

# **Teil-Energienutzungsplan für die Stadt Heideck**

## **Abschlussbericht**

### **Juni 2018**

## Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung.....	4
2	Der Ist-Zustand .....	5
2.1	Der Wärmebedarf der zentralen Wärmeversorgung.....	6
2.2	Der Strombedarf der Liegenschaften .....	8
3	Die mögliche Leitungsführung der Nahwärmenetzvarianten .....	9
4	Die Energieversorgungsvarianten der Wärmenetzvariante III.....	13
4.1	Variante A1: Die dezentrale Versorgung.....	13
4.2	Die geordnete thermische Jahresdauerlinie der Nahwärmenetzvariante III.....	14
4.3	Variante A2: Der Holzpelletkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel .....	15
4.4	Variante A3: Der Hackgutkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel .....	16
4.5	Variante A4: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel und Heizöl-Spitzenlastkessel.....	17
4.6	Variante A5: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel und Heizöl-Spitzenlastkessel.....	18
4.7	Variante A6: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel und Heizöl-Spitzenlastkessel.....	19
5	Die dezentrale Energieversorgung des Freibads in Heideck .....	20
5.1	Die geordnete thermische Jahresdauerlinie des Freibads .....	20
5.2	Variante B1: Die Solarthermieanlage mit einem Heizölkessel .....	21
5.3	Variante B2: Die Solarthermieanlage mit einem Pelletkessel.....	22
5.4	Variante B3: Die Solarthermieanlage mit einem mobilen Flüssiggas-BHKW .....	23
5.5	Variante B4: Die Solarthermieanlage mit einem stationären Flüssiggas-BHKW.....	24
5.6	Das Potential am Freibad: Abwärme aus einem Industriebetrieb .....	24
6	Die dezentrale Energieversorgung der Schule in Heideck.....	25
6.1	Variante C1: Die Referenzvariante mit zwei Heizölkessel .....	26
6.2	Variante C2: Der Holzpelletkessel mit Heizölspitzenlastkessel .....	26
6.3	Variante C3: Der Hackgutkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel.....	27
6.4	Variante C4: Das Flüssiggas-BHKW mit Pelletkessel .....	28
6.5	Variante C5: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel .....	29

7	Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	30
7.1	Die Grundannahmen .....	30
7.2	Die Förderung:.....	30
7.3	Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Wärmenetz .....	31
7.4	Die dezentrale Energieversorgung des Freibads.....	34
7.5	Die dezentrale Versorgung der Schule .....	38
8	Die Sensitivitätsanalyse .....	42
8.1	Die Sensitivitätsanalyse des Wärmenetzes III .....	42
8.2	Die Sensitivitätsanalyse der Heizzentrale am Freibad.....	46
8.3	Die Sensitivitätsanalyse der Heizzentrale am Schulzentrum .....	49
9	Die CO <sub>2</sub> -Bilanz.....	53
10	Die Primärenergiefaktoren.....	56
11	Zusammenfassung.....	58
12	Abbildungsverzeichnis.....	61

## 1 Einleitung

Im Rahmen dieses Teil-Energiennutzungsplans soll untersucht werden, ob der Zusammenschluss öffentlicher, kirchlicher, privater und gewerblicher Gebäude im Innenstadtbereich von Heideck technisch und wirtschaftlich möglich ist.

Dabei werden technische Fragen der Trassenführung und des Standortes der Heizzentrale geprüft. Des Weiteren werden unterschiedliche Versorgungskonzepte entwickelt werden und im Zuge einer Vollkostenrechnung miteinander verglichen.

Ein Energiennutzungsplan kalkuliert den künftigen elektrischen und thermischen Energiebedarf der Gebäudekomplexe mit den dazugehörigen Jahresdauerlinien und Lastgängen. Darauf basierend können unterschiedliche Energieversorgungskonzepte dimensioniert und einer Vollkostenrechnung und Fördermittelprüfung unterzogen werden. Im Zuge der konzeptionellen Arbeit werden zunächst unterschiedliche Varianten der dezentralen Energieversorgung im Objekt untersucht.

Im zweiten Teil der Untersuchung erfolgt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Wärmeverbundes der Liegenschaften der Stadt Heideck und weiterer Interessenten. Im Gesamtergebnis steht der wirtschaftlich und ökologisch optimalste Weg einer künftigen Wärmeversorgung. Dabei stehen nicht nur die Erstinvestitionskosten, sondern vielmehr die Vollkosten für den Nutzer im Focus.

Das hier dargestellte Konzept könnte i.H.v. bis zu 70 % durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie gefördert werden.

## 2 Der Ist-Zustand

In der Abbildung 1 ist ein Übersichtsplan der Stadt Heideck dargestellt. Der Gesamtnutzwärmebedarf der Liegenschaften liegt bei 1.700.000 kWh Wärme im Jahr. Die beiden Großverbraucher sind das Schulzentrum sowie das Freibad. Ein Großteil der Abnehmer sind um das Rathaus angesiedelt, wie zum Beispiel die Katholische Kirchenstiftung, städtische Liegenschaften und weitere private Abnehmer.

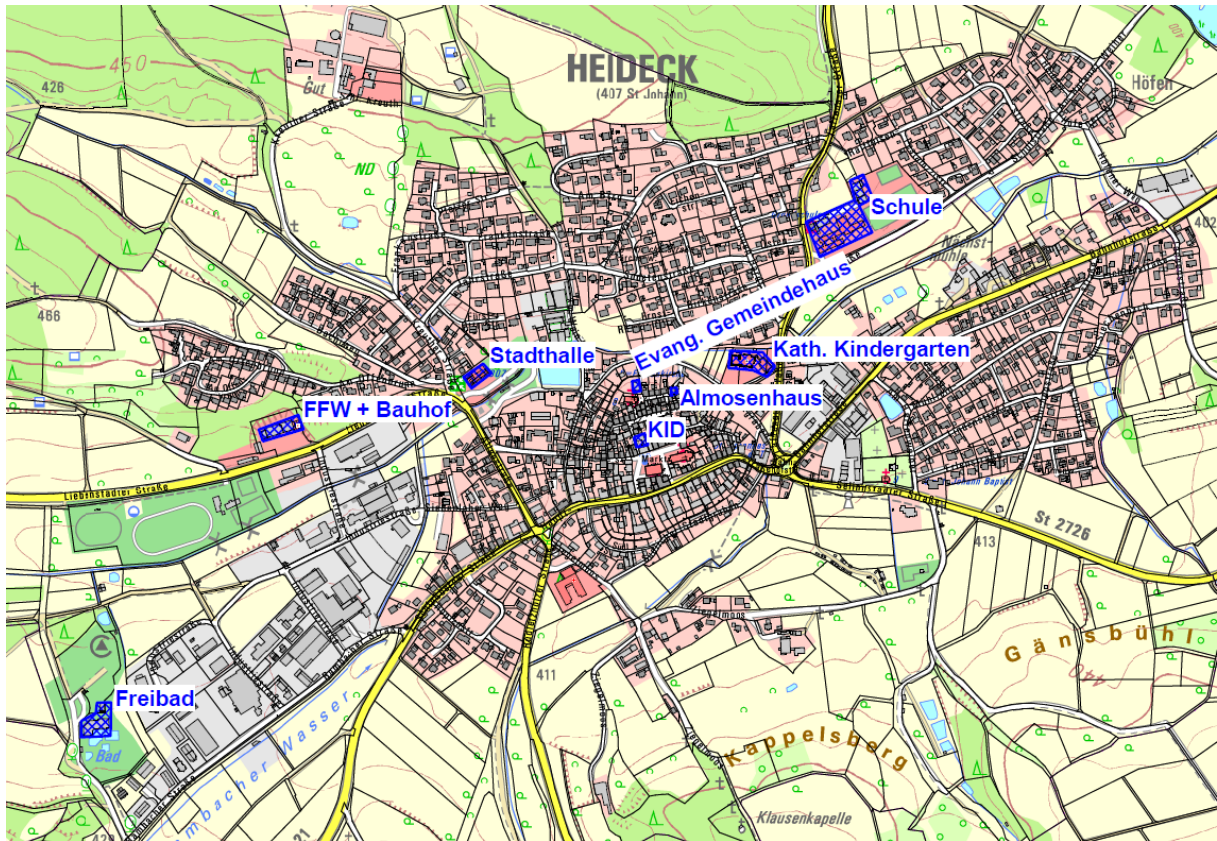
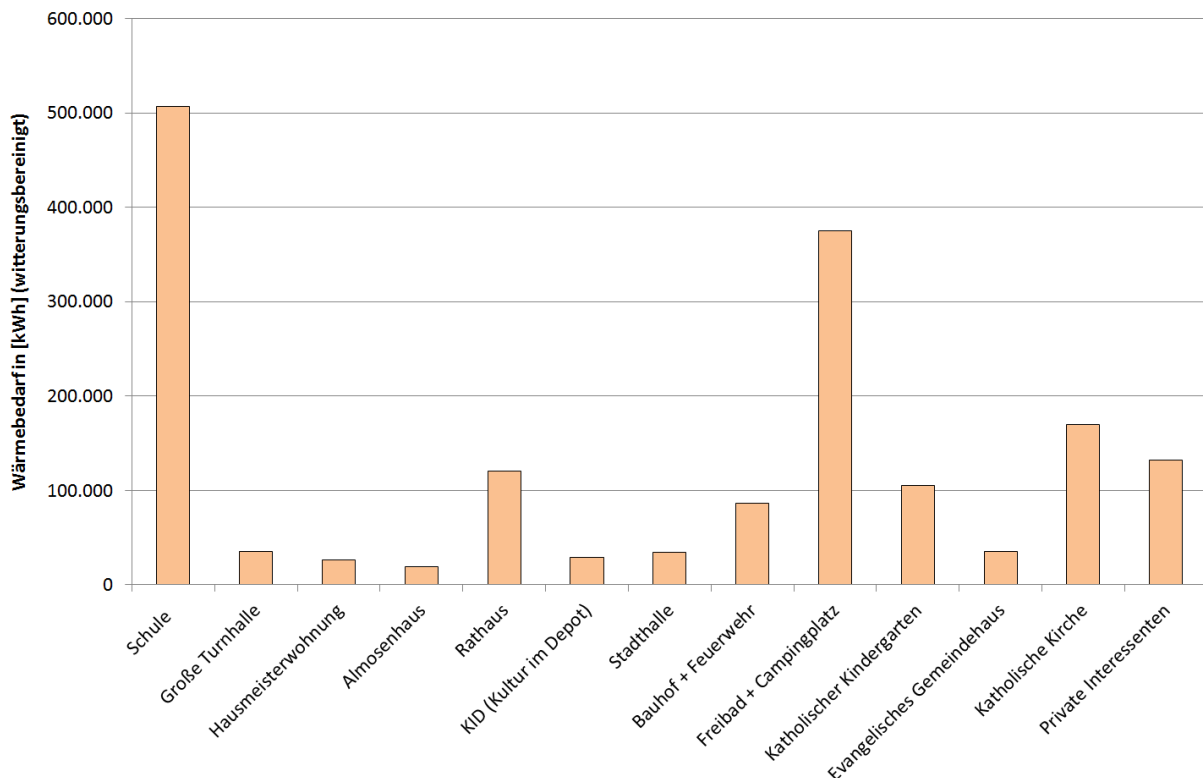


Abbildung 1: Die Übersicht der untersuchten Gebäude [Quelle: Stadt Heideck]

1. Schule
2. Almosenhaus
3. Rathaus
4. KID (Kultur im Depot)
5. Stadthalle
6. Bauhof + Feuerwehr
7. Freibad + Campingplatz
8. Katholischer Kindergarten
9. Evangelisches Gemeindehaus
10. Katholische Kirche
11. Private Interessenten

## 2.1 Der Wärmebedarf der zentralen Wärmeversorgung

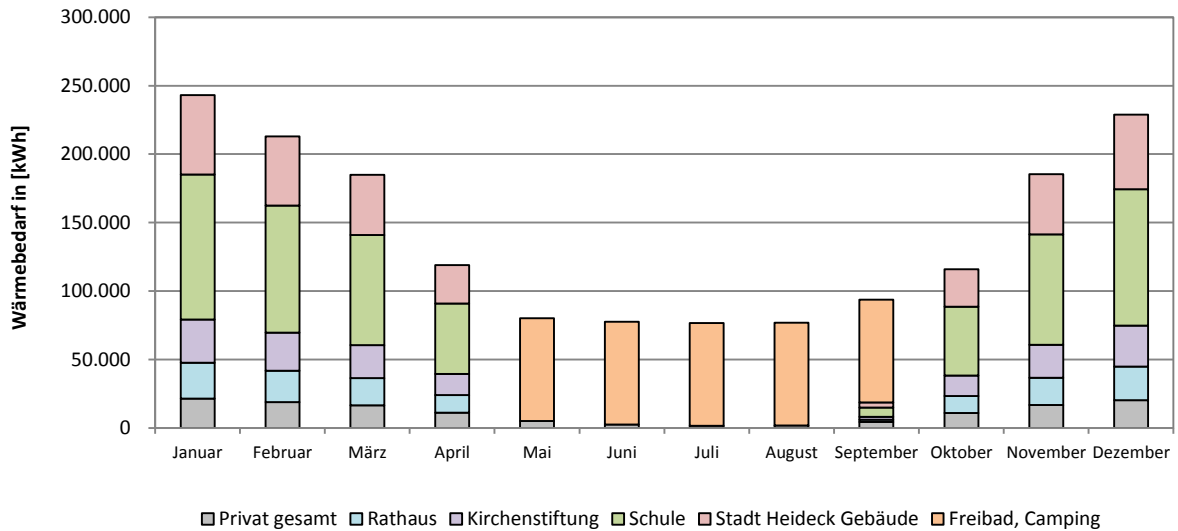


**Abbildung 2: Der Nutzwärmebedarf der einzelnen Liegenschaften**

Der Nutzwärmebedarf in Abbildung 2 der einzelnen Liegenschaften ergibt sich aus den Brennstoffverbräuchen und dem Nutzungsgrad der Heizungsanlage. Dieser ist vom eingesetzten System und vom Alter der Heizungsanlage abhängig. In Summe ergibt sich ein Nutzwärmebedarf für die betrachteten Liegenschaften im Wärmeverbund von rund 1.695.000 kWh pro Jahr.

Der jährliche Gesamtwärmebedarf der Nahwärmeverbundlösung ergibt sich aus dem Nutzwärmebedarf der Abnehmer und dem Netzverlust. Der Netzverlust ist abhängig von der gewählten Netzvariante.

Mit Hilfe der sogenannten Gradtagsmethode der VDI-Richtlinie 2067 können die monatlichen Bedarfswerte vom Jahreswärmebedarf abgeleitet werden. Die Grundidee der Gradtagsmethode basiert auf empirisch ermittelten Monatsbedarfswerten und deren Anteil am Jahresbedarf. In Abbildung 3 ist der monatliche Gesamtwärmebedarf dargestellt.



**Abbildung 3: Der witterungsbereinigte Wärmebedarf der Abnehmer**

Anhand des monatlichen Wärmebedarfs wird in Abbildung 3 die geordnete Jahresdauerlinie des thermischen Energiebedarfs erstellt. Die geordnete Jahresdauerlinie ist das zentrale Instrument für den Anlagenplaner. Die Fläche unter der Jahresdauerlinie entspricht dem Jahresnutzwärmebedarf. Idealerweise sollten sich die meist modular aufgebauten, das heißt in Grund- und Spitzenlastabdeckung unterteilten Heizanlagenssysteme der Jahresdauerlinie annähern.

Werden Wärmeerzeuger in der Grafik flächendeckend eingetragen, kann auf die Laufzeiten und den Anteil an der Jahreswärmebereitstellung der einzelnen Wärmeerzeuger geschlossen werden. Die zu installierende Spitzenleistung richtet sich nach Kennwerten der Kesselvollbenutzungsstunden und dem Wärmebedarf. Dies beruht nicht auf einer Heizlastberechnung und ersetzt nicht die technische Detailplanung.

## 2.2 Der Strombedarf der Liegenschaften

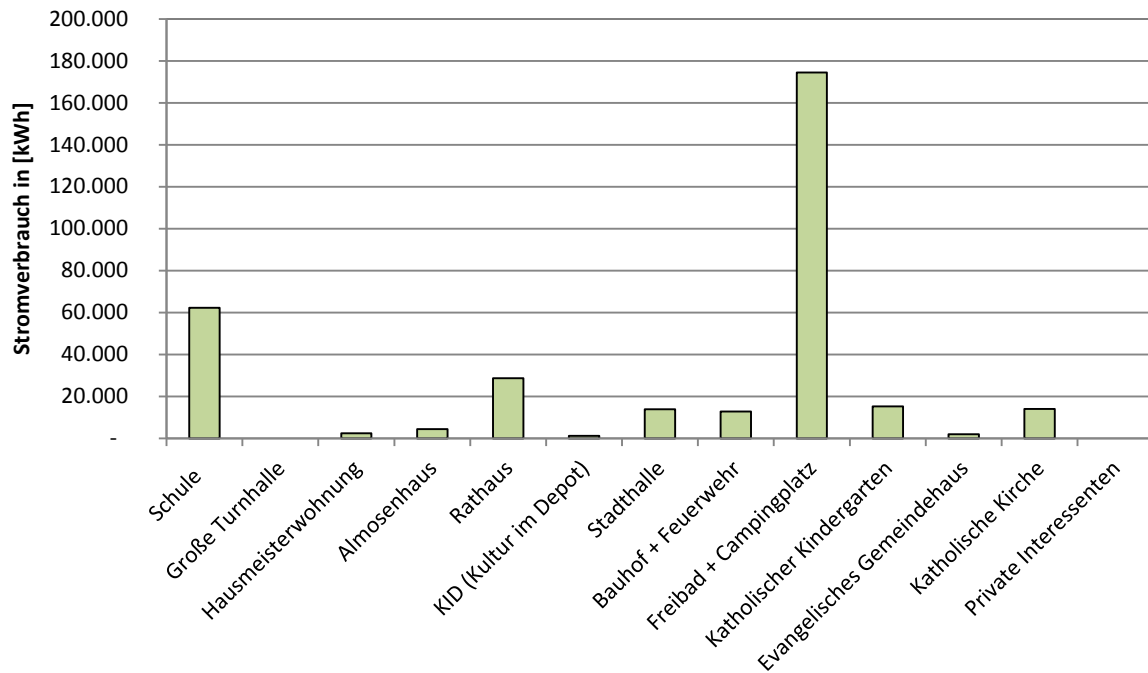


Abbildung 4: Der elektrische Stromverbrauch

Die Abbildung 4 stellt den elektrischen Stromverbrauch der einzelnen Liegenschaften dar. Den höchsten Stromverbrauch hat das Freibad mit Campingplatz gefolgt von der Schule in Heideck. Anhand des Stromverbrauchs kann auf die notwendige Größe eines Blockheizkraftwerks geschlossen werden, um eine maximale Stromeigennutzung zu gewährleisten.



### 3 Die mögliche Leitungsführung der Nahwärmenetzvarianten

Nachfolgend werden die einzelnen Teilabschnitte der Nahwärmeleitungen zu den jeweiligen Abnehmern dargestellt. Die einzelnen Teilabschnitte werden anschließend in einer Zusammenfassung aufgelistet und auf Ihre Wirtschaftlichkeit untersucht.

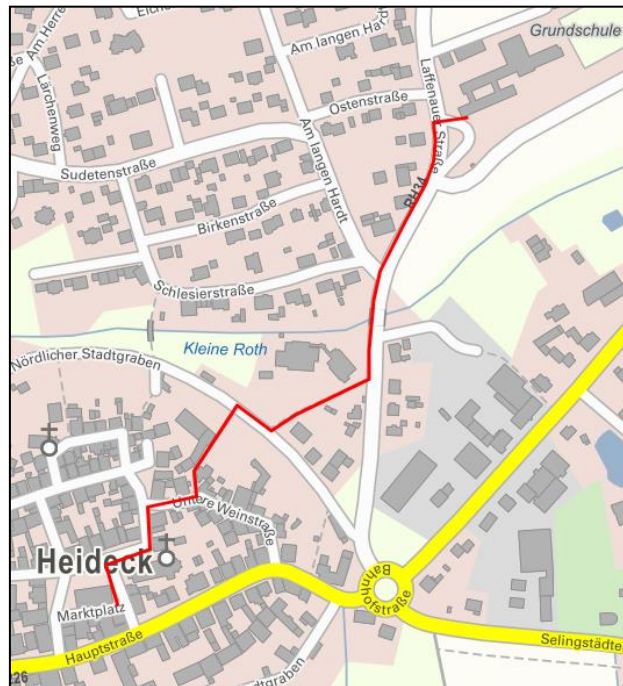


Abbildung 5: Das Nahwärmenetz, Hauptleitung zum Rathaus, Netzvariante I

Die Abbildung 5 stellt die Hauptleitung zwischen Schule und Rathaus dar. Die Heizzentrale ist in diesem Fall am Schulzentrum geplant, wobei dieser Standort nahezu frei an der Haupttrasse gewählt werden kann. Es wäre jedoch sinnvoll diesen an einem Ort mit hohem Wärmeverbrauch und ausreichend Platz für eine Biomasseheizung oder einen Raum bzw. Anbau für ein Blockheizkraftwerk zu planen.

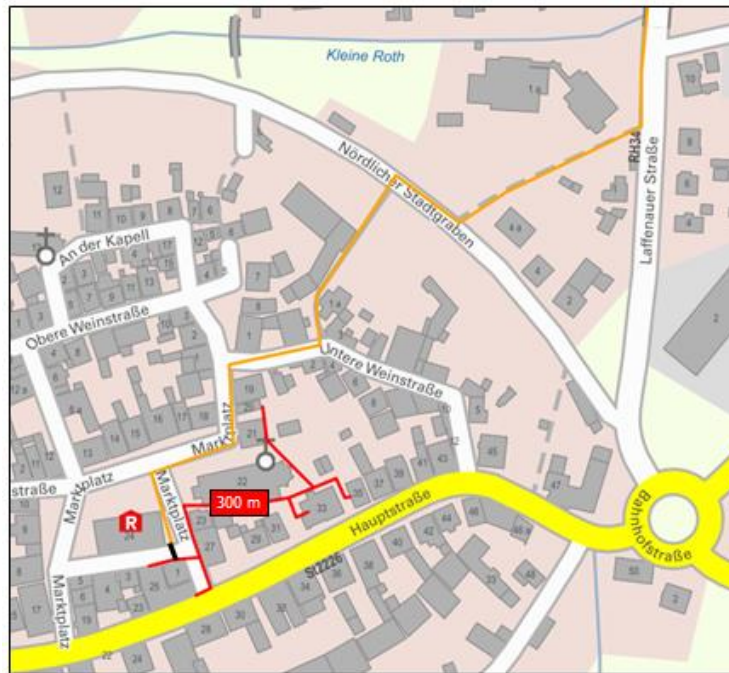


Abbildung 6: Das Nahwärmenetz, Katholische Kirche und Privatgebäude, Netzvariante II

Die Abbildung 6 stellt das Nahwärmenetz für die Gebäude der Katholischen Kirche und Privatgebäude dar. Die Netzvariante II und die weiteren Netzvarianten sind somit aufbauend auf Netzvariante I.

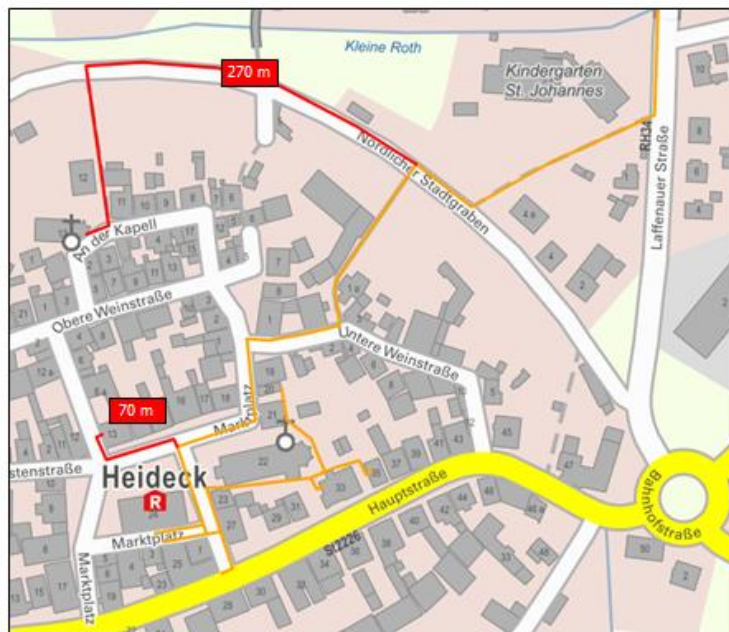


Abbildung 7: Das Nahwärmenetz, öffentliche Gebäude, Netzvariante III

Die Abbildung 7 stellt das Nahwärmenetz für den Anschluss der öffentlichen Gebäude der Stadt Heideck dar. Die öffentlichen Gebäude beinhalten das Almosenhaus, das KID (Kultur im Depot), der katholische Kindergarten und das evangelische Gemeindehaus. Die Netzvariante III kann an die Hauptleitung der Netzvariante I angeschlossen werden.



Abbildung 8: Das Nahwärmenetz, FFW-Haus und Stadthalle, Netzvariante IV

Die Abbildung 8 stellt das Nahwärmenetz für den Anschluss der Stadthalle und dem Feuerwehrhaus mit Bauhof dar. Die Netzvariante IV kann an die Nahwärmeleitung von Netzvariante III angeschlossen werden.



Abbildung 9: Das Nahwärmenetz zum Freibad, Netzvariante V

Die Abbildung 9 stellt das Nahwärmenetz für den Anschluss des Freibads dar. Die Netzvariante V kann an die Nahwärmeleitung von Netzvariante IV angeschlossen werden.

Verbraucher	Wärmebedarf in [kWh]	Leitungslänge in [m]	Wärmebelegung in [kWh/m/a]	Wärmebelegung [kWh/m/a]				
				Netzvariante I	Netzvariante II	<b>Netzvariante III</b>	Netzvariante IV	Netzvariante V
Schule	568.000	20	28.400	1.056	1.041	<b>916</b>	629	470
Rathaus (Hauptleitung)	140.000	650	215					
Katholische Kirche	170.000	180	945					
Privatgebäude	132.000	120	1.100					
Gebäude Stadt Heideck	190.000	340	560					
Stadthalle, FFW + Bauhof	120.000	790	155					
Freibad	375.000	1.500	250					

Abbildung 10: Die Betrachtung der einzelnen Netzvarianten

Die Abbildung 10 stellt die einzelnen Netzvarianten mit dem jährlichen Wärmebedarf der einzelnen Verbraucher dar. Die Wärmebelegung bleibt bis Netzvariante III auf einem nahezu konstant hohen Niveau bei rund 1.000 kWh/m/a und erfüllt somit deutlich die Fördergrenze von 500 kWh/m/a. In Netzvariante IV sinkt die Wärmebelegung deutlich ab, da die Liegenschaften einen geringen Wärmeverbrauch haben und diese nur mit einer Wärmeleitungslänge von 790 m erreicht werden könnten. Die Wärmebelegung in Netzvariante V ist nochmals deutlich niedriger, dies liegt an der hohen Entfernung zwischen Freibad und den übrigen Gebäuden der Stadt Heideck. Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wird der jährliche Wärmebedarf auf die Leitungslänge bezogen und daraus eine Wärmebelegung in [kWh/m/a] berechnet. Mithilfe dieser Wärmebelegung kann nun geprüft werden ob eine Wärmebelegung von mindestens 500 kWh/m/a erreicht wird.

