

# Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Wärmeversorgung



Umbau u. Sanierung  
Schwimmbaden mit Umkleide  
und Nebenräumen

-

Paul-Moor-Schule  
Landau

-

Möglichkeiten der  
Wärmeerzeugung

ITG  
Ingenieurbüro Technische Gebäudeausrüstung  
Marktstraße 35  
76829 Landau/Pf.

Telefon 06341. 91 85 0  
Telefax 06341. 91 85 20

info@itg-seiberth.de  
www.itg-seiberth.de



## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	4
2. Aufgabenstellung .....	5
3. Variante 1 / Luft-/Wasser-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlastheizkessel und Photovoltaik-Anlage.....	5
3.1 - Festlegung Bivalenzpunkt L-/W-WP / Gaskessel.....	5
3.2 - Ermittlung der Betriebskosten .....	6
3.2.1 - Luft-/Wasser-Wärmepumpe.....	6
3.2.2 - Gas-Brennwertkessel .....	7
3.2.3 - Wartungskosten.....	7
3.3 - Stromversorgung durch PV-Anlage mit 60 kWp Stromerzeugung.....	7
3.4 - Zusammenstellung Betriebskosten.....	8
3.5 - Ermittlung der Investitionskosten.....	9
3.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität.....	9
3.7 - Kapital- und Betriebskosten.....	10
4. Variante 2 / Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und thermischer Solaranlage.....	11
4.1 - Festlegung Bivalenzpunkt L-/W-WP / Gaskessel.....	11
4.2 - Ermittlung der Betriebskosten .....	11
4.2.1 - Luft-/Wasser-Wärmepumpe.....	11
4.2.2 - Gas-Brennwertkessel .....	12
4.2.3 - Wartungskosten.....	12
4.3 - Solarer Wärmegewinn durch therm. Solarkollektoren .....	12
4.4 - Zusammenstellung Betriebskosten.....	13
4.5 - Ermittlung der Investitionskosten.....	13
4.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität.....	14
4.7 - Kapital- und Betriebskosten.....	14
5. Variante 3 / Geothermie-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und Photovoltaik-Anlage .....	15
5.1 - Festlegung Bivalenzpunkt Geothermie-WP / Gaskessel .....	15
5.2 - Ermittlung der Betriebskosten .....	15
5.2.1 - Geothermie.....	15
5.2.2 - Gas-Brennwertkessel.....	16
5.2.3 - Wartungskosten.....	16
5.3 - Stromversorgung durch PV-Anlage mit 60 kWp .....	16
5.4 - Zusammenstellung Betriebskosten.....	17
5.5 - Ermittlung der Investitionskosten.....	18
5.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität.....	18

---

5.7 - Kapital- und Betriebskosten.....	19
6. Variante 4 / Geothermie-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und thermische Solaranlage .....	20
6.1 - Festlegung Bivalenzpunkt Geothermie-WP / Gaskessel .....	20
6.2 - Ermittlung der Betriebskosten .....	20
6.2.1 - Geothermie-Wärmepumpe .....	20
6.2.2 - Gas-Brennwertkessel .....	21
6.2.3 - Wartungskosten.....	21
6.3 - Solarer Wärmegewinn durch therm. Solarkollektoren .....	21
6.4 - Zusammenstellung Betriebskosten.....	22
6.5 - Ermittlung der Investitionskosten.....	23
6.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität.....	23
6.7 - Kapital- und Betriebskosten .....	24
7. Variante 5 / Pellet-Heizungsanlage .....	25
7.1 - Beschreibung Wärmeerzeugung.....	25
7.1 - Ermittlung der Betriebskosten .....	25
7.1.2 - Wartungskosten.....	25
7.1.3 - Ermittlung Investitionskosten.....	26
7.1.4 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität .....	26
7.1.5 - Kapital- und Betriebskosten .....	26
8. Variante 6 / Gas-Brennwert-Heizkessel als Spitzenlastkessel mit BHKW.....	27
8.1 - Beschreibung Wärmeerzeugung.....	27
8.2 - Ermittlung der Betriebskosten .....	27
8.1.3 - Wartungskosten.....	27
8.1.3 - Ermittlung Investitionskosten.....	27
8.1.4 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität .....	28
9.1.5 - Kapital- und Betriebskosten .....	28
9. Variante 7 / Gas-Brennwert-Heizungsanlage .....	29
9.1 - Beschreibung Wärmeerzeugung.....	29
9.1 - Ermittlung der Betriebskosten .....	29
9.1.1 - Gas-Brennwert-Kessel .....	29

## 1. Einleitung

Bei dem Umbau und der Sanierung des Therapiebeckens und der angrenzenden Umkleide-/Duschbereiche einschließlich der Nebenräume soll auch die Heizungszentrale einschließlich der vorhandenen Wärmeerzeugung erneuert werden.

Bei der Vorstellung der Entwurfsplanung der Architektur mit allen beteiligten Gremien am 01.07.2020 wurden auch die technischen Maßnahmen bei den TGA-Gewerken beschrieben und erläutert.

