



Wolfenbüttel

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Fakultät Versorgungstechnik
Institut für energieoptimierte Systeme, Salzdahlumer Str. 46/48, 38302 Wolfenbüttel

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
Dipl.-Ing. (TU) Anke Unverzagt
M. Eng. Adrian Schünemann

DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft"

Bericht 4: Sole-Wasser Wärmepumpe Hildesheim (Abschlussbericht)

Wolfenbüttel, 31.03.2021



Gefördert unter dem Aktenzeichen
AZ 33780/01 von der:



Salzgitter

Suderburg

Wolfsburg

Der Projektbericht in allen Teilen sowie die digitalen Arbeitshilfen sind digital verfügbar über:

www.delta-q.de

1 Verzeichnisse

1	Verzeichnisse	3
1.1	Abbildungsverzeichnis	4
1.2	Tabellenverzeichnis	4
1.3	Abkürzungsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Grundlagen	6
3.1	Gebäude	6
3.2	Wärmepumpe	6
4	Nutzwärme und Leistungsanforderung	7
4.1	Leistungsanforderung	7
4.2	Temperaturanforderung	8
5	Wärmebereitstellung	9
5.1	Sondenbemessung	9
5.2	Bemessung der Wärmepumpe	9
6	Kostenindikation	10
7	Abschätzung Energieverbrauch Raumheizung	11
8	Wirtschaftlichkeitsabschätzung	12

1.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Blockbebauung 4 MFH BJ ca. 1930	5
Abbildung 2 Gebäudemodell Steuerwalder Straße 116 - Heizlastberechnung	7
Abbildung 3 Steuerwalder Straße 116 - EG - Heizlast	8
Abbildung 4 mögliche Sondenanordnung - 17 Erdwärmesonden	9
Abbildung 8 Abschätzung Energieverbrauch - Jahresdauerlinie	11

1.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis	4
Tabelle 4 Kostenindikation	10
Tabelle 5 Wirtschaftlichkeitsabschätzung - Annahmen	12

1.3 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
BHKW	Blockheizkraftwerk
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
dena	Deutsche Energie-Agentur
DWD	Deutscher Wetterdienst
EAV	Energieanalyse aus dem Verbrauch
EnEV	Energieeinsparverordnung
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GEG	Gebäudeenergiegesetz
H	Heizsteigung/Wärmeverlustkoeffizient, in [W/K]
H _i	Heizwert: bei der Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, in [kWh/m ³] [kWh/l]
H _s	Brennwert: Heizwert zuzüglich Kondensationswärme, in [kWh/m ³] [kWh/l]
h	Auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizsteigung/Wärmeverlustkoeffizient, in [W/(m ² K)]
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket
WSchVO	Wärmeschutzverordnung
WMZ	Wärmemengenzähler

Tabelle 1 Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis

2 Einleitung

Im Rahmen von Überlegungen hinsichtlich der zukünftigen Versorgung von Bestandsliegenschaften mit Wärme, soll für vier Mehrfamilienhäuser (Blockbebauung, Baujahr 1930, siehe Abbildung 1) in Hildesheim untersucht werden, inwiefern eine Wärmeversorgung mittels einer Wärmepumpe realisiert werden kann.



Abbildung 1 Blockbebauung 4 MFH BJ ca. 1930

3 Grundlagen

3.1 Gebäude

Bei der betrachteten Liegenschaft handelt es sich um vier Mehrfamilienwohngebäude mit jeweils 10 Wohneinheiten. Die Raumwärmeversorgung erfolgt zentral mittels eines Gasheizkessels in einem Contractingmodell. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt dezentral elektrisch innerhalb der jeweiligen Wohneinheit.

Im Rahmen einer Fassadenertüchtigung ist eine Verbesserung des Wärmeschutzniveaus geplant. Die Beurteilung der Einsatzfähigkeit einer Wärmepumpenlösung erfolgt unter der Berücksichtigung einer Hüllqualität, welche einem Neubau gemäß gültiger Energieeinsparverordnung entspricht.

