

Sanierungskonzept für die Grundschule Körperich

Auftraggeber SGD Süd Forschungsanstalt f. Waldökologie und Forstwirtschaft RLP
Abteilung D
Herr Dr. Seegmüller
Hauptstr. 16
67705 Trippstadt

Auftragnehmer Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH
Berlinstraße 107a
55411 Bingen

Transferstelle für rationale und regenerative Energienutzung - TSB

Leiter: Prof. Dr. R. Simon
Bearbeiter/in: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
 Dipl.-Ing. (FH) Anton Maier
Telefon: 06721 / 409 218
Telefax: 06721 / 409 129
Homepage: <http://www.tsb-energie.de>

Projektnummer: 986

Datum: 25. Oktober 2004

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Anton Maier'.

Dipl.-Ing. (FH) Anton Maier

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jörg Wirtz'.

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Prof. Dr. R. Simon'.

Prof. Dr. R. Simon

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Ist-Zustand	4
2.1	Gebäude	4
2.2	Bausubstanz Grundschule.....	5
2.3	Heizungsanlage.....	6
2.4	Wärmebedarf	7
3	Optimierung des Wärmedämmstandards	11
3.1	Wärmedämmstandard Energieeinsparverordnung (EnEV).....	11
3.2	Dämmmaßnahmen und Dämmvarianten	11
3.2.1	Dämmmaßnahme Geschossdecke	12
3.2.2	Dämmmaßnahme Außenwand	12
3.2.3	Dämmmaßnahme Austausch Fenster und Türen	13
3.3	Wirtschaftlichkeit Wärmedämmung	14
3.3.1	Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahmen.....	15
3.3.2	Wirtschaftlichkeit Gesamtmaßnahmen	19
4	Wärmeversorgung	25
4.1	Nahwärmeleitung	25
4.2	Energieträger Holz.....	26
4.3	Energiebilanz.....	29
4.4	Betrachtung der Varianten.....	29
4.5	Wirtschaftlichkeit.....	33
5	CO₂-Bilanz	37
6	Beleuchtung	38
7	Einsatz von Solaranlagen	44
7.1	Einsatzmöglichkeiten einer thermischen Solaranlage.....	44
7.2	Einsatzmöglichkeiten einer Fotovoltaikanlage	45
8	Zusammenfassung	50
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	59
10	Anhang	61

1 Einleitung

Die Verbandsgemeinde Neuerburg betreibt in Körperich eine Grundschule mit 8 Klassen. Der Gebäudekomplex besteht aus einem Altbau, dem Anbau und der Turnhalle. Über eine Fernwärmeleitung ist zusätzlich noch der von der Gemeinde Körperich betriebene Kindergarten mit an die zentrale Heizungsanlage angeschlossen. Für die Bausubstanz der Grundschule besteht Sanierungsbedarf.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird anhand den zur Verfügung gestellten Unterlagen sowie den bei einer Begehung am 30. Juni 2004 aufgenommenen Daten der Wärmebedarf des Schulgebäudes ermittelt. Hierauf aufbauend werden Maßnahmen zur Wärmedämmung vorgeschlagen, die damit erzielbare Energieeinsparung ermittelt und hinsichtlich der Dämmstärke optimiert. Dabei werden auch die Einsatzmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe untersucht.

Die Isolierung der Fernwärmeleitung von der Heizzentrale in der Grundschule zur Turnhalle und den Kindergarten ist in einem schlechten Zustand. Aufgrund von Hangwasser hat sich die Isolierung nahezu vollständig aufgelöst. Aus diesem Grund wird seitens der Verbandsgemeinde überlegt, die Fernwärmeleitung stillzulegen und die Schule sowie die Turnhalle mit Kindergarten über eine separate Heizungsanlage zu versorgen. Als Alternative zur konventionellen Ölheizung wird der regenerative Energieträger Holz in Form von Holzpellets betrachtet. Es wird die Wärmeversorgung „Heizöl zentral“ als Referenzvariante (mit Erneuerung der Fernwärmeleitung) den Varianten „Holzpellet zentral“ ebenfalls mit Erneuerung der Fernwärmeleitung und „Heizöl/Holzpellet dezentral“ (Stilllegung Fernwärmeleitung) gegenübergestellt. Die Auslegung der Heizungsanlage erfolgt dabei auf Basis eines durch Dämmmaßnahmen reduzierten Wärmebedarfs.

Sowohl für die Dämmmaßnahmen als auch für die Heizungserneuerung wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, bei der die Gesamtkosten und die Amortisationsdauer bzw. die Wärmepreise aufgrund der Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten ermittelt werden. Es schließt sich eine Emissionsbetrachtung (CO₂-Bilanz) an, anhand der die ökologischen Vorteile des jeweiligen Systems erkennbar sind.

Als zusätzliche Punkte werden für den Bereich der Haustechnik die Möglichkeiten einer Beleuchtungserneuerung sowie für den Bereich der regenerativen Energienutzung eine Nutzung von Solarthermie und Fotovoltaik untersucht.

2 Ist-Zustand

2.1 Gebäude

Der Lageplan zeigt die einzelnen Gebäude. Darüber hinaus ist der Verlauf der Nahwärmeleitung von der Heizzentrale der Schule zur Turnhalle und Kindergarten eingezeichnet.

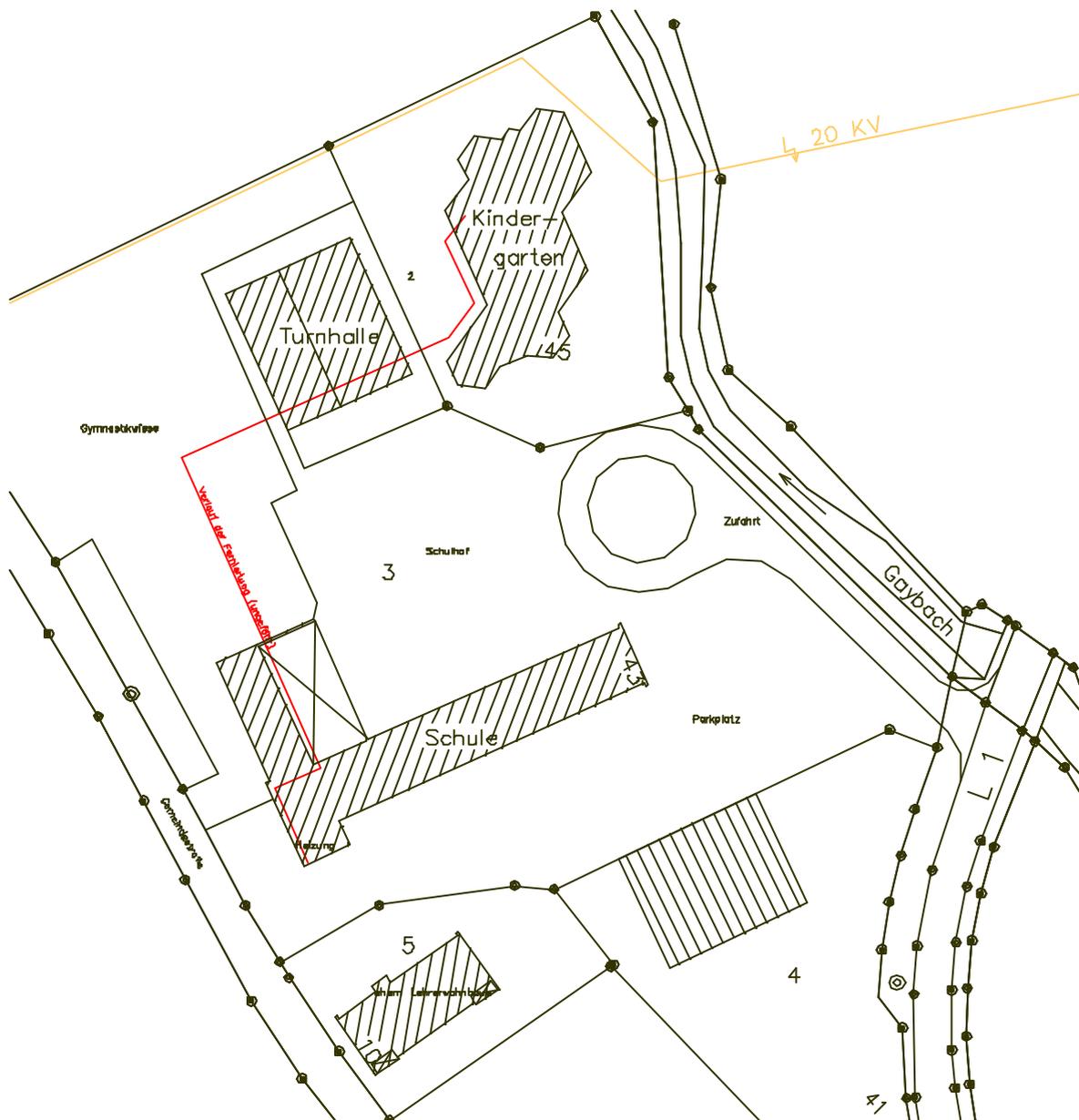


Bild 2-1: Auszug aus dem Katasterplan für den Bereich Grundschule Körperich (nicht maßstäblich)

2.2 Bausubstanz Grundschule

Der Altbau des Schulgebäudes wurde 1969 errichtet, im Jahre 1979 erfolgte der Anbau mit zusätzlichen Klassenräumen und überdachtem Pausengang.

Die Fassade wird durch eine Stahlbetonskelettkonstruktion bestimmt. Im Altbau ist diese mit Ziegelmauerwerk ausgefacht (sichtbar). Im Bereich des Anbaus ist die Stahlbetonskelettkonstruktion z.T. verputzt.

Die Fenster in den Klassenzimmern und Fluren des Altbaus wurden in den 90-er Jahren gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung und Kunststoffprofilrahmen ausgetauscht. Im Anbau sind noch die alten Fenster mit Isolierverglasung und Aluminiumvollprofilen vorhanden. Die meisten Fenster davon sind „blind“.

Nach dem Einbau der neuen Fenster sind an den flankierenden Bauteilen Feuchtschäden entstanden, der zur Schimmelbildung führte. Die Feuchte- und Schimmelschäden sind insbesondere an den Anschlussstellen der Fenster sowie im Gebäudeteil mit der Hangbebauung (Westen) und an der Obergeschossdecke zu finden.

Seitlich der neu eingebauten Fenster im Altbau sind darüber hinaus zwischen Laibung und Fensterblendrahmen teilweise mit dem bloßen Auge Luftschlitze zu erkennen. Im Obergeschoss des Altbaus sind nach Aussage des zuständigen Hausmeisters Bauschäden in der Gebäudehülle (Undichtigkeiten, Löcher) vorhanden über die Vögel in die abgehängte Decke der Klassenzimmer eindringen.



Bild 2-2: Grundschule Altbau



Grundschule Anbau

Das Schulgebäude ist nicht unterkellert. Der Estrich ist im Altbau zum Boden hin nicht gedämmt. Die Stahlbetondecke zum ungeheizten Dachboden ist im Altbau ebenfalls nicht gedämmt. Auf der Geschossdecke des Anbaus ist 8cm Mineralwolle ausgelegt. Der Detailzeichnung des Anbaus ist allerdings zu entnehmen, dass sich im Randbereich der Geschossdecke eine betonierte Aufkantung befindet und damit eine Wärmebrücke darstellt. Der Dachboden hat keinen geeigneten Zugang.

Dem Anhang ist der Aufbau der Bauteile mit U-Werten zu entnehmen. Darüber hinaus sind in der Tabelle die bauphysikalischen Probleme hinsichtlich Tauwasserausfall notiert. Insgesamt besteht für das Gebäude Sanierungsbedarf. Um weitere Schäden an der Bausubstanz zu verhindern, muss daher eine außenliegende Wärmedämmung aufgebracht werden. Damit lassen sich auch die Undichtigkeiten beseitigen.

2.3 Heizungsanlage

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

Tabelle 2-1: Daten zur Heizungsanlage im Schulgebäude

	Heizkessel 1	Heizkessel 2
Heizkessel	Kessel links	Kessel rechts
Fabrikat/Bezeichnung	Buderus Lollar G-405 W	Buderus Lollar G 405 W
Baujahr	1993	1993
Nennwärmeleistung	207 kW _{th}	207 kW _{th}
Abgasverlust (19.04.2004)	8 %	10 %
Brenner		
Fabrikat/Bezeichnung	Weishaupt WL 30 Z-A	Weishaupt WL 30 Z-A
Baujahr	1993	1993
Durchsatz Heizöl	6 - 25 kg/h	6 - 25 kg/h
Brennerlaufzeit	4.493 h	3.482 h

Der Abgasverlust an Kessel 2 liegt bei 10% und damit über dem ab dem 01. November 2004 zulässigen Wert in Höhe von 9%.

Die beiden Kessel werden in Registerschaltung betrieben. Dabei liefert jeweils ein Kessel die Grundlast, der zweite Kessel schaltet bei höherem Wärmebedarf automatisch zu. Die Wärmeverteilung erfolgt über 3 Heizkreise. Bei den eingebauten Umwälzpumpen handelt es sich zum Teil noch um ungeregelte Pumpen.

Von den unterirdisch gelagerten Heizöltanks wird neben der Heizungsanlage in der Schule auch noch das angrenzende Lehrerwohnhaus versorgt. Es handelt sich hierbei um ein Mehrfamilienhaus (4 Wohnungen) mit rund 500 m² Wohnfläche. Nach Aussage des zuständigen Hausmeisters beträgt der Heizölverbrauch des Lehrerwohnhauses ca. 8.000 – 9.000 l/a

2.4 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf aller Gebäude wird anhand des Heizölverbrauchs und eines nach der VDI 2067 berechneten Jahresnutzungsgrades der Heizungsanlage ermittelt. Der Jahresnutzungsgrad beinhaltet hierbei auch die Wärmeverluste der Verteilung einschließlich der Nahwärmeleitung zur Turnhalle und Kindergarten. Nach Aussage des zuständigen Hausmeisters ist die Kesselanlage in den Sommermonaten außer Betrieb.

Die Warmwasserbereitung in den einzelnen Gebäuden erfolgt elektrisch, so dass sich der in der in den folgenden Tabellen ausgewiesene Jahreswärmebedarf ausschließlich auf die Raumheizung bezieht.

Tabelle 2-2: Ermittlung des Jahreswärmebedarfs im Ist-Zustand

Heizölverbrauch 1998 - 2003	55.608 l/a
Heizölverbrauch Lehrerwohnhaus 1999-2004	8.314 l/a
Heizölverbrauch Schule, Turnhalle, Kindergarten	47.294 l/a
Brennstoffbedarf Lehrerwohnhaus	ca. 83.140 kWh _{BSH} /a
Brennstoffbedarf Schule, Turnhalle, Kindergarten	ca. 472.940 kWh _{BSH} /a
Jahresnutzungsgrad (ohne Lehrerwohnhaus)	84 %
Jahreswärmebedarf Schule, Turnhalle Kindergarten	ca. 397.270 kWh _{th} /a
Heizleistung	414 kW _{th}
Beheizte Fläche Schule, Turnhalle, Kindergarten	2.859 m ²
spez. Wärmebedarf Schule, Turnhalle, Kindergarten	139 kWh_{th}/m²a
installierte Heizleistung	145 W/m²
Vollbenutzungsstunden Kesselanlage	960 h/a
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Grundschule Richtwert	70 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmebedarf Grundschule Mittelwert	140 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmebedarf Sportbauten Richtwert	65 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmebedarf Sportbauten Mittelwert	140 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmebedarf Kindergarten Richtwert	65 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmebedarf Kindergarten Mittelwert	120 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung Schule, Turnhalle	75 - 150 W _{th} /m ² ²
Vollbenutzungsstunden einschichtig Schule, Turnhalle	1.018 - 1.370 h/a ²

Die spezifisch installierte Heizleistung und die niedrigen Vollbenutzungsstunden der Kesselanlage deuten darauf hin, dass die Heizungsanlage etwas zu groß ausgelegt ist.

¹ VDI 3807 Blatt 2 Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Juni 1998

² Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

Wärmebedarf Schule:

Mithilfe eines Rechenprogramms und den zur Verfügung gestellten Unterlagen wurde eine Wärmebedarfsberechnung für das Grundschulgebäude durchgeführt. Darauf basieren auch die weiteren Untersuchungen zur Erhöhung des Wärmedämmstandards im folgenden Kapitel. In der Tabelle 2-3 sind die durchschnittlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für die Bauteile angegeben. Im Anhang kann der Aufbau der Bauteile und der zugehörige U-Wert entnommen werden.

Tabelle 2-3: U-Werte für Ist-Zustand

Bauteil	U-Wert in W/(m ² K)
Bodenplatte gegen Erdreich	2,85
Außenwand gegen Erdreich	1,13
Außenwand / Boden gegen Außenluft	1,77
Geschossdecke gegen unbeheizt	2,13
Dach gegen Außenluft	2,61
außenliegende Fenster, Außentüren	2,41

Tabelle 2-4: Wärmebedarf Grundschule (Berechnung nach Monatsbilanzverfahren)

Wärmebedarf Raumheizung Grundschule	194.080 kWh_{th}/a
Wärmeleistung Raumheizung Grundschule	200 kW_{th}
beheizte Fläche	1.658 m ²
spez. Wärmebedarf Raumheizung Grundschule	117 kWh _{th} /m ² a
spez. Wärmeleistung Raumheizung Grundschule	121 W _{th} /m ²
Vollbenutzungsstunden Raumheizung Grundschule	970 h/a
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Grundschule	75 - 250 kWh _{th} /m ² a ³
	140 kWh _{th} /m ² a ⁴
spez. Wärmeleistung Grundschule	75 - 150 W _{th} /m ² ³
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 - 1.370 h/a ³

Für die Schule ergibt sich ein vergleichsweise niedriger spezifischer Jahreswärmebedarf. Dies ist allerdings nicht auf die Gebäudesubstanz sondern auf die Einstellung der Heizungsanlage und das Nutzerverhalten zurückzuführen.

³ Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

⁴ VDI 3807 Blatt 2 Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Juni 1998 (Mittelwert Grundschule)

Wärmebedarf Kindergarten:

Für den Kindergarten Körperich ist ein Wärmemengenzähler eingebaut. Dieser wird regelmäßig jeweils im Mai abgelesen. Zur Bestimmung der Wärmeleistung des Kindergartens wird der in der Literatur erwähnte Maximalwert angesetzt. Die beheizte Fläche des Kindergartens stand nicht zur Verfügung. Es wird eine Fläche von 700m² angesetzt.

Tabelle 2-5: Wärmebedarf Kindergarten

Wärmebedarf Raumheizung Kindergarten	127.270 kWh_{th}/a
Wärmeleistung Raumheizung Kindergarten	70 kW_{th}
beheizte Fläche	700 m ²
spez. Wärmebedarf Raumheizung Kindergarten	182 kWh _{th} /m ² a
spez. Wärmeleistung Raumheizung Kindergarten	100 W _{th} /m ²
Vollbenutzungsstunden Raumheizung Kindergarten	1.818 h/a
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Kindergarten	125 kWh _{th} /m ² a ⁵
	120 kWh _{th} /m ² a ⁶
	190 - 315 kWh _{th} /m ² a ⁷
spez. Wärmeleistung Kindergarten	60 - 100 W _{th} /m ² ⁷

Der spezifische Wärmebedarf des Kindergartens ist als hoch einzustufen.

Wärmeverluste Nahwärmeleitung:

Die Nahwärmeleitung verläuft zwischen Schule und Turnhalle in einem Kanal. In diesem Bereich hat sich die Isolierung aufgrund von Hangwasser nahezu vollständig aufgelöst. Für die Abschätzung der Nahwärmeverluste wird die Fernwärmeleitung in DN 50 zwischen Schule und Turnhalle ohne Dämmung betrachtet.

Tabelle 2-6: Wärmeverluste Nahwärmeleitung

U-Wert Nahwärmeleitung Schule - Turnhalle	0,42 W/mK
U-Wert Nahwärmeleitung Turnhalle Kindergarten	0,30 W/mK
Temperatur Heizwasser	80/60 °C
Erdreichtemperatur	10 °C
Spezifische Verluste Nahwärmeleitung Schule – Turnhalle	50 W/m _{Trasse}
Spezifische Verluste Nahwärmeleitung Turnhalle - KiGa	36 W/m _{Trasse}
Trassenlänge insgesamt	155 m
Benutzungsstunden Nahwärmenetz	5.000 h/a
Nahwärmeverluste	35.530 kWh_{th}/a

⁵ Verbrauchskennwerte 1996: Forschungsbericht der ages GmbH.; Münster

⁶ VDI 3807 Blatt 2 Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Juni 1998 (Mittelwert Kindergarten)

⁷ Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

Wärmebedarf Turnhalle:

Der Jahreswärmebedarf der Turnhalle ergibt sich als Differenz aus dem Gesamtwärmebedarf mit den oben angegebenen Bedarfswerten der Gebäude und der Nahwärmeleitung. Zur Bestimmung der Wärmeleistung wird der gleiche Wert wie für den Kindergarten (Mittelwert in Literatur) angesetzt.

Tabelle 2-7: Wärmebedarf Turnhalle

Gesamtwärmebedarf	397.270 kWh _{th} /a
Jahreswärmebedarf Schule	194.080 kWh _{th} /a
Jahreswärmebedarf Kindergarten	127.270 kWh _{th} /a
Nahwärmeverluste	35.530 kWh _{th} /a
Jahreswärmebedarf Raumheizung Turnhalle	40.390 kWh_{th}/a
Wärmeleistung Raumheizung Turnhalle	50 kW_{th}
beheizte Fläche	501 m ²
spez. Wärmebedarf Raumheizung Turnhalle	81 kWh _{th} /m ² a
spez. Wärmeleistung Raumheizung Turnhalle	100 W _{th} /m ²
Vollbenutzungsstunden Turnhalle	808 h/a
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Turnhalle	157 kWh _{th} /m ² a ⁸
	140 kWh _{th} /m ² a ⁹
	33 - 358 kWh _{th} /m ² a ¹⁰
spez. Wärmeleistung Turnhalle	85 - 115 W _{th} /m ² ¹⁰
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 h/a ¹⁰
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.510 h/a ¹⁰

Der spezifische Wärmebedarf der Turnhalle ist als niedrig einzustufen.

⁸ Verbrauchskennwerte 1996: Forschungsbericht der ages GmbH.; Münster

⁹ VDI 3807 Blatt 2 Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Juni 1998 (Mittelwert Sportbauten)

¹⁰ Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

3 Optimierung des Wärmedämmstandards

Wie in der Ist-Analyse bereits erwähnt, besteht für das Grundschulgebäude Sanierungsbedarf. Insbesondere an den Stahlbetonbauteilen besteht das Problem von Tauwasserausfall mit den bereits sichtbaren Problemen von Schimmelbildung.

Im folgenden werden daher verschiedene Dämmmaßnahmen mit unterschiedlichen Varianten betrachtet. Grundlage bildet dabei der derzeitige Wärmedämmstandard.

3.1 Wärmedämmstandard Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die Energie-Einsparverordnung (EnEV) legt für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) fest. Diese werden für das Schulgebäude als Mindeststandard festgelegt.

Es gelten folgende Werte für Gebäude mit normalen Innentemperaturen:

Außenwände	0,35 W/(m ² K)
außenliegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster	1,70 W/(m ² K)
Außentüren	2,90 W/(m ² K)
Decken, Dächer, Dachschrägen	0,30 W/(m ² K)
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,40 W/(m ² K)

Die Ist-Analyse zeigt, dass der Wärmeverbrauch der Grundschule verhältnismäßig niedrig ist. Dieser niedrige Wärmeverbrauch ist eher auf ein sparsames Nutzerverhalten mit niedrigeren Innentemperaturen zurückzuführen als auf die bestehende Gebäudesubstanz. Die durchschnittlichen U-Werte des Ist-Zustandes sind der Tabelle 2-3 zu entnehmen.

3.2 Dämmmaßnahmen und Dämmvarianten

Es werden in Hinblick auf den Feuchteschutz für die Bauteile Geschossdecke und Außenwand sowie zusätzlich aus Gründen der Energieeinsparung für die Bauteile Fenster und Außentüren Dämmmaßnahmen betrachtet. Eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte ist prinzipiell mit sogenannten Vakuumisulationspaneelen möglich. Die Schichtdicke einer solchen Paneele beträgt lediglich ca. 2cm. Im Vergleich zu den konventionellen Dämmstoffen kann man mit den evakuierten Dämmplatten etwa zehnfach höhere Dämmwerte erreichen. Ein möglicher Einsatz müsste wegen der Raumhöhe und Änderung der Türstürze geprüft werden.

3.2.1 Dämmmaßnahme Geschossdecke

Auf der Geschossdecke werden Dämmplatten zweilagig versetzt und dicht schließend verlegt. Zur Vermeidung von Wärmebrücken sollte unabhängig der realisierten Variante wenn möglich die betonierte Aufkantung im Randbereich der Geschossdecken entfernt und die Dämmplatten bis an Geschossdeckenaußenkante geführt werden, zumindest jedoch die Außenwanddämmung über die Geschossdecke gezogen werden.

Tabelle 3-1: Dämmmaßnahme Obere Geschossdecke

Variante	Geschossdecke	mittlerer U-Wert in W/(m ² K)
1	konventionell: 8 cm PS-Hartschaumplatten WLG 035 in Altbau keine zusätzliche Dämmung in Anbau	0,40
2	12 cm PS-Hartschaumplatten WLG 040 in Alt- und Anbau	0,30
3	16 cm PS-Hartschaumplatten WLG 040 in Alt- und Anbau	0,23
1a	alternativ: 10 cm Holzfaserdämmplatten WLG 040 in Altbau keine zusätzliche Dämmung in Anbau	0,39
2a	12 cm Holzfaserdämmplatten WLG 040 in Alt- und Anbau	0,30
3a	16 cm Holzfaserdämmplatten WLG 040 in Alt- und Anbau	0,23

3.2.2 Dämmmaßnahme Außenwand

Auf die Außenwandbauteile wird ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aus Polystyrol-Hartschaumplatten bzw. Holzfaserdämmplatten mit mineralischem Putz auf einem Stützgerüst aufgebracht. Dies gilt auch für die Geschossdecke des überdachten Pausenraumes. Die Blumenfenster werden zur Reduzierung der Oberfläche (Minimierung Wärmebrücken) abgerissen.

Für die erdberührten Bauteile wird eine Perimeterdämmung vorgesehen. Hierzu wird die Außenwand freigelegt und eine Feuchtigkeitsabdichtung aufgebracht. Die Dämmplatten werden anschließend angeklebt.

Zur Minimierung der Wärmeverluste sollte die Perimeterdämmung umlaufend über die Bodenplatte angebracht werden.

Tabelle 3-2: Dämmmaßnahme Außenwand gegen Außenluft

Variante	Außenwand gegen Außenluft	mittlerer U-Wert in W/(m²K)
	konventionell:	
1	8 cm Wärmedämmverbundsystem WLG 035	0,35
2	10 cm Wärmedämmverbundsystem WLG 035	0,29
3	12 cm Wärmedämmverbundsystem WLG 035	0,25
	alternativ:	
1a	10 cm Wärmedämmverbundsystem WLG 040	0,33
2a	12 cm Wärmedämmverbundsystem WLG 040	0,29
3a	14 cm Wärmedämmverbundsystem WLG 040	0,25

Tabelle 3-3: Dämmmaßnahme Außenwand gegen Erdreich

Variante	Außenwand gegen Erdreich	mittlerer U-Wert in W/(m²K)
1	6 cm PUR-Hartschaumplatten WLG 035	0,38
2	8 cm PUR Hartschaumplatten WLG 035	0,32

3.2.3 Dämmmaßnahme Austausch Fenster und Türen

Die Fenster im Anbau sowie die Türen der Eingangsbereiche und Toiletten werden erneuert. Die schlecht dämmenden Glasbausteine im Flurbereich des Altbaus werden demontiert. Der Wandbereich wird vermauert und Fenster mit Wärmeschutzverglasung eingebaut. Der vorgebaute Windfang im Eingangsbereich auf der Hangseite wird zur Minimierung von Wärmebrücken demontiert. Es gilt allerdings zu beachten, dass dann der Baukörperanschlussfuge besondere Bedeutung zukommt, um Zugluft und konvektive Wärmeverluste zu vermeiden.

Tabelle 3-4: Erneuerung Fenster

Variante	Fenster	mittlerer U-Wert in W/(m²K)
1	2-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 2.1 im Anbau	1,60
	Leichtmetallrahmentüren	2,70
2	3-S- Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 1 im Anbau	1,23
	Leichtmetallrahmentüren	1,10

3.3 Wirtschaftlichkeit Wärmedämmung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2067. Es werden die erforderlichen Investitionen abgeschätzt und die jährlichen Kosten über die kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt. Da es sich um Maßnahmen zum Gebäudeerhalt handelt, werden hierbei alle erforderlichen Investitionen angesetzt. Den Jahreskosten stehen den mit der Wärmedämmmaßnahme erzielbaren Einsparungen (Einsparung Brennstoff) gegenüber. Die erzielbare Einsparung wird dabei in den folgenden Tabellen mit einem Minuszeichen versehen. Als weiteres Entscheidungskriterium wird in den folgenden Tabellen zusätzlich die statische Amortisationsdauer angegeben.

Es erfolgt zuerst eine Betrachtung der einzelnen Dämmmaßnahmen. Abschließend werden die betrachteten Gesamtmaßnahmen (Variante 1 – 3 in Kapitel 3.2.2) in einer Tabelle zusammengestellt.

Investition

Da es sich um Maßnahmen zum Gebäudeerhalt handelt, werden alle erforderlichen Investitionen (Gerüstkosten, Änderung Sonnenschutzvorrichtung usw.) angerechnet.

Kapitalkosten

Die kapitalgebundene Kosten werden als Annuität (jährlich gleichbleibender Betrag) mit einem Zinssatz von 5 % und einer rechnerischen Nutzungsdauer der Dämmmaßnahmen von 30 Jahren berechnet. In der Annuität sind Zins und Tilgung enthalten.

Betriebskosten

Die Betriebskosten enthalten Kosten für Wartung und Instandhaltung. Es werden hier keine zusätzlichen Kosten angesetzt.

Verbrauchskosten

Es fallen keine zusätzlichen Verbrauchskosten durch die Dämmmaßnahmen an.

Einsparung

Den Kosten steht die Einsparung durch den verminderten Wärme- bzw. Brennstoffbedarf gegenüber.

Es wird die rechnerische Wärmeeinsparung angesetzt und mit einem Nutzungsgrad der Kesselanlage von 84 % auf die Brennstoffseite umgerechnet. Der durchschnittliche Heizölpreis (**netto**) betrug im Jahr 2003 32,5 Ct/l. Aufgrund der gegenwärtigen Entwicklung auf dem Energiemarkt wird für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ein Heizölpreis von 40 Ct/l (netto) angesetzt.

3.3.1 Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahmen

Dämmmaßnahme Geschossdecke:

Tabelle 3-5: Wirtschaftlichkeit Geschossdecke mit **konventionellem** Dämmstoff (Polystyrol)

		8cm PS WLG 035 Altbau	12cm PS WLG 040 Alt- und Anbau	16cm PS WLG 040 Alt- und Anbau
Investition brutto	€	28.800	39.200	42.700
Kapitalkosten (5 %, 30 a)	€/a	1.873	2.550	2.778
Betriebskosten	€/a	0	0	0
Verbrauchskosten	€/a	0	0	0
Einsparung (brutto)	€/a	- 2.519	- 2.627	- 2.734
Jahreskosten	€/a	- 646	- 77	44
Investition brutto	€	28.800	39.200	42.700
Einsparung bei Betriebs- und Verbrauchskosten	€/a	- 2.519	- 2.627	- 2.734
Kapitalrückflussdauer	a	11	15	16

Die Dämmung der oberen Geschossdecke ist wirtschaftlich darstellbar, d.h. mit der Energieeinsparung können die kapitalgebundenen Kosten ausgeglichen werden. Insbesondere die Dämmung der Geschossdecke im Altbau (einschließlich Entfernung Wärmebrücken) ergibt mit rund 650 €/a einen deutlichen Überschuss. Dies liegt daran, dass hier mit verhältnismäßig geringem Aufwand ein niedriger U-Wert und damit viel Energie eingespart werden kann. Dieser Effekt ist bei einer weiteren Dämmung der Geschossdecke im Anbau weniger stark, da hier der U-Wert bei gleich hohem Aufwand nur noch geringfügig verbessert werden kann.

Statisch betrachtet kann das eingesetzte Kapital nach ca. 11 bzw. ca. 15-16 Jahren und damit noch innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden.

Tabelle 3-6: Wirtschaftlichkeit Geschossdecke mit **alternativem** Dämmstoff (Holzfaser)

		10cm HF WLG 040 Altbau	12cm PS WLG 040 Alt- und Anbau	16cm PS WLG 040 Alt- und Anbau
Investition brutto	€	38.000	56.300	65.400
Mehrinvestition zu konventionellem Dämmstoff	€	9.200	17.100	22.700
Kapitalkosten (5 %, 30 a)	€/a	2.472	3.662	4.254
Betriebskosten	€/a	0	0	0
Verbrauchskosten	€/a	0	0	0
Einsparung (brutto)	€/a	- 2.519	- 2.627	- 2.734
Jahreskosten	€/a	- 47	1.035	1.520
Investition brutto	€	38.000	56.300	65.400
Einsparung bei Betriebs- und Verbrauchskosten	€/a	- 2.519	- 2.627	- 2.734
Kapitalrückflussdauer	a	15	21	24

Bei dem alternativen Dämmstoff Holzfaser kann die jährliche Brennstoff-Einsparung die Kapitalkosten nur bei der Variante Dämmung Geschossdecke Altbau aufdecken. Bedingt durch die schneller steigende Investitionssumme bei stärkerer Dämmung verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit mit zunehmender Dämmstärke, zumal wie vorhin bereits erwähnt, die Geschossdecke des Anbaus bereits gedämmt ist. Das eingesetzte Kapital kann allerdings auch hier bei allen Varianten noch innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden.

Dämmmaßnahme Außenwand:

Für die Außenwanddämmung mit konventionellem Dämmstoff ergeben sich Investitionskosten von rund 180.000 €. Der Mehraufwand in eine stärkere Dämmung ist dabei gemessen an der Investitionssumme vergleichsweise gering. Bedingt durch die hohe Investitionssumme (Gerüst, Änderung Sonnenschutzvorrichtung, Anpassungsarbeiten Dach, Perimeterdämmung) und der verhältnismäßig geringen Energieeinsparung (bereits vergleichsweise geringer Wärmebedarf im Ist-Zustand) kann das eingesetzte Kapital nicht innerhalb der Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden.

Setzt man nur die Investition in das WDVS einschließlich Montage und Zubehör an, reduziert sich die statische Amortisationsdauer bei allen drei Varianten auf 36 - 37 Jahre.

Tabelle 3-7: Wirtschaftlichkeit Außenwand mit **konventionellem** Dämmstoff (Polystyrol)

		WDVS 8cm WLG 035 Perimeter 6cm	WDVS 10cm WLG 035 Perimeter 6cm	WDVS 12cm WLG 035 Perimeter 8cm
Investition brutto	€	175.300	179.300	184.000
Kapitalkosten (5 %, 30 a)	€/a	11.404	11.664	11.969
Betriebskosten	€/a	0	0	0
Verbrauchskosten	€/a	0	0	0
Einsparung (brutto)	€/a	- 2.466	- 2.573	- 2.627
Jahreskosten	€/a	8.938	9.091	9.342
Investition brutto	€	175.300	179.300	184.000
Einsparung bei Betriebs- und Verbrauchskosten	€/a	- 2.466	- 2.573	- 2.627
Kapitalrückflussdauer	a	71	70	70

Tabelle 3-8: Wirtschaftlichkeit Außenwand mit **alternativem** Dämmstoff (Holzfaser)

		WDVS 10cm WLG 040 Perimeter 6cm	WDVS 12cm WLG 040 Perimeter 6cm	WDVS 14cm WLG 040 Perimeter 8cm
Investition brutto	€	200.100	208.600	217.500
Mehrinvestition zu konventionellem Dämmstoff	€	24.800	29.300	33.500
Kapitalkosten (5 %, 30 a)	€/a	13.017	13.570	14.149
Betriebskosten	€/a	0	0	0
Verbrauchskosten	€/a	0	0	0
Einsparung (brutto)	€/a	- 2.519	- 2.573	- 2.627
Jahreskosten	€/a	10.498	10.997	11.522
Investition brutto	€	200.100	208.600	217.500
Einsparung bei Betriebs- und Verbrauchskosten	€/a	- 2.519	- 2.573	- 2.627
Kapitalrückflussdauer	a	79	81	83

Bedingt durch die im Vergleich zum konventionellen WDVS höhere Investition in den Dämmstoff Holzfaser ergibt sich hier eine noch ungünstigere Wirtschaftlichkeit.

Setzt man nur die Investition in das WDVS einschließlich Montage und Zubehör an, reduziert sich die statische Amortisationsdauer auf 45, 46 bzw. 48 Jahre.

Dämmmaßnahme Austausch Fenster / Türen

Tabelle 3-9: Wirtschaftlichkeit Austausch Fenster / Türen

		2-S-Wärmeschutzvergl. RMG 2.1 Leichtmetallrahmentür (2,7 W/m²K)	3-S-Wärmeschutzvergl. RMG 1 Leichtmetallrahmentür (1,1 W/m²K)
Investition brutto	€	60.600	95.700
Kapitalkosten (5 %, 30 a)	€/a	3.942	6.225
Betriebskosten	€/a	0	0
Verbrauchskosten	€/a	0	0
Einsparung (brutto)	€/a	- 590	- 697
Jahreskosten	€/a	3.352	5.528
Investition brutto	€	60.600	95.700
Einsparung bei Betriebs- und Verbrauchskosten	€/a	- 590	- 697
Kapitalrückflussdauer	a	103	137

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Energieeinsparung (bereits vergleichsweise geringer Wärmebedarf im Ist-Zustand) kann das eingesetzte Kapital nicht innerhalb der Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden.

3.3.2 Wirtschaftlichkeit Gesamtmaßnahmen

Aus den einzelnen Dämmmaßnahmen mit den unterschiedlichen Varianten lassen sich nun verschiedene Varianten für die Gesamtbetrachtung zusammenstellen. Der Hauptgrund der Sanierungsmaßnahme liegt im Gebäudeerhalt. Die Energieeinsparung ist ein positiver sekundär Nebeneffekt. Aus diesem Grund wird als Mindeststandard die Dämmung der Geschossdecke und der Außenwand nach den Kriterien der EnEV betrachtet (Variante 1 und 1a).

Tabelle 3-10: Zusammenstellung der möglichen Dämmvarianten

	konventioneller Dämmstoff	alternativer Dämmstoff
Geschossdecke Außenwand Fenster Türen	Variante 1: 8 cm PS-Hartschaum WLG 035 in Altbau 8 cm WDVS WLG 035 6 cm Perimeterdämmung	Variante 1a: 10 cm Holzfaser WLG 040 in Altbau 10 cm WDVS WLG 040 6 cm Perimeterdämmung
Geschossdecke Außenwand Fenster Türen	Variante 2: 16 cm PS-Hartschaum WLG 040 komplett 12 cm WDVS WLG 035 8 cm Perimeterdämmung	Variante 2a: 16 cm Holzfaser WLG 040 komplett 14 cm WDVS WLG 040 8 cm Perimeterdämmung
Geschossdecke Außenwand Fenster Türen	Variante 3: 12 cm PS-Hartschaum WLG 040 komplett 10 cm WDVS WLG 035 6 cm Perimeterdämmung 2-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 2.1 Leichtmetallrahmentür (2,7 W/m ² K)	Variante 3a: 12 cm Holzfaser WLG 040 komplett 12 cm WDVS WLG 040 6 cm Perimeterdämmung 2-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 2.1 Leichtmetallrahmentür (2,7 W/m ² K)
Geschossdecke Außenwand Fenster Türen	Variante 4: 16 cm PS-Hartschaum WLG 040 komplett 12 cm WDVS WLG 035 8 cm Perimeterdämmung 3-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 1 Leichtmetallrahmentür (1,1 W/m ² K)	Variante 4a: 16 cm Holzfaser WLG 040 komplett 14 cm WDVS WLG 040 8 cm Perimeterdämmung 3-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 1 Leichtmetallrahmentür (1,1 W/m ² K)

In der Tabelle ist der nach dem Monatsbilanzverfahren berechnete Wärmebedarf und die Wärmeleistung der verschiedenen Varianten aufgeführt. Es wurde dabei das gleiche Nutzerverhalten wie für die Berechnung des Ist-Zustandes angesetzt.

Tabelle 3-11: Wärmebedarf und Wärmeleistung für die betrachteten Dämmvarianten bei **konventionellem** Dämmstoff

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
berechneter Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{tr}}/\text{a}$	103.833	97.040	89.277	84.425
berechnete Wärmeleistung	kW_{th}	107	100	92	87
beheizte Fläche	m^2	1.658	1.658	1.658	1.658
spezifischer Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{tr}}/\text{m}^2\text{a}$	63	59	54	51
spezifische Wärmeleistung	$\text{W}_{\text{th}}/\text{m}^2$	65	60	55	52

Tabelle 3-12: Wärmebedarf und Wärmeleistung für die betrachteten Dämmvarianten bei **alternativem** Dämmstoff

		Variante 1a	Variante 2a	Variante 3a	Variante 4a
berechneter Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{tr}}/\text{a}$	102.862	97.040	89.277	84.425
berechnete Wärmeleistung	kW_{th}	106	100	92	87
beheizte Fläche	m^2	1.658	1.658	1.658	1.658
spezifischer Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{tr}}/\text{m}^2\text{a}$	62	59	54	51
spezifische Wärmeleistung	$\text{W}_{\text{th}}/\text{m}^2$	64	60	55	52

Die Wirtschaftlichkeit wird in den beiden folgenden Tabellen einmal für die Gesamtinvestition und einmal nur für die reine Dämmmaßnahme (ohne Gerüst, ohne Anpassungsarbeiten an Sonnenschutzvorrichtung und Dach sowie Erdarbeiten Perimeterdämmung) betrachtet.

Tabelle 3-13: Wirtschaftlichkeit für die betrachteten Gesamtmaßnahmen mit **konventionellem** Dämmstoff (Polystyrol)

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Gesamtinvestition brutto	€	204.000	226.700	279.100	322.400
<i>Investition reine Dämmung brutto</i>	€	132.300	156.300	204.800	246.900
Kapitalkosten (5 %, 30 a)	€/a	13.270	14.747	18.156	20.973
<i>Kapitalkosten reine Dämmung</i>	€/a	8.606	10.168	13.323	16.061
Betriebskosten	€/a	0	0	0	0
Verbrauchskosten	€/a	0	0	0	0
Einsparung (brutto)	€/a	- 4.985	- 5.360	- 5.789	- 6.057
Jahreskosten	€/a	8.285	9.387	12.367	14.916
<i>Jahreskosten reine Dämmung</i>	€/a	3.621	4.808	7.534	10.004
Investition brutto	€	204.000	226.700	279.100	322.400
<i>Investition reine Dämmung brutto</i>		132.300	156.300	204.800	246.900
Einsparung bei Betriebs- und Verbrauchskosten	€/a	- 4.985	- 5.360	- 5.789	- 6.057
Kapitalrückflussdauer	a	41	42	48	53
<i>Kapitalrückflussdauer reine Dämmung</i>	a	27	29	35	41

Um das eingesetzte Kapital (Gesamtinvestition) wieder zurückzuvirtschaften ist bei statischer Betrachtung ein deutlich längerer Zeitraum als die rechnerische Nutzungsdauer von 30 Jahren erforderlich.

Bei Betrachtung der reinen Dämmmaßnahmen einschließlich Montage und Zubehör reduziert sich die statische Amortisationsdauer um rund 12-14 Jahre. Dabei zeigt sich, dass der Unterschied bzgl. Investition und Amortisation zwischen Variante 1 und 2 (Dämmung Geschosdecke und Außenwand) nur geringfügig ist.

Tabelle 3-14: Wirtschaftlichkeit für die betrachteten Gesamtmaßnahmen mit **alternativem** Dämmstoff (Holzfaser)

		Variante 1a	Variante 2a	Variante 3a	Variante 4a
Gesamtinvestition brutto	€	238.100	282.900	325.400	378.600
Mehrinvestition zu konventionellem Dämmstoff (brutto)	€	34.100	56.200	46.300	56.200
<i>Investition reine Dämmung brutto</i>	€	<i>165.800</i>	<i>211.900</i>	<i>250.500</i>	<i>302.500</i>
Kapitalkosten (5 %, 30 a)	€/a	15.489	18.403	21.168	24.628
<i>Kapitalkosten reine Dämmung</i>	€/a	<i>10.786</i>	<i>13.784</i>	<i>16.295</i>	<i>19.678</i>
Betriebskosten	€/a	0	0	0	0
Verbrauchskosten	€/a	0	0	0	0
Einsparung (brutto)	€/a	- 5.039	- 5.360	- 5.789	- 6.057
Jahreskosten	€/a	10.450	13.043	15.379	18.571
<i>Jahreskosten reine Dämmung</i>	€/a	<i>5.747</i>	<i>8.424</i>	<i>10.506</i>	<i>13.621</i>
Investition brutto	€	238.100	282.900	325.400	378.600
<i>Investition reine Dämmung brutto</i>		<i>165.800</i>	<i>211.900</i>	<i>250.500</i>	<i>302.500</i>
Einsparung bei Betriebs- und Verbrauchskosten	€/a	- 5.039	- 5.360	- 5.789	- 6.057
Kapitalrückflussdauer	a	47	53	56	63
<i>Kapitalrückflussdauer reine Dämmung</i>	<i>a</i>	<i>33</i>	<i>40</i>	<i>43</i>	<i>50</i>

Bedingt durch die Mehrinvestition verlängert sich mit dem alternativen Dämmstoff Holzfaser die statische Amortisation je nach gewählter Variante um 6 – 11 Jahren.

Der Unterschied bzgl. Investition und Amortisation zwischen den Varianten 1a und 2a (Dämmung Geschossdecke und Außenwand) ist im Vergleich zum konventionellen Dämmstoff größer.

Sensitivität:

Die folgende Sensitivitätsanalyse zeigt die Entwicklung der statischen Amortisationsdauer bei sich ändernden Parametern. Es werden die Eingangsgrößen Investition und Heizölpreis um jeweils 40% nach oben und unten vom Ausgangswert variiert.

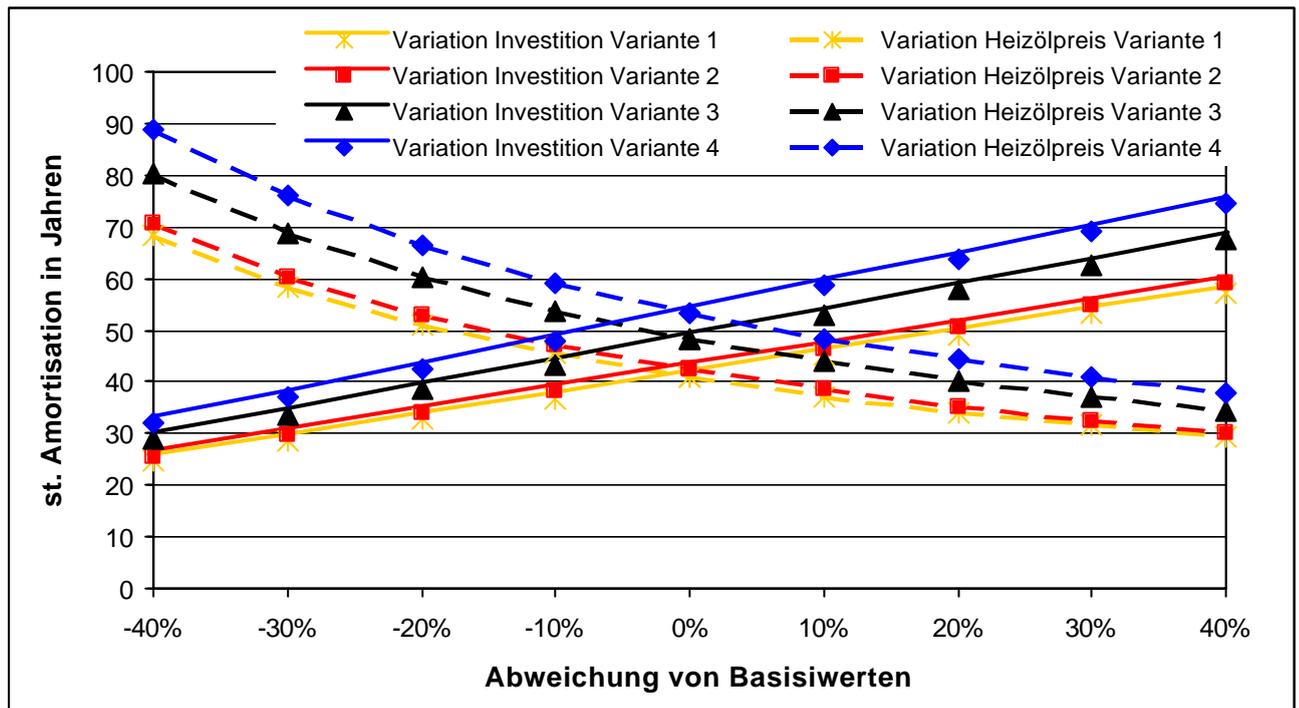


Bild 3-1: Verlauf der statischen Amortisation für **konventionellen** Dämmstoff bei Variation Investition und Heizölpreis

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass der Verlauf der statischen Amortisation für die Varianten 1 und 2 mit Dämmung der Geschossdecken und der Außenwand nahezu identisch ist. Die Stärke der Dämmung für Geschossdecke und Außenwand in den beiden Varianten hat daher kaum Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit (geringe Mehrinvestition bei zunehmender Dämmung). Bei zusätzlichem Austausch der Fenster im Schulanbau und der Türen verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit.

Die Sensitivitätsanalyse verdeutlicht zudem, dass sich bei steigendem Heizölpreis die Wirtschaftlichkeit weniger stark ändert als bei fallendem Heizölpreis.

Insgesamt können die Dämmmaßnahmen erst bei einer um ca. 30-40% günstigeren Investitionssumme bzw. einem um rund 40% höheren Heizölpreis eine Amortisationsdauer im Bereich der rechnerischen Nutzungsdauer erreichen.

