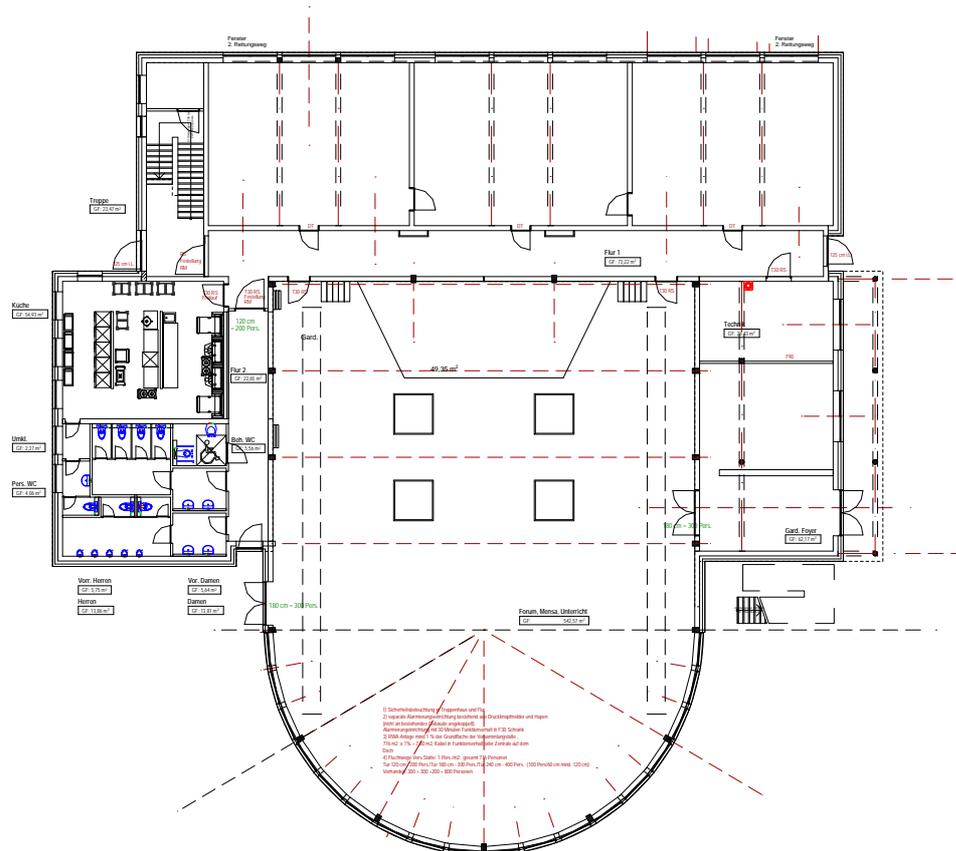


# Erweiterung Gymnasium Eitorf Naturwissenschaftliches Zentrum Einsatz alternativer Wärmeerzeugungsanlagen



## Verfasser:

IBDC Paul TGA-Planung  
Marko Paul  
Zum Gransbach 67  
53783 Eitorf

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Grundlagen der Planung .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Einsatz alternative Wärmeerzeugungsanlagen .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Erdgas-Brennwerttechnik .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Blockheizkraftwerk .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Solarthermie .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Wärmepumpe .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Wirtschaftlichkeit alternativer Heiztechnologien.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Blockheizkraftwerk .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Solarthermie .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3. Erdreich (Sole) – Wasser – Wärmepumpen .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Fazit .....</b>	<b>13</b>
<b>Anlage A1 .....</b>	<b>14</b>
<b>Anlage A2 .....</b>	<b>15</b>
<b>Anlage A3 .....</b>	<b>16</b>
<b>Anlage A4 .....</b>	<b>17</b>
<b>Anlage A5 .....</b>	<b>18</b>
<b>Anlage A6.1 .....</b>	<b>19</b>
<b>Anlage A6.2 .....</b>	<b>20</b>

## 1. Grundlagen der Planung

Der Erweiterungsbau für das Gymnasium Eitorf (Naturwissenschaftliches Zentrum) ist ein zweigeschossiges Gebäude, das unterteilt ist in Fachunterrichtsräume (Chemie und Physik), Forum und zugehörige Nebenräume. Die Beheizung des Gebäudes soll autark vom Gebäudebestand erfolgen. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über Plattenheizkörpern in den Unterrichts- und Nebenräumen und Deckenstrahlungsplatten im Forum. Zusätzlich ist ein Heizregister in der raumluftechnischen Anlage integriert für die Erwärmung der Zuluft.

Auf der Grundlage der Kennwerte für die in der Ausführungsplanung des Architekturbüros Casper geplanten Baustoffe wurde eine Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 durchgeführt. Für die Beheizung des Gebäudes wird eine Gesamtheizleistung von 130 kW benötigt. Davon entfallen 70 kW auf das Heizregister der Lüftungsanlage (dynamische Heizung) und 60 kW auf Plattenheizkörper und Strahlungsheizung (statische Heizung).

## 2. Einsatz alternative Wärmeerzeugungsanlagen

Prinzipiell stehen mehrere alternative Energieträger zur Auswahl, die im Nachfolgenden diskutiert werden sollen.

### 2.1. Erdgas-Brennwerttechnik

Der Energieträger "Erdgas" ist seit Jahrzehnten in der Wärmeversorgung von Gebäuden etabliert. Eine Vielzahl von Herstellern bieten ausgereifte Anlagentechniken für jeden Einsatzbereich an. Die Brennwerttechnik mit dem hohen Wirkungsgrad von >105%, hervorgerufen durch die Nutzung der Kondensationswärme des Abgases, ist Stand der Technik.