3.2 Wärmepumpe

Wärmepumpen dienen der Nutzbarmachung von Umweltwärme. Dazu wird die auf einem niedrigen Temperaturniveau verfügbare Umweltwärme durch Einsatz von mechanischer Arbeit auf ein nutzbares Temperaturniveau gebracht. Dabei ist die Effizienz der Wärmepumpe sowohl vom erforderlichen Temperaturhub als auch von der absoluten Höhe der Temperaturniveaus abhängig. Der theoretische Zusammenhang ist auf Basis des Carnotprozesses in Formel 3-1 dargestellt (T_H – Verflüssigungstemperatur / Nutzen, T_N – Verdampfungstemperatur, ζ – Gütegrad).

$$\varepsilon_{WP} = \zeta \cdot \frac{T_H - T_N}{T_H} \quad 3-1$$

Je niedriger die erforderliche Verflüssigungstemperatur / Temperatur des Heizsystems sowie desto höher die Quelltemperatur, desto höher ist der Wirkungsgrad der Wärmepumpe. Um einen hohen Wirkungs- / Nutzungsgrad der Wärmepumpenanlage zu erreichen, sind somit hohe Quelltemperaturen bei niedrigen Nutzungstemperaturen vorteilhaft.

Grundsätzlich lassen sich Wärmepumpenanlagen nach der Art der Wärmequelle in folgende Gruppen einteilen: Luft / Wasser-Wärmepumpe, Wasser / Wasser-Wärmepumpe und Sole / Wasser-Wärmepumpe.

Aufgrund der baulichen Situation in Verbindung mit einer gewissen Schallsensibilität liegt der Fokus auf einer Sole / Wasser-Wärmepumpe. Der vorgesehene monovalenten / monoenergetischen Betrieb verstärkt die Entscheidung gegen eine Luft-Wasser-Wärmepumpe. Der Nachteil der Luft-Wasser-Wärmepumpe liegt hier in einer erhöhten Außentemperaturabhängigkeit:

- a) je niedriger die Außentemperatur, desto größer die benötigte Heizleistung,
- b) je niedriger die Außentemperatur, desto höher die benötigte Vorlauftemperatur, hierdurch sich verringere Arbeitszahl,
- c) je niedriger die Außentemperatur, desto geringer die Quelltemperatur, hierdurch sich verringere Arbeitszahl,
- d) je niedriger die Außentemperatur (Quelltemperatur) desto geringer die abgegebene Wärmeleistung.

Dabei führen die Punkte a) und d) potentiell zu einer – im wesentlichen Betriebsschwerpunkt – Überdimensionierung. Durch die weitestgehende Unabhängigkeit der Quell- zur Außentemperatur beim Einsatz einer Sole-Wasser-Wärmepumpe kann dieser Nachteil z.T. deutlich reduziert werden.

Im Folgenden wird die Konzeptbildung einer Beheizung mittels Wärmepumpe im Mehrfamilienhausbestand dargelegt.

4 Nutzwärme und Leistungsanforderung

Inwiefern der Einsatz einer Sole / Wasser-Wärmepumpe in der untersuchten Liegenschaft möglich ist, ist abhängig von der benötigten Nutzwärme (Langzeiteffekte, Wirtschaftlichkeit, etc.), dem benötigten Temperaturniveau sowie der benötigten Systemleistung.

Begünstigt wird die Umsetzung einer Wärmepumpenlösung im betrachteten Fall durch die bereits bestehende dezentrale Trinkwarmwasserbereitung. Hierdurch bestehen im Bereich des erforderlichen Temperaturniveaus hohe Freiheitsgrade, sodass über weite Teile des Jahres nur geringe Vorlauftemperaturen erforderlich sind.

4.1 Leistungsanforderung

Da die Trinkwarmwasserbereitung in der betrachteten Liegenschaft dezentral mittels elektrisch versorgter Durchlaufwasserheizer erfolgt, ist lediglich die zur Gebäudebeheizung erforderliche Leistung (Gebäudeheizlast) zu berücksichtigen. Hierzu erfolgte die Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast gemäß DIN EN 12831. Dabei wurden Bauteilqualitäten entsprechend einem Neubau gemäß EnEV 2013 berücksichtigt.



Abbildung 2 Gebäudemodell Steuerwalder Straße 116 - Heizlastberechnung

Die gesamte Gebäudeheizlast konnte zu ca. 58 kW berechnet werden. Im Folgenden wird von einer Gebäudeheizlast in Höhe von 60 kW ausgegangen.

Im Rahmen eines Vergleichs zum Bestand wird die reale Heizlast auf Basis des Energieverbrauchs ermittelt. Seitens der gbg wurde für die Liegenschaft ein Jahresverbrauch für 2018 in Höhe von 156 606 kWh angegeben. Bei einer angenommenen Heizgrenztemperatur von 15 °C und einer Innentemperatur von 20 °C würde sich unter Verwendung der Heizgradtage in Höhe von 2025 Kd eine (reale) Heizlast des Bestands von circa 93 kW abschätzen lassen. Eine genauere Bestimmung ist mittels der Energieanalyse aus dem Verbrauch möglich – hierfür sind jedoch Verbrauchsdaten in monatlichen Intervallen für einen Zeitraum von mindestens einem Jahr notwendig.

