

Das Low Energy Office der Deutschen Flugsicherung in Langen mit geothermischer Wärme/Kälte-Speicherung

von Erich Mands¹, Burkhard Sanner¹, Marc Sauer¹, Winfried Seidinger²

¹ UbeG GbR, Industriestraße 3, D-35580 Wetzlar

² Lemon Consult, Hofstrasse 1, CH-8030 Zürich

Einleitung

Die Deutsche Flugsicherung realisiert in Langen für 1200 Mitarbeiter ein Bürogebäude mit dem Anspruch an ein Low-Energy Office. In die Kälte/Wärmeversorgung ist ein zweiteiliges Erdwärmesonden-Speicherfeld (SANNER et al., 1996) eingebunden, das 154 Doppel-U-Sonden von je 70 m Tiefe umfaßt. Die beiden Felder erbringen eine Leistung von 340 KW im Kühl- und 330 KW im Heizfall. Die Grunddaten des Gebäudes sind:

- Bruttorauminhalt 230.000 m³
- Bruttogeschoßfläche 57.800 m²
- Energiebezugsfläche 44.500 m²

Bereits in den Wettbewerbsunterlagen wurde festgehalten, daß ein wirtschaftliches und zugleich ökologisch nachhaltiges Bürogebäude realisiert werden sollte, welches eine hohe Arbeitsplatzqualität und eine höchstmögliche Flexibilität in der Nutzung und Umnutzung garantiert. Da in der Schweiz bereits seit einigen Jahren innovative Gebäude mit dieser Zielsetzung erstellt werden, wurde das Ingenieurbüro Amstein + Walthert aus Zürich beauftragt, das technische Pflichtenheft für den DFS Neubau zu erstellen und die Planung zu begleiten.

In einem ersten Schritt wurde ein objektspezifischer „Low Energy Office“ (LEO) - Zielwert definiert, welcher anhand des Hessischen Leitfadens für energiebewusste Gebäudeplanung und der Empfehlung SIA 380/4 des Schweizerischen Ingenieur und Architektenvereins abgeleitet wurde. Der LEO - Zielwert (Elektrizitäts- und Wärmeenergiebedarf des Gebäudes) beträgt danach:

100 kWh/m²a (inkl. Elektrizitätsbedarf Küche)

Dies entspricht einer Energieeinsparung gegenüber einem konventionellen Bürobau von 35 %.

Das Gebäude wurde von Amstein + Walthert in bezug auf die erforderlichen Energiemengen und die jahreszeitliche Verteilung der Kälte- und Wärmeanforderung hin simuliert. Die Berechnung der Erdwärmesondenanlage erfolgte durch UbeG in Wetzlar. Auf der Basis von Gebäude- und Untergrundsimulationen wurde schließlich in mehreren Schritten eine Optimierung der unterirdischen und gebäudetechnischen Anlagenteile erreicht, die zu einer Energiekosteneinsparung von ca. 300.000 DM jährlich führt.

Energie- und Technikkonzept

Die nachfolgenden Punkte charakterisieren das Energiekonzept (s.a. Abb. 1):

- Gute Gebäudehülle mit optimaler Beschattung (damit die Auswirkungen des Außenklimas auf das Raumklima minimiert werden können);
- Nutzung der Gebäudemasse (weitgehender Verzicht auf Doppelböden und abgehängte Decken);
- Thermoaktive Decken „TAD“;

- Erdwärmesondenanlage (154 Stück à 70 m im 5 m - Raster) als saisonaler Wärme- und Kältespeicher;
- Wärmepumpe mit umweltfreundlichem Kältemittel NH₃ und hoher Leistungsziffer von > 6 für Niedertemperaturwärme bis max. 30 °C;
- Nahwärmeverbund für Temperaturen > 30°C;
- kostengünstige Kompaktkältemaschine zur Spitzendeckung;
- Tageslichtumlenkung, Lichtregelung und Bewegungsmelder