## 4 Die Energieversorgungsvarianten der Wärmenetzvariante III

Für die Kalkulation des Wärmenetzes wird die Netzvariante III gewählt. Wie bereits in der Abbildung 10 beschrieben hat diese Variante eine ausreichend hohe Wärmebelegung, was für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendig ist und eine Förderung für das Wärmenetz ermöglicht.

### 4.1 Variante A1: Die dezentrale Versorgung

Die dezentrale Wärmeversorgung aus einem Heizölkessel wird in Variante 2.1 dargestellt. Diese wird nachfolgend unter Punkt A1 geführt und dient somit als Referenzvariante.

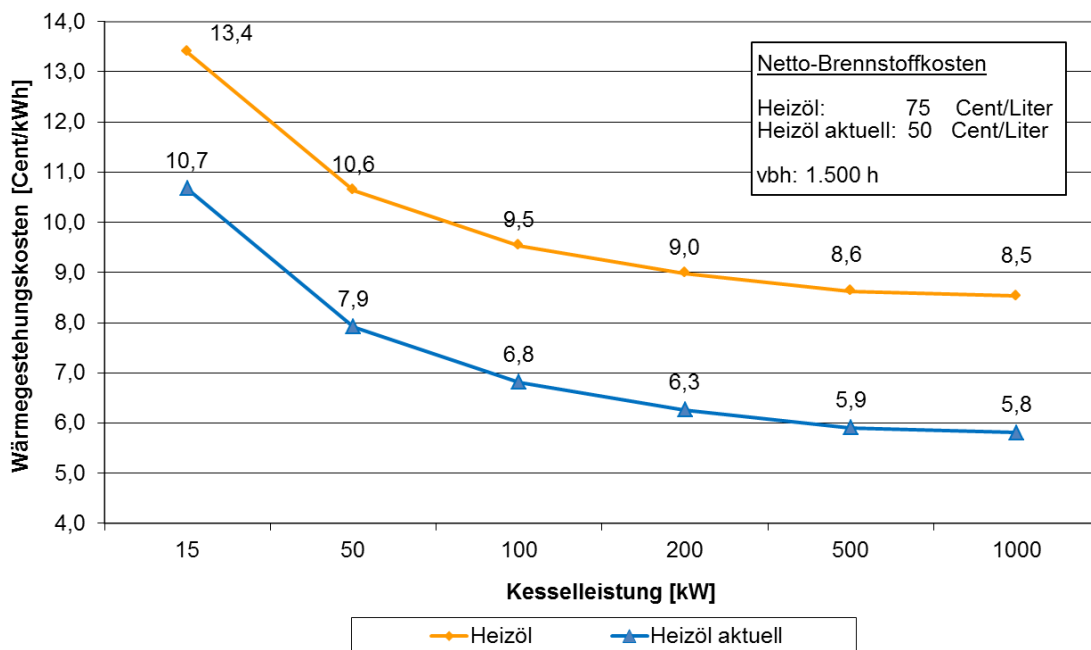


Abbildung 11: Die Wärmegestehungskosten der dezentralen Versorgung

In Abbildung 11 werden die Wärmegestehungskosten für eine Erneuerung der bestehenden dezentralen Heizölkessel betrachtet. Der Heizölpreis wird einmal mit 50 Cent/Liter „aktuell“ und einmal mit 50 % Preissteigerung angenommen. Je nach Anlagengröße variieren die Wärmegestehungskosten. Die neuen Heizölkessel haben gegenüber den Bestandskesseln einen höheren Wirkungsgrad und deshalb geringere Wärmegestehungskosten. Es sollte jedoch beachtet werden, dass für den Einsatz eines Heizöl-Brennwertkessels das Heizungssystem an die niedrigere Vorlauftemperatur und der Kamin an die geringere Rauchgastemperatur mit Kondensatanfall angepasst werden müsste.

## 4.2 Die geordnete thermische Jahresdauerlinie der Nahwärmenetzvariante III

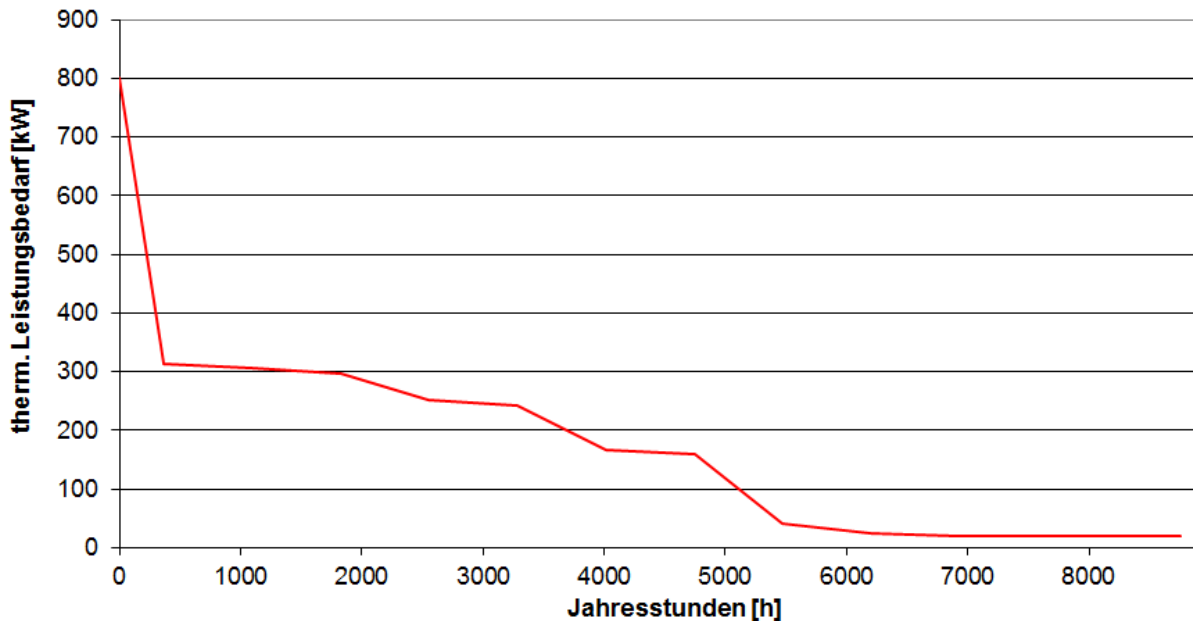


Abbildung 12: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie der Nahwärmenetzvariante III, A

In Abbildung 12 ist die geordnete thermische Jahresdauerlinie der Liegenschaften von Nahwärmenetzvariante III dargestellt. Die Fläche unterhalb der geordneten thermischen Jahresdauerlinie entspricht der jährlich benötigten Wärmemenge im Wärmenetz. Die Werte wurden aus einem Verbrauchsmittelwert des vergangenen Jahres gebildet und mit einem jahresspezifischen Faktor der Gradtagzahlen bereinigt, welche abhängig von der Region den Verbrauch abhängig von der Jahresmitteltemperatur anpassen. Die Spitzenlast von bis zu 800 kW wird nur an sehr wenigen Stunden im Jahr benötigt. Der Energiebedarf oberhalb von 5.000 Stunden wird für die Warmwasserbereitung benötigt.

Wärmenetz III, A1	Wärmenetz III, A2	Wärmenetz III, A3	Wärmenetz III, A4	Wärmenetz III, A5	Wärmenetz III, A6
Dezentrale Heizkessel	300 kW Pelletkessel	300 kW Hackgutkessel	22 kWel Gas-BHKW	33 kWel Gas-BHKW	50 kWel Gas-BHKW
	2 x Heizkessel	2 x Heizkessel	250 kWth Hackgutkessel	230 kWth Hackgutkessel	200 kWth Hackgutkessel
			2 x Heizkessel	2 x Heizkessel	2 x Heizkessel

Abbildung 13: Die Übersicht der Energieversorgungsvarianten des Nahwärmenetzes

Die Abbildung 13 stellt eine Übersicht der Energieversorgungsvarianten des Wärmenetzes nach Variante III dar.

### 4.3 Variante A2: Der Holzpelletkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel

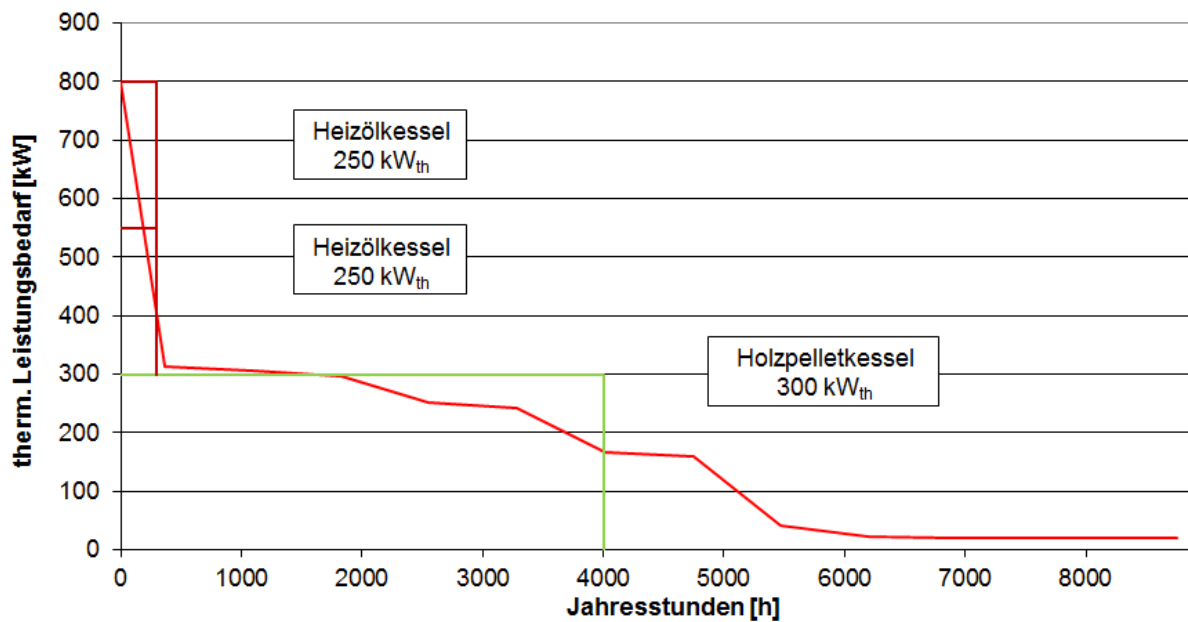


Abbildung 14: Die Variante A2 mit einem Holzpelletkessel

In Abbildung 14 wird das Wärmenetz mit einem Holzpelletkessel mit 300 kW<sub>th</sub> und zwei Heizölkessel mit insgesamt 500 kW<sub>th</sub> versorgt. Der Holzpelletkessel dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Holzpelletkessel oder an sehr kalten Wintertagen zu, wenn mehr als 300 kW thermische Leistung benötigt werden. Die beiden Heizölkessel sind als Spitzenlastkessel in die Versorgung eingebunden. Die Leistung des Holzpelletkessel kann stufenlos bis auf 50 % der Nennleistung gefahren werden. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Aufgrund des regenerativen Energieträgers bringt diese Variante einen geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit sich.

#### 4.4 Variante A3: Der Hackgutkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel

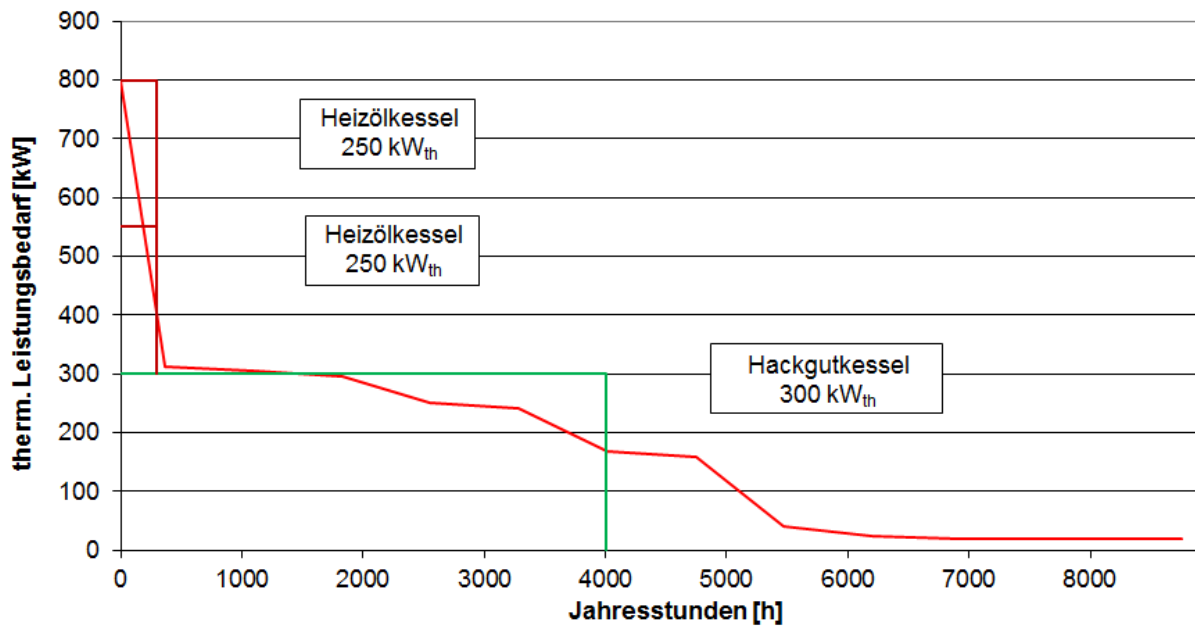


Abbildung 15: Die Variante A3 mit einem Hackgutkessel

In Abbildung 15 wird das Wärmenetz mit einem Hackgutkessel mit 300 kW<sub>th</sub> und zwei Heizölkessel mit insgesamt 500 kW<sub>th</sub> versorgt. Der Hackgutkessel dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Hackgutkessel oder an sehr kalten Wintertagen zu, wenn mehr als 300 kW thermische Leistung benötigt werden. Die beiden Heizölkessel sind als Spitzenlastkessel in die Versorgung eingebunden. Die Leistung des Hackgutkessels kann stufenlos bis auf 50 % der Nennleistung gefahren werden. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Der regenerative Energieträger Hackgut bringt einen geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit sich.



#### 4.5 Variante A4: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel und Heizöl-Spitzenlastkessel

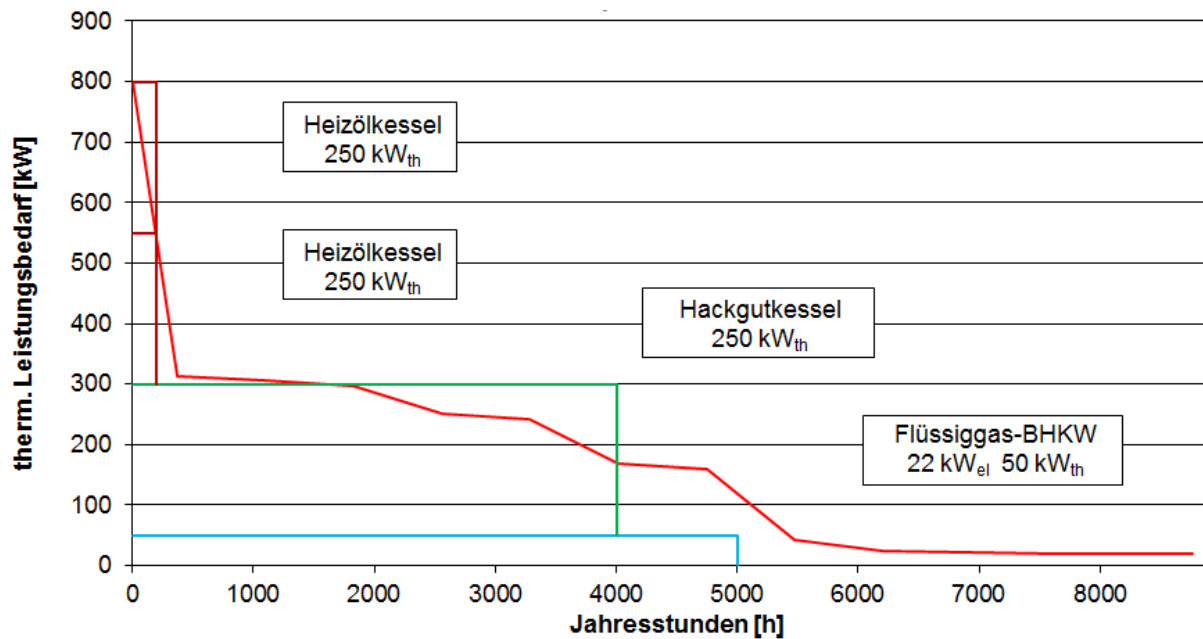


Abbildung 16: Die Variante A4 mit einem 22 kW<sub>el</sub> Flüssiggas-BHKW

In Abbildung 16 wird das Wärmenetz mit einem Flüssiggas-Blockheizkraftwerk, einem Hackgutkessel mit 250 kW<sub>th</sub> und zwei Heizölkessel mit insgesamt 500 kW<sub>th</sub> versorgt. Das BHKW hat eine elektrische Leistung von 22 kW und ist für eine maximale Stromeigennutzung ausgelegt, es erreicht eine thermische Leistung von 50 kW. Der Hackgutkessel dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Hackgutkessel oder an sehr kalten Wintertagen zu, wenn mehr als 300 kW thermische Leistung benötigt werden. Die beiden Heizölkessel sind als Spitzenlastkessel in die Versorgung eingebunden. Die Leistung des Hackgutkessels kann stufenlos bis auf 50 % der Nennleistung gefahren werden. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Der regenerative Energieträger Hackgut bringt einen geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit sich.

#### 4.6 Variante A5: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel und Heizöl-Spitzenlastkessel

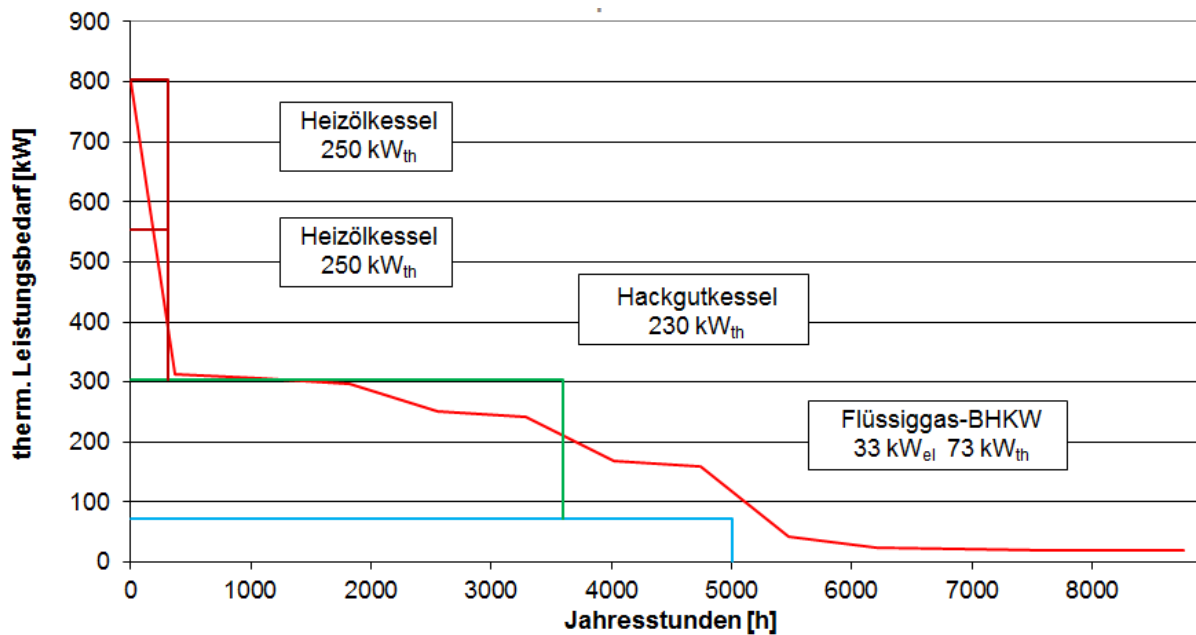


Abbildung 17: Die Variante A5 mit einem 33 kW<sub>el</sub> Flüssiggas-BHKW

In Abbildung 17 wird das Wärmenetz mit einem Flüssiggas-Blockheizkraftwerk, einem Hackgutkessel mit 230 kW<sub>th</sub> und zwei Heizölkessel mit insgesamt 500 kW<sub>th</sub> versorgt. Das BHKW hat eine elektrische Leistung von 33 kW und erreicht eine thermische Leistung von 73 kW. Der Hackgutkessel dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Hackgutkessel oder an sehr kalten Wintertagen zu, wenn mehr als 300 kW thermische Leistung benötigt werden. Die beiden Heizölkessel sind als Spitzenlastkessel in die Versorgung eingebunden. Die Leistung des Hackgutkessels kann stufenlos bis auf 50 % der Nennleistung gefahren werden. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Der regenerative Energieträger Hackgut bringt einen geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit sich.

#### 4.7 Variante A6: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel und Heizöl-Spitzenlastkessel

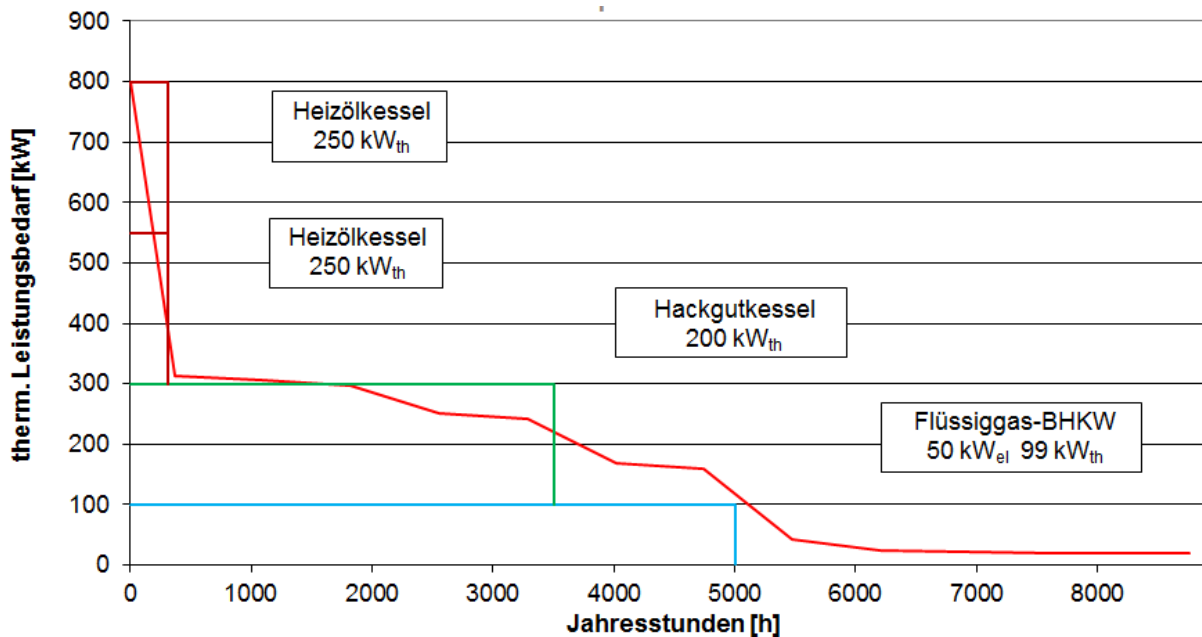


Abbildung 18: Die Variante A5 mit einem 50 kWel Flüssiggas-BHKW

In Abbildung 18 wird das Wärmenetz mit einem Flüssiggas-Blockheizkraftwerk, einem Hackgutkessel mit 200 kW<sub>th</sub> und zwei Heizölkessel mit insgesamt 500 kW<sub>th</sub> versorgt. Das BHKW hat eine elektrische Leistung von 50 kW und ist für eine maximale Stromeigennutzung im Freibad ausgelegt, es erreicht eine thermische Leistung von 99 kW. Das BHKW aus dieser Variante A6 welche nur in den Wintermonaten Heizwärme benötigt wird in der Variante B3 in den Sommermonaten im Freibad eingesetzt. Das BHKW ist für diesen „Umzug“ als mobile Version auf einen Anhänger aufgebaut und besitzt Schnellverschlüsse für einen raschen Auf- und Abbau der Anlage. Der Hackgutkessel dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Hackgutkessel oder an sehr kalten Wintertagen zu, wenn mehr als 300 kW thermische Leistung benötigt werden. Die Leistung des Hackgutkessels kann stufenlos bis auf 50 % der Nennleistung gefahren werden. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Der regenerative Energieträger Hackgut bringt einen geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit sich.

## 5 Die dezentrale Energieversorgung des Freibads in Heideck

Nachfolgend werden mögliche Energieversorgungsvarianten für das Freibad der Stadt Heideck dargestellt. Der Energiebedarf der letzten Jahre dient als Grundlage zur Ermittlung des Wärmebedarfs am Freibad. Im Rahmen der aktuellen Renovierung wird ebenfalls eine Solarthermieranlage verbaut.

### 5.1 Die geordnete thermische Jahresdauerlinie des Freibads

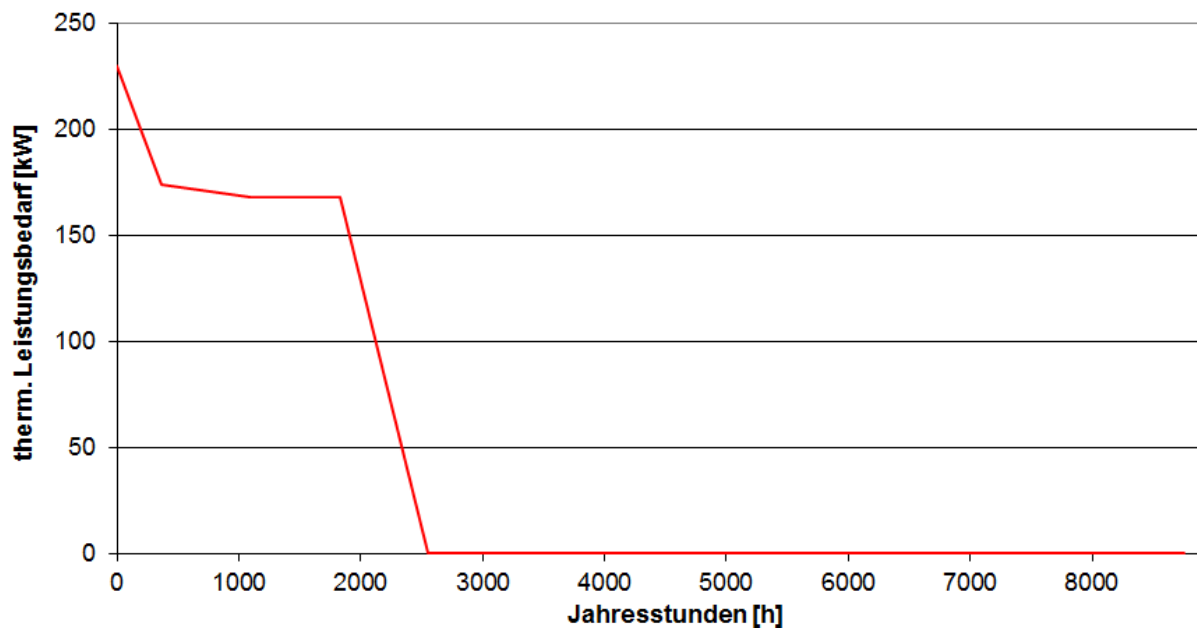


Abbildung 19: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie des Freibads

In Abbildung 19 ist die geordnete thermische Jahresdauerlinie des Freibads dargestellt. Die Fläche unterhalb der geordneten thermischen Jahresdauerlinie entspricht der jährlich benötigten Wärmemenge zur Beheizung der Gebäude und der Becken im Freibad. Die Werte wurden aus einem Verbrauchsmittelwert des vergangenen Jahres gebildet und mit einem jahresspezifischen Faktor der Gradtagszahlen bereinigt, welche abhängig von der Region den Verbrauch abhängig von der Jahresmitteltemperatur anpassen.

