



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im



Machbarkeitsstudie zur Wärmeversorgung des Schulzentrums Kaisersesch

Auftraggeber SGD Süd Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft
Rheinland-Pfalz, Abt. D
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

Auftragnehmer Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH
Leiter: Prof. Dr. G. Schaumann
Bearbeiter/in: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
 Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs
Telefon: 06721 / 409 229 Herr Wirtz
 06721 / 409 218 Frau Kriebs
Telefax: 06721 / 409 129
Homepage: <http://tsb.fh-bingen.de>

Projektnummer: 885

Datum: 15.08.03

Inhalt

Einleitung.....	3
1 Ist-Analyse	4
1.1 Gebäudedaten der Schulgebäude	4
1.2 Heizanlage der Schulgebäude	6
1.3 Gebäudetechnik in der Turnhalle	7
1.4 Wärmebedarf der Schulgebäude	8
2 Modernisierung der Wärmeversorgung für den derzeitigen Wärmebedarf.....	9
2.1 Energiebilanz für den derzeitigen Wärmebedarf	10
2.2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf	11
2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf	12
2.4 Sensitivitätsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf.....	16
3 Anpassung der Heizanlage nach Verbesserung des Wärmedämmstandards	18
4 Einsatz zusätzlicher Gebäudetechniken	19
4.1 Lüftung.....	19
4.2 Solarkollektor zur Warmwasserbereitung	21
4.3 Fotovoltaik	22
5 Zusammenfassung	23
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	24

Einleitung

In dieser Studie wird eine vergleichende Bewertung einer Holzpellet-Containerlösung mit einer Erneuerung der heizölbefeuerten Heizkessel beispielhaft für die Regionale Schule in Kaisersesch durchgeführt. Sie schließt die gebäudetechnische Untersuchung der Schulgebäude durch die Universität Kaiserslautern Fachgebiet Bauphysik, Technische Gebäudeausrüstung und Baulicher Brandschutz ein.

Die Heizanlage der Kurfürst-Balduin-Schule versorgt neben den Gebäuden der Regionalen Schule auch die Grundschule und die Turnhalle über Nahwärmeleitungen mit Wärme.

Eine Modernisierung der Heizanlage wird für den derzeitigen Dämmstandard der Schulgebäude betrachtet.

Die Ergebnisse der Universität Kaiserslautern zur Gebäudesanierung werden wirtschaftlich in Bezug auf die Wärmeversorgung für den derzeitigen Zustand der Gebäude bewertet. Die ökonomisch sinnvollen Maßnahmen führen zu einem verminderten Wärmebedarf und einer niedrigeren Wärmeleistung, sodass sich geringere Nennwärmeleistungen für die Heizkessel ergeben.

Als Datengrundlage dient die Diplomarbeit „Konzept für die bauphysikalische Sanierung und Modernisierung der Wärmeversorgung des Schulzentrums Kaisersesch“ von Herrn Bretz (FH Gießen-Friedberg), die Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für eine Heizölheizung des Ingenieur- und Planungsbüros Pyka aus Kaisersesch sowie die Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung der Firma Mann aus Langenbach für eine Holzpellets-Containerlösung.

Aus den entsprechenden Daten wird eine Energiebilanz mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen erstellt. Darauf basieren die Kohlendioxid-Emissionsbilanz sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizungsmodernisierung.

In einer abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt, sodass diese als Entscheidungshilfe zur Anlagenauswahl beitragen.

1 Ist-Analyse

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlage aus den vorliegenden Unterlagen aus und prüft sie hinsichtlich ihrer Plausibilität und Richtigkeit.

1.1 Gebäudedaten der Schulgebäude

Außer der Regionalen Schule, die in einem Alt- und Neubau untergebracht ist, befinden sich auf dem Schulgelände die Grundschule und eine Turnhalle. In der folgenden Tabelle ist die Energiebezugsfläche und das Baujahr der Schulgebäude aufgeführt. Die Daten sind aus der Diplomarbeit des Herrn Bretz entnommen.

Gebäude	Baujahr	Energiebezugsfläche
Altbau	1955/56	2.944 m ²
Neubau	1971-73	4.232 m ²
Toilettengebäude	1971-73	119 m ²
Grundschule	1971-73	1.247 m ²
Turnhalle	1971-73	2.785 m ²
Summe		11.327 m ²

Tabelle 1-1 Gebäudedaten der Schulgebäude

Im Lageplan sind die Schulgebäude abgebildet.