### 2.2. Blockheizkraftwerk

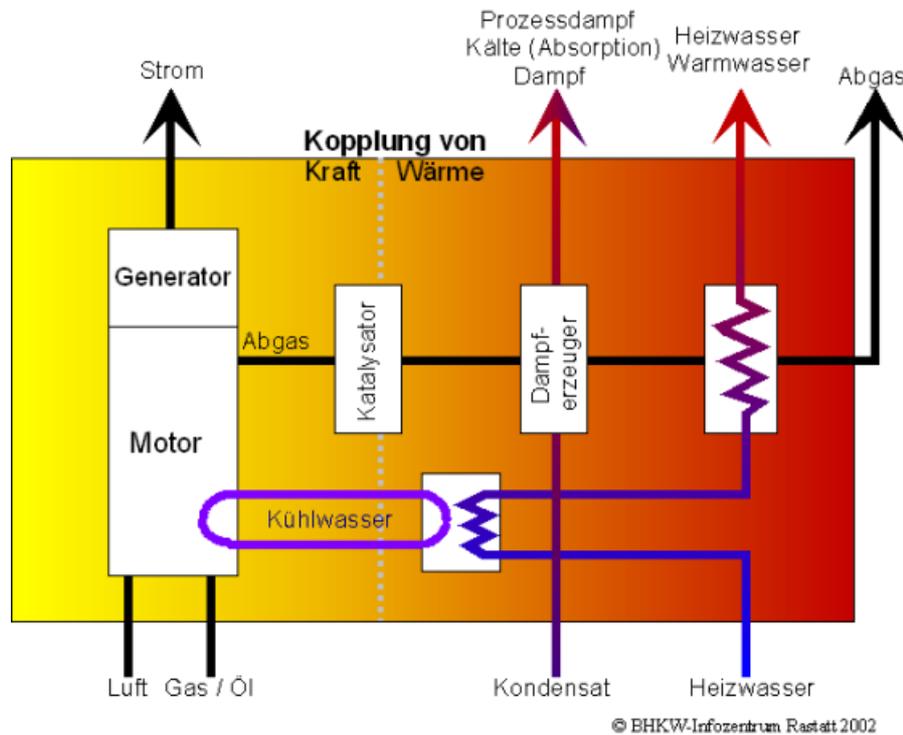
Eine alternative Energietechnik ist die Kraft-Wärme-Kopplung in einem Blockheizkraftwerk. Der große Vorteil dieser Variante ist die Erzeugung von Strom neben der Wärmeerzeugung. Der erzeugte Strom kann selbst genutzt werden oder gegen Vergütung in das örtliche Stromnetz eingespeist werden. Die Abwärme, welche im Motorblock anfällt (Kühlwasser, Öl), wird über einen Wärmetauscher zur Heizwasser- und Brauchwassererwärmung verwendet.

Die Verbrennungskraftmaschinen (Motor, Gasturbine) unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der Art der Abwärme. Während bei Verbrennungsmotoren der größte Teil der Abwärme im Kühlwasser anfällt, wird die Wärme beim Gasturbinenprozess in einem höheren Temperaturbereich durch das Abgas abgegeben. Daraus resultieren u.a. auch die unterschiedlichen Anwendungsfelder dieser beiden Technologien. So werden Gasturbinen insbesondere im Bereich der Industrie zur Bereitstellung von Niedertemperatur-Prozesswärme (bis 500°C) eingesetzt, während die Motorenanlagen vor allem im Bereich der Raumwärmtemperatur-Bereitstellung ihre Anwendung finden.

In den meisten Fällen setzt sich eine BHKW-Anlage aus folgenden Hauptkomponenten zusammen:

- Motor, Gasturbine oder Stirlingmotor als Generatorantrieb / Brennstoffzelle
- Generator zur Stromerzeugung
- Wärmetauschersysteme zur Rückgewinnung der Wärmeenergie aus Abgas, Motorabwärme und Ölkreislauf
- Diverse elektrische Schalt- und Steuereinrichtungen zur Stromverteilung bzw. zum Kraftmaschinenmanagement
- Hydraulische Einrichtungen zur Wärmeverteilung

Insbesondere im Bereich der Raumwärmebereitstellung wird das BHKW-System meistens durch einen Spitzenkessel sowie einen Wärmespeicher ergänzt. (Quelle <http://www.bhkw-infozentrum.de>)



Prinzip einer Kraft-Wärme-Kopplung

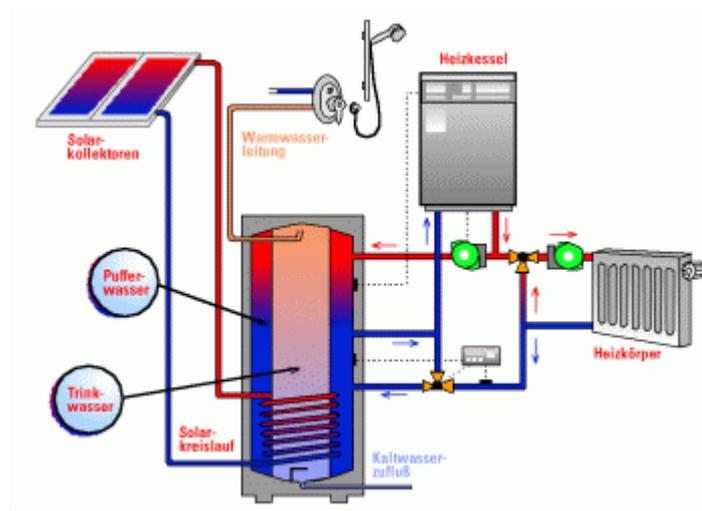
Grundlage für eine wirtschaftliche Nutzung dieser Anlage ist der kontinuierliche Betrieb dieser Technik, d.h. über das ganze Jahr sollte Wärme benötigt werden (Volllaststunden größer 5.000 h/Jahr). Sonst müsste z. B. die Wärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden und der ökologische (und auch ökonomische) Vorteil wäre dahin

Da im Sommer Wärme für die Beheizung von Gebäuden in den wenigsten Fällen benötigt wird, muss Warmwasser erzeugt werden. Warmwasser in größeren Mengen ist hauptsächlich in Sport- oder Schwimmhallen als Duschwasser erforderlich.

Für das Naturwissenschaftliche Zentrum ist derzeit keine zentrale Warmwasserbereitung geplant. Die einzelnen geplanten Warmwasserzapfstellen (Beh.-WC und Küche) werden über dezentral angeordnete Warmwasserboiler versorgt.

### 2.3. Solarthermie

Der Aufbau einer Solaranlage für die Warmwasserbereitung ist aus ökologischer Sicht zu begrüßen, setzt u.E. aber ebenfalls einen wirtschaftlichen Hintergrund voraus. Da gerade in den Sommermonaten mit der höchsten Auslastung der Anlage die Ferienzeit mit der Schließung des Gebäudes, und der Hauptabnehmer „Warmwasserbereitung“ fehlt, ist der Aufbau einer Solaranlage aus ökonomischer Sicht nicht empfehlenswert.



