

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 92 (2001)

Heft: 24

Artikel: Heizen und Kühlen mit Erdwärmesonden und Elektrowärmepumpen für Niedrigenergiehäuser

Autor: Stärk, Klaus F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855794>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Heizen und Kühlen mit Erdwärmesonden und Elektrowärmepumpe für Niedrigenergiehäuser

Auslegung, Empfehlungen, Grenzen: Beispiele und 15-jährige Messungen

Der Beitrag beschreibt eine erprobte Heizkühlung mit Erdwärmesonden. Die Anlage gehörte 1985 zu den ersten 500 Heizungen ihrer Art in der Schweiz. Sie ist von den heute rund 20 000 Ausführungen mit Erdwärmesonden und Wärmepumpe vermutlich die am längsten gemessene Anlage. Zudem ist das Einfamilienhaus eines der ersten und wenigen, das mit den Erdsonden im Sommer seit fünf Jahren gekühlt wird.

■ Klaus F. Stärk

Einfamilienhaus

Das freistehende Einfamilienhaus in Hanglage (geplant und gebaut 1985–87) hat rund 150 m² beheizte Wohnfläche und etwa 1000 m³ umbauten Raum. Es wurde ausführlich in den Veröffentlichungen [1]–[3] beschrieben.

Heizungsanlage

Als alternatives umweltfreundliches Heizsystem bot sich die Wärmepumpe an. Aus grundsätzlichen Überlegungen zur Versorgungssicherheit und dem Platzbedarf blieb die (damals nicht sehr bekannte) untiefe Geothermie mit Erdwärmesonden und Solekreislauf als Lösung (s. Zusammenstellung der Vergleichsargumente zwischen Ölheizung und Wärmepumpe mit Erdsonde in Tabelle I). Es gibt inzwischen weltweit eine Menge Literatur über Erdwärmesonden, Berechnungen, Bauformen und Erfah-

rungen (s. eine kleine Auswahl in [4] bis [15]). Die Erdwärmesonden erleben in den letzten Jahren einen Boom, nicht nur in der Schweiz, Österreich und Deutschland, sondern besonders in den USA. In den USA wird mehr Geld für die Klimatisierung als für die Heizung von Gebäuden ausgeben.

Bei einem Wärmebedarf von rund 11 kW (nach SIA V380/I für –11°C) ergaben sich eine Wärmepumpe mit 4 kW Antriebsleistung und zwei Erdwärmesonden mit je 60 m Tiefe (eingerechnete Unsicherheitsreserve rund 20%) und 15 m Zuleitungslänge von den Sonden zum Heizungskeller (verlegt in etwa 1,5 m Tiefe als zusätzliches «Erdregister»), s. prinzipieller Aufbau und untiefe Geolo-

gie in Bild 1. Zur Schonung der Wärmepumpe und besseren Nutzung der Niedertarifzeiten wurde ein 1500-l-Warmwasserspeicher eingebaut. Für Interessenten sind die Checklisten «Haus» (Tabelle II), «Wärmepumpe» (Tabelle III) und «Erdsonde» (Tabelle IV) zusammengestellt. Sie können als Hilfe dienen, wenn das Heizungssystem mit dem Architekten besprochen wird, um sich klar darüber zu werden, was man will, welche Voraussetzungen gegeben sein müssen und was noch geklärt werden muss.

Messungen

Die Richtigkeit der Auslegung und der Randbedingungen wurden voll bestätigt. Über nunmehr 15 Winter gab es keine Probleme (kleine Reparaturen an der Anlage wurden schnell und kostenlos behoben), eine Zusatzheizung (Schwedenofen im Wohnzimmer) war nie erforderlich.

Da die (sehr leise) Wärmepumpe einen «Bordcomputer» enthält, ist es sehr einfach, die Tages- und Jahreslaufzeiten und die Momentanwerte der Aussen-, Sole- und Heizungskreislaufumtemperaturen zu ermitteln. Der separate Stromzähler ergibt den Verbrauch von Wärme- und Um-

