstand	1.16 m
Tiefe	0.75 m
Rohroberfläche	780 m ²
Anlagenoberfläche	1'150 m ²

Verwaltungsgebäude Perret SA

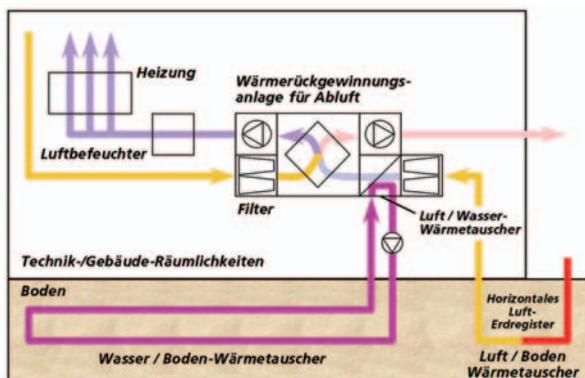
Der Verwaltungssitz der Firma Perret SA in Satigny (Genf) verfügt über eine beheizte Bodenfläche von 1'160 m² und ein Volumen von ca. 3'000 m³. Er wird vollumfänglich durch ein Belüftungssystem gekühlt und geheizt. Zu diesem Zweck durchläuft die frische Luft eine Reihe von drei passiven Systemen:

- Ansaugen der Frischluft über eine unterirdische Bodenleitung, die dabei (wie ein reduziertes Erdwärmeregister) als Luft/Boden-Wärmetauscher dient;
- Wasserbetriebenes Erdregister aus 10 Schleifen von 100 m langen PE-Rohren unter dem Gebäudeboden; gekoppelt an den Luftstrom über einen Luft/Wasser-Wärmetauscher;
- Wärmerückgewinnungsanlage für die Abluft.

Im Sommer leisten die beiden Wärmetauscher im Boden ihren Beitrag zur Belüftung. Die Wärmerückgewinnungsanlage für Abluft wird durch einen Bypass ausser Betrieb genommen. Die Luftentnahmerate beträgt 1'840 m³/h, was zu einer Erneuerungsrate von 0.6 Volumen/h führt.

Technische Daten der unterirdischen Wärmetauscher des Gebäudes Perret SA

Luft-Erdregister – Luft/Boden Wärmetauscher	
Anzahl der Rohre	4
Gesamtlänge	40 m
Durchmesser	0.25 m
Schlaufenabstand	0.40 m
Tiefe	0.70 m
Rohroberfläche	30 m ²
Anlagenoberfläche	35 m ²
Wasser/Boden Wärmetauscher	
Anzahl der Rohre	10
Gesamtlänge	1'000 m
Durchmesser	28/32 mm
Schlaufenabstand	0.30 m
Tiefe	0.45 m
Rohroberfläche	88 m ²
Anlagenfläche	360 m ²
Wasserdurchfluss	3'060 Liter/h
Effizienz des Luft/Wasser Wärmetauscher	60%



Prinzipisches Schema des Lüftungssystems des Verwaltungsbauwerks der Perret SA in Satigny im Sommer (Schema CUEPE)

Die Wärmetauscher im Boden sind vor allem auf den Sommer ausgerichtet, da in dieser Zeit die Wärmespitzen gedämpft werden müssen. Während der besonders heißen Stunden, wenn die Temperatur 26° C überstiegen hat, bleibt die Frischluft beim Verlassen des Luft/Boden-Wärmetauschers unterhalb von 22° C und unterhalb von 20° C wenn sie den Luft/Wasser/Boden-Wärmetauscher verlässt. Das genügt, um das Gebäude unter den für einen anhaltenden Komfort benötigten 26° C zu halten, was auch durch die gute Aussenhülle und die effiziente thermische Trägheit des Gebäudes unterstützt wird.

