

Zeitschrift für regenerative Energiequellen und Energieeinsparung

# SONNEN ENERGIE

Heft 5 / Oktober 1991

DM 9,—



# Wärme aus der Erde

## Monovalente Heizung mit Erdsonden

von Klaus F. Stärk

Wenn man den Bau eines Einfamilienhauses in Angriff nimmt, ist es normal, daß der Architekt versucht, den in der Regel enggesteckten Kostenrahmen einzuhalten, und nicht von sich aus Sonderausführungen z.B. im Bereich Heizung vorschlägt. Es ist ebenso normal, daß sich der Architekt auf den Gebieten der alternativen Heizkonzepte nicht auskennt. Weiter ist es normal, daß der Bauherr die Preisentwicklung der verschiedenen Energieträger nicht vorhersagen kann.

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

Im speziellen Fall eines Hausbaus in der Schweiz schieben von vornherein wegen (noch) nicht vorhandener Anschlußmöglichkeiten die Fern- und Gasheizung aus. Für eine reine Elektroheizung gibt es aufgrund der hohen Anschlußleistung in den meisten Wohnquartieren keine Bewilligung mehr. Nach langen Recherchen fiel die Entscheidung zwischen Ölheizung und Alternativsystem auf die monovalente Wärmepumpenheizung mit Erdsonden.

Das Grundstück liegt an einem südwestorientierten Hang. Für ein Erdregister war nicht genügend Grundstücksfläche vorhanden. Erdsonden (oberflächennahe Geothermie) haben den Vorteil, daß man das Energiepotential dann anzapfen kann, wenn es kalt (bzw. sehr kalt) ist. Vergünstigungen bei dem Einsatz von alternativen Heizsystemen (Zuschüsse bzw. Steuervorteile) gibt es im Kanton Aargau nicht.

### Das Haus

Mitentscheidend für eine ausreichende Wärmeversorgung ist zunächst die mit vernünftigen Mitteln erreichbare Ausschöpfung des Sparpotentials durch Isolationsmaßnahmen.

Die Außenmauern wurden einschalig mit 18 cm starken Backsteinen MBNV und einer Außenisolation mit 100 mm Vollwärmeschutz erstellt

(Fassadendämmplatten PS 15 SE aufgeklebt mit Beton-PC-Spachtel; Glasfasergewebe-Armierungsputz und Kunstharzputz/Vollabrieb). Auch mit der vorgeschlagenen Isolationsdicke von 80 mm wären die Anforderungen gemäß SIA-Empfehlung V380/1 (1985) leicht zu erfüllen gewesen, wie die späteren Messungen zeigten. Auf dem ganzen Hausumfang wurde die Isolation bis zur Bodenplatte heruntergezogen. Auf der Hangseite wurden vor dem Zudecken mit Wandkies und Erdreich noch ca. 60 mm dicke gewellte Sickerplatten aus Polystyrol-Schaumstoff aufgebracht.

Material	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)	spez. Wärme (kJ/kgK)
Quarz	7,0-9,9	0,80
Dolomit, trocken/feucht	2,9-3,9	-
Schiefer	3,0	-
Granit/Aare-Granit	2,9/2,8	0,82
Marmor	2,1-3,5	0,81
Eis (kompakt)	2,3-2,9	2,10
Kalkstein	2,2-2,8	0,91
Gneisse (südl. Aaremassiv)	2,4-2,8	-
Sandstein (feucht)	2,4-3,3	-
Sandstein (trocken)	1,4-2,3	0,71
Ton, trocken/feucht	1,2/1,5	-
obere Süswassermolasse (AG)	1,4-1,6	0,71
Beton	0,8-1,4	0,88
Moräne (Lehm/Kies/Sand) (AG)	0,8-2,0	-
Tonboden, trocken/feucht	1,2/1,5	0,88
Sandboden, trocken/feucht	0,5/1,5	-
Böden (Humus), feucht	0,9-1,8	-
Böden (trocken oder kiesig)	0,2-0,8	1,84
Torf, trocken/feucht	0,2/0,6	-
Sand, trocken/feucht	0,5/1,5	0,80
Kies, trocken/feucht	0,4/2,3	-
Wasser	0,6	4,19
Bentonit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O)	0,4-1,1	-