Nachdem die derzeit vorhandene Wärmeerzeugung, bestehend aus zwei Gas-Brennwert-Heizkesseln, erläutert wurde ist anschließend darüber diskutiert worden, welche wirtschaftlichen und ökologisch sinnvollen bzw. vertretbaren Formen der Wärmeerzeugung bei der Sanierung der Baumaßnahme umgesetzt und eingebaut werden könnten.

Damit eine Entscheidungsgrundlage für den Einbau einer erneuerbaren Energieversorgung erstellt werden kann sollen die nachfolgend aufgeführten Varianten einer Wärmeerzeugung untersucht werden:

- Variante 1 - Luft-/Wasser-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und Photovoltaik-Anlage
- Variante 2 - Luft-/Wasser-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und Solarthermie
- Variante 3 - Geothermie-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und Photovoltaik-Anlage
- Variante 4 - Geothermie-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und Solarthermie
- Variante 5 - Pellet-Heizungsanlage
- Variante 6 - Blockheizkraftwerk mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel
- Variante 7 - Gas-Brennwert-Kesselanlage

## 2. Aufgabenstellung

Von dem Amt „Gebäudemanagement Landau“ wurde der durchschnittliche Energiebedarf für die Paul-Moor-Schule zur Verfügung gestellt. Dieser liegt bei ca. 300.000 kWh/a und bezieht sich auf ein Mittel der letzten 5 Jahre.

- Gebäude-Energiebedarf = ca. 300.000 kWh/a

Weiterhin wurden folgende Energiekosten mitgeteilt:

- Strombezug = € 230-250 MWh
- Gasbezug = € 55-60 MWh
- Pelletheizung = € 52 MWh
- Hackschnitzelbezug = € 48 MWh

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparung wurden folgende Werte angenommen:

- Brennstoff Gas = 211 kg/MWh
- Brennstoff Pellet = 0 kg/MWh
- Stromversorgung = 450 kg/MWh

## 3. Variante 1 / Luft-/Wasser-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlastheizkessel und Photovoltaik-Anlage

### 3.1 - Festlegung Bivalenzpunkt L-/W-WP / Gaskessel

Die Beheizung der Paul-Moor-Schule erfolgt mit statischen Heizflächen in Form von Gliederheizkörpern und Heizplatten. Der Schwimmbadbereich, einschließlich der Umkleide und Duschräume, besitzt eine Fußbodenheizung.

Zum Auslegungszeitpunkt 1978 wurde die Heizungsanlage auf 90°C Vorlauf und 70°C Rücklauf Temperatur berechnet. Dementsprechend wurden die Heizflächen ausgelegt.

Durch Verbesserung in der Wärmedämmung des Gebäudes und durch den Austausch der Fenster ist der Wärmebedarf der zu beheizenden Räume deutlich gesenkt worden. Somit ist auch eine deutlich geringe Vorlauftemperatur erforderlich, die jedoch nicht genau ermittelt werden kann.

Angenommen wurde ein Wert von 60-65°C bei einer Außentemperatur von ca. -10°C für Landau.

Damit eine Jahresarbeitszahl von mind. 3,5 nicht unterschritten werden darf, bei gleichbleibender Annahme von ca. 55-50°C VL-Temperatur, kann die L/W/WP nur bis zu einer Außentemperatur von +0 bis 3°C betrieben werden. Dies würde einem Anteil von ca. 60 % an der Jahresheizarbeit entsprechen. Hieraus ergibt sich folgende Aufteilung:

▪ Anteil L/W/Wärmepumpe	=	180.000 kWh
▪ Anteil Gas-Brennwertkessel	=	120.000 kWh
		<u>ca. 300.000 kWh</u>

Bei einer Außentemperatur von +3°C ist nach DIN 12831-1 eine Gebäudeheizlast von ca. 104 kW erforderlich. Für die Lufterhitzer der Lüftungsanlage sind weitere ca. 15 kW zu berücksichtigen. Die gesamte Heizlast beträgt somit ca. 120 kW.

### 3.2 - Ermittlung der Betriebskosten

Nachfolgend wurden die Betriebskosten der einzelnen Varianten berechnet.

#### 3.2.1 - Luft-/Wasser-Wärmepumpe

▪ Jahresheizarbeit	=	ca. 180.000 kWh
Jahresarbeitszahl JAZ	=	3,5

- Stromaufnahme

$$\frac{180.000 \frac{kWh(th)}{a}}{3,5 \frac{kWh(th)}{kWh(el)}} = 51.428 \frac{kWh(el)}{a}$$

- Stromkosten

$$51.428 \frac{kWh(el)}{a} \cdot 0,24 \frac{€}{kWh(el)} = 12.342 \frac{€}{a}$$

Σ Stromkosten p.a. L/W/Wärmepumpe Brutto	<u>ca. 12.342 <math>\frac{€}{a}</math></u>
---	--

### 3.2.2 - Gas-Brennwertkessel

- Jahresheizarbeit = ca. 120.000 kWh
- Gaskosten

$$120.000 \frac{kWh}{a} \cdot 0,055 \frac{€}{kWh} = 6.600 \frac{€}{a}$$

---

Σ Gaskosten Gas-Brennwertkessel Brutto	ca. 6.600 $\frac{€}{a}$
---	-------------------------

---

### 3.2.3 - Wartungskosten

- L/W/Wärmepumpe = 1.500  $\frac{€}{a}$
- Gaskosten = 600  $\frac{€}{a}$
- PV-Anlage = 500  $\frac{€}{a}$

---

Σ Wartungskosten	ca. 2.600 $\frac{€}{a}$
------------------	-------------------------

---

---

### 3.3 - Stromversorgung durch PV-Anlage mit 60 kWp Stromerzeugung

Auf dem Flachdach oberhalb der Schwimmhalle mit einer Fläche von 125 m<sup>2</sup>, davon 80 m<sup>2</sup> für die Photovoltaik nutzbar, würde eine Leistung von ca. 60 kWp installiert werden können.