Prinzip einer Solarthermieanlage für Warmwassererzeugung  
und Heizungsunterstützung

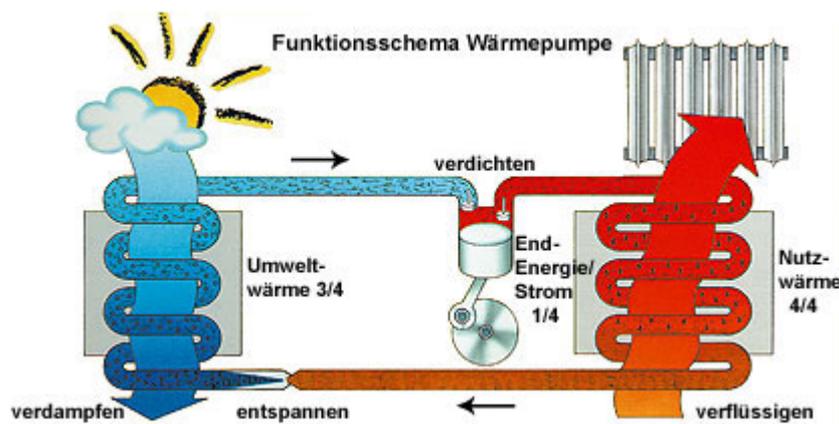
(Quelle <http://www.sunconsult.de/heizungsunterstuetzung.htm>)

Bei einem Solarsystem zur Erwärmung des Trinkwassers/ Heizungsunterstützung wird die Energie des einfallenden Sonnenlichts vom Kollektor über die Leitungen zum Solarspeicher geleitet und dort über den unteren Wärmetauscher abgegeben. Der Solarkreis ist dabei komplett vom Warmwassersystem/ Heizsystem und von der Nachheizung getrennt. Ein Sonnenwärme-System zur Heizungsunterstützung funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie eine Anlage zur Trinkwassererwärmung. Es hat jedoch mehr Kollektorfläche und einen anderen, größeren Speicher.

## 2.4. Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe funktioniert ähnlich einem Kühlschrank. Statt der Kühlleistung des Verdampfers, kommt es hier auf die Wärmeleistung des Kondensators an. Die Wärmepumpe nimmt Umweltenergie (Sonne, Luft, Wasser, Erdwärme) auf und hebt mit Hilfe von Antriebsenergie dessen Temperatur an.

Unter niedrigem Druck nimmt die Flüssigkeit im sog. Verdampfer die Wärme aus der Umgebung auf. Danach wird mit einer Pumpe ein höheres Druck- und Temperaturniveau erzielt. Der Kondensator gibt die Wärme an einen Heizkreislauf ab und kühlt sich hierbei ab. Ein eingebautes Drosselventil senkt den entstandenen Druck, die erhöhte Temperatur fällt ab, das Arbeitsmedium (niedriger Druck) kann dann dem Verdampfer zugeführt werden.



Prinzip einer Wärmepumpe (Quelle <http://www.zentralheizung.de/heiztechnik/waermepumpen>)

Es gibt eine Vielzahl von Wärmepumpenbauarten, z.B. Luft-Wasser-Wärmepumpe und Erdreich-Wasser-Wärmepumpe

### Luft – Wasser – Wärmepumpen

Außenluft steht in unbegrenzter Menge und überall zur Verfügung. Eine Luft-Wärmepumpe ist die preiswerteste Möglichkeit eine Wärmepumpe zu betreiben. Der Wirkungsgrad ist bei niedrigen Außentemperaturen (also wenn der höchste Wärmebedarf notwendig ist) am geringsten, so dass nur ein "Bivalenter Betrieb" dieser Wärmepumpe (d.h. mit zweitem Wärmeerzeuger) möglich ist.

### Erdreich (Sole) – Wasser – Wärmepumpen

Die Wärmequelle Erdreich ist in Form von Erdkollektoren (größere Erdarbeiten notwendig) oder Erdsonden (senkrechte oder schräge Erdbohrungen) nutzbar. Die Bodenbeschaffung, insbesondere der Feuchtegehalt, sowie die Beschattung des Grundstücks (bei Erdkollektoren) sind von Bedeutung. Der hohe Wirkungsgrad (besonders bei Erdsonden) spricht für diese Bauart. Die sehr hohen Investitionskosten sind ein nicht unerheblicher Nachteil.

### 3. **Wirtschaftlichkeit alternativer Heiztechnologien**

Prinzipiell stehen mehrere alternative Energieträger zur Auswahl, die im Nachfolgenden diskutiert werden sollen.

Zur Berechnung der Amortisationszeit der verschiedenen Wärmeerzeugungsanlagen ist die Ermittlung der Vollbenutzungsstunden eine wesentliche Grundlage:

Auf Nachfrage beim Nutzer wurden folgende Angaben zur Ermittlung der Vollbenutzungsstunden geliefert

Schulbetrieb:

ca. 190 Tage/ Jahre; von 7:30 Uhr bis 15.00 Uhr;  
pro Tag 7,5 Stunden x 190 d/a = 1.425 h/a (Vollbenutzungsstunden)

Nutzung Forum:

ca. 20 Veranstaltungen pro Jahr mit je ca. 4 h;  
9 Monate Heizperiode = 15 Veranstaltungen a 4 h = 60 h/a (Vollbenutzungsstunden)

Im *Anlage A1* ist zum Vergleich eine Kennwerttabelle zu Vollbenutzungsstunden in bundesweiten Schulen enthalten.

#### 3.1. **Blockheizkraftwerk**

BHKW-Module werden in der Grundlast dimensioniert. Die Heizleistung eines BHKW beträgt dabei etwa 10 bis 30% der max. Kesselleistung. Dabei deckt das BHKW ca. 40 bis 80% des Jahreswärmebedarfs ab. Die Amortisationszeiten liegen dann für die Heizungs- und Warmwasserversorgung bei bis 7 Jahren.

Auf der Basis der Auslegung des benötigten Heizkessels auf 130 kW ist ein BHKW mit einer Leistung von 13 bis 39 kW für das Naturwissenschaftliche Zentrum vorzusehen.

##### **Investitionskosten BHKW**

- Gesamtinvestitionssumme (brutto): ca. 50.000 EUR

##### **Investitionskosten Gas-Brennwertanlage (Spitzenlastkessel)**

- Gesamtinvestitionssumme (brutto): ca. 15.000 EUR

##### **Fördermittel BHKW**

- ca. 7.300 EUR

#### **Entfall Investitionskosten Gas-Brennwertanlage (konventionelle Anlage)**

- Gesamtinvestitionssumme (brutto): ca. 35.710 EUR

#### **Differenz Investitionskosten**

- $50.000 \text{ EUR} + 15.000 \text{ EUR} - 7.300 \text{ EUR} - 35.710 \text{ EUR} = \text{ca. } 21.990 \text{ EUR}$

Die vereinfachte Berechnung der Amortisation (Anlage A2) ergibt eine Amortisationsdauer von ca. 11 Jahren bei 1.425 h/a.

Im Vergleich dazu verkürzt sich dieser Zeitraum auf 2,50 Jahren bei 5.000 Vollbenutzungsstunden/Jahr wenn die anfallende Abwärme für eine im Gebäude vorhandene zentrale Warmwasserbereitung genutzt werden kann (Anlage A3).

