Institut für das Bauen
mit Kunststoffen e. V.

IBK seit 1957

Das Bau-, Architekten-
und Ingenieur-Institut

Osannstraße 37
64285 Darmstadt

Bau-Fachtagung

168

unter Schirmherrschaft von
Bundesbauministerin
Dr. Irmgard Schwaetzer

Niedrigenergiehaus-Praxis heute und morgen

Planung,
Berechnung
und Ausführung

Darmstadt, 20. und 21. Oktober 1993

IBK-Informationen
auf die Sie sich
verlassen können

7 Jahre Erdwärmenutzung – einfach, preiswert, umweltfreundlich

Dr.-Ing. Klaus F. Stärk*,
Baden/Schweiz

1 Die Situation

Wenn man den Bau eines Einfamilienhauses in Angriff nimmt, ist es normal, daß der Architekt versuchen muß, den in der Regel enggesteckten Kostenrahmen einzuhalten, und nicht von sich aus Sonderausführungen z.B. im Bereich Heizung vorschlägt.

Letztendlich trägt der Bauherr für die Konzeption des Hauses und die Wahl des Heizsystems die Verantwortung selbst.

Nach langen Recherchen fiel die Entscheidung zwischen Ölheizung und Alternativsystem auf die monovalente Wärmepumpenheizung mit Erdsonden (oberflächennahe Geothermie). Die Sonden haben den Vorteil, daß wenig Grundstücksfläche benötigt wird und daß das Energiepotential dann angezapft werden kann, wenn es kalt bzw. sogar sehr kalt ist.

Vergünstigungen bei dem Einsatz von alternativen Heizsystemen (Zuschüsse zu Wärmepumpenheizungen) gibt es im Kanton Aargau/Schweiz neu ab 1.1.1993.

2 Das Haus

Mitentscheidend für eine ausreichende Wärmeversorgung ist zunächst die mit vernünftigen Mitteln erreichbare Ausschöpfung des Sparpotentials durch Wärmedämm-Maßnahmen an Bauteilen.

Die Außenmauern wurden einschalig 18 cm dick mit Ziegelsteinen MBNV gemauert. Darauf kamen ein Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) aus 100 mm dicken Polystrol-Partikelschaumplatten, PS 15 SE, aufgeklebt mit Beton-PC-Spachtel, ein Kunstharz-Unterputz mit Glasgewebeeinlage und Kunstharzputz/Vollabrieb. Damit waren die Anforderungen gemäß SIA-Empfehlung V 380/1 (1989) leicht zu erfüllen.

Die Wärmedämmstoffschicht wurde um das Haus herum bis zur Bodenplatte heruntergezogen.

Alle Fenster wurden in Dreifachverglasung, ISOLAR, 3 x 4 mm, 2 x 9 mm Abstand, Holzrahmen k = 2,15 W/(m²K), Schalldämm-Maß R = 31 dB, ausgeführt.

---

* Dr.-Ing. Klaus F. Stärk, Jg. 1943; Studium Maschinenbau an der TH Darmstadt, Vertiefungsfächer Kunststoffkunde und -technologie; 1972-1980 Versuchsingenieur und Wissenschaftlicher Assistent an der MPA, Universität Stuttgart; 1980 Promotion auf dem Gebiet der Thermometrie und Schwingfestigkeit; 1980 bis heute zuständig für die mechanischen Werkstoffeigenschaften bei ABB Kraftwerke AG, Abt. KWRMT Baden/Schweiz, seit 1987 dort Hauptgruppenleiter Materialtechnologie.

Der in das Wohnzimmer (ohne Trennwand) integrierte Wintergarten hat ebenfalls Dreischeibenisolierverglasung mit Be- und Entlüftungsmöglichkeit ins Dachgeschoß sowie Lamellenstors und Stoffbaldachin zur Beschattung.

Die gezielt sehr unterschiedlich dicht verlegten Rohre der Fußbodenheizung aus VPE (insgesamt ca. 1.200 m, im Durchschnitt etwa 8m/m²) wurden auf einer 40 mm dicken Unterlage aus Polystyrol-Partikelschaumplatten befestigt und in einen 70 mm dicken schwimmenden Zementestrich eingegossen.