Freibad dezentral, B1	Freibad dezentral, B2	Freibad dezentral, B3	Freibad dezentral, B4
Solarthermie	Solarthermie	Solarthermie	Solarthermie
Heizölkessel	Pelletkessel	50 kWel Gas-BHKW mobil	50 kWel Gas-BHKW stationär
		Heizölkessel	Heizölkessel

Abbildung 20: Die Übersicht der Energieversorgungsvarianten am Freibad

Die Abbildung 20 stellt eine Übersicht über die Energieversorgungsvarianten am Freibad dar. In der Variante B3 wird in den Sommermonaten das mobile BHKW aus der Heizzentrale des Nahwärmenetzes eingesetzt.

## 5.2 Variante B1: Die Solarthermieanlage mit einem Heizölkessel

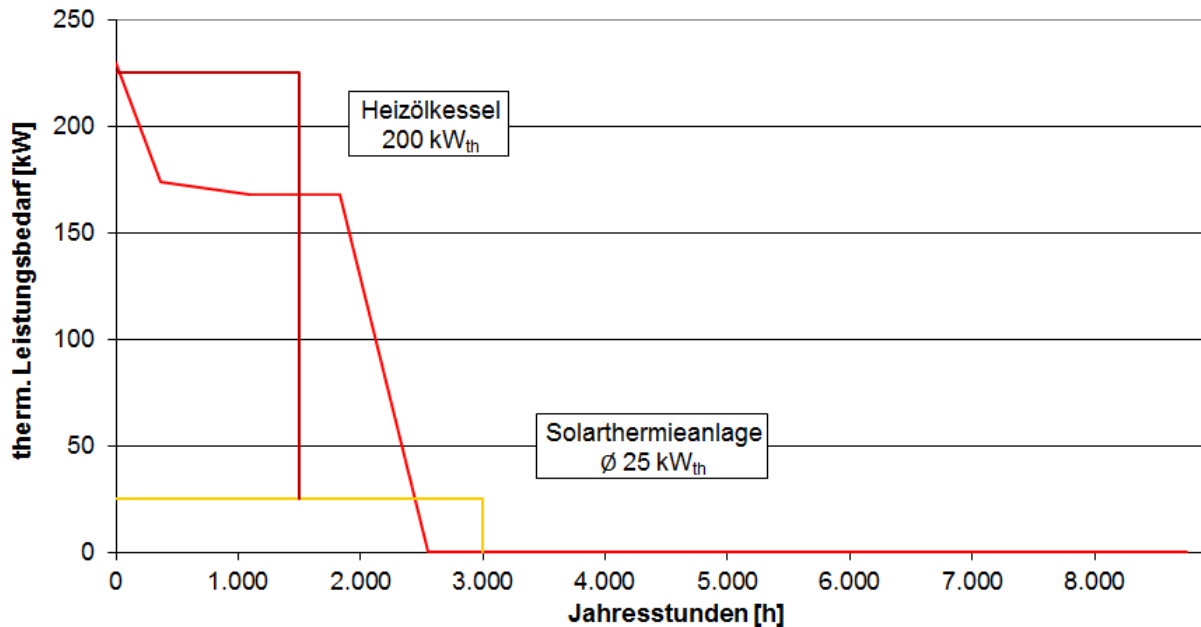


Abbildung 21: Die Variante B1 mit einer Solarthermieanlage und einem Heizölkessel

In Abbildung 21 wird die Energieversorgung des Freibads mit einem Heizölkessel mit 200 kW<sub>th</sub> und einer Solarthermieanlage versorgt. Die Solarthermieanlage hat eine Fläche von 340 m<sup>2</sup> und ermöglicht einen maximalen Wärmeertrag von bis zu 100.000 kWh pro Jahr, bei idealer Sonnenscheindauer. Die Solarthermieanlage dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet bei Bedarf zu.

### 5.3 Variante B2: Die Solarthermieanlage mit einem Pelletkessel

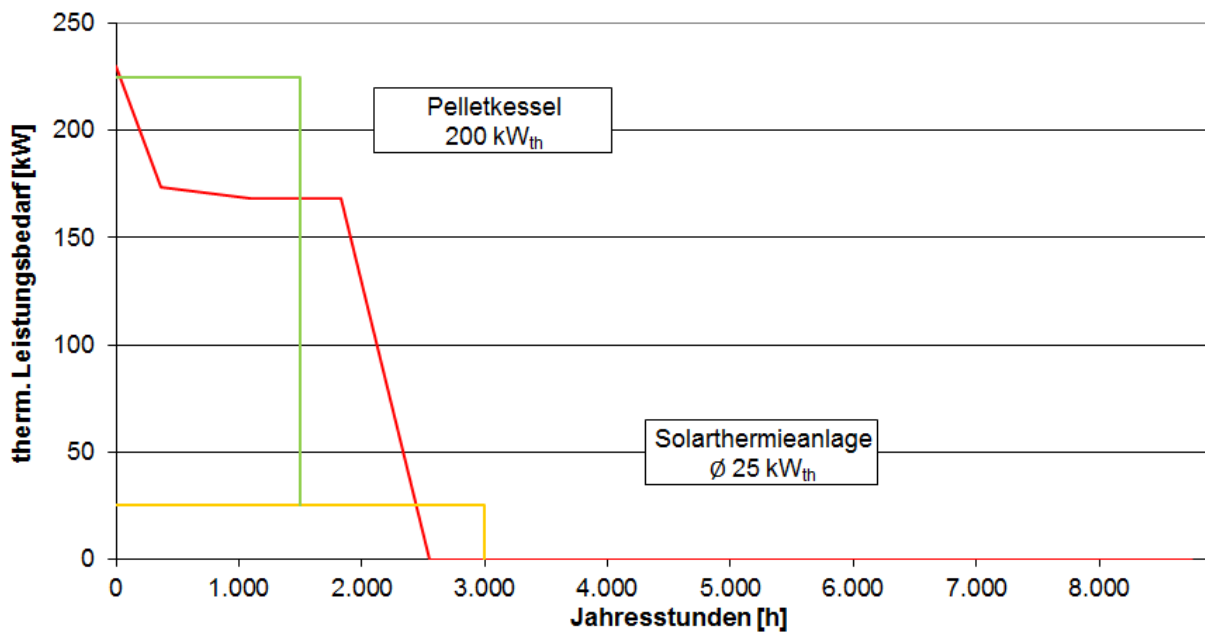


Abbildung 22: Die Variante B2 mit einer Solarthermieanlage und einem Pelletkessel

In Abbildung 22 wird die Energieversorgung des Freibads mit einem Pelletkessel mit 200 kW<sub>th</sub> und einer Solarthermieanlage mit 25 kW<sub>th</sub> versorgt. Die Solarthermieanlage dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet bei Bedarf zu. Die Solarthermieanlage hat eine Fläche von 340 m<sup>2</sup> und ermöglicht einen maximalen Wärmeertrag von bis zu 100.000 kWh pro Jahr, bei idealer Sonnenscheindauer. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden.

#### 5.4 Variante B3: Die Solarthermieanlage mit einem mobilen Flüssiggas-BHKW

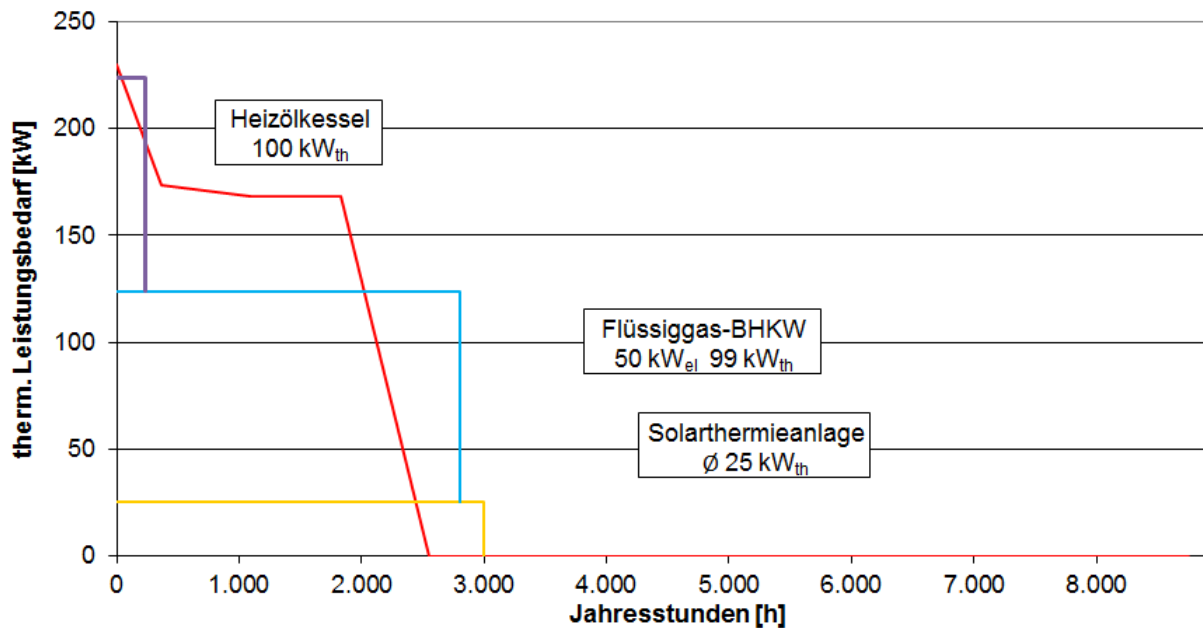


Abbildung 23: Die Variante B3 mit einer Solarthermieanlage und einem mobilen Flüssiggas-BHKW

In Abbildung 23 wird die Energieversorgung des Freibads mit einem mobilen Flüssiggas-BHKW mit 50 kW<sub>el</sub> und 99 kW<sub>th</sub>, einem Heizölkessel mit 100 kW<sub>th</sub> und einer Solarthermieanlage mit 25 kW<sub>th</sub> versorgt. Die Solarthermieanlage dient als Grundlasterzeuger, der Heizölkessel schaltet bei Bedarf zu. Die Solarthermieanlage hat eine Fläche von 340 m<sup>2</sup> und ermöglicht einen maximalen Wärmeertrag von bis zu 100.000 kWh pro Jahr, bei idealer Sonnenscheindauer. Durch den Einsatz eines Pufferspeichers kann die Betriebszeit des BHKW ebenfalls erhöht und ein häufiges „tackten“ vermieden werden.

## 5.5 Variante B4: Die Solarthermieanlage mit einem stationären Flüssiggas-BHKW

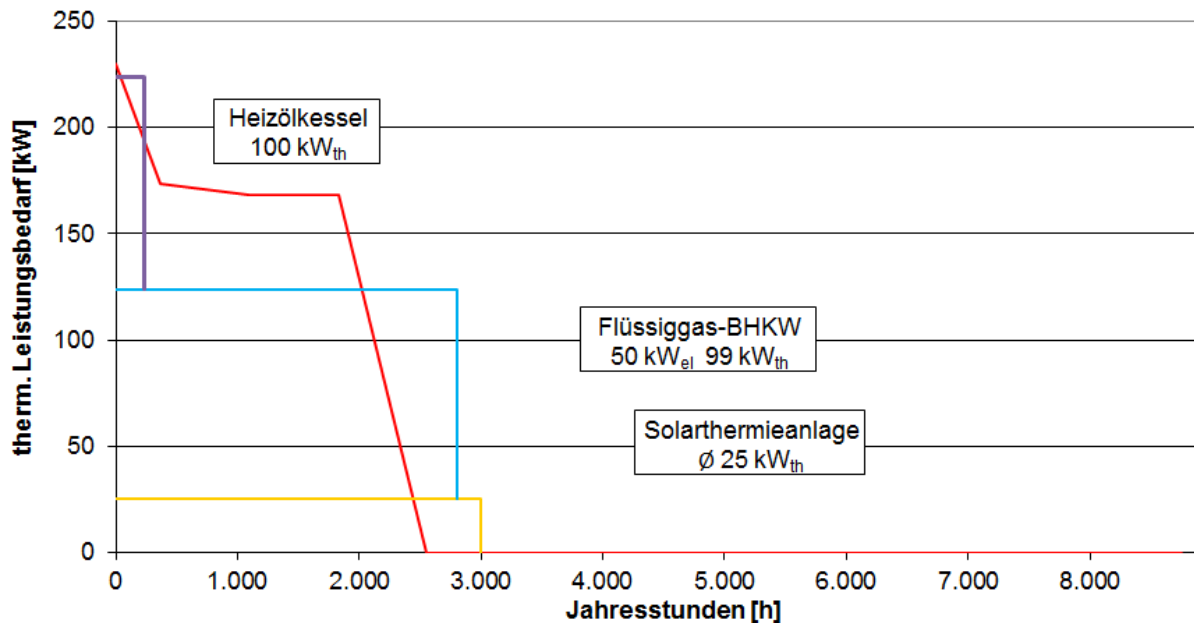


Abbildung 24: Die Variante B4 mit einer Solarthermieanlage und einem stationären Flüssiggas-BHKW

In Abbildung 24 wird die Energieversorgung des Freibads mit einem stationären Flüssiggas-BHKW mit 50 kW<sub>el</sub> und 99 kW<sub>th</sub>, einem Heizölkessel mit 100 kW<sub>th</sub> und einer Solarthermieanlage mit 25 kW<sub>th</sub> versorgt. Die Solarthermieanlage dient als Grundlastherzeuger, der Heizölkessel schaltet bei Bedarf zu. Durch den Einsatz eines Pufferspeichers kann die Betriebszeit des BHKW ebenfalls erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden.

## 5.6 Das Potential am Freibad: Abwärme aus einem Industriebetrieb

Im Rahmen der Untersuchung einer effizienten Energieversorgung wurden auch anliegende Industriebetriebe auf ein mögliches Abwärmepotential befragt.

- Die Bäckerei Schmidt KG:

Der technische Leiter der Bäckerei bestätigt aktuell den Generalumbau der Backstube. Die Firma Schmid KG ist gegenüber einer Wärmelieferung an das Freibad nicht abgeneigt, kann dies aber erst nach dem Umbau der Backstube im Sommer 2018 mitteilen.

- Die Heibad Badmöbel Vertriebs GmbH:

In den Sommermonaten ist nur teilweise Überschusswärme vorhanden, das bedeutet die Abwärme ist für eine kontinuierliche Beheizung nicht ausreichend. Die Anfrage wurde mit dem Geschäftsführer Herrn Schmidpeter abgestimmt.



## 6 Die dezentrale Energieversorgung der Schule in Heideck

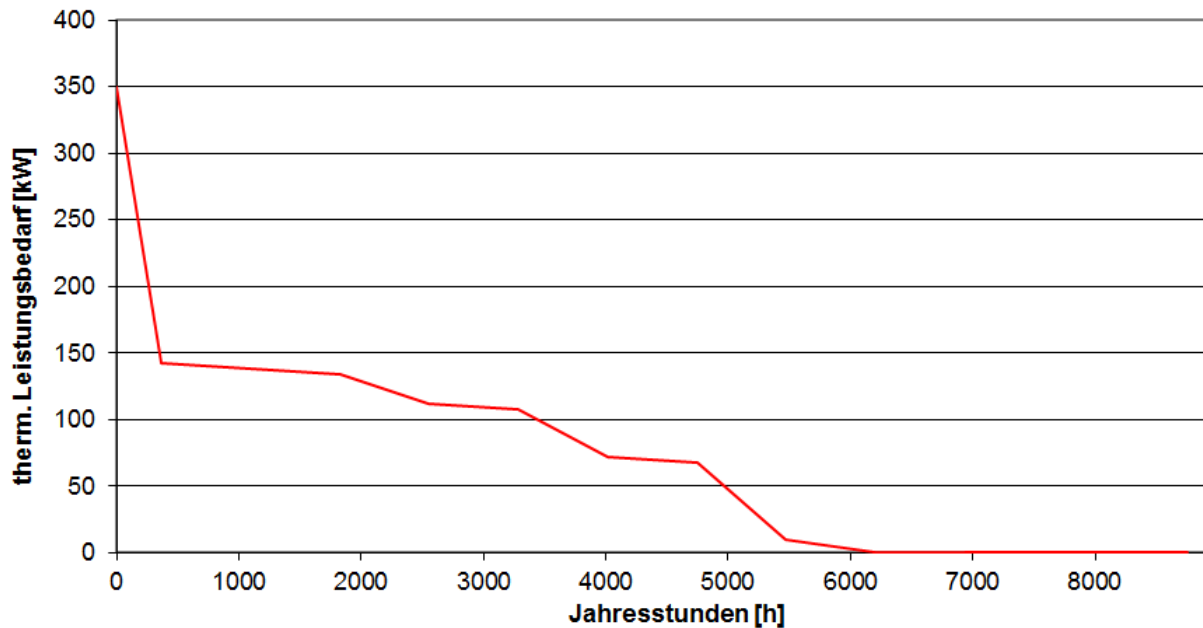


Abbildung 25: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie für die Schule in Heideck

In Abbildung 25 ist die geordnete thermische Jahresdauerlinie des Schulzentrums in Heideck dargestellt. Die Fläche unterhalb der geordneten thermischen Jahresdauerlinie entspricht der jährlich benötigten Wärmemenge zur Beheizung des gesamten Schulzentrums. Die Werte wurden aus einem Verbrauchsmittelwert der vergangenen Jahre gebildet und mit einem jahresspezifischen Faktor der Gradtagszahlen bereinigt, welche abhängig von der Region den Verbrauch abhängig von der Jahresmitteltemperatur anpassen.

Schule dezentral, C1	Schule dezentral, C2	Schule dezentral, C3	Schule dezentral, C4	Schule dezentral, C5
2 x Heizölkessel	140 kW Pelletkessel	140 kW Hackgutkessel	19 kWel Gas-BHKW	19 kWel Gas-BHKW
	2 x Heizölkessel	2 x Heizölkessel	Pelletkessel	Hackgutkessel
			2 x Heizölkessel	2 x Heizölkessel

Abbildung 26: Die Übersicht der Energieversorgungsvarianten an der Schule

Die Abbildung 26 stellt eine Übersicht zu den Energieversorgungsvarianten der dezentralen Versorgung des Schulzentrums dar.

### 6.1 Variante C1: Die Referenzvariante mit zwei Heizölkessel

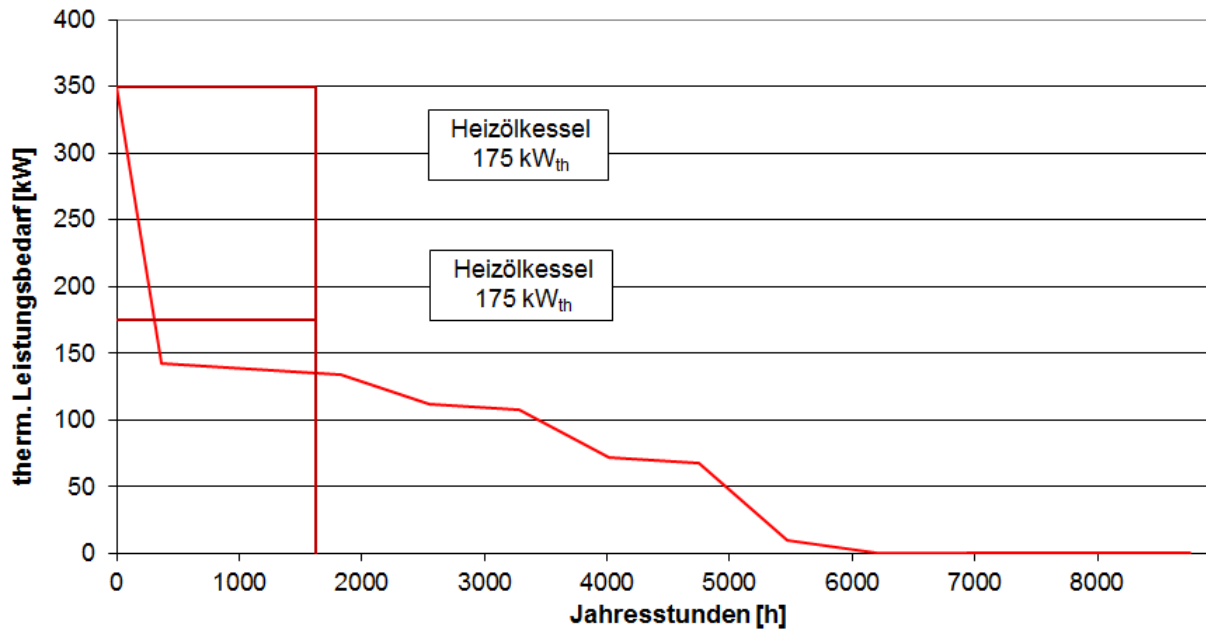


Abbildung 27: Die Referenzvariante mit Heizölkessel C1

Die Abbildung 27 stellt die Referenzvariante C1 für die Beheizung des Schulzentrums dar. Die bestehenden Heizölkessel werden durch neue Kessel ersetzt um somit die Referenz zu den anderen Varianten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren darstellen zu können.

### 6.2 Variante C2: Der Holzpelletkessel mit Heizölspitzenlastkessel

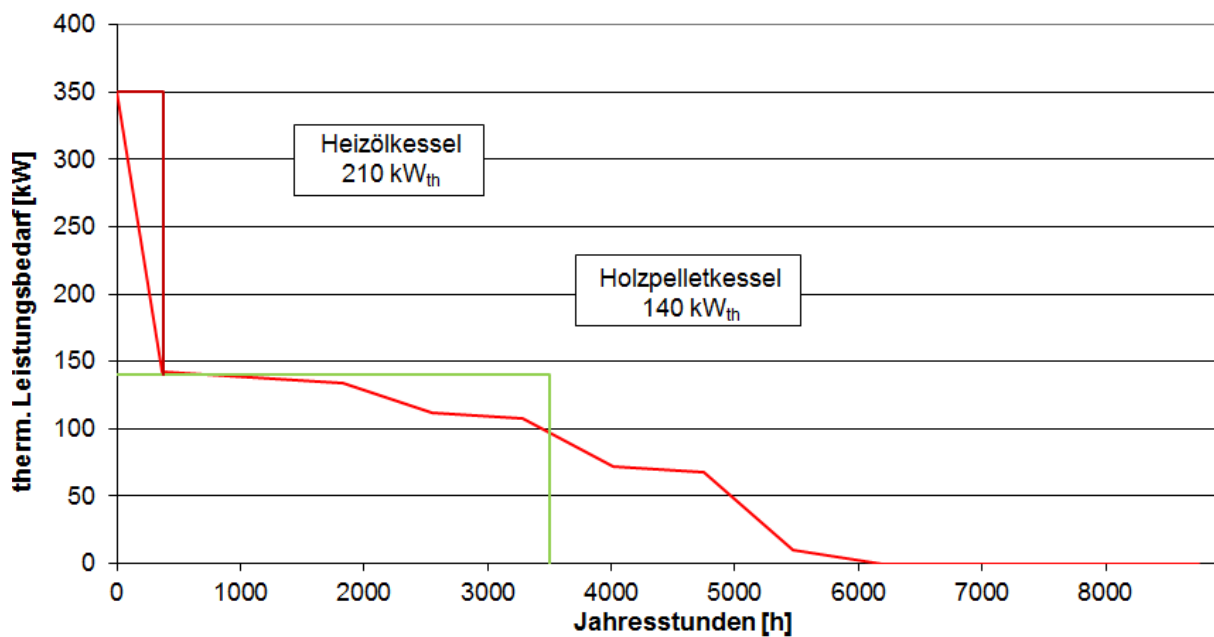


Abbildung 28: Der Pelletkessel mit einem Heizölspitzenlastkessel C2

In Abbildung 28 wird die Variante C2 zur Beheizung der Schule mit einem Holzpelletkessel als Grundlasterzeuger und einem Heizölkessel zur Spitzenlastabdeckung dargestellt. Der Biomassekessel wird somit nur an sehr kalten Wintertagen oder bei einer Wartung des Pelletkessel benötigt. Der Biomassekessel kann die thermische Leistung bis auf 50 % reduzieren. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Aufgrund des regenerativen Energieträgers hat diese Variante einen sehr geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

### 6.3 Variante C3: Der Hackgutkessel mit Heizöl-Spitzenlastkessel

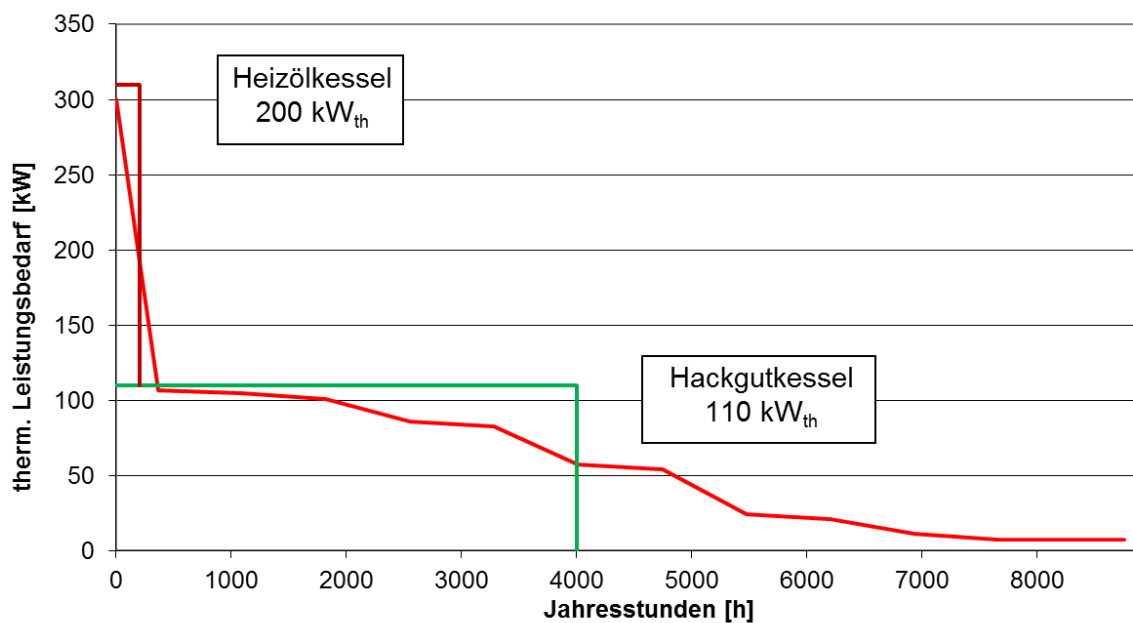


Abbildung 29: Der Hackgutkessel mit einem Heizöl-Spitzenlastkessel C3

In Abbildung 29 wird die Variante C3 mit einem Hackgutkessel und einem Heizöl-Spitzenlastkessel dargestellt. Der Hackgutkessel dient als Grundlasterzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Hackgutkessels oder bei einem hohen thermischen Bedarf zu. Der Biomassekessel kann die thermische Leistung bis auf 50 % reduzieren. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Aufgrund des regenerativen Energieträgers hat diese Variante einen sehr geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

## 6.4 Variante C4: Das Flüssiggas-BHKW mit Pelletkessel

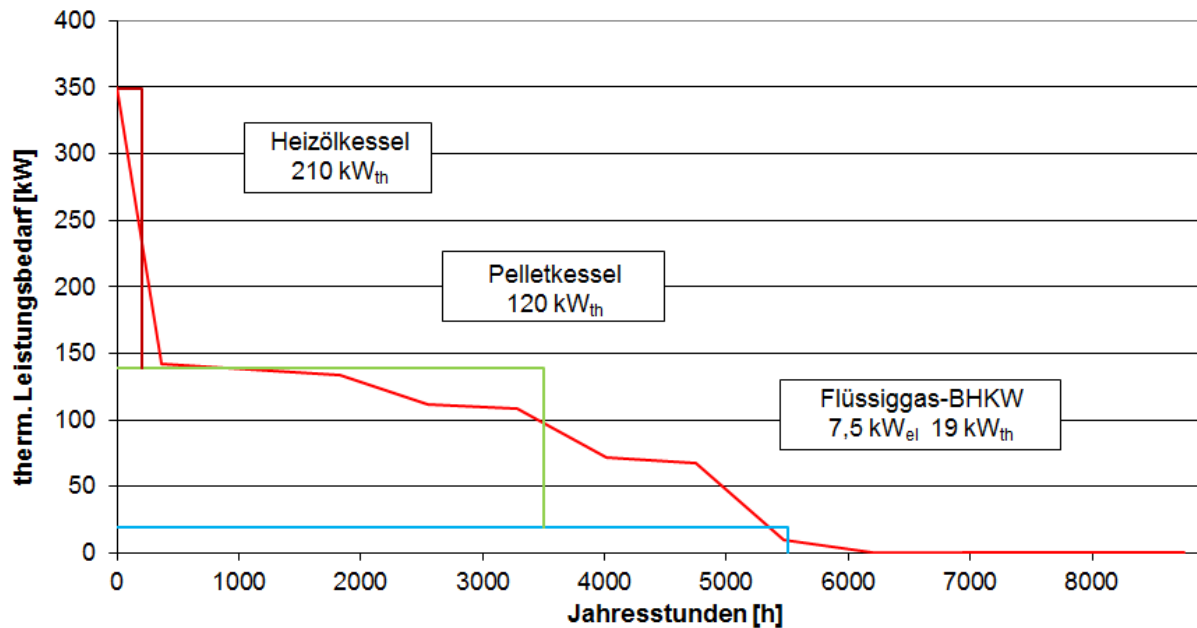


Abbildung 30: Die Variante C4 mit Flüssiggas-BHKW und Pelletkessel

In Abbildung 30 wird die Variante C4 mit einem Flüssiggas-BHKW und Pelletkessel dargestellt. Die Spitzenlast wird mit einem Heizölkessel gedeckt. Das Flüssiggas-BHKW ist auf eine maximale Stromeigennutzung ausgelegt. Der Pelletkessel dient als Mittellasterzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Hackgutkessels oder bei einem hohen thermischen Bedarf zu. Der Biomassekessel kann die thermische Leistung bis auf 50 % reduzieren. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Aufgrund des regenerativen Energieträgers hat diese Variante einen sehr geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der Anteil der Wärme aus dem BHKW ist vergleichsweise gering.