### **3.2. Solarthermie**

Eine Solaranlage wird hauptsächlich für die Warmwasserbereitung verwendet. Die Auslegung einer thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung hat in den meisten Fällen ein Ziel: den Energiebedarf der Trinkwassererwärmung während der Sommermonate Mai bis September zu 100 % über die Solaranlage abzudecken. Der Heizkessel kann während dieser Zeit komplett ausgeschaltet bleiben. In den übrigen Monaten, in denen der Heizkessel ohnehin läuft, muss er die fehlende Wärme liefern. Der Solaranteil übers Jahr beträgt ca. 60 %.

Zur Dimensionierung der Anlage für die Warmwasserbereitung kann der folgende grobe Richtwert dienen (Quelle: Initiative Arbeit und Klimaschutz, Behörde für Umwelt und Gesundheit Hamburg):

#### **Kollektorfläche**

1,5 m<sup>2</sup> Flachkollektorfläche pro Person

1 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektorfläche pro Person

#### **Speichervolumen**

80 - 100 Liter pro Person

Für die Nutzung der Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung sind die Voraussetzungen deshalb so günstig, weil der Warmwasserbedarf über das Jahr relativ konstant ist. Es besteht dadurch eine gute Übereinstimmung zwischen Energiebedarf und solarem Energieangebot. Mit einer richtig dimensionierten Anlage werden jährlich 50 % bis 65 % des Warmwasserbedarfs mit Sonnenenergie gedeckt – im Sommer sind sogar 100 % möglich. Dann kann die konventionelle Heizanlage ganz abgeschaltet werden.

Bei Nutzung einer Solaranlage nur für die Gebäudebeheizung reduziert sich der solare Anteil nur auf die Heizperiode September bis Mai. Der Anteil der Globalstrahlung in der Heizperiode beträgt 303 kWh/a/m<sup>2</sup> (ca. 30%) bei einem jährlichen Gesamtbetrag von 1.030 kWh/a/m<sup>2</sup> (Anlage A4 - Kennwerttabelle Essen; 45°-geneigt; Süd).

Um eine wirkungsvolle solare Nutzung der Solaranlage für die Gebäudebeheizung des Naturwissenschaftlichen Zentrums umzusetzen, wäre eine Kollektorfläche von

260 – 400 qm bei Aufbau eines Wasserspeichervolumens von ca. 13.000 ltr. zu montieren (*Anlage A5*).

#### **Investitionskosten Solarthermie 50qm**

- Gesamtinvestitionssumme (brutto): ca. 49.000 EUR

#### **Fördermittel Solarthermie**

- ca. 5.200 EUR

Die vereinfachte Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage nur für die Heizungsunterstützung (*Anlage A6.1 und A6.2*) mit 50 qm Kollektorfläche ergibt eine Amortisationsdauer von ca. **43 Jahren**.

### **3.3. Erdreich (Sole) – Wasser – Wärmepumpen**

Aufgrund der versiegelten Schulhof- und Parkplatzflächen ist die Ausführung eines Flächenkollektors nicht möglich. Der Wärmeentzug des Bodens führt zum Austrocknen des Bodens, wodurch der Wärmeübergangskoeffizient stark herabgesetzt wird. Die Versiegelung der Bodenoberfläche verhindert eine natürliche Feuchtigkeitszufuhr durch Niederschlag. Damit wird die Leistung der Wärmepumpe mit einem Flächenkollektor stark eingeschränkt.

Alternativ ist die Ausführung einer Wärmepumpe mit Erdsonden möglich. Bei fachgerechter Auslegung der Wärmequelle (Erdwärme-Sonden) erneuert sich diese Energiequelle auf natürliche Art durch den Wärmefluss und das Grundwasser immer wieder.

Zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs der Wärmepumpenanlage sowie unterbrechungsfreier Wärmeversorgung (Sperrzeit EVU - Die Stromzufuhr kann maximal 3 x 2 Stunden innerhalb 24 Stunden unterbrochen werden, ein eventuell vorhandener zweiter Wärmeerzeuger während der Sperrzeit wird eingeschaltet, kann ein Zuschlag zum Wärmebedarf entfallen) wird eine Anlagendimension von 40 kW festgelegt bei einem statischen Heizleistungsbedarf von 60 kW. Die benötigte Heizleistung für das Heizregister der Lüftungsanlage wird bei der Dimensionierung der Wärmepumpe nicht berücksichtigt, da hier von einem nutzerspezifischen Anlagenbetrieb ausgegangen wird. Diese Heizlast ist durch einen konventionellen Heizkessel abzudecken.

Das Verhältnis aus zugeführter elektrischer Leistung zu der nutzbaren Wärmeleistung wird als Leistungszahl bzw. in der Fachliteratur als COP ("Coefficient Of Performance") bezeichnet. Eine Leistungszahl COP von 4 (z.B. Viessmann Sole/Wasser-Wärmepumpe 4,3) bedeutet, dass das Vierfache der eingesetzten Leistung als nutzbare Wärmeleistung zur Verfügung steht.

#### **A.1 – Verbrauchskosten Wärmepumpenanlage 40 kW (statische Heizung)**

- Strompreis für Wärmepumpenbetrieb 12 ct/kWh;
- Jahresarbeitszahl = 3,5 (abhängig vom Volllast- und Teillastbetrieb/ Außentemperaturen)
- $(1.425 \text{ h/a} \times 40 \text{ kW}) = 57.000 \text{ kWh/a} \times 0,12 \text{ EUR/kWh} : \text{Faktor } 3,5 = 1.954 \text{ EUR/a}$

#### **A.2 – Verbrauchskosten Gas-Brennwertanlage 20 kW (statische Heizung)**

- Gaspreis 6 ct/kWh;
- $(1.425 \text{ h/a} \times 20 \text{ kW}) = 28.500 \text{ kWh/a} \times 0,06 \text{ EUR/kWh} = 1.710 \text{ EUR/a}$

#### **A.3 – Verbrauchskosten Wärmepumpenanlage 10 kW (dynamische Heizung)**

- Strompreis für Wärmepumpenbetrieb 12 ct/kWh;
- Jahresarbeitszahl = 3,5 (abhängig vom Volllast- und Teillastbetrieb/ Außentemperaturen)
- $(60 \text{ h/a} \times 10 \text{ kW}) = 600 \text{ kWh/a} \times 0,12 \text{ EUR/kWh} : \text{Faktor } 3,5 = 21 \text{ EUR/a}$

#### **A.4 – Verbrauchskosten Gas-Brennwertanlage 60 kW (dynamische Heizung)**

- Gaspreis 6 ct/kWh;
- $(60 \text{ h/a} \times 60 \text{ kW}) = 3.600 \text{ kWh/a} \times 0,06 \text{ EUR/kWh} = 216 \text{ EUR/a}$