3 Die Erdsonden

Die zwei je 60 m tiefen Erdsonden wurden talseitig unter dem Hausniveau verlegt, um einen separaten Entlüftungsschacht bis zum Heizungskeller zu sparen und die zugedeckten Zuleitungen als kleines Erdregister nutzen zu können. Die Erdsondenrohre (Durchmesser 25 x 2 mm) sind aus HDPE (nahtlos bis auf fabrikgeschweißte U-Bögen, mit 20 bar abgepreßt und korrosionssicher) und wurden der Variante aus baustellengeschweißten Stahlrohren (sog. Koaxialsonde) vorgezogen.

Die Tiefe der Erdsonde wurde gegenüber der Auslegung der Heizungsfirma zur Sicherheit von 2 x 50 m auf 2x 60 m erhöht. Die gesamte Rohrlänge beträgt ca. 600 m. Das Flüssigkeitsvolumen aus Wasser mit ca. 25% Äthylenglykol, Giftklasse 4, leicht abbaubar, als Frostschutzmittel bis ca. -14°C, errechnet sich zu etwa 300 l. Der Betriebsdruck der Sonden beträgt ca. 1,5 bar (Manometer im Heizungskeller). Der Sondenkreislauf ist dicht. Je nach Temperatur der Sondenflüssigkeit schwankt der Druck zwischen 1,0 und 1,5 bar. Durch Ablassen von lediglich 0,5 l fällt der Erdsondendruck auf Null ab.

Der nach Messungen als Wärmespeicher nutzbare Untergrund im Umkreis von etwa 3 m um die Erdsonde ergibt pro Sonde einen ca. 1.700 m³ großen "kostenlosen" Ganzjahresspeicher. Glücklicherweise ergeben Rechnungen und Messungen, daß sich fast jeder Untergrund bei entsprechender Auslegung für Erdsonden eignet.

4 Die Heizung

Der nach SIA 380 notwendige Wärmebedarf des Hauses für -11°C Außentemperatur von etwa 10 kW war mit einer Wärmepumpe von 4 kW Antriebsleistung zu erbringen. Bei einer gezielten Niedertemperaturheizung ist mit einer Jahresarbeitszahl von deutlich besser als 2,5 zu rechnen. Die Differenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur der Erdsonde beträgt praktisch unabhängig von der Absoluttemperatur der Sonden ca. 4 K. Eine Wochenschaltuhr ermöglicht die gezielte Ausnutzung der billigeren Niedertarifzeiten. Die Auslegung der Wärmepumpe muß ebenfalls die vom Elektrizitätsverbund ferngesteuerten Sperrzeiten von 4,25 h pro Tag für Heizungen, Waschmaschinen u.ä. berücksichtigen.

Die Speichertemperatur wird über die Außentemperatur vorgegeben. Die Raumtemperatur im Untergeschoß regelt das Mischventil zur Fußbodenheizung. Ein zusätzlicher Temperaturfühler schließt bei ca. 22°C das Mischventil, wenn wegen zu großer Sonneneinstrahlung durch die großen Fensterflächen das Wohnzimmer zu warm wird. Die Umwälzpumpen sind nicht zu groß zu dimensionieren und mit Stufenschaltern auszuführen, da besonders bei einer sparsamen Heizung der Anteil der Umwälzpumpen am Stromverbrauch bereits beträchtlich sein kann (ca.15- 20 %).

5 Messungen

Über 7 Heizperioden wurden bisher Aufzeichnungen und Messungen gemacht. Bild 1 zeigt die Änderung der Soletemperatur für den relativ warmen Winter 1991/92. Die Feuerprobe hat die Heizung im Januar/Februar 87 mit zweimal 2 Wochen bei Temperaturen unter -15 °C bestanden, wobei die Soletemperatur bis auf etwa 0 °C absank. Die Schleife in Bild 2 macht den Zusammenhang zwischen Soletemperatur und Monatsdurchschnittstemperatur deutlich. Eine schmale flache Schleife beschreibt einen warmen Winter. Deutlich wird ebenso, daß die Zeit bis zum Beginn der nächsten Heizperiode ausreicht, um durch Wärmeleitung (und evtl. Grundwasserströmung) die Temperatur der Erdsonde wieder auf den Ausgangswert von 14 °C vor dem Winter ansteigen zu lassen.

