

Dr.-Ing. Klaus F. Stärk
Untersiggenthal/Schweiz

"Erdwärmesonden für Niedrigenergiehäuser; Auslegung, Empfehlungen und Grenzen - Beispiele und langjährige Messungen"

1. Einfamilienhaus

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

2. 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 **Tafel 1**. Es gibt inzwischen weltweit eine Menge Literatur über Erdwärmesonden, Berechnungen, Bauformen und Erfahrungen, s. eine kleine Auswahl in [4] - [15]. Die Erdwärmesonden erleben in den letzten Jahren einen Boom, nicht nur in der Schweiz, Oesterreich und Deutschland sondern besonders in den USA. In den USA wird mehr Geld für die Klimatisierung als für die Heizung von Gebäuden ausgegeben.

Bei einem Wärmebedarf von ca. 11kW (nach SIA V380/1 für -11°C) ergaben sich eine Wärmepumpe mit 4kW Antriebsleistung und zwei Erdwärmesonden mit je 60m Tiefe (eingerechnete Unsicherheitsreserve ca. 20%) und ca. 15m Zuleitungslänge von den Sonden zum Heizungskeller (verlegt in ca. 1,5m Tiefe als zusätzliches "Erdregister"), s. prinzipieller Aufbau und untiefe Geologie in **Bild 1**. Zur Schonung der Wärmepumpe und besseren Ausnutzung der Niedertarifzeiten wurde ein 1500 l Warmwasserspeicher eingebaut. Für Interessenten habe ich aus meiner Sicht die Checklisten "Haus" (**Tafel 2**), "Wärmepumpe" (**Tafel 3**) und "Erdsonde" (**Tafel 4**) 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 ggf. noch geklärt werden muss.

3. Messungen

Die Richtigkeit der Auslegung und der Randbedingungen wurden voll bestätigt. Über nunmehr 10 Winter gab es keine Probleme (kleine Reparaturen an der Anlage wurden schnell und kostenlos behoben), eine Zusatzheizung (Schwedenofen im Wohnzimmer) war nie erforderlich.

Dr.-Ing. Klaus F. Stärk, Jg. 1943; Studium Maschinenbau an der TH Darmstadt, Vertiefungsfächer Kunststoffkunde und -technologie; 1972-1980 Versuchs-ingenieur und Wissenschaftlicher Assistent an der MPA, Universität Stuttgart; 1980 Promotion auf dem Gebiet der Thermometrie und Schwingfestigkeit; 1980 bis heute zuständig für mechanische Werkstoffeigenschaften bei ABB Kraftwerke AG, Abt. KWRM Baden/Schweiz, seit 1987 dort Hauptgruppenleiter Werkstoff- und Bauteilprüfung.
Private Beratung für Erdsondenanlagen.

Da die (sehr leise) Wärmepumpe einen "Bordcomputer" enthält, ist es sehr einfach, die Tages- und Jahreslaufzeiten und die Momentanwerte der Aussen-, Sole- und Heizungskreislauftemperaturen zu ermitteln. Der separate Stromzähler ergibt den Verbrauch von Wärme- und Umwälzpumpen. Durch eine Instrumentierung der 4 Vor- und 4 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, s. z.B. **Bild 2**. Ueber 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. Im Sommer 96 wurde zusätzlich ein Plattenwärmetauscher zwischen Sole- und Heizungskreislauf eingebaut, so dass eine Kühlleistung von ca. 5 kW für das Erdgeschoss an heissen Tagen zur Verfügung steht, s. **Bild 3**. Unter Umgehung der Wärmepumpe werden nur die Umwälzpumpen benutzt, um den Pufferspeicher auf ca. 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 1m Höhe werden so angenehme 25°C bei hohen Aussentemperaturen gehalten und gleichzeitig wird das Erdreich um die Erdsonden schneller regeneriert.

Durch "Ansteckung" hat sich die Erdwärmesondenanlage in der näheren Umgebung inzwischen vermehrt, obwohl bei steigenden Strom- und sehr niedrigen Ölpreisen die Amortisationsdauer z.Z. mit ca. 15-20 Jahren angesetzt werden muss.

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

4. Folgerungen

- Die Anlage ist zuverlässig und richtig ausgelegt
- Die Heizung ist wirtschaftlich vertretbar
- Das System ist ökologisch sinnvoll

5. Forderungen an Behörden

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

6. Möglichkeiten der Architekten und Bauherren

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

8. Literaturhinweise

- [1] Stärk, K.F.: Erfahrungen mit einer monovalenten Erdsondenheizung. HeizungKlima, 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, Jahrg. 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] Eges: Potential und Kosten geothermischer Energienutzung in der Schweiz. Ausgearbeitet durch Basler & Hofmann, Zürich, und Institut für Geophysik, ETH Zürich. Arbeitsdokument Nr. 22 der Expertengruppe Energieszenarien. Eidgenössische Drucksachen- 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 JIGASTOCK 88, Versailles/France, Vol. 1, p. 367-371, 1988
- [8] Kaelin, B.; Hopkirk, R.J.: Quantitative Empfehlung über den minimalen Grenzabstand einer Erdwärmesonden-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, Giessen, p. 43-60, 1986
- [10] Schwanner, I.; Hopkirk, R.J.: Die vertikale Erdsonde als Energiebeschaffungssystem; Ein Ueberblick 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 Mitteilung 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. Erdwärmennutzung 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 Erdwärmennutzung - einfach, preiswert, umweltfreundlich. S.10/1 bis 10/9.

Tafel 1: Vergleichsargumente

Vergleich	Oelheizung	WP + Erdsonde
Oeltank/Tankraum	ja	nein
Tankwanne/Brandschutztür	ja	nein
Tankrevision/-service	ja	nein
Oeleinkauf/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 (reduz.)

Tafel 2: Checkliste " Haus "

- Planung Niedrigenergiehaus
- Gewässerschutzzone
- Untiefe Geologie
- Orientierung Ost-West
- Bohrplatz, Bohrabstände
- Zufahrt für Bohrfahrzeug
- Bohrzeitpunkt
- Fussbodenheizung
- Einzelventile für Heizkreise
- Stromhoch- bzw. -niedrigtarif
- Platz für Pufferspeicher
- Glasflächen (k-Wert)
- Beschattung
- Zuluft, Abluft
- Fassade (k-Wert)
(doppelschalig oder Aussenisolation)
- Dachüberhänge (Süd/West)
- Holzkonstruktionen
- Warmwassererzeugung
- Wärmebedarfsrechnung (Erd-**Wärme**-Sonde)
- Kühlbedarfsschätzung (Erd-**Kälte**-Sonde)

**Konsequenzen
für Grundstück und Bau:**

- ==> *kein* Oeltank
- ==> *kein* Tankraum
- ==> *kein* Kamin
- ==> *kein* Gasanschluss
- ==> *kein* Fernheizungsanschluss
- ==> *keine* Zufahrt für Tanklastzug

Tafel 3: Checkliste "Wärmepumpe"

- erforderliche Heizleistung
- elektr. 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

Tafel 4: Checkliste "Erdsonde"

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

Tafel 5: Richtwerte "Haus"

(Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150m²,
Bruttogeschossfläche 179m², Bauvolumen ca. 1000m³)

- Stromtarif: Niedrigtarif 11h, Hochtarif 8.75h
- Sperrzeiten 4.25h/Werktage
- Heiztage pro Jahr: ca. 200
- Fussbodenheizung max. Vorlauftemperatur 33°C
- Rohr VPE nahtlos $\varnothing_a 20 \times 2 \text{mm}$
- Rohrverlegedichte 7.5m/m² beheizte Wohnfläche
- 15 getrennte Kreisläufe auf 150 m² beheizte Wohnfläche
- Unterlagsboden: Zementestrich 70 mm
- k-Wert Gebäudehülle < 0.38 W/m²·K
- Verglasung Wärmedurchgangskoeffizient $k < 2.15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
(Niedrigenergiehaus < 0.7 W/m²·K)
- Fassade Wärmedurchgangskoeffizient $k < 0.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
(Niedrigenergiehaus < 0.15 W/m²·K)
- Nachtabenkung: nein
- Wärmeverlust durch die Gebäudehülle nach SIA 380/1 bzw. 384/2
 N_v ca. 5.5 kW bei -11°C
- Wärmebedarf $N_{\text{eff}} = N_{\text{el}} + N_{\text{th}} \approx 2 N_v = 11 \text{ kW}$ (durch Lüftung,
Türen, Undichtigkeiten, Luftaustausch, Baumängel)
- Stromverbrauch im Mittel 6270 kWh/Jahr
- spez. Stromverbrauch im Mittel 41 kWh/m²·a bzw. 147 MJ/m²·a
- spez. Wärmebedarf gemessen 100-110 kWh/m²·a (thermisch)
- Niedrigenergiehaus 30-70 kWh/m²·a (thermisch)
- spez. Heizkosten: ca. sFr. 4.20-4.40/m²·a incl. Umwälzpumpen
und Zählermiete, ohne Warmwasser
(spez. Verbrauch berechnet mit 150m² beheizter Wohnfläche)
- Warmwassererzeugung elektr. mit Nachtstrom (auch mit
separater kleiner Brauchwasser-Wärmepumpe möglich)
- Kühlbedarfsschätzung (+30°C) ca. 40% des Wärmebedarfs = 4.5 kW

Tafel 6: Richtwerte "Wärmepumpe"

(Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150m²,
Bruttogeschossfläche 179m², Bauvolumen ca. 1000m³)

- Heizleistung $N_{\text{erf}} \approx 10\text{-}11 \text{ kW} = N_{\text{el}} + N_{\text{th}}$
- Leistungsaufnahme $N_{\text{el}} = 3.8 - 4.2 \text{ kW}$ 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 ca. 73% in Niedertarifzeiten, 27% im Hochtarif
- Aussentemperaturführung (Fühler Nordseite)
- Innentemperaturregelung mit Mischventil
- Wochenschaltuhr
- Höchste Vorlauftemperatur 33°C bei -18°C Aussentemperatur
- Auslegungsgrenze -20°C gem. gemessener Heizkurve
- Anteil der Umwälzpumpen an den Stromkosten ca. 16%
- Kältemittel R22 (s. Vorschriften, Betriebsbewilligungen, Ozonschädlichkeit)
(in Neuanlagen noch zul. bis 31.12.99,
in Altanlagen vermutlich zul. bis ca. 2005)
- kein Service- und Wartungsvertrag
- kleinere Reparaturen in den 10 Jahren auf Kulanz

Tafel 7: Richtwerte "Erdsonde"

(Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150m²,
Bruttogeschossfläche 179m², Bauvolumen ca. 1000m³)

- 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 ca. 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 ca. 50 W/m (gemessen 53W/m)
- Umwälzleistung 1690 l/h bei 2x60 m Erdsonde
- Umwälzpumpe Erdsonde 260 W
- Füllmenge ges. 196 Liter Wasser/Glykolegemisch
- Geliertemperatur ca. -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 $L_{\text{ges}}(\text{m}) \approx 2/3 N_{\text{erf}}(\text{W})/50$
- Bohrtiefe $< 100 \text{ m}$ (3x80 m besser als 2x120 m)
(bezgl. Risiko, Parallelschaltung, Strömungswiderstand)
- Erdsonden-Ruhetemperatur ca. 4-13 °C
- niedrigste Erdsonden-Ruhetemperatur 0°C (Winter 8 6/87)
- Temperaturdifferenz Vor-/Rücklauf 3-4 K
- keine bleibende Temperaturabsenkung der Sonden
- Grundwasserniveau und -strömung unbekannt

Checkliste "Haus"

- Planung Niedrigenergiehaus
- Gewässerschutzzone
- Untiefe Geologie
- Orientierung Ost-West
- Bohrplatz, Bohrabstände
- Zufahrt für Bohrfahrzeug
- Bohrzeitpunkt
- Fussbodenheizung
- Einzelventile für Heizkreise
- Stromhoch- bzw. -niedrigtarif
- Platz für Pufferspeicher
- Glasflächen (k-Wert)
- Beschattung
- Zuluft, Abluft
- Fassade (k-Wert)
- (doppelschalig oder Aussenisolation)
- Dachüberhänge (Süd/West)
- Holzkonstruktionen
- Warmwassererzeugung
- Wärmebedarfsrechnung (Erd-Wärme-Sonde)
- Kühlbedarfsschätzung (Erd-Kälte-Sonde)

Konsequenzen für Grundstück und Bau:

==> kein Oeltank

==> kein Tankraum

==> kein Kamin

==> kein Gasanschluss

==> kein Fernheizungsanschluss

==> keine Zufahrt für Tanklastzug

Checkliste "Wärmepumpe"

- **erforderliche Heizleistung**
- **elektr. 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**

Checkliste "Erdsonde"

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

Richtwerte "Haus"

(Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150 m²,
Bruttogeschossfläche 179 m², Bauvolumen ca. 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 $\varnothing_a 20 \times 2$ mm
- Rohrverlegedichte 7.5 m/m² beheizte Wohnfläche
- 15 getrennte Kreisläufe auf 150 m² beheizte Wohnfläche
- Unterlagsboden: Zementestrich 70 mm
- k-Wert Gebäudehülle < 0.38 W/m²·K
- Verglasung Wärmedurchgangskoeffizient $k < 2.15$ W/m²·K
(Niedrigenergiehaus < 0.7 W/m²·K)
- Fassade Wärmedurchgangskoeffizient $k < 0.3$ W/m²·K
(Niedrigenergiehaus < 0.15 W/m²·K)
- Nachtabsenkung: nein
- Wärmeverlust durch die Gebäudehülle nach SIA 380/1 bzw. 384/2 N_v ca. 5.5 kW bei -11°C
- Wärmebedarf $N_{\text{erf}} = N_{\text{el}} + N_{\text{th}} \approx 2 N_v = 11$ kW (durch Lüftung, Türen, Undichtigkeiten, Luftaustausch, Baumängel)
- Stromverbrauch im Mittel 6270 kWh/Jahr
- spez. Stromverbrauch im Mittel 41 kWh/m²·a bzw. 147 MJ/m²·a
- spez. Wärmebedarf gemessen 100 - 110 kWh/m²·a (thermisch)
- Niedrigenergiehaus 30-70 kWh/m²·a (thermisch)
- spez. Heizkosten: ca. sFr. 4.20 - 4.40/m²·a incl. Umwälzpumpen und Zählermiete, ohne Warmwasser
(spez. Verbrauch berechnet mit 150 m² beheizter Wohnfläche)
- Warmwassererzeugung elektr. mit Nachtstrom (auch mit separater kleiner Brauchwasser-Wärmepumpe möglich)
- Kühlbedarfsschätzung (+30°C) ca. 40%
des Wärmebedarfs = 4.5 kW

Richtwerte "Wärmepumpe"

(Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150 m², Bruttogeschossfläche 179 m², Bauvolumen ca. 1000 m³)

- Heizleistung $N_{\text{erf}} \approx 10 - 11 \text{ kW} = N_{\text{el}} + N_{\text{th}}$
- Leistungsaufnahme $N_{\text{el}} = 3.8 - 4.2 \text{ kW}$
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 ca. 73% in Niedertarifzeiten, 27% im Hochtarif
- Aussentemperaturführung (Fühler Nordseite)
- Innentemperaturregelung mit Mischventil
- Wochenschaltuhr
- Höchste Vorlauftemperatur 33°C
bei -18°C Aussentemperatur
- Auslegungsgrenze -20°C gem. gemessener Heizkurve
- Anteil der Umwälzpumpen an den Stromkosten ca. 16%
- Kältemittel R22 (s. Vorschriften, Betriebsbewilligungen, Ozonschädlichkeit) (in Neuanlagen noch zul. bis 31.12.99, in Altanlagen vermutlich zul. bis ca. 2005)
- kein Service- und Wartungsvertrag
- kleinere Reparaturen in den 10 Jahren auf Kulanz

Richtwerte "Erdsonde"

(Beispiel: freistehendes Einfamilienhaus, beheizte Wohnfläche 150 m²,
Bruttogeschossfläche 179 m², Bauvolumen ca. 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 ca. 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 ca. 50 W/m (gemessen 53 W/m)
- Umwälzleistung 1690 l/h bei 2x60 m Erdsonde
- Umwälzpumpe Erdsonde 260 W
- Füllmenge ges. 196 Liter Wasser/Glykolgemisch
- Geliertemperatur ca. -14°C bei einem Anteil von 26% Monoethylenglykol $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, Antifrogen N, Giftklasse 4, s. Hoechst Wärmeträgerflüssigkeiten)
- Betriebsüberdruck 2 bar
- Sondenlänge $L_{\text{ges}}(\text{m}) \approx 2/3 N_{\text{erf}}(\text{W})/50$
- Bohrtiefe $< 100 \text{ m}$ (3x80 m besser als 2x120 m)
(bezgl. Risiko, Parallelschaltung, Strömungswiderstand)
- Erdsonden-Ruhetemperatur ca. 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