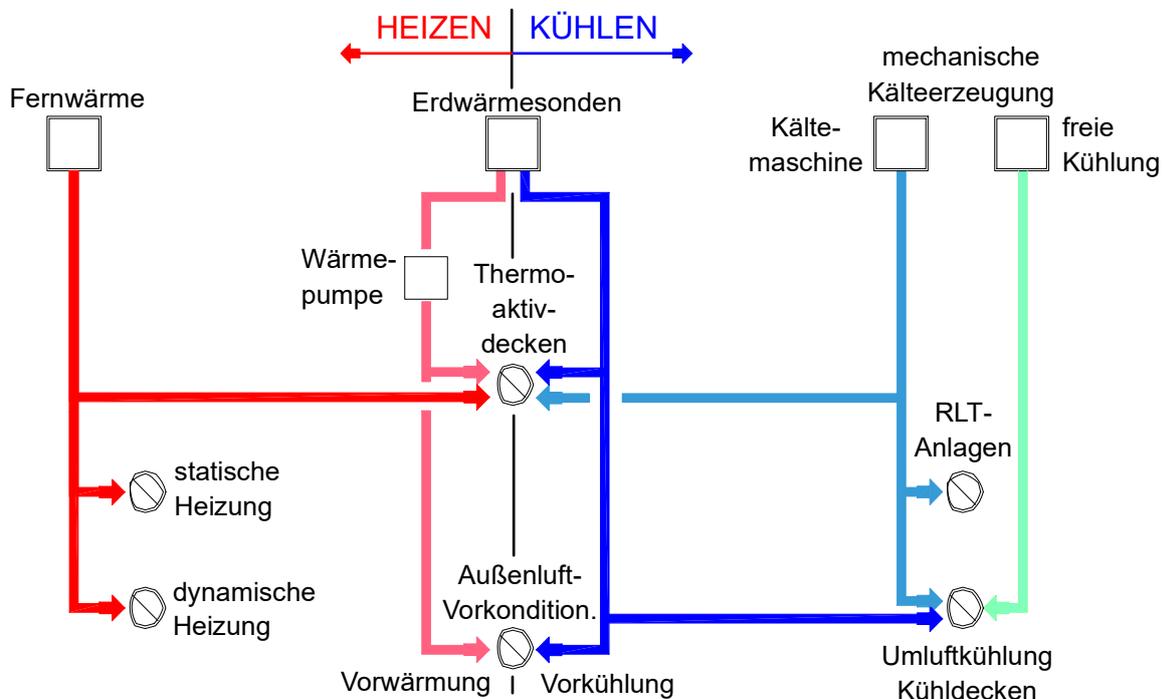


Abb. 1: Elemente der Heiz- und Kühltechnik für das Gebäude DFS, Langen

Im Sommer wird das aus der Erdwärmesondenanlage kommende kalte Wasser direkt zum Kühlen der Betondecken genutzt. Durch die Zirkulation erwärmt sich der Untergrund langsam. Diese Wärme wird im Winter wieder entzogen und über Wärmepumpen zu Heizzwecken eingesetzt. Die Kältespitzenleistungen werden konventionell über Kälteaggregate hergestellt und die Wärmespitzenleistung durch Fernwärme abgedeckt.

Für die Beheizung der Räume ist eine Bauteilheizung (TAD) vorgesehen (Bodenheizregister, welche in die Betondecke eingelegt werden). Dieses System wurde bereits vor 40 Jahren angewendet und erlebt heute eine Renaissance. Die guten Dämmwerte der Gebäudehülle ermöglichen gegenüber früher jedoch wesentlich tiefere Heizsystemtemperaturen und somit einen hohen Selbstregulierungseffekt. (Die Deckenoberflächentemperatur beträgt im Winter maximal 24 °C. Falls bei hoher Wärmelast die Raumtemperatur über 24 °C ansteigt, beginnt die Decke bereits den Raum zu kühlen, ohne dass irgendwelche Systemparameter verändert werden müssen). Zudem kann das System im Sommer zur Kühlung eingesetzt werden. Für die Nord- und Südbüros sind unterschiedliche Vorlauftemperaturen erforderlich. Deshalb wird ein sogenanntes Dreileitersystem eingesetzt, welches aus zwei Vorlaufsträngen und einem gemeinsamen Rücklaufstrang besteht. Die Eckbüros werden zusätzlich mit vertikal erschlossenen Konvektoren beheizt, da die größeren Fensterflächen zu einem erhöhten Wärmeleistungsbedarf führen.