Vor Beginn des Winters 91/92 wurden mit einem Computer genaue Temperaturmessungen an den 4 Vorlauf- und Rücklaufleitungen der Erdsonden gemacht, siehe Bild 3. Man sieht, daß sich die Temperaturen der Vorlauf- und Rücklaufrohre etwa synchron verändern, d.h. daß alle Rohre gleichmäßig durchströmt werden. Nach einer Einlaufphase von ca. 10 min bleibt die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf mit ca. 4 bis 5 K konstant. Messungen bei bereits abgekühlter Sonde im Februar 92 zeigen ein sehr ähnliches Verhalten auf niedrigerem Temperaturniveau, siehe Bild 4. Mit das wichtigste Ergebnis für den Betreiber einer Erdsondenanlage ist die zuverlässige Regeneration des Untergrundes nach jedem Winter auf die oberflächennahe Untergrundtemperatur von ca. 13 bis 14 °C, siehe Bild 5.

Eine große Wärmesenke um die Erdsonde durch starken Wärmeentzug führt zu einem großen Temperaturgradienten und damit zu größerem Wärmefluß in Sondenrichtung, d.h. daß der "Ganzjahresspeicher Untergrund" funktioniert.

Bild 6 zeigt die für den Winter 87/88 gerechnete Temperaturverteilung um die Erdsonde (reine Wärmeleitung in oberer Meeresmolasse ohne Grundwasserströmung). Schon eine geringe Grundwasserströmung von wenigen Metern pro Monat verbessert die Ergiebigkeit und Erholungsfähigkeit deutlich.

Die für das Haus und die Anlage spezifische Heizkurve ist in Bild 7 dargestellt. Bei einer Außentemperatur von 0 °C ist eine Vorlauftemperatur von nur 29 °C erforderlich, um 20 °C Raumtemperatur zu halten. Bei -18 °C war eine Vorlauftemperatur von lediglich 33 °C notwendig. Unterhalb des Gefrierpunktes ist die Heizkurve deutlich steiler (günstiger), was auf geringere Wärmeabfuhr an der Gebäudehülle durch wesentlich trockenere Luft und geändertes Verhalten der Bewohner (z.B. nächtliches Schließen aller Rolläden, weniger langes Lüften) zurückgeführt werden kann.

6 Kosten

Die Kosten einer Heizung werden vor allem von den Investitionen und den Energiepreisen beeinflußt. Das Haus wurde bei einem hohen Heizölpreisniveau 1985 geplant und gebaut. Die heutigen Ölpreise verlängern die gerechnete Amortisationsdauer von ca. 5 auf etwa 15 Jahre.

Gibt es in der Bauregion je nach Tageszeit Hoch- und Niedertarife für den elektrischen Strom (wie im Aargau), lassen sich mit einer entsprechenden Steuerung und einem Wärmespeicher 70 bis 80 % Niedertarifzeiten erreichen. Eine Nachtabsenkung ist bei einem gut wärmegedämmten Haus mit trägem Heizungssystem nicht sinnvoll.

In Bild 8 sind Verbrauch und Energiekosten für die letzten 6 Jahre dargestellt (reine Heizkosten ohne Warmwasserbereitung; NT=Niedertarifanteil).

Bei einer mittleren Anzahl von 200 Heiztagen betrug der Verbrauch 6.270 kWh bzw. 22.572 MJ pro Jahr oder 129 MJ/(m²·a).

Bei einem Vergleich der Investitionskosten mit anderen Heizsystemen ist zu berücksichtigen, daß ohne Niedertarifsystem auf den relativ teuren und sperrigen Warmwasserspeicher (1.500 l) verzichtet werden kann. Eine Wärmepumpenanlage benötigt weder Tankraum, Auffangwanne, Brandschutz-Türen und Kamin, noch Brennerservice und Kaminfeger.

Bei den Betriebskosten ist die Wärmepumpe (von anderen Vorteilen abgesehen) selbst bei heutigen Ölpreisen sehr günstig. Bei den Brutto-Betriebskosten schneidet sogar die Erdsondenheizung ohne Zusatzspeicher besser ab als die Öl- oder Elektrospeicherheizung.