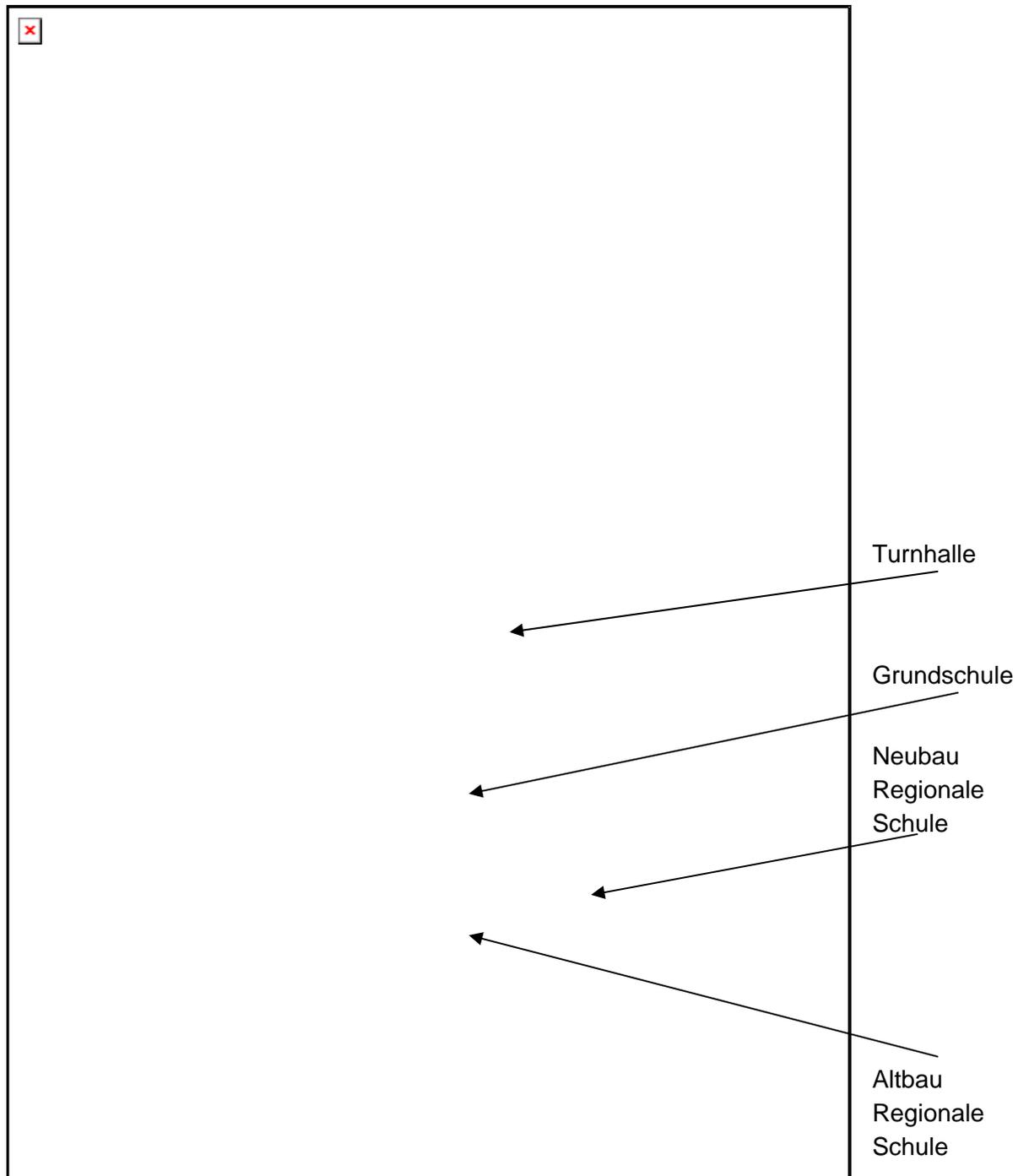


Abbildung 1-1 Lageplan der Schulgebäude in Kaisersesch

1.2 Heizanlage der Schulgebäude

Zur Wärmeversorgung der Schulgebäude befindet sich im Kellergeschoss des Neubaus der Regionalen Schule die Heizzentrale. Über Nahwärmeleitungen, die z. T. auf den überdachten Verbindungsgängen und unterirdisch verlegt sind, sind die einzelnen Gebäude an die Heizzentrale angebunden.

Folgende heizölbefeuerten Heizkessel sind im Neubau der Regionalen Schule installiert.

	Heizkessel 1	Heizkessel 2
Heizkessel		
Fabrikat/Bezeichnung	Buderus Omnical	Buderus Omnical
Baujahr	1971	1971
Nennwärmeleistung	1,33 MW _{th}	1,33 MW _{th}
Abgasverlust 12.11.2002	5,9 %	4,9 %
Brenner		
Fabrikat/Bezeichnung	Weishaupt Monarch	Weishaupt Monarch
Baujahr	1971	1971

Tabelle 1-2 Daten zur Heizanlage

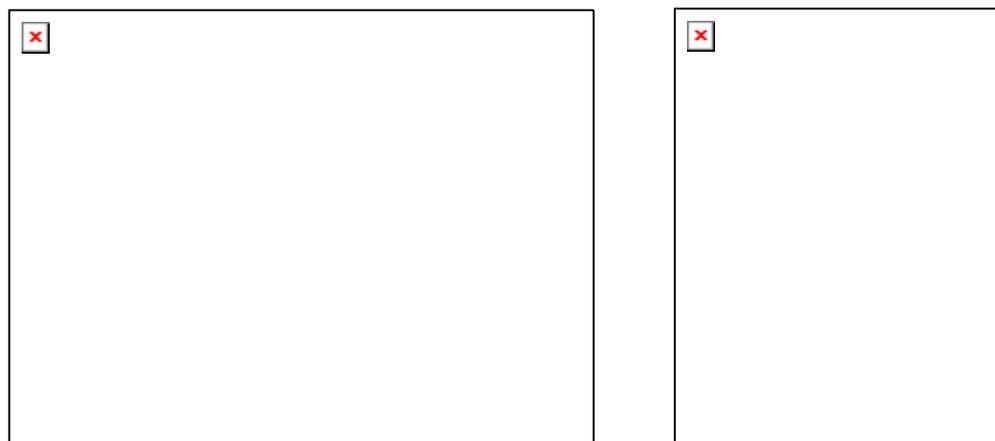


Abbildung 1-2 Heizkessel und Hauptverteiler im Neubau der Regionalen Schule

Zur Lagerung des Heizöls befinden sich zwei Kellereinschweiß tanks mit 179.000 l und 45.000 l im Gebäude.

Die Unterverteilstationen befinden sich in den einzelnen Gebäuden, die über Nahwärmeleitungen versorgt werden.

Die Überdimensionierung der Heizkessel, was im nächsten Kapitel deutlich wird, sowie der Heizöltanks ist typisch für das Baujahr der Heizanlage. Aufgrund dessen wird immer nur ein Heizkessel zur Wärmeversorgung betrieben. Nach einigen Reparaturen der Heizkessel soll nun die Heizanlage modernisiert werden.

1.3 Gebäudetechnik in der Turnhalle

Zur Warmwasserbereitung befindet sich in der Turnhalle ein Speicher mit 1.500 l Inhalt. Der etwa 30 Jahre alte Speicher ist vom Hersteller Viessmann. Die Speichertemperatur beträgt 60°C

Die Wärmeversorgung der großen und kleinen Halle erfolgt mit zwei getrennten Lüftungsanlagen, die keine Wärmerückgewinnung besitzen. Ein Umluftbetrieb ist möglich. Folgende technische Daten weisen die Anlagen auf.

	große Lüftungsanlage	kleine Lüftungsanlage
Baujahr	1972	1972
Luftleistung	31.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h
Heizregisterleistung	335 kW _{th}	105 kW _{th}
Heizsystemtemperatur	90/70 °C	90/0 °C

In den Nebenräumen, wie Umkleide und Flure, befinden sich Heizkörper zur Wärmeverteilung.

1.4 Wärmebedarf der Schulgebäude

Der Wärmebedarf der Schulgebäude wurde in der Diplomarbeit des Herrn Bretz in einer Wärmebedarfsberechnung und nach den klimabereinigten Messwerten der Wärmemengenzähler von 1993 bis 1997 wie folgt ermittelt.