Die Erdwärmesondenanlage

Eine zentrale Stellung im Energiekonzept DFS nimmt die Erdwärmesondenanlage ein. Mit ihr soll die Grundlast der Gebäudekühlung und ein Teil der Heizung betrieben werden. 154 Erdwärmesonden von je 70 m Tiefe werden eine Leistung von 330 kW im Heiz- und 340 kW im Kühlfall ermöglichen (Abb. 2); dies entspricht 80% des Kälteenergiebedarfs und 70% des Wärmeenergiebedarfs (Wärmepumpenheizleistung). Die Erdwärmesonden sind in zwei Feldern angeordnet (5 x 20 bzw. 3 x 18), die L-förmig zueinander an zwei Gebäudeseiten liegen; es kommen Doppel-U-Sonden des Fabrikats HAKA/Stüwa zum Einsatz (Abb. 3). Anlagen mit einer Leistung und Sondenanzahl wie in Langen gibt es in Europa nur wenige.

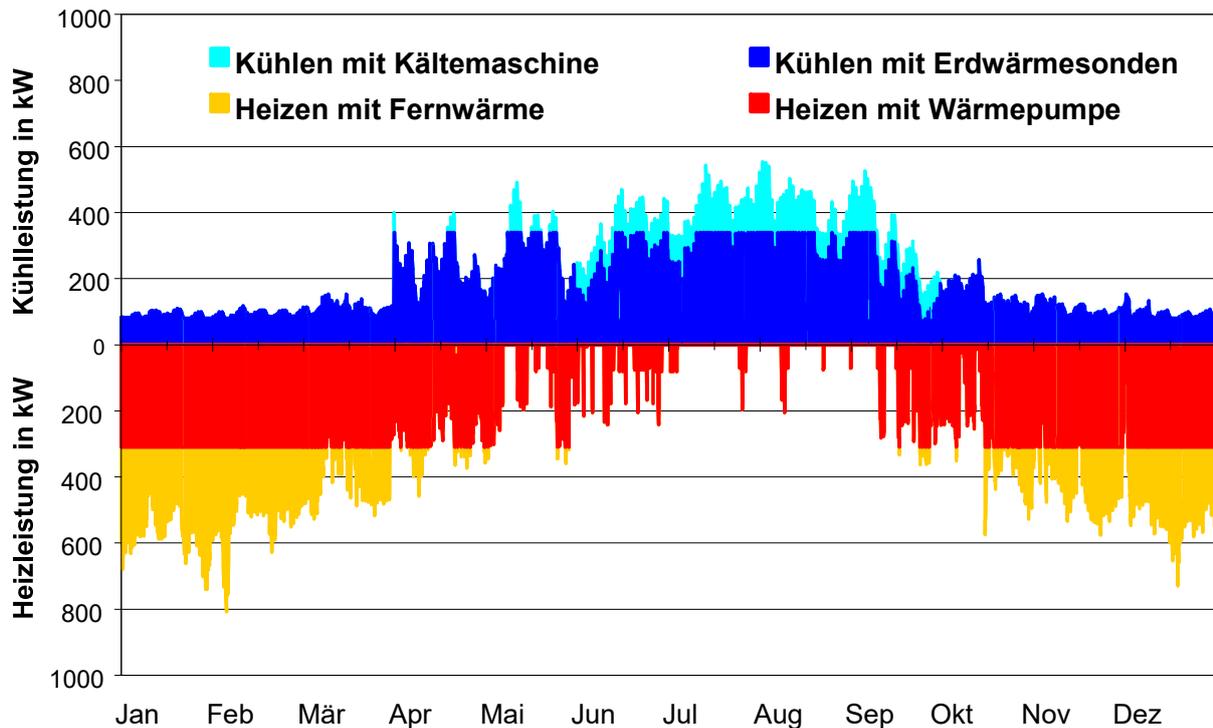


Abb. 2: Heiz- und Kühlbedarf für das Gebäude DFS, Langen, nach der Gebäudesimulation