In den nun fast 8 Jahren Betriebszeit gab es nur zwei Störungen durch Ausfall eines Strömungswächters und der Platine der Steuerung (Gewährleistung bzw. Kulanz). Eine Zusatzheizung war auch in dem sehr kalten Winter 86/87 nicht erforderlich.

Zur Zeit laufen über zwei Heizperioden Wärmemengenmessungen in Sonden- und Heizkreislauf zur Ermittlung der Jahresleistungsziffer.

7 Folgerungen

Notwendige Voraussetzungen für eine Erdsondenanlage sind die Bohrbewilligung durch das Gewässerschutzamt und eine auf Vorlauftemperaturen deutlich unter 50°C ausgelegte Heizung.

Mutige Bauherren braucht es nicht, gefordert sind die Behörden, um Bewilligungshindernisse zu beseitigen bzw. klare Auflagen zu definieren, und informierte Architekten, die interessierte Bauherren kompetent beraten können.

Bei den heutigen niedrigen Ölpreisen sind die Heizkosten von 600 bis 700 sFr pro Jahr (ca 650 bis 720 DM) etwa gleich hoch wie für eine Ölheizung gleicher Wärmeleistung.

Mit einer guten Gebäudedämmung, einem geeignetem Untergrund, einer separaten Warmwassererzeugung und einer konsequenten Konzipierung als monovalente Heizung erzielt man eine ökologisch sinnvolle, wirtschaftlich vertretbare und umweltverträgliche Anlage.

8 Literatur

[1] Tagungshandbuch-IBK-Bau-Fachtagung 118, "Das Niedrigenergiehaus heute und morgen", 14./15. Nov. 1990, "Monovalente Heizung mit Erdsonden", S. 4/1 bis 4/10.

[2] Tagungshandbuch IBK-Bau-Fachtagung 157. "Der neue Wärmeschutz, Niedrigenergiehäuser in der Praxis", 2./3. 12. 1992, "Erdwärmenutzung für Niedrigenergiehäuser", S. 8/1 bis 8/8.

[3] SIK - Empfehlung: Bauwesen Norm SN 565 380/1, Energie im Hochbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), 1989

[4] Schulz, R.; Werner, R.; Ruhland, J.; Bussmann, W.: Geothermische Energie – Forschung und Anwendung in Deutschland.
Verlag C.F. Müller, Karlsruhe
ISBN 3-7880-7444-2, 1992

[5] Eugster, J.K.: Erdwärmesonden – Funktionsweise und Wechselwirkung mit dem geologischen Untergrund, Feldmessungen und Modellsimulation.
Diss. ETH-Zürich Nr. 9524, 1991

[6] Stärk, K.F.: Erfahrungen mit einer monovalenten Erdsondenheizung.
HeizungKlima, Nr. 5, 1988, S. 34-36

[7] Stärk, K.F.: Wärme aus der Erde, Monovalente Heizung mit Erdsonden.
Sonnenenergie 5/91, S. 5-7

[8] Stärk, K.F.: Erdwärme für Niedrigenergiehäuser.
Ein Erfahrungsbericht über sechs Jahre Nutzungszeit.
ENERGIE, Jahrg. 45, Nr. 4, April 1993, S. 45-49

[9] Eugster, W.J.; Hopkirk, R.J.; Kälin, B.; Rybach, L.; Seifert, P: Das Betriebsverhalten der Erdwärmsonde. Dezentrales Heizen durch Nutzung der untiefen Geothermie.
Schweizer Ingenieur und Architekt. Sonderdruck aus Heft 46/1992 und Mitteilung Nr. 707, Inst. f. Geophysik, ETH-Zürich, 1992

[10] Rybach, L.; Hopkirk, R.J; Eugster, W.; Burkart, R.: Design and Long-Term Performance Characteristics of Vertical Earth Heat Exchangers.
U.S. Geothermal Resources Concil Transactions, Vol. 14, Part 1, p. 343-349, 8/1990

[11] Schwanner, I.; Hopkirk, R.J.: Die vertikale Erdsonde als Energiebeschaffungssystem; Ein Überblick über die Einflüsse wichtiger Parameter.
Bericht für das Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, 19982