Abb. 1: Untergrund-Eigenschaften von Gesteinen und Böden

Alle Fenster wurden in Dreifachverglasung (ISOLAR, 3 x 4 mm, 2 x 9 mm Abstand, K = 2,15 W/m<sup>2</sup>K, Schalldämmwert 0,31, Holzrahmen) ausgeführt. Die Decke zum Dachraum (Speicher) ist eine Holzbalkenkonstruktion, mit 20 mm Täferbrettern, Dampfsperre, 2 x 50 mm Styroporisolation und 19 mm Nut und Feder-Spanplatten, wodurch die relativ große Dachfläche nicht isoliert werden mußte.

Der im Wohnzimmer (ohne Trennwand) integrierte Wintergarten hat ebenfalls Dreischeibenisolierverglasung mit Be- und Entlüftungsmöglichkeit ins Dachgeschoß sowie Lamellenstoren zur Beschattung. Die Böden im Untergeschoß wurden mit Feuchtigkeitsisolation und 20 mm Korkplatten als Unterlage aufgebaut. Die sehr unterschiedlich dicht verlegten Heizungsrohre aus VPE (insgesamt ca. 1200 m, im Durchschnitt etwa 8 m/m<sup>2</sup>) wurden auf einer 40 mm dicken Styroporunterlage an einem 70 mm starken schwimmenden Zementunterlagsboden eingegossen.

### Die Erdsonden

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

Die Tiefe der Erdsonde wurde gegenüber der Rechnung zur Sicherheit um 20 % erhöht.

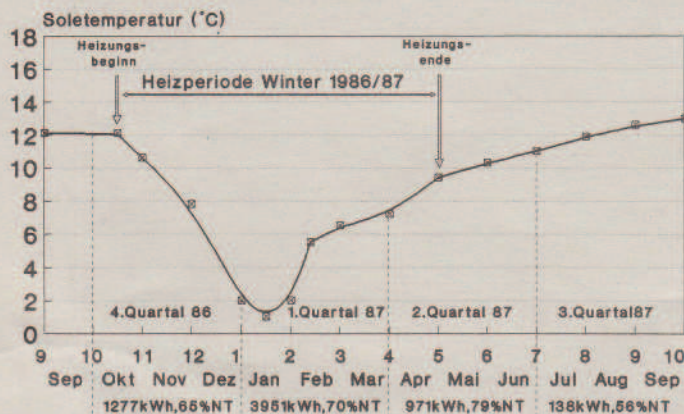


Abb. 2: Soletemperatur (kalter Winter 86/87)

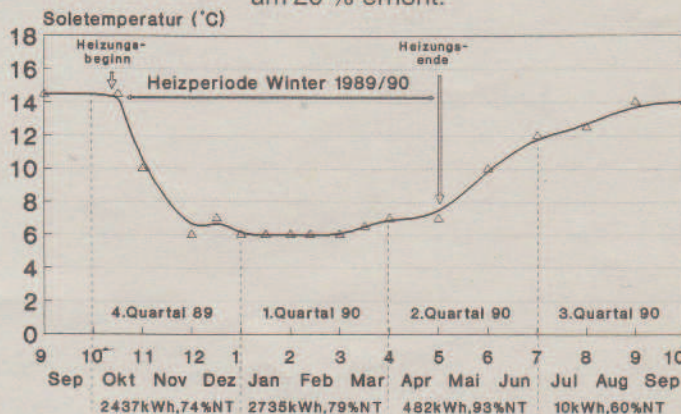


Abb. 3: Soletemperatur (warmer Winter 89/90)