Gebäude	Wärmebedarf nach Berechnung	Wärmebedarf nach Wärmemengenzähler
Altbau Regionale Schule	459 MWh _{th} /a	586 MWh _{th} /a
Neubau Regionale Schule	673 MWh _{th} /a	532 MWh _{th} /a
Grundschule	236 MWh _{th} /a	265 MWh _{th} /a
Turnhalle	492 MWh _{th} /a	480 MWh _{th} /a
Summe	1.860 MWh _{th} /a	1.863 MWh _{th} /a

Tabelle 1-3 Wärmebedarf nach Berechnung und Wärmemengenzähler
aus der Diplomarbeit des Herrn Bretz

Im Zeitraum von 1993 bis 1997 beträgt der durchschnittliche Heizölverbrauch 230.589 l/a, dies entspricht einem Energieinhalt von 2.306 MWh_{Hu}/a. Im Vergleich zu den Messwerten des Wärmemengenzählers berechnet sich der Jahresnutzungsgrad der bestehenden Heizanlage zu 81 %.

Von 1998 bis 2002 wurde durchschnittlich 193.143 l/a Heizöl mit einem Energieinhalt von 1.931 MWh_{Hu}/a verbraucht.

Das Ingenieur- und Planungsbüro Pyka ermittelte einen Wärmebedarf von 1.725 MWh_{th}/a und eine Wärmeleistung von 1.372 kW_{th}.

Für die weitere Betrachtung wird von einem Wärmebedarf von 1.863 MWh_{th}/a ausgegangen. Die benötigte Wärmeleistung beträgt 1.330 kW_{th}. Dies zeigt, dass die vorhandenen Heizkessel überdimensioniert sind, da zwei Kessel mit jeweils 1,33 MW_{th} installiert sind.

Die Vollbenutzungsstunden einer modernisierten Heizanlage beträgt dadurch etwa 1.400 h/a. Dies entspricht Vollbenutzungsstunden für einen einschichtigen Schulbetrieb von 1.200 bis 1.400 h/a und für einen zweischichtigen Schulbetrieb von 1.300 bis 1.500 h/a nach Literaturwerten.

2 Modernisierung der Wärmeversorgung für den derzeitigen Wärmebedarf

Da in den Herbstschulferien vorgesehen ist, zunächst einen Heizkessel zu ersetzen, wird für den derzeitigen Wärmebedarf eine Modernisierung der Wärmeversorgung untersucht. Im Vergleich zur Erneuerung der heizölbefeuerten Heizkessel wird ein Holzpelletkessel als Containerlösung in Verbindung mit einem heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel betrachtet.

Für alle Varianten wird eine Energiebilanz mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen erstellt. Darauf beruht eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz zur ökologischen Bewertung der Anlagen.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelt die Jahreskosten und Wärmepreise der drei Varianten. Ergänzend wird eine Sensitivitätsbetrachtung durchgeführt, die die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Brennstoffpreisen berechnet.

2.1 Energiebilanz für den derzeitigen Wärmebedarf

		Variante 1 Heizöl	Variante 2 Holzpellets + Heizöl
Heizleistungsbedarf	kW _{th}	1.330	1.330
Nennwärmeleistung			
Niedertemperaturkessel	kW _{th}	820	820
Brennwertkessel	kW _{th}	835	
Biomassekessel	kW _{th}		540
Deckungsgrad	%		40
Gesamtnennwärmeleistung	kW _{th}	1.655	1.360
Gesamtwärmebedarf			
		MWh _{th} /a	
		1.863	1.863
Biomassekessel			
Wärmeerzeugung	MWh _{th} /a		1.677
Deckungsgrad	%		90
Heizöl-Kessel			
Wärmeerzeugung	MWh _{th} /a	1.863	186
Deckungsgrad	%	100	10
Jahresnutzungsgrad			
Niedertemperaturkessel	%	92	92
Brennwertkessel	%	98	
Heizölkessel, gesamt	%	96	
Biomassekessel	%		85 ¹
Brennstoffbedarf			
Heizöl	MWh _{Hu} /a	1.941	202
Holzpellets	MWh _{Hu} /a		1.972
Brennstoffmenge			
Heizöl	l/a	194.052	20.249
Holzpellets	kg/a Sm ³ /a		394.496 607

Tabelle 2-1 Energiebilanz zur Wärmeversorgung für den derzeitigen Wärmebedarf

Das Vorratsvolumen der Holzpellets wird nach dem Brennstoffbedarf des Biomassekessels während eines fünf- bis zehntägigen Vollastbetriebs ausgelegt. Hier ergibt sich für einen sieben-tägigen Vollastbetrieb eine Lagergröße von etwa 40 m³.

¹ Mit einem Pufferspeicher erreicht der Holzpelletkessel einen Wirkungsgrad über 90 %, sodass sich der Jahresnutzungsgrad ebenfalls erhöht.

2.2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf

Die Kohlendioxid-Emissionsbilanz basiert auf den Werten der Energiebilanz zur Ermittlung der jährlichen CO₂-Emissionen für die beiden Heizungsanlagen.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzpellets benötigten Energie ergibt sich für diese eine spezifische Kohlendioxid-Emission von 70 g CO₂/kWh_{BS}, während die spezifische CO₂-Emission für Heizöl 318 g CO₂/kWh_{BS} beträgt.

		Ist-Zustand	Variante 1	Variante 2
Brennstoffbedarf				
Heizöl	MWh _{BSHU} /a	2.159	1.941	202
Holzpellets	MWh _{BSHU} /a			1.972
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	686	616	203

Tabelle 2-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf

Im Vergleich zum Ist-Zustand reduzieren ein heizölbefuerter Niedertemperatur- und ein Brennwertkessel die Kohlendioxid-Emissionen um etwa 10 %, während ein Holzpelletkessel und ein heizölbefuerter Niedertemperaturkessel ca. 70 % weniger CO₂ emittieren.