Grundsätzlich ist die deutliche Verringerung der erforderlichen Heizleistung durch die vorgesehenen Maßnahmen der energetischen Hüllsanierung zu erkennen.

4.2 Temperaturanforderung

Für den Betrieb einer Wärmepumpe sind niedrige Vorlauftemperaturen vorteilhaft. Entsprechend erfolgt im ersten Schritt eine überschlägige Bewertung, welches Temperaturniveau im Bereich der Raumheizung erforderlich ist. Im Rahmen einer Bestandsaufnahme konnte eine Leerwohnung in einem Nachbarhaus besichtigt werden. Hier wurden schwerpunktartig Profilheizkörper der Abmessungen 1200 x 500 Typ 22 (L x H) angetroffen.

Ausgenommen die Dachgeschosswohnungen liegt die Raumheizlast innerhalb der Wohnungen unter 650 W / Raum. Im Folgenden wird von einer Raumheizlast in Höhe von 650 W und einem Heizkörper 1200 x 500 Typ 22 ausgegangen. Der entsprechende Heizkörper verfügt über eine Normwärmeleistung (75 °C / 65 °C / 20 °C) von 1 729 W.¹

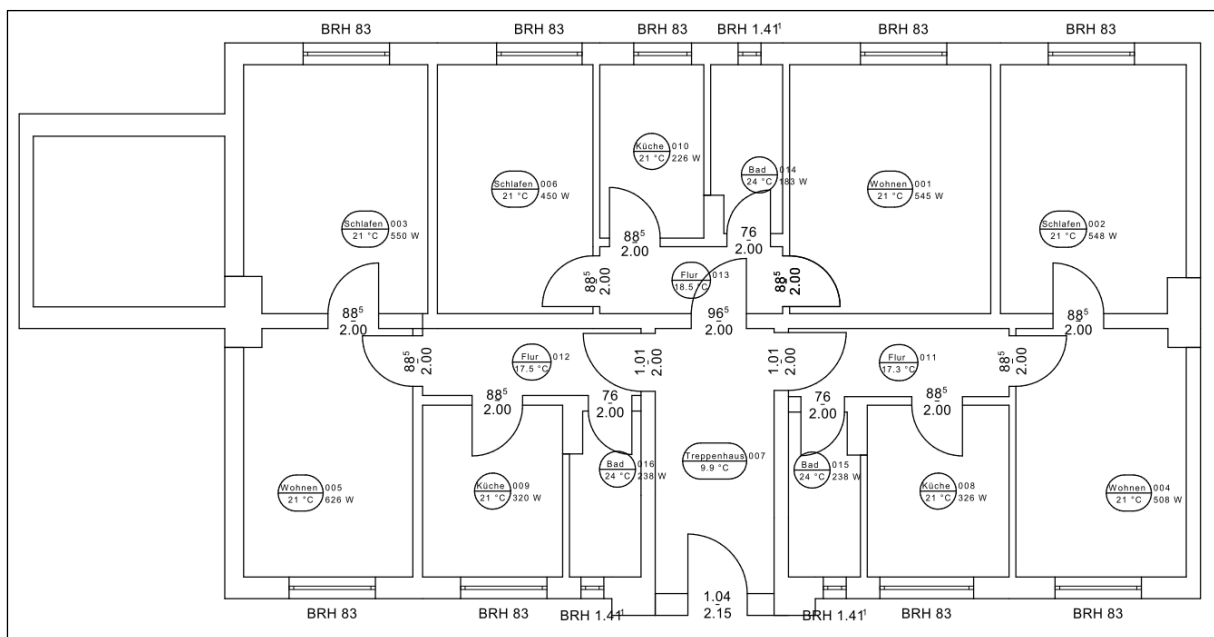


Abbildung 3 Steuerwalder Straße 116 - EG - Heizlast

Bei einer neuen Temperaturpaarung von 50 °C Vorlauftemperatur und 40 °C Rücklauftemperatur würde der Heizkörper eine Leistung von 656 W abgeben. Da im Vergleich zum Bestand nach der Sanierungsmaßnahme raumweise geringere Heizleistungen notwendig sind, kann bei Beibehaltung des Rohrnetzes die ehemalige Auslegungsspreizung von 15 K auf ca. 10 K nach der Sanierungsmaßnahme verringert werden. Für die weitere Bewertung kann daher eine notwendige Vorlauftemperatur am Auslegungspunkt in Höhe von 50 °C angesetzt werden.

