

Energietechnische Analyse der Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen

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
Telefon: 06721 / 409 229
Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs
Telefon: 06721 / 409 218
Telefax: 06721 / 409 129
Homepage: <http://tsb.fh-bingen.de>

Projektnummer: 875

Datum: 19.12.2003

Inhalt

Einleitung	3
1 Ist-Analyse	4
1.1 Gebäude	4
1.2 Gebäudetechnik im Schulgebäude	5
1.3 Gebäudetechnik in der Turnhalle	7
1.4 Gebäudetechnik im Hallenbad	8
1.5 Wärmebedarf der Konrad-Adenauer-Schule	9
1.6 Stromverbrauch der Konrad-Adenauer-Schule	11
2 Modernisierung der Wärmeversorgung	13
2.1 Vorstellung der Wärmeversorgungsvarianten	13
2.1.1 Variante 1: Erneuerung Heizölkessel	13
2.1.2 Variante 2: Heizzentrale mit Biomassekessel (Holzhackschnitzel) und Heizölkessel	14
2.1.3 Variante 3: Heizzentrale mit Biomassekessel (Holzpellets) und Heizölkessel	17
2.2 Energiebilanz für den derzeitigen Wärmebedarf	17
2.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	19
2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	21
2.5 Sensitivitätsbetrachtung	25
3 Einsatzmöglichkeiten von Solaranlagen	27
3.1 Einsatzmöglichkeiten einer thermischen Solaranlage	27
3.2 Einsatzmöglichkeiten einer Fotovoltaikanlage	29
4 Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs	31
4.1 Beleuchtung	31
4.2 Heizungsumwälzpumpen	32
5 Zusammenfassung	33
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	35

Einleitung

Im Energiekonzept für die Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen, die sich aus dem Schulgebäude, einer Turnhalle und einem Hallenbad zusammensetzt, werden verschiedene Wärmeversorgungsanlagen untersucht.

Ziel der Arbeit ist, den Einsatz von regenerativen Energien wie z. B. Solar und Holzenergie unter dem Aspekt des Klima- und Emissionsschutzes zu prüfen.

In der Ist-Analyse wird der derzeitige Wärmebedarf der Schule ermittelt, auf dem eine Modernisierung der vorhandenen Heizanlagen basiert. Mit den entsprechenden Daten wird eine Energiebilanz mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen erstellt. Darauf basieren die Kohlendioxid-Emissionsbilanz sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizungsmodernisierung.

Als alternative Wärmeversorgung zur Erneuerung der bestehenden Heizkessel wird eine Nahwärmeversorgung auf Basis des Brennstoffs Holz für alle Schulgebäude betrachtet. Um eine weitere, erneuerbare Energie zu nutzen, wird eine thermische Solaranlage auf dem Dach der Turnhalle untersucht.

Zur ökonomischen und ökologischen Beurteilung der verschiedenen Möglichkeiten zur Wärmeversorgung der Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen dienen die Jahresgesamtkosten, der Wärmepreis und die eingesparten Kohlendioxid-Emissionen.

Die energietechnische Analyse schließt auch den Stromverbrauch und die Ermittlung des Stromeinsparpotentials durch verschiedene Maßnahmen mit ein.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in einer abschließenden Zusammenfassung dargestellt. Diese können als Entscheidungshilfe zur Anlagenauswahl beitragen.

1 Ist-Analyse

Die Ist-Analyse wertet die zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten und die Daten der vorhandenen Heizanlagen aus. Nach einer Plausibilitätsprüfung mit spezifischen Kenngrößen dienen die Daten als Grundlage für die weiteren Berechnungen.

1.1 Gebäude

Die Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen besteht aus einem Schulgebäude, einer Turnhalle und einem Hallenbad. Das Schulgebäude gliedert sich in zwei Trakte, die über einen Verbindungstrakt miteinander verbunden sind.

Gebäude	Energiebezugsfläche
Schulgebäude	5.989 m ²
Turnhalle	933 m ²
Hallenbad	723 m ²
Summe	7.645 m ²

Tabelle 1-1 Gebäudedaten der Konrad-Adenauer-Schule

Im Lageplan sind die einzelnen Gebäude der Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen abgebildet.

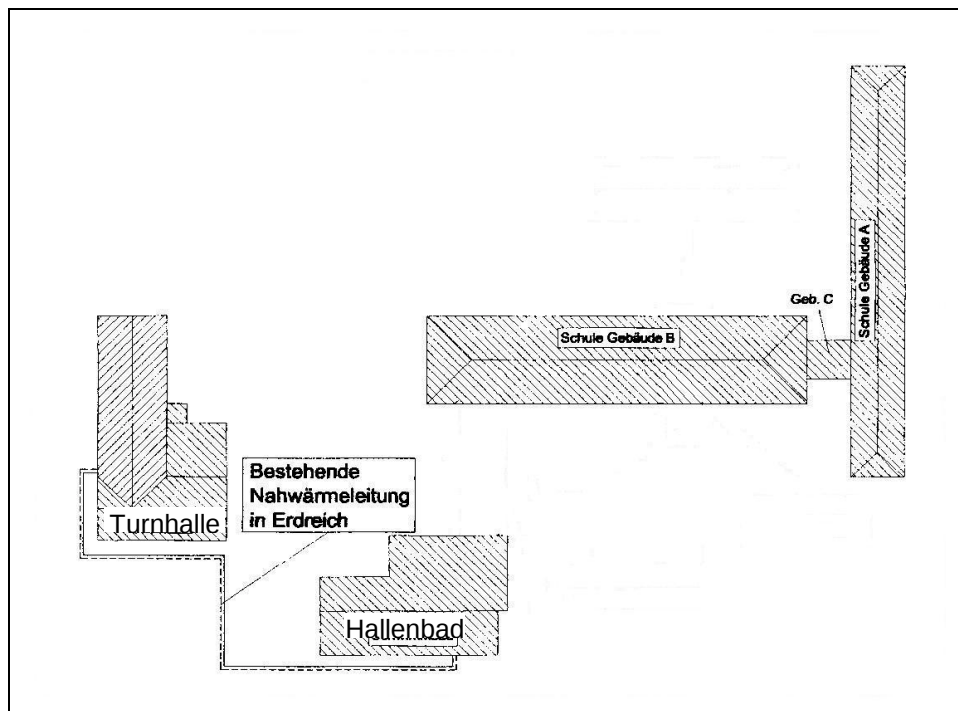


Abbildung 1-1 Lageplan der Konrad-Adenauer-Schule

1.2 Gebäudetechnik im Schulgebäude

Zur Wärmeversorgung der beiden Schultrakte befindet sich im Gebäude B der Heizraum mit zwei heizölbeheizten Heizkesseln. Die zugehörigen technischen Daten sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

	Heizkessel 1	Heizkessel 2
Heizkessel		
Fabrikat/Bezeichnung	Viessmann 2000	Viessmann 2000
Baujahr	1967	1967
Nennwärmeleistung	696 kW _{th}	696 kW _{th}
Jahresnutzungsgrad 18.02 2002	94,2 %	92,7 %
Brenner		
Fabrikat/Bezeichnung	Abig-Werke AW1ZV	Abig-Werke AW1ZV
Baujahr	1997	1996
Durchsatz Heizöl	10 - 55 kg/h	10 - 55 kg/h
Leistung	118 - 652 kW _{th}	118 - 652 kW _{th}

Tabelle 1-2 Daten zur Heizanlage im Schulgebäude

Das Heizöl wird in zwei Erdlagertanks mit einem Fassungsvermögen von je 80.000 l (insgesamt 160.000 l) neben dem Heizraum im Erdreich gelagert.

Zur Versorgung einiger Waschtische mit Warmwasser befindet sich ein Warmwasserspeicher ebenfalls im Heizraum. Allerdings ist diese Warmwasserbereitung derzeit nicht in Betrieb. Folgende Daten weist der Warmwasserspeicher auf.

Baujahr	1967
Speicherinhalt	300 l
Durchsatz	2.160 l/h
Temperatur	45 °C

Tabelle 1-3 Daten zum Warmwasserspeicher im Schulgebäude

Zur Beheizung der Flure befindet sich in der abgehängten Decke eine Deckenstrahlheizung nach Eigenbau. Die mit Heizungswasser durchflossenen Rohre der Tragkonstruktion leiten die Wärme an die Blechverkleidung der Decke weiter, die an den Heizungsrohren befestigt sind. Die Blechverkleidung strahlt dann die Wärme in die Flure ab.

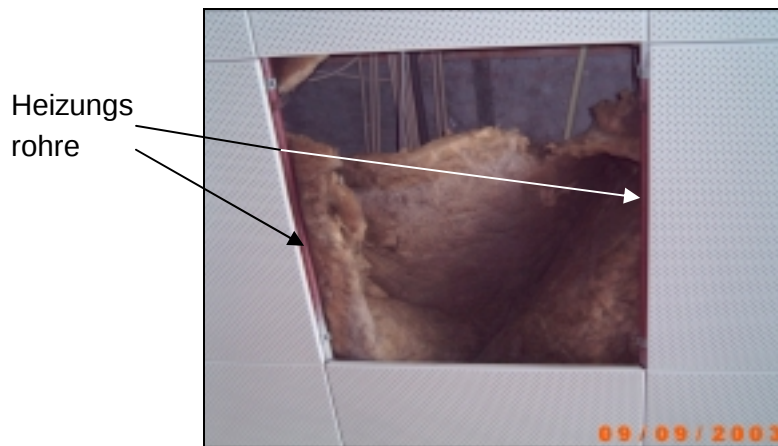


Abbildung 1-2 Deckenheizung in den Fluren des Schulgebäudes

Da in der abgehängten Decke auch Elektroleitungen verlegt sind, wird die Deckenheizung als ein gewisses Sicherheitsrisiko angesehen. Außerdem ist die Deckenverkleidung nur an den Heizungsrohren befestigt, sodass dies ebenfalls die Sicherheit beeinträchtigt.

1.3 Gebäudetechnik in der Turnhalle

Zwei heizölbefeuerte Heizkessel sind im Heizraum der Turnhalle installiert. Über eine Nahwärmeleitung ist das Hallenbad an der Heizanlage angeschlossen. Die technischen Daten der Heizkessel sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

	Heizkessel 1	Heizkessel 2
Heizkessel		
Fabrikat/Bezeichnung	Viessmann 2101	Viessmann 2101
Baujahr	1968	1968
Nennwärmeleistung	557 kW _{th}	557 kW _{th}
Abgasverluste 18.02 2002	10 %	9 %
Brenner		
Fabrikat/Bezeichnung	Abig-Werke	Abig-Werke
Baujahr	1982	1982
Durchsatz Heizöl	12 - 55 kg/h	12 - 55 kg/h
Leistung	142 - 651 kW _{th}	142 - 651 kW _{th}

Tabelle 1-4 Daten zur Heizanlage in der Turnhalle

Beide Heizkessel weisen hohe Abgasverluste auf. In dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (1. BimSchG - Verordnung über Kleinf Feuerungsanlagen) sind die Grenzwerte für die Abgasverluste festgelegt. Die zulässigen Grenzwerte der 1. BimSchV verschärfen sich kontinuierlich. Ab 2004 müssen die Anlagen einen Abgasverlust kleiner 9 % erreichen. Wird der Wert nicht erreicht, ist ein Austausch erforderlich.

Das Heizöl wird in zwei Erdlagertanks mit einem Fassungsvermögen von je 80.000 l (insgesamt 160.000 l) neben dem Heizraum im Erdreich gelagert.

Die Lüftungsanlage mit einem Baujahr von 1968 besitzt keine Wärmerückgewinnung.

Die Warmwasserbereitung in der Turnhalle erfolgt in einem 1.500 l-Speicher mit einem Baujahr von 1967.

1.4 Gebäudetechnik im Hallenbad

Das Hallenbad ist über einen direkten Nahwärmeanschluss an der Heizanlage in der Turnhalle angeschlossen. Vormittags (7.30 bis 12.45 Uhr) ist das Schwimmbad von der Schule belegt, während an drei Abenden in der Woche (Montags, Mittwochs und Freitags) die DLRG das Hallenbad benutzt.

Zur Warmwasserbereitung befinden sich zwei Speicher mit folgenden Daten im Hallenbad.

Baujahr	1968
Anzahl Speicher	2
Speicherinhalt	3.000 l
Speicherinhalt, gesamt	6.000 l
Temperatur	60 °C

Tabelle 1-5 Daten zu den Warmwasserspeichern im Hallenbad



Abbildung 1-3 Warmwasserspeicher im Hallenbad

Im Hallenbad wird eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit unterschiedlichen Volumenströmen für die Schwimmhalle und die Umkleieräume betrieben.

1.5 Wärmebedarf der Konrad-Adenauer-Schule

Zur Ermittlung des derzeitigen Wärmebedarfs wird zunächst die durchschnittliche Heizöllieferung mit Klimabereinigung und ein nach der VDI-Richtlinie 2067 berechneten Jahresnutzungsgrad der Heizanlagen herangezogen.

durchschnittlicher Heizöllieferung 98 - 02	192.000 l/a
Brennstoffbedarf	1.919 MWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	82 %
Jahresheizwärmebedarf	1.574 MWh _{th} /a

Tabelle 1-6 Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs im Ist-Zustand

Die Heizöllieferung 2002 wurde getrennt nach Schule und Turnhalle/Hallenbad aufgeführt, sodass daraus überschlägig eine Aufteilung des Wärmebedarfs berechnet werden kann.

Heizöllieferung Schule 02	95.000 l/a
Heizöllieferung Turnhalle/Hallenbad 02	100.700 l/a
Brennstoffbedarf Schule	950 MWh _{HU} /a
Brennstoffbedarf Turnhalle/Hallenbad	1.007 MWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	82 %
Jahresheizwärmebedarf Schule	780 MWh _{th} /a
Jahresheizwärmebedarf Turnhalle/Hallenbad	820 MWh _{th} /a
Gesamtheizwärmebedarf	1.600 MWh _{th} /a
Anteil Jahresheizwärmebedarf Schule	49 %
Anteil Jahresheizwärmebedarf Turnhalle/Hallenbad	51 %

Tabelle 1-7 Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs für Schule und Turnhalle im Ist-Zustand

Für die weitere Betrachtung wird ein Jahresheizwärmebedarf von 1.600 MWh_{th}/a angenommen, der sich jeweils zur Hälfte auf die Schule und die Turnhalle/Hallenbad aufteilt.

Da die derzeit installierten Heizkessel überdimensioniert sind, wird für die Modernisierung die benötigte Heizleistung anhand spezifischer Kennwerte überschlägig ermittelt. Für die Aufteilung des Jahresheizwärmebedarfs werden spezifische Kennwerte sowie eine überschlägige Ermittlung des Wärmeverbrauchs des Hallenbads herangezogen.

		Schulgebäude	Turnhalle	Hallenbad	Summe
Jahresheizwärmebedarf	MWh _{th} /a	800	533	267	1.600
Wärmeleistung	kW _{th}	800	444	215	1.460
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.000	1.200	1.240	
Energiebezugsfläche	m ³	5.989	933	723	7.645
Beckenfläche	m ²			133	
spez. Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /m ² a	134	571	369 2.003 ¹	
spez. Wärmeleistung	W _{th} /m ²	134	475	1.616 ¹	
gebäudetypische Werte					
spez. Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /m ² a	75 - 250	33 - 358	210 - 410 4.000 - 5.000 ¹	
spez. Wärmeleistung	W _{th} /m ²	75 - 150	85 - 115	1.200 - 1.800 ¹	
Vollbenutzungsstunden				1.500 - 2.000	
einschichtig	h/a	1.018 - 1.370	1.018		
zweischichtig	h/a	1.130 - 1.510	1.510		

Tabelle 1-8 Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs für die einzelnen Gebäudeteile im Ist-Zustand

Für die weiteren Berechnungen wird ein Gesamtheizwärmebedarf von 1.600 MWh_{th}/a und eine Wärmeleistung von 1.460 kW_{th} für die dezentrale Wärmeversorgung zu Grunde gelegt.

¹ spez. Werte für das Hallenbad beziehen sich auf die Beckenfläche

1.6 Stromverbrauch der Konrad-Adenauer-Schule

Mit den zur Verfügung gestellten Daten zum Stromverbrauch von 2001 bis August 2003 wird der durchschnittliche Stromverbrauch ermittelt.

	Stromverbrauch	elektrische Jahreshöchstleistung
2001	212.996 kWh _{el} /a	90 kW _{el}
2002	224.072 kWh _{el} /a	88 kW _{el}
01 - 08.2003	132.851 kWh _{el}	80 ² kW _{el}
Mittelwert	218.534 ³ kWh _{el} /a	86 kW _{el}

Tabelle 1-9 Stromverbrauch der Konrad-Adenauer-Schule

Im Vertrag zum Strombezug ist eine Bestellleistung von 105 kW_{el} und eine Mindestleistung von 78 kW_{el} festgelegt.

Der spezifische Stromverbrauch bezogen auf die Energiebezugsfläche wird gebäudetypischen Verbrauchskennwerten aus der Literatur gegenübergestellt.

durchschnittlicher Stromverbrauch	218.534 kWh _{el} /a
Energiebezugsfläche	7.645 m ²
spezifischer Stromverbrauch	29 kWh _{el} /(m ² a)
gebäudetypische Werte	
spezifischer Stromverbrauch Schule mit Turnhalle	9 kWh _{el} /(m ² a)
spezifischer Stromverbrauch Gesamtschule	16 kWh _{el} /(m ² a)
spezifischer Stromverbrauch Turnhalle	18 kWh _{el} /(m ² a)
spezifischer Stromverbrauch Schwimmhallen < 250 m ²	879 kWh _{el} /(m ² a) ⁴

Tabelle 1-10 spezifischer Stromverbrauch

Aufgrund des zur Schule zugehörigen Hallenbads ergibt sich für die Konrad-Adenauer-Schule ein verhältnismäßig, hoher spezifischer Stromverbrauch, der den gebäudetypischen Kennwerten entspricht.

² Abschätzung nach vorliegenden Daten von 01. - 08.2003

³ Mittelwert für 2001 und 2002

⁴ Verbrauch bezogen auf die Beckenoberfläche

Da die meisten Umwälzpumpen zur Erstausrüstung der vorhandenen Heizanlagen gehören, entsprechen sie nicht mehr dem Stand der Technik. Die einstufigen Umwälzpumpen im Schulgebäude und in der Turnhalle benötigen folgende elektrische Anschlussleistung.

	Fabrikat	Bezeichnung	Leistungsaufnahme in W _{el}
Schulgebäude			
Konstantverbraucher I	KSB	ETALINE G50 - 160 / 054 G7	550
Konstantverbraucher II	Brock Hansen	DU 80 AH	550
Flure + WC I	KSB	50-13 / 054	560
Flure + WC II	KSB	50-13 / 054	550
Klassentrakt A I	KSB	50-13 / 054	550
Klassentrakt A II	KSB	ETALINE GN50 - 160 / 054	550
Klassentrakt B I	KSB	50-13 / 054	550
Klassentrakt B II	KSB	50-13 / 054	550
Turnhalle			
Lüftung	KSB	Riovar 44/80	
Gymnastikhalle	KSB	Rio	
Wasch- und Umkleide- räume	Wilo	P50/125	4-stufig: 80 - 290
WW-Bereitung	Wilo	P50/125	4-stufig: 80 - 290

Tabelle 1-11 Umwälzpumpen im Schulgebäude und in der Turnhalle

2 Modernisierung der Wärmeversorgung

Alle derzeit installierten Heizkessel haben mit einem Baujahr von 1967 bzw. 1968 ihre Nutzungsdauer überschritten. Trotz der Erneuerung der Ölbrenner 1996/97 bzw. 1982 sind die Heizanlagen erneuerungsbedürftig. Da die Heizkessel in der Turnhalle die Abgasverluste nicht einhalten, müssen sie spätestens 2004 ausgetauscht werden.

Zur Wärmeversorgung der Konrad-Adenauer-Schule betrachtet die Studie die Erneuerung der dezentralen Heizkessel sowie eine Heizzentrale mit einem Biomassekessel.

Variante 1: Erneuerung heizölbefeuerte Niedertemperaturkessel (dezentral)

Variante 2: Heizzentrale mit Biomassekessel und heizölbefuenerter Niedertemperaturkessel

2.1 Vorstellung der Wärmeversorgungsvarianten

Die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Wärmeversorgung der Konrad-Adenauer Schule in Vinningen werden mit einer kurzen Beschreibung der zugehörigen Technik vorgestellt.

2.1.1 Variante 1: Erneuerung Heizölkessel

Die Erneuerung der vorhandenen heizölbefeuerten Heizkessel durch Niedertemperaturkessel stellt die Vergleichsgrundlage für die übrigen Varianten dar.

Durch den Austausch der Heizkessel mit einem höheren Wirkungsgrad verringert sich etwas der Brennstoffbedarf und die entsprechenden Emissionen.

2.1.2 Variante 2: Heizzentrale mit Biomassekessel (Holzhackschnitzel) und Heizölkessel

Da das Hallenbad über Nahwärmeleitungen an die Heizanlage in der Turnhalle angebunden ist, bietet sich eine gemeinsame Wärmeversorgung aller Schulgebäude an. Als Standort der Heizzentrale betrachtet die Studie den vorhandenen Heizraum im Schultrakt B, sodass über neu zu verlegende Nahwärmeleitungen zwischen Schulgebäude und Hallenbad alle Gebäude angeschlossen werden können. Zur Wärmeversorgung der Turnhalle kann die vorhandene Nahwärmetrasse genutzt werden.

Als Wärmeerzeuger wird ein Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzhackschnitzel und ein heizölbefuerter Niedertemperaturkessel untersucht.

Biomassekessel:

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holzhackschnitzel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schüttfähigkeit der Holzhackschnitzel ist deren Transport, die Lagerung und die automatische Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Aufgrund dessen ist ein kontinuierlicher Betrieb eines Biomassekessels ohne großen Bedienaufwand gewährleistet.

Das Lager der Holzhackschnitzel wird nach dem gewählten Austragungssystem, der Brennstofffeuchte und die zu lagernde Menge bestimmt. Außerdem sind die örtlichen Gegebenheiten für die Anforderungen an das Lager zu berücksichtigen. Neben Silos (z. B. Fahr- bzw. Tunnelsilo) und Bunker kann der Brennstoff im Gebäude gelagert werden. Alternativ dazu können die Holzhackschnitzel in Container geliefert werden.

Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holzhackschnitzel aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Schubböden, Teleskopfräsen oder Austragungsschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, oder einen Kratzkettenförderer zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen. Dadurch kann die Gefahr des Zusetzens der Förderschnecke durch die Holzhackschnitzel vermieden werden.

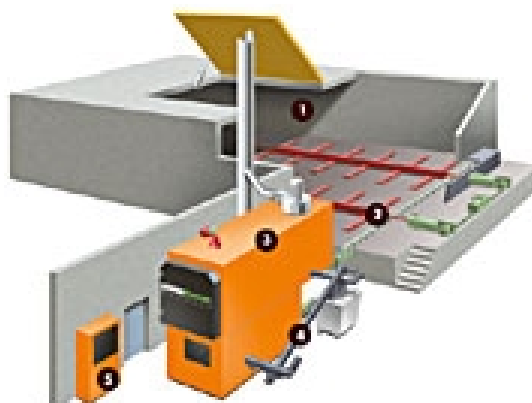


Abbildung 2-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid Ag, CH-Eschlikon)
Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holzhackschnitzel in die Brennstoffmulde, wo sie unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bilden. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben. Eine Rostfeuerung ermöglicht dagegen eine Vortrocknung von Holzhackschnitzel mit einer etwas höheren Restfeuchte, indem der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über das Rost geführt werden, getrocknet wird.

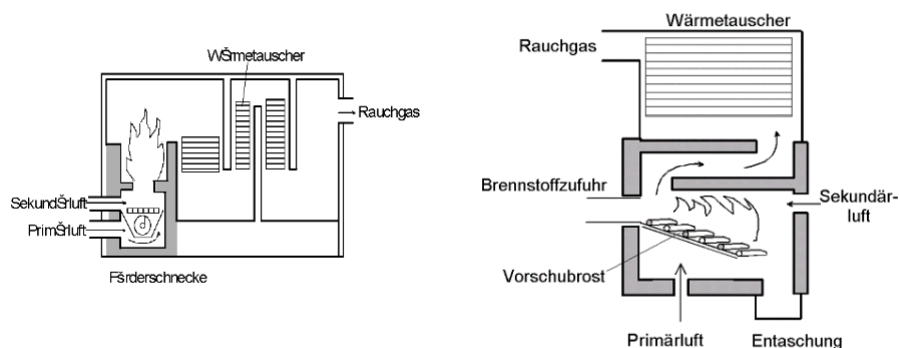


Abbildung 2-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärme-
produktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungs-
regelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine
Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einen oder mehreren
Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab etwa 500 kW_{th}
werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt.

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung
regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher
abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalthäufigkeit, und die
Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrie-
ben, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Investitionskosten möglichst niedrig zu
halten. Der Biomassekessel wird zur Abdeckung einer Grund- und Mittellast ausgelegt, wäh-
rend ein erdgas- oder heizölbefuerter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird.

Lagerung der Holzhackschnitzel:

Um lange Transportwege zu vermeiden, sollte sich das Holzhackschnitzzellager direkt neben der Heizzentrale befinden. Als Standort der Heizzentrale mit dem Biomassekessel betrachtet die Studie den vorhandenen Heizraum im Schulgebäude.



Abbildung 2-3 Ansicht der Heizkessel und der Verteilung im Heizraum des Schulgebäudes

Zur Bevorratung der Holzhackschnitzel bietet sich ein Bunker im Erdreich an, der durch Abkippen des LKWs von oben befüllt werden kann. Um das Holzhackschnitzzellager zu errichten, sind die zwei Erdlagertanks, die sich neben dem Heizraum befinden, zu entfernen. Da ein Heizöltank für den Niedertemperaturkessel benötigt wird und der Ausbau der Erdlagertanks mit einem hohen Aufwand verbunden ist, wird als Standort des Holzhackschnitzzellagers ein Erdbunker auf dem Schulhof untersucht. Dadurch sind die Holzhackschnitzel mit einem Kratzkettenförderer durch den Keller des Schulgebäudes bis zum Heizraum zu transportieren. Hier ist zu prüfen, ob der Versorgungsschacht im Flur des Kellers genutzt werden kann.



Abbildung 2-4 Ansicht auf Abdeckung der Erdlagertankbefüllung und
Ansicht möglicher Standort des Holzhackschnitzelbunkers

Die erforderliche Lagergröße des Holzhackschnitzelbunkers berechnet sich aus dem Brennstoffbedarf, der notwendig ist, um die Holzfeuerungsanlage an 5 bis 10 Tagen unter Volllast zu betreiben. Aufgrund des LKW-Ladevolumen können zwischen 60 und 110 Sm³ angeliefert werden.

2.1.3 Variante 3: Heizzentrale mit Biomassekessel (Holzpellets) und Heizölkes- sel

Als Alternative zur zweiten Variante kann in dem Biomassekessel auch Holzpellets verfeuert werden. Bis auf die Lagerung und der Brennstofftransport der Holzpellets kann die übrige Technik, wie in der zweiten Variante beschrieben, übernommen werden.

Für die Lageraustragung sind verschiedene Systeme möglich. Neben einer Schneckenaus-
tragung in einem Schrägbodenlager ist eine Kreisaustragung für quadratische Grundrisse
geeignet. Aus einem unterirdischen Kugeltanklager werden die Holzpellets über ein Saugsys-
tem zum Kessel transportiert.

Lagerung der Holzpellets:

Auch hier sind lange Transportwege zu vermeiden, sodass das Lager möglichst nahe an der
Heizzentrale platziert sein sollte. Für die Schule in Vinningen bietet sich ein Holzpelletsilo an,
das auf dem Schulhof aufgestellt werden kann. Für die Aufstellung ist eine Bodenplatte erfor-
derlich.

Die Zufahrt zum Schulhof ist gewährleistet, sodass je nach Bedarf das leere Holzpelletsilo
gegen ein volles ausgetauscht werden kann. Die Holzpellets sind ebenfalls durch das Schul-
gebäude zum Heizraum zu transportieren. Hier ist zu prüfen, ob der Versorgungsschacht im
Flur des Kellers genutzt werden kann.

2.2 Energiebilanz für den derzeitigen Wärmebedarf

Für die gemeinsame Wärmeversorgung berechnet sich der Wärmebedarf wie folgt.

	Wärmebedarf in MWh _{th} /a	Wärmeleistung in kW _{th}
Schulgebäude	800	800
Turnhalle	533	444
Hallenbad	267	215
Nahwärmeverluste	2	1
Summe	1.602	1.460

Tabelle 2-1 Wärmebedarf der zentralen Wärmeversorgung

Die Ergebnisse der Energiebilanz sind in der Tabelle aufgeführt.

		Variante 1 dezentral Heizöl	Variante 2 zentral HHS + Heizöl	Variante 3 zentral Holzpellets + Heizöl
Heizleistungsbedarf	kW _{th}	1.460	1.460	1.460
Nennwärmeleistung				
Heizöl-NT-Kessel Schulgebäude	kW _{th}	800	1.200 (2 * 600)	1.200 (2 * 600)
Heizöl-NT-Kessel Turnhalle	kW _{th}	700		
Biomassekessel	kW _{th}		300	300
Deckungsgrad	%		20	20
Gesamtwärmeleistung	kW _{th}	1.500	1.500	1.500
Gesamtwärmebedarf	MWh _{th} /a	1.600	1.600	1.600
Wärmeerzeugung				
Heizöl-NT-Kessel	MWh _{th} /a	1.600	401	401
Biomassekessel	MWh _{th} /a		1.202	1.202
Deckungsgrad	%		75	75
Jahresnutzungsgrad				
Heizöl-NT-Kessel	%	92	92	92
Biomassekessel	%		80	80
Brennstoffbedarf				
Heizöl	MWh _{Hu} /a	1.739	435	435
Holzhackschnitzel	MWh _{Hu} /a		1.502	
Holzpellets	MWh _{Hu} /a			1.502
Brennstoffmenge				
Heizöl	l/a	173.913	43.540	43.540
Holzhackschnitzel	Sm ³ /a		1.878	
Holzpellets	kg/a Sm ³ /a			300.423 462

Tabelle 2-2 Energiebilanz der Wärmeversorgungsvarianten für den derzeitigen Wärmebedarf

Das Vorratsvolumen der Holzhackschnitzel wird nach dem Brennstoffbedarf des Biomassekessels während eines fünf- bis zehntägigen Volllastbetriebs ausgelegt. Für einen fünftägigen Volllastbetrieb ergibt eine Lagergröße von etwa 80 m³, um ca. 55 Sm³ lagern zu können.

Das Vorratsvolumen der Holzpellets beträgt für einen achttägigen Volllastbetrieb etwa 22 Sm³, die in einem Lagervolumen von ca. 32 m³ bevorratet werden können.

2.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzhackschnitzel benötigten Energie ergibt sich für die Holzhackschnitzel eine spezifische CO₂-Emission von 58 g CO₂/kWh_{BS}. Die spezifische CO₂-Emission von Heizöl beträgt 318 g CO₂/kWh_{BS}.

Zu den untersuchten Varianten sind die jährlichen Kohlendioxid-Emissionen aufgeführt.

		Ist-Zustand dezentral Heizöl	Variante 1 dezentral Heizöl	Variante 2 zentral HHS + Heizöl	Variante 3 zentral Holzpellets + Heizöl
Brennstoffbedarf					
Heizöl	MWh _{HU} /a	1.920	1.739	435	435
Holzhackschnitzel	MWh _{HU} /a			1.502	
Holzpellets	MWh _{HU} /a				1.502
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	610	553	226	244
Einsparung CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a		57	384	366

Tabelle 2-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf

Im Vergleich zum Ist-Zustand sparen alle Varianten Kohlendioxid-Emissionen ein. Eine Erneuerung der durch heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel reduziert die jährlichen CO₂-Emissionen um 57 t CO₂/a, was einer Einsparung von etwa 9 % entspricht. Die zentrale Wärmeversorgungsvariante spart durch den Einsatz von Holzhackschnitzel als Brennstoff ca. 63 % bzw. 384 t CO₂/a der derzeitigen CO₂-Emissionen ein. Mit Holzpellets als Brennstoff verringern sich die jährlichen Kohlendioxid-Emissionen um 366 t CO₂/a bzw. ca. 60 %.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse sind diese im Diagramm abgebildet.

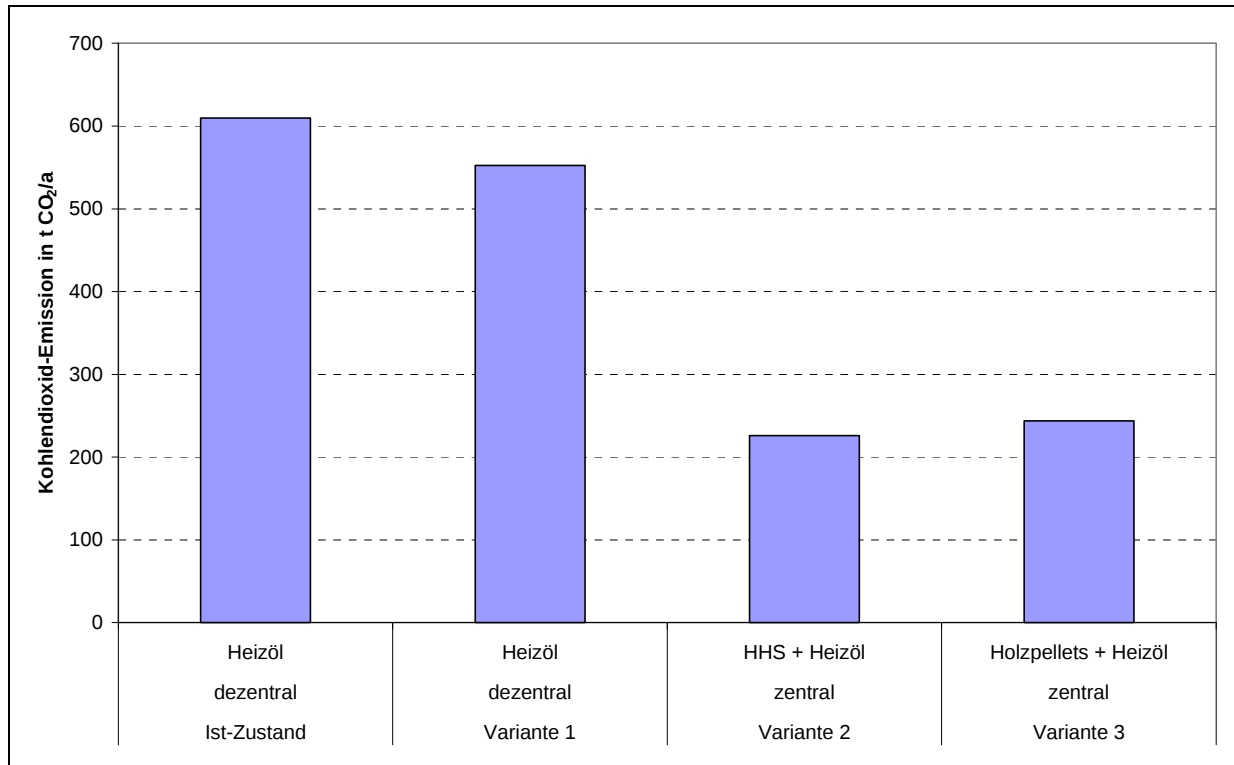


Abbildung 2-5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf

2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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 Jahreswärmebedarf wieder.

Es besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit bei der KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) nach dem KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds „Wachstumsimpulse“ für die Realisierung des Nahwärmeverbunds auf Basis vom Brennstoff Holz zu beantragen. Ein nominaler Zinssatz beträgt 4 %, der für die ersten zehn Jahre fest ist. Danach werden neue Konditionen vereinbart. Die Laufzeit beträgt maximal 20 Jahre mit maximal drei tilgungsfreien Anlaufjahren.

Zusätzlich kann auf automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} und maximal 275.000 € je Einzelanlage auf die Nettoinvestitionskosten nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 13. Dezember 2003“ beantragt werden. Antragsberechtigt sind u. a. auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz	5 %
Zinssatz	4 % (KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds „Wachstumsimpulse“)
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spezifischer Heizölpreis	32 Ct/l (inkl. MwSt.)
spezifischer Holzhackschnitzelpreis	9 €/Sm ³ (inkl. 7 % MwSt.) (unbehandeltes Industriestholz)
spezifischer Holzpelletpreis (Industriepellets)	138 €/t (inkl. 7 % MwSt.)
Allgemeiner Strompreis	12 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung, Instandhaltung	2 % der Investition (Heisanlage)
Personalkosten	40 €/h (inkl. MwSt.)
Steuern, Versicherung	0,7 % der Investition

Verwaltung

5 % der Jahresgesamtkosten

Investition der dezentralen Wärmeversorgungsvarianten

	Variante 1: dezentral Heizöl	Variante 2: zentral HHS + Heizöl	Variante 3: zentral Holzpellets + Heizöl
Heizleistung	1.500 kW _{th}	1.500 kW _{th}	1.500 kW _{th}
Maschinentechnik			
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetrieb- nahme in Schulgebäude	52.000 €		
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetrieb- nahme in Turnhalle	45.200 €		
Biomassekessel mit Brennstofftransport, Pufferspeicher und Zubehör inkl. Monta- ge, Inbetriebnahme in Schulgebäude		164.800 €	85.700 €
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zube- hör inkl. Montage und Inbetriebnahme in Schulgebäude		77.200 €	77.200 €
Versorgungstechnik			
Nahwärmenetz		18.900 €	18.900 €
Bautechnik			
Demontage Heizkessel	12.500 €	12.500 €	12.500 €
Holzhackschnitzzellager		17.200 €	
Holzpettelsilo			14.900 €
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	16.500 €	43.600 €	31.400 €
Gesamtinvestition	126.200 €	334.200 €	240.600 €
Förderung		18.000 €	18.000 €
Gesamtinvestition mit Förderung		316.200 €	222.600 €

Tabelle 2-4 Investition der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf

Die folgenden Tabellen stellen die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die unterschiedlichen Wärmeversorgungsvarianten dar.

		Variante 1 dezentral Heizöl	Variante 2 zentral HHS + Heizöl	Variante 3 zentral Holzpellets + Heizöl
Wärmeleistung Heizöl-NT-Kessel Schulgebäude	kW _{th}	800		
Wärmeleistung Heizöl-NT-Kessel Turnhalle	kW _{th}	700		
Wärmeleistung Heizöl-NT-Kessel Heizzentrale	kW _{th}		1.200	1.200
Wärmeleistung Biomassekessel Heizzentrale	kW _{th}		300	300
Gesamtwärmeleistung	kW _{th}	1.500	1.500	1.500
Investition	€	126.200	334.200	240.600
Teilschulderlass	€		18.000	18.000
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	11.767		
inkl. Teilschulderlass und MwSt.	€/a		27.176	18.832
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	57.572	34.196	58.756
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	21.966	28.588	26.070
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a	91.305		
inkl. Teilschulderlass und MwSt.	€/a		89.960	103.658
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	1.600.000	1.600.000	1.600.000
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh_{th}	5,7		
inkl. Teilschulderlass und MwSt.	Ct/kWh_{th}		5,6	6,5

Tabelle 2-5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf

Die Jahresgesamtkosten für die Erneuerung der heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel zur Einzelversorgung betragen rund 91.300 €/a. Mit einem Jahreswärmebedarf von 1.600 MWh_{th}/a berechnet sich der Wärmepreis zu 5,7 Ct/kWh_{th}.

Eine gemeinsame Wärmeversorgung auf Basis vom Brennstoff Holzhackschnitzel erreicht vergleichbare Jahreskosten von ca. 90.000 €/a unter Berücksichtigung eines Teilschulderlasses, sodass sich ein Wärmepreis von 5,6 Ct/kWh_{th} ergibt.

Die zentrale Wärmeversorgung mit einem Holzpelletkessel erzielt unter Einbeziehung eines Teilschulderlasses Jahreskosten von rund 103.700 €/a. Daraus resultiert ein höherer Wärmepreis von 6,5 Ct/kWh_{th}.

Im Diagramm sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Veranschaulichung dargestellt.

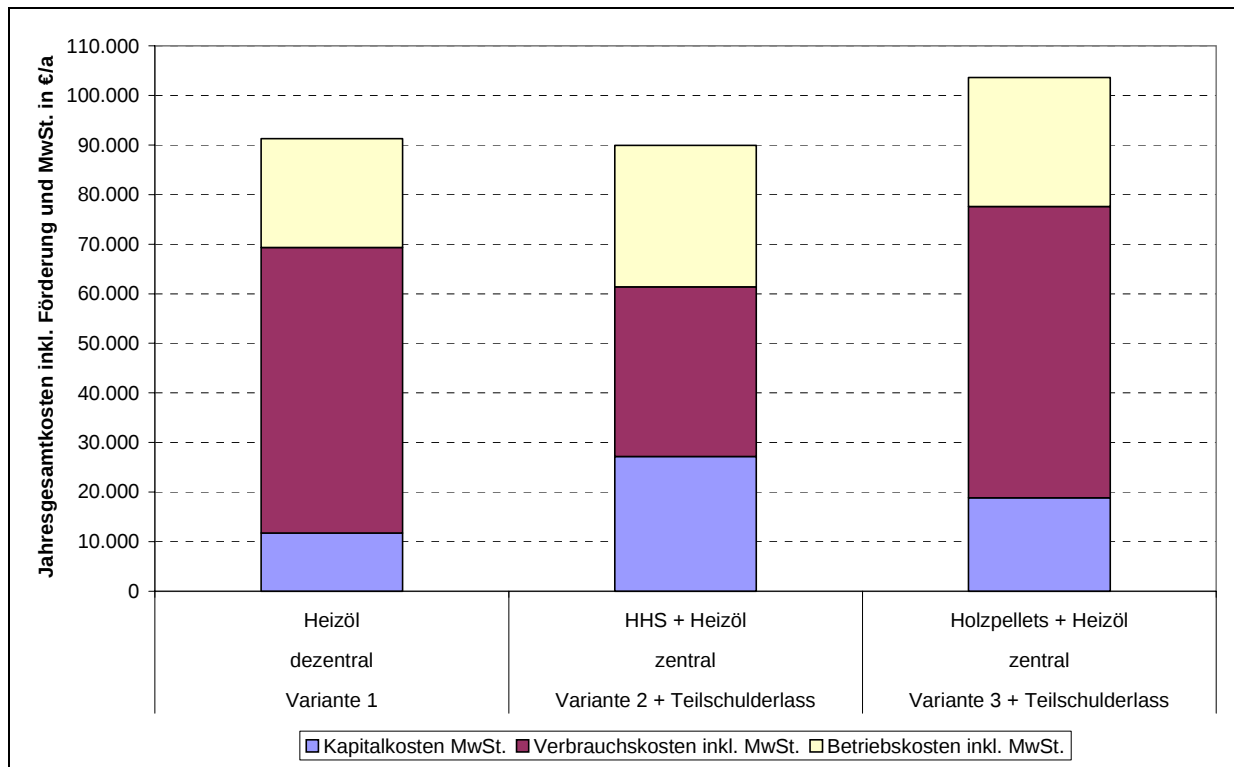


Abbildung 2-6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf

2.5 Sensitivitätsbetrachtung

Die Brennstoffpreise nehmen einen verhältnismäßig großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten ein. Um eine Einschätzung der Wirtschaftlichkeit auch für höhere bzw. niedrigere Brennstoffpreise als die in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preise zu ermöglichen, wird eine Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich der Brennstoffpreise durchgeführt.

Es wird eine Preisspanne von -50 % bis +50 % für den Heizölpreis und den Holzhackschnitzelpreis inkl. MwSt. untersucht. Daraus ergeben sich folgende Preise.

Heizöl:	16,0 Ct/l (-50 %)	32,0 Ct/l (0 %)	48,0 Ct/l (+50 %)
Holzhackschnitzel:	4,5 €/Sm ³ (-50 %)	9,0 Ct/Sm ³ (0 %)	13,5 €/Sm ³ (+50 %)
Holzpellets:	98,3 €/t (-50 %)	138 €/t (0 %)	207,0 €/t (+50 %)

In der Variante, in der beide Brennstoffe benötigt werden, wird immer nur ein Brennstoffpreis variiert.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung sind in Diagrammen dargestellt. Dazu ist der Wärmepreis jeder Variante für den entsprechenden Brennstoffpreis aufgetragen, sodass für einen bestimmten Brennstoffpreis der zugehörige Wärmepreis abgelesen werden kann.

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

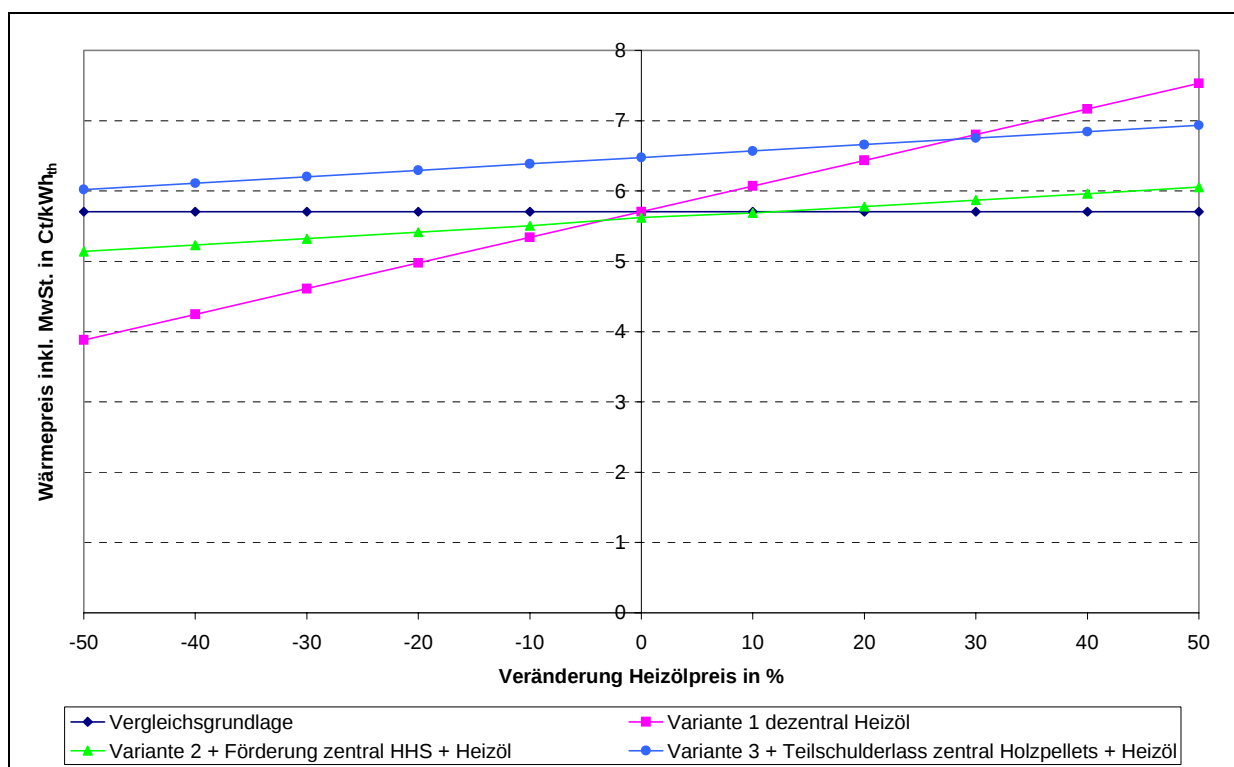


Abbildung 2-7 Sensitivitätsbetrachtung des Wärmepreises abhängig vom Heizölpreis

Der Verlauf zu den einzelnen Varianten im Diagramm zeigt, dass ab einem bestimmten Heizölpreis der Nahwärmeverbund auf Basis von Holz einen niedrigeren Wärmepreis erzielt und somit wirtschaftlicher als die Erneuerung der dezentralen Heizölkessel ist.

Unter Berücksichtigung einer Förderung erreicht der Nahwärmeverbund auf Basis von Holz ab einem Heizölpreis von etwa 31 Ct/l einen niedrigeren Wärmepreis als die dezentrale Wärmeversorgung. Der entsprechende Wärmepreis liegt bei 5,6 Ct/kWh_{th}.

Ab einer deutlichen Preisänderung von ca. +28 %, was einem Heizölpreis von etwa 41 Ct/l entspricht, ist die dritte Variante mit einer zentralen Wärmeversorgung mit Biomasse- und Heizölkessel unter Berücksichtigung eines Teilschulderlasses erst wirtschaftlicher.

Das nächste Diagramm stellt den Wärmepreis abhängig vom Holzhackschnitzelpreis dar.

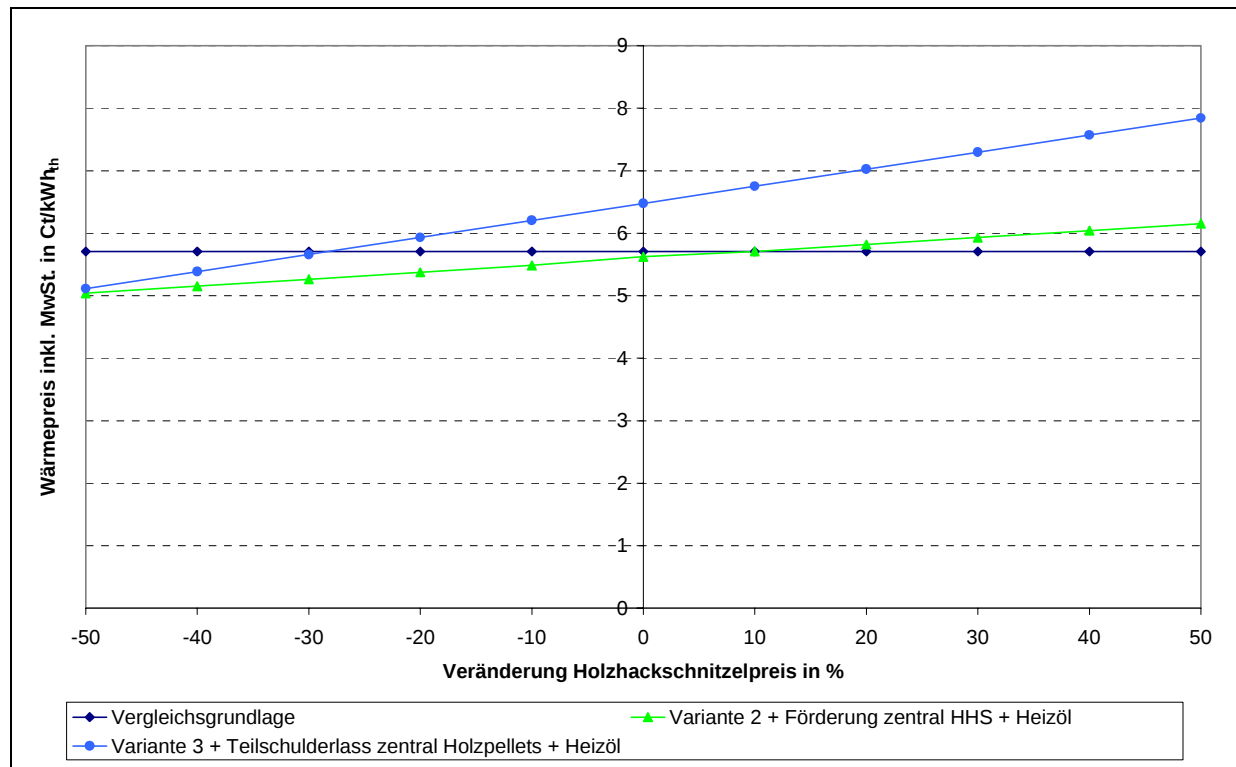


Abbildung 2-8 Sensitivitätsbetrachtung des Wärmepreises abhängig vom Holzhackschnitzelpreis

Bis zu einen Holzhackschnitzelpreis von ca. 10 €/Sm³ erzielt der Nahwärmeverbund nach der zweiten Variante mit Berücksichtigung eines Teilschulderlasses einen niedrigeren Wärmepreis gegenüber der Erneuerung der dezentralen Heizölkessel. Mit Einbeziehung eines Teilschulderlasses stellt sich die zentrale Wärmeversorgung auf Basis von Holzpellets bis zu einen Preis von rund 98 €/t wirtschaftlicher dar.

3 Einsatzmöglichkeiten von Solaranlagen

Neben den Einsatz eines Biomassekessels zur Wärmeversorgung auf Basis von regenerativen Energien, nutzen thermische Solaranlage und Fotovoltaikanlagen Solarenergie zur Wärme- bzw. Stromerzeugung. Die beiden Techniken werden nachfolgend mit den Einsatzmöglichkeiten in der Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen vorgestellt.

3.1 Einsatzmöglichkeiten einer thermischen Solaranlage

Um regenerative Energien zur Wärmeversorgung einzusetzen, werden thermische Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Raumheizung untersucht.

In der Turnhalle benötigen hauptsächlich die Sportvereine Warmwasser, die abends die Turnhalle benutzen, während vormittags im Schulbetrieb kaum Warmwasser verbraucht wird. Im Hallenbadbetrieb liegt dagegen ein höherer Warmwasserbedarf durch das Dusch- und Beckenwasser vor, sodass sich eine solarunterstützte Brauchwarmwasserbereitung anbietet.

Als Standort der Solarkollektoren bieten sich die nach Süden orientierten Dachflächen der Turnhalle mit einer Neigung von 15° an, deren Ansicht im Bild dargestellt ist.



Abbildung 3-1 Ansicht Süddächer der Turnhalle

Das rechte Süddach über der kleinen Halle mit einer Fläche von rund 75 m² reicht zur Installation von Solarkollektoren aus. Der Heizraum befindet sich auf der Nordseite des mittleren Gebäudeteils. Da eine ausreichend große Dachfläche vorhanden ist, können Flachkollektoren installiert werden.

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.

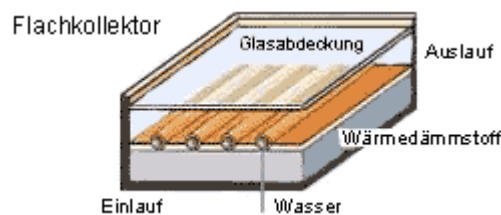


Abbildung 3-2 Prinzipdarstellung eines Flachkollektors (Quelle: Solarserver)

Für den Einsatz einer thermischen Solaranlage bieten sich drei Möglichkeiten an.

Warmwasserbereitung mit Trinkwarmwasserspeicher:

Zur solarunterstützten Warmwasserbereitung in der Turnhalle reicht eine etwa 10 m² große Kollektorfläche aus. In einen rund 400 l fassenden Trinkwarmwasserspeicher wird über einen Wärmetauscher die Wärme der Solaranlage eingespeist. Über einen zweiten Wärmetauscher wird die Nachheizung durch die Heizkesselanlage ermöglicht. Diese Lösung gewährleistet die Versorgungssicherheit.

Warmwasserbereitung und Raumheizung mit Pufferspeicher:

Um neben der Warmwasserbereitung auch die Raumheizung solar zu unterstützen, kann eine Kollektorfläche von ca. 15 m² eingesetzt werden. Über einen Solarwärmetauscher wird das Heizungswasser im Pufferspeicher mit etwa 750 l Inhalt erwärmt. Die Heizkesselanlage führt das Heizungswasser direkt dem Pufferspeicher zu. Zur Warmwasserbereitung wird ein externer Plattenwärmetauscher eingesetzt, der das Trinkwarmwasser im Durchlaufprinzip erwärmt. Bei diesem Prinzip reduziert sich das Trinkwasservolumen auf wenige Liter, die sich in den Leitungen befinden. Ein Anschluss des Pufferspeichers versorgt den Verteiler und die abgehenden Heizkreise mit Wärme zur Raumheizung.

Warmwasserbereitung und Raumheizung mit Pufferspeicher in der Nahwärme:

Für den Wärmeverbund aller Schulgebäude kann eine Solaranlage mit einer etwa 30 m² großen Kollektorfläche installiert werden. Zur solarunterstützten Warmwasserbereitung und Raumheizung wird ein rund 1.500 l-fassender Pufferspeicher eingesetzt.

Da die thermische Solaranlagen Wärme für die Warmwasserbereitung bzw. Raumheizung bereitstellen, verringert sich die Wärmeerzeugung in der Heizkesselanlage. Dies ist mit einem geringeren Brennstoffverbrauch verbunden, sodass weniger Kohlendioxid emittiert wird. Dadurch stellt sich eine thermische Solaranlage ökologisch dar.

Um eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit zu erreichen, sollte der große Solarertrag während der Sommermonate genutzt werden. Dazu ist der Betrieb des Hallenbads auch in den Sommerferien erforderlich, sodass die Revision des Schwimmbads in den Winter zu verlegen ist.

3.2 Einsatzmöglichkeiten einer Fotovoltaikanlage

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.

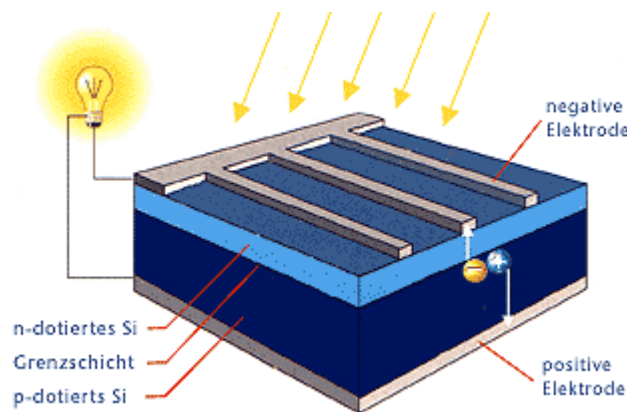


Abbildung 3-3 Schematischer Aufbau einer Solarzelle (Quelle: Fa. Elektroanlagenbau Vergin)

Solarzellen werden hauptsächlich aus Silizium hergestellt. Neben Solarzellen aus polykristallinen Silizium, deren Wirkungsgrad 15 % beträgt, erreichen Solarzellen aus amorphem Germanium-Silizium einen Wirkungsgrad von 12 %.

Um den erzeugten Strom technisch anwenden zu können, besteht ein Solarmodul aus mehreren Solarzellen. Für eine Fotovoltaikanlage können beliebig viele Solarmodule zusammengeschaltet werden. Ein vorgeschalteter Wechselrichter wandelt die Gleichspannung in Wechselspannung um.

Eine netzgekoppelte Anlage ermöglicht sowohl den Verbrauch des erzeugten Stroms als auch die Einspeisung ins öffentliche Stromnetz für vorhandene Überschussenergie. Bei ungünstiger Witterung erfolgt die Stromversorgung über das Netz des Stromversorgungsunternehmens.

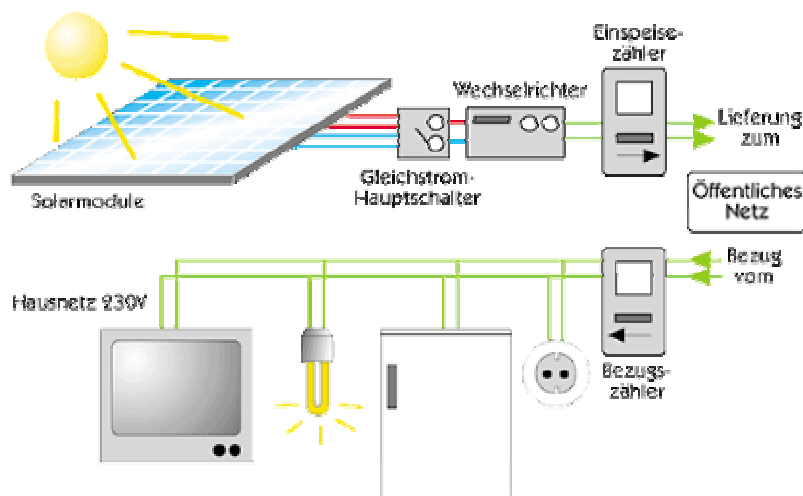


Abbildung 3-4 Prinzipdarstellung einer Fotovoltaikanlage (Quelle: Solvis)

Aufgrund einer gesetzlich festgelegten Mindestvergütung von Strom aus Solarenergie bietet es sich an, den durch die Fotovoltaik erzeugten Strom komplett ins Stromnetz einzuspeisen. Nach dem „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)“ wird Strom aus solarer Strahlungsenergie mit mindestens 48,1 Ct/kWh_{el} für eine Dauer von 20 Jahren vergütet. Diese Vergütung wird durch den Stromnetzbetreiber gezahlt. Ab dem 01.01.2002 reduziert sich die Einspeisevergütung für die ab diesem Zeitpunkt in Betrieb genommene Fotovoltaikanlagen jährlich um 5 %, sodass 2003 eine Einspeisevergütung von 45,7 Ct/kWh_{el} gezahlt werden.

Nach dem Entwurf zur EEG Novellierung Stand 12.08.03 beträgt die Mindestvergütung für Strom aus solarer Strahlungsenergie 43,4 Ct/kWh_{el} für eine Dauer von 20 Jahren. Wenn die Fotovoltaikanlage ausschließlich auf oder an einem Gebäude installiert wird, erhöht sich die Vergütung abhängig von der elektrischen Leistung (<30 kW_{el}: 15,6 Ct/kWh_{el} und >30 kW_{el}: 11,6 Ct/kWh_{el}). Auch hier wird die Einspeisevergütung ab dem 01.01.2005 jährlich um 5 % für ab diesem Zeitpunkt in Betrieb genommene Anlagen gesenkt.

Zur Installation der Fotovoltaikmodule bietet sich die nach Süden orientierte Dachfläche mit einer Dachneigung von 15° des Schulgebäudes A an. Auf der nutzbaren Dachfläche von rund 410 m² kann mit einer Modulgröße von 1,209 m x 0,537 m, das einer rund 0,65 m² großen Fläche entspricht, 600 Fotovoltaikmodule mit einer Gesamtmodulfläche von 390 m² installiert werden.

Für 1 kW_p wird ein ca. 10 m² große Modulfläche benötigt. Die spezifischen Investitionskosten für verhältnismäßig große Fotovoltaikanlagen betragen etwa 5.500 /kW_p.

Mit einem zu erwartenden Ertrag von etwa 85 kWh_{el}/(m²*a) wird eine jährliche Einspeisevergütung für eine Modulfläche in dieser Größenordnung von rund 15.000 €/a gezahlt, sodass sich die Fotovoltaikanlage in etwa 11 Jahren amortisiert. Nach dem Entwurf zur EEG Novellierung beträgt die Einspeisevergütung ca. 18.000 €/a, womit sich die Fotovoltaikanlage in rund 9 Jahren amortisieren würde.

4 Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs

Aufgrund des spezifischen Stromverbrauchs von $28 \text{ kWh}_{\text{el}}/(\text{m}^2\text{a})$, der auch auf dem zur Schule zugehörigen Hallenbad beruht, werden verschiedene Maßnahmen zur Einsparung von elektrischer Energie vorgestellt.

4.1 Beleuchtung

Die Beleuchtung in Schulgebäuden beansprucht einen großen Teil des jährlichen Stromverbrauchs.

Derzeit wird die Beleuchtung erneuert. Dazu werden die z. T. defekten Leuchten durch neue, energiesparende Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten ersetzt, sodass die Modernisierung der Beleuchtung gleichzeitig zu einer Einsparung von elektrischer Energie führt. Die Höhe der Einsparung wird nach dem Betrieb der Leuchten im Vergleich zum bisherigen Stromverbrauch in einem Jahr vom Schulträger ermittelt.



Abbildung 4-1 Beleuchtung im Flur

4.2 Heizungsumwälzpumpen

In den Heizkreisen des Schulgebäudes befindet sich noch ein großer Teil der Umwälzpumpen aus der Erstausrüstung der Heizungsanlage. Es handelt sich um unregelte Pumpen, die eine elektrische Leistungsaufnahme von 550 W_{el} aufweisen.

Im Zuge der Modernisierung der Heizungsanlage ist die Wärmeverteilung ebenfalls zu erneuern. Die Energieeinsparverordnung schreibt für zu erneuernde Umwälzpumpen in Heizungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung größer 25 kW_{th} vor, dass eine Pumpenregelung in mindestens drei Stufen vorzusehen ist.

Vollautomatische, drehzahlregelte Umwälzpumpen, die die elektrische Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Zeit, der Temperatur und der Druckdifferenz an den tatsächlichen Bedarf anpassen, entsprechen dem Stand der Technik. Die Einstellung auf eine kleine Drehzahl ermöglicht meist eine genauso effiziente Beheizung wie die maximal einstellbare Drehzahl, sodass sich die elektrische Leistungsaufnahme und damit der Stromverbrauch reduziert.

In der Regel sind Nassläuferpumpen mit einem Asynchronmotor in Heizungsanlagen installiert. Sie weisen eine hohe Robustheit, einen wartungsarmen und leisen Betrieb auf. Allerdings liegt der Wirkungsgrad im Vergleich zu einer Trockenläuferpumpe mit AC-Motor niedriger. Die Trockenläufer werden aufgrund des höheren Wartungsbedarfs und der Geräuschentwicklung selten in Heizungsanlagen eingesetzt. Inzwischen wurden Pumpen mit EC-Motor (elektronisch kumutierter Synchronmotor) entwickelt, die sowohl unter Volllast als auch unter Teillast einen hohen elektrischen Wirkungsgrad aufweisen. Diese Hocheffizienzpumpen sind stufenlos regelbar. Sie sind als Trockenläufer und als Nassläuferpumpen auf dem Markt erhältlich.

Die Kosten für Umwälzpumpen mit EC-Motor liegen um ca. 15 % über denen der Pumpen mit AC-Motor. Sie erzielen im Vergleich zu geregelten Pumpen mit AC-Motor eine Stromeinsparung um bis zu 50 % und gegenüber unregelmäßig Pumpen bis zu 70 %, sodass sie sich innerhalb weniger Jahre über die Stromeinsparung amortisieren.

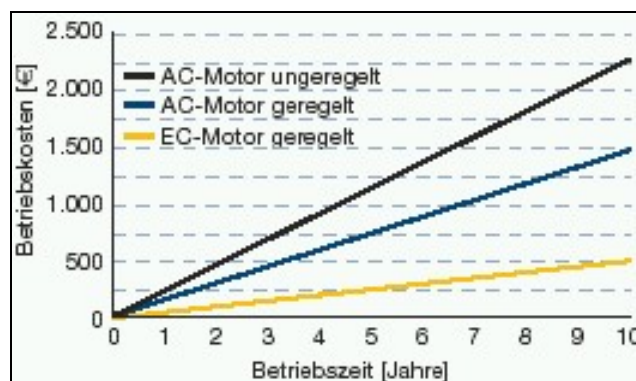


Abbildung 4-2 Betriebskosten mittlerer Heizungspumpen ca. 200 W
(Quelle: BINE Informationsdienst)

5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen für die Konrad-Adenauer Schule in Vinningen befasste sich mit der Erneuerung der Wärmeversorgung nach unterschiedlichen Varianten. Im Energiekonzept wurde die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen und der Einsatz regenerativer Energien in Form von Solar- und Holzenergie unter dem Aspekt des Klima- und Emissionsschutzes einbezogen.

Anhand vorliegender Daten zum Energieverbrauch ermittelte die Ist-Analyse den derzeitigen Wärmebedarf der Schule. Auf der Energiebilanz basierten die Kohlendioxid-Emissionsbilanz und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Heizungsmodernisierung.

Neben der Erneuerung der vorhandenen heizölbefeuerten Heizkessel wurde eine Nahwärmeversorgung auf Basis des Brennstoffs Holz betrachtet.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelte die Jahresgesamtkosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten.

Die Jahresgesamtkosten für die Erneuerung der heizölbefeuerten Niedertemperaturkessel zur Einzelversorgung betragen rund 91.300 €/a. Mit einem Jahreswärmebedarf von 1.600 MWh_{th}/a berechnet sich der Wärmepreis zu 5,7 Ct/kWh_{th}.

Eine gemeinsame Wärmeversorgung auf Basis vom Brennstoff Holzhackschnitzel erreicht vergleichbare Jahreskosten von ca. 90.000 €/a unter Berücksichtigung eines Teilschulderlasses, sodass sich ein Wärmepreis von 5,6 Ct/kWh_{th} ergibt.

Die zentrale Wärmeversorgung mit einem Holzpelletkessel erzielt unter Einbeziehung eines Teilschulderlasses Jahreskosten von rund 103.700 €/a. Daraus resultiert ein höherer Wärmepreis von 6,5 Ct/kWh_{th}.

Um den Einfluss der Veränderung der Brennstoffpreise auf die Wirtschaftlichkeit zu ermitteln, wurde eine Sensitivitätsbetrachtung getrennt für Heizöl und Holzhackschnitzel durchgeführt.

Unter Berücksichtigung einer Förderung erreicht der Nahwärmeverbund auf Basis von Holz ab einem Heizölpreis von etwa 31 Ct/l einen niedrigeren Wärmepreis als die dezentrale Wärmeversorgung. Der entsprechende Wärmepreis liegt bei 5,6 Ct/kWh_{th}. Ab einer deutlichen Preisänderung von ca. +28 %, was einem Heizölpreis von etwa 41 Ct/l entspricht, ist die dritte Variante mit einer zentralen Wärmeversorgung mit Biomasse- und Heizölkessel unter Berücksichtigung eines Teilschulderlasses erst wirtschaftlicher.

Bis zu einen Holzhackschnitzelpreis von ca. 10 €/Sm³ erzielt der Nahwärmeverbund nach der zweiten Variante mit Berücksichtigung eines Teilschulderlasses einen niedrigeren Wärmepreis gegenüber der Erneuerung der dezentralen Heizölkessel. Mit Einbeziehung eines Teilschulderlasses stellt sich die zentrale Wärmeversorgung auf Basis von Holzpellets bis zu einen Preis von rund 98 €/t wirtschaftlicher dar.

Zusätzlich wurde der Einsatz einer thermischen Solaranlage und einer Fotovoltaikanlage geprüft.

Für die thermische Solaranlage bieten sich verschiedene Anlagen abhängig von der Wärmeversorgung an. Sie kann zur unterstützenden Warmwasserbereitung aber auch in Verbindung mit einem Pufferspeicher zur Raumheizungsunterstützung eingesetzt werden. Um eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit zu erreichen, sollte der große Solarertrag während der Sommermonate genutzt werden. Dazu ist der Betrieb des Hallenbads auch in den Sommerferien erforderlich, sodass die Revision des Schwimmbads in den Winter zu verlegen ist.

Auf dem nach Süden gerichteten Dach des Schulgebäudes A kann eine Modulfläche der Fotovoltaikanlage von ca. 390 m² installiert werden. Mit einem zu erwartenden Ertrag von etwa 85 kWh_{el}/(m²*a) wird eine jährliche Einspeisevergütung für eine Modulfläche in dieser Größenordnung von rund 15.000 €/a gezahlt, sodass sich die Fotovoltaikanlage in etwa 11 Jahren amortisiert. Nach dem Entwurf zur EEG Novellierung vom 12.08.03 beträgt die Einspeisevergütung ca. 18.000 €/a, womit sich die Fotovoltaikanlage in rund 9 Jahren amortisieren würde.

Die energietechnische Analyse schloss auch den Stromverbrauch und die Ermittlung des Stromeinsparpotentials durch verschiedene Maßnahmen mit ein. Der spezifische Stromverbrauch von 28 kWh_{el}/(m²*a), der deutlich höher liegt im Vergleich zu Gesamtschulen und Schulen mit Turnhallen, beruht zum Teil auf dem zur Schule zugehörigen Hallenbad.

Derzeit wird die Beleuchtung erneuert. Dazu werden die z. T. defekten Leuchten durch neue, energiesparende Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten ersetzt, sodass die Modernisierung der Beleuchtung gleichzeitig zu einer Einsparung von elektrischer Energie führt.

In den Heizkreisen des Schulgebäudes befinden sich noch ein großer Teil der Umwälzpumpen aus der Erstausrüstung der Heizungsanlage. Es handelt sich um unregulierte Pumpen, die eine elektrische Leistungsaufnahme von 550 W_{el} aufweisen. Ohne Beeinträchtigung der Raumheizung können regelbare Umwälzpumpen eingesetzt werden, sodass sich die elektrische Leistungsaufnahme durch die Anpassung an der benötigten Wärme reduziert und daraus eine Stromeinsparung um bis zu 50 % im Vergleich zu unregulierten Pumpen resultiert. Durch den Einsatz von Umwälzpumpen mit einem EC-Motor, der sowohl unter Volllast als auch unter Teillast einen hohen elektrischen Wirkungsgrad aufweist, ergibt sich eine Stromeinsparung gegenüber unregulierten Pumpen um bis zu 70 %. Durch die Stromeinsparung amortisieren sie sich innerhalb weniger Jahre.

Fazit:

Aus ökologischer Sicht stellt sich der Nahwärmeverbund auf Basis vom Brennstoff Holz als sinnvoll dar. Da ein Nahwärmeverbund auf Basis von Holzhackschnitzel vergleichbare Jahreskosten mit anrechenbarem Teilschulderlass erzielt wie eine Erneuerung der dezentralen Heizölkessel, ist die zentrale Wärmeversorgung auf Grundlage von Holzhackschnitzel für die Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen zu empfehlen.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lageplan der Konrad-Adenauer-Schule.....	4
Abbildung 1-2 Deckenheizung in den Fluren des Schulgebäudes	6
Abbildung 1-3 Warmwasserspeicher im Hallenbad.....	8
Abbildung 2-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid Ag, CH-Eschlikon)	15
Abbildung 2-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)	15
Abbildung 2-3 Ansicht der Heizkessel und der Verteilung im Heizraum des Schulgebäudes..	16
Abbildung 2-4 Ansicht auf Abdeckung der Erdlagertankbefüllung und Ansicht möglicher Standort des Holzhackschnitzelbunkers	16
Abbildung 2-5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf.....	20
Abbildung 2-6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf	24
Abbildung 2-7 Sensitivitätsbetrachtung des Wärmepreises abhängig vom Heizölpreis	25
Abbildung 2-8 Sensitivitätsbetrachtung des Wärmepreises abhängig vom Holzhackschnitzelpreis.....	26
Abbildung 3-1 Ansicht Süddächer der Turnhalle.....	27
Abbildung 3-2 Prinzipdarstellung eines Flachkollektors (Quelle: Solarserver).....	28
Abbildung 3-3 Schematischer Aufbau einer Solarzelle (Quelle: Fa. Elektroanlagenbau Vergin)	29
Abbildung 3-4 Prinzipdarstellung einer Fotovoltaikanlage (Quelle: Solvis).....	30
Abbildung 4-1 Beleuchtung im Flur.....	31
Abbildung 4-2 Betriebskosten mittlerer Heizungspumpen ca. 200 W (Quelle: BINE Informationsdienst).....	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Gebäudedaten der Konrad-Adenauer-Schule	4
Tabelle 1-2 Daten zur Heizanlage im Schulgebäude	5
Tabelle 1-3 Daten zum Warmwasserspeicher im Schulgebäude	5
Tabelle 1-4 Daten zur Heizanlage in der Turnhalle	7
Tabelle 1-5 Daten zu den Warmwasserspeichern im Hallenbad	8
Tabelle 1-6 Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs im Ist-Zustand	9
Tabelle 1-7 Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs für Schule und Turnhalle im Ist-Zustand	9
Tabelle 1-8 Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs für die einzelnen Gebäudeteile im Ist-Zustand	10
Tabelle 1-9 Stromverbrauch der Konrad-Adenauer-Schule	11
Tabelle 1-10 spezifischer Stromverbrauch	11
Tabelle 1-11 Umwälzpumpen im Schulgebäude und in der Turnhalle	12
Tabelle 2-1 Wärmebedarf der zentralen Wärmeversorgung	17
Tabelle 2-2 Energiebilanz der Wärmeversorgungsvarianten für den derzeitigen Wärmebedarf	18
Tabelle 2-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz für den derzeitigen Wärmebedarf	19
Tabelle 2-4 Investition der Heizanlagen für den derzeitigen Wärmebedarf	22
Tabelle 2-5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den derzeitigen Wärmebedarf	23