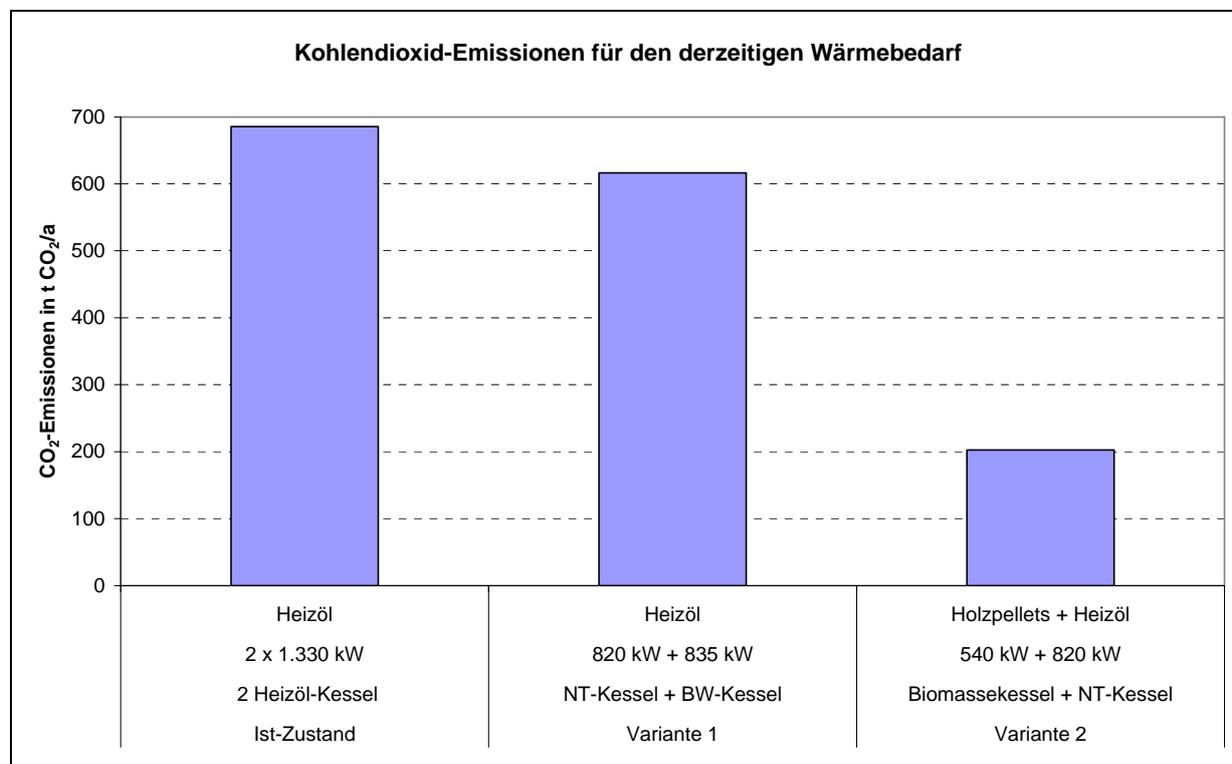


Abbildung 2-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf

2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der beiden Anlagenvarianten anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Wärmebedarf wieder.

Es besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit im KfW-Infrastrukturprogramm - Sonderfonds „Wachstumsimpulse“ für kommunale Infrastruktur zu beantragen. Der nominale Zinssatz beträgt 3,4 %, der für die ersten fünf Jahre fest ist. Danach werden neue Konditionen vereinbart. Die Laufzeit beträgt maximal 20 Jahre mit maximal fünf tilgungsfreien Anlaufjahren.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz	5 %
Zinssatz	3,4 % (KfW-Infrastrukturprogramm - Sonderfonds „Wachstumsimpulse“)
Laufzeit	20 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spezifischer Heizölpreis	32 Ct/l (inkl. MwSt.)
spezifischer Holzpelletpreis	152 €/Sm ³ (inkl. 7 % MwSt.)
Allgemeiner Strompreis	10 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung, Instandhaltung	2 % der Investition (Heisanlage)
Personalkosten	23 €/h (inkl. MwSt.)

Die Investitionskosten wurden den Unterlagen des Ingenieur- und Planungsbüros Pyka aus Kaisersesch und der Firma Westerwälder Holzpellets GmbH aus Langenbach entnommen. Die Investitionskosten für die Demontage der vorhandenen Heizkessel und die Kosten für Planung und Unvorhergesehenes wurden von der TSB ergänzt.

	Variante 1	Variante 2
	Heizöl	Holzpellets + Heizöl
Heizleistung Niedertemperaturkessel	820 kW _{th}	820 kW _{th}
Heizleistung Brennwertkessel	835 kW _{th}	
Heizleistung Biomassekessel		540 kW _{th}
Maschinentechnik:		
Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	66.500 €	66.500 €
Brennwertkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	90.000 €	
Biomassekessel mit Brennstofftransport und Zubehör inkl. Montage, Inbetriebnahme inkl. Rabatt		106.400 €
Versorgungstechnik		
Regelung + hydraulische Anlagentechnik	48.700 €	48.700 €
Anbindung Biomassekessel		2.500 €
Bautechnik		
Holzpelletsilo		7.900
Bodenplatte + Erdaushub		7.100
Demontage Heizkessel	3.000 €	3.000 €
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	31.200 €	36.300 €
Gesamtinvestition	239.400 €	278.400 €

Tabelle 2-3 Investition der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zusammen.

		Variante 1 Heizöl	Variante 2 Holzpellets + Heizöl
Heizleistung			
Niedertemperaturkessel	kW _{th}	820	820
Brennwertkessel	kW _{th}	835	
Biomassekessel	kW _{th}		540
Gesamtwärmeleistung	kW _{th}	1.655	1.360
Investition	€	239.400	278.400
Kapitalkosten	€/a	19.210	
<i>Kapitalkosten mit KfW-Kredit</i>	€/a		19.412
Verbrauchskosten	€/a	63.960	69.959
Betriebskosten	€/a	3.826	5.140
Jahreskosten	€/a	86.996	
<i>Jahreskosten mit KfW-Kredit</i>	€/a		94.511
Jahreswärmebedarf	MWh _{th} /a	1.863	1.863
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	4,7	
<i>Wärmepreis mit KfW-Kredit</i>	Ct/kWh_{th}		5,1

Tabelle 2-4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf

Die Erneuerung der heizölbefeuerten Heizkessel mit einem Niedertemperatur- und einem Brennwertkessel erzielt Jahreskosten von ca. 87.000 €/a. Der zugehörige Wärmepreis beträgt 4,7 Ct/kWh_{th}. Eine Holzpellet-Containerlösung in Verbindung mit einem heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel erreicht Jahreskosten von etwa 94.500 €/a. Daraus resultiert ein Wärmepreis von 5,1 Ct/kWh_{th}.

Die Abbildung veranschaulicht die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf.