¹ Fabrikat Kermi, Typ x2 Profil

5 Wärmebereitstellung

Im Folgenden wird die Wärmebereitstellung mittels einer Sole / Wasser-Wärmepumpe für eine Auslegungsleistung von circa 60 kW bei einer Auslegungsvorlauftemperatur von 50 °C untersucht.

5.1 Sondenbemessung

Die erforderliche Entzugsleistung aus der Erde ergibt sich gemäß Formel 5-1. Je höher die Leistungszahl der Wärmepumpe, desto höher ist die erforderliche Quellen-Entzugsleistung. Die Leistungszahl wird hierfür mit 4,0 angenommen.

$$\dot{Q}_{Quelle} = \frac{(\varepsilon_{WP}-1)\dot{Q}_{Nutzen}}{\varepsilon_{WP}} = \frac{(4,0-1)60 \text{ kW}}{4} = 45 \text{ kW} \quad 5-1$$

Für die weitere Bewertung wird eine notwendige Entzugsleistung in Höhe von 45 kW angenommen. Die Anzahl der Sonden respektive die erforderliche Sondenlänge ist abhängig von der spezifischen Entzugsleistung. Für die spezifische Entzugsleistung wird vorerst ein Wert von ca. 30 W/m² angesetzt. Dabei ergibt sich entsprechend eine erforderliche Sondenlänge von 1 500 m.

Entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik sollte der Sondenabstand zur Grundstücksgrenze mindestens 5 m betragen. Der Abstand der Sonden untereinander sollte mindestens 6 m betragen. Eine mögliche Anordnung ist Abbildung 4 dargestellt.

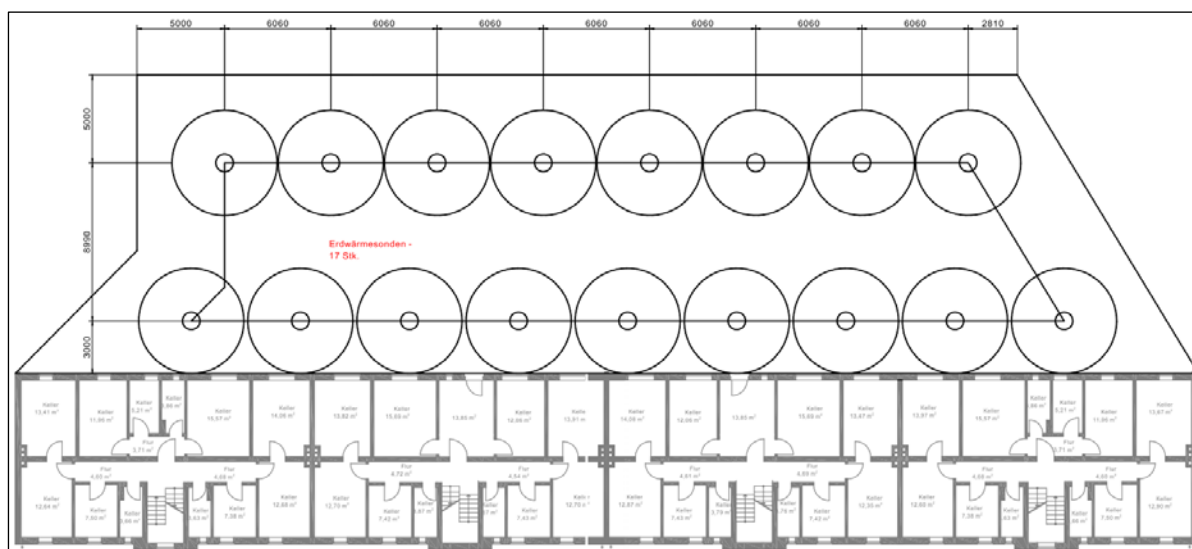


Abbildung 4 mögliche Sondenanordnung - 17 Erdwärmesonden

Bei einer möglichen Sondenanzahl von 17 Sonden, ist eine jeweilige Sondenlänge von ca. 90 m erforderlich. Alternativ wären bei einer Sondenlänge von 100 m 15 Sonden nötig. Bei einer Sondenlänge von 150 m wären 10 Sonden erforderlich.