Der solare Ertrag kann mit 1.050 kWh pro kWp Ertragsleistung angenommen werden. Für die Gesamtbilanz des Gebäudes kann der solare Ertrag aus Erfahrungswerten anteilig von 30% für den Eigenbedarf und 70% für die Einspeisung ins Stromnetz für die Berechnung angesetzt werden.

▪ Solarer Ertrag = ca. 63.000 kWh/a

▪ Eigennutzung Strom

$$18.900 \frac{kWh}{a} \cdot 0,24 \frac{€}{kWh} = 4.536 \frac{€}{a}$$

▪ (-) Abgabe nach Umlage EEG

40% von € 0,804 = € 0,3215 €/kWh

$$18.900 \frac{kWh}{a} \cdot 0,03215 \frac{€}{kWh} = - 607,64 \frac{€}{a}$$

▪ Einspeisung Strom

$$44.100 \frac{kWh}{a} \cdot 0,09 \frac{€}{kWh} = 3.969 \frac{€}{a}$$

Σ Einsparung PV-Anlage ca. 7.897  $\frac{€}{a}$

### 3.4 - Zusammenstellung Betriebskosten

▪ Betriebskosten L-/W-Wärmepumpe = ca. 12.342 €/a

▪ Betriebskosten Gas-Brennwertkessel = ca. 6.600 €/a

▪ Wartungskosten = ca. 2.600 €/a

▪ (-) Einsparung Stromkosten PV-Anlage = ca. 7.897 €/a

Σ Betriebskosten ca. 13.645  $\frac{€}{a}$

### 3.5 - Ermittlung der Investitionskosten

- Kosten für 3 L/W/Wärmepumpen in Kaskade geschaltet. Mit Verrohrung und Pufferspeicher = ca. € 166.600,00
- Kosten für PV-Anlage mit 60 kWp = ca. € 79.000,00
- Kosten für Gas-Brennwertkessel = ca. € 40.000,00

---

**Σ Gesamtkosten brutto** **ca. 285.600,00 €**

---

### 3.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität

- Kosten L/W/WP = 12.485  $\frac{€}{a}$   
 € brutto 166.600, 1,5 % Zins, Laufzeit 15 Jahre
- Kosten PV-Anlage = 4.600  $\frac{€}{a}$   
 € brutto 79.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 15 Jahre
- Kosten Gas-Brennwertkessel = 2.329  $\frac{€}{a}$   
 € brutto 40.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 15 Jahre

---

Σ Gesamtkosten Variante 1 p.a. 19.414  $\frac{€}{a}$

### 3.7 - Kapital- und Betriebskosten

- Betriebskosten = Ca. 10.437 €/a
- Wartungskosten = Ca. 2.600 €/a
- Kapitalkosten = Ca. 19.414 €/a

---

Σ Kapital- und Betriebskosten	<u><u>ca. 32.451 <math>\frac{€}{a}</math></u></u>
-------------------------------	---

## 4. Variante 2 / Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und thermischer Solaranlage

### 4.1 - Festlegung Bivalenzpunkt L-/W-WP / Gaskessel

Für die Ermittlung des Bivalenzpunktes bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe treffen die gleichen Hinweise und Erläuterungen, wie diese bei der Variante 1 mit der L-/W-/WP beschrieben worden sind.

### 4.2 - Ermittlung der Betriebskosten

Nachfolgend wurden die Betriebskosten der einzelnen Varianten berechnet.

#### 4.2.1 - Luft-/Wasser-Wärmepumpe

- Jahresheizarbeit = ca. 180.000 kWh
- Jahresarbeitszahl JAZ = 3,5

- Stromaufnahme

$$\frac{180.000 \frac{kWh(th)}{a}}{3,5 \frac{kWh(th)}{kWh(el)}} = 51.428 \frac{kWh(el)}{a}$$

- Stromkosten

$$51.428 \frac{kWh(el)}{a} \cdot 0,24 \frac{€}{kWh(el)} = 12.342 \frac{€}{a}$$

Σ Stromkosten p.a. L/W/Wärmepumpe	
Brutto	ca. 12.342 $\frac{€}{a}$

4.2.2 - Gas-Brennwertkessel

- Jahresheizarbeit = ca. 120.000 kWh
- Gaskosten

$$120.000 \frac{kWh}{a} \cdot 0,055 \frac{€}{kWh} = 6.600 \frac{€}{a}$$

Σ Gaskosten Gas-Brennwertkessel Brutto	<i>ca.</i> 6.600 $\frac{€}{a}$
---	--------------------------------

4.2.3 - Wartungskosten

- L/W/Wärmepumpe = 1.500  $\frac{€}{a}$
- Gas-Brennwertkessel = 600  $\frac{€}{a}$
- Thermische Solaranlage = 500  $\frac{€}{a}$

Σ Wartungskosten	<i>ca.</i> 2.600 $\frac{€}{a}$
------------------	--------------------------------

**4.3 - Solarer Wärmegewinn durch therm. Solarkollektoren**

Für die Installation einer thermischen Solaranlage auf dem Flachdach der Schwimmhalle steht ausreichend Fläche zur Verfügung. Mit der Solaranlage kann die Erwärmung des Schwimmbadwassers und die Warmwasserbereitung für die Duschräume des Schwimmbadbereiches vorgenommen werden.