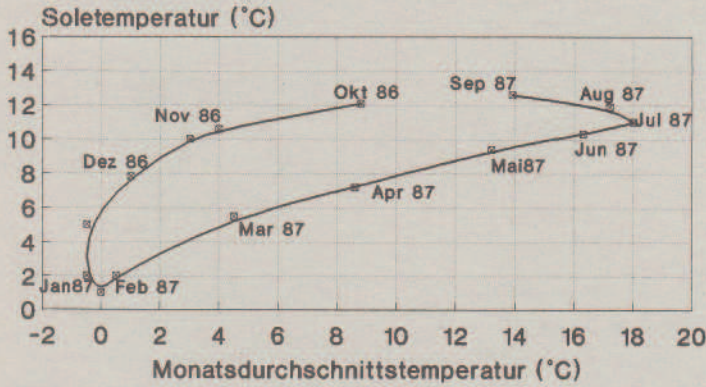


Abb. 4: Sole-/Außentemperatur (86/87 - kalt)

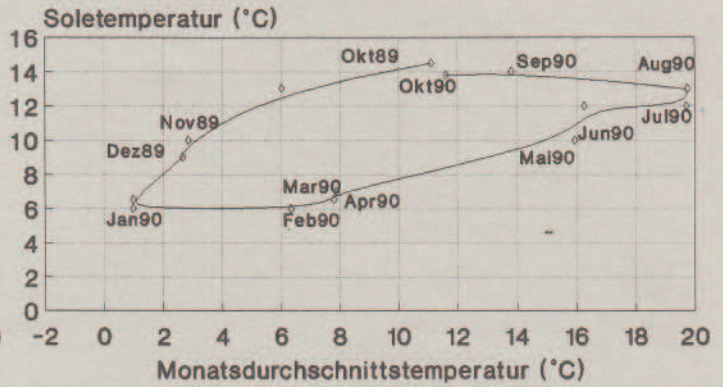


Abb. 5: Sole-/Außentemperatur (89/90 - warm)

Die gesamte Rohrlänge beträgt ca. 600 m, das Flüssigkeitsvolumen aus Wasser mit 25 % Athylenglykol (Giftklasse 4, leicht abbaubar) als Frostschutzmittel bis ca.  $-6^{\circ}\text{C}$  errechnet sich zu etwa 200 l. Der nach Messungen als Wärmereservoir nutzbare Untergrund im Umkreis von etwa 3 m um die Erdsonde ergibt einen ca.  $1700\text{ m}^3$  großen „kostenlosen“ Ganzjahresspeicher pro Sonde. Abb. 1 zeigt eine Zusammenstellung der Eigenschaften verschiedener Gesteine und Böden. Glücklicherweise ergeben Rechnungen und Messungen, daß fast jeder Untergrund sich bei entsprechender Auslegung für Erdsonden eignet.

### Die Heizung

Der nach SIA 380 notwendige Wärmebedarf des Hauses für  $-11^{\circ}\text{C}$  von etwa 10 kW war mit einer Wärmepumpe von 4 kW Antriebsleistung zu erbringen (Anschlußbewilligung kein Problem). 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 billigen 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 (1500 l) wird über die Außentemperatur vorgegeben. Die Raumtemperatur im Untergeschoß regelt das Mischventil zur Fußbodenheizung. Ein zusätzlicher Temperaturfühler schließt bei ca.  $22^{\circ}\text{C}$  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 am Stromverbrauch der Umwälzpumpen bereits beträchtlich sein kann (ca. 15 – 20 %).

### Messungen

Über vier Heizperioden wurden bisher Aufzeichnungen und Messungen gemacht. Abb. 2 zeigt die Änderung der Soletemperatur für einen ungewöhnlich kalten und Abb. 3 für einen relativ warmen (gleichmäßig kühlen) Winter. Jede Kurve spiegelt genau Wetter und Temperaturen wider. Die Feuerprobe hat die Heizung im Januar/Februar '87 mit zweimal zwei Wochen bei Temperaturen unter  $-15^{\circ}\text{C}$  bestanden.