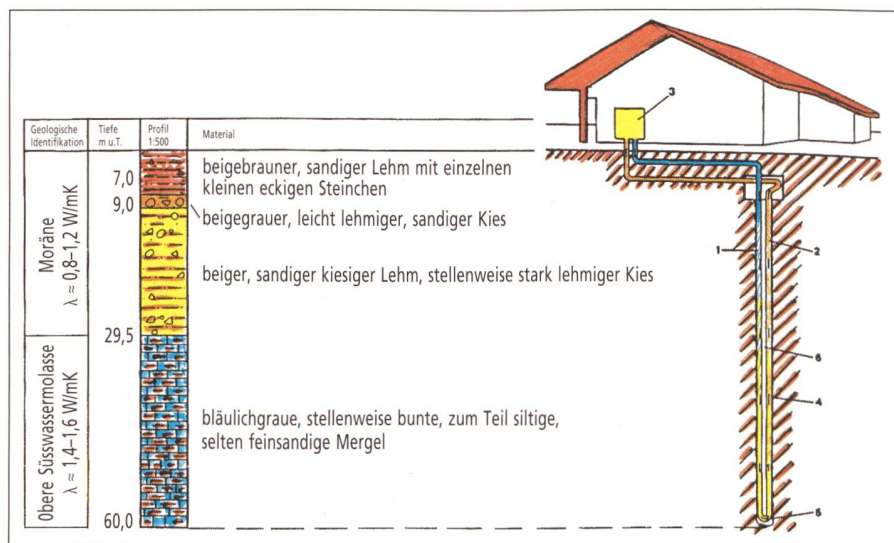


Bild 1 Erdsondenprinzip und geologische Situation.

Adresse des Autors
Dr.-Ing. Klaus F. Stärk
Langacherstrasse 11
5417 Untersiggenthal
klaus.staerk@power.alstom.com

wälzpumpen. Durch eine Instrumentierung der vier Vor- und vier Rücklaufrohre der Erdwärmesonden ausserhalb des Hauses mit Thermoelementen war eine gute und einfache Kontrolle der Temperaturverteilung und mit einem PC-Messprogramm eine sehr genaue Verfolgung der Temperaturänderungen der Sondenrohre möglich (Bild 2). Über zwei Jahre wurden zusätzlich mit integrierenden Wärmemengenzählern (Durchflussmessern mit Temperaturdifferenz-Auswertung) die Wärmemengen im Sonden- und Heizungskreislauf gemessen. Die Auswertungen ermöglichten es, die Jahresarbeitszahl der Heizungsanlage zu berechnen.

Besonders wichtig für den Betreiber ist der Nachweis, dass sich die Erdwärmesonde in der heizungsfreien Zeit gut regeneriert.

Kühlung

Im Sommer 1996 wurde zusätzlich ein Plattenwärmetauscher zwischen Sole- und Heizungskreislauf eingebaut, so dass eine Kühlleistung von rund 5 kW für das Erdgeschoss an heissen Tagen zur Verfügung steht (Bild 3). Unter Umgehung der Wärmepumpe werden nur die Umwälzpumpen benutzt, um den Pufferspeicher auf etwa 13 bis 15°C abzukühlen. Die Vorlauftemperatur wird mit minimal 20°C so gewählt, dass der Fussboden nicht kälter wird als 22°C, um mit genügend Sicherheitsabstand Kondenswasserbildung zu vermeiden. In 1 m Höhe werden so angenehme 25°C bei hohen Aussentemperaturen gehalten, und gleichzeitig wird das Erdreich um die Erdsonden schneller regeneriert. Die Betriebskosten für eine Kühltage belaufen sich auf rund 50 Franken und für eine Heizperiode auf etwa 700 Franken.

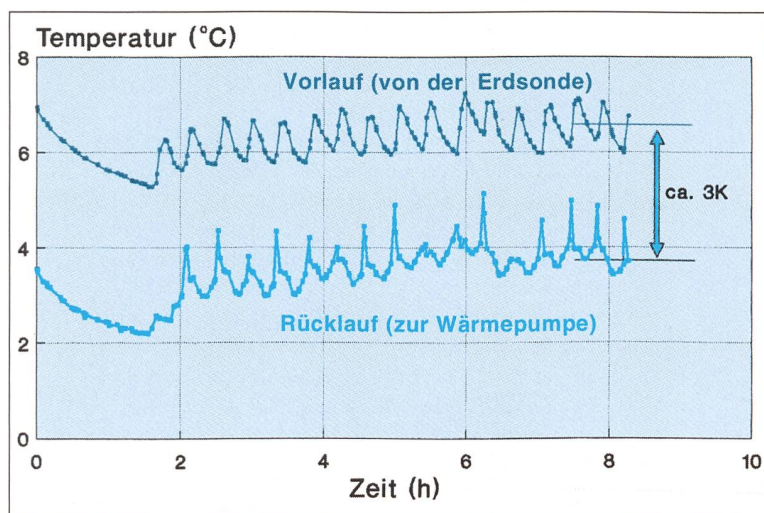


Bild 2
Messungen
der Vor-
und
Rücklauf-
temperatur
der
Erdsonde.