[12] Sanner, B.; Brehm, D.; Knoblich, K.: Erstes Betriebsjahr der Erdsonden-Forschungsanlage Schwalbach (1985/86), Z. Angew. Geowiss., 7, Giessen, p. 43-60, 1986

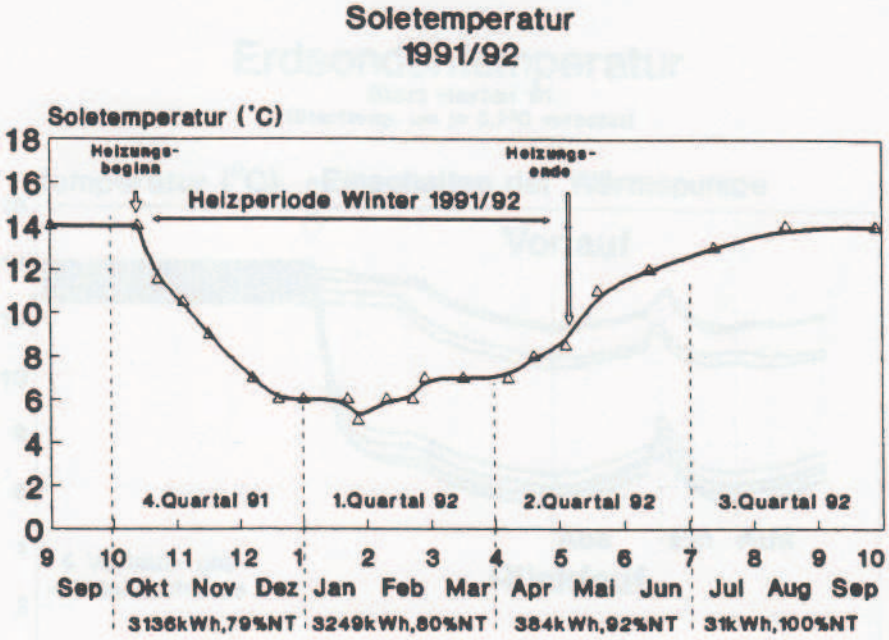