Ebenso wird deutlich, daß die Zeit bis zum Beginn der nächsten Heizperiode ausreicht, um durch Wärmeleitung (und evtl. Grundwasserströmung) die Temperatur wieder auf den

Ausgangswert vor dem Winter ansteigen zu lassen.

Trägt man die Soletemperatur über der mittleren Monatsaußentemperatur auf, erhält man als Beispiel Abb. 4 und 5. Eine Schleife nach links unten macht einen kalten Winter, eine hochliegende flache Schleife einen langen vergleichsweise warmen Winter deutlich. 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  $14^{\circ}\text{C}$  (Abb. 6). Eine große Wärmesenke um die Erdsonde durch großen Wärmeentzug führt zu einem großen Temperaturgradienten und damit zu größerem Wärmefluß in Sondenrichtung, d.h. daß der „Ganzjahresspeicher Untergrund“ funktioniert.

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

### Kosten

Die Kosten einer Heizung werden vor allem von den Investitionen und den Energiepreisen beeinflusst. Wie man aus Abb. 8 gut erkennt, wurde das Haus bei einem hohen Heizölpreinsniveau geplant und gebaut. Der Zusammenbruch der Ölpreise in 1986 verlängerte die gerechnete Amortisationsdauer von ca. 6 auf etwa 15 Jahre.

Aus den Bildern 2 und 3 sind auch der quartalsweise Verbrauch und der Anteil am billigeren Niedertarif abzu lesen. 70 bis 75 % Niedertarifzeitnutzung ist normal.

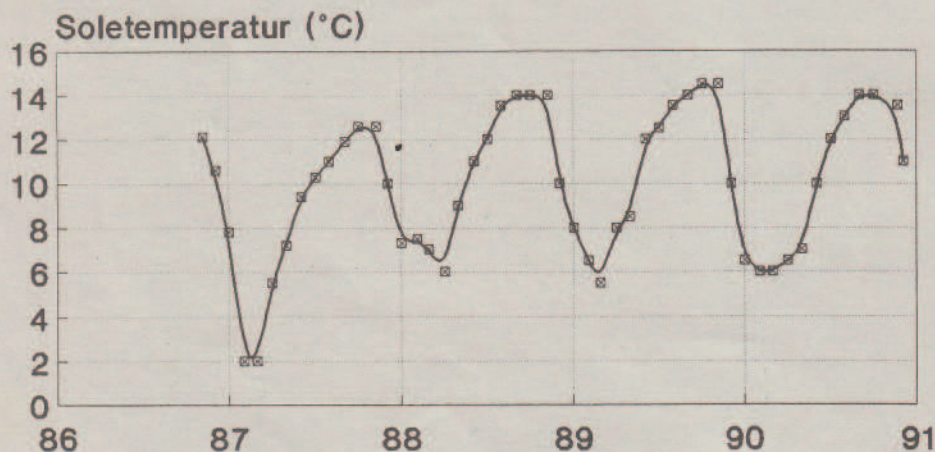


Abb. 6: Regeneration Erdsonde - Temperaturverlauf 1986 - 1990

Eine Nachtabsenkung in der Niedertarifzeit ist bei einem gut isolierten Haus mit trägem Heizsystem nicht sinnvoll.

In Abb. 9 sind Verbrauch und Energiekosten für die letzten vier Jahre dargestellt (Nebenkosten entstanden praktisch keine!). In den letzten drei Wintern war der Stromverbrauch fast konstant mit leicht fallenden Kosten durch bessere Ausnutzung der Niedertarifzeiten.

Bei einer mittleren Anzahl von 200 Heiztagen betrug der Verbrauch 6084 kWh bzw. 21 886 MJ pro Jahr oder 125 MJ/m<sup>2</sup> und Jahr.

In Abb. 10 wurde aus Offertunterlagen ein Kostenvergleich für verschiedene Heizsysteme versucht. Die In-

vestitionskosten für Erdsondenanlagen sind am höchsten, wobei die den heutigen Erkenntnissen entsprechende zweite Variante ohne Speicher und mit reduzierten Bohrkosten sich nicht mehr beträchtlich von Öl- und Elektrospeicherheizung unterscheidet. 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 am besten ab. In der Schweiz gibt es inzwischen ca. 2000 mit Erdsonden beheizte Häuser und einige spezialisierte Baufirmen, die die Bohrungen unabhängig vom Untergrund zu Festpreisen durchführen und die Installationen aus einer Hand anbieten.