#### **A.5 – Anschaffungskosten Wärmepumpe/ Gas-Brennwert**

- bei 65 W/m Tiefenbohrung ergeben sich bei benötigten 40 kW ca. 615 Bohrmeter
- Kosten ca. 30.750 EUR (netto) bei 50 EUR/m (Durchschnittswert) - je Bohrmeter ca. 50 – 75 EUR/m
- Kosten für Wärmepumpenanlage, Pufferspeicher, größerer Heizflächen, größeres Heizregister ca. 35.000 EUR (netto);
- Gesamtkosten ca. 65.750 EUR (netto) zzgl. Kosten für 90 kW Gas-Brennwertgerät ca. 20.000 EUR (netto)
- die Kosten für z.B. geologisches Bodengutachten, zus. Tiefbauarbeiten ca. 25.000 EUR (netto).
- Gesamtinvestitionssumme (brutto): ca. 131.800 EUR

#### **A.6 – Fördermittel Wärmepumpenanlage (Richtlinie 2008)**

- 10 EUR je qm beheizte Nutzfläche  $(1.543,5 \text{ qm}) < 10\% \text{ Investitionskosten (netto)}$
- $10 \text{ EUR/qm} \times 1.543,5 \text{ qm} = 15.435,00 \text{ EUR}$
- Gesamtinvestitionssumme (netto): ca.  $110.756 \text{ EUR} \times 10\% = 11.076 \text{ EUR}$
- $15.435 \text{ EUR} > 11.076 \text{ EUR} \rightarrow \text{Förderung: } 11.076 \text{ EUR}$

**B.1 – Verbrauchskosten Gas-Brennwertanlage 60 kW (statische Heizung)**

- Preis kWh/ Wärme = 6 ct/kWh
- $(1.425 \text{ h/a} \times 60 \text{ kW} \times 90\%) = 94.050 \text{ kWh/a} \times 0,06 \text{ EUR/kWh} = 5.643 \text{ EUR/a}$

**B.2 – Verbrauchskosten Gas-Brennwertanlage 70 kW (dynamische Heizung)**

- Preis kWh/ Wärme = 6 ct/kWh
- $(60 \text{ h/a} \times 70 \text{ kW} \times 90\%) = 4.620 \text{ kWh/a} \times 0,06 \text{ EUR/kWh} = 277 \text{ EUR/a}$

**B.2 – Anschaffungskosten Gas-Brennwertanlage**

- Gesamtinvestitionssumme (brutto): ca. 35.710 EUR

**C.1 – Differenz Anschaffungskosten**

- $131.800 \text{ EUR} - 35.710 \text{ EUR} - 11.076 \text{ EUR} = \text{ca. } 85.014 \text{ EUR}$

**C.2 – Differenz Verbrauchskosten**

- Verbrauchskosten Gas-Brennwert – Verbrauchskosten Wärmepumpe = Energiekosteneinsparung bei Wärmepumpe/Gas-Brennwert
- $(5.643 + 277) \text{ EUR/a} - (1.954 + 1.710 + 21 + 216) \text{ EUR/a} = 2.019 \text{ EUR/a}$

**C.3 – Amortisationsrechnung**

- $85.014 \text{ EUR (Mehrkosten Wärmepumpe/Gas-Brennwert)} / 2.019 \text{ EUR/a (Energiekosteneinsparung)} = 42,1 \text{ Jahre}$

#### 4. Fazit

Die Gemeinde Eitorf als Bauherr und Nutzer der Wärmeerzeugungsanlage für das Naturwissenschaftliche Zentrum muss eine Entscheidung darüber treffen, ob die Anlage in konventionelle Weise oder unter Einsatz von alternativen Technologien ausgeführt wird.

Hier gilt es, sowohl ökonomische als auch ökologische Einflüsse zu berücksichtigen.

Die vorliegende Betrachtung soll als Entscheidungsgrundlage dienen, um eine Wahl zwischen folgenden möglichen Varianten zu treffen:

- Gas-Brennwert-Heizkessel;
- Blockheizkraftwerk
- Solarthermie
- Wärmepumpe/ Gas-Brennwert-Anlage

Die betrachteten alternativen Wärmeerzeugungsanlagen erreichen sehr unterschiedliche Amortisationszeiträume. Die fehlende Wärmeabnahme außerhalb der Heizperiode verursacht z.B. bei der Solarthermie eine erhebliche Verlängerung der Amortisation.

Aus mikroökonomischen Gründen ist daher der konventionellen Gas-Brennwertanlage zunächst der Vorzug zu geben, wobei auch der Einsatz einer BHKW-Anlage nicht auszuschließen ist.

Eine makroökonomische Betrachtung unter Einbeziehung eines politischen Faktors könnte zu dem Ergebnis kommen, dass der Einsatz alternativer Technologien als Energieträger vertretbar ist.

Eine weitere Möglichkeit ist u.E. zu berücksichtigen: Die Verlagerung der zusätzlichen Investitionsmittel in die Sanierung energieintensiver Wärme- und Brauchwassererwärmungsanlage in kommunalen Bestandsgebäuden der Gemeinde Eitorf oder Verwendung energieeinsparender baulicher Komponenten z.B. Fenster beim Naturwissenschaftlichen Zentrum.

Die Gemeinde Eitorf muss in Ihrer Entscheidung also mehrere Umstände berücksichtigen, d.h. entweder die direkt für die Gemeinde merklichen Kosten gering halten (Gas-Brennwertanlage) oder "Heizen mit ökologischen Vorteil, koste es was es wolle". Sicher kommt den Kommunen hier eine besondere Verantwortung und Vorreiterrolle zu, die in die Entscheidungsfindung einzufließen hat.

Eitorf, 14.01.2009

IBDC Paul TGA-Planung



**Anlage A1**

- 1. Allgemeine Kennziffern und Grundlagen**
- 1.4. Verbrauchskennwerte**
- 1.4.1. Wärme**