Bild 1: Veränderung Erdsonde – Soletemperatur Winter 91/92

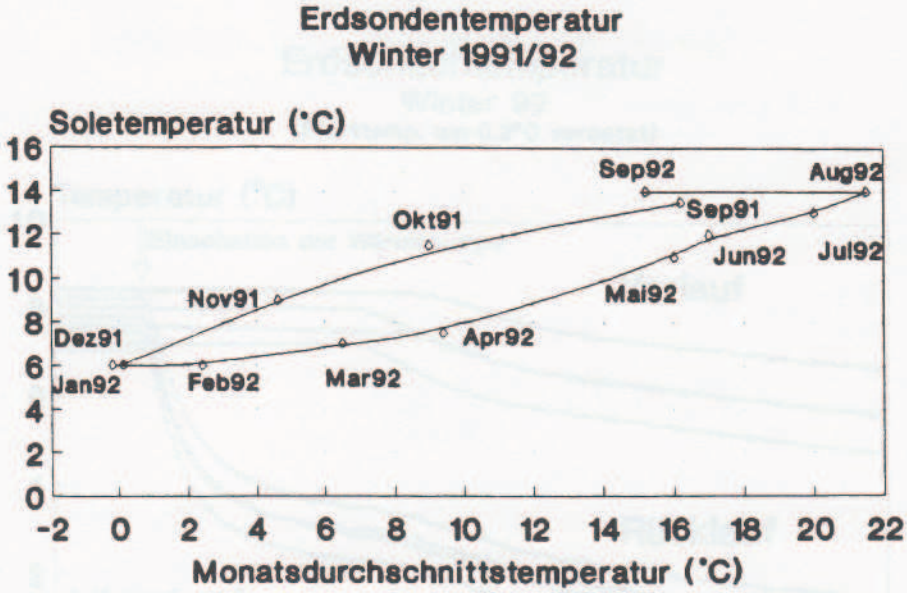

Bild 2: Abhängigkeit der Sole- von der mittleren Außentemperatur

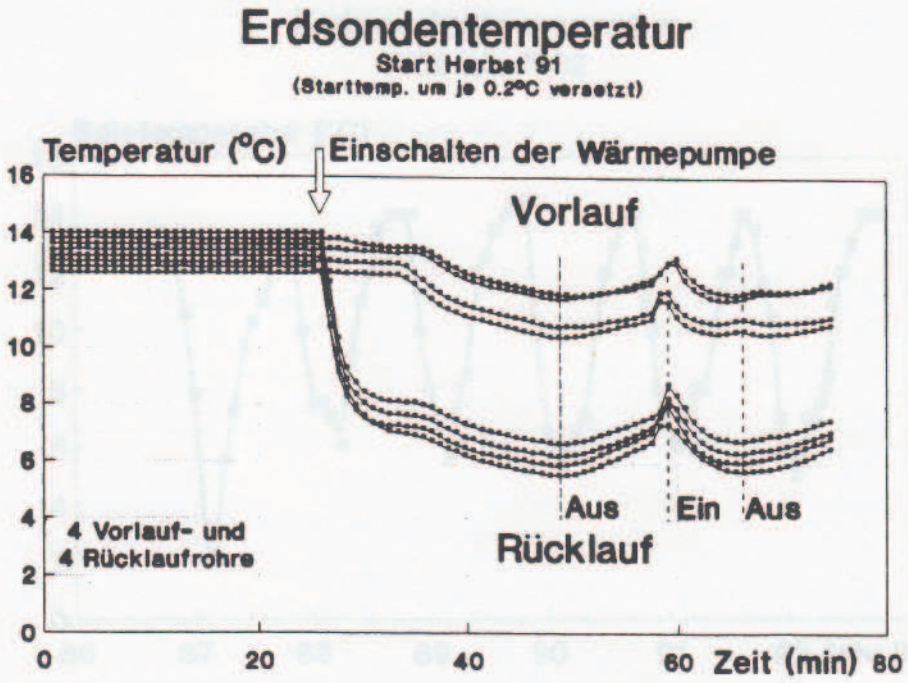