### Folgerungen

Notwendige Voraussetzungen für eine Erdsondenanlage ist die Bohrbewilligung durch das Gewässer-schutzamt und eine auf Vorlauftemperaturen deutlich unter 50°C ausgelegte Heizung.

Eine gute Hausisolierung, ein geeigneter Untergrund, passive Sonnenenergienutzung, Niedertarifzeiten, Verzicht auf einen Speicher, separate Warmwassererzeugung und die konsequente Konzipierung als monovalente Heizung ergeben eine ökologisch sinnvolle, wirtschaftlich vertretbare und umweltverträgliche Anlage.

Der Beitrag wurde als Vortrag auf der Bau-Fachtagung 118 des Instituts für das Bauen mit Kunststoffen (IBK) am 14./15. 11. 90 in Darmstadt gehalten.

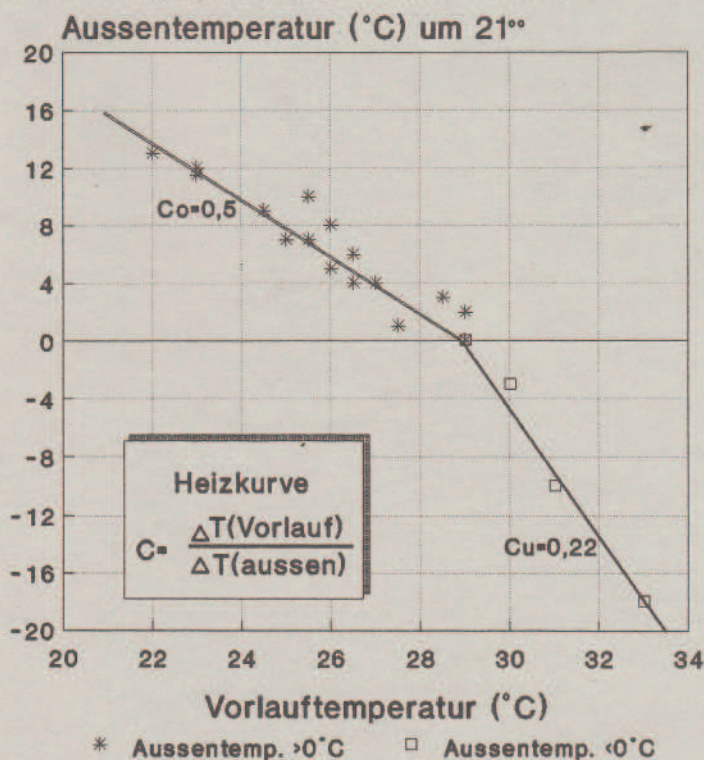


Abb. 7: notwendige Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung

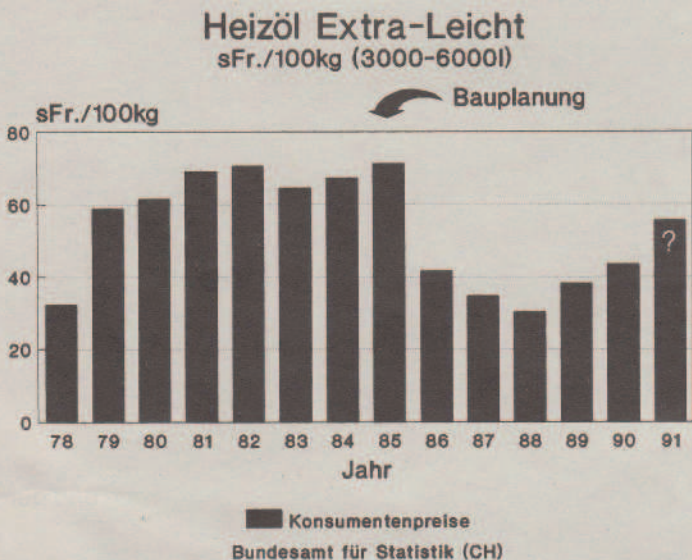


Abb. 8: Entwicklung der Heizölpreise

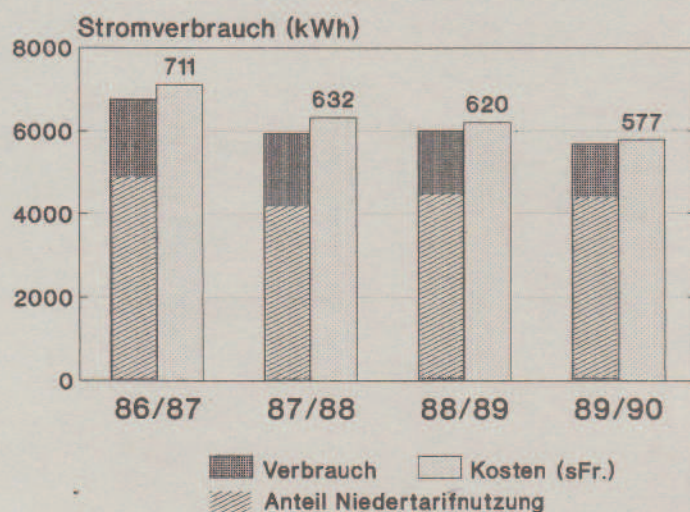


Abb. 9: Verbrauch und Kosten 1986 - 1990

**Kostenvergleich (sFr.)**  
Heizungsvarianten

	Öl 14kW	Elektro 16kW	Wärmepumpe mit Speicher	11kW <sub>th</sub> ohne Speicher
<b>INVESTITIONEN</b>				
Kessel, Brenner, Tank, Türe, etc.	8100	-	-	-