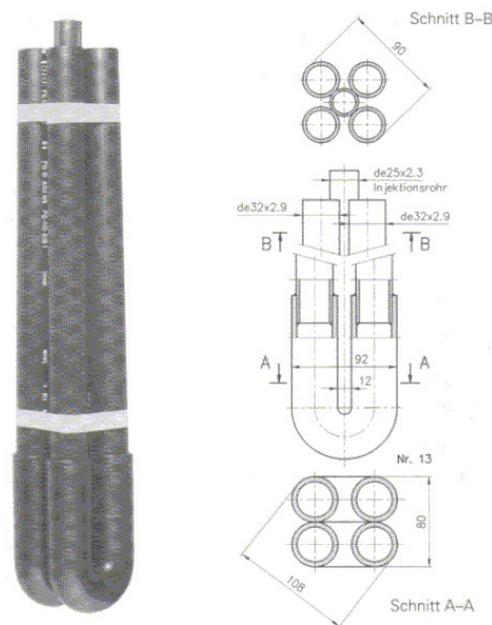


Abb. 3: Doppel-U-Erdwärmesonde aus Polyethylen, Fabrikat HAKA (Vertrieb Stüwa)

Erstmalig in Deutschland wurde im Sommer 1999 durch die Fa. UbeG, Wetzlar, ein Thermal-Response-Test als Grundlage zur Dimensionierung der Erdwärmesondenfelder eingesetzt (Sanner et al., 1999). Dazu wurde eine knapp 100 m tiefe Probebohrung mit einer Erdwärmesonde ausgestattet; diese ist inzwischen als Teil des Erdwärmesondenfeldes integriert. Der Untergrund besteht aus quartären und tertiären Sanden, Kiesen und Tonen. Die Meßergebnisse waren:

- Wärmeleitfähigkeit $\beta = 2,8 \text{ W/m/K}$
- thermischer Bohrlochwiderstand $r_b = 0,11 \text{ K/(W/m)}$

Eine Besonderheit der Erdwärmesonden der DFS ist, daß als Wärmeträgermedium reines Wasser verwendet wird. Während in erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen in der Regel ein Frostschutz-zusatz zur Beherrschung von Temperaturen unter $0 \text{ }^\circ\text{C}$ eingesetzt wird, kann hier durch den Vorrang der Gebäudekühlung und die sehr exakte Auslegungsberechnung darauf verzichtet werden. Der Betrieb ohne Frostschutzzusatz hat unter anderem den ökologischen Vorteil, daß bei einer (allerdings sehr unwahrscheinlichen) Leckage nur reines Wasser austreten könnte, andererseits werden auch die nicht unbeträchtlichen Kosten für die Befüllung der Anlage mit einem Wasser-Frostschutz-Gemisch eingespart. Eine Auslegung auf minimale Wärmequellentemperaturen von $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ bildet weiterhin die optimale Grundlage für eine gute Jahresarbeitszahl im Heizbetrieb.

Um eine möglichst große Energiemenge mit Wärmequellentemperaturen von über $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ entnehmen zu können, wurde nach Wegen gesucht, den thermischen Bohrlochwiderstand zu senken. Aus den USA ist dazu der „thermally enhanced grout“ als Verpressmaterial bekannt, bei dem gut leitende und gleichzeitig ökologisch unbedenkliche Materialien wie Quarzmehl zugesetzt werden. Die Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung, die sonst bei ca. $0,6\text{-}0,8 \text{ W/m/K}$ liegt, kann damit bis auf etwa $1,6 \text{ W/m/K}$ angehoben und der thermische Bohrlochwiderstand entsprechend gesenkt werden. Es ist gelungen, ein für deutsche Verhältnisse geeignetes und zu vertretbaren Preisen erhältliches Verfüllmaterial zusammenzustellen, mit dem eine deutliche Verbesserung des Wärmetransportes im Bohrloch erreicht wird.

Ein zweiter Thermal Response Test wurde an einer der endgültig installierten Erdwärmesonden durchgeführt (nunmehr mit 70 m Bohrtiefe). Hierdurch konnte der Einfluß des thermisch verbesserten Verfüllmaterials auf den thermischen Bohrlochwiderstand gemessen werden:

- mit herkömmlicher Verfüllung $r_b = 0,11 \text{ K/(W/m)}$
- mit thermisch verbessertem Verfüllmaterial („Stüwatherm“) $r_b = 0,08 \text{ K/(W/m)}$

Die Absenkung um mehr als 27 % stimmt gut mit der theoretischen Berechnung mit einer in etwa verdoppelten Wärmeleitfähigkeit überein.

Zur Auslegung der Anlage wurden Berechnungen mit der von Universitäten in Deutschland und Schweden gemeinsam entwickelten Software „Earth Energy Designer“ durchgeführt (HELLSTRÖM & SANNER, 1994). Damit kann der Temperaturverlauf des Wärmeträgers in Abhängigkeit von Untergrundparametern und Leistungskurven berechnet werden. Es wurden verschiedene Varianten untersucht und die danach ausgewählte schließlich durch weitere Berechnungen optimiert. Eine Temperaturkurve für das 25. Betriebsjahr der letztlich gewählten Variante zeigt Abb. 4.