Bild 3: Computermessung Herbst '91

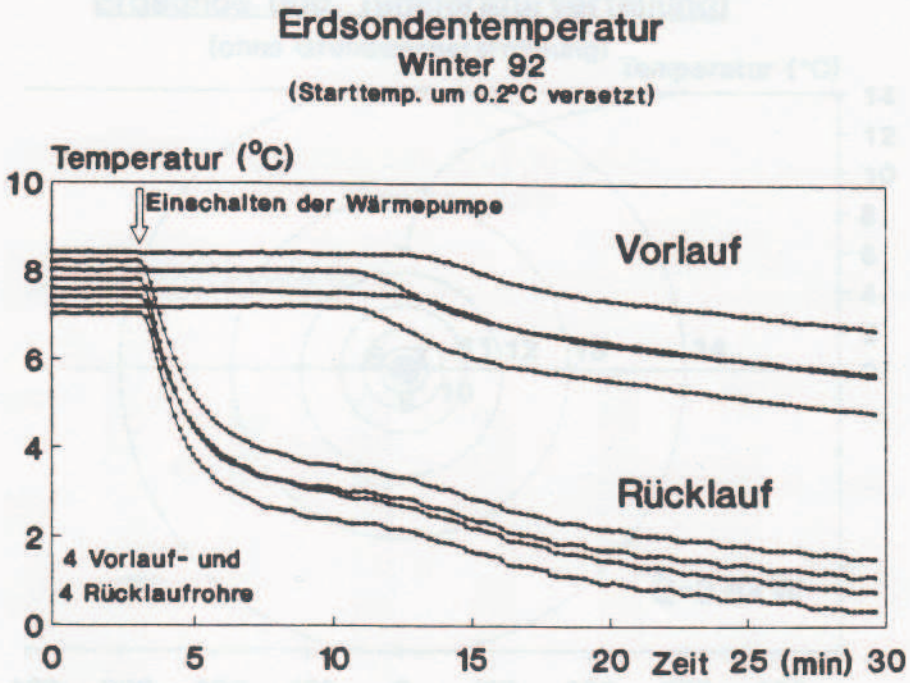

Bild 4: Computermessung Februar '92

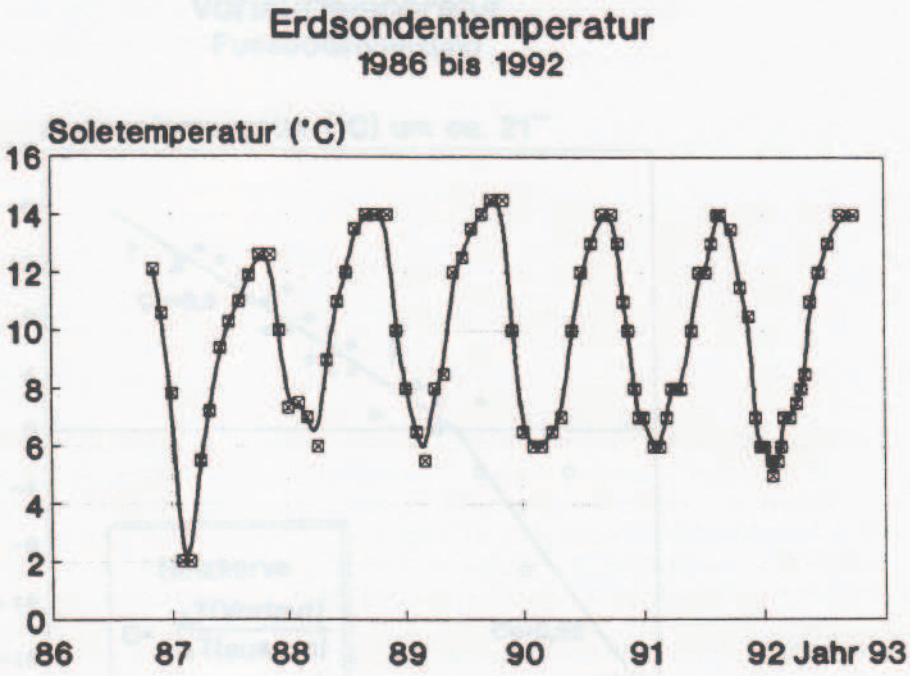

Bild 5: Regeneration Erdsonde