Vergleich	Ölheizung	WP + Erdsonde
Öltank/Tankraum	ja	nein
Tankwanne/Brandschutztür	ja	nein
Tankrevision/-service	ja	nein
Öleinkauf/Preisvergleich	ja	nein
Kapitalbindung/Vorauszahlung	ja	nein
Abgaswartung	ja	nein
Service Brenner bzw. WP	ja	ja/nein
Pufferspeicher	nein	ja/nein
Fussbodenheizung	ja/nein	ja
Kamin/Deckendurchbrüche	ja	nein
Schornsteinfeger	ja	nein
Abgase/Abwärme	ja	nein
Grundwassergefährdung	ja	nein
Bewilligungspflicht	nein	ja (Bohrung)
Gebäudeversicherung	ja	ja (reduziert)

Tabelle 1 Vergleichsargumente.

Durch «Ansteckung» hat sich die Erdwärmesondenanlage in der näheren Umgebung inzwischen vermehrt, obwohl bei steigenden Strom- und bis 2000 sehr niedrigen Ölpreisen die Amortisationsdauer zurzeit mit etwa 15–20 Jahren angesetzt werden musste (bei heutigen Ölpreisen rund 5–10 Jahre).

Details über die Messungen und Erfahrungen können in den IBK-Tagungsbänden [16]–[18] nachgelesen werden.

Folgerungen

- Die Anlage ist zuverlässig und richtig ausgelegt
- Die Heizung ist wirtschaftlich vertretbar
- Das System ist ökologisch sinnvoll
- Neue Generation von Wärmepumpen mit deutlich höheren Jahresarbeitszahlen.

Forderungen an Behörden

- klare Bewilligungsverfahren schaffen
- klare Abgrenzung zwischen offenen bzw. geschlossenen Kreisläufen (Brunnen bzw. Erdwärmesonden) ist notwendig
- klare Definition der zulässigen Frostschutzmittel und evtl. Auflagen
- klare Definition der erlaubten Zonen für eventuelle Erdsondenbohrungen.

Möglichkeiten der Architekten und Bauherren

- gründliche Informationen einholen
- Niedrigenergiehäuser mit Fussbodenheizung projektieren
- rechtzeitige Einplanung der Erdwärmesonden
- Bohren neben beziehungsweise unter dem Bauwerk
- Seriebohrungen unter Plätzen und Neubaustrassen.

Literaturhinweise

- [1] Stärk, K.F.: Erfahrungen mit einer monovalenten Erdsondenheizung. «Heizungsklima», Nr.5, 1988, S. 34–36.
- [2] Stärk, K.F.: Wärme aus der Erde, Monovalente Heizung mit Erdsonden. «Sonnenenergie» 5/91, S. 5–7.
- [3] Stärk, K.F.: Erdwärme für Niedrigenergiehäuser. Ein Erfahrungsbericht über sechs Jahre Nutzungszeit. «ENERGIE», Jahrgang 45, Nr. 4, April 1993, S. 45–49.
- [4] Eugster, J.K.: Erdwärmesonden – Funktionsweise und Wechselwirkung mit dem geologischen Untergrund, Feldmessungen und Modellsimulation. Diss. ETH Zürich Nr. 9524, 1991.
- [5] Egges: Potenzial und Kosten geothermischer Energienutzung in der Schweiz. Ausgearbeitet durch Basler & Hofmann, Zürich, und Institut für Geophysik, ETH Zürich. Arbeitsdokument Nr. 22 der Exper-

– Planung Niedrigenergiehaus	
– Gewässerschutzzone	
– Untiefe Geologie	
– Orientierung Ost-West	
– Bohrplatz, Bohrabstände	
– Zufahrt für Bohrfahrzeug	
– Bohrzeitpunkt	
– Fussbodenheizung	Konsequenzen
– Einzelventile für Heizkreise	für Grundstück und Bau:
– Stromhoch- bzw. Niedrigtarif	==> kein Öltank
– Platz für Pufferspeicher	==> kein Tankraum
– Glasflächen (k-Wert)	==> kein Kamin
– Beschattung	==> kein Gasanschluss
– Zuluft, Abluft	==> kein Fernheizungsanschluss
– Fassade (k-Wert)	==> keine Zufahrt für Tanklastzug
(doppelschalig oder Aussenisolation)	
– Dachüberhänge (Süd/West)	
– Holzkonstruktionen	
– Warmwassererzeugung	
– Wärmebedarfsrechnung (Erd-Wärme-Sonde)	
– Kühlbedarfschätzung (Erd-Kälte-Sonde)	

Tabelle II Checkliste «Haus».