Für die thermische Solaranlage wurde eine Fläche von ca. 10 Solarkollektoren á 2,3 m<sup>2</sup> Aperaturfläche ermittelt. Dies entspricht einer Gesamtfläche von ca. 23 m<sup>2</sup>.

Der solare Eintrag kann mit ca. 600 kWh pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche angenommen werden. Somit ist ein Wärmegewinn von

- Solarer Ertrag

$$23 \text{ m}^2 \cdot 600 \frac{kWh}{\text{m}^2} = \text{ca. } 13.800 \frac{kWh}{a}$$

für die Betriebskostenberechnung anzusetzen

Bei einem Wärmepreis von ca. 0,06 € / kWh ergibt sich eine Einsparung von

- Einsparung

$$0,06 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 13.800 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 828 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Σ Betriebskosten	ca. 828 $\frac{\text{€}}{\text{a}}$
------------------	-------------------------------------

#### 4.4 - Zusammenstellung Betriebskosten

- |                                      |   |                |
|--------------------------------------|---|----------------|
| ▪ Betriebskosten L-/W-Wärmepumpe     | = | ca. 12.342 €/a |
| ▪ Betriebskosten Gas-Brennwertkessel | = | ca. 6.600 €/a  |
| ▪ Wartungskosten                     | = | ca. 2.600 €/a  |
| ▪ (-) Einsparung therm. Solaranlage  | = | ca. - 828 €/a  |

Σ Betriebskosten	ca. 20.714 $\frac{\text{€}}{\text{a}}$
------------------	--

#### 4.5 - Ermittlung der Investitionskosten

- |   |   |                  |
|---|---|------------------|
| ▪ Kosten für 3 L/W/Wärmepumpen in Kaskade geschaltet. Mit Verrohrung und Pufferspeicher | = | ca. € 166.600,00 |
| ▪ Kosten für therm. Solaranlage   | = | ca. € 20.000,00  |
| ▪ Kosten für Gas-Brennwertkessel  | = | ca. € 40.000,00  |

<b>Σ Gesamtkosten brutto</b>	<b>ca. 226.000,00 €</b>
------------------------------	-------------------------

#### 4.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität

- Kosten L/W/WP =  $12.485 \frac{\text{€}}{\text{a}}$   
€ brutto 166.600, 1,5 % Zins, Laufzeit 15 Jahre
  
- Kosten therm. Solaranlage 23 m<sup>2</sup> =  $1.164 \frac{\text{€}}{\text{a}}$   
€ brutto 20.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre
  
- Kosten Gas-Brennwertkessel =  $2.329 \frac{\text{€}}{\text{a}}$   
€ brutto 40.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre

---

Σ Gesamtkosten Variante 1 p.a.  $ca. 15.978 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

#### 4.7 - Kapital- und Betriebskosten

- Betriebskosten = ca. 18.114 €/a
- Wartungskosten = ca. 2.600 €/a
- Kapitalkosten = ca. 15.978 €/a

---

Σ Kapital- und Betriebskosten  $ca. 36.692 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

## 5. Variante 3 / Geothermie-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und Photovoltaik-Anlage

### 5.1 - Festlegung Bivalenzpunkt Geothermie-WP / Gaskessel

Die Beheizung der Paul-Moor-Schule erfolgt mit statischen Heizflächen in Form von Gliederheizkörpern und Heizplatten. Der Schwimmbadbereich, einschließlich der Umkleide und Duschräume, besitzt eine Fußbodenheizung.

Zum Auslegungszeitpunkt 1978 wurde die Heizungsanlage auf 90°C Vorlauf und 70°C Rücklauf Temperatur berechnet. Dementsprechend wurden die Heizflächen ausgelegt.

Durch Verbesserung in der Wärmedämmung des Gebäudes und durch den Austausch der Fenster ist der Wärmebedarf der zu beheizenden Räume deutlich gesenkt worden. Somit ist auch eine deutlich geringe Vorlauftemperatur erforderlich, die jedoch nicht genau ermittelt werden kann. Angenommen wurde ein Wert von 60-65°C bei einer Außentemperatur von ca. -10°C für Landau.