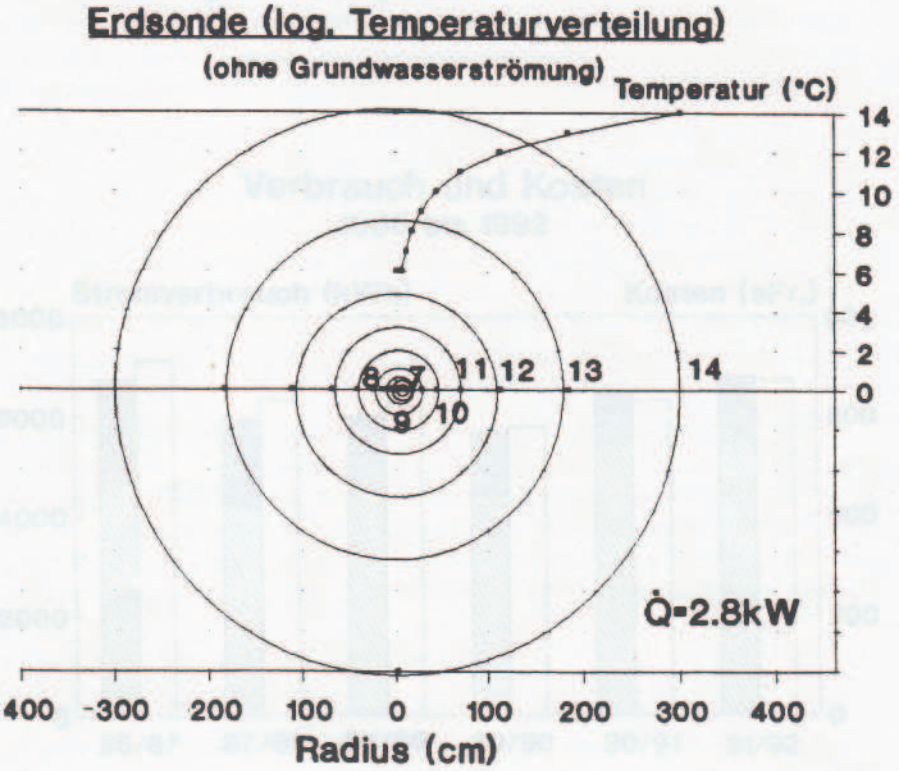

Bild 6: Temperaturverteilung

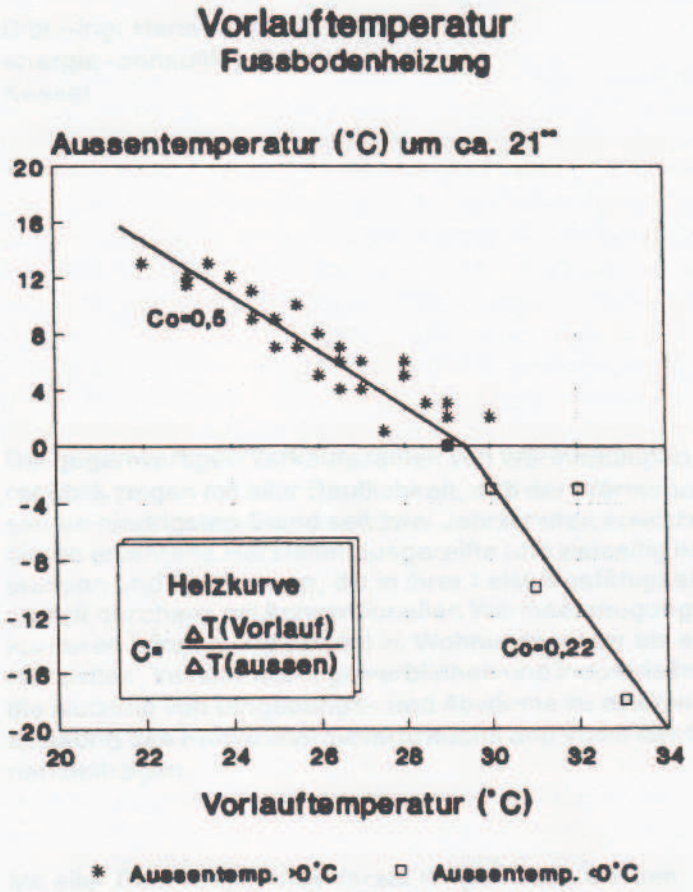

Bild 7: Notwendige Vorlauftemperatur

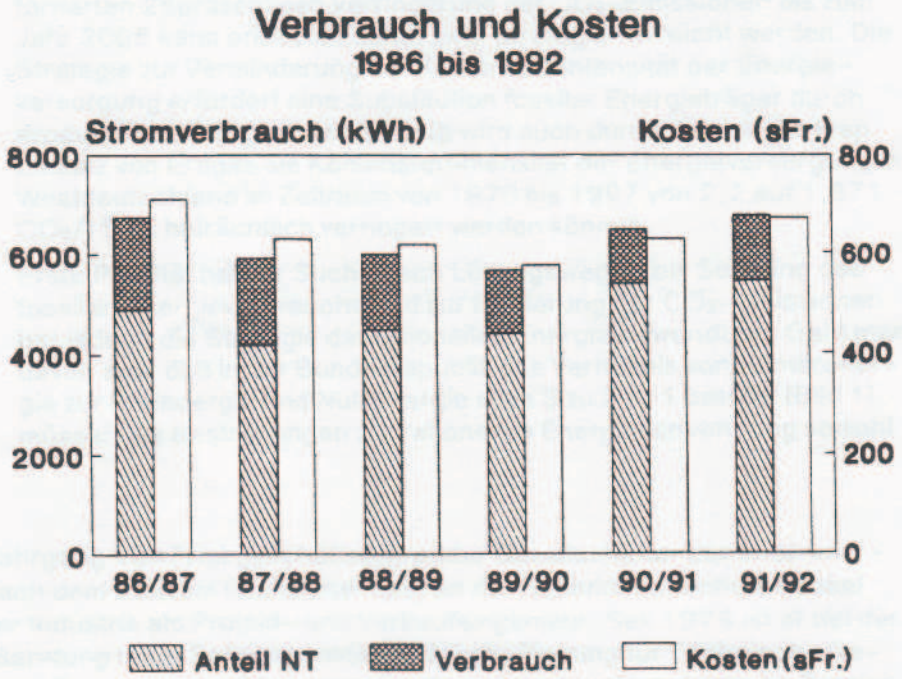

Bild 8: Verbrauch und Kosten