**Vollbenutzungsstunden nach Städten und Gebäuden [h / a]**

Ort	Vollbenutzungsstunden [h / a]					
	Einfam. - Haus	Mehrfam. -Haus	Bürohaus	Kranken- haus	Schule 1-schichtig	Schule 2-schichtig
Badenweiler	1.980	2.070	2.260	2.800	1.470	1.620
Bensheim- Auersbach	1.890	1.970	2.150	2.670	1.400	1.540
Berlin (Dahlem)	1.786	1.794	1.734	2.321	1.171	1.300
Berlin (Land)	1.940	2.030	2.220	2.750	1.440	1.590
Borkum	2.020	2.100	2.300	2.860	1.490	1.650
Braunlage	2.330	2.430	2.660	3.300	1.730	1.900
Bremen (Stadt)	1.890	1.970	2.150	2.670	1.400	1.540
Brilon	2.050	2.140	2.340	2.910	1.520	1.680
Düsseldorf	1.850	1.930	2.110	2.620	1.370	1.510
Essen	1.662	1.669	1.614	2.159	1.089	1.209
Frankfurt/M (Land)	1.910	1.990	2.170	2.700	1.410	1.560
Frankfurt/M (Stadt)	1.568	1.576	1.523	2.038	1.028	1.141
Hamburg (Stadt)	1.910	1.990	2.170	2.700	1.410	1.560
Hannover (Stadt)	1.940	2.030	2.220	2.750	1.440	1.590
Herchenhain	2.260	2.360	2.570	3.200	1.670	1.840
Karlsruhe	1.584	1.591	1.538	2.058	1.038	1.153
Kiel	1.940	2.030	2.220	2.750	1.440	1.590
Köln	1.800	1.870	2.050	2.540	1.330	1.470
Mainz	2.020	2.100	2.300	2.860	1.490	1.650
München	1.920	2.010	2.190	2.730	1.430	1.570
Nürnberg	2.350	2.450	2.680	3.330	1.740	1.920
Oberstdorf	2.170	2.260	2.470	3.070	1.600	1.770
Saarbrücken	1.780	1.850	2.030	2.520	1.320	1.450
Schleswig	2.040	2.120	2.320	2.880	1.510	1.660
St. Blasien	2.330	2.430	2.660	3.300	1.730	1.900
Stuttgart (Land)	1.760	1.830	2.010	2.490	1.300	1.440
Stuttgart (Stadt)	1.600	1.607	1.553	2.079	1.049	1.164
Wiesbaden	1.960	2.050	2.240	2.780	1.450	1.600
Worms	1.890	1.970	2.150	2.670	1.400	1.540
Würzburg	1.910	1.990	2.170	2.700	1.410	1.560

## Anlage A2

### vereinfachte statische Wirtschaftlichkeitsberechnung

Einsatz einer Brennwert-BHKW-Anlage zur partiellen  
 Wärmebedarfsdeckung und Stromerzeugung im Netzparallelbetrieb.

Objekt: NWZ Eitorf Datum: 14.01.09  
 Projekt-Nr.:

#### Kopfdaten

BHKW Fabrikat "KraftWerk"  
 BHKW-Typ: G20

Investition BHKW	21990 €	Gesamtkosten inklusive Installation
<b>elektrische Leistung BHKW-Anlage</b>	<b>20 kW</b>	elektrisch + thermisch bei 60° Heizungsrücklauf (Brennwerttechnik nicht berücksichtigt, bei niedrigeren Temperaturen im Heizungsnetz ergeben sich noch bessere Wirkungsgrade)
el. Wirkungsgrad BHKW	30 %	
Wirkungsgrad total BHKW	95 %	müssen berechnet oder abgeschätzt werden aus Gasrechnung Gaspreis Ho * 1,1 = <b>Gaspreis Hu</b>
th. Wirkungsgrad BHKW	65 %	
<b>thermische Leistung BHKW (*</b>	<b>43 kW</b>	Gaspreis (Hu) / Kesselnutzungsgrad z. B. Stromarbeitspreis aus Stromrechnung
Brennstoffleistung BHKW (Hu)	67 kW	
<b>Vollbenutzungsstunden BHKW (*</b>	<b>1425 h/a</b>	Wert der Stromerzeugung, Mix aus Einspeisevergütung und vermiedenen Stromkosten für Amortisation: Faktor q1= 1,05
Gaspreis Arbeit (Hu)	0,06 €/kWh	
Kesselnutzungsgrad	0,9	
Wärmegutschrift	0,067 €/kWh	
Stromgutschrift	0,12 €/kWh_el	
Zinssatz Finanzierung	5 % /a	

(\* Wird die BHKW-Anlage thermisch optimal zwischen 10 und 25 % der Kesselleistung dimensioniert,  
 können je nach Objekt zwischen 6500 und 5000 Vollbenutzungsstunden erreicht werden!

Betriebskosten BHKW	
<b>Gaskosten BHKW</b>	
Brennstoff, Arbeit	
h/a * kW = kWh/a * €/kWh =	
1425 * 67 = 95000 * 0,06 =	5700,00 €/a
<b>Wartung und Instandhaltung</b>	
Vollwartungs- und Instandhaltungsvertrag 10 Jahre Laufzeit ohne Betriebsstundenbegrenzung	
ct/kWh_el * kWh_el * €/a	
0,04 * 28500 = 1140	1140,00 €/a
<b>Summe Betriebskosten</b>	<b>6840,00 €/a</b>

Erträge BHKW	
<b>Wärmegutschrift (Vermiedene Brennstoffkosten Kessel)</b>	
h/a * kW_th = kWh/a * €/kWh =	
1425 * 43 = 61750 * 0,0667 =	4116,67 €/a
<b>Stromgutschrift (Mix aus Strompreis, Einspeisevergütung)</b>	
h/a * kW_el = kWh/a * €/kWh =	
1425 * 20 = 28500 * 0,1200 =	3420,00 €/a
<b>Mineralölsteuererstattung auf BHKW-Brennstoff</b>	
kWh/a * €/kWh * H0/Hu =	
95000 * 0,0055 * 1,1 =	574,75 €/a
<b>Zuschlag gemäß KWK-Gesetz auf BHKW-Strom</b>	
kWh/a * €/kWh =	
28500 * 0,0511 =	1456,35 €/a
<b>Summe Erträge</b>	<b>9567,77 €/a</b>

<b>Betriebskostensparnis (Überschuss)</b> (BHKW-Erträge abzüglich Betriebskosten)	2.727,77 €/a
--	--------------

Kapitalrückflussdauer	
Investition : Betriebskostensparnis	
21990 : 2.728 =	8,06 Jahre
5 % Zinsen für Finanzierung berücksichtigt:	
<b>Amortisationsdauer</b>	<b>10,58 Jahre</b>

## Anlage A3

### vereinfachte statische Wirtschaftlichkeitsberechnung

Einsatz einer Brennwert-BHKW-Anlage zur partiellen  
 Wärmebedarfsdeckung und Stromerzeugung im Netzparallelbetrieb.