## 6.5 Variante C5: Das Flüssiggas-BHKW mit Hackgutkessel

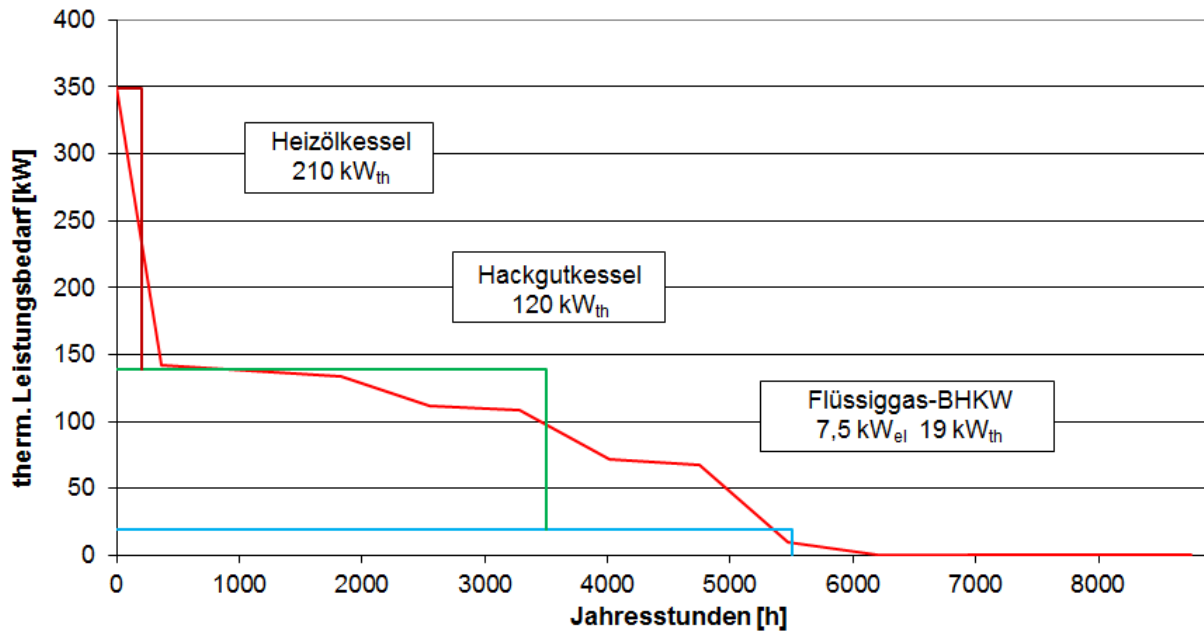


Abbildung 31: Die Variante C5 mit Flüssiggas-BHKW und Hackgutkessel

In Abbildung 31 wird die Variante C5 mit einem Flüssiggas-BHKW und Hackgutkessel dargestellt. Die Spitzenlast wird mit einem Heizölkessel gedeckt. Das Flüssiggas-BHKW ist auf eine maximale Stromeigennutzung ausgelegt. Der Hackgutkessel dient als Mittellasterzeuger, der Heizölkessel schaltet sich nur bei einer Wartung des Hackgutkessels oder bei einem hohen thermischen Bedarf zu. Der Biomassekessel kann die thermische Leistung bis auf 50 % reduzieren. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist Voraussetzung für eine Förderung des Biomassekessels, gleichzeitig kann dadurch die Betriebszeit erhöht und ein häufiges „takten“ vermieden werden. Aufgrund des regenerativen Energieträgers hat diese Variante einen sehr geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der Anteil der Wärme aus dem BHKW ist vergleichsweise gering.

## 7 Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### 7.1 Die Grundannahmen

- Heizöl: **5,1 Ct/kWh (51 Cent/Liter)**
- Flüssiggas: **5,8 Ct/kWh<sub>Hi</sub>**
- Holzpellets: **215 €/to**
- Hackgut: **95 €/to ~ 22 €/srm bei 20 % Wassergehalt (Weich + Hartholz)**

#### Antriebsstrom / Hilfsenergie / vermiedene Stromkosten:

- Hilfsenergie: **19,2 Ct/kWh**
- vermeidbare Stromkosten: **12,7 Ct/kWh**
- Stromüberschusseinspeisung: **3,3 Ct/kWh**
- Zinssatz: **1 %**
- lineare Abschreibung: **20 Jahre**

Die obige Übersicht stellt die Kosten der einzelnen Energieträger für die Kalkulation dar. Die Hilfsenergie wird für den Betrieb der Anlage benötigt. Die vermeidbaren Stromkosten werden für den eigenen erzeugten Strom benötigt, die festen Strompreisbestandteile können nicht verdrängt werden. Die Stromüberschusseinspeisung in das öffentliche Netz wird im 1. Quartal 2018 mit 3,3 ct/kWh vergütet. Der Zinssatz wurde mit 1 % angenommen und eine lineare Abschreibung über 20 Jahre angenommen.

### 7.2 Die Förderung:

Das Nahwärmenetz wird mit 60 €/m Trasse Nahwärmenetz gefördert wenn dies zu mindestens 50 % aus „Erneuerbaren Energien“ oder zu mindestens 75 % aus Kraft-Wärme-Kopplung versorgt wird.

Die jeweiligen Hausübergabestationen werden mit pauschal mit 1.800 € pro Station gefördert.

Die Biomassekessel werden mit bis zu 50 € pro kW thermischer Leistung gefördert. Der Kessel muss mit einem ausreichenden Pufferspeicher verbunden sein (30 l/kW<sub>th</sub>) und die Abgasemissionen den festgesetzten Grenzwert nicht überschreiten.

### 7.3 Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Wärmenetz

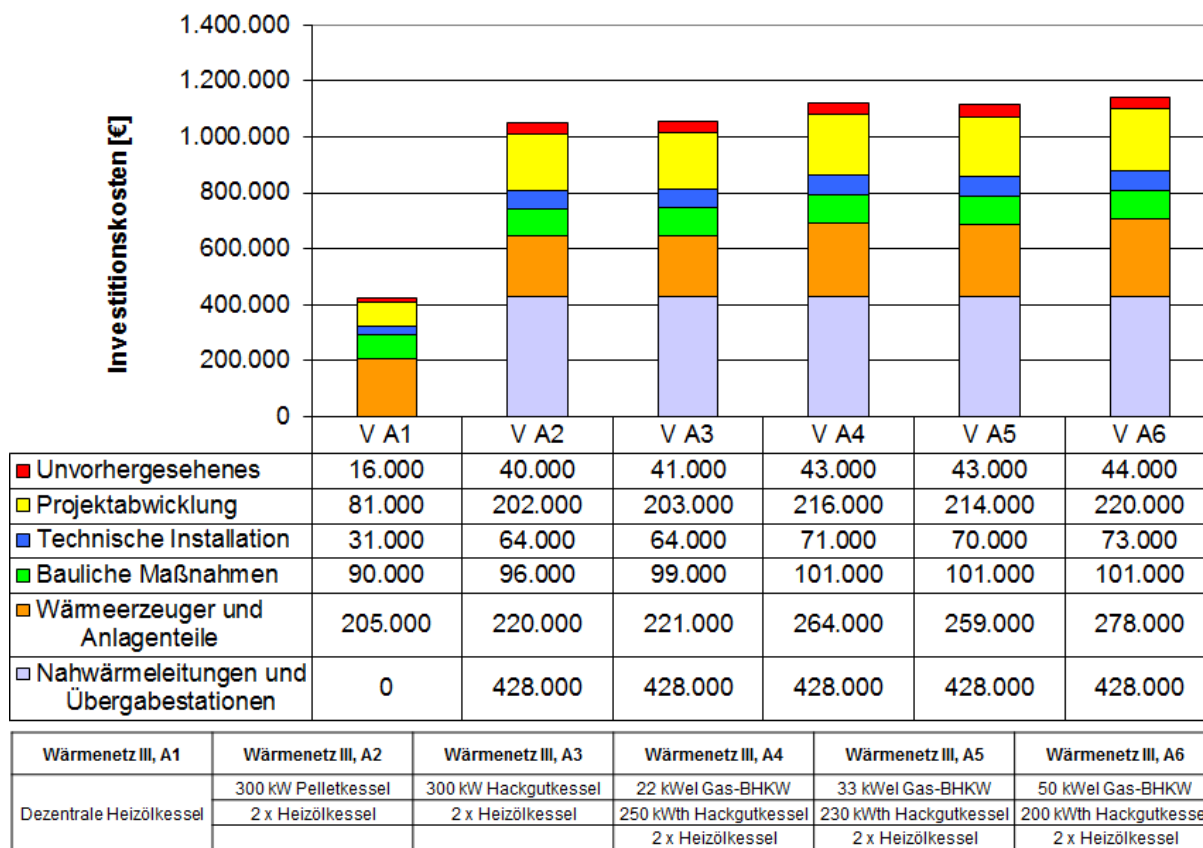


Abbildung 32: Die Investitionskosten für das Wärmenetz

In Abbildung 32 werden die Investitionskosten der verschiedenen Varianten gegenübergestellt. Die geringsten Investitionskosten verursacht eine dezentrale Wärmeversorgung aus der Erneuerung der Heizölkessel. Die Pelletvariante A2 und die Hackgutvariante A3 verursachen deutlich höhere Kosten, da hier bereits größere bauliche Maßnahmen und relativ teurere Grundlastrezeuger installiert werden müssen. Die höchsten Kosten verursachen die Varianten A4 bis A6 mit einem Blockheizkraftwerk und Biomassekessel, jedoch kann bei diesen Varianten auch Strom selbst erzeugt werden.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund wurden für die unterschiedlichen Varianten Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten darstellen.

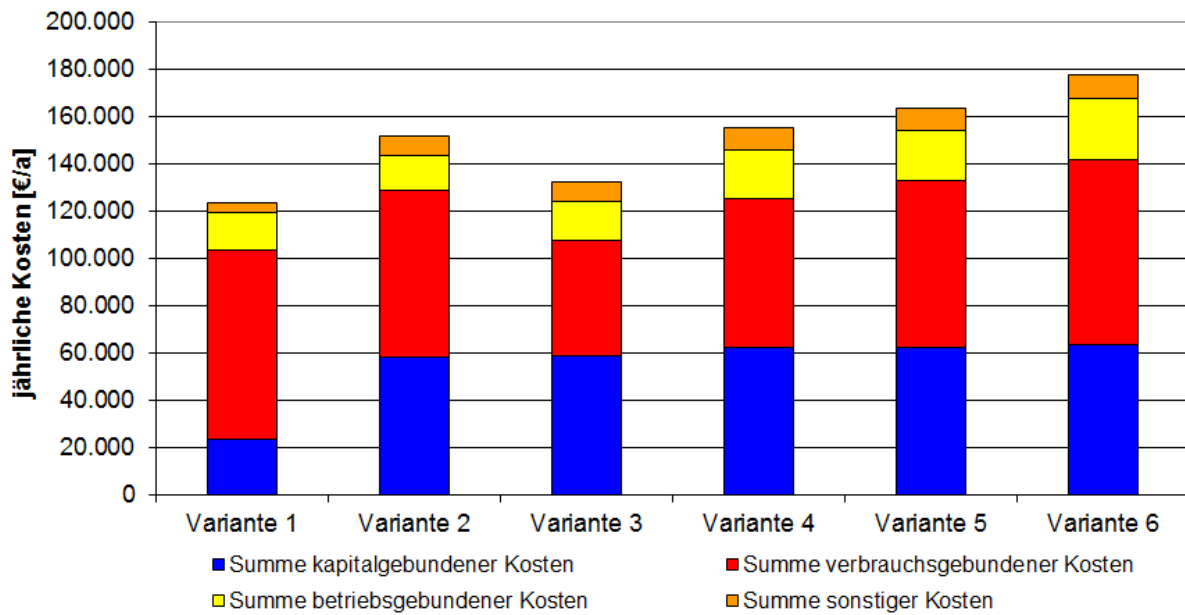


Abbildung 33: Die jährlichen Kosten des Wärmenetzes

In Abbildung 33 sind die jährlichen Kosten der Varianten dargestellt. Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten, den verbrauchsgebundenen Kosten und den sonstigen Kosten, die nach den Grundannahmen in Kapitel 7.1 berechnet werden, zu den Jahresgesamtkosten addieren.

Die niedrigsten jährlichen Kosten hat die Variante 1 mit dezentralen Heizölkesseln. Die Variante 3 hat ebenfalls relativ niedrige Kosten, welche aus dem Einsatz des günstigen Energieträgers Hackschnitzel resultieren. Die Kosten der Varianten mit Blockheizkraftwerk sind aufgrund der notwendigen Anlagentechnik teurer.

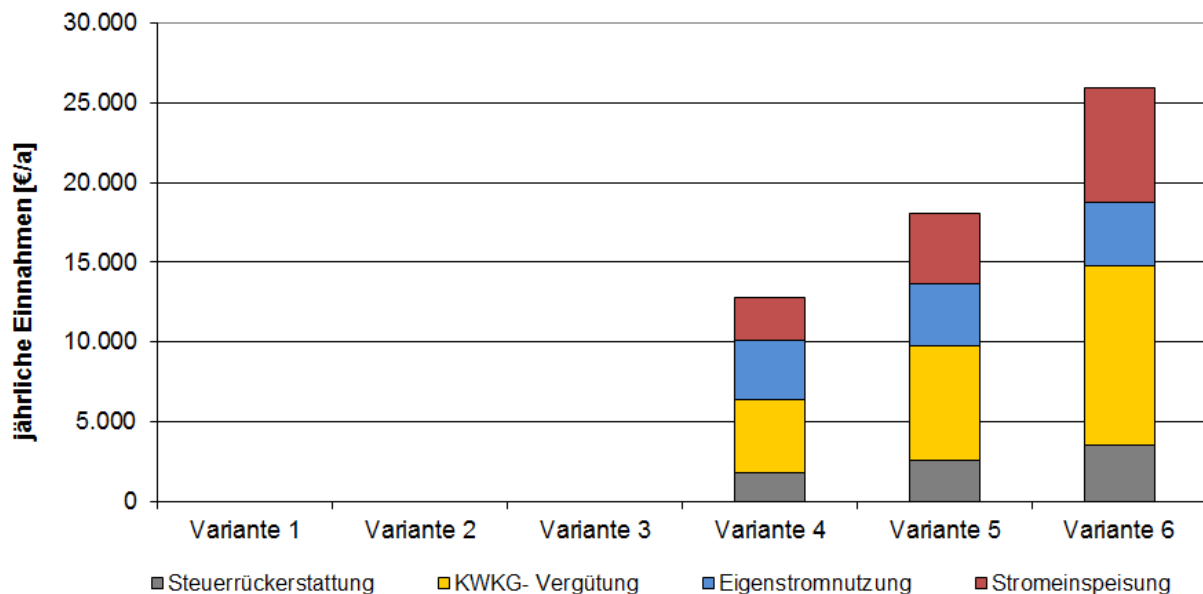


Abbildung 34: Die jährlichen Einnahmen des Wärmenetzes



In Abbildung 34 sind die jährlichen Einnahmen der Energieversorgung für das Wärmenetz dargestellt. Die Varianten 4 bis 6 können jährliche Einnahmen mit der Stromproduktion aus dem BHKW erzielen. Diese setzen sich aus der Steuerrückerstattung auf das eingesetzte Flüssiggas der KWKG-Vergütung, der Eigenstromnutzung und der Stromeinspeisung zusammen. Der wirtschaftlichste Betrieb eines Gas-BHKW ist eine vollständige Eigenstromnutzung.

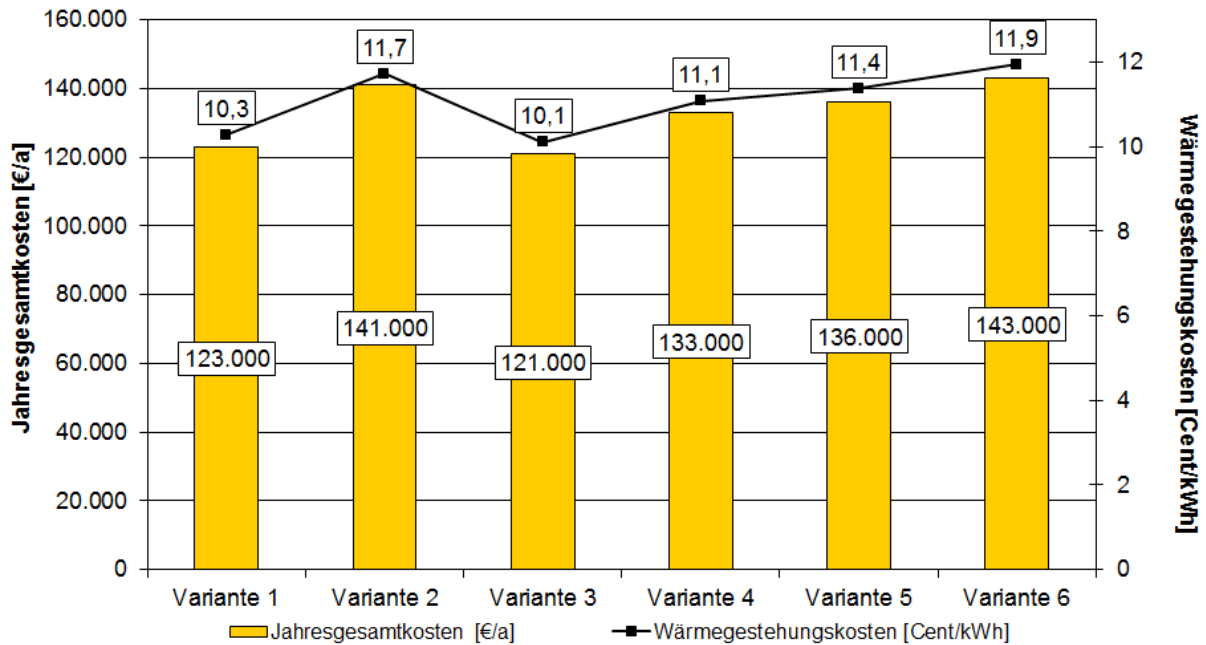


Abbildung 35: Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten des Wärmenetzes

Die Abbildung 35 gibt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten wieder. Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen und sonstigen Kosten abzüglich der erzielten Einnahmen. Aus den Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, die die Kosten pro Kilowattstunde bereitgestellter Nutzwärme beziffern. Die spezifischen Wärmegestehungskosten dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So müssen sich alternative Konzepte zur Wärmebereitstellung stets gegenüber den spezifischen Wärmegestehungskosten dem Ist-Zustand messen. Die EEG-Umlage auf den eigengenutzten der BHKW-Varianten ist bereits berücksichtigt. Die Förderung der Biomassekessel und der BHKW ist ebenfalls berücksichtigt. Die geringsten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten hat die Variante 3 mit einem Hackgutkessel und Heizölspitzenlastkessel.

## 7.4 Die dezentrale Energieversorgung des Freibads

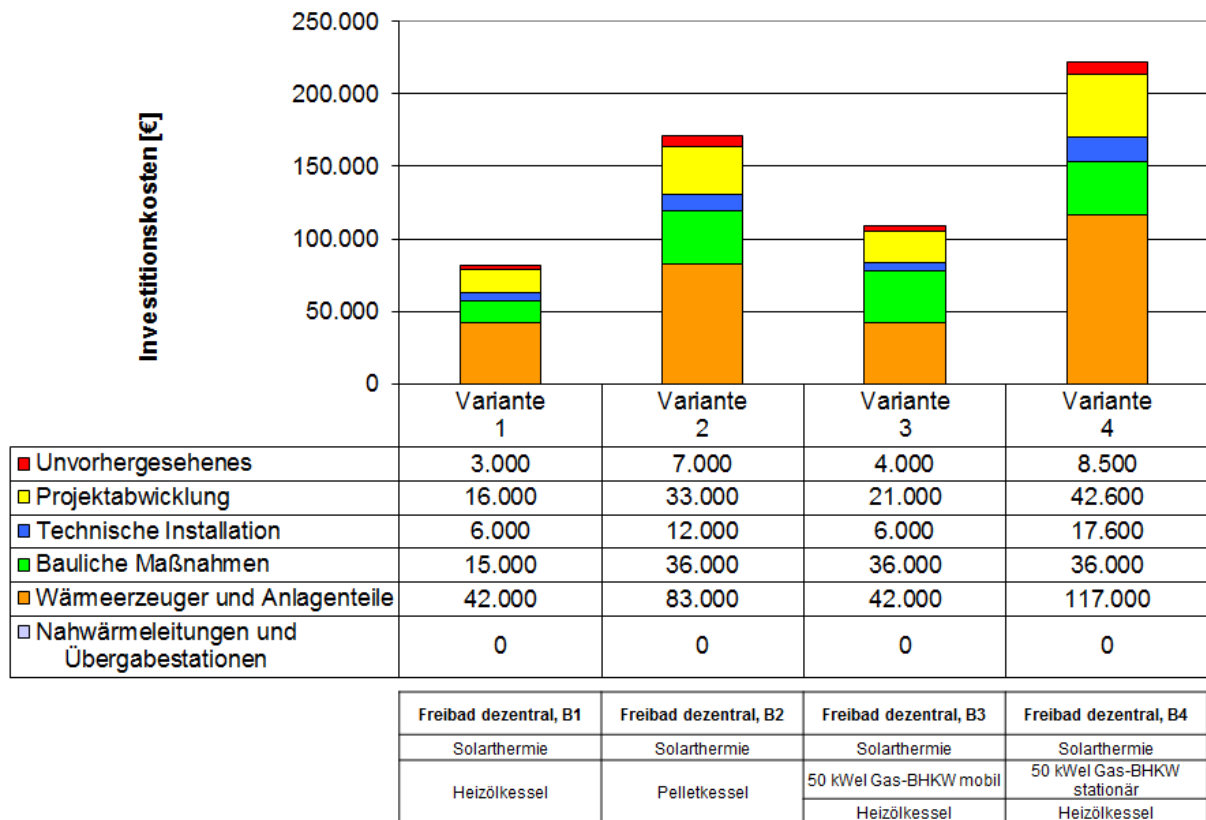
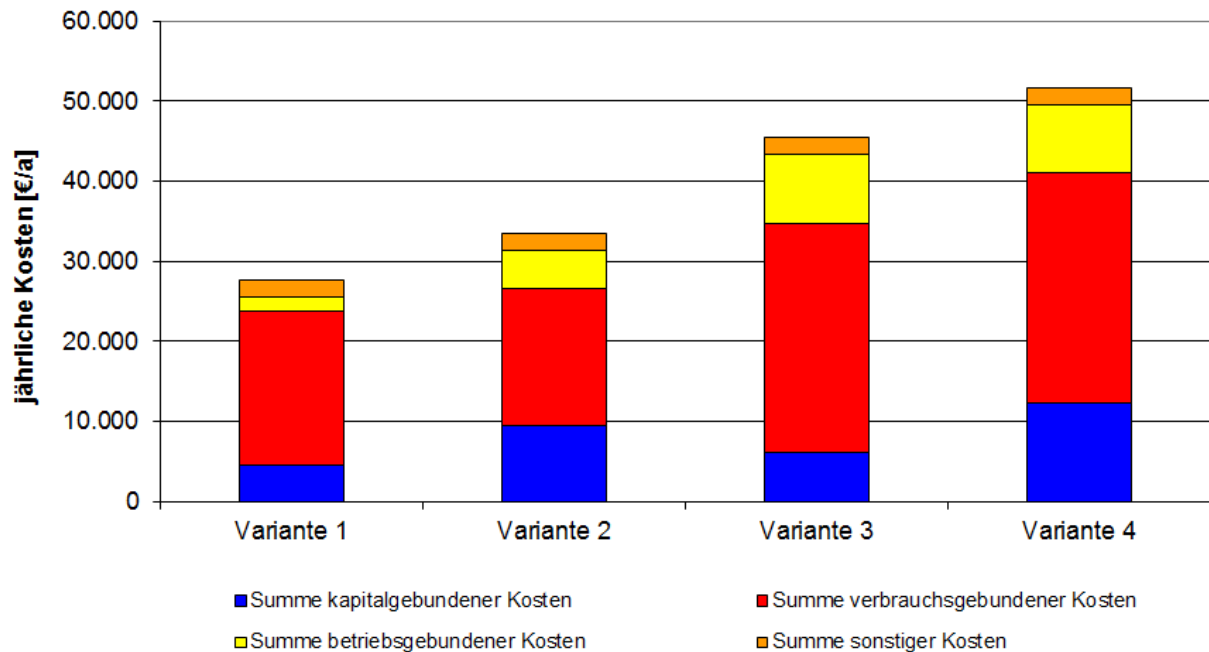


Abbildung 36: Die Investitionskosten der dezentralen Energieversorgung des Freibads

In Abbildung 36 werden die Investitionskosten der verschiedenen Varianten gegenübergestellt. Die geringsten Investitionskosten verursacht eine Wärmeversorgung aus der Erneuerung des Heizölkessels. Die Pelletvariante B2 verursacht deutlich höhere Kosten, da hier bereits größere bauliche Maßnahmen und ein relativ teurer Grundlastherzeuger installiert werden muss. Die höchsten Kosten verursacht die Variante B4 mit einem Blockheizkraftwerk und Biomassekessel. Die Investitionskosten in Variante 3 sind deutlich niedriger, da die Investitionskosten des mobilen BHKW, welches nur in den Sommermonaten am Freibad benötigt wird auf das Wärmenetz Variante A6 gebucht werden. In Variante B3 und B4 kann der Strom selbst aus den BHKW erzeugt werden.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund wurden für die unterschiedlichen Varianten

Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten darstellen.



