

Machbarkeitsstudie Holz-Nahwärmeverbund Ortsgemeinde Kasel

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

Auftragnehmer Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH
Transferstelle Bingen
Berlinstraße 109
55411 Bingen

Leiter

Prof. Dr. Ralf Simon

Bearbeiter

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

Telefon: 06721 / 409 229

Dipl.-Ing. (FH) Marco Stallmann

Telefon: 06721 / 409 228

Telefax

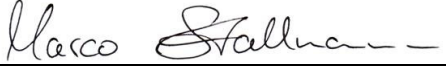
06721 / 409 129

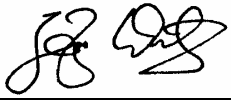
Homepage

www.tsb-energie.de

Projektnummer 1138

Datum 28.10.2005


Dipl.-Ing. (FH) Marco Stallmann


Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

Inhalt

Einleitung.....	3
1 Ist-Analyse	4
2 Realisierungsmöglichkeiten	9
2.1 Vorstellung der Holzpellets-Heizungsanlage	10
2.2 Vorstellung der Varianten	12
2.2.1 Basisvariante	12
2.2.2 Variante 1.....	12
2.2.3 Variante 2	13
2.2.4 Variante 2b	13
2.2.5 Variante 3	13
3 Vergleich der Varianten	14
3.1 Energiebilanz	14
3.1.1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung.....	14
3.1.2 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung.....	15
3.2 Kohlendioxid-Emissions-Bilanz.....	16
3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	17
3.3.1 Dezentrale Wärmeversorgung.....	17
3.3.2 Zentrale Wärmeversorgung	19
3.4 Sensitivitätsanalyse	23
4 Nutzungsmöglichkeit Solarenergie.....	25
4.1 Solarthermie	25
4.2 Fotovoltaik	30
5 Zusammenfassung	34

Einleitung

In der Ortsgemeinde Kasel befinden sich ein Kindergarten, die örtliche Grundschule, das Feuerwehrhaus und das Bürgerhaus in einem Umkreis von ca. 100 m nahe beieinander. Im Bürgerhaus ist die Wärmeversorgungsanlage erneuerungsbedürftig. Aufgrund dessen wird eine gemeinsame Versorgung der o.g. Liegenschaften über einen Nahwärmeverbund untersucht, die auf Basis des Brennstoffes Holz erfolgen soll.

Zur Beurteilung wird die Holz-Nahwärmerversorgung der derzeitigen dezentralen Wärmeversorgung mit den erforderlichen Erneuerungen gegenübergestellt.

Zunächst wird in einer Ist-Analyse anhand der Energieverbrauchsdaten und der Anlagendaten der Wärmebedarf abgeschätzt. Dies ist die Grundlage der weiteren Berechnungen.

In einer Energiebilanz werden die Energie- und Brennstoffmengen für die dezentrale und zentrale Wärmeversorgung ermittelt. Darauf basiert eine Kohlenstoffdioxid-Emissionsbilanz zur ökologischen Bewertung der Varianten.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Als Ergänzung wird der Wärmepreis angegeben, der einen anschaulichen Vergleich ermöglicht.

Außerdem wird eine Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich der Brennstoffpreise durchgeführt. Damit kann der Einfluss einer Preissteigerung auf die Wirtschaftlichkeit der beiden Wärmeversorgungsvarianten dargestellt werden.

Neben der Holz-Nahwärmerversorgung wird als weiterer Punkt die Einsatzmöglichkeit von Solarthermie und Fotovoltaik geprüft und der zu erwartende Ertrag ermittelt.

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

1 Ist-Analyse

In der Ist-Analyse werden zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlagen in den Gebäuden ausgewertet.

Mit gebäudetypischen Kennwerten aus der Literatur zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung werden die vorliegenden Daten überprüft. Zur Auslegung der gemeinsamen Wärmeversorgung werden die neu berechneten Daten herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

Im Folgenden finden sich zur Übersicht des Ist-Zustandes eine tabellarische Auflistung über die installierten Kesselanlagen, sowie ein Katasterplan der betreffenden Ortslage.

	Bürgerhaus	Schule/ Feuerwehr	Kindergarten
Brennstoff	Heizöl	Heizöl	Heizöl
Kessel:			
Fabrikat	Buderus	Buderus	Buderus
Bezeichnung		G 305/95-6	G 215
Wärmeleistung	82 kW _{th}	83 kW _{th}	45 kW _{th}
Baujahr	1982	1996	2004
Brenner:			
Fabrikat	Thyssen	Weishaupt	Buderus
Bezeichnung	TB 1	WL 20Z-A	BE 2.2-45
Baujahr	1982	1996	2004
Leistung	1,6 - 5 kg/h	2,5 – 5,5 kg/h	4,05 kg/h

Tabelle 1: Ist-Analyse

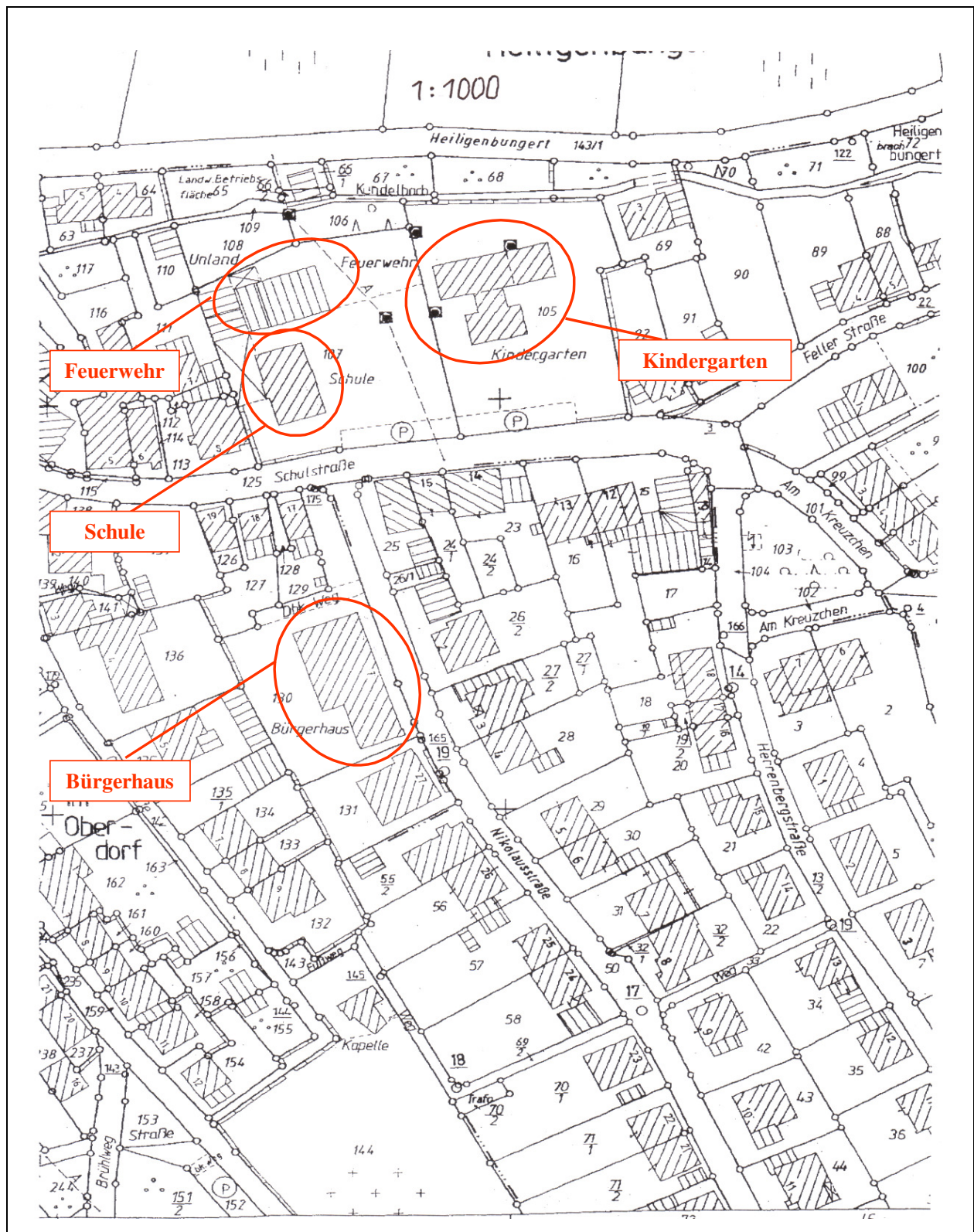


Abbildung 1: Lageplan

Derzeit werden die vorgestellten Liegenschaften über 3 dezentrale Heizölkessel mit Wärme versorgt; lediglich das Feuerwehrhaus wird bereits über eine Nahwärmeleitung von der Grundschule aus versorgt.

Der Kessel der Grundschule mit einer Leistung von 83 kW_{th} wurde 1996 errichtet. Das Bürgerhaus verfügt über einen Heizölkessel (Bj. 1982, 82 kW_{th}) der erneuerungsbedürftig ist. Im Kindergarten der katholischen Kirche wurde 2004 ein Heizölkessel (45 kW_{th}) installiert.

Zur Beurteilung der installierten Anlagen wird der Brennstoffverbrauch der letzten 5 Jahre gemittelt und damit der Wärmebedarf für jedes der Gebäude neu berechnet. Anhand der spezifischen Wärmeleistung und der Zahl der Vollbenutzungsstunden wird überprüft, ob und wo Überdimensionierungen in der Wärmeerzeugung vorliegen. Schließlich wird anhand der überschlägigen Kennwerte nach *Kubessa* eine Neudimensionierung der nötigen Heizlasten vorgenommen. Mit diesen neuen Daten werden später die verschiedenen Varianten berechnet und untereinander verglichen.

	Einheit	Bürgerhaus	Kindergarten	Schule + Feuerwehr
Brennstoffverbrauch Mittelwert 2000 - 2005	kWh _{Hu} /a	60.000	49.000	119.000
Jahresnutzungsgrad Heizölkessel	%	77	85	75
ermittelter Wärmebedarf	kWh _{th} /a	46.000	42.000	89.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	561	933	1.072
spez. Wärmebedarf	kWh _{th} /(m ² *a)	82	143	130
spez. Wärmeleistung	W _{th} /m ²	146	154	121

Tabelle 2: Ist-Zustand

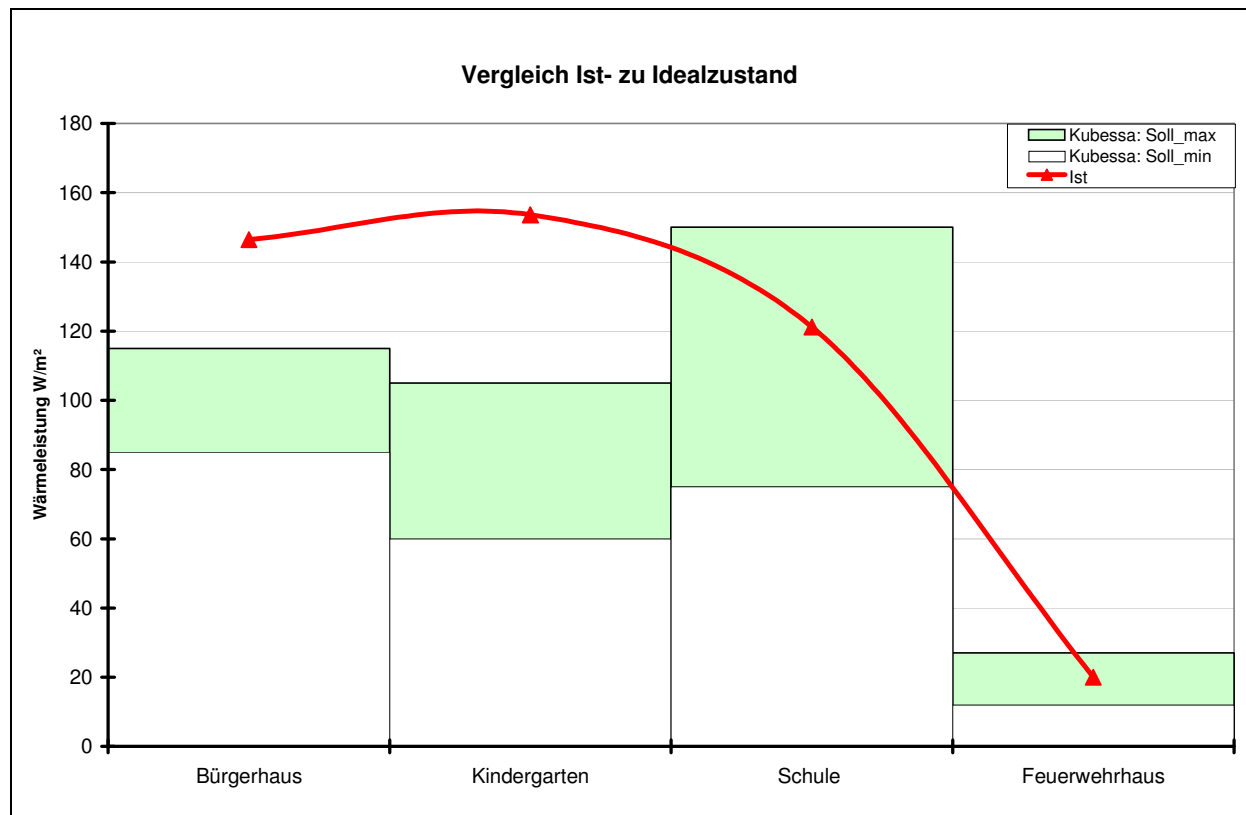


Abbildung 2: Vergleich Ist- zu Idealzustand

Die geringen Vollbenutzungsstunden, sowie die hohe spezifische Wärmeleistung bei den Gebäuden deutet auf eine Überdimensionierung hin (siehe Abbildung 2: grünes Band = Richtwerte nach *Kubessa*, rote Linie = Ist-Zustand liegt außerhalb dieses Grenzbereichs). Aus diesem Grund wird eine Neuberechnung (→ Soll-Zustand) der nötigen Heizleistung vorgenommen, mit dem Ziel, die Vollbenutzungsstunden zu erhöhen und die spezifische Wärmeleistung auf ca. 100 W_{th}/m^2 zu reduzieren.

Auslegung		Bürgerhaus	Kindergarten	Schule + Feuerwehr
Wärmebedarf	kWh_{th}/a	46.000	42.000	89.000
Wärmeleistung	kW_{th}	60	30	80
Vollbenutzungsstunden	h/a	767	1.400	1.113
spez. Wärmebedarf	$kWh_{th}/(m^2 \cdot a)$	82	143	130
spez. Wärmeleistung	W_{th}/m^2	107	102	117

Tabelle 3: Soll-Zustand

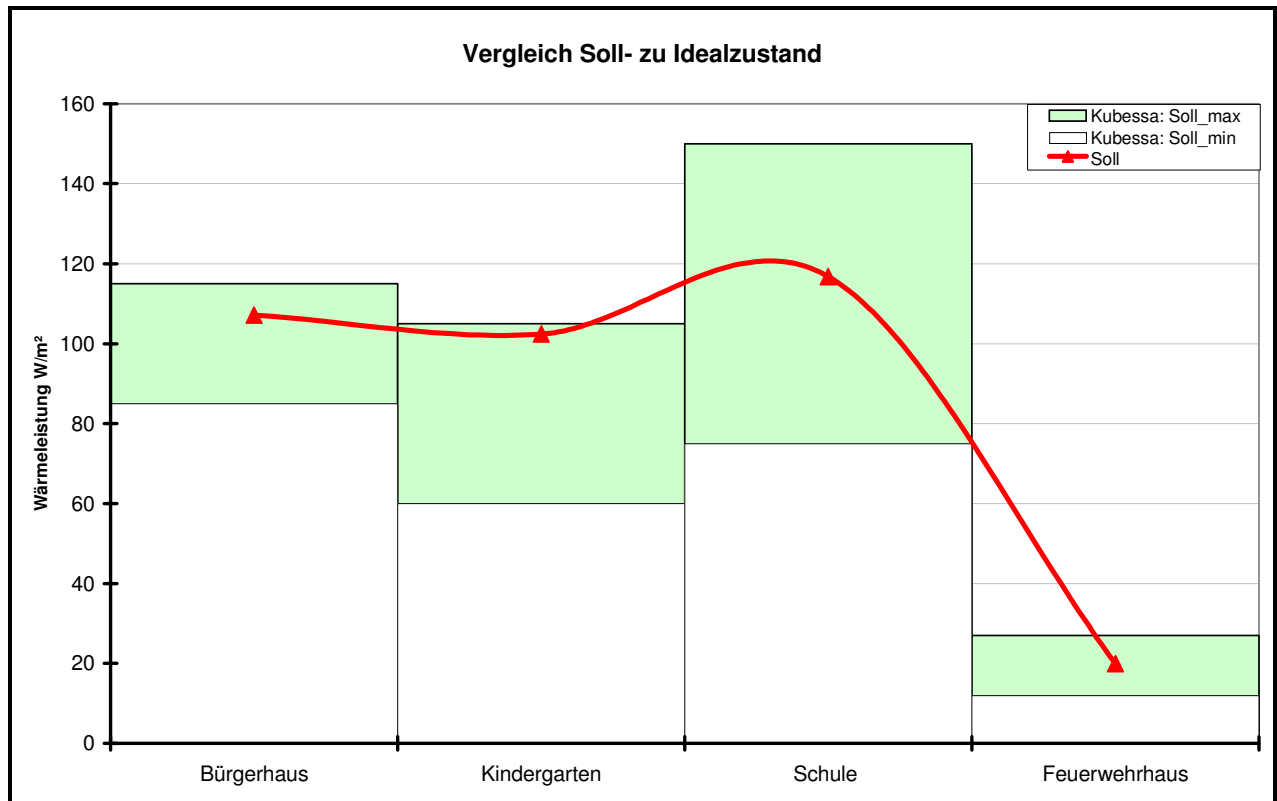


Abbildung 3: Vergleich Soll- zu Idealzustand

2 Realisierungsmöglichkeiten

Prinzipiell werden hier zwei mögliche Arten der Wärmeversorgung vorgestellt: dezentrale Wärmeversorgung und zentrale Wärmeversorgung.

Die dezentrale Wärmeversorgung sieht vor, dass die Anlagenkonstellation wie bisher erhalten bleibt, lediglich der Heizkessel im Bürgerhaus wird ausgetauscht.

Für die zentrale Wärmeversorgung wird zunächst ein Nahwärmenetz benötigt. Dieses muss errichtet werden, ebenso wie eine Heizzentrale für den zentralen Heizkessel und das zugehörige Brennstofflager. Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten, die im folgenden Variantenvergleich näher erläutert werden. Eine mögliche Ausführung des Nahwärmenetzes, die auch Grundlage aller durchgeführten Berechnungen ist, wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

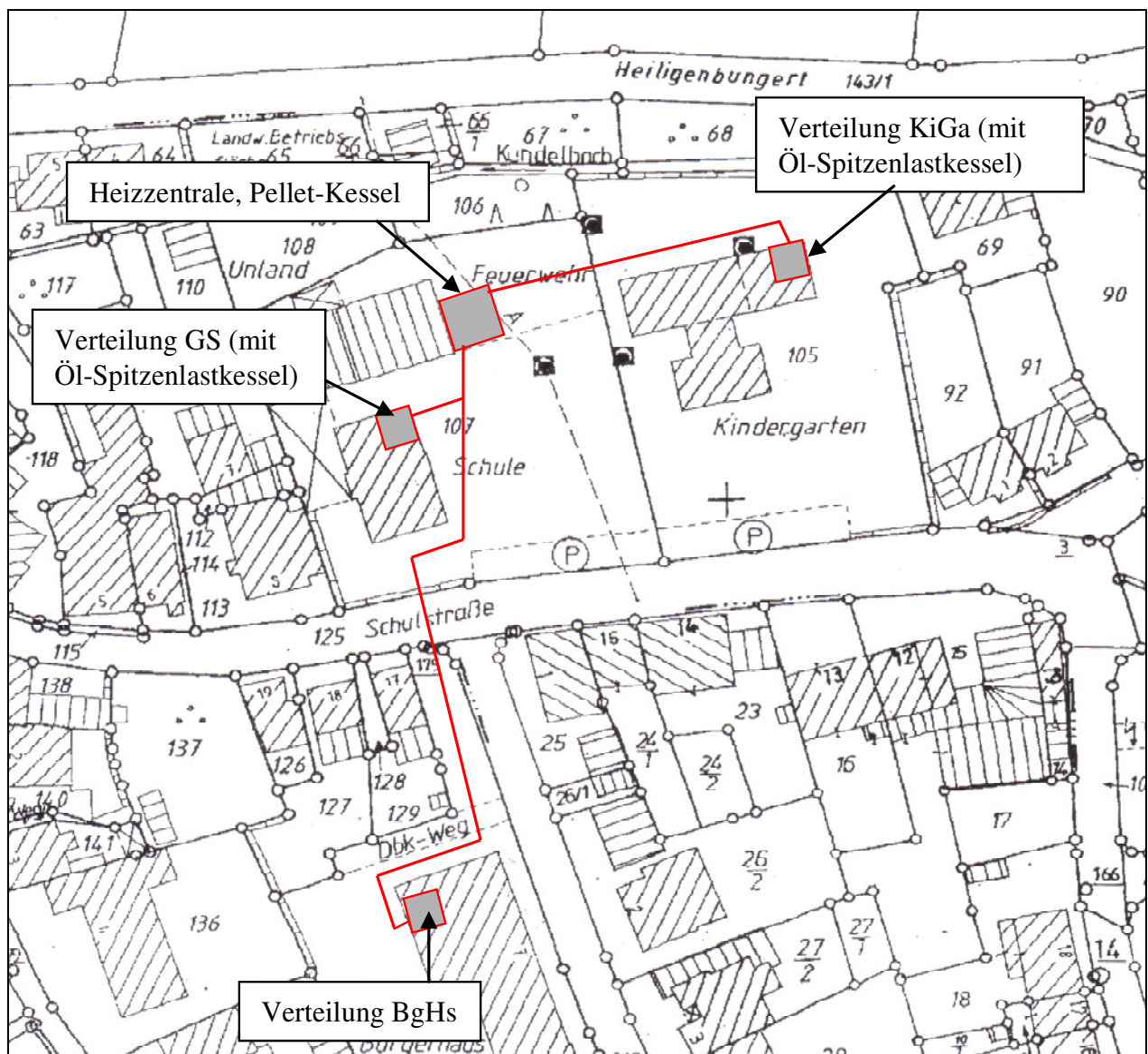


Abbildung 4: Verlegung Nahwärmetrasse

2.1 Vorstellung der Holzpellets-Heizungsanlage

Allgemeine Hinweise

Holzpellets haben einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm und werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder -spänen gefertigt. Als Klebemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin. Holzpellets unterliegen den Qualitätskriterien der DIN 51731 und müssen einen Heizwert von mindestens 4,9 kWh/kg, ein Schüttgewicht von 650 kg/Sm³ aufweisen und die Holzfeuchte darf 10 % nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter Holzpellets weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhaltes benötigen sie daher im Vergleich zu Holzhackschnitzeln ein wesentlich geringeres Lagervolumen.



Abbildung 5: Holzpellets

Die Holzpellets werden mittels Silowagen angeliefert und mit einem Schlauch in den Vorratsraum oder das Vorrats-Silo eingeblasen. Dazu sind an der Außenmauer des Lagers ein Befüllstutzen und ein Stutzen zum Absaugen des Staubs während des Befüllvorganges anzubringen. Es handelt sich hierbei i.d.R. um DN 100 Rohre mit einem A-Kupplungs-Anschluss. Die Befüllstutzen werden mit dem Mauerwerk (Erdung) verbunden und sind daher nicht einzuschäumen.

Wie bei allen anderen Heizsystemen ist die Heizraumtür und die Tür des Lagerraumes als Brandschutztür (mind. T 30) auszuführen. Sie müssen nach außen öffnen und mit einer Dichtung versehen sein.

Im Holzpelletslagerraum dürfen sich keine Lichtschalter, Steckdosen, Lichtlampen oder Verteilerdosen und dergleichen befinden. Sind Leitungen, Schalter usw. absolut nicht zu vermeiden, müssen diese in explosionsgeschützter Ausführung montiert werden. Außerhalb des Heizraumes muss ein „Not-Aus-Schalter“ angebracht werden.

Aus dem Lagerraum werden die Holzpellets mittels einer Austragungsschnecke oder durch eine Sauganlage in einen Tagesvorratsbehälter befördert. Aus dem Tagesvorratsbehälter fallen die Holzpellets über die Zellenrad-Dosierschleuse in die Einbringsschnecke, die sie direkt in die Brennstoffmulde schiebt. Die Dosierschleuse sorgt gleichzeitig für eine hundertprozentige Rückbrandsicherung und dient wie der Name schon sagt der Brennstoffdosierung. Durch die automatische Beschickung einschließlich automatischer Ascheaustragung kann der Komfort und die Regelbarkeit einer Holzheizung auf das Niveau einer konventionellen Heizung gesteigert werden.

2.2 Vorstellung der Varianten

Zum Vergleich untereinander werden die verschiedenen Möglichkeiten dezentraler und zentraler Wärmeversorgungseinheiten in Varianten unterteilt. Als Basisvariante wird dabei der Austausch des bisherigen Heizölkessels im Bürgerhaus durch einen Niedertemperatur-Heizölkessel unter Beibehaltung der übrigen Anlagenkonstellation bezeichnet. Alle weiteren Varianten werden durchnummeriert und setzen sich wie folgt zusammen:

	Basis- variante	Variante 1	Variante 2	Variante 2b	Variante 3
Wärmeversorgungsart	dezentral	dezentral	zentral	zentral	zentral
Brennstoff	Heizöl	Heizöl/ Holzpellets	Holzpellets	Holzpellets	Holzpellets / Heizöl
Ausführungsart	monovalent	bivalent	monovalent	monovalent	bivalent
Standort Heiz- zentrale(n)	BgHs, KiGa, GS	BgHs, KiGa, GS	Feuerwehr	Grundschule	Fw, GS, Ki- Ga
Spitzenlast- kessel	nein	nein	nein	nein	ja

Tabelle 4: Vorstellung der Varianten

Im weiteren Verlauf werden diese Varianten nun detaillierter in ihrer Ausführung und im Hinblick auf Unterschiede/Gemeinsamkeiten vorgestellt.

2.2.1 Basisvariante

In der *Basisvariante* wird die Möglichkeit, den im Bürgerhaus vorhandenen Ölkessel durch einen moderneren Niedertemperatur-Heizölkessel mit 68 kW_{th} zu ersetzen, durchgerechnet. Die Heizungsanlagen in Kindergarten und Schule/Feuerwehrhaus bleiben von dieser Maßnahme unangetastet. Sämtliche Kosten (Investitionen, Verbrauch, Betrieb, Kapital) werden für alle 4 Liegenschaften zusammengefasst betrachtet, damit ein sinnvoller Vergleich zu den Varianten mit zentraler Versorgung möglich ist.

2.2.2 Variante 1

Variante 1 beinhaltet den Austausch des Heizölkessels im Bürgerhaus durch einen Holzpellets-Kessel mit einer Leistung von 60 kW_{th}. Für die übrige Anlagenkonstellation gilt das gleiche wie für die Basisvariante.

2.2.3 Variante 2

Hier wird die Möglichkeit, alle vier Liegenschaften zu einem Nahwärmeverbund mit Holz als alleinig eingesetztem Brennstoff, berechnet. Zum Einsatz käme ein Holzpellets-Kessel mit einer Leistung von $150 \text{ kW}_{\text{th}}$. Die bislang bestehenden Kesselanlagen würden demontiert – die jeweiligen Heizkreisverteiler zu Nahwärmeübergabestationen umgebaut. An Investitionskosten fallen wesentlich Kosten für die Errichtung des Nahwärmenetzes, der Übergabestationen, des Heizhauses, der Brennstofflagerung sowie selbstverständlich der Heizungsanlage selbst an. In Variante 2 wird angenommen, dass das Heizhaus neu als Anbau an das Feuerwehrhaus errichtet werden muss.

2.2.4 Variante 2b

Variante 2b entspricht prinzipiell der Variante 2, jedoch würde hier kein neues Heizhaus errichtet, sondern die Heizungsanlage würde im vorhandenen Heizraum in der Schule installiert – als Holzpellets-Lager würde der bisherige Heizöl-Tankraum dienen können, sofern dieser von seiner Bausubstanz her die Bedingungen zur Lagerung von Holzpellets erfüllt (→ Kellerraum darf nicht feucht sein!).

2.2.5 Variante 3

In Variante 3 wird eine Möglichkeit vorgestellt, die vorhandenen, funktionstüchtigen und recht neuen Kesselanlagen in Kindergarten und Schule als dezentrale Spitzenlastkessel in einem Nahwärmenetz weiter zu betreiben. Als Grundlastkessel wird ein $50 \text{ kW}_{\text{th}}$ – Holzpellets-Kessel im separaten Heizhaus am Feuerwehrhaus verwendet.

3 Vergleich der Varianten

3.1 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgung der Liegenschaften Bürgerhaus, Grundschule, Kindergarten und Feuerwehrhaus der Gemeinde Kasel aufgeführt.

3.1.1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung

Es werden hier die Varianten „Basisvariante“ und „Variante 1“ gegenübergestellt.

		Basisvariante	Variante 1
Wärmebedarf, gesamt	kWh _{th} /a	177.480	177.480
Wärmebedarf, Bürgerhaus	kWh _{th} /a	46.000	46.000
Wärmeleistung, gesamt	kW _{th}	170	170
Wärmeleistung Heizkessel Bürgerhaus	kW _{th}	60	60
Jahresnutzungsgrad Heizkessel Bürgerhaus	%	84	80
Heizölbedarf, gesamt	kWh _{HU} /a	223.500	168.720
Heizölbedarf, Bürgerhaus	kWh _{HU} /a	60.000	0
Heizölmenge, gesamt	l/a	22.350	16.872
Heizölmenge, Bürgerhaus	l/a	6.000	0
Pellet-Bedarf, gesamt	kWh _{HU} /a	0	57.500
Pellet-Bedarf, Bürgerhaus	kWh _{HU} /a	0	57.500
Pellet-Menge, gesamt	t/a	0	11,7
Pellet-Menge, Bürgerhaus	t/a	0	11,7

Tabelle 5: dezentrale Energiebilanz

3.1.2 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung

Hier die Gegenüberstellung von „Variante 2“, „Variante 2b“ und „Variante 3“, wobei die Varianten 2 und 2b in der Energiebilanz gleich betrachtet werden können, da sie sich lediglich im Standort des Heizhauses und somit von den Investitionskosten her unterscheiden.

		Variante 2/2b	Variante 3
Wärmebedarf, gesamtes Netz	kWh _{th} /a	195.385	195.385
Wärmeleistung, gesamt	kW _{th}	150	188
Wärmeleistung, Heizölkessel	kW _{th}	0	128
Wärmeleistung Holzpellets-Kessel	kW _{th}	150	60
Jahresnutzungsgrad Heizölkessel	%		90
Jahresnutzungsgrad Holzpellets-Kessel	%	87	88
Heizölbedarf, gesamt	kWh _{HU} /a	0	54.300
Heizölmenge, gesamt	l/a	0	5.430
Pellet-Bedarf, gesamt	kWh _{HU} /a	232.600	166.520
Pellet-Menge, gesamt	t/a	47	34

Tabelle 6: zentrale Energiebilanz

3.2 Kohlendioxid-Emissions-Bilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mit Hilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Zunächst wird der Ist-Zustand mit dem derzeitigen Energieverbrauch dargestellt.

Durch die Erneuerung von Heizkesseln bzw. den Austausch von Heizkesseln und die Umstellung auf eine Nahwärmeversorgung ergeben sich niedrigere Emissionen.

Die spezifische CO₂-Emission für Heizöl beträgt 317,7 g CO₂/kWh_{Hu} für Holzpellets 70,1 g CO₂/kWh_{Hu} und für Strom 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

Variante	Heizöl- bedarf kWh _{Hu} /a	Holzpellets- Bedarf kWh _{Hu} /a	Heizstrom- bedarf kWh _{el} /a	CO ₂ - Emissionen t CO ₂ /a
Ist-Zustand	228.000	0	1.775	74
Basisvariante	223.500	0	1.775	72
Variante 1	168.720	0	2.235	55
Variante 2/2b	0	232.600	3.908	19
Variante 3	54.300	166.520	3.419	31

Tabelle 7: CO₂-Bilanz

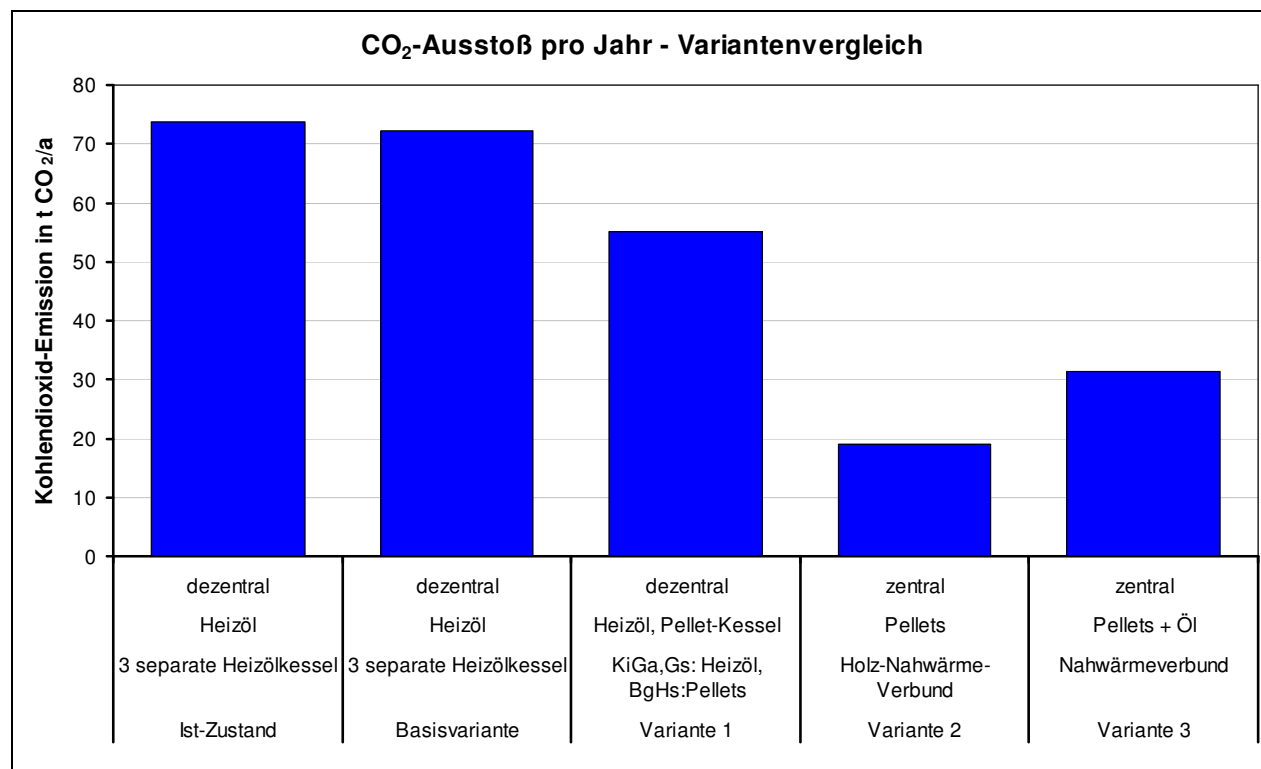


Abbildung 6: CO₂-Bilanz

3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

3.3.1 Dezentrale Wärmeversorgung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	4 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Heizölpreis, Stand: 06.10.2005	61,86 Ct/l
Holzpellets-Preis, Stand: 10.10.2005 für Region Trier	170 €/t
Strompreis (Annahme TSB)	10 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:	2 % der Investition (Heisanlage)
Personalkosten	35 €/h (inkl. MwSt.)

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Basisvariante	Variante 1
Demontage			
Demontage Heizkessel	€	500	500
Maschinentechnik			
Niedertemperaturkessel mit Zubehör incl. Montage und Inbetriebnahme	€	12.000	0
Holzpellets-Kessel mit Zubehör incl. Montage und Inbetriebnahme	€	0	32.200
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes	€	1.900	4.900
Gesamtinvestition	€	14.400	37.600

Tabelle 8: Investition dezentrale Wärmeversorgung

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in den folgenden Tabellen inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt.

		Ist-Zustand	Basisvariante	Variante 1
Nennwärmeleistung	kW _{th}	210	170	170
Investitionskosten	€	0	14.370	43.600
Kapitalkosten	€/a	0	1.100	2.850
Verbrauchskosten	€/a	16.570	16.240	14.680
Betriebskosten	€/a	2.630	2.630	2.880
Jahreskosten	€/a	19.200	19.970	20.410
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	177.480	177.480	177.480
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	10,8	11,3	11,5

Tabelle 9: Wirtschaftlichkeit dezentrale Wärmeversorgung

Näheres zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit am Ende von Kapitel 3.3.2.

3.3.2 Zentrale Wärmeversorgung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 13. Dezember 2003“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} (maximal 275.000 €) auf das KfW-Darlehen beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe. Aktuelle Konditionen (Stand 06.10.2005) zum KfW-Darlehen „Förderung erneuerbare Energien“ sind für private Antragsteller und Kommunen u. a. eine maximale Laufzeit von 20 Jahren mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren und 3,38 % effektivem Zinssatz.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3,38 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmeleitungen	40 Jahre
Abschreibungsdauer Hausübergabestation	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Heizölpreis, Stand: 06.10.2005	6,186 Ct/kWh _{Hu}
Pellet-Preis, Stand: 10.10.2005 für Region Trier	170 €/t
Strompreis (Annahme TSB)	10 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:	2 % der Investition (Heizanlage)
Personalkosten	35 €/h (inkl. MwSt.)

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Variante 2	Variante 2b	Variante 3
Demontage				
Demontage Heizkessel	€	1.300	1.300	500
Maschinentechnik				
Pellet-Kessel mit Zubehör incl. Montage und Inbetriebnahme	€	56.900	56.900	26.200
Bautechnik				
Heizhaus mit Kamin	€	14.800	0	14.800
Pellet-Lager	€	2.400	2.400	1.900
Nahwärmeleitungen				
Nahwärmeleitungen mit Zubehör incl. Erdarbeiten, Verlegung und Inbetriebnahme	€	69.200	69.200	69.200
Hausübergabestation				
Indirekte Hausübergabestation mit Zubehör incl. Montage und Inbetriebnahme	€	16.450	16.450	0
Planung, Unvorhergesehenes				
Planung, Unvorhergesehenes	€	24.200	21.900	16.900
Gesamtinvestition	€	185.250	168.150	129.500
Förderung Biomassekessel	€	9.000	9.000	2.500
Gesamtinvestition incl. Förderung	€	176.250	179.150	127.000

Tabelle 10: Investition zentrale Wärmeversorgung

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt

		Variante 2	Variante 2b	Variante 3
Gesamtwärmeleistung	kW _{th}	170	170	188
Investitionskosten inkl. Förderung	€	185.250	168.150	129.500
	€	176.250	159.150	127.000
Kapitalkosten	€/a	11.650	10.650	7.760
inkl. Förderung	€/a	10.880	9.880	7.550
Verbrauchs-kosten	€/a	9.630	9.630	10.860
Betriebskosten	€/a	12.060	12.060	11.530
Jahreskosten inkl. Förderung	€/a	33.340	32.340	30.150
	€/a	32.570	31.570	29.940
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	195.385	195.385	195.385
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	18,8	18,3	17,3
inkl. Förderung	Ct/kWh _{th}	18,4	17,8	16,9

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit zentrale Wärmeversorgung

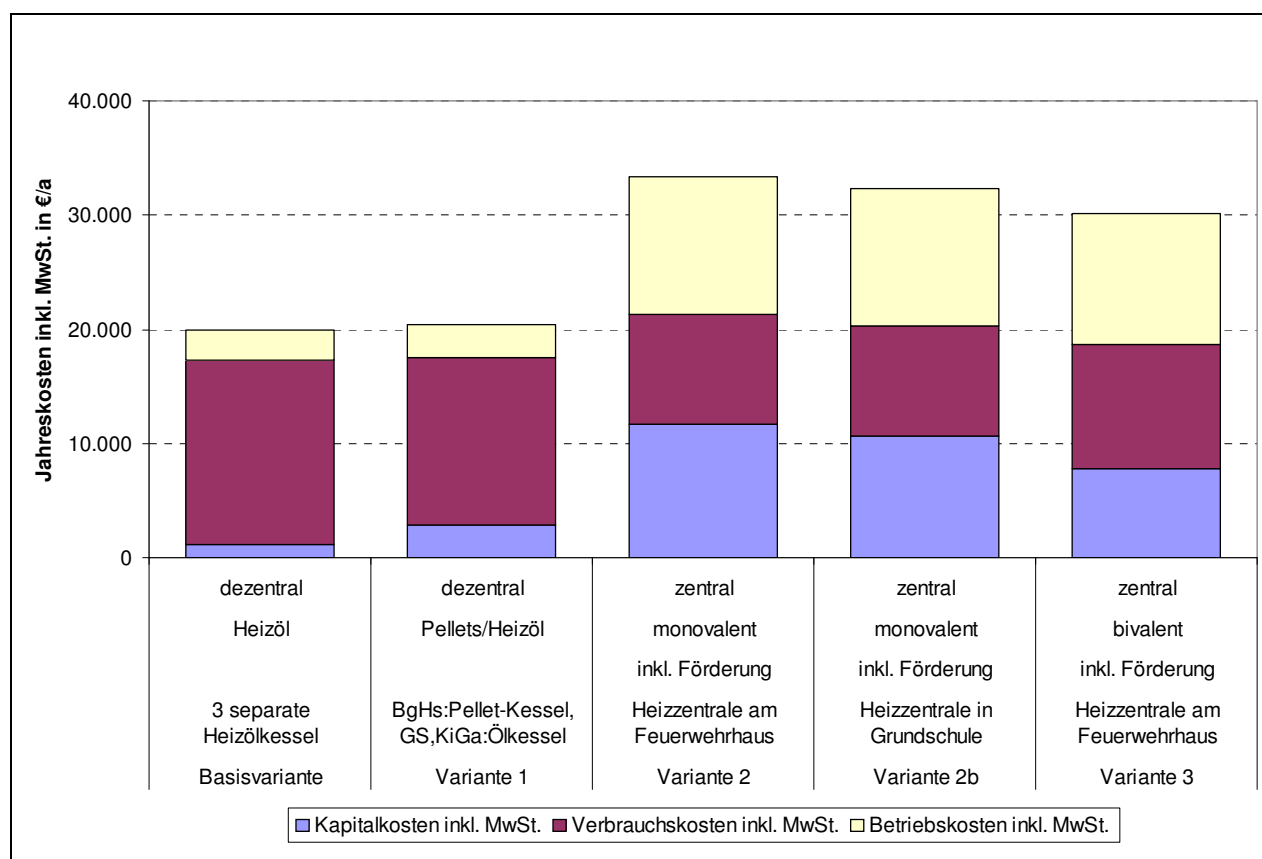


Abbildung 7: Wirtschaftlichkeit

Aus *Abbildung 7* geht hervor, dass die günstigste Variante unter den gegebenen Voraussetzungen der Austausch des Heizkessels im Bürgerhaus durch einen neuen Niedertemperatur-Ölkessel wäre. Jedoch liegen die Kosten für den Austausch der Heizanlage im Bürgerhaus durch einen Holzpellet-Kessel nur geringfügig höher, so dass die Realisierung von *Variante 1* – unter der Annahme, dass der Ölpreis weiterhin verhältnismäßig stark im Vergleich zum recht stabilen Pellet-Preis ansteigt – eindeutig stärker zu empfehlen wäre. Die Möglichkeiten der zentralen Wärmeversorgung haben wesentlich höhere Jahreskosten und sind deshalb derzeit aus finanziellen Gründen nicht zu empfehlen. Sollte es dennoch zur Realisierung einer Nahwärmeversorgung kommen, so wäre *Variante 2b* zu empfehlen: die Investitionskosten liegen deutlich unter denen von *Variante 2*, da kein Heizhaus gebaut werden muss (jedoch muss unbedingt geprüft werden, ob die Bausubstanz des Schulkellers die Einbringung und Aufstellung von Kessel und Sacksilo zur Pellet-Lagerung erlauben!) und die Verbrauchskosten sind durch die monovalente Versorgung mit Holzpellets deutlich niedriger als bei der ansonsten finanziell ähnlich zu bewertenden *Variante 3*. Unter der Annahme, dass im Feuerwehrhaus ohnehin künftig eine Baumaßnahme geplant sein sollte, gewinnt natürlich *Variante 2* wieder an Bedeutung.

3.4 Sensitivitätsanalyse

Zusätzlich zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Sensitivitätsanalyse in Bezug auf die Brennstoffpreise durchgeführt. Für eine Änderung der Brennstoffpreise gegenüber der in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preise innerhalb einer Preisspanne von -40 % bis +40 % werden die Wärmepreise der Varianten ermittelt.

Für Variante 1 und Variante 3, in denen zwei verschiedene Brennstoffe (Heizöl und Holzpellets) eingesetzt werden, werden jeweils beide Brennstoffpreise variiert.

Die Ergebnisse der Analyse sind in Form eines Diagramms dargestellt.

Aus der gewählten Preisspanne ergeben sich folgende Brennstoffpreise inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer (Verbrauchsmengen liegen in der gleichen Größenordnung, deshalb keine unterschiedliche Preisstaffelung je nach Liegenschaft).

	Heizölpreis -40 % in Ct/kWh _{H0}	Heizölpreis 0 % in Ct/kWh _{H0}	Heizölpreis +40 % in Ct/kWh _{H0}
Basisvariante	3,7116	6,186	8,6604
Variante 1	3,7116	6,186	8,6604
Variante 3	3,7116	6,186	8,6604

Tabelle 12: Heizölpreis-Variation

	Pelletpreis -40 % in Ct/kWh _{H0}	Pelletpreis 0 % in Ct/kWh _{H0}	Pelletpreis +40 % in Ct/kWh _{H0}
Variante 1	2,04	3,4	4,76
Variante 2	2,04	3,4	4,76
Variante 2b	2,04	3,4	4,76
Variante 3	2,04	3,4	4,76

Tabelle 13: Pelletpreis-Variation

In dem Diagramm ist der Wärmepreis abhängig von der Brennstoffpreisänderung aufgetragen.

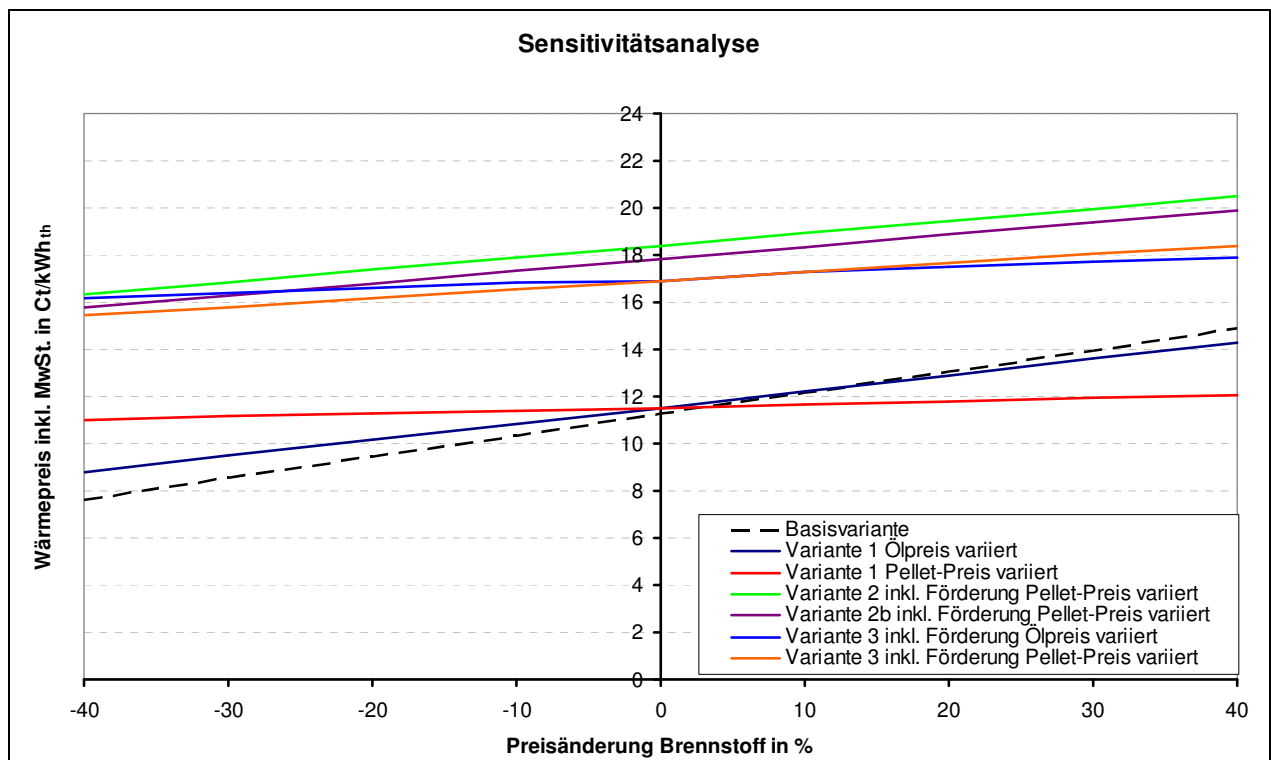


Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse

Um die wirtschaftlichen Entwicklungen einordnen zu können, ist der Verlauf für die jeweilige, dezentrale Wärmeversorgung mit aufgeführt. Eine gestrichelte Gerade, die als „Basisvariante“ bezeichnet ist, markiert den Wärmepreis der dezentralen Wärmeversorgung mit Heizöl aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Für 0 % Preisänderung des Brennstoffs liegen die Wärmepreise, wie sie in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelt wurden, vor.

Da die Holzpreise nicht an fossilen Brennstoffpreisen gebunden sind, sind die Preisänderungen unabhängig voneinander zu sehen. So kann z. B. der Heizölpreis zunehmen, während der Pelletpreis konstant bleibt.

Aus wirtschaftlicher Sicht sind die Steigungen der Geraden und deren Achsenabschnitt entscheidend: die Steigung ist ein Maß für die Höhe des Einflusses durch den Brennstoffpreis auf die Wirtschaftlichkeit, der Achsenabschnitt gibt Auskunft über den „heutigen“ Wärmepreis.

Aus dem Diagramm geht nun eindeutig hervor, dass *Variante 1* den niedrigsten Wärmepreis bei gleichzeitig kleinster Wärmepreissteigerungsrate bietet (Pelletpreis-Variation wirkt sich auf Kessel im Bürgerhaus aus, Ölpreis-Variation wirkt auf die übrigen Heizungsanlagen), weshalb die Umsetzung von Variante 1 zu empfehlen ist. Dieses Erkenntnis deckt sich mit dem Ergebnis aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

4 Nutzungsmöglichkeit Solarenergie

Zusätzlich zur Erneuerung der Wärmeversorgung in der Gemeinde Kasel wird geprüft, ob Solarenergie mit Solarthermie und Fotovoltaik im Bereich der Liegenschaften Bürgerhaus, Grundschule, Feuerwehrhaus und Kindergarten genutzt werden kann. Dazu wird die zugehörige Technik kurz vorgestellt und der zu erwartende Jahresertrag ermittelt.

4.1 Solarthermie

Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung zur Wärmeerzeugung genutzt. Die Nutzung erfolgt hauptsächlich zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung; die Solarwärme kann aber beispielsweise auch zur Trocknung, Kühlung oder zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt werden.

Die Solarstrahlung trifft mit einer Leistung von $1,36 \text{ kW/m}^2$ (sog. Solarkonstante) auf die äußere Erdatmosphäre. Durch Reflexion, Streuung und Absorption in der Atmosphäre trifft direkte und diffuse Strahlung auf die Erdoberfläche. In unseren Regionen kann durchschnittlich eine Energiemenge von 1.000 kWh/m^2 thermisch genutzt werden. Der tatsächliche Ertrag hängt neben der Einstrahlung am Standort v. a. vom Kollektortyp sowie der Neigung und Ausrichtung ab.

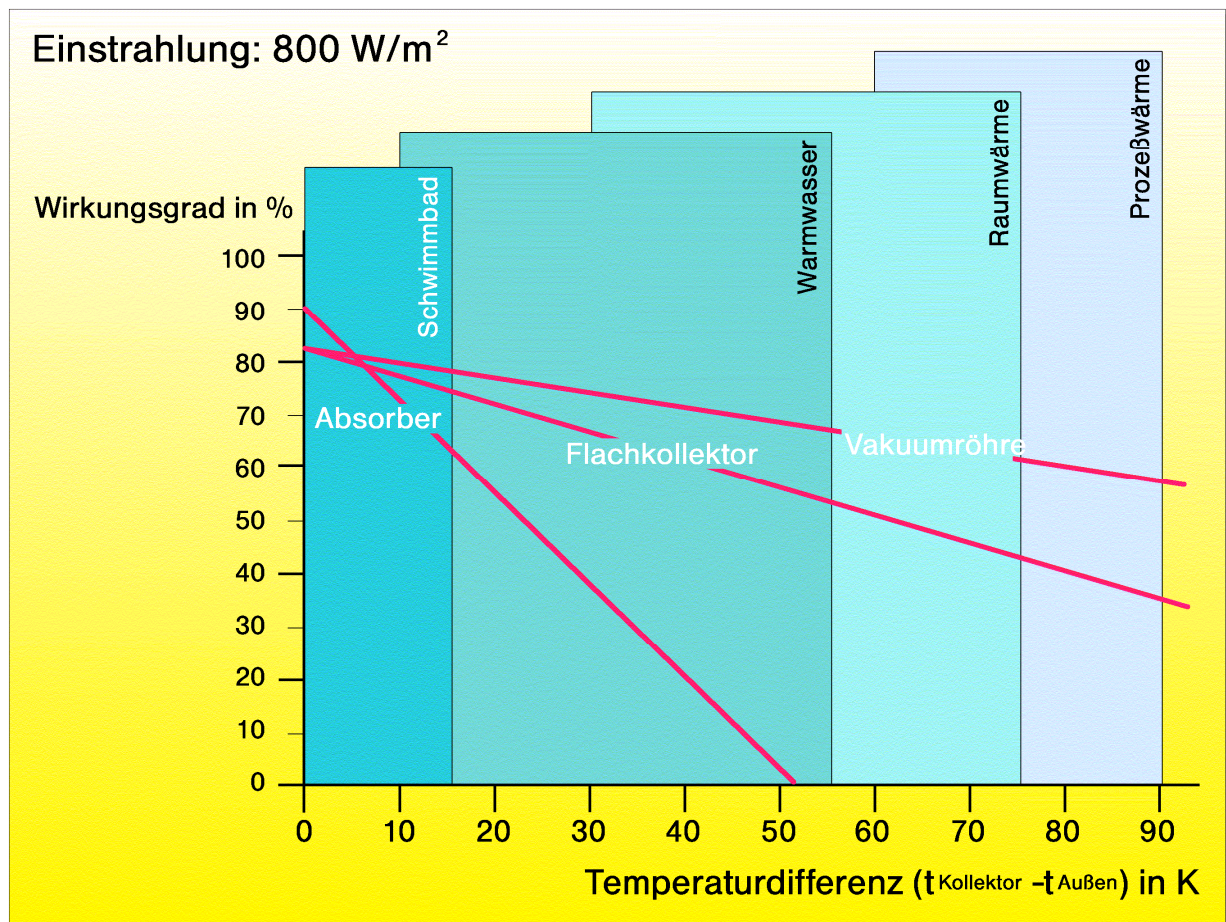
Um eine möglichst hohe Ausbeute über ein Jahr zu erzielen, ist eine Neigung der Kollektormodule von 30 bis 45° notwendig. Die Abweichung der Kollektorebene aus der Südrichtung (Azimut) sollte 45° nicht überschreiten. Zur überschlägigen Berechnung der Kollektorfläche eines Flachkollektors kann davon ausgegangen werden, dass ein Quadratmeter Kollektorfläche etwa 70 l Warmwasser bereitet.

Durch die solare Einstrahlung auf den Solarkollektor nimmt das Wärmeträgermedium im Kollektorkreis die Wärme auf. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Speicher abgegeben. Dazu sind verschiedene Speichersysteme wie z. B. Pufferspeicher, Schichtenspeicher oder Warmwasserspeicher möglich. Das Speichervolumen sollte für Wohnhäuser auf mindestens 50 l/m^2 ausgelegt sein. Hiermit sollte der Bedarf von 1 bis 2 Tagen gespeichert werden.

Besonders günstig ist die Nutzung von Solarenergie bei Anwendungen, bei denen der Energiebedarf mit dem Energieangebot übereinstimmt (z. B. Schwimmbadabsorber). Wenn dies nicht der Fall ist, kann die gewonnene Solarenergie mit entsprechenden Speichersystemen zwischengespeichert werden und / oder die Solaranlage mit einem zusätzlichen Energieerzeuger zu einem bivalenten System kombiniert werden.

Üblicherweise kann eine Solaranlage in Wohngebäuden bis zu 60 % des jährlichen Warmwasserbedarfs decken (solare Deckungsrate). Die Anlage sollte so dimensioniert werden, dass der Wärmebedarf im Sommer gedeckt wird.

Auf dem Markt sind verschiedene Systeme zu Solarkollektoren verfügbar (hauptsächlich Flach- oder Vakuum-Röhrenkollektoren). Diese unterscheiden sich im Aufbau, Wirkungsgrad und Preis. Die Abbildung zeigt die Wirkungsgrade verschiedener Systeme in Abhängigkeit von der nutzbaren Temperaturdifferenz bzw. dem benötigten Temperaturniveau für verschiedene Nutzungen. Verluste entstehen durch Reflexion an der Scheibe sowie durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung (Wärmeabgabe an die Umgebung).



Thermische Solaranlagen, Marktübersicht, © Öko-Institut 1997

Abbildung 9: Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut)

Beim **Flachkollektor** dient ein flaches schwarz beschichtetes Kupferblech als Absorber. Auf der Rückseite sind kupferne Leitungen angebracht, welche direkt vom Wärmeträger durchflossen werden. Dieses System befindet sich meist in einem gedämmten Gehäuse, welches mit einer Glasplatte abgedeckt ist. Zur Dimensionierung der Kollektoranlage kann man von 1,5 bis 2 m² Kollektorfläche pro Person ausgehen.

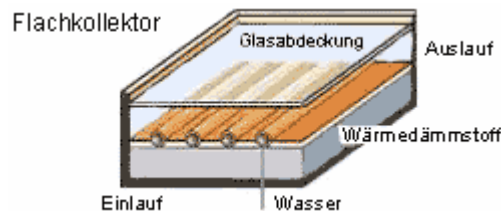


Abbildung 10: Flachkollektor (Quelle: Solarserver)

Vakuum-Röhrenkollektoren bestehen aus mehreren evakuierten Glasröhren mit innenliegendem Absorber. Die Wärmeverluste werden minimiert. Bei gleicher Fläche liefern Röhrenkollektoren bis zu 40% mehr Ertrag als Flachkollektoren. Pro Person sollte ca. 1 m² an Kollektorfläche installiert werden.

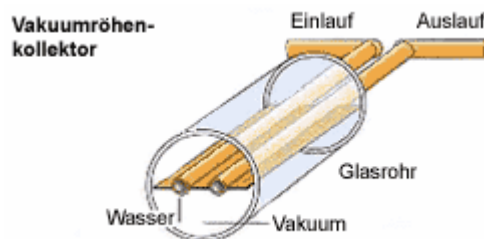


Abbildung 11: Vakuumröhrenkollektor (Quelle: Solarserver)

Im **Marktanreizprogramm** „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003“ des Bundes-Wirtschaftsministeriums sind Förderungen für Solarkollektoranlagen vorgesehen. Ab dem 01.07.2005 gelten geänderte Fördersätze. Für Solaranlagen zur kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung kann ein Zuschuss in Höhe von 135 € je angefangener m² installierter Gesamtbruttokollektorfläche bis zu einer Fläche von 200 m² beantragt werden. Der Zuschuss für Solaranlagen nur zur Warmwasserbereitung betragen 105 €/m².

Vorraussetzung für die Förderung ist, dass der jährliche Kollektorertrag von 525 kWh_{th}/a bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % beträgt und der Kollektor mit dem „Blauen Engel“ (siehe www.blauer-engel.de) ausgezeichnet ist.

Einsatzmöglichkeit im Bürgerhaus

Eine Voraussetzung für den Einsatz einer solarthermischen Anlage ist, dass zu Zeiten großer Solarerträge, also in den Sommermonaten, ein Wärmebedarf im Bürgerhaus vorliegt. Das Bürgerhaus wird als Sportstätte durch die Schule am Tag und durch diverse Vereine am Abend genutzt. Dadurch ist ganzjährig ein Bedarf an Wärme zur Trinkwassererwärmung gegeben.

Davon ausgehend, dass Sportgruppen mit ca. 25 Personen das Bürgerhaus nutzen und unter der Kenntnis, dass in Sportstätten nach Kubessa¹ ca. 40 l warmes Wasser pro Person und Tag benötigt werden, erhält man einen täglichen Warmwasserbedarf von ca. 1.000 l. Pro m² Kollektorfläche können ca. 70 l warmes Trinkwasser erzeugt werden. somit ergibt sich für das Bürgerhaus eine Kollektorfläche von ca. 15 m², wenn im Sommer der gesamte Brauchwarmwasser-Bedarf über eine solarthermische Anlage abgedeckt werden soll.

Eine Flachkollektorfläche von 15 m² auf der Süd-Ost-Seite des Gebäudedaches könnte einen jährlichen Ertrag von ca. 7.800 kW_{th} liefern. Zu prüfen ist dabei, ob die Statik des Daches auf dem Bürgerhaus den Einsatz einer solarthermischen Anlage ermöglicht.

Einsatzmöglichkeit Kindergarten

Auch im Kindergarten wäre aufgrund der Benutzungsart des Gebäudes eine solarthermische Anlage grundsätzlich sinnvoll: hier wird ganzjährig während der Betreuungszeiten warmes Wasser benötigt, das die Anlage kostengünstig zur Verfügung stellen könnte.

Der Kindergarten Kasel hat 2 Gruppen und damit ca. 20 Kinder. Pro Kind werden in Kindergärten nach Kubessa¹ ca. 35 l warmes Wasser am Tag benötigt. Somit ergibt sich ein täglicher Brauchwarmwasser-Bedarf von 700 l pro Tag. Somit sind hier ca. 10 m² Kollektorfläche nötig (70 l warmes Wasser werden pro m² Kollektorfläche erzeugt), um im Sommer den gesamten Brauchwarmwasser-Bedarf durch eine solarthermische Anlage abzudecken.

Eine Kollektorfläche von 10 m² auf dem nach Süden mit ca. 40° Neigung ausgerichteten Satteldach würde einen Ertrag von ca. 5.300 kW_{th} liefern können. Auch hier ist die Statik des Daches zu prüfen.

Einsatzmöglichkeit Grundschule/Feuerwehrhaus

Weder in Grundschule noch Feuerwehrhaus liegt ganzjährig ein nennenswerter Bedarf an Warmwasser vor, weshalb eine solarthermische Anlage hier wenig sinnvoll wäre.



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im



¹ Kubessa: „Energiekennwerte – Handbuch für Beratung, Planung, Betrieb“

4.2 Fotovoltaik

Fotovoltaik ist der Weg, Licht direkt in elektrischen Strom umzuwandeln. Wird Silizium dem Licht ausgesetzt, entsteht eine elektrische Spannung. Forscher machten diese Entdeckung nutzbar und entwickelten die ersten Solarzellen.

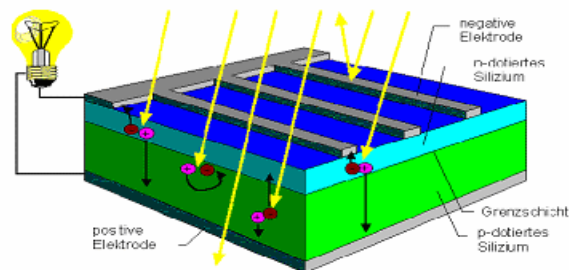


Abbildung 12: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

Bei den Solarzellen unterscheidet man nach drei Typen: monokristalline, polykristalline und amorphe (Dünnschicht) Solarzellen.

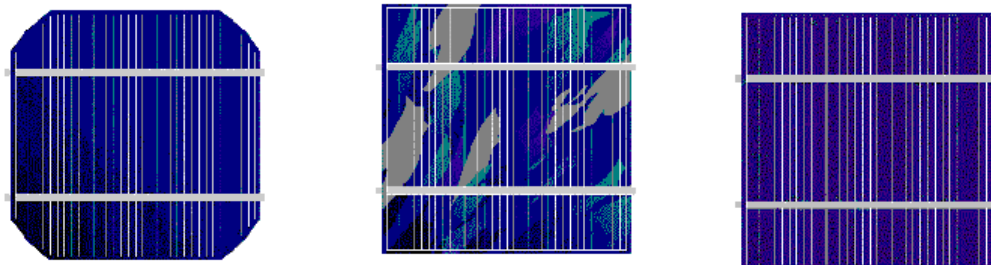


Abbildung 13: monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)

Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt über 250 verschiedene PV-Module auf dem Markt. Diese unterscheiden sich durch ihre Abmaße, Leistung, Zelltypen und nicht zuletzt durch ihren Rahmen und die Einbindung in Montagesysteme (z.B. Fassadensysteme). Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr einen nahezu gleich bleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Fotovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Fotovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann.

Fotovoltaikmodule werden in Größen bis zu 3 m² angeboten. Mit 10 - 15 kg/m² stellen sie echte Leichtgewichte dar und bedürfen daher in der Regel keiner verstärkenden

Maßnahmen an der Dachstatik. Es gibt auch so genannte Solardachziegel, die geschindelt anstelle der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können. Mittlerweile sind komplette Dachelemente als PV-Modul ausgebildet. Die einzelnen Fotovoltaikmodule werden mit Gleichstromkabeln verbunden und ergeben den Solar-generator.

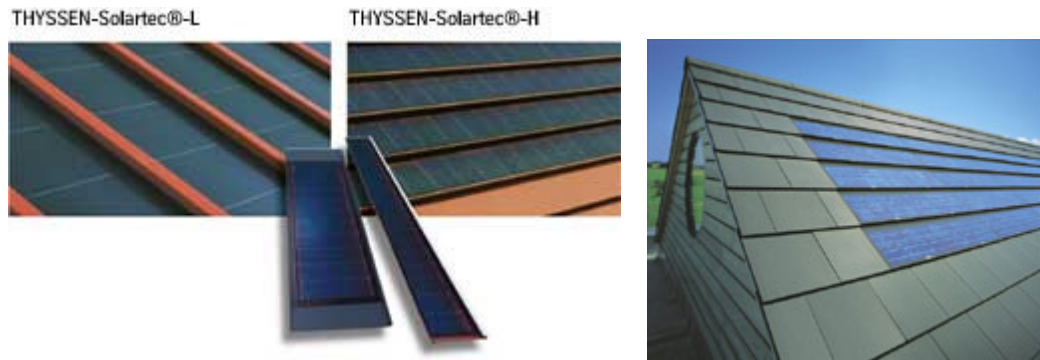


Abbildung 14: Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

Inselanlage oder netzgekoppelte Anlage

Fotovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden.

Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solar-generator (bestehend aus den Fotovoltaikmodulen), Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher.

Netzgekoppelte Anlagen sind über den Wechselrichter mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden. Der Strom aus der Fotovoltaikanlage wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und vom Stromversorger vergütet. Eine netzgekoppelte Anlage benötigt keine Batteriespeicher und ist daher wesentlich kostengünstiger als eine Inselanlage.

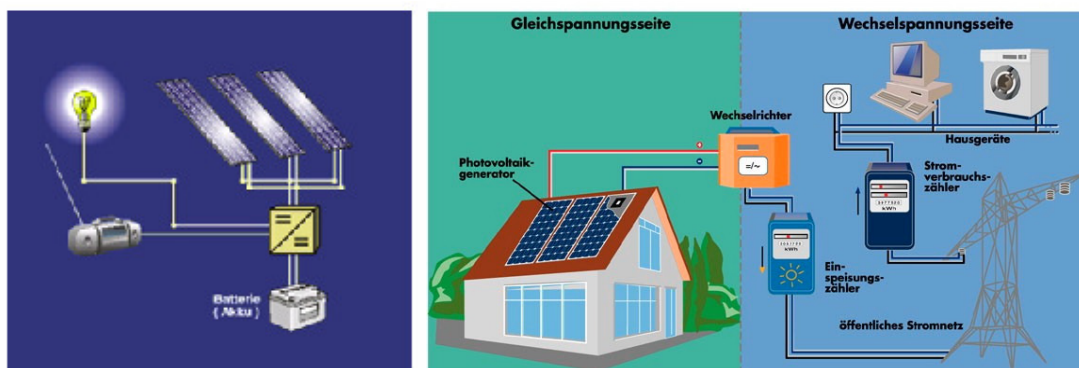


Abbildung 15: Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

Leistung und Ertrag

Eine Fotovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung (kW_{Peak}) eine Dachfläche von rund 10 m^2 (bei Verwendung mono- oder polykristalliner Solarzellen). Der meiste Solarstrom wird erzeugt, wenn das Dach nach Süden ausgerichtet ist und eine Neigung von 30° hat. Eine Ausrichtung der Fotovoltaikmodule nach Süd-West oder Süd-Ost verringert den Solarertrag um weniger als 10 %. Das gleiche gilt für Dachneigung von 10° bzw. 60° :

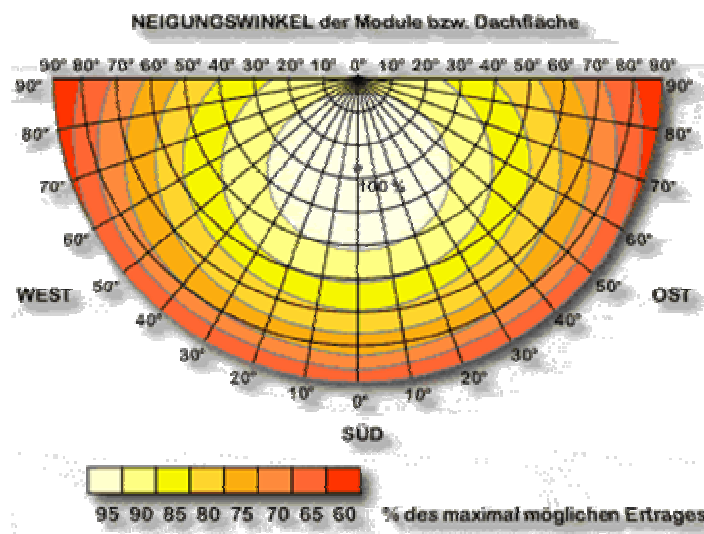


Abbildung 16: Anlagenenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators
(Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund $750 - 850 \text{ kWh je kW}_{\text{Peak}}$, in Süddeutschland unter optimalen Bedingung können über $900 \text{ kWh je kW}_{\text{Peak}}$ geerntet werden. Eine Verschattung der Fotovoltaikmodule durch Schornsteine oder Bäume sollte unbedingt vermieden werden, da dadurch der Ertrag reduziert wird.

Genehmigung von Fotovoltaikanlagen

Die Montage von Fotovoltaikanlagen muss nicht genehmigt werden. Wie auch bei thermischen Solaranlagen sollte die Errichtung der Baubehörde formlos angezeigt werden. Ist das Gebäude denkmalgeschützt, ist eine Genehmigung einzuholen. Der Installateur meldet die PV-Anlage beim zuständigen Energieversorger an.

Einsatzmöglichkeit in der Ortsgemeinde Kasel

Anhand des Lageplans werden die geeigneten Dachflächen in der Ortsgemeinde Kasel für die Installation von Fotovoltaikmodulen grob ermittelt.

Grundsätzlich sind alle vorhandenen und südlich ausgerichteten Dachflächen für die Installation von PV-Modulen geeignet. Abhängig von der Dachgestaltung wie z. B. Dachform, Anordnung von Dachfenstern und verschiedene Höhen der Gebäudeteile verringert sich die Aufstellfläche der Module. Auch hier ist zu prüfen, ob die Gebäudestatik eine zusätzliche Dachlast in Form von Fotovoltaikmodulen erlaubt.

		Bürgerhaus	Kindergarten	Schule	Feuerwehrhaus
Dachfläche	m ²	400	241	150	200
nutzbare Modulfläche	m ²	200	125	96	100
Ausrichtung		Ost - West	Süd	Ost - West	Süd
Leistung	kW _P	20	12,5	9,6	10
Ertrag	kWh _{el} /a	16.000	10.625	7.680	8.500

Auf ca. 1.000 m² Dachfläche der Liegenschaften können insgesamt etwa 500 m² Fotovoltaikmodule mit ca. 850 kWh_{el}/kW_P installiert werden. Der zu erwartende Jahresertrag beträgt rund 42.000 kWh_{el}/a.

Prinzipiell besteht auch die Möglichkeit der Verpachtung von Dachflächen an entsprechende Betreiber von Fotovoltaik-Anlagen.

Ein weiterer Aspekt für den Einsatz von Fotovoltaik ist die Möglichkeit, bei einer etwaigen Dachsanierung (z.B. Feuerwehrhaus: Austausch der Eternit-Eindeckung) entsprechende Solarziegel zu verwenden. Die Kostenrechnung würde hier recht günstig ausfallen, da keine zusätzlichen Investitionen in eine konventionelle Dacheindeckung mehr anfielen.

5 Zusammenfassung

In der Ortsgemeinde Kasel ist der Heizkessel im Bürgerhaus erneuerungsbedürftig. Im Gegensatz zur Erneuerung dieses Heizkessels durch einen NT-Heizölkessel oder einen Holzpellets-Kessel wurde eine gemeinsame Wärmeversorgung auf Basis des Brennstoffs Holz untersucht. Zur ökologischen und wirtschaftlichen Bewertung des Holznahwärmeverbands wurde diese der dezentralen Wärmeversorgung gegenübergestellt.

In der Ist-Analyse wurden mit den zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten und Anlagendaten der Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung abgeschätzt. Darauf basierte eine Energiebilanz zu den notwendigen Energie- und Brennstoffmengen für die dezentrale und zentrale Wärmeversorgung.

Mit energiespezifischen Werten wurden die Kohlendioxidemissionen ermittelt. Im Vergleich zu den derzeitigen CO₂-Emissionen spart eine Erneuerung der Heizanlage im Bürgerhaus durch einen NT-Heizölkessel 2% - während die Erneuerung durch einen Holzpellets-Kessel 25% der bisherigen CO₂-Emissionen einspart. Der Holznahwärmeverbund hingegen würde in der monovalenten Ausführung (*Variante 2*) 74% und in der bivalenten Ausführung (*Variante 3*) 58% CO₂-Emissionen einsparen können.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Diese hat zum Ergebnis, dass die Erneuerung des Heizölkessels im Bürgerhaus durch einen Holzpellets-Kessel (*Variante 1*) unter den gegebenen Voraussetzungen die finanziell günstigste und wirtschaftlich sinnvollste Variante ist. Gerade vor dem Hintergrund weiterhin stark ansteigender Heizölpreise würde *Variante 1* langfristig die niedrigsten Verbrauchskosten garantieren können. Die zentralen Varianten sind sicherlich die ökologisch sinnvollsten – aus ökonomischer Sicht derzeit aber nicht zu empfehlen, da sich Investition in Nahwärmenetz und Heizzentrale nur dann rechnen, wenn entweder ohnehin eine Baumaßnahme geplant sein sollte, die die Integration einer Heizzentrale erlaubt oder alle Heizungsanlagen der betrachteten Liegenschaften erneuerungsbedürftig wären. Beide Voraussetzungen sind derzeit aber nicht gegeben.

Zusätzlich zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde eine Sensitivitätsanalyse in Bezug auf die Brennstoffpreise durchgeführt. Für eine Änderung der Brennstoffpreise gegenüber der in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preise innerhalb einer Preisspanne von -40 % bis +40 % wurden die Wärmepreise der Varianten ermittelt.

Neben dezentraler Wärmeversorgung und der Holz-Nahwärme wurde als weiterer Punkt die Einsatzmöglichkeit von Solarthermie und Fotovoltaik geprüft und der zu erwartende Ertrag ermittelt.

Für den Einsatz von thermischen Solaranlagen bieten sich in Kasel nur das Bürgerhaus und der Kindergarten an, da nur hier ganzjährig ein Bedarf an warmem Trinkwasser existiert. Mit einer 15 m² großen Solarkollektoranlage auf dem Dach des Bürgerhauses stellen sich rund 7.800 kWh_{th}/a als Solarertrag ein. Der Solarertrag einer 10 m² großen, thermischen Solaranlage auf dem Dach des Kindergartens beträgt etwa 5.300 kWh_{th}/a. Es ist zu prüfen, ob die Statik der Gebäudedächer eine zusätzliche Dachlast zulässt.

Mit den Dachflächen von Bürgerhaus, Grundschule, Kindergarten und Feuerwehr, die zur Installation von Fotovoltaikmodulen geeignet sind, wurden die mögliche, umsetzbare Spitzenleistung und der Solarertrag überschlägig bestimmt. Auf insgesamt 991m² Dachfläche kann unter Berücksichtigung der Statik im Hinblick auf die zusätzliche Dachlast eine Fotovoltaikanlage mit einer Gesamtfläche von ca. 500m² errichtet werden. Insgesamt könnte eine Spitzenleistung von ca. 850 kWh_{el}/kW_p mit einem Solarertrag von rund 42.000 kWh_{el}/a erreicht werden.

Fazit:

Unter den angesetzten Rahmenbedingungen liegen die Jahreskosten der dezentralen Wärmeversorgung mit einem Holzpellets-Kessel im Bürgerhaus bei gleichzeitig niedrigsten Verbrauchskosten am niedrigsten, sodass aus wirtschaftlicher Sicht der Austausch des Heizölkessels im Bürgerhaus durch einen Holzpellets-Kessel zu empfehlen ist. Der Wärmepreis liegt hier – bedingt durch die weitaus niedrigeren Investitionskosten um 7 Ct/kW_{th} unterhalb des Wärmepreises für die zentrale, monovalente Variante und nur um 0,2 Ct/kW_{th} über dem Wärmepreis der Basisvariante, bei der ein Austausch durch einen NT-Heizölkessel erfolgte. Dennoch ist zur Variante 1 zu raten, da diese insgesamt weniger stark vom Heizölpreis abhängig ist und somit langfristig gesehen den günstigeren Wärmepreis liefern wird.

Aus ökologischer Sicht zeigt sich deutlich der Vorteil des CO₂-neutralen Brennstoffs Holz gegenüber den fossilen Energieträgern.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan.....	5
Abbildung 2: Vergleich Ist- zu Idealzustand.....	7
Abbildung 3: Vergleich Soll- zu Idealzustand	8
Abbildung 4: Verlegung Nahwärmetrasse	9
Abbildung 5: Holzpellets	10
Abbildung 6: CO ₂ -Bilanz	16
Abbildung 7: Wirtschaftlichkeit	21
Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse	24
Abbildung 9: Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut)	26
Abbildung 10: Flachkollektor (Quelle: Solarserver)	27
Abbildung 11: Vakuumröhrenkollektor (Quelle: Solarserver).....	27
Abbildung 12: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)	30
Abbildung 13: monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie).....	30
Abbildung 14: Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)	31
Abbildung 15: Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie).....	31
Abbildung 16: Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators.....	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ist-Analyse	4
Tabelle 2: Ist-Zustand.....	6
Tabelle 3: Soll-Zustand.....	7
Tabelle 4: Vorstellung der Varianten	12
Tabelle 5: dezentrale Energiebilanz	14
Tabelle 6: zentrale Energiebilanz	15
Tabelle 7: CO ₂ -Bilanz	16
Tabelle 8: Investition dezentrale Wärmeversorgung	18
Tabelle 9: Wirtschaftlichkeit dezentrale Wärmeversorgung	18
Tabelle 10: Investition zentrale Wärmeversorgung	20
Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit zentrale Wärmeversorgung	21
Tabelle 12: Heizölpreis-Variation.....	23
Tabelle 13: Pelletpreis-Variation.....	23