Da in der Realität die Spitzenlasten von Heizen und Kühlen nicht unabhängig voneinander auftreten, kann damit gerechnet werden, daß i.d.R. nur die Differenz der Spitzenlasten auf das Erdreich übertragen wird. Dadurch wird vor allem der Kühlbetrieb günstiger werden als durch die Berechnungen vorausgesagt, da diese den worst case betrachten (es werden im Kühlfall meistens etwa 2 K niedrigere Temperaturen auftreten).

Die vorgesehene Erdwärmesondenanlage DFS Langen liegt in der Zone III des Grundwasserschutzgebietes der Wasserwerke Langen. Daher war es erforderlich, durch entsprechende Berechnungen und Gutachten nachzuweisen, daß die Wassergewinnungsanlagen durch Bau und Betrieb

der Anlage nicht gestört werden. Dieser Nachweis konnte geführt werden, und die notwendige wasserrechtliche Erlaubnis wurde erteilt.

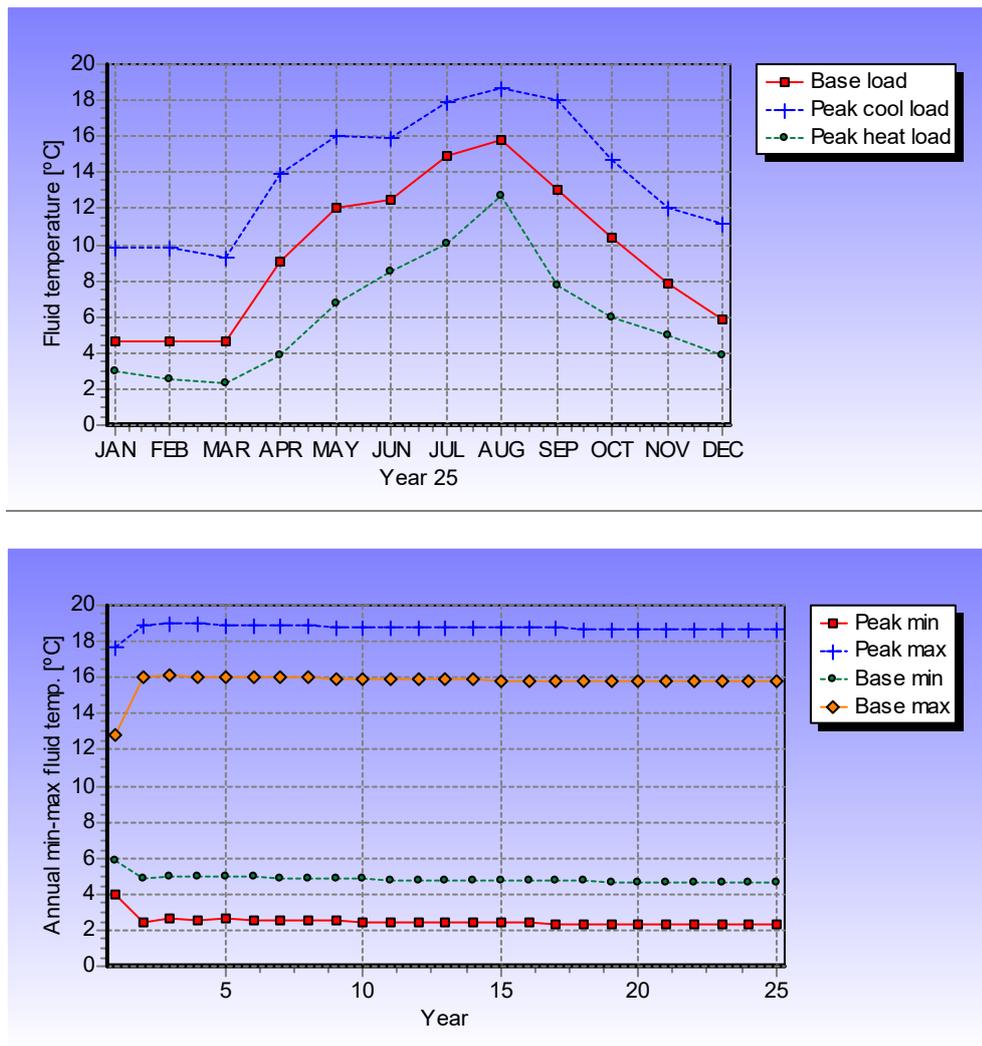


Abb. 4: Temperaturverlauf im Wärmeträgermedium für die optimierte Variante im 25. Betriebsjahr (oben) und Verlauf der Minimal- und Maximaltemperaturen über 25 Jahre (unten); dargestellt sind die Mitteltemperaturen in den Erdwärmesonden bei Grund- und Spitzenlast.

Durch die gewählte Vorgehensweise konnte eine optimal auf die Bedürfnisse des Gebäudes abgestimmte Nutzung der oberflächennahen Geothermie realisiert werden. Durch den innovativen Einsatz von thermischer Standortuntersuchung, verbessertem Verfüllmaterial und Auslegung auf Wasser als Wärmeträger kann eine hohe Effizienz erreicht werden.