**Abbildung 37: Die jährlichen Kosten am Freibad**

In Abbildung 37 sind die jährlichen Kosten der Varianten dargestellt. Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten, den verbrauchsgebundenen Kosten und den sonstigen Kosten, die nach den Grundannahmen in Kapitel 7.1 berechnet werden, zu den Jahresgesamtkosten addieren.

Die niedrigsten jährlichen Kosten hat die Variante B1 mit dezentralem Heizölkessel. Die Variante B2 hat ebenfalls relativ niedrige Kosten. Die Kosten der Varianten B3 und B4 mit Blockheizkraftwerk sind aufgrund des eingesetzten Flüssiggases deutlich höher. Die Eigennutzung des selbst erzeugten Stroms wird in den Jahresgesamtkosten betrachtet.

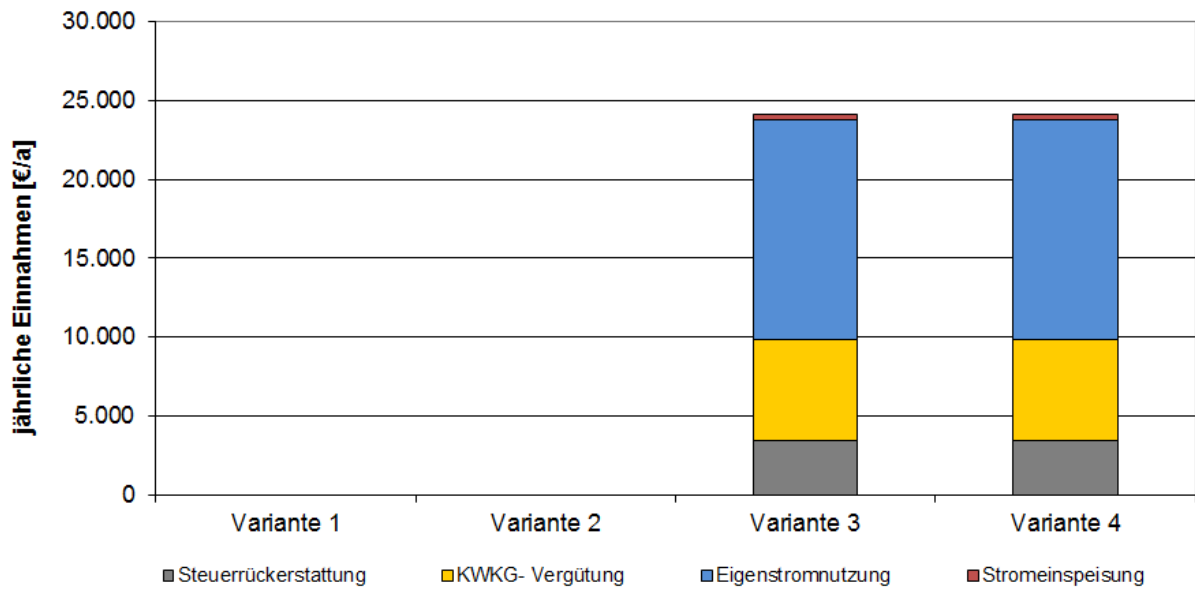


Abbildung 38: Die jährlichen Einnahmen am Freibad

In Abbildung 38 sind die jährlichen Einnahmen der Energieversorgung für das Freibad dargestellt. Die Varianten B3 und B4 können jährliche Einnahmen mit der Stromproduktion aus dem BHKW erzielen. Diese setzen sich aus der Steuerrückerstattung auf das eingesetzte Flüssiggas der KWKG-Vergütung, der Eigenstromnutzung und der Strom einspeisung zusammen. Der wirtschaftlichste Betrieb eines Gas-BHKW ist eine vollständige Eigenstromnutzung.

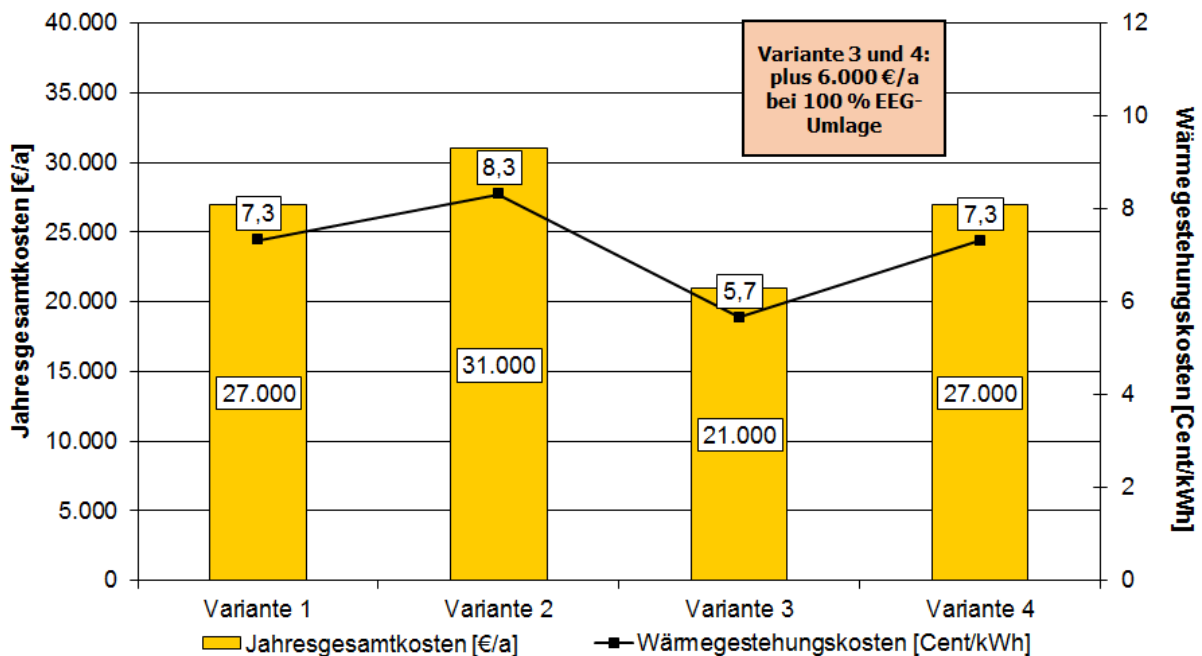


Abbildung 39: Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten am Freibad

Die Abbildung 39 gibt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten wieder. Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen und sonstigen Kosten abzüglich

der erzielten Einnahmen. Aus den Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegegestehungskosten ermittelt, die die Kosten pro Kilowattstunde bereitgestellter Nutzwärme beziffern. Die spezifischen Wärmegegestehungskosten dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So müssen sich alternative Konzepte zur Wärmebereitstellung stets gegenüber den spezifischen Wärmegegestehungskosten dem Ist-Zustand messen. Die EEG-Umlage auf den eigengenutzten der BHKW-Varianten in Höhe von 40 % ist bereits berücksichtigt. Die Förderung des Biomassekessel und der BHKW ist ebenfalls berücksichtigt. Die Variante 3 wird wie bereits bei Abbildung 36 beschrieben in einer Gesamtbetrachtung des Wärmenetz und Freibad gegenübergestellt.

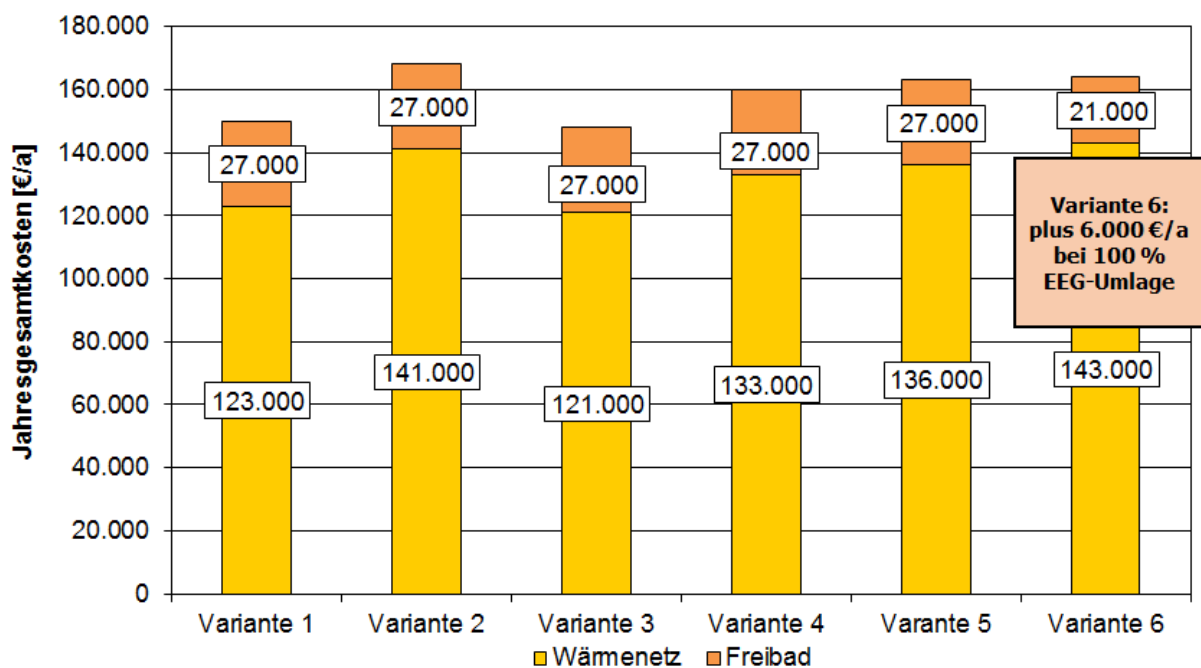


Abbildung 40: Die Jahresgesamt- und Wärmegegestehungskosten des Wärmenetz und Freibad

Die Abbildung 40 gibt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegegestehungskosten der einzelnen Varianten als Summe aus dem Wärmenetz und Freibad wieder. Die Variante 6 aus dem Wärmenetz wird mit den Jahresgesamtkosten der Energieversorgungsvariante B3 „mobiles BHKW“ aus Abbildung 39 dargestellt. Die übrigen Varianten werden zur Gegenüberstellung mit der günstigsten Variante aus der Energieversorgung des Freibad B1 dem Heizölkessel mit Solarthermieanlage dargestellt. Mit dieser Darstellung können die Jahresgesamtkosten des „mobilen BHKW“ dargestellt werden, welches in den Wintermonaten im Wärmenetz in Variante A6 und in den Sommermonaten im Freibad in Variante B3 eingesetzt wird. Die EEG-Umlage auf den eigengenutzten der BHKW-Varianten in Höhe von 40 % ist bereits berücksichtigt. Die Förderung des Biomassekessel und der BHKW ist ebenfalls

berücksichtigt. Wie nun ersichtlich ist die Variante 6 insgesamt zwar günstiger als Variante A2 Wärmenetz und Heizkessel am Freibad aber dennoch gegenüber den anderen Varianten teurer.

### 7.5 Die dezentrale Versorgung der Schule

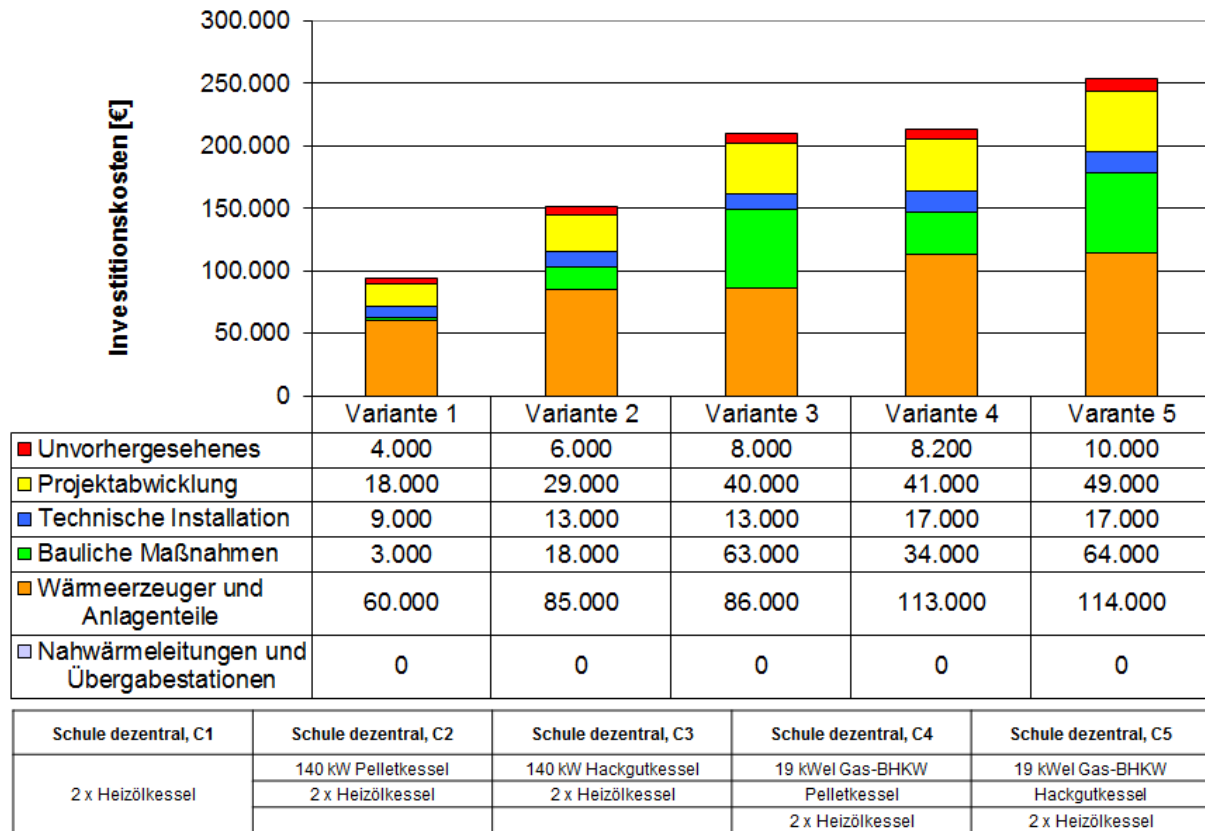
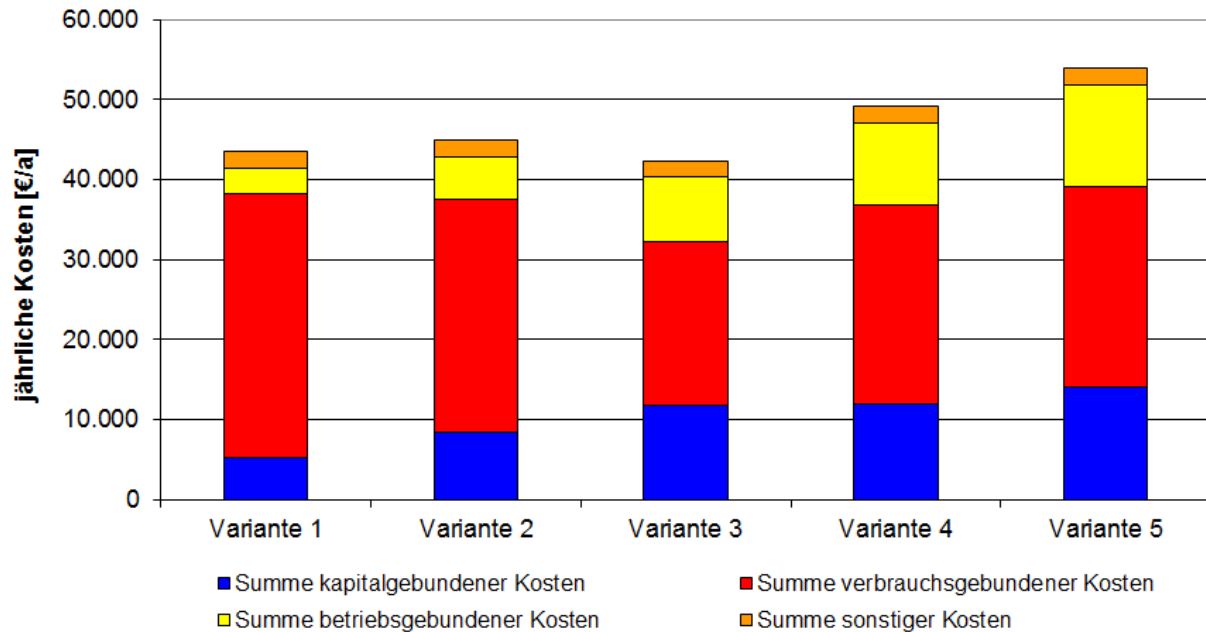


Abbildung 41: Die Investitionskosten der dezentralen Energieversorgung am Schulzentrum

In Abbildung 41 werden die Investitionskosten der verschiedenen Varianten gegenübergestellt. Die geringsten Investitionskosten verursacht eine Wärmeversorgung aus der Erneuerung des Heizkessels. Die Pelletvariante C2 verursacht höhere Kosten, da hier bereits größere bauliche Maßnahmen und ein relativ teurer Grundlastherzeuger installiert werden muss. Die Kosten für die Variante C3 sind ebenfalls deutlich höher, dies liegt am verbauten Hackgutkessel. Die höchsten Kosten verursacht die Variante 5 mit einem Blockheizkraftwerk und Hackgutkessel.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund wurden für die unterschiedlichen Varianten

Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten darstellen.



**Abbildung 42: Die jährlichen Kosten am Schulzentrum**

In Abbildung 42 sind die jährlichen Kosten der Varianten am Schulzentrum dargestellt. Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten, den verbrauchsgebundenen Kosten und den sonstigen Kosten, die nach den Grundannahmen in Kapitel 7.1 berechnet werden, zu den Jahresgesamtkosten addieren.

Die niedrigsten jährlichen Kosten hat die Variante C3 mit einem Hackgutkessel und einem Heizölkessel-Spitzenlastkessel. Die Kosten der Varianten B4 und B5 mit Blockheizkraftwerk sind aufgrund des eingesetzten Flüssiggases deutlich höher.

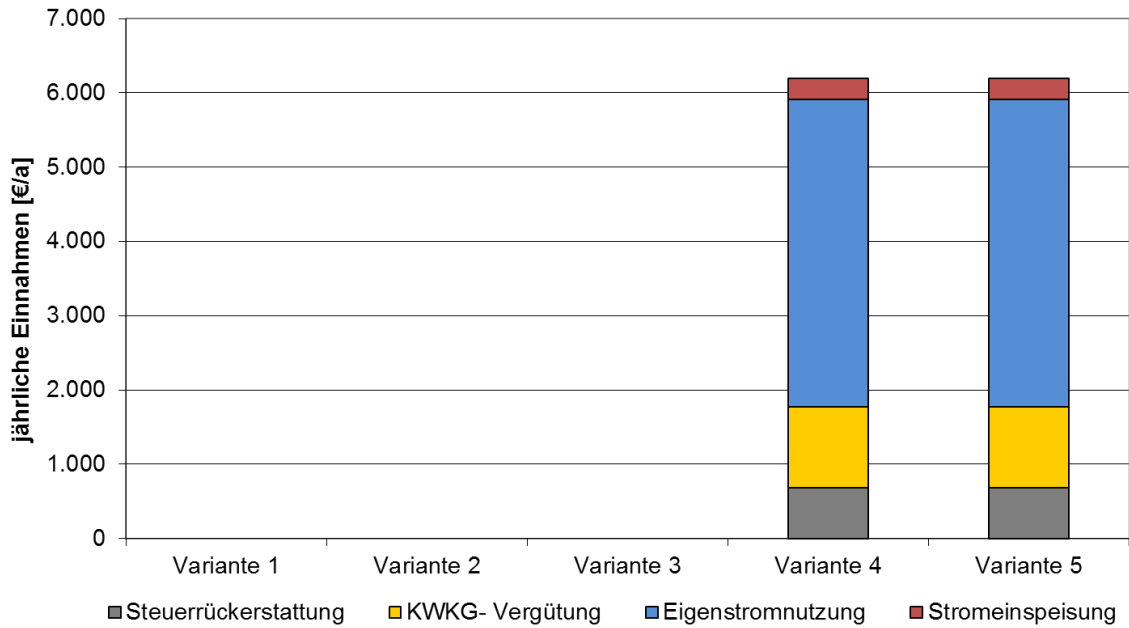


Abbildung 43: Die jährlichen Einnahmen am Schulzentrum

In Abbildung 43 sind die jährlichen Einnahmen der Energieversorgung für das Schulzentrum dargestellt. Die Varianten C4 und C5 können jährliche Einnahmen mit der Stromproduktion aus dem BHKW erzielen. Diese setzen sich aus der Steuerrückerstattung auf das eingesetzte Flüssiggas der KWKG-Vergütung, der Eigenstromnutzung und der Stromeinspeisung zusammen. Aufgrund der aktuell sehr geringen Einspeisevergütung und hohen Stromkosten, stellt die Stromeigenutzung die wirtschaftlichste Betriebsweise dar.

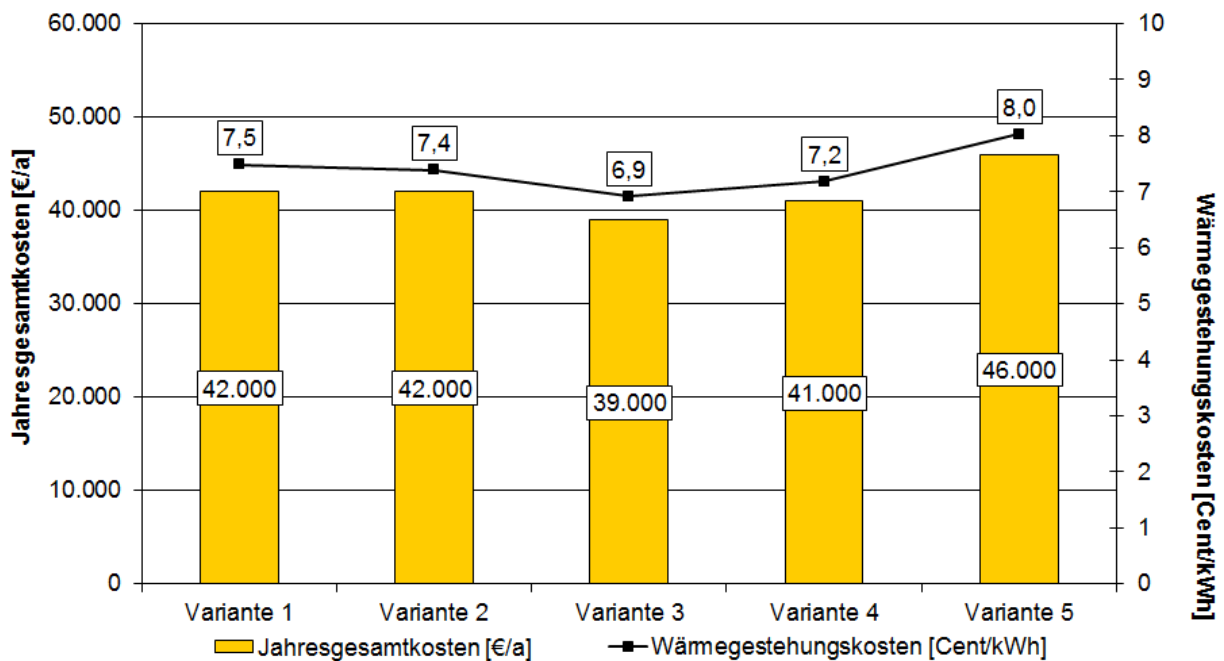


Abbildung 44: Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten am Schulzentrum



Die Abbildung 44 gibt die kalkulierten Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten wieder. Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen und sonstigen Kosten abzüglich der erzielten Einnahmen. Aus den Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, die die Kosten pro Kilowattstunde bereitgestellter Nutzwärme beziffern. Die spezifischen Wärmegestehungskosten dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So müssen sich alternative Konzepte zur Wärmebereitstellung stets gegenüber den spezifischen Wärmegestehungskosten dem Ist-Zustand messen. Die EEG-Umlage auf den eigengenutzten der BHKW-Varianten in Höhe von 40 % ist bereits berücksichtigt. Die Höhe der EEG-Umlage wird aktuell vom Gesetzgeber diskutiert. Die Förderung des Biomassekessel und der BHKW ist ebenfalls berücksichtigt.

## 8 Die Sensitivitätsanalyse

### 8.1 Die Sensitivitätsanalyse des Wärmenetzes III

Zur Berücksichtigung von Änderungen der Kapitalkosten sowie Preisänderungen bei den Brennstoffen, wird für die einzelnen Varianten eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die den Einfluss des jeweiligen Parameters auf die Wärmegestehungskosten simuliert. Die verschiedenen Sensitivitätsanalysen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. In den Sensitivitätsanalysen der neuen Energieversorgungsvarianten ist die Sensitivität der Referenzvariante auf steigende Brennstoffpreise sowie auf die Variation der Stromeinnahmen bei den Flüssiggas-BHKW-Varianten dargestellt.