Objekt: NWZ Eitorf Datum: 14.01.09  
 Projekt-Nr.:

### Kopfdaten

BHKW Fabrikat "KraftWerk"  
 BHKW-Typ: G20

Investition BHKW	21990 €	Gesamtkosten inklusive Installation
<b>elektrische Leistung BHKW-Anlage</b>	<b>20 kW</b>	
el. Wirkungsgrad BHKW	30 %	
Wirkungsgrad total BHKW	95 %	
th. Wirkungsgrad BHKW	65 %	
<b>thermische Leistung BHKW (*</b>	<b>43 kW</b>	
Brennstoffleistung BHKW (Hu)	67 kW	
<b>Vollbenutzungsstunden BHKW (*</b>	<b>5000 h/a</b>	
Gaspreis Arbeit (Hu)	0,06 €/kWh	
Kesselnutzungsgrad	0,9	
Wärmegutschrift	0,067 €/kWh	
Stromgutschrift	0,12 €/kWh_el	
Wert der Stromerzeugung, Mix aus Einspeisevergütung und vermiedenen Stromkosten		
Zinssatz Finanzierung	5 % /a	

elektrisch + thermisch bei 60° Heizungsrücklauf  
 (Brennwerttechnik nicht berücksichtigt, bei niedrigeren  
 Temperaturen im Heizungsnetz ergeben sich noch besseren  
 Wirkungsgrade)  
 müssen berechnet oder abgeschätzt werden  
 aus Gasrechnung Gaspreis\_Hu \* 1,1 = Gaspreis\_Hu

Gaspreis (Hu) / Kesselnutzungsgrad  
 z. B. Stromarbeitspreis aus Stromrechnung  
 für Amortisation: Faktor q1= 1,05

(\* Wird die BHKW-Anlage thermisch optimal zwischen 10 und 25 % der Kesselleistung dimensioniert,  
 können je nach Objekt zwischen 6500 und 5000 Vollbenutzungsstunden erreicht werden!

Betriebskosten BHKW	
<b>Gaskosten BHKW</b>	
Brennstoff, Arbeit	
h/a * kW = kWh/a * €/kWh =	
5000 * 67 = 333333 * 0,06 =	20000,00 €/a
<b>Wartung und Instandhaltung</b>	
Vollwartungs- und Instandhaltungsvertrag 10 Jahre Laufzeit ohne Betriebsstundenbegrenzung	
ct/kWh_el * kWh_el * €/a	
0,04 * 100000 = 4000	4000,00 €/a
<b>Summe Betriebskosten</b>	<b>24000,00 €/a</b>

Erträge BHKW	
<b>Wärmegutschrift (Vermiedene Brennstoffkosten Kessel)</b>	
h/a * kW_th = kWh/a * €/kWh =	
5000 * 43 = 216667 * 0,0667 =	14444,44 €/a
<b>Stromgutschrift (Mix aus Strompreis, Einspeisevergütung)</b>	
h/a * kW_el = kWh/a * €/kWh =	
5000 * 20 = 100000 * 0,1200 =	12000,00 €/a
<b>Mineralölsteuererstattung auf BHKW-Brennstoff</b>	
kWh_/a * €/kWh * H0/Hu =	
333333,33 * 0,0055 * 1,1 =	2016,67 €/a
<b>Zuschlag gemäß KWK-Gesetz auf BHKW-Strom</b>	
kWh/a * €/kWh =	
100000 * 0,0511 =	5110,00 €/a
<b>Summe Erträge</b>	<b>33571,11 €/a</b>

<b>Betriebskostensparnis (Überschuss)</b> (BHKW-Erträge abzüglich Betriebskosten)	<b>9.571,11 €/a</b>
--	---------------------

Kapitalrückflussdauer	
Investition : Betriebskostensparnis	
21990 : 9.571 =	2,30 Jahre
5 % Zinsen für Finanzierung berücksichtigt:	
<b>Amortisationsdauer</b>	<b>2,50 Jahre</b>

# Erweiterung Gymnasium Eitorf Naturwissenschaftliches Zentrum Einsatz alternativer Wärmeerzeugungsanlagen

## Anlage A4

Qualifikation zum/r Energieberater/in TGA



	$\vartheta_{HG}$ [°C]	$t_{HP}$ [d/a]	$\vartheta_e$ [°C]	Globalstrahlung in der Heizperiode [kWh/(m²a)]										
				90 ° geneigt					45 ° geneigt					
				H	S	so/sw	O/W	NO/NW	N	S	so/sw	O/W	NO/NW	N
<b>Standardklima Deutschland</b>	15,0	<b>289</b>	7,6	697	572	531	427	319	276	795	742	614	477	415
<b>Standardklima Deutschland</b>	10	197	3,6	293	310	269	197	137	123	376	342	269	200	178
	12	237	4,9	492	431	399	322	234	198	572	535	445	347	306
	15	298	6,8	791	613	594	509	380	311	865	825	710	566	499
Jahr	18,3	<b>365</b>	9,0	1119	813	808	714	540	435	1188	1143	1001	808	710
Winterhalbjahr Okt-Mrz	9,3	<b>182</b>	3,1	221	266	222	152	102	96	305	272	205	147	132
<b>Norderney (Region 1)</b>	10	204	5,2	311	358	306	211	146	130	424	381	288	208	182
<b>Norderney (Region 1)</b>	12	252	6,3	521	499	451	343	248	215	642	592	474	357	308
	15	322	8,0	836	711	667	539	402	341	968	908	754	581	495
	16,8	<b>365</b>	9,0	1025	839	796	657	494	417	1164	1098	922	716	608
Jahr	16,8	<b>365</b>	9,0	1025	839	796	657	494	417	1164	1098	922	716	608
Winterhalbjahr Okt-Mrz	9,1	<b>182</b>	4,7	211	291	238	149	97	90	320	281	199	137	123
<b>Hamburg (Region 2)</b>	10	214	4,6	321	349	305	220	155	136	423	385	297	219	193
<b>Hamburg (Region 2)</b>	12	259	5,8	501	468	429	335	246	211	608	564	459	351	304
	15	325	7,6	771	647	615	509	383	324	884	834	701	548	471
	16,8	<b>365</b>	8,7	934	755	726	613	465	392	1050	996	847	667	571
Jahr	16,8	<b>365</b>	8,7	934	755	726	613	465	392	1050	996	847	667	571
Winterhalbjahr Okt-Mrz	8,6	<b>182</b>	3,7	191	263	216	136	88	82	290	254	180	123	112
<b>Arkona (Region 3)</b>	10	231	4,6	411	416	372	276	191	162	526	480	376	275	232
<b>Arkona (Region 3)</b>	12	272	5,6	600	547	505	394	280	231	726	673	544	405	336
	15	334	7,2	883	743	704	572	413	335	1027	962	795	599	493
	16,5	<b>365</b>	7,9	1025	840	804	662	479	387	1177	1107	921	696	571
Jahr	16,5	<b>365</b>	7,9	1025	840	804	662	479	387	1177	1107	921	696	571
Winterhalbjahr Okt-Mrz	7,7	<b>182</b>	3,3	189	263	216	136	87	80	290	253	179	123	109
<b>Potsdam (Region 4)</b>	10	207	3,7	322	353	305	215	149	130	427	384	293	212	186
<b>Potsdam (Region 4)</b>	12	247	5,0	493	465	421	321	232	197	603	555	444	334	289
	15	307	6,9	750	634	594	481	356	298	866	810	671	517	442
	17,9	<b>365</b>	8,7	998	797	762	635	476	396	1121	1057	891	694	590
Jahr	17,9	<b>365</b>	8,7	998	797	762	635	476	396	1121	1057	891	694	590
Winterhalbjahr Okt-Mrz	8,8	<b>182</b>	2,9	215	282	232	148	97	88	318	278	198	136	122
<b>Braunschweig (Region 5)</b>	10	211	5,2	342	367	319	227	162	146	448	404	312	232	207
<b>Braunschweig (Region 5)</b>	12	254	6,3	527	488	443	341	252	221	636	587	475	366	321
	15	319	8,0	804	669	628	511	388	335	919	860	719	566	491
	17,1	<b>365</b>	9,2	998	796	758	630	483	415	1116	1052	890	706	611
Jahr	17,1	<b>365</b>	9,2	998	796	758	630	483	415	1116	1052	890	706	611
Winterhalbjahr Okt-Mrz	8,7	<b>182</b>	4,4	220	287	237	152	102	95	323	283	204	144	132
<b>Harzgerode (Region 6)</b>	10	250	3,5	505	465	421	324	242	214	607	560	454	351	310
<b>Harzgerode (Region 6)</b>	12	293	4,8	679	577	536	430	327	286	782	731	607	478	419
	15	356	6,6	940	745	709	590	455	395	1045	986	837	668	582
	15,4	<b>365</b>	6,9	974	767	732	611	473	409	1081	1020	867	693	604
Jahr	15,4	<b>365</b>	6,9	974	767	732	611	473	409	1081	1020	867	693	604
Winterhalbjahr Okt-Mrz	6,8	<b>182</b>	1,6	226	285	237	153	105	99	326	288	209	149	135
<b>Essen (Region 7)</b>	10	190	5,0	240	286	241	162	112	102	334	297	220	158	142
<b>Essen (Region 7)</b>	12	237	6,3	427	406	365	278	205	180	522	480	386	295	260
	15	308	8,1	708	586	551	451	345	298	835	755	633	500	437
	17,4	<b>365</b>	9,6	933	730	699	590	457	392	1030	975	832	664	578
Jahr	17,4	<b>365</b>	9,6	933	730	699	590	457	392	1030	975	832	664	578
Winterhalbjahr Okt-Mrz	9,7	<b>182</b>	4,8	210	267	221	143	97	90	303	267	193	136	123