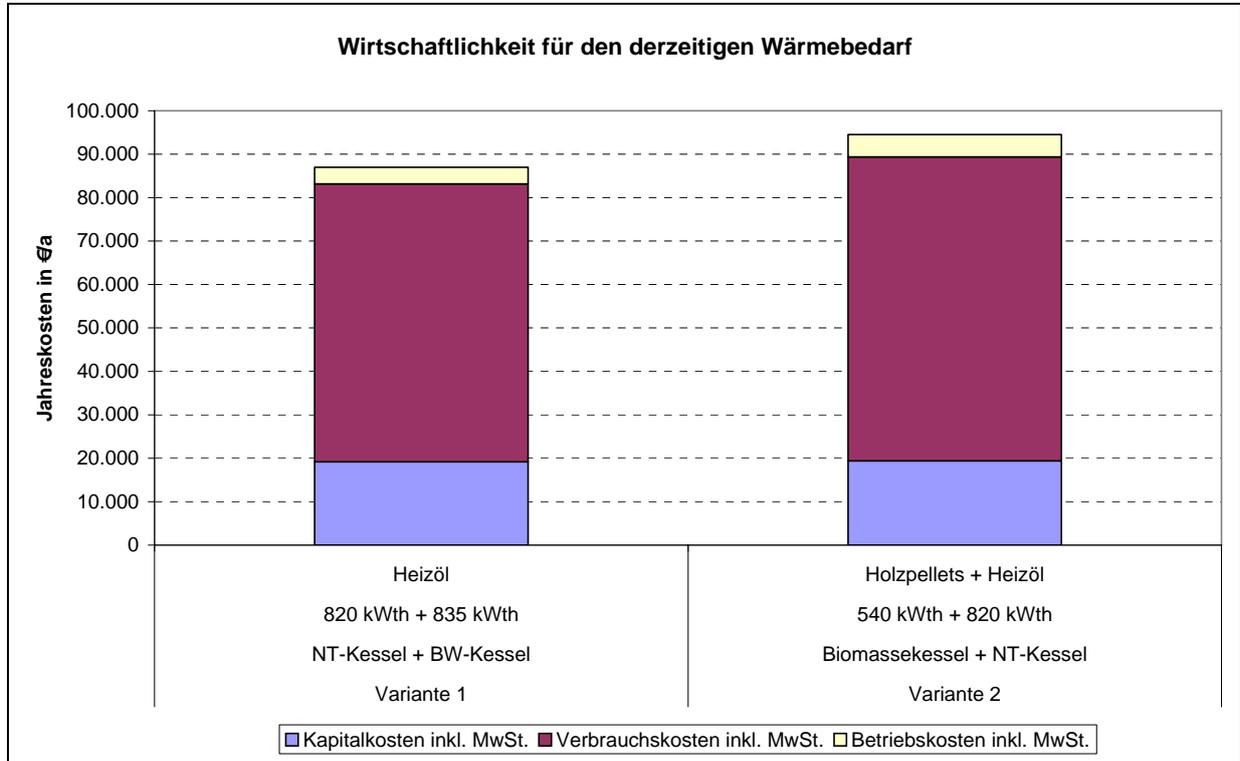


Abbildung 2-2 Wirtschaftlichkeit der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf

2.4 Sensitivitätsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf

Die Brennstoffpreise nehmen einen verhältnismäßig großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Heizungsanlagen ein. Um für die Varianten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit auch für andere Brennstoffpreise, die von den in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preisen abweichen, eine Einschätzung zu ermöglichen, wird eine Sensitivitätsbetrachtung durchgeführt.

In Diagrammen sind die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung dargestellt, sodass für einen bestimmten Brennstoffpreis der entsprechende Wärmepreis der Varianten abgelesen werden kann.

Das erste Diagramm bildet die Wärmepreise für die Heizanlagen abhängig von einem variablen Heizölpreis ab.

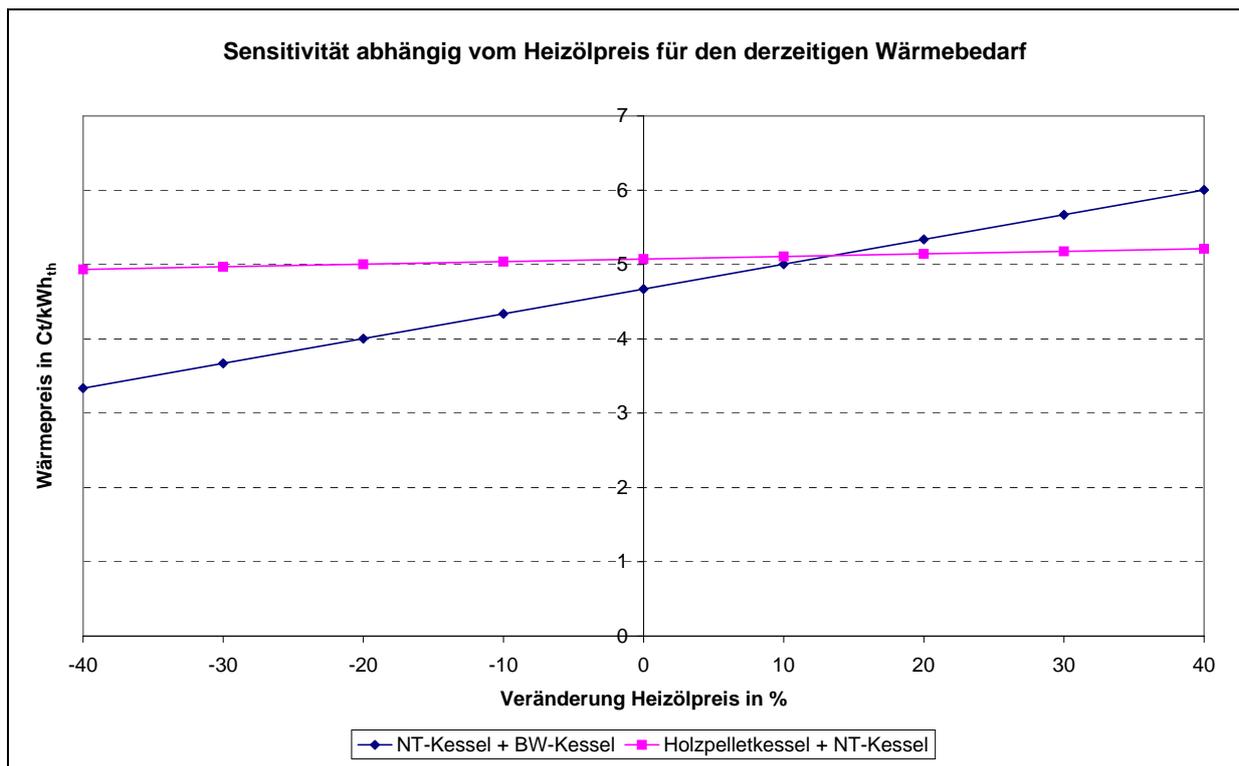


Abbildung 2-3 Sensitivität abhängig vom Heizölpreis für den derzeitigen Wärmebedarf

Ab einer Veränderung des Heizölpreises von etwa 13,5 %, das einem spezifischen Preis von ca. 36 Ct/l entspricht, stellt sich die Kombination aus einem Holzpelletkessel und einem heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel wirtschaftlicher dar.