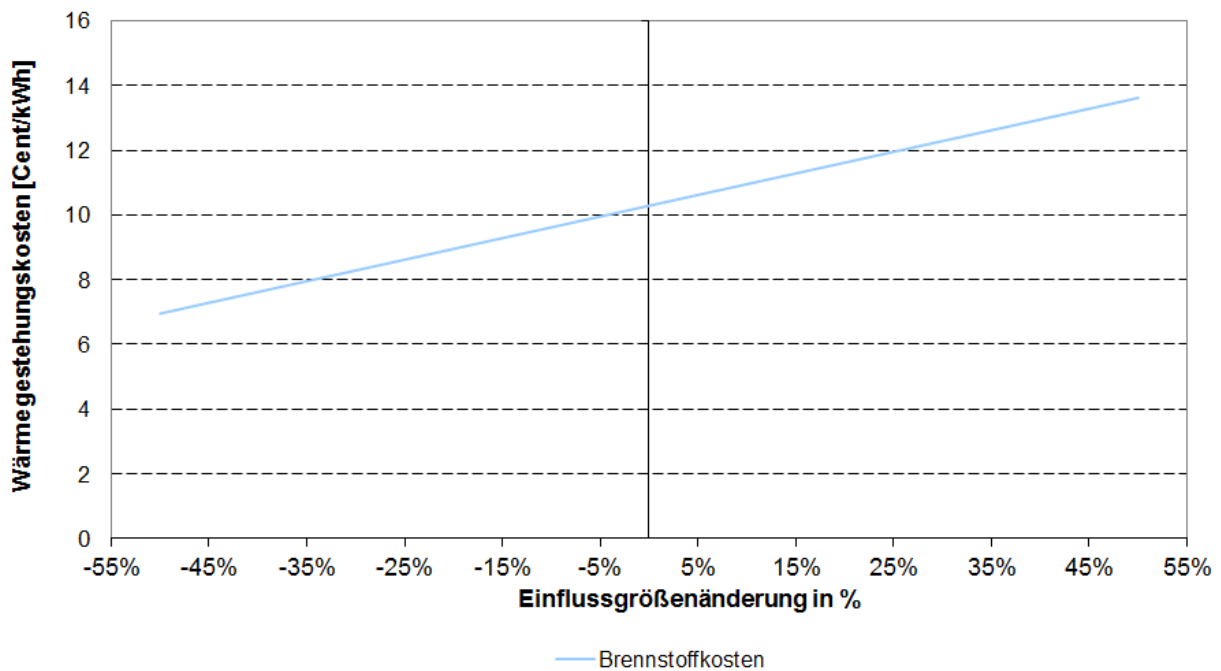


Abbildung 45: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A1

In der Abbildung 45 werden die Wärmegestehungskosten (WGK) der Variante A1 mit Heizölkessel dargestellt. Bei dieser Referenzvariante A1 belaufen sich die Wärmegestehungskosten auf 10,3 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 10,3 Cent/kWh auf 13,5 Cent/kWh an. Sollten die Brennstoffkosten um 50 % fallen, sinken die Wärmegestehungskosten auf 7 Cent/kWh ab. Wie bereits beschrieben, dient diese Variante als Referenz für die weiteren Varianten.

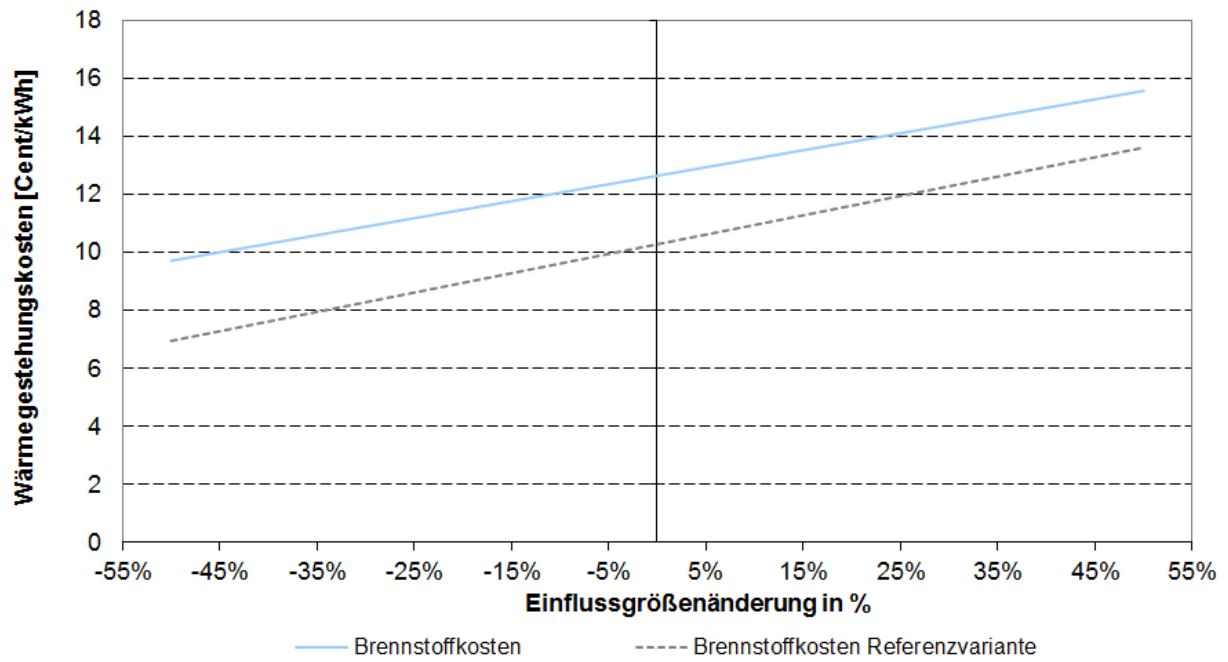


Abbildung 46: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A2

In der Abbildung 46 sind die Wärmegestehungskosten aus dem Pelletkessel der Variante A1 gegenübergestellt. Die Wärmegestehungskosten belaufen sich im Istzustand auf 12,6 Cent/kWh und sind somit um 1,3 Cent höher als bei Variante A1. Wenn die Brennstoffkosten um 50 % ansteigen, steigen die Wärmegestehungskosten von 11,3 Cent/kWh auf 15,5 Cent/kWh, die Wärmegestehungskosten steigen durch den Brennstoff Pellet etwas geringer an als die Referenzvariante.

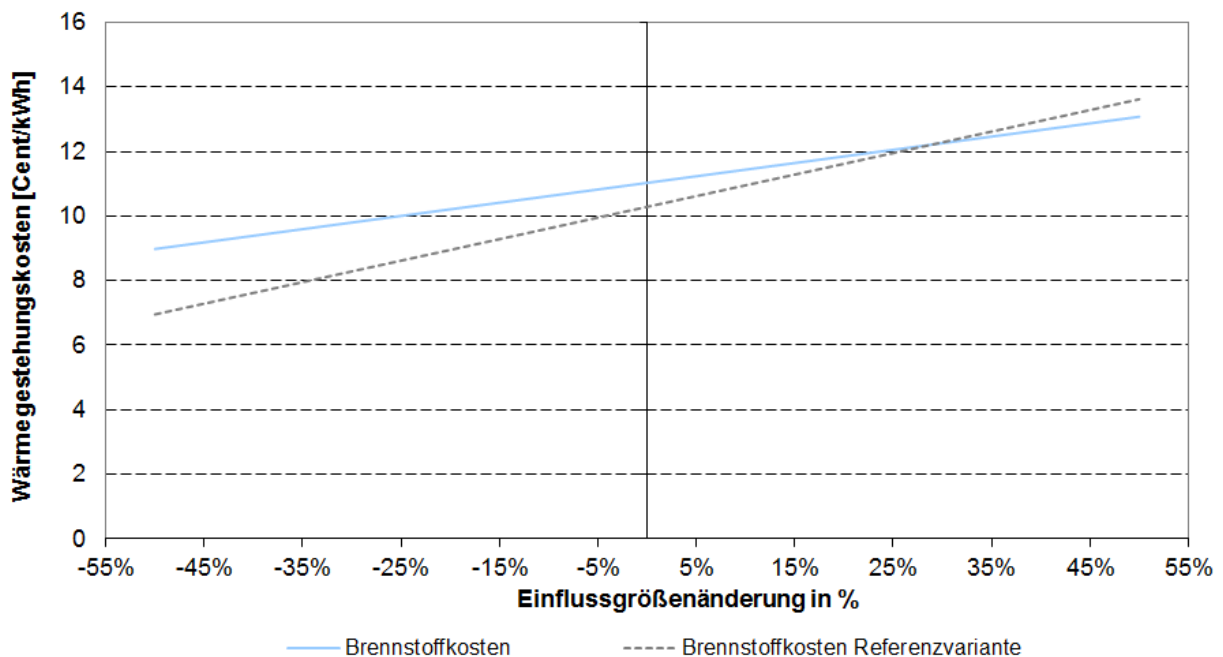


Abbildung 47: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A3

In der Abbildung 47 sind die Wärmegestehungskosten der Variante A3 (Hackgut), der Variante A1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 11,0 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 11,0 Cent/kWh auf 13,0 Cent/kWh und liegen somit unter den WGK der Heizölversorgung mit 13,5 Cent/kWh. Das bedeutet, dass bei einem Anstieg der Brennstoffkosten um 30 % der Schnittpunkt der beiden Varianten erreicht wird und danach eine Versorgung aus Hackgut wirtschaftlich interessanter ist.

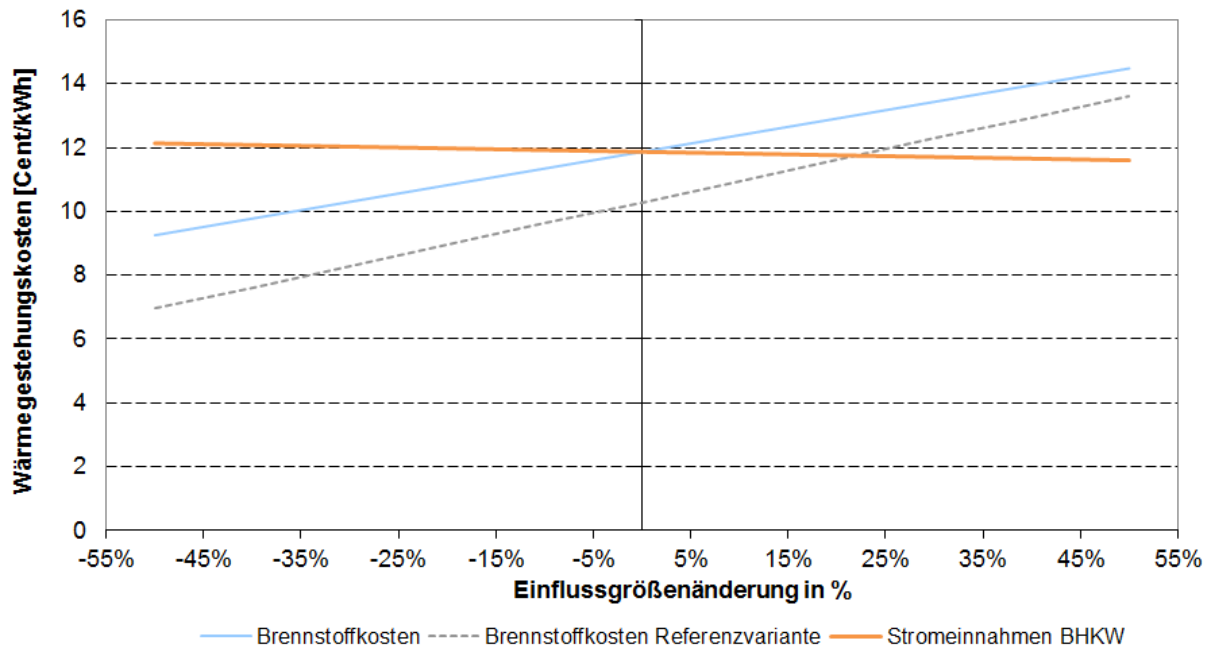


Abbildung 48: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A4

In der Abbildung 48 sind die Wärmegestehungskosten der Variante A4 (BHKW), der Variante A1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 11,9 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 11,9 Cent/kWh auf 14,5 Cent/kWh und liegen somit etwas oberhalb der WGK der Heizölversorgung mit 13,5 Cent/kWh. Steigen jedoch die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 % an, dann sinken die Wärmegestehungskosten auf 11,7 Cent/kWh, sie liegen dennoch oberhalb der WGK von Variante A1 mit 10,3 Cent/kWh.

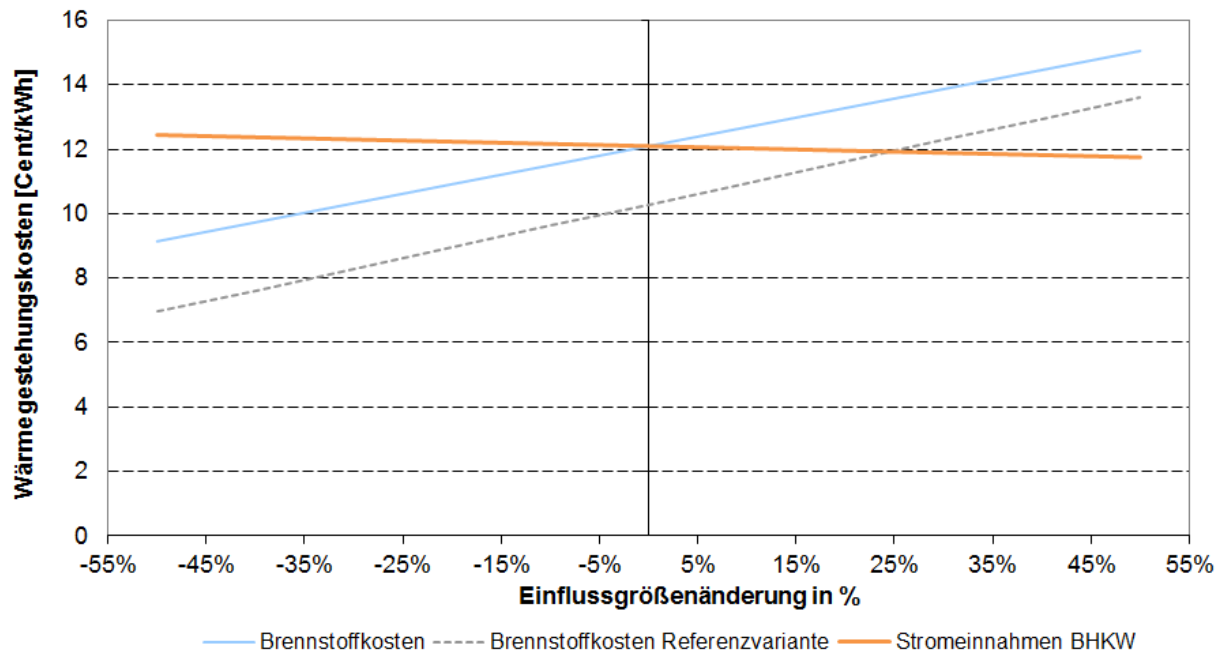


Abbildung 49: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A5

In der Abbildung 49 sind die Wärmegestehungskosten der Variante A5 (BHKW), der Variante A1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 12,2 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 12,2 Cent/kWh auf 15,1 Cent/kWh und liegen somit etwas oberhalb der WGK der Heizölversorgung mit 13,5 Cent/kWh. Steigen jedoch die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 % an, dann sinken die Wärmegestehungskosten auf 11,8 Cent/kWh, sie liegen weiterhin oberhalb der WGK von Variante A1 mit 10,3 Cent/kWh.

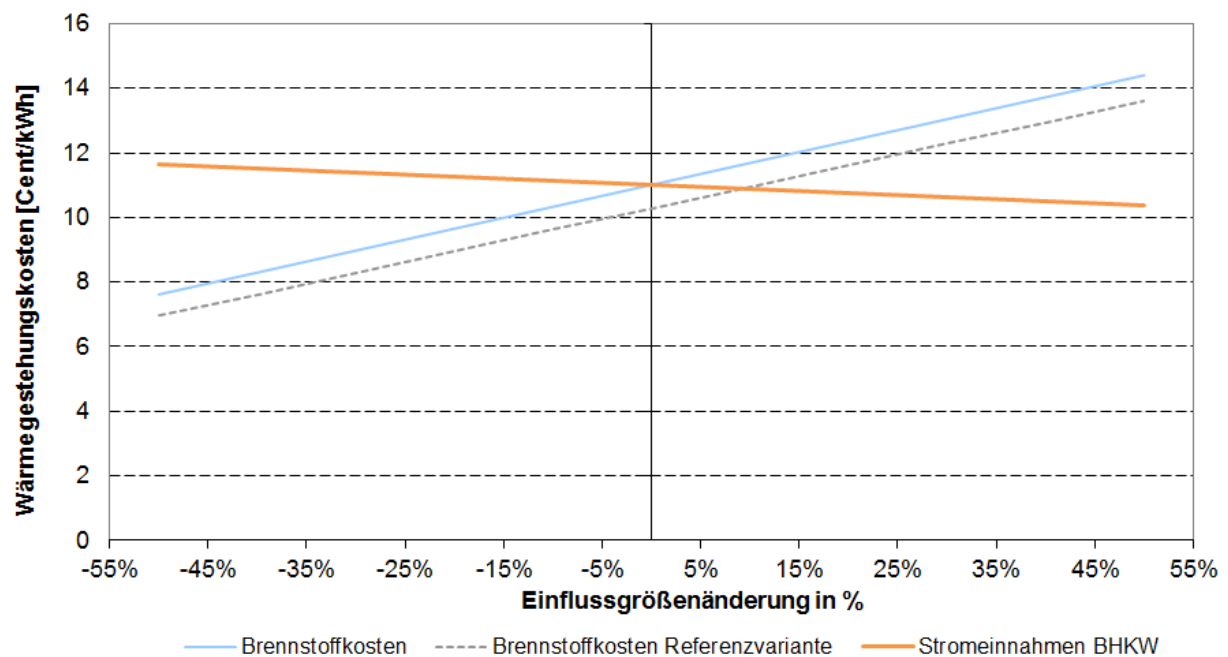


Abbildung 50: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A6

In der Abbildung 50 sind die Wärmegegestehungskosten der Variante A6 (BHKW), der Variante A1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 11,0 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegestehungskosten von 11,0 Cent/kWh auf 14,4 Cent/kWh und liegen somit etwas oberhalb der WGK der Heizölversorgung mit 13,5 Cent/kWh. Steigen jedoch die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 % an, dann sinken die Wärmegegestehungskosten auf 10,4 Cent/kWh, sie liegen damit etwas unterhalb der WGK von Variante A1 mit 10,3 Cent/kWh.

## 8.2 Die Sensitivitätsanalyse der Heizzentrale am Freibad

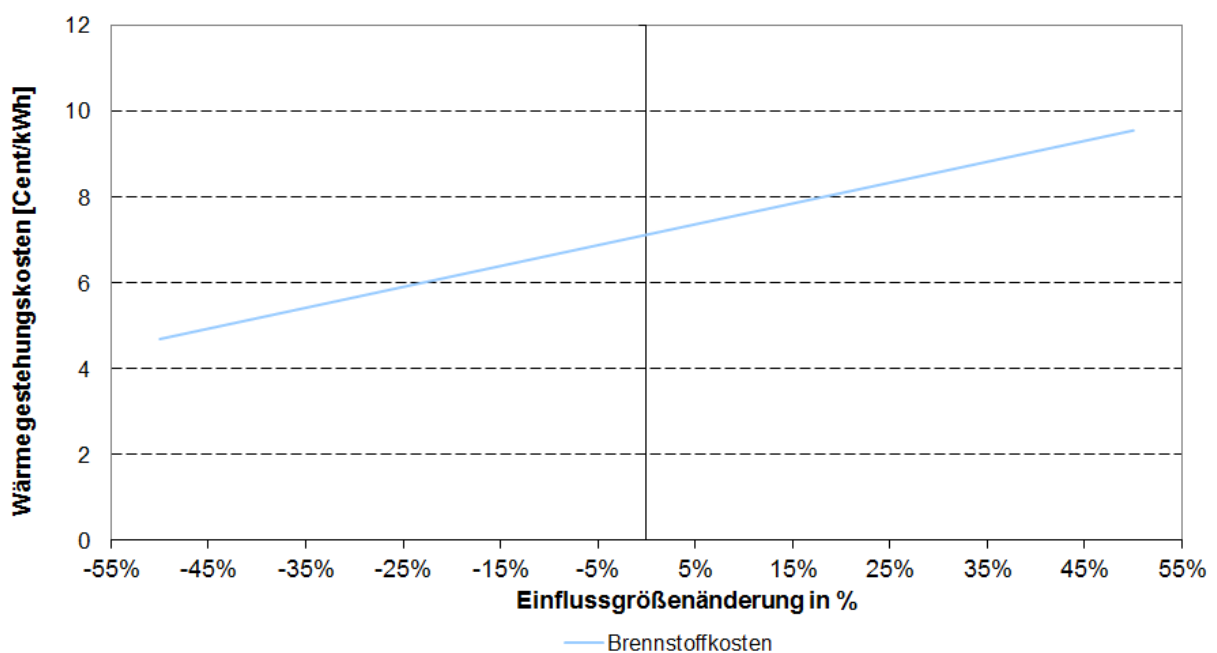


Abbildung 51: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B1

In der Abbildung 51 werden die Wärmegegestehungskosten (WGK) der Variante B1 mit Heizölkessel dargestellt. Bei dieser Referenzvariante B1 belaufen sich die Wärmegegestehungskosten auf 7,3 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegestehungskosten von 7,3 Cent/kWh auf 9,7 Cent/kWh an. Sollten die Brennstoffkosten um 50 % fallen, sinken die Wärmegegestehungskosten auf 4,8 Cent/kWh ab. Wie bereits beschrieben, dient diese Variante als Referenz zu den weiteren Varianten.

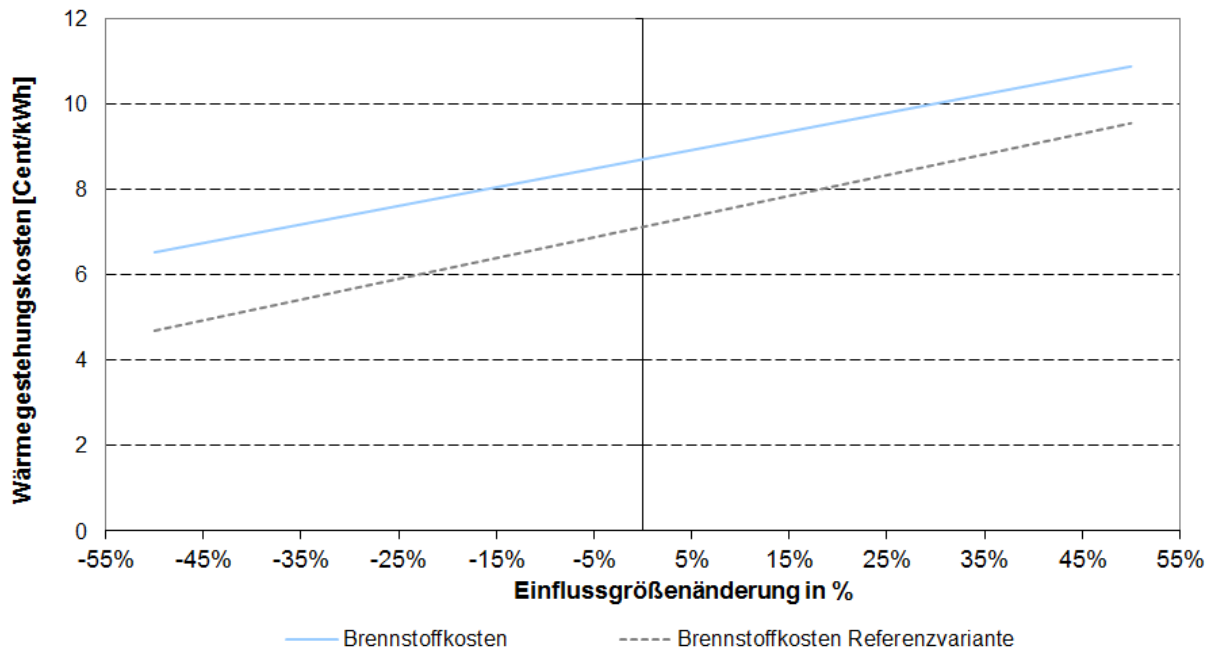


Abbildung 52: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B2

In der Abbildung 52 sind die Wärmegestehungskosten aus dem Pelletkessel der Variante B1 gegenübergestellt. Die Wärmegestehungskosten belaufen sich im Istzustand auf 8,9 Cent/kWh und sind somit um 1,6 Cent höher als bei Variante B1. Wenn die Brennstoffkosten um 50 % ansteigen, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 8,9 Cent/kWh auf 11,2 Cent/kWh. Die Wärmegestehungskosten steigen durch den Brennstoff Pellet etwas geringer an.