5.2 Bemessung der Wärmepumpe

Die Auslegung der Sole / Wasser-Wärmepumpe erfolgt für eine Leistung von 60 kW bei einer Vorlauftemperatur von 50 °C und einer Soltemperatur von 5 °C. Vorerst wird eine Wärmepumpenkombination von zweimal 33,0 kW bei B0.W50 ausgewählt.

² zwischenzeitlich bestätigt durch einen Geothermal Response Test (150m)

6 Kostenindikation

Zur weiteren Bewertung wird eine erste Einschätzung der Investitionskosten vorgenommen.

Tabelle 2 Kostenindikation

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Menge	spezifische Kosten	Kosten
1	<i>Wärmeerzeugung</i>			114.000,00 €
1.1	Wärmepumpe Master 33 kW	1 Stk.	22.000,00 €	22.000,00 €
1.2	Wärmepumpe Slave 33 kW	1 Stk.	19.000,00 €	19.000,00 €
1.3	Zubehör Wärmepumpe	1 Psch.	10.000,00 €	10.000,00 €
1.4	Pufferspeicher	2 Stk.	1.500,00 €	3.000,00 €
1.5	Fernleitung	1 Psch.	10.000,00 €	10.000,00 €
1.6	Demontearbeiten	1 Psch.	5.000,00 €	5.000,00 €
1.7	Mess-, Steuer- und Regeltechnik	1 Psch.	20.000,00 €	20.000,00 €
1.8	Anpassung Elektrohausanschluss	1 Psch.	5.000,00 €	5.000,00 €
1.9	Verrohrung und Armaturen	1 Psch.	20.000,00 €	20.000,00 €
2	<i>Anpassung Heizkörper und Rohrnetz</i>			44.370,00 €
2.1	Heizkörper	42 Stk.	500,00 €	21.000,00 €
2.2	Austausch Ventilunterteil und Th.K.	186 Stk.	45,00 €	8.370,00 €
2.3	Anpassungen Rohrnetz	1 Psch.	15.000,00 €	15.000,00 €
3	<i>Sondenanlage</i>			102.312,50 €
3.1	GRT incl. Sonde u. Bohrung	1 Stk.	15.000,00 €	15.000,00 €
3.2	Erdwärmesonde	1500 m	45,00 €	67.500,00 €
3.3	Sammler und Erdleitungen	1 Psch.	15.000,00 €	15.000,00 €
3.4	Wärmeträgerflüssigkeit	3850 l	1,25 €	4.812,50 €
4	<i>Zwischensumme</i>			260.682,50 €
5	für unvorhergesehenes			13.034,13 €
6	<i>Zwischensumme</i>			273.716,63 €
7	Ansatz Planungskosten			55.000,00 €
8	<i>Zwischensumme</i>			328.716,63 €
9	zur Rundung			1.283,38 €
10	Kosten - Netto			330.000,00 €

7 Abschätzung Energieverbrauch Raumheizung

Eine erste Abschätzung des Energieverbrauchs für Raumheizung erfolgt anhand einer statischen Bewertung auf Basis des Testreferenzjahres für Hannover.

Angesetzte Heizlast:	60 kW
Auslegungssinnentemperatur:	20 °C
angesetzte Heizgrenze:	15 °C
Auslegungsaußentemperatur:	-14 °C
resultierende Heizsteigung:	1,76 kW/K
resultierender Energieverbrauch:	ca. 96 MWh
resultierender Energieverbrauch (sepz.):	ca. 55 kWh/(m ² a)