Damit eine Jahresarbeitszahl von mind. 4,5 nicht unterschritten werden darf, bei gleichbleibender Annahme von ca. 55-50°C VL-Temperatur, kann die Geothermie /WP nur bis zu einer Außentemperatur von +0 bis 3°C betrieben werden. Dies würde einem Anteil von ca. 60 % an der Jahresheizarbeit entsprechen. Hieraus ergibt sich folgende Aufteilung:

▪ Anteil Geothermie/Wärmepumpe	=	180.000 kWh
▪ Anteil Gas-Brennwertkessel	=	120.000 kWh
		<hr/>
		<u>ca. 300.000 kWh</u>

Bei einer Außentemperatur von +3°C ist nach DIN 12831-1 eine Gebäudeheizlast von ca. 104 kW erforderlich. Für die Lufterhitzer der Lüftungsanlage sind weitere ca. 15 kW zu berücksichtigen. Die gesamte Heizlast beträgt somit ca. 120 kW.

### 5.2 - Ermittlung der Betriebskosten

Nachfolgend wurden die Betriebskosten der einzelnen Varianten berechnet.

#### 5.2.1 - Geothermie

▪ Jahresheizarbeit	=	ca. 180.000 kWh
Jahresarbeitszahl JAZ	=	4,5

- Stromaufnahme

$$\frac{180.000 \frac{\text{kWh (th)}}{\text{a}}}{4,5 \frac{\text{kWh (th)}}{\text{kWh (el)}}} = 40.000 \frac{\text{kWh (el)}}{\text{a}}$$

- Stromkosten

$$40.000 \frac{kWh (el)}{a} \cdot 0,24 \frac{€}{kWh (el)} = 9.600 \frac{€}{a}$$

Σ Stromkosten p.a. Geothermie- Wärmepumpe Brutto	<u><u>ca. 9.600 <math>\frac{€}{a}</math></u></u>
--	--

#### 5.2.2 - Gas-Brennwertkessel

- Jahresheizarbeit = ca. 120.000 kWh
- Gaskosten

$$120.000 \frac{kWh}{a} \cdot 0,055 \frac{€}{kWh} = 6.600 \frac{€}{a}$$

Σ Gaskosten Gas-Brennwertkessel Brutto	<u><u>ca. 6.600 <math>\frac{€}{a}</math></u></u>
---	--

#### 5.2.3 - Wartungskosten

- Geothermie/Wärmepumpe = 1.500  $\frac{€}{a}$
- Gaskosten = 600  $\frac{€}{a}$
- PV-Anlage = 500  $\frac{€}{a}$

Σ Wartungskosten	<u><u>ca. 2.600 <math>\frac{€}{a}</math></u></u>
------------------	--

### 5.3 - Stromversorgung durch PV-Anlage mit 60 kWp

Auf dem Flachdach oberhalb der Schwimmhalle mit einer Fläche von 125 m<sup>2</sup>, davon 80 m<sup>2</sup> für die Photovoltaik nutzbar, würde eine Leistung von ca. 60 kWp installiert werden können.

Der solare Ertrag kann mit 1.050 kWh pro kWp angenommen Ertragsleistung angenommen werden. Für die Gesamtbilanz des Gebäudes kann der solare Ertrag aus Erfahrungswerten anteilig von 30% für den Eigenbedarf und 70% für die Einspeisung ins Stromnetz für die Berechnung angesetzt werden.

▪ Solarer Ertrag = ca. 63.000 kWh/a

▪ Eigennutzung Strom

$$18.900 \frac{kWh}{a} \cdot 0,24 \frac{€}{kWh} = 4.536 \frac{€}{a}$$

▪ Abgabe nach Umlage EEG

40% von € 0,804 = € 0,3215 €/kWh

$$18.900 \frac{kWh}{a} \cdot 0,03215 \frac{€}{kWh} = - 607,64 \frac{€}{a}$$

▪ Einspeisung Strom

$$44.100 \frac{kWh}{a} \cdot 0,09 \frac{€}{kWh} = 3.969 \frac{€}{a}$$

---

Σ Einsparung PV-Anlage	<u>ca. 7.897 <math>\frac{€}{a}</math></u>
------------------------	---

#### 5.4 - Zusammenstellung Betriebskosten

▪ Betriebskosten Geothermie -Wärmepumpe = ca. 9.600 €/a

▪ Betriebskosten Gas-Brennwertkessel = ca. 6.600 €/a

▪ Wartungskosten = ca. 2.600 €/a

▪ (-) Einsparung Stromkosten PV-Anlage = ca. 7.897 €/a

---

Σ Betriebskosten	<u>ca. 10.903 <math>\frac{€}{a}</math></u>
------------------	--

### 5.5 - Ermittlung der Investitionskosten

- Kosten für 1 Geothermie Wärmepumpen in Kaskade geschaltet. Mit Verrohrung und Pufferspeicher; Q=120 kW = ca. € 72.000,00
- Kosten für Erdwärmesonden = ca. € 228.000,00
- Kosten für PV-Anlage mit 60 kWp = ca. € 79.000,00
- Kosten für Gas-Brennwertkessel = ca. € 40.000,00

---

**Σ Gesamtkosten brutto** **ca. 419.000 €**

---

### 5.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität

- Kosten Geothermie WP =  $4.193 \frac{€}{a}$   
 € brutto 72.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre
- Kosten PV-Anlage =  $4.600 \frac{€}{a}$   
 € brutto 79.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre
- Kosten Erdwärmesonden =  $7.621 \frac{€}{a}$   
 € brutto 228.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 40 Jahre
- Kosten Gas-Brennwertkessel =  $2.329 \frac{€}{a}$   
 € brutto 40.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre

---

**Σ Gesamtkosten Variante 3 p.a.** **ca. 18.743  $\frac{€}{a}$**

---

### 5.7 - Kapital- und Betriebskosten

- Betriebskosten = Ca. 8.303 €/a
- Wartungskosten = Ca. 2.600 €/a
- Kapitalkosten = Ca. 18.743 €/a

---

Σ Kapital- und Betriebskosten	<i>ca.</i> 29.646 $\frac{\text{€}}{\text{a}}$
-------------------------------	---

---

## 6. Variante 4 / Geothermie-Wärmepumpe mit Gas-Spitzenlast-Heizkessel und thermische Solaranlage

### 6.1 - Festlegung Bivalenzpunkt Geothermie-WP / Gaskessel

Die Beheizung der Paul-Moor-Schule erfolgt mit statischen Heizflächen in Form von Gliederheizkörpern und Heizplatten. Der Schwimmbadbereich, einschließlich der Umkleide und Duschräume, besitzt eine Fußbodenheizung.

Zum Auslegungszeitpunkt 1978 wurde die Heizungsanlage auf 90°C Vorlauf und 70°C Rücklauf Temperatur berechnet. Dementsprechend wurden die Heizflächen ausgelegt.

Durch Verbesserung in der Wärmedämmung des Gebäudes und durch den Austausch der Fenster ist der Wärmebedarf der zu beheizenden Räume deutlich gesenkt worden. Somit ist auch eine deutlich geringe Vorlauftemperatur erforderlich, die jedoch nicht genau ermittelt werden kann. Angenommen wurde ein Wert von 60-65°C bei einer Außentemperatur von ca. -10°C für Landau.

Damit eine Jahresarbeitszahl von mind. 4,5 nicht unterschritten werden darf, bei gleichbleibender Annahme von ca. 55-50°C VL-Temperatur, kann die Geothermie /WP nur bis zu einer Außentemperatur von +0 bis 3°C betrieben werden. Dies würde einem Anteil von ca. 60 % an der Jahresheizarbeit entsprechen. Hieraus ergibt sich folgende Aufteilung:

▪ Anteil Geothermie/Wärmepumpe	=	180.000 kWh
▪ Anteil Gas-Brennwertkessel	=	120.000 kWh
		ca. 300.000 kWh

Bei einer Außentemperatur von +3°C ist nach DIN 12831-1 eine Gebäudeheizlast von ca. 104 kW erforderlich. Für die Lufterhitzer der Lüftungsanlage sind weitere ca. 15 kW zu berücksichtigen. Die gesamte Heizlast beträgt somit ca. 120 kW.

### 6.2 - Ermittlung der Betriebskosten

Nachfolgend wurden die Betriebskosten der einzelnen Varianten berechnet.

#### 6.2.1 - Geothermie-Wärmepumpe

▪ Jahresheizarbeit	=	ca. 180.000 kWh
Jahresarbeitszahl JAZ	=	4,5

- Stromaufnahme

$$\frac{180.000 \frac{kWh(th)}{a}}{4,5 \frac{kWh(th)}{kWh(el)}} = 40.000 \frac{kWh(el)}{a}$$

- Stromkosten

$$40.000 \frac{kWh (el)}{a} \cdot 0,24 \frac{€}{kWh (el)} = 9.600 \frac{€}{a}$$

Σ Stromkosten p.a. Geothermie- Wärmepumpe Brutto	<u><u>ca. 9.600 <math>\frac{€}{a}</math></u></u>
--	--

#### 6.2.2 - Gas-Brennwertkessel

- Jahresheizarbeit = ca. 120.000 kWh
- Gaskosten

$$120.000 \frac{kWh}{a} \cdot 0,055 \frac{€}{kWh} = 6.600 \frac{€}{a}$$

Σ Gaskosten Gas-Brennwertkessel Brutto	<u><u>ca. 6.600 <math>\frac{€}{a}</math></u></u>
---	--

#### 6.2.3 - Wartungskosten

- Geothermie/Wärmepumpe = ca. 1.500  $\frac{€}{a}$
- Gas-Brennwertkessel = ca. 600  $\frac{€}{a}$
- PV-Anlage = ca. 500  $\frac{€}{a}$

Σ Wartungskosten	<u><u>ca. 2.600 <math>\frac{€}{a}</math></u></u>
------------------	--

### 6.3 - Solarer Wärmegewinn durch therm. Solarkollektoren

Für die Installation einer thermischen Solaranlage auf dem Flachdach der Schwimmhalle steht ausreichend Fläche zur Verfügung. Mit der Solaranlage kann die Erwärmung des Schwimmbadwassers und die Warmwasserbereitung für die Duschräume des Schwimmbadbereiches vorgenommen werden.

Für die thermische Solaranlage wurde eine Fläche von ca. 10 Solarkollektoren á 2,3 m<sup>2</sup> Aperaturfläche ermittelt. Dies entspricht einer Gesamtfläche von ca. 23 m<sup>2</sup>.