Im zweiten Diagramm ist der Wärmepreis für die Varianten abhängig vom Holzpellet- und Holz hackschnitzelpreis dargestellt.

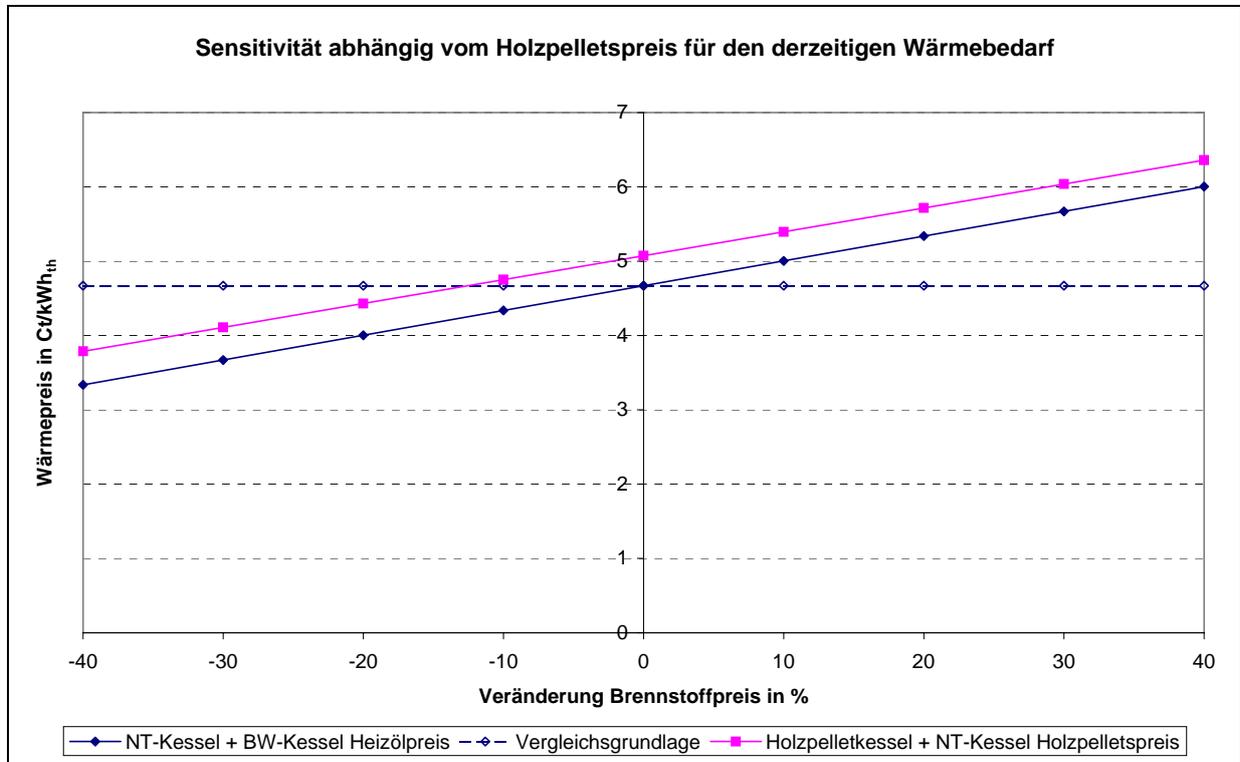


Abbildung 2-4 Sensitivität des Holzpelletspreises für den derzeitigen Wärmebedarf

Um den Wärmepreis der beiden Heizölkessel von 4,7 Ct/kWh_{th} zu erreichen, ist ein um ca. 11,5 % günstigerer Holzpelletpreis von rund 134 €/t erforderlich.

3 Anpassung der Heizanlage nach Verbesserung des Wärmedämmstandards

Eine Verbesserung des Wärmedämmstandards kann z. B. durch eine Erneuerung der Fenster durch Wärmeschutzglas mit gedämmten Fensterrahmen, durch Dämmung der Außenwände und der obersten Geschosdecke bzw. des Dachs erfolgen.

Der höhere Dämmstandard führt zu einem geringeren Jahresheizwärmebedarf der Schulgebäude im Schulzentrum Kaisersesch. Gleichzeitig liegt ein niedrigerer Heizleistungsbedarf vor.

Da vorgesehen ist, zunächst einen vorhandenen Heizkessel durch entweder einen Holzpelletkessel oder einen heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel auszutauschen, wird eine geringere Nennwärmeleistung für den zweiten Heizkessel benötigt.

4 Einsatz zusätzlicher Gebäudetechniken

Als Ergänzung zur Heizanlage werden weitere Gebäudetechniken wie z. B. eine Lüftungsanlage in den Schulgebäuden, ein Solarkollektor zur Warmwasserbereitung und Fotovoltaik betrachtet.

4.1 Lüftung

vorhandene Lüftungsanlage in der Turnhalle

In der Turnhalle des Schulzentrums ist jeweils eine Lüftungsanlage für die große und kleine Halle installiert. Die ca. 30 Jahre alten Anlagen ohne Wärmerückgewinnung entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Aufgrund dessen schlug das Planungsbüro Pyka eine Modernisierung der Lüftungsanlagen in der Turnhalle vor. Dies würde zu einer Reduzierung des Wärmebedarfs führen.

Lüftungsanlage in Schulgebäuden

In den Schulgebäuden des Schulzentrums in Kaisersesch erfolgt die Lüftung der Klassenräume über die Fensterlüftung. Dies trifft in der Regel auf die meisten Schulgebäude zu. Aus hygienischer Sicht ist eine kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung mit zentralen oder örtlichen Geräten besser.