Quelle: IWU

**Anlage A5**

**So kann Ihre Solaranlage zur Heizungsunterstützung aussehen:**

Bitte geben Sie Ihre beheizte Wohn-(Nutz-)fläche ein:  m<sup>2</sup>

Haustyp auswählen:

Dachausrichtung :

Dachneigung	Ost	Süd-Ost	Süd	Süd-West	West
15°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
35°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
45°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
55°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
65°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
75°	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Standort auswählen:

**Berechnen** **Ergebnisse**

Ihre Kollektorfläche sollte ca. 264 m<sup>2</sup> betragen. Sie sollte eine Fläche von 132 m<sup>2</sup> nicht unterschreiten. Grösser einer Fläche von 440 m<sup>2</sup> ist überdimensioniert. Ihr Speicher sollte ein Volumen von 13200 fassen.

**Anlage A6.1**

<b>Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Solarwärme</b>			
Dr. Alfred Körblein			
19.08.2008			
<b>Ergebnisse</b>			
<b>Barwertmethode:</b>			
Eigenkapitaleinsatz	38550 €		
interner Zinsfuß	-1,6%		
Kapitalwert	-22404 €		
<b>Annuitätenmethode:</b>			
Gestehungskosten	0,155 €/kWh		
konv. Energiepreis	0,154 €/kWh		
Die Maßnahme ist	<b>nicht wirtschaftlich</b>		
<b>Vorgaben:</b>			
Kosten der Anlage	43800 €		
(Brutto-)Kollektorfläche	50 m <sup>2</sup>		
Heizungsunterstützung? (j/n)	j		
Zuschuss	5250 €	60	105 €/m <sup>2</sup>
Speichergutschrift	0 €		
Darlehenshöhe	0 €		
Darlehenszins	4,0% p.a.		
Laufzeit des Darlehens	0 Jahre		
Lebensdauer	42 Jahre		
Endenergieeinsparung	15150 kWh/a	bzw.	303 kWh/m <sup>2</sup> a
konventioneller Energiepreis	6,0 ct/kWh	bzw.	60 ct/l Heizöl
Energiepreissteigerung	5% p.a.		
Zinssatz für Barwertberechnung	4% p.a.		
Inflationsrate	2,0% p.a.		
jährliche Wartungskosten	1,0% p.a.		
Annuitätsfaktor	5,0% p.a.		
jährliche Kosten	2347,77 €/a		
Mittelwertfaktor	2,57		

**Anlage A6.2**

<b>Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Solarwärme</b>			
Dr. Alfred Körblein 19.08.2008			
<b>Ergebnisse</b>			
<b>Barwertmethode:</b>		<b>Annuitätenmethode:</b>	
Eigenkapitaleinsatz	38550 €	Gestehungskosten	0,154 €/kWh
interner Zinsfuß	-1,6%	konv. Energiepreis	0,157 €/kWh
Kapitalwert	-22404 €	<u>Die Maßnahme ist</u>	<u>wirtschaftlich</u>
<b>Vorgaben:</b>			
Kosten der Anlage	43800 €		
(Brutto-)Kollektorfläche	50 m <sup>2</sup>		
Heizungsunterstützung? (j/n)	j		
Zuschuss	5250 €	60	105 €/m <sup>2</sup>
Speichergutschrift	0 €		
Darlehenshöhe	0 €		
Darlehenszins	4,0% p.a.		
Laufzeit des Darlehens	0 Jahre		
Lebensdauer	43 Jahre		
Endenergieeinsparung	15150 kWh/a	bzw.	303 kWh/m <sup>2</sup> a
konventioneller Energiepreis	6,0 ct/kWh	bzw.	60 ct/l Heizöl
Energiepreissteigerung	5% p.a.		
Zinssatz für Barwertberechnung	4% p.a.		
Inflationsrate	2,0% p.a.		
jährliche Wartungskosten	1,0% p.a.		
Annuitätsfaktor	4,9% p.a.		
jährliche Kosten	2330,42 €/a		
Mittelwertfaktor	2,62		