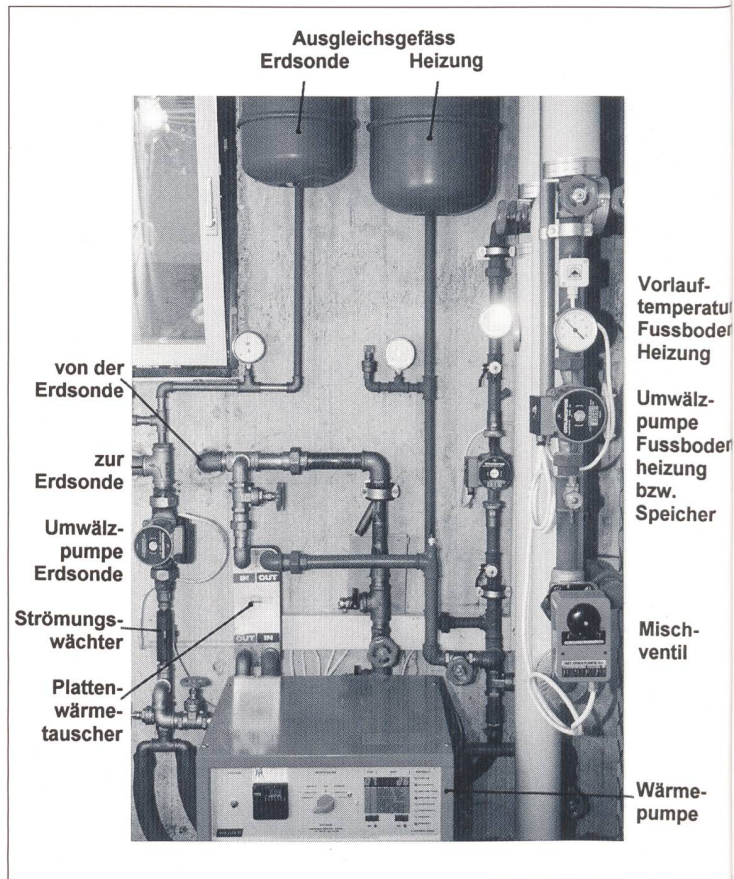
– erforderliche Heizleistung
– elektrische Anschlussleistung
– Anschlussbewilligung E-Werk
– Hoch-Niedrigtarifzeiten
– Sperrzeiten (E-Werk)
– Pufferspeicher
– Anlaufstrombegrenzung
– Jahresarbeitszahl
– Kältemittel (Ozonschädlichkeit)
– Aussentemperaturführung
– Innentemperaturregelung
– Wochenschaltuhr
– Lautstärke/Schallschutz
– flexibler Anschluss
– 3-Stufen-Umwälzpumpen
– Garantiezeit und Servicefreiheit
– 24-Stunden-Servicegarantie

Tabelle III Checkliste «Wärmepumpen»

– Bewilligung (Gewässerschutzamt)
– geologisches Gutachten (untiefe Geologie)
– Bohrplatz (neben/unter dem Haus)
– Bohrabstände und Bohrwinkel
– Bohrtiefe
– Bohrrisiken (Versicherung)
– Zuleitungen Erdsonde (Erdregister)
– Verteiler- und Entlüftungsschacht
– Erdsondenaufbau und -material
– Hinterfüllung
– Rohrrinnendurchmesser/Länge
– Füllung (Wasser/Glykol)
– Flüssigkeitsvolumen
– Strömungswiderstand/Pumpen
– Erdsondenlebensdauer und Risiken

Tabelle IV Checkliste «Erdsonde»

Bild 3
Heizungs-
Kühlungs-
installation.



Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150 m², Bruttogeschossfläche 179 m², Bauvolumen rund 1000 m³

- Stromtarif: Niedrigtarif 11 h, Hochtarif 8.75 h
- Sperrzeiten 4.25 h/Werktag
- Heiztage pro Jahr: ca. 200
- Fussbodenheizung, max. Vorlauftemperatur 33 °C
- Rohr VPE nahtlos Ø_a 20×2 mm
- Rohrverlegedichte 7,5 m/m² beheizte Wohnfläche
- 15 getrennte Kreisläufe auf 150 m² beheizte Wohnfläche
- Unterlagsboden: Zementanstrich 70 mm
- k-Wert Gebäudehülle < 0,38 W/m²K
- Verglasung Wärmedurchgangskoeffizient k < 2,15 W/m²K (Niedrigenergiehaus < 0,7 W/m²K)
- Fassade Wärmedurchgangskoeffizient k < 0,3 W/m²K (Niedrigenergiehaus < 0,15 W/m²K)
- Nachtabenkung: nein
- Wärmeverlust durch die Gebäudehülle nach SIA 380/1 bzw. 384/2 N_v ca. 5,5 kW bei –11 °C
- Wärmebedarf N_{erf} = N_{el} + N_{th} ≈ 2 N_v = 11 kW (durch Lüftung, Türen, Undichtigkeiten, Luftaustausch, Baumängel)
- Stromverbrauch im Mittel 6270 kWh/Jahr
- spez. Stromverbrauch im Mittel 41 kWh/m²a bzw. 147 MJ/m²a
- spez. Wärmebedarf gemessen 100–110 kWh/m²a (thermisch)
- Niedrigenergiehaus 30–70 kWh/m²a (thermisch)
- spez. Heizkosten: rund sFr. 4.20–4.40/m²a inklusive Umwälzpumpen und Zählermiete, ohne Warmwasser (spez. Verbrauch berechnet mit 150 m² beheizter Wohnfläche)
- Warmwassererzeugung elektr. mit Nachtstrom (auch mit separater kleiner Brauchwasser-Wärmepumpe möglich)
- Kühlbedarfschätzung (+30 °C) ca. 40% des Wärmebedarfs = 4,5 kW

Tabelle V Richtwerte «Haus»

Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150 m², Bruttogeschossfläche 179 m², Bauvolumen rund 1000 m³

- Heizleistung $N_{\text{eff}}^a = 10\text{--}11 \text{ kW} = N_{\text{el}} + N_{\text{th}}$
- Leistungsaufnahme $N_{\text{el}} = 3,8\text{--}4,2 \text{ kW}$, je nach Soletemperatur
- Jahresarbeitszahl β (soll) > 3 (gemessen 2.53–2.71)
- Jahreslaufzeit 1270 bis 1666 h (über 10 Jahre)
- max. Zyklenzahl/Stunde: 3
- Sperrzeiten durch E-Werk 4.25 h/Tag
- Pufferspeicher (nein/1500 Liter)
- Laufzeit rund 73% in Niedertarifzeiten, 27% im Hochtarif
- Aussentemperaturführung (Fühler Nordseite)
- Innentemperaturregelung mit Mischventil
- Wochenschaltuhr
- Höchste Vorlauftemperatur 33 °C bei –18 °C Aussentemperatur
- Auslegungsgrenze –20 °C aus gemessener Heizkurve
- Anteil der Umwälzpumpen an den Stromkosten rund 16%
- Kältemittel R22 (s. Vorschriften, Betriebsbewilligungen, Ozonschädlichkeit) (in Neuanlagen noch zulässig bis 31.12.1999, in Altanlagen vermutlich zulässig bis etwa 2005)
- kein Service- und Wartungsvertrag
- kleinere Reparaturen in den 10 Jahren auf Kulanz

Tabelle VI Richtwerte «Wärmepumpe».

Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150 m², Bruttogeschossfläche 179 m², Bauvolumen rund 1000 m³