Der solare Eintrag kann mit ca. 600 kWh pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche angenommen werden. Somit ist ein Wärmegewinn von

- Solarer Ertrag

$$23 \text{ m}^2 \cdot 600 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = \text{ca. } 13.800 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

für die Betriebskostenberechnung anzusetzen

Bei einem Wärmepreis von ca. 0,06 € / kWh ergibt sich eine Einsparung von

- Einsparung

$$0,06 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 13.800 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 828 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

---

Σ Betriebskosten	<u><u>ca. 828 <math>\frac{\text{€}}{\text{a}}</math></u></u>
------------------	--

#### 6.4 - Zusammenstellung Betriebskosten

- Betriebskosten Geothermie -Wärmepumpe = ca. 9.600 €/a
- Betriebskosten Gas-Brennwertkessel = ca. 6.600 €/a
- Wartungskosten = ca. 2.600 €/a
- (-) Einsparung Stromkosten PV-Anlage = ca. 828 €/a

---

Σ Betriebskosten	<u><u>ca. 17.972 <math>\frac{\text{€}}{\text{a}}</math></u></u>
------------------	---

### 6.5 - Ermittlung der Investitionskosten

- Kosten für 1 Geothermie Wärmepumpen in Kaskade geschaltet. Mit Verrohrung und Pufferspeicher; Q=120 kW = ca. € 72.000,00
- Kosten für Erdwärmesonden = ca. € 228.000,00
- Kosten für therm. Solaranlage ca. 23m<sup>2</sup> = ca. € 20.000,00
- Kosten für Gas-Brennwertkessel = ca. € 40.000,00

---

**Σ Gesamtkosten brutto** **ca. 360.000 €**

---

### 6.6 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität

- Kosten Geothermie WP =  $4.193 \frac{€}{a}$   
€ brutto 72.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre
- Kosten therm. Solaranlage 23 m<sup>2</sup> =  $1.164 \frac{€}{a}$   
€ brutto 20.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre
- Kosten Erdwärmesonden =  $7.621 \frac{€}{a}$   
€ brutto 228.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 40 Jahre
- Kosten Gas-Brennwertkessel =  $2.329 \frac{€}{a}$   
€ brutto 40.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre

---

**Σ Gesamtkosten Variante 3 p.a.**  **$ca. 15.307 \frac{€}{a}$**

---

### 6.7 - Kapital- und Betriebskosten

- Betriebskosten = Ca. 15.372€/a
- Wartungskosten = Ca. 2.600 €/a
- Kapitalkosten = Ca. 15.307 €/a

---

Σ Kapital- und Betriebskosten	<i>ca.</i> 33.279 $\frac{\text{€}}{\text{a}}$
-------------------------------	---

---

## 7. Variante 5 / Pellet-Heizungsanlage

### 7.1 - Beschreibung Wärmeerzeugung

Als Alternative zu den Varianten 1-4 mit Wärmepumpenbetrieb sollte der Einbau einer Pellet-Heizungsanlage geprüft und angewendet werden

Eine Lagerung von Pellets im Gebäude ist aufgrund fehlender Räumlichkeiten nicht möglich. Deswegen wurde eine Aufstellung eines Lagercontainers außerhalb des Schwimmbadhallengebäudes, direkt an der westlichen Stirnwand, angenommen. Der Lagerbehälter würde die Abmessungen von ca. 7,0mx3,0mx3,0 besitzen.

### 7.1 - Ermittlung der Betriebskosten

Der gesamte erforderliche Wärmebedarf der Paul-Moor-Schule von ca. 300.000 kWh würde von der Pellet-Heizungsanlage erzeugt werden.

▪ Jahresheizarbeit = ca. 300.000 kWh

▪ Pelletkosten =  $0,052 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$

$$300.000 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 0,052 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 15.600 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

---

Σ Betriebskosten Pelletheizung  $ca. 15.600 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

### 7.1.2 - Wartungskosten

▪ Pellet-Heizkessel =  $ca. 1.900 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

▪ Pellet-Lagerbehälter =  $ca. 600 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

Σ Wartungskosten  $ca. 2.500 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

7.1.3 - Ermittlung Investitionskosten

▪ Kosten Pellet-Heizkessel	=	ca. 76.000	$\frac{\text{€}}{\text{a}}$
▪ Kosten Transport Pellets	=	ca. 33.000	$\frac{\text{€}}{\text{a}}$
▪ Kosten für Lagerbehälter	=	ca. 46.000	$\frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

Σ Investitionskosten		ca. 150.000	$\frac{\text{€}}{\text{a}}$
----------------------	--	-------------	-----------------------------

---

7.1.4 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität

▪ Kosten Pellet-Brennwertkessel	=	2.325	$\frac{\text{€}}{\text{a}}$
€ brutto 155.600, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre			

---

Σ Gesamtkosten Variante 5 p.a.		ca. 2.325	$\frac{\text{€}}{\text{a}}$
--------------------------------	--	-----------	-----------------------------

---

7.1.5 - Kapital- und Betriebskosten

▪ Betriebskosten	=	Ca. 15.600	€/a
▪ Wartungskosten	=	Ca. 2.500	€/a
▪ Kapitalkosten	=	Ca. 2.325	€/a

---

Σ Kapital- und Betriebskosten		ca. 21.325	$\frac{\text{€}}{\text{a}}$
-------------------------------	--	------------	-----------------------------

---

## 8. Variante 6 / Gas-Brennwert-Heizkessel als Spitzenlastkessel mit BHKW

### 8.1 - Beschreibung Wärmeerzeugung

Bei dieser Variante ist für die Abdeckung einer Grundlast kW thermisch und kW elektrisch der Einbau eines Blockheizkraftwerkes vorgesehen. In Ergänzung hierzu soll ein Gas-Brennwert-Heizkessel als Spitzenlastkessel eingesetzt werden.