Klassenräume weisen eine verhältnismäßig hohe Belegungsdichte auf, sodass ein Mindestaußenluftstrom von 30 m³/h pro Person bzw. ein vier- bis fünffacher Luftwechsel in der DIN 1946 T2 für Hörsäle und Pausenräume angegeben wird.

Die Dichtigkeit des Gebäudes insbesondere der Fenster beeinflusst die Infiltration. Ein ziemlich luftundurchlässiges Gebäude besitzt eine Luftwechselrate von etwa 0,1 1/h auf, während ein undichtes Gebäude einen zweifachen oder höheren Luftwechsel aufweist. Durch das Öffnen des Fensters kann sich eine Luftwechselrate von rund 10 1/h einstellen.

Die Entwicklung der CO₂-Konzentration in den Klassenräumen beeinflusst am stärksten die Luftqualität. Ein ruhender oder mit normaler Tätigkeit beschäftigter Mensch gibt 20 l CO₂/h an die Luft ab. Zusammen mit der Pettenkofer-Zahl, die mit 1.000 ppm CO₂ die obere Grenze als Maß für die Raumluftqualität angibt, berechnet sich der Außenluftvolumenstrom pro Person zu 30 m³/h.

Verschiedene Untersuchungen zur Luftqualität in Klassenräumen zeigen, dass eine kontrollierte, mechanische Be- und Entlüftungsanlage zu CO₂-Konzentration unterhalb der Pettenkofer-Zahl oder dem MAK-Wert führen.

Eine zeitlich gesteuerte Lüftungsanlage erfüllt die Anforderung an die Luftqualität in Hinblick auf die CO₂-Konzentration. Allerdings ist die durchschnittliche Luftwechselrate hoch.

Mit einer über die CO₂-Konzentration geregelten Lüftungsanlage werden die Vorgaben für die Luftqualität eingehalten. Da mit CO₂-Sensoren der Volumenstrom geregelt wird, ergibt sich durchschnittlich eine niedrigere Luftwechselrate. Dies führt somit auch zu einem geringeren Energieaufwand.

Um die Schulgebäude nachträglich mit einer Lüftungsanlage zur kontrollierten Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung auszustatten, wird anhand der benötigten Volumenströme und spezifischen Kosten einer Lüftungsanlage eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

Für die Ermittlung des Volumenstroms wird ein fünffacher Luftwechsel angenommen. Das beheizte Luftvolumen und der Lüftungswärmebedarf wurde aus der Diplomarbeit des Herrn Bretz entnommen.

Gebäude	Luftvolumen m ³	Lüftungswärmebedarf kWh _{th} /a	Volumenstrom m ³ /h	Lüftungswärmebedarf kWh _{th} /a
Altbau	7.851	95.106	31.404	19.021
Neubau	11.800	159.527	59.000	31.905
Grundschule	3.698	49.989	18.488	9.998
Summe	23.349	304.622	108.892	60.924

Tabelle 4-1 Lüftungswärmebedarf der Schulgebäude mit Lüftungsanlage

Die grob ermittelte Wirtschaftlichkeit stellt sich wie folgt dar.

verringertes Lüftungswärmebedarf	243.698 kWh _{th} /a
Brennstoffeinsparung	25.385 l/a
Einsparung Brennstoffkosten	8.123 €/a
Gesamtkosten Lüftungsanlagen	1.089.000 €
statische Amortisation	134 a

Die Investitionskosten inklusive Montage können stark schwanken, sodass sich auch doppelt so hohe Kosten wie angenommen ergeben können aufgrund des Montageaufwands in einem vorhandenen Gebäude.

Ein nachträglicher Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zur kontrollierten Be- und Entlüftung der Klassenräume stellt sich nicht wirtschaftlich dar.

4.2 Solarkollektor zur Warmwasserbereitung

Zur Warmwasserbereitung in der Turnhalle befindet sich dort ein Brauchwarmwasserspeicher mit 1.500 l Inhalt. Dieser ist an den Unterverteiler der Turnhalle, der von der Nahwärmeleitung gespeist wird, angebunden. Warmwasser wird ganzjährig bereit.

Nach den Erfahrungen der Nutzer steht nicht ausreichend Warmwasser zur Verfügung. Da der Warmwasserspeicher ca. 30 Jahre in Betrieb und keine Wasseraufbereitung vorhanden ist, können Kalkablagerungen zu einer geringeren Wärmeübertragung führen.

Nach Aussage des Herrn Pyka vom Planungsbüro Pyka beträgt aufgrund der Legionellengefahr die Speichertemperatur 60°C. Ein Temperaturniveau von 60°C bis 65°C ist notwendig, um die Bakterien, die die Legionärskrankheit hervorrufen, abzutöten. Allerdings begünstigt eine Wassertemperatur über 60°C die Korrosion und Wassersteinbildung, sodass mit hoher Wahrscheinlichkeit Ablagerungen im Brauchwarmwasserspeicher vorhanden sind.

Aufgrund dieser Gegebenheiten ist der Warmwasserspeicher in der Turnhalle auszutauschen, was auch das Planungsbüro vorschlägt.

Für eine Erneuerung des Warmwasserspeichers bietet es sich an, diesen mit einer Solaranlage zu verbinden. Zusammen mit der Nahwärme kann der benötigte Warmwasserbedarf abgedeckt werden.

Das Dach der Turnhalle bietet mit 1.564 m² (ohne Umkleide) ausreichend Fläche für aufgeständerte Solarkollektoren.

Bei Neuanlagen zur Warmwasserbereitung mit einem Speichervolumen von mehr als 400 l ist zu beachten, dass der Speicher gleichmäßig erwärmt wird und die Vorwärmstufen einmal täglich auf 60°C erwärmen. Dadurch ist das Abtöten der Legionellen gewährleistet und eine geringere Gefahr durch Korrosion und Steinbildung.

Alternativ kann die Warmwasserbereitung über einen Plattenwärmetauscher im Durchlaufprinzip erfolgen. Bei diesem Prinzip reduziert sich das Trinkwasservolumen auf wenige Liter, die sich in den Leitungen befinden. Im Pufferspeicher befindet sich Heizungswasser, das über einen Solarwärmetauscher bzw. durch die Heizkessel direkt erwärmt wird.