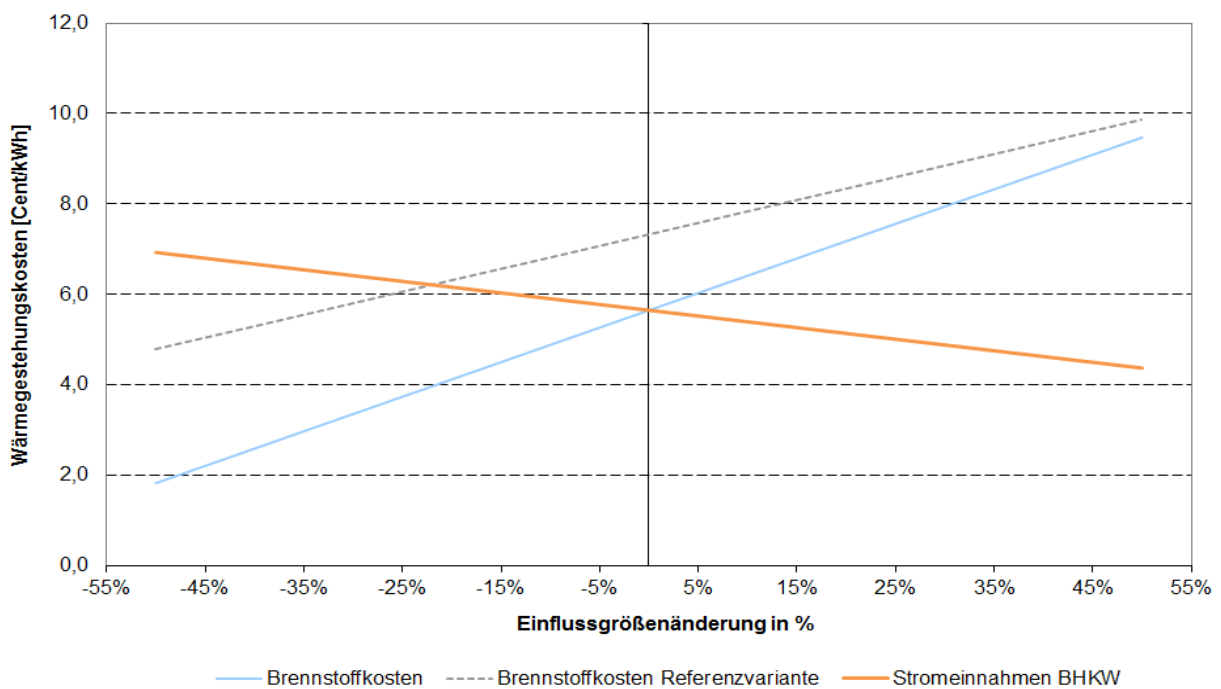
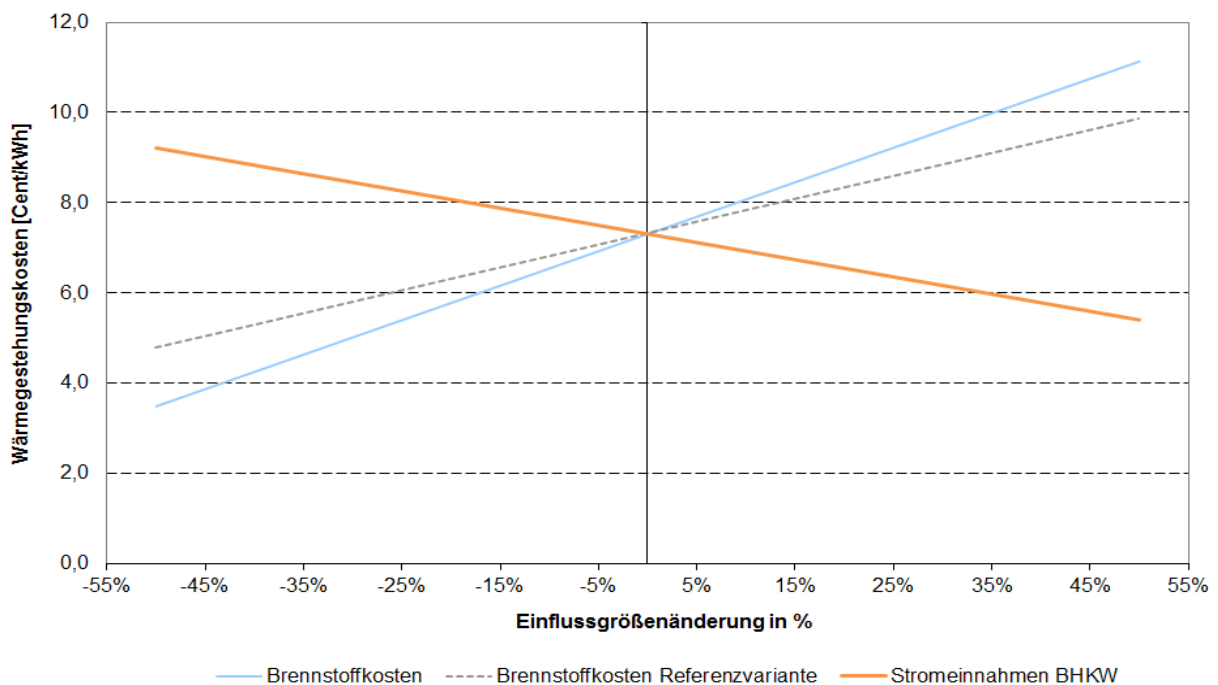


Abbildung 53: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B3

In der Abbildung 53 sind die Wärmegegstellungskosten der Variante B3 (BHKW), der Variante B1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 5,7 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegstellungskosten von 5,7 Cent/kWh auf 9,5 Cent/kWh und liegen somit etwas unterhalb der WGK der Heizölversorgung mit 9,9 Cent/kWh. Steigen jedoch die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 % an, dann sinken die Wärmegegstellungskosten auf 4,4 Cent/kWh, sie liegen dann deutlich unterhalb der WGK von Variante B1 mit 9,9 Cent/kWh. Diese geringen Wärmegegstellungskosten, wie bereits in der Energieversorgungsvariante B3 erklärt, ist dem geschuldet, dass die Investitionskosten des mobilen BHKW im Wärmenetz A6 berücksichtigt werden. In der Variante B4 wird ein identisches BHKW nur in stationärer Ausführung eingesetzt. Diese enormen Auswirkungen des steigenden Strompreis sind der hohen Eigenstromnutzung geschuldet und ein immenser Vorteil gegenüber einer Einspeisung des produzierten Strom.



**Abbildung 54: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B4**

In der Abbildung 54 sind die Wärmegegstellungskosten der Variante B4 (BHKW), der Variante B1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 7,3 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegstellungskosten von 7,3 Cent/kWh auf 11,1 Cent/kWh und liegen somit oberhalb der WGK der Heizölversorgung mit 9,9 Cent/kWh. Steigen jedoch die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 % an, dann sinken die Wärmegegstellungskosten auf 5,4 Cent/kWh, sie liegen dann deutlich unterhalb der WGK von Variante B1 mit 9,9 Cent/kWh.



### 8.3 Die Sensitivitätsanalyse der Heizzentrale am Schulzentrum

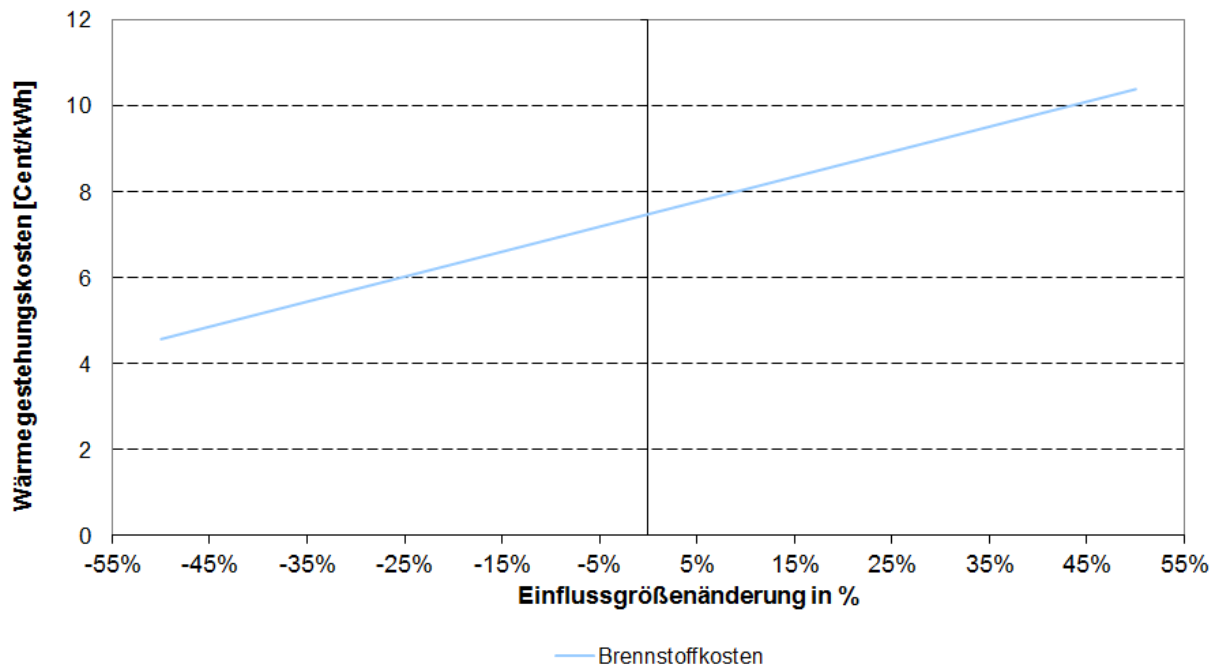


Abbildung 55: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C1

In der Abbildung 55 werden die Wärmegestehungskosten (WGK) der Variante C1 mit Heizölkessel dargestellt. Bei dieser Referenzvariante C1 belaufen sich die Wärmegestehungskosten auf 7,5 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 7,5 Cent/kWh auf 10,4 Cent/kWh an. Sollten die Brennstoffkosten um 50 % fallen, sinken die Wärmegestehungskosten auf 4,6 Cent/kWh ab. Wie bereits beschrieben, dient diese Variante als Referenz zu den anderen Varianten.

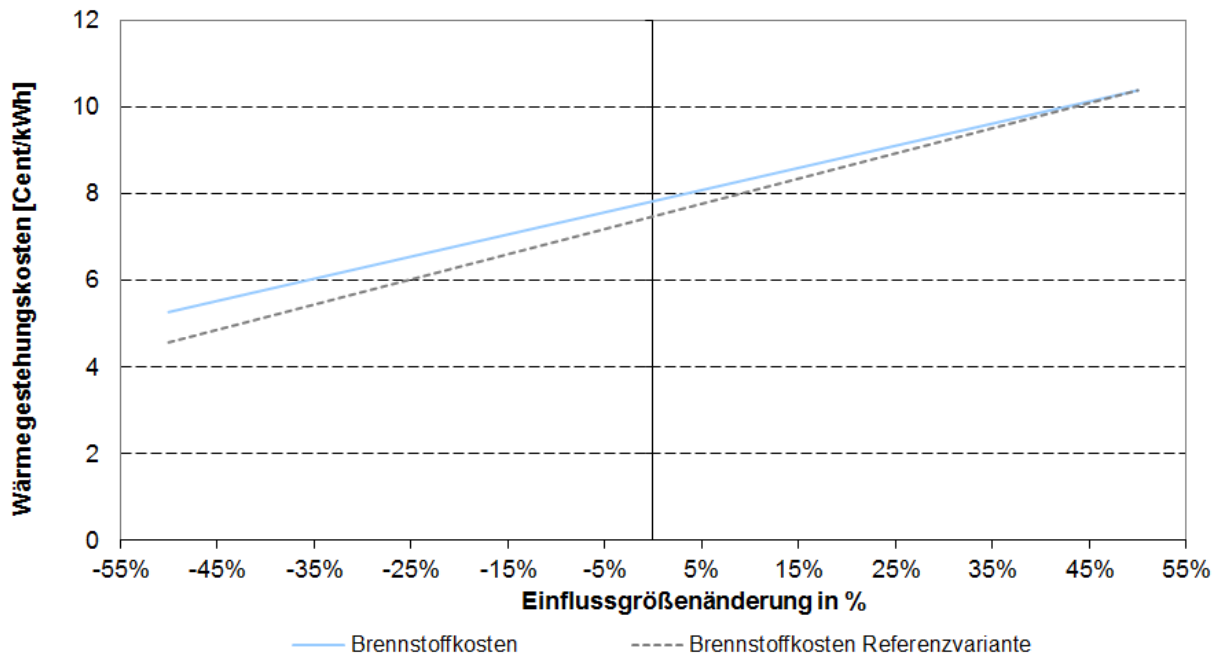


Abbildung 56: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C2

In der Abbildung 56 sind die Wärmegestehungskosten aus dem Pelletkessel C2 der Variante C1 gegenübergestellt. Die Wärmegestehungskosten belaufen sich im Istzustand auf 7,8 Cent/kWh und sind somit um 0,3 Cent höher als bei Variante C1. Wenn die Brennstoffkosten um 50 % ansteigen, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 7,8 Cent/kWh auf 10,4 Cent/kWh. Die Wärmegestehungskosten steigen durch den Brennstoff Pellet etwas geringer an.

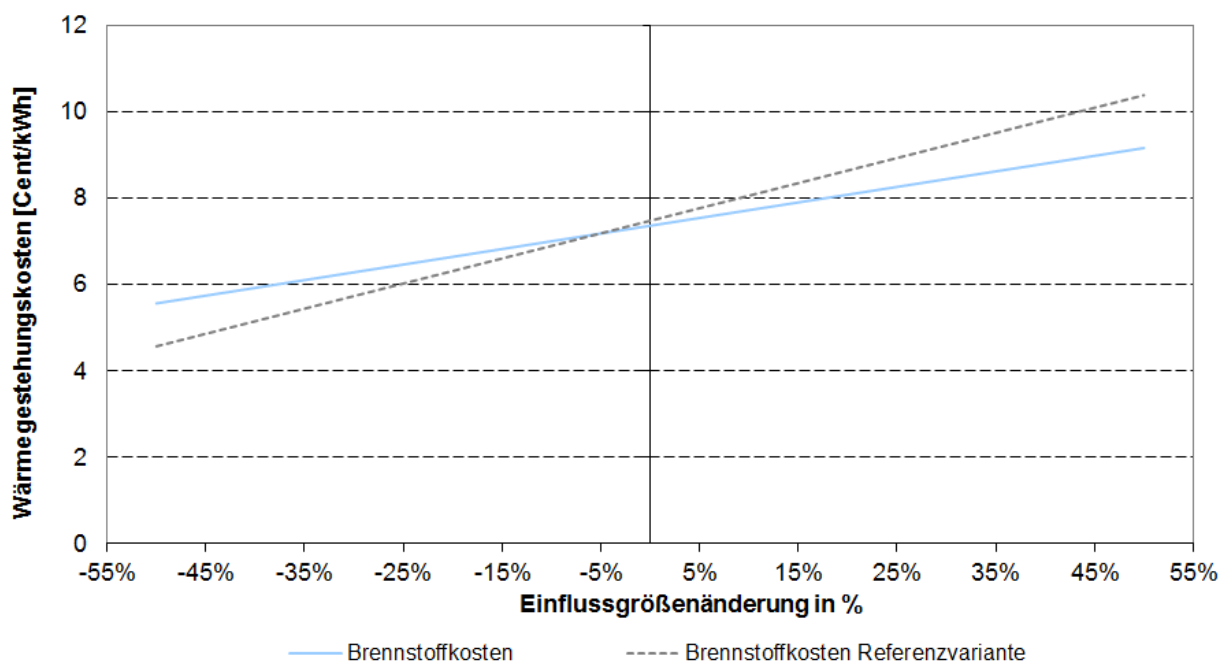
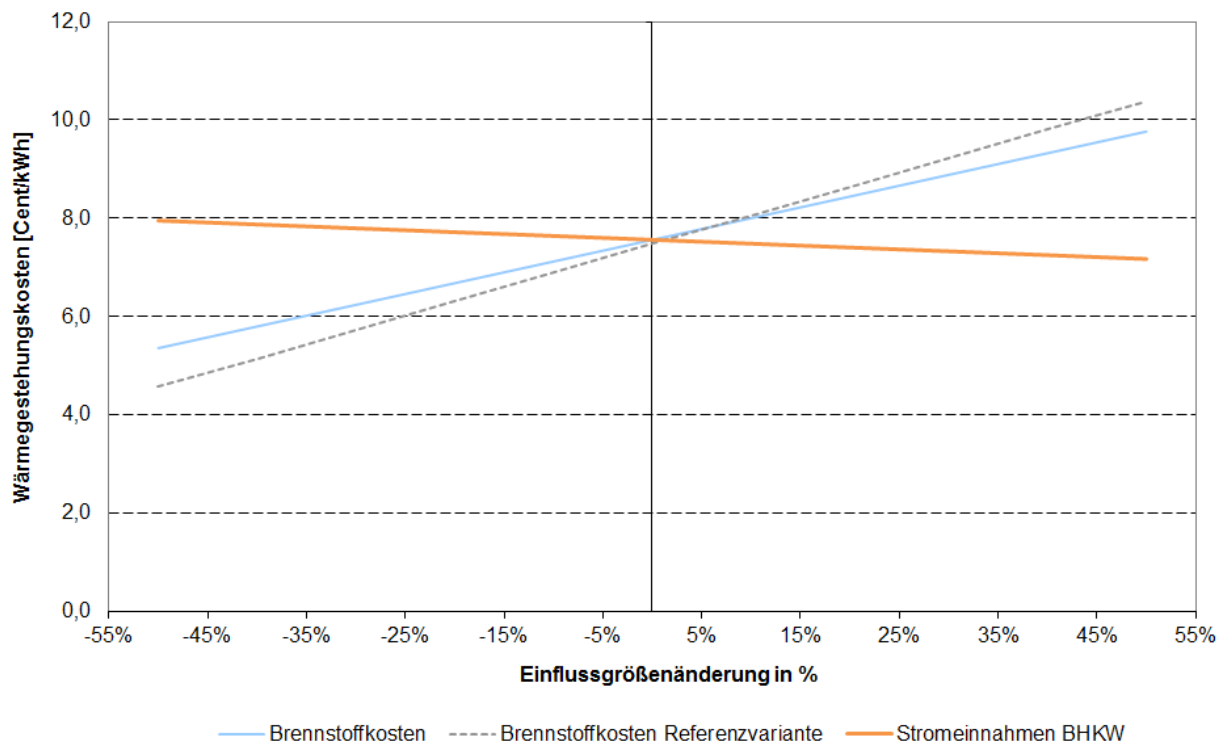


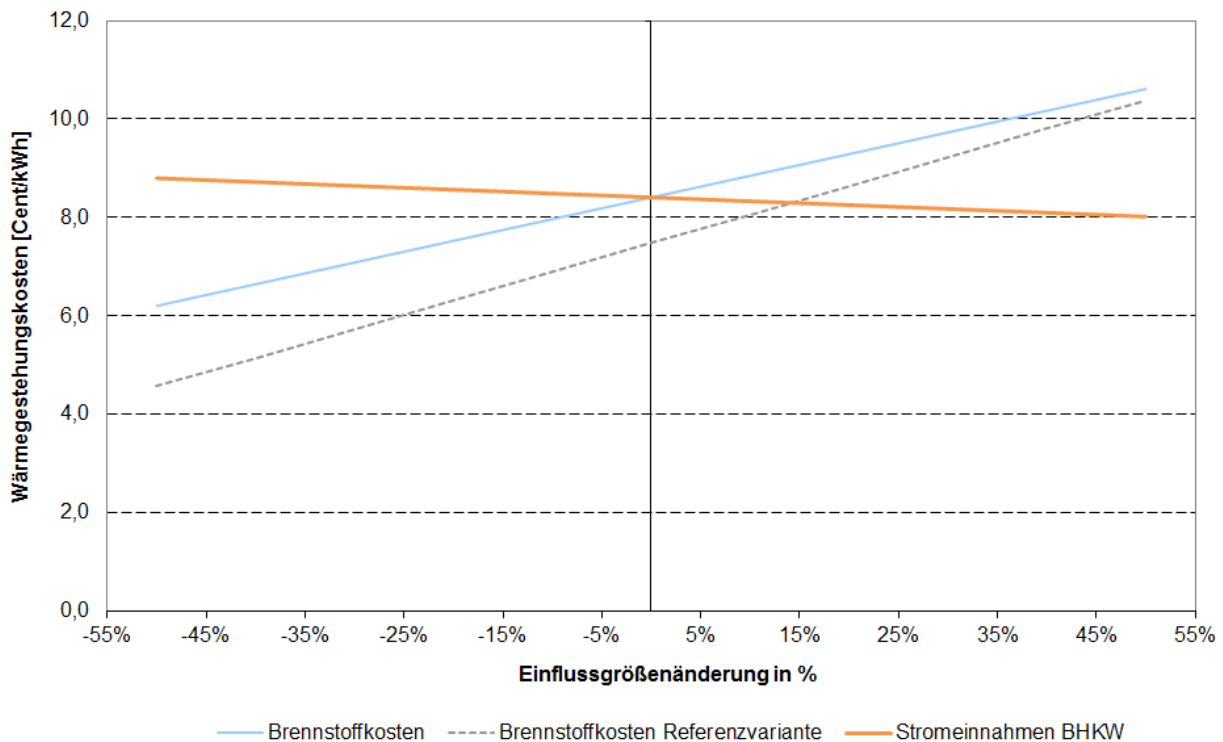
Abbildung 57: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C3

In der Abbildung 57 sind die Wärmegestehungskosten aus dem Hackgutkessel C3 der Variante C1 gegenübergestellt. Die Wärmegestehungskosten belaufen sich im Istzustand auf 7,8 Cent/kWh und sind somit um 0,3 Cent höher als bei Variante C1. Wenn die Brennstoffkosten um 50 % ansteigen, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 7,8 Cent/kWh auf 10,4 Cent/kWh. Die Wärmegestehungskosten steigen durch den Brennstoff Hackgut etwas geringer an.



**Abbildung 58: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C4**

In der Abbildung 58 sind die Wärmegestehungskosten der Variante C4 (BHKW mit Pelletkessel), der Variante C1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 7,6 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 7,6 Cent/kWh auf 9,8 Cent/kWh und liegen somit unterhalb der WGK der Heizölversorgung mit 10,4 Cent/kWh. Steigen jedoch die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 % an, dann sinken die Wärmegestehungskosten auf 7,2 Cent/kWh, Sie liegen dann etwas unterhalb der WGK von Variante C1 mit 7,6 Cent/kWh.



**Abbildung 59: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C5**

In der Abbildung 59 sind die Wärmegestehungskosten der Variante C5 (BHKW mit Hackgutkessel), der Variante C1 gegenübergestellt und belaufen sich im Istzustand auf 8,4 Cent/kWh. Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 8,4 Cent/kWh auf 10,6 Cent/kWh und liegen somit oberhalb der WGK der Heizölversorgung mit 10,4 Cent/kWh. Steigen jedoch die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 % an, dann sinken die Wärmegestehungskosten auf 8,0 Cent/kWh, sie liegen dann immer noch oberhalb der WGK von Variante C1 mit 7,6 Cent/kWh. Diese geringeren Auswirkungen des Strompreisanstiegs sind dem geringen Strombedarf des Schulzentrums geschuldet.

## 9 Die CO<sub>2</sub>-Bilanz

Zur Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit wird für die verschiedenen neuen Energieversorgungsvarianten eine Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durchgeführt. Dabei wird neben dem jährlichen Brennstoffbedarf auch der Hilfsenergiebedarf (elektrische Energie) berücksichtigt. Die Faktoren der CO<sub>2</sub>-Äquivalente wurden mit Hilfe der GEMIS-Datenbank ermittelt und berücksichtigen alle anfallenden Emissionen von der Gewinnung bis zur Energiewandlung des jeweiligen Brennstoffs. Das Ergebnis der Berechnungen für das Wärmenetz und die dezentrale Versorgung des Freibad und des Schulzentrums wird nachfolgend dargestellt.

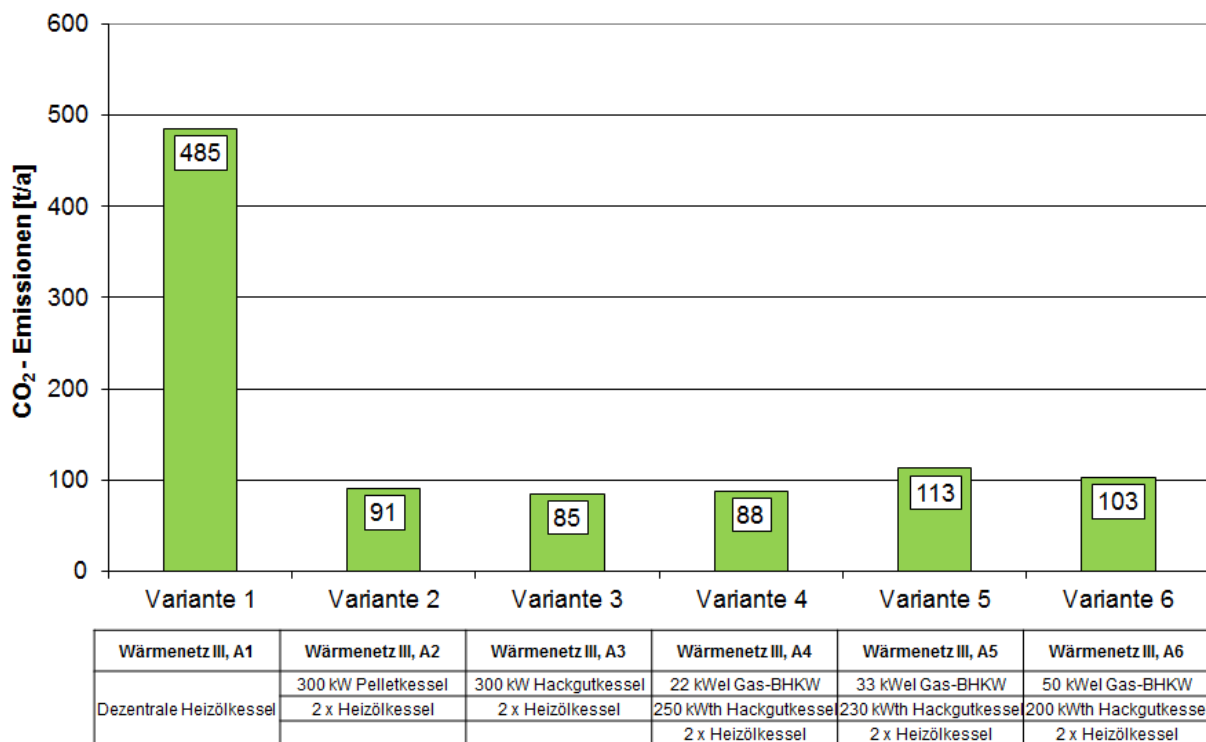
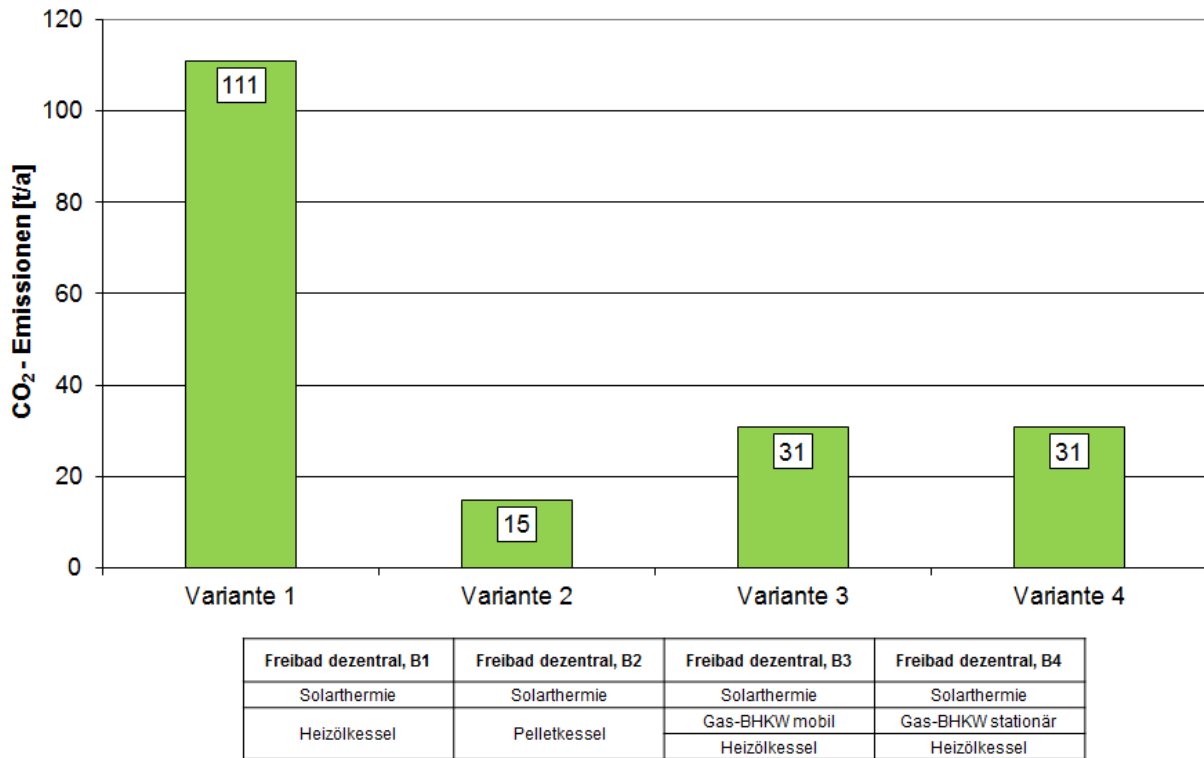


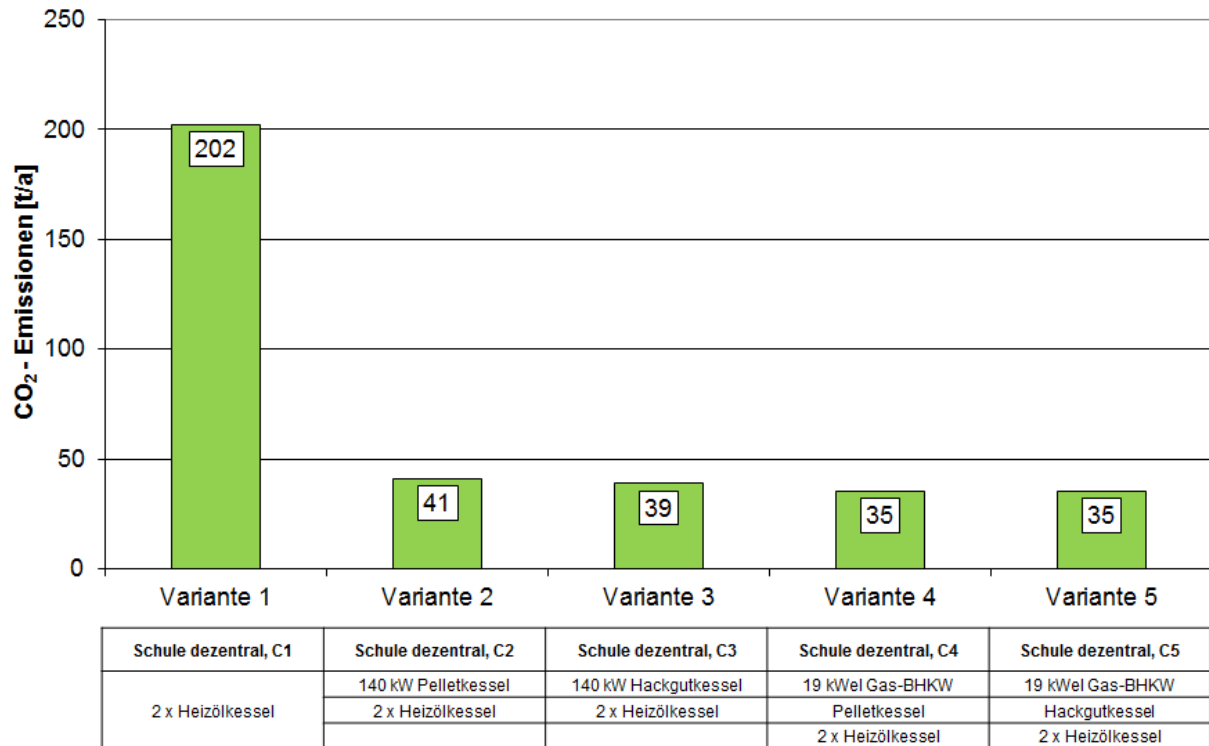
Abbildung 60: Die CO<sub>2</sub>-Bilanz für das Wärmenetz

Die dezentrale Heizölversorgung in der Abbildung 60 verursacht mit 485 to/a mit Abstand die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für Varianten mit Biomasse sind dagegen eher niedrig. Die Varianten 4 bis 6 haben etwas höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen, dies liegt am benötigten Flüssiggas, der produzierte Strom daraus wird in der CO<sub>2</sub>-Bilanz gegengerechnet. Die Wärmeerzeugung aus dem Hackgut ist bei Variante 4 am höchsten und nimmt zu Variante 6 stetig ab, was aus der zunehmenden elektrischen und thermischen Leistung aus den BHKW resultiert.