- Geologie: Moräne und Süsswassermolasse
- mittlere Wärmeleitfähigkeit Untergrund $\lambda = 1,25 \text{ W/mK}$
- DUPLEX-Sonde (Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonde)
- Material HDPE $\varnothing_a = 25 \times 2,3 \text{ mm}$ oder MDPE $\varnothing_a = 32 \times 3 \text{ mm}$
- Bohrabstände rund 5–10 m ($\varnothing 120 \text{ mm}$)
- Bohrung lotrecht oder Neigung $< 10^\circ$
- Hinterfüllung Bentonit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Sondenleistung etwa 50 W/m (gemessen 53 W/m)
- Umwälzleistung 1690 l/h bei $2 \times 60 \text{ m}$ Erdsonde
- Umwälzpumpe Erdsonde 260 W
- Füllmenge gesamt 196 Liter Wasser/Glykolgemisch
- Geliertemperatur etwa –14 °C bei einem Anteil von 26% Monoethylenglykol $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, Antifrogen N, Giftklasse 4, Hoechst Wärmeträgerflüssigkeiten)
- Betriebsüberdruck 2 bar
- Sondenlänge $L_{\text{ges}}(\text{m}) \approx 2/3 N_{\text{eff}}(\text{W})/50$
- Bohrtiefe $< 100 \text{ m}$ ($3 \times 80 \text{ m}$ besser als $2 \times 120 \text{ m}$), (bezüglich Risiko, Parallelschaltung, Strömungswiderstand)
- Erdsonden-Ruhetemperatur etwa 4–13 °C
- niedrigste Erdsonden-Ruhetemperatur 0 °C (Winter 86/87)
- Temperaturdifferenz Vor-/Rücklauf 3–4 K
- keine bleibende Temperaturabsenkung der Sonden
- Grundwasserniveau und -strömung unbekannt

Tabelle VII Richtwerte «Erdsonde»

tengruppe Energieszenarien. Eidgenössische Druck-sachen- und Materialzentrale, Bern, 1988.

[6] Eugster, W.: Untersuchungen zur Wirkungsweise von vertikalen Erdsonden in verschiedenen Gesteinstypen. Diplomarbeit, Inst. für Geophysik, ETH Zürich, 1985.

[7] Hopkirk, R.J.; Eugster, W.; Rybach, L.: Vertical Earth Heat Probes: Measurement and Prospects in Switzerland. Communications/Proceedings JIGA-STOCK 88, Versailles/France, Vol. 1, p. 367–371, 1988.

[8] Kaelin, B.; Hopkirk, R.J.: Quantitative Empfehlung über den minimalen Grenzabstand einer Erdwärmesonde-Anlage. Bericht für das Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, 1991.

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

[10] Schwanner, I.; Hopkirk, R.J.: Die vertikale Erdsonde als Energiebeschaffungssystem; ein Überblick über die Einflüsse wichtiger Parameter. Bericht für das Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, 1982.

[11] SIA-Dokumentation D 025: Base de dimensionnement des systèmes exploitant la chaleur du sol à basse température. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, und Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, 1988.

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

[13] SIA-Empfehlung: Bauwesen Norm SN 565 384/2, Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), 1988.

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

[15] Burkart, R.; Hopkirk, R.J.; Eugster, W.J.; Rybach, L.: Erdwärmesonden-Heizanlagen: Durch Messungen und Berechnungen bestimmte Auslegungs- und Betriebsgrößen. Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Studie Nr. 46, Eidg. Kommission für Geothermie und unterirdische Wärmespeicherung, 1989.

[16] Tagungsband IBK Bau-Fachtagung 118, 14./15.11.1990, Inst. f. d. Bauen mit Kunststoffen, Darmstadt. Das «Niedrigenergiehaus» heute und morgen. Monovalente Heizung mit Erdsonden. S. 4/1 bis 4/10. 1990.

[17] Tagungsband IBK Bau-Fachtagung 157, 2./3.12.1992, Inst. f. d. Bauen mit Kunststoffen, Darmstadt. Der neue Wärmeschutz, Niedrigenergiehäuser in der Praxis. Erdwärmenutzung für Niedrigenergiehäuser: einfach, preiswert, umweltfreundlich. Ein Erfahrungsbericht über 6 Jahre Nutzungszeit. S.8/1 bis 8/8. 1992.

[18] Tagungsband IBK Bau-Fachtagung 168, 20./21.10.1993, Inst. f. d. Bauen mit Kunststoffen, Darmstadt. «Niedrigenergiehaus-Praxis heute und morgen». 7 Jahre Erdwärmenutzung – einfach, preiswert, umweltfreundlich. S.10/1 bis 10/9.

Chauffer et climatiser à l'aide de sondes géothermiques et d'une pompe à chaleur pour des maisons à faible consommation d'énergie

L'article décrit un système de chauffage/climatisation avec des sondes géothermiques. L'installation faisait partie en 1985 des premiers 500 chauffages de ce type en Suisse. Parmi les quelque 20 000 installations réalisées avec des sondes géothermiques et des pompes à chaleur, elle est certainement celle qui a été mesurée le plus longtemps. La maison est par ailleurs une des premières et l'une des rares maisons à être, depuis cinq ans, climatisée en été grâce à ces sondes.