4.3 Fotovoltaik

In der Fotovoltaik ermöglichen Solarzellen die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. Die Solarzellen sind Halbleiter-Bauelemente, die die Solarstrahlung absorbieren. Sie bestehen überwiegend aus Silizium. Durch das Einbringen von Fremdatomen werden zwei Schichten mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften erzeugt. An der Grenzfläche entsteht ein elektrisches Feld, das von außen nicht feststellbar ist. Wenn Licht auf die Solarzelle trifft, erzeugt dies unter Abgabe von Energie freie Ladungsträger. Diese werden durch das innere elektrische Feld an der Grenzfläche getrennt. An den äußeren Kontakten entsteht eine elektrische Spannung, sodass bei Anschluss eines Verbrauchers Strom fließt.



Abbildung 4-1 Schematischer Aufbau einer Solarzelle (Quelle: Fa. Elektroanlagenbau Vergin)

Um eine möglichst hohe Ausbeute zu erzielen, sollte die Fläche der Solarmodule um 30° geneigt und nach Süden ausgerichtet sein.

Die nach Süden geneigte Dachfläche des Altbaus bietet sich für Fotovoltaikmodule an, während auf dem Flachdach der Turnhalle die Fotovoltaikmodule aufgeständert werden können. Zu berücksichtigen ist ein Mindestabstand der einzelnen Modulreihen zueinander, um eine gegenseitige Verschattung der Modulflächen zu vermeiden.

Für eine Modulgröße von etwa 1,28 m x 0,64 m, das einer rund 0,82 m² großen Fläche entspricht, wird die Gesamtfläche der Fotovoltaikanlage überschlägig ermittelt.

Auf der Südseite des Satteldachs vom Altbau können etwa 580 m² Modulfläche installiert werden. Mit aufgeständerten Fotovoltaikmodulen auf dem Flachdach der Turnhalle kann eine Modulfläche von ca. 895 m² errichtet werden. Somit könnte eine elektrische Leistung von ca. 58 bzw. 90 kW_{el} installiert werden.

5 Zusammenfassung

Diese Machbarkeitsstudie befasste sich mit einer vergleichenden Bewertung einer Holzpellet-Containerlösung zu einer Erneuerung der heizölbefeuerten Heizkessel zur Wärmeversorgung des Schulzentrums in Kaisersesch.

Die Ist-Analyse ermittelte den derzeitigen Wärmebedarf anhand zur Verfügung gestellter Unterlagen der Verbandsgemeinde Kaisersesch. Die beiden vorhandenen heizölbefeuerten Heizkessel mit einer Gesamtnennwärmeleistung von 2,66 MW_{th} gewährleisteten nicht mehr die sichere Abdeckung des Jahresheizwärmebedarfs von ca. 1.863 MWh_{th}/a. Es ist eine Erneuerung der Heizungskessel vorgesehen.

Im Vergleich zur Modernisierung durch einen heizölbefeuerten Niedertemperatur- und einen Brennwertkessel untersuchte die Studie einen Holzpelletkessel in einem Container in Kombination mit einem heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel. Dazu wurde eine Energiebilanz mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen aufgestellt. Worauf die Kohlendioxid-Emissionsbilanz sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der beiden Varianten basierten.

Während eine Erneuerung der Heizölkessel etwa 10 % der bisherigen Kohlendioxid-Emissionen einspart, reduziert ein Holzpelletkessel zusammen mit einem heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel die CO₂-Emissionen global betrachtet um ca. 70 %.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beruhte auf den Angeboten bzw. Kostenaufstellung vom Planungsbüro Pyka für die Heizölkessel und von der Firma Westerwälder Holzpellets GmbH für die Holzpellet-Containerlösung. Zusätzlich zu den Jahreskosten wurde der Wärmepreis ermittelt, der sich aus den Jahreskosten bezogen auf den Jahresheizwärmebedarf berechnet. Die Jahreskosten für neue heizölbefeuerte Niedertemperatur- und Brennwertkessel betragen ca. 87.000 €/a. Daraus resultiert ein Wärmepreis von 4,7 Ct/kWh_{th}. Eine Holzpellet-Containerlösung in Verbindung mit einem heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel erreicht Jahreskosten von etwa 94.500 €/a. Der zugehörige Wärmepreis beträgt 5,1 Ct/kWh_{th}.

Um eine Brennstoffpreisentwicklung in die Wirtschaftlichkeit mit einzubeziehen, wurde eine Sensitivitätsbetrachtung in Abhängigkeit der Brennstoffpreise für die beiden Varianten durchgeführt. Ab einem spezifischen Heizölpreis von ca. 36 Ct/l stellt sich die Kombination aus einem Holzpelletkessel und einem heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel wirtschaftlicher dar als eine Erneuerung der Heizölkessel. Alternativ wäre ein günstigerer Holzpelletpreis von rund 134 €/t erforderlich, um den Wärmepreis von 4,7 Ct/kWh_{th} zu erreichen.

Fazit:

Aus ökologischer Sicht stellt sich die Holzpellet-Containerlösung als sinnvolle Heizungsanlage dar. Die Wirtschaftlichkeit dieser Anlage unter den momentanen Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeit für das Schulzentrum in Kaisersesch ist nicht gegeben; allerdings ist die Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich der Brennstoffpreise zu beachten.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lageplan der Schulgebäude in Kaisersesch.....	5
Abbildung 1-2 Heizkessel und Hauptverteiler im Neubau der Regionalen Schule.....	6
Abbildung 2-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf.....	11
Abbildung 2-2 Wirtschaftlichkeit der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf	15
Abbildung 2-3 Sensitivität des Heizölpreises für den derzeitigen Wärmebedarf.....	16
Abbildung 2-4 Sensitivität des Holzpelletspreises für den derzeitigen Wärmebedarf	17
Abbildung 4-1 Schematischer Aufbau einer Solarzelle (Quelle: Fa. Elektroanlagenbau Vergin).....	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Gebäudedaten der Schulgebäude	4
Tabelle 1-2 Daten zur Heizanlage.....	6
Tabelle 1-3 Wärmebedarf nach Berechnung und Wärmemengenzähler aus der Diplomarbeit des Herrn Bretz	8
Tabelle 2-1 Energiebilanz zur Wärmeversorgung für den derzeitigen Wärmebedarf	10
Tabelle 2-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf	11
Tabelle 2-3 Investition der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf	13
Tabelle 2-4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf	14
Tabelle 4-1 Lüftungswärmebedarf der Schulgebäude mit Lüftungsanlage	20