Die Wirtschaftlichkeit der Erdwärmesonden – Wärmepumpenanlage

Die Erdwärmesondenanlage ermöglicht trotz der höheren Investitionskosten, im Vergleich zu einer konventionellen Wärme- und Kälteerzeugung, eine jährliche Kosteneinsparung. Aus dem Jahreskostenvergleich, (Abb. 5), bei welchem die Energie-, Wartungs- und Kapitalkosten für die Wärme- und Kälteerzeugung berücksichtigt sind, ist ersichtlich, daß die gewählte Low Energy Office Variante infolge der geringen Energiekosten die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

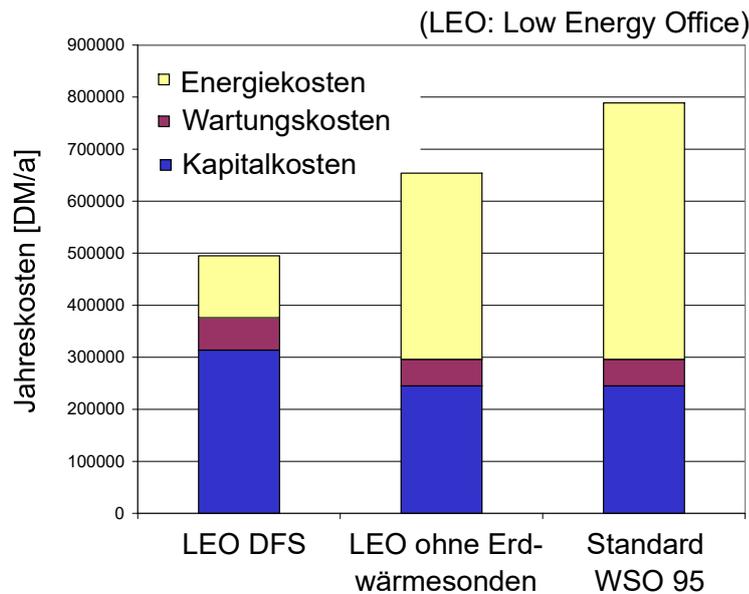


Abb. 5: Jahreskosten für die Wärme- und Kälteerzeugung im Vergleich
Variante LEO DFS: Erdwärmesonden, Wärmepumpe, Nahwärmeverbund, Kältemaschine, 4.5 Mio. DM
Variante LEO ohne Erdwärmesonden: Nahwärmeverbund, Kältemaschine, 3.5 Mio. DM
Variante Standard WSO 95: Nahwärmeverbund, Kältemaschine, 3.5 Mio. DM

Literatur

HELLSTRÖM, G. & SANNER, B. (1994): PC-Programm zur Auslegung von Erdwärmesonden. - Ber. Symp. Erdgek. Wärmepumpen 1994, Ber. IZW 1/94, S. 341-350, Karlsruhe

SANNER, B., KLUGESCHIED, M., KNOBLICH, K. & GONKA, T. (1996): Saisonale Kältespeicherung im Erdreich. - Giessener Geologische Schriften 59, 181 S., Gießen

SANNER, B., REUSS, M. & MANDS, E. (1999): Thermal Response Test - eine Methode zur in-situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden. - Geothermische Energie 24/25, Geeste