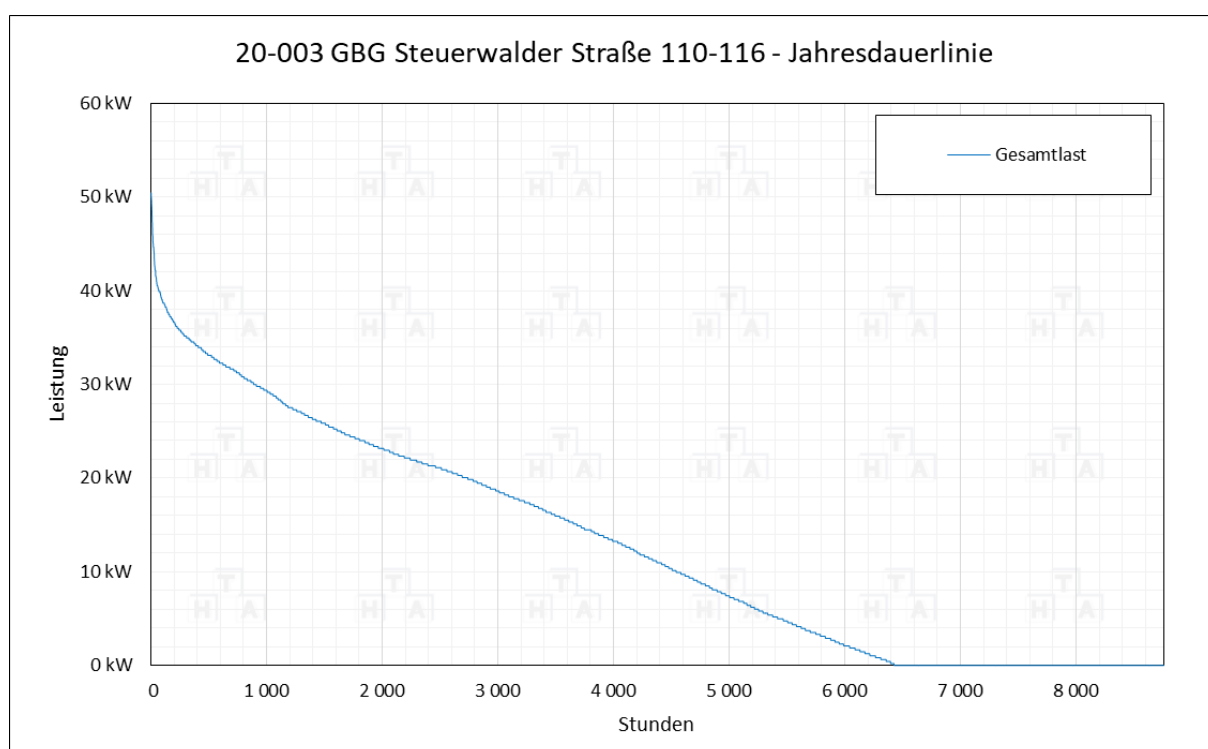


Abbildung 5 Abschätzung Energieverbrauch - Jahresdauerlinie

Für die weitere Bewertung wird ein Raumwärmebedarf von 96 MWh p.a. zugrunde gelegt.

8 Wirtschaftlichkeitsabschätzung

Für eine erste Einschätzung der Wirtschaftlichkeit wird eine vereinfachte Wirtschaftlichkeitsabschätzung durchgeführt. Die die eingesetzten Komponenten betreffenden Annahmen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Wirtschaftlichkeitsabschätzung - Annahmen

Komponente	VDI 2067		Abschätzung		Kosten-indi- kation
	Nutzungs- dauer	Wartung und Instandset- zung	Nutzungs- dauer	Wartung und Instandset- zung	
Wärmepumpe und Zubehör	20 Jahre	2,5 % p.a.	20 Jahre	2,5 % p.a.	114.000,00 €
Anpassung Heizkörper und Rohrnetz	30 Jahre	1,0 % p.a.	30 Jahre	1,0 % p.a.	45.000,00 €
Sondenanlage	50 Jahre	3,0 % p.a.	50 Jahre	1,0 % p.a.	102.000,00 €
Planungskosten	-	-	30 Jahre	-	55.000,00 €
Summe					316.000,00 €

Aus Vereinfachungsgründen, erfolgt kein Ansatz von Preissteigerungen und Kalkulationszinssätzen. Als Fördersumme werden ca. 30 % der angenommenen Kosten angesetzt. Entsprechend lassen sich die Kapitalkosten zu ca. 7.750,00 EUR p.a. und die Wartungs- und Unterhaltskosten zu 3.000,00 EUR p.a. einschätzen.

Die Abschätzung der Energiekosten erfolgt auf Basis des abgeschätzten Jahresenergieverbrauchs in Höhe von 96 MWh Wärme. Die Jahresarbeitszahl wird mit 4,5 angenommen.

$$W_{el,a} = \frac{Q_h}{JAZ} = \frac{96\,000 \text{ kWh p.a.}}{4,5} = 21\,330 \text{ kWh p.a.}$$

Bei einem angenommenen Strompreis von 0,22 €/kWh_{el} (netto) belaufen sich die Jahresenergiekosten auf ca. 4 690,00 € p.a. netto (0,05 € nt/kWh Wärme).

Die Jahresgesamtkosten liegen entsprechend bei ca. 15 500,00 € netto je Jahr, entsprechend einem Wärmepreis von 0,16 € nt. je kWh.