Veranstaltungen

19. Oktober 2005: 16. Fachtagung der SVG - Vorstellung der SIA Dokumentation D 0190: Leitfaden zur Planung, Bau und Betrieb der energetisch genutzten Geostrukturen - Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich
Information: Sekretariat SVG, H. Rickenbacher
Tel. & Fax 032 341 45 65
svg-ssg@geothermal-energy.ch

Kontakte & Auskünfte

Förderstelle Geothermie Deutsch-Schweiz
Dr. Mark Eberhard - Eberhard & Partner AG
Schachenallee 29 - 5000 Aarau
Tel.: 062 823 27 07 - Fax: 062 823 27 06
mark.eberhard@geothermal-energy.ch

Interview

Michael Menzl
Haka Gerodur AG
Benken



Kann man das Geocooling auch bei Einfamilienhäusern anwenden, oder ist es ausschliesslich nur für grosse Gebäude geeignet ?

M. M.: Kühlung mit Geothermie ist nicht nur grossen Bauten vorbehalten. Häuser die sowieso mit Erdwärme beheizt werden können kostengünstig im Sommer Kühlung erfahren. Auch eine Nachrüstung ist möglich.

Welches sind die wichtigsten Kriterien, um sich entweder für Erdwärmesonden oder für horizontale Luft-Erdregister zu entscheiden ?

M. M.: Eine Erdwärmesonde benötigt im Vergleich zum Erdregister fast kein Platz. Zudem bietet eine Erdwärmesonde einen bedeutend höheren COP und ist wartungsfrei. Erdregister sind sehr gute Lösungen für eine kontrollierte Wohnlüftung, wie sie z.B. in Minergie®-Häusern angewendet wird.

Ist das Geocooling im Vergleich zu traditionellen Klimaanlage wirtschaftlicher ?

M. M.: Eine Kühlung über Erdwärme ist natürlich von grossem Vorteil. Dies umso mehr, wenn über die gleichen Bauteile im Winter geheizt wird. Somit erhält man Kühlung fast zum Nulltarif. Man darf aber Kühlung nicht mit Klimatisierung gleichsetzen. Bei einer Klimatisierung muss tatsächlich eine Temperaturvorgabe in jedem Fall erreicht werden. Dies ist durch eine Kühlung ohne Wärmepumpe/Kühlaggregate nur bedingt möglich.

Ausgewählte Seiten im Internet Geothermieförderung in der Schweiz

www.geothermal-energy.ch/

**Laboratorio Energia Ecologia Economia
Canobbio:** www.lee.e.supsi.ch/

**Centre universitaire d'étude des problèmes
de l'énergie, Univ. Genf, Carouge:**
www.cuepe.ch/

Gratis - Abonnement

Info - Geothermie

Deutsch Français Italiano

Firma / Institution _____

Name / Vorname _____

Adresse _____

PLZ / Ort _____

Tel / Fax _____

e-mail _____

**Diesen Coupon schicken an : Schweizerische
Vereinigung für Geothermie (SVG)**

Sekretariat: H. Rickenbacher
Dufourstr. 87, CH-2502 Biel
Tel. & Fax 032 341 45 65
svg-ssg@geothermal-energy.ch



Oktober 05 / Nr. 10 Erscheint in Deutsch, Französisch und Italienisch

Herausgeber
Schweizerische Vereinigung für Geothermie
SVG, Biel

Redaktion
Daniel Pahud, LEEE-DACD-SUPSI, Canobbio
daniel.pahud@supsi.ch
Pierre Hollmüller, CUEPE, Universität Genf -
pierre.hollmuller@cuepe.unige.ch
François-D. Vuataz, CREGE, c/o CHYN,
Neuchâtel - francois.vuataz@crege.ch

Redaktionskomitee
H. Gorhan, T. Kohl, T. Mégel,
D. Pahud, L. Rybach, J. Wilhelm

Übersetzung
T. Mégel, GEOWATT AG, ZH

Satz/ Grafik
S. Cattin, CREGE, c/o CHYN, NE

Druck
Cighélio Sarl, Neuchâtel

Info - Geothermie
Impressum