### 8.2 - Ermittlung der Betriebskosten

Die nachfolgend genannten Betriebskosten wurden nach einer Energieeinsparprognose ermittelt, die sehr umfangreich ist. Deswegen wurden an dieser Stelle nur die wesentlichen Werte dargestellt.

- Verbrauchsgebundene Kosten BHKW und Kessel = Ca. € 31.649
- Verbrauchsgebundene Kosten BHKW und Kessel = ( - ) Ca. € 14.224

Σ Betriebskosten Brennwertkessel ca. 17.425  $\frac{€}{a}$

#### 8.1.3 - Wartungskosten

- Gas-Heizkessel = ca. 500  $\frac{€}{a}$
- BHKW (Vollwartungsvertrag) = ca. 4.433  $\frac{€}{a}$

Σ Wartungskosten ca. 4.933  $\frac{€}{a}$

#### 8.1.3 - Ermittlung Investitionskosten

- Kosten Gas-Heizkessel = ca. 40.000  $\frac{€}{a}$
- Kosten BHKW = ca. 85.000  $\frac{€}{a}$

Σ Investitionskosten ca. 125.000  $\frac{€}{a}$

---

8.1.4 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität

- Kosten Gas-Brennwertkessel =  $2.329 \frac{\text{€}}{\text{a}}$   
€ brutto 40.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre

- Kosten BHKW =  $6.370 \frac{\text{€}}{\text{a}}$   
€ brutto 85.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 15 Jahre

---

Σ Gesamtkosten Variante 6 p.a.  $ca. 8.699 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

9.1.5 - Kapital- und Betriebskosten

- Betriebskosten = Ca. 17.425 €/a
- Wartungskosten = Ca. 4.933 €/a
- Kapitalkosten = Ca. 8.699 €/a

---

Σ Kapital- und Betriebskosten  $ca. 31.057 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

## 9. Variante 7 / Gas-Brennwert-Heizungsanlage

### 9.1 - Beschreibung Wärmeerzeugung

Als Alternative zu den Varianten 1-4 mit Wärmepumpenbetrieb sollte der Einbau einer Gas-Brennwert-Heizungsanlage geprüft und angewendet werden

Die Paul-Moor-Schule wird derzeit über zwei Gas-Brennwert-Kessel beheizt. Ein Heizkessel ist seit 2 Jahren defekt und ausgefallen. Der zweite Heizkessel ist störanfällig, seit 20 Jahren in Betrieb und muss ausgetauscht werden.

Bei einer Erneuerung der beiden Heizkessel würde die Paul-Moor-Schule ausschließlich mit Erdgas als Primärenergie betrieben werden.

### 9.1 - Ermittlung der Betriebskosten

Der gesamte erforderliche Wärmebedarf der Paul-Moor-Schule von ca. 300.000 kWh würde von der Gas-Brennwert-Heizungsanlage erzeugt werden.

#### 9.1.1 - Gas-Brennwert-Kessel

- Jahresheizarbeit = ca. 300.000 kWh
- Bezugspreis Erdgas =  $0,055 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$

$$300.000 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 0,055 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 16.00 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

---

Σ Betriebskosten Brennwertkessel	$ca. 16.500 \frac{\text{€}}{\text{a}}$
----------------------------------	--

---

### 9.2 - Wartungskosten

- Gas-Heizkessel =  $ca. 800 \frac{\text{€}}{\text{a}}$
- Gas-Armaturen =  $ca. 200 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

Σ Wartungskosten	$ca. 1.000 \frac{\text{€}}{\text{a}}$
------------------	---------------------------------------

---

---

### 9.3 - Ermittlung Investitionskosten

- Kosten Gas-Heizkessel = ca. 80.000  $\frac{\text{€}}{\text{a}}$
- Kosten Gasarmaturen und Leitungen = ca. 5.000  $\frac{\text{€}}{\text{a}}$

---

Σ Investitionskosten ca. 85.000  $\frac{\text{€}}{\text{a}}$

### 9.4 - Gesamtkostenberechnung mit Annuität

- Kosten Gas-Brennwertkessel = 4.957  $\frac{\text{€}}{\text{a}}$   
€ brutto 85.000, 1,5 % Zins, Laufzeit 20 Jahre

---

Σ Gesamtkosten Variante 6 p.a. ca. 4.957  $\frac{\text{€}}{\text{a}}$

### 9.5 - Kapital- und Betriebskosten

- Betriebskosten = Ca. 16.500 €/a
- Wartungskosten = Ca. 1.000 €/a
- Kapitalkosten = Ca. 4.957 €/a

---

Σ Kapital- und Betriebskosten ca. 22.451  $\frac{\text{€}}{\text{a}}$