**Abbildung 61: Die CO<sub>2</sub>-Bilanz für die Heizzentrale am Freibad**

Die Abbildung 61 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Heizzentrale am Freibad. Die Variante 1 stellt die mit Abstand höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Heizölversorgung dar. Die Variante 2 mit Pelletkessel hat die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen, dies liegt an der eingesetzten Biomasse. Die Emissionen aus dem BHKW sind aufgrund des eingesetzten Flüssiggases etwas höher, dies kann auch die CO<sub>2</sub>-Gutschrift aus der Stromerzeugung nicht kompensieren.



**Abbildung 62: Die CO<sub>2</sub>-Bilanz für die Heizzentrale am Schulzentrum**

Die Abbildung 62 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Heizzentrale am Schulzentrum. Die Variante 1 stellt die mit Abstand höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Heizölversorgung dar. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der übrigen Varianten sind vergleichsweise gering, dies liegt am hohen Anteil von Biomasse, unabhängig ob Hackgut oder Pellets eingesetzt werden. Die Wärmeversorgung aus den BHKW ist vergleichsweise gering.

## 10 Die Primärenergiefaktoren

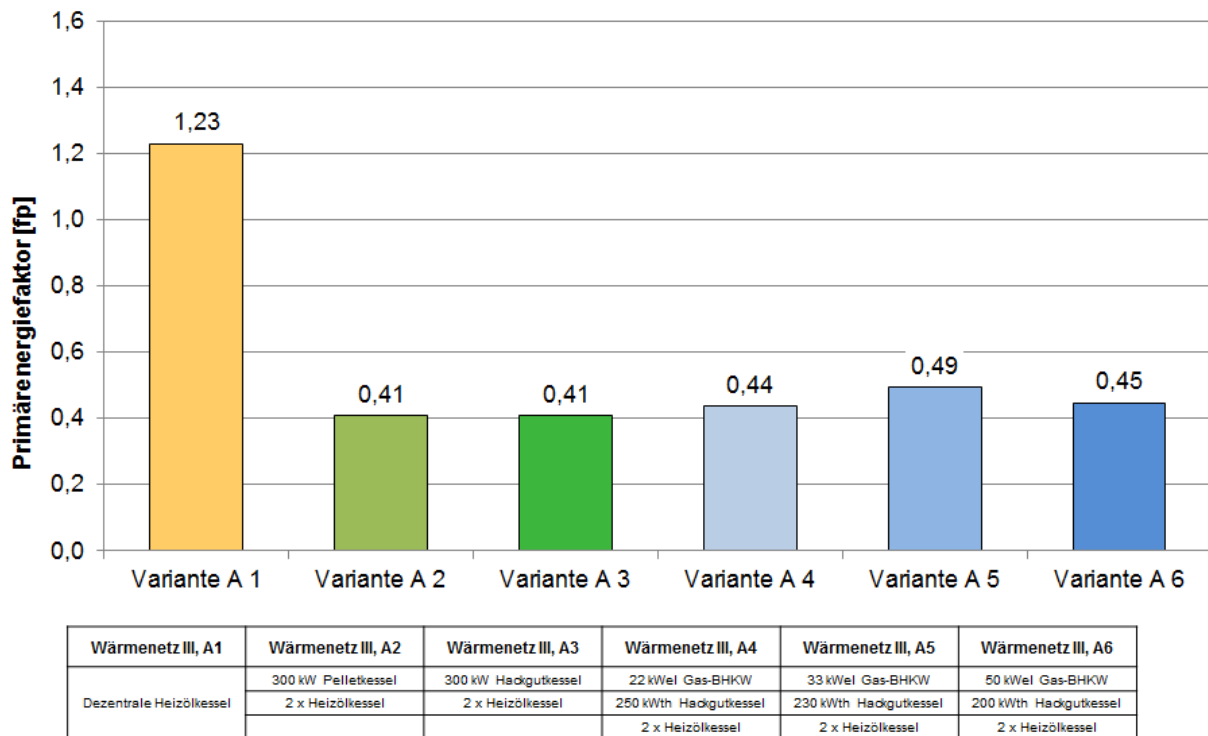


Abbildung 63: Der Primärenergiefaktor des Wärmenetzes

Die Abbildung 63 zeigt die Primärenergiefaktoren der Varianten im Wärmenetz. Dieser Faktor ist für spätere Renovierungen und Neubauten besonders wichtig, da mit einem niedrigeren Primärenergiefaktor der energetische Sanierungsumfang deutlich reduziert werden kann und dennoch die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden.



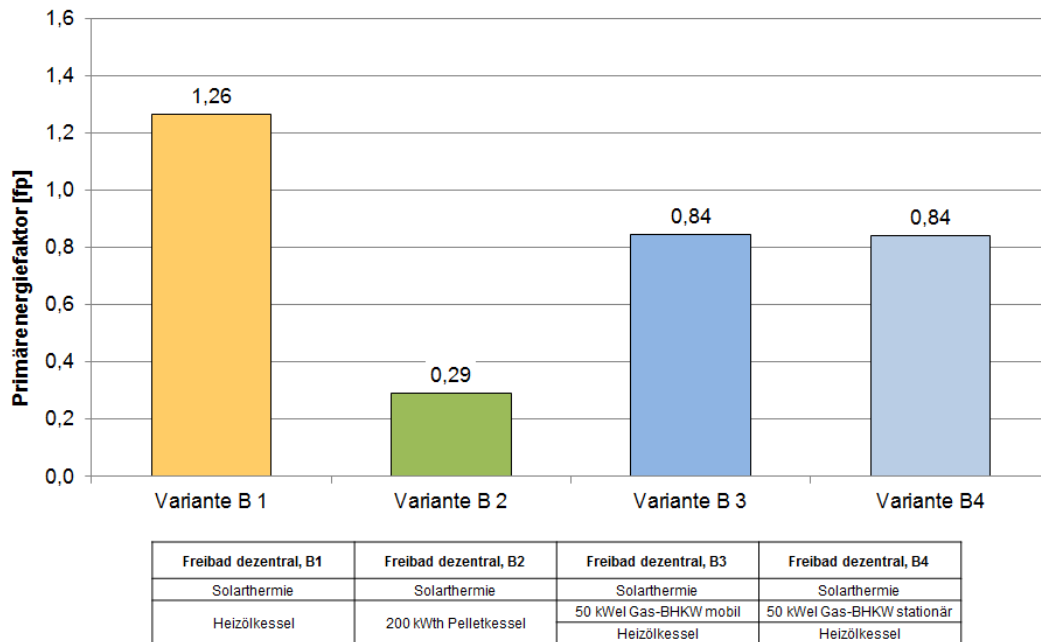


Abbildung 64: Der Primärenergiefaktor der Heizzentrale am Freibad

Die Abbildung 64 zeigt die Primärenergiefaktoren der Energieversorgungsvarianten am Freibad.

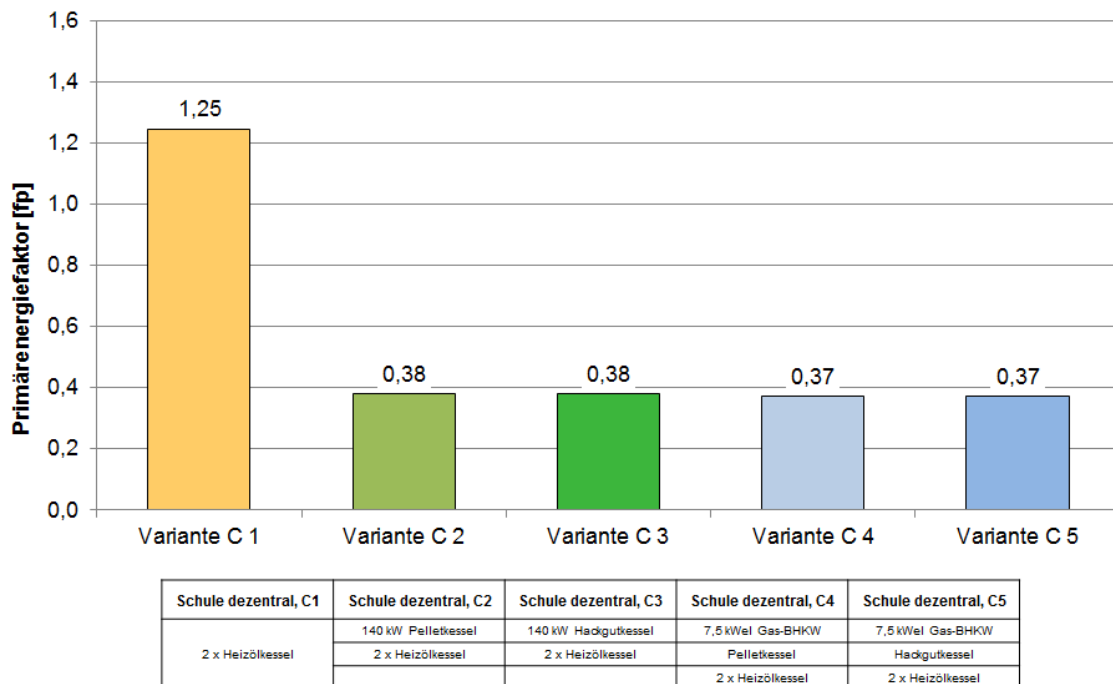


Abbildung 65: Der Primärenergiefaktor der Heizzentrale an der Schule

Die Abbildung 65 zeigt die Primärenergiefaktoren der Energieversorgungsvarianten an der Schule.

## 11 Zusammenfassung

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
Grundlasterzeuger	Heizölkessel	Pelletkessel	Hackgutkessel	Gas-BHKW	Gas-BHKW	Gas-BHKW
<b>ohne mögliche Förderungen</b>						
Investitionskosten [€]	424.000	1.050.000	1.056.000	1.123.000	1.116.000	1.144.000
Jahresgesamtkosten [€]	123.000	152.000	132.000	143.000	146.000	152.000
Wärmegestehungskosten [€-Cent/kWh]	10,3	12,6	11,0	11,9	12,2	12,7
<b>mit möglichen Förderungen</b>						
maximale Projektförderung [€]	0	200.000	200.000	184.500	170.500	160.000
Jahresgesamtkosten [€]	123.000	141.000	121.000	133.000	136.000	143.000
Wärmegestehungskosten [€-Cent/kWh]	10,3	11,7	10,1	11,1	11,4	11,9
CO <sub>2</sub> -Emissionen [t/a]	485	91	85	88	113	103

Wärmenetz III, A1	Wärmenetz III, A2	Wärmenetz III, A3	Wärmenetz III, A4	Wärmenetz III, A5	Wärmenetz III, A6
	300 kW Pelletkessel	300 kW Hackgutkessel	22 kWel Gas-BHKW	33 kWel Gas-BHKW	50 kWel Gas-BHKW
Dezentrale Heizölkessel	2 x Heizölkessel	2 x Heizölkessel	250 kWth Hackgutkessel	230 kWth Hackgutkessel	200 kWth Hackgutkessel
			2 x Heizölkessel	2 x Heizölkessel	2 x Heizölkessel

Abbildung 66: Die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten des Wärmenetzes

Die Abbildung 66 zeigt die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten des Wärmenetz III. Unter Berücksichtigung der möglichen Förderungen auf die benötigten Nahwärmeleitungen, Übergabestationen und teilweise auf Energieerzeuger können mit der Variante 3 „Dem Hackgutkessel“ die niedrigsten Wärmegestehungskosten erzielt werden.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Grundlasterzeuger	Heizölkessel	Pelletkessel	Gas-BHKW	Gas-BHKW
<b>ohne mögliche Förderungen</b>				
Investitionskosten [€]	83.000	171.000	110.000	222.000
Jahresgesamtkosten [€]	27.000	33.000	21.000	27.000
Wärmegestehungskosten [€-Cent/kWh]	7,3	8,9	5,7	7,3
<b>mit möglichen Förderungen</b>				
maximale Projektförderung [€]	0	39.000	0	0
Jahresgesamtkosten [€]	27.000	31.000	21.000	27.000
Wärmegestehungskosten [€-Cent/kWh]	7,3	8,3	5,7	7,3
CO <sub>2</sub> -Emissionen [t/a]	111	15	31	31

Freibad dezentral, B1	Freibad dezentral, B2	Freibad dezentral, B3	Freibad dezentral, B4
Solarthermie	Solarthermie	Solarthermie	Solarthermie
Heizölkessel	140 kW Pelletkessel	50 kWel Gas-BHKW mobil Heizölkessel	50 kWel Gas-BHKW stationär Heizölkessel

Abbildung 67: Die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten des Freibads

In Abbildung 67 werden die möglichen Varianten der dezentralen Energieversorgung des Freibads dargestellt. Die Variante 3, das mobile Flüssiggas-BHKW, hat die niedrigsten Wärmegestehungskosten, dies liegt jedoch daran, dass die Investitionskosten des „mobilen“ BHKW in Variante A6 berücksichtigt werden.

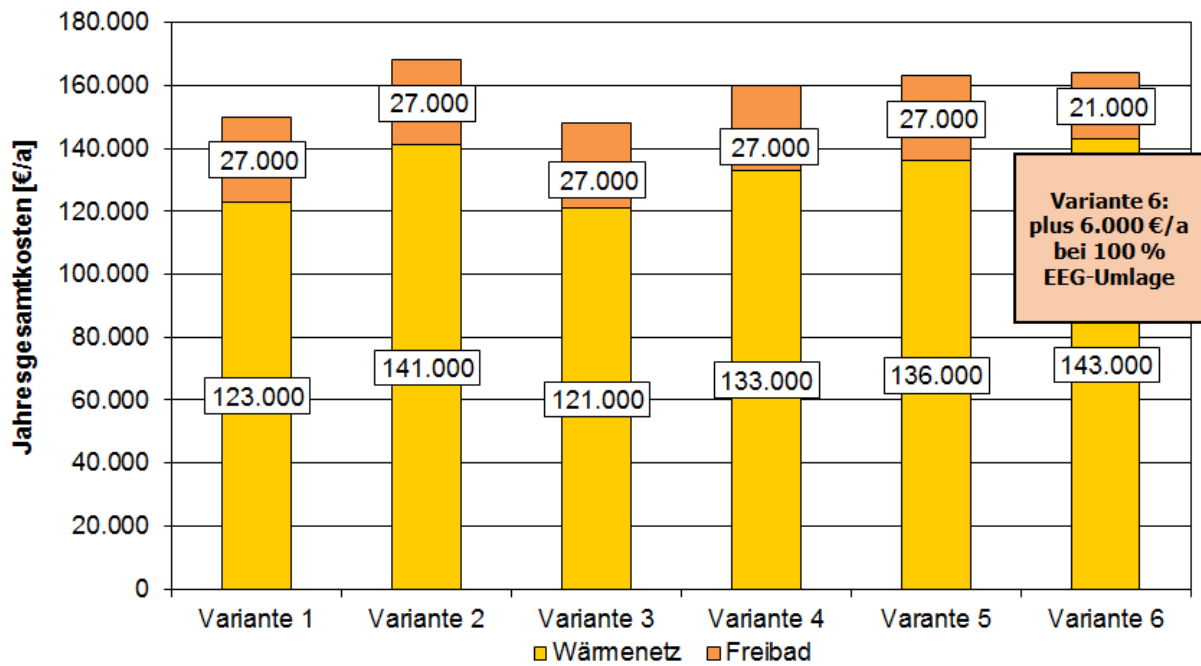


Abbildung 68: Die Jahresgesamtkosten der Varianten von Wärmenetz und Freibad

In der Abbildung 68 werden die Jahresgesamtkosten nochmals dargestellt. Die Jahresgesamtkosten von Variante B3 können somit nur in Verbindung mit der Variante A6 des Nahwärmenetzes betrachtet werden. Die Variante B1 und B4 sind demnach die günstigsten Varianten, unter Berücksichtigung des CO<sup>2</sup>-Ausstoß und steigender Stromkosten wäre die Variante B4 zu empfehlen.

Die Prüfung der gewerblichen Abwärmequellen brachte das Ergebnis, dass bei der Bäckerei Schmidt KG im Sommer 2018 nach umfangreichen Umbaumaßnahmen nochmals bzgl. einer möglichen Abwärme angefragt werden sollte. Die Anfrage bei dem zweiten Betrieb, der Firma Heibad Badmöbel Vertriebs GmbH zeigte auf, dass im Sommer keine kontinuierliche Energie aus Abwärme zur Verfügung steht.

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Grundlasterzeuger		Heizölkessel	Pelletkessel	Hackgutkessel	Gas-BHKW	Gas-BHKW
<b>ohne mögliche Förderungen</b>						
Investitionskosten	[€]	94.000	151.000	211.000	214.000	254.000
Jahresgesamtkosten	[€]	42.000	44.000	42.000	43.000	48.000
Wärmegestehungskosten	[€-Cent/kWh]	7,5	7,8	7,4	7,6	8,4
<b>mit möglichen Förderungen</b>						
maximale Projektförderung	[€]	0	45.600	45.600	39.000	39.000
Jahresgesamtkosten	[€]	42.000	42.000	39.000	41.000	46.000
Wärmegestehungskosten	[€-Cent/kWh]	7,5	7,4	6,9	7,2	8,0
CO <sub>2</sub> -Emissionen	[t/a]	202	41	39	35	35

Schule dezentral, C1	Schule dezentral, C2	Schule dezentral, C3	Schule dezentral, C4	Schule dezentral, C5
2 x Heizölkessel	140 kW Pelletkessel	140 kW Hackgutkessel	7,5 kWel Gas-BHKW	7,5 kWel Gas-BHKW
	2 x Heizölkessel	2 x Heizölkessel	Pelletkessel	Hackgutkessel
			2 x Heizölkessel	2 x Heizölkessel

**Abbildung 69: Die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten des Schulzentrums**

Die Abbildung 69 zeigt die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten für eine dezentrale Energieversorgung des Schulzentrums. Die Variante 3 erzielt aufgrund des günstigen Brennstoffs Hackgut die niedrigsten Wärmegestehungskosten.

Diese Förderung der Varianten setzt sich aus folgenden Punkten zusammen:

- Tilgungszuschüsse zu den Heizkessel nach KfW (vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- KfW-Förderung für Wärmenetze
- Förderung Biomasseheizwerk, pro Jahrestonne kalkulatorisch eingespartes CO<sub>2</sub>, vom TFZ in Straubing
- Mini-KWK-Zuschuss bis 20 kWel

Wenn die maximale Projektförderung mit in die Wärmegestehungskosten einberechnet ist, werden die Biomassevarianten deutlich attraktiver und gegenüber der Referenzvariante mit Heizöl konkurrenzfähig. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sprechen ebenfalls für eine Biomassevarianten.

## 12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Übersicht der untersuchten Gebäude [Quelle: Stadt Heideck].....	5
Abbildung 2: Der Nutzwärmebedarf der einzelnen Liegenschaften .....	6
Abbildung 3: Der witterungsbereinigte Wärmebedarf der Abnehmer .....	7
Abbildung 4: Der elektrische Stromverbrauch .....	8
Abbildung 5: Das Nahwärmenetz, Hauptleitung zum Rathaus, Netzvariante I .....	9
Abbildung 6: Das Nahwärmenetz, Katholische Kirche und Privatgebäude, Netzvariante II .....	10
Abbildung 7: Das Nahwärmenetz, öffentliche Gebäude, Netzvariante III .....	10
Abbildung 8: Das Nahwärmenetz, FFW-Haus und Stadthalle, Netzvariante IV .....	11
Abbildung 9: Das Nahwärmenetz zum Freibad, Netzvariante V .....	11
Abbildung 10: Die Betrachtung der einzelnen Netzvarianten.....	12
Abbildung 11: Die Wärmegestehungskosten der dezentralen Versorgung.....	13
Abbildung 12: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie der Nahwärmenetzvariante III, A .....	14
Abbildung 13: Die Übersicht der Energieversorgungsvarianten des Nahwärmenetzes .....	14
Abbildung 14: Die Variante A2 mit einem Holzpelletkessel.....	15
Abbildung 15: Die Variante A3 mit einem Hackgutkessel.....	16
Abbildung 16: Die Variante A4 mit einem 22 kWel Flüssiggas-BHKW .....	17
Abbildung 17: Die Variante A5 mit einem 33 kWel Flüssiggas-BHKW .....	18
Abbildung 18: Die Variante A5 mit einem 50 kWel Flüssiggas-BHKW .....	19
Abbildung 19: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie des Freibads.....	20
Abbildung 20: Die Übersicht der Energieversorgungsvarianten am Freibad .....	20
Abbildung 21: Die Variante B1 mit einer Solarthermieranlage und einem Heizölkessel .....	21
Abbildung 22: Die Variante B2 mit einer Solarthermieranlage und einem Pelletkessel .....	22
Abbildung 23: Die Variante B3 mit einer Solarthermieranlage und einem mobilen Flüssiggas-BHKW .	23
Abbildung 24: Die Variante B4 mit einer Solarthermieranlage und einem stationären Flüssiggas-BHKW .....	24
Abbildung 25: Die geordnete thermische Jahresdauerlinie für die Schule in Heideck .....	25

Abbildung 26: Die Übersicht der Energieversorgungsvarianten an der Schule .....	25
Abbildung 27: Die Referenzvariante mit Heizölkessel C1 .....	26
Abbildung 28: Der Pelletkessel mit einem Heizölspitzenlastkessel C2 .....	26
Abbildung 29: Der Hackgutkessel mit einem Heizöl-Spitzenlastkessel C3 .....	27
Abbildung 30: Die Variante C4 mit Flüssiggas-BHKW und Pelletkessel .....	28
Abbildung 31: Die Variante C5 mit Flüssiggas-BHKW und Hackgutkessel .....	29
Abbildung 32: Die Investitionskosten für das Wärmenetz.....	31
Abbildung 33: Die jährlichen Kosten des Wärmenetzes .....	32
Abbildung 34: Die jährlichen Einnahmen des Wärmenetzes .....	32
Abbildung 35: Die Jahresgesamt- und Wärmegegestehungskosten des Wärmenetzes.....	33
Abbildung 36: Die Investitionskosten der dezentralen Energieversorgung des Freibads.....	34
Abbildung 37: Die jährlichen Kosten am Freibad .....	35
Abbildung 38: Die jährlichen Einnahmen am Freibad .....	36
Abbildung 39: Die Jahresgesamt- und Wärmegegestehungskosten am Freibad .....	36
Abbildung 40: Die Jahresgesamt- und Wärmegegestehungskosten des Wärmenetz und Freibad.....	37
Abbildung 41: Die Investitionskosten der dezentralen Energieversorgung am Schulzentrum.....	38
Abbildung 42: Die jährlichen Kosten am Schulzentrum .....	39
Abbildung 43: Die jährlichen Einnahmen am Schulzentrum.....	40
Abbildung 44: Die Jahresgesamt- und Wärmegegestehungskosten am Schulzentrum .....	40
Abbildung 45: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A1 .....	42
Abbildung 46: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A2 .....	43
Abbildung 47: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A3 .....	43
Abbildung 48: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A4 .....	44
Abbildung 49: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A5 .....	45
Abbildung 50: Die Sensitivitätsanalyse der Variante A6 .....	45
Abbildung 51: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B1 .....	46
Abbildung 52: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B2 .....	47

Abbildung 53: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B3 .....	47
Abbildung 54: Die Sensitivitätsanalyse der Variante B4 .....	48
Abbildung 55: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C1 .....	49
Abbildung 56: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C2 .....	50
Abbildung 57: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C3 .....	50
Abbildung 58: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C4 .....	51
Abbildung 59: Die Sensitivitätsanalyse der Variante C5 .....	52
Abbildung 60: Die CO <sub>2</sub> -Bilanz für das Wärmenetz .....	53
Abbildung 61: Die CO <sub>2</sub> -Bilanz für die Heizzentrale am Freibad.....	54
Abbildung 62: Die CO <sub>2</sub> -Bilanz für die Heizzentrale am Schulzentrum.....	55
Abbildung 63: Der Primärenergiefaktor des Wärmenetzes .....	56
Abbildung 64: Der Primärenergiefaktor der Heizzentrale am Freibad .....	57
Abbildung 65: Der Primärenergiefaktor der Heizzentrale an der Schule.....	57
Abbildung 66: Die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten des Wärmenetzes .....	58
Abbildung 67: Die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten des Freibads .....	58
Abbildung 68: Die Jahresgesamtkosten der Varianten von Wärmenetz und Freibad .....	59
Abbildung 69: Die Zusammenfassung der Energieversorgungsvarianten des Schulzentrums .....	60