Kamin, Bewillig.	2600	-	843	843
Wärmepumpe, Geb.	-	4000	8000	8000
Erdsonde 2x60m	-	-	13588(1)	11800(2)
Speicher	-	12000	5680	-
Fußbodenheizg.	8720	8720	8720	8720
Tankraum (3)	3600	1800	900	-
<b>Summe</b>	<b>27020</b>	<b>26520</b>	<b>37731</b>	<b>29363</b>
<b>BETRIEBSKOSTEN</b>				
Öl, Strom incl. Umwälzpumpen	933(4)	1700(5)	700(6)	750(7)
Servicekosten (Brenner, Ka- min, Pumpen)	400	-	100	100
<b>Summe</b>	<b>1333</b>	<b>1700</b>	<b>800</b>	<b>850</b>
<b>KAPITALVERZ.(8)</b>	<b>1756</b>	<b>1724</b>	<b>2452</b>	<b>1908</b>
<b>BRUTTO-JAHRES- KOSTEN</b>	<b>3089</b>	<b>3424</b>	<b>3252</b>	<b>2758</b>
<b>NETTO-Betriebs- kosten (Rp/kWh)</b>	<b>6,1</b>	<b>9,4</b>	<b>4,4</b>	<b>4,7</b>
<b>BRUTTO-Betr.- kosten (Rp/kWh)</b>	<b>17,2</b>	<b>19,0</b>	<b>18,1</b>	<b>15,3</b>

Basis: Jahresenergiebedarf ca. 18000kWh, ca. 1500 Betriebsstunden (ohne Warmwasser, ohne Amortisation)  
(1) ca.100,-/m, (2) ca.90,-/m, (3) 450,-/m<sup>3</sup>  
(4) ca. 0,40/kg,(5) 85%NT+15%HT zu 8 bzw. 15 Rp/kWh  
(6) 70%NT+30%HT,(7) 60%NT+40%HT,(8) 6,5% Hypo-Zins  
NT=Niedertarifzeit, HT=Hochtarifzeit

Abb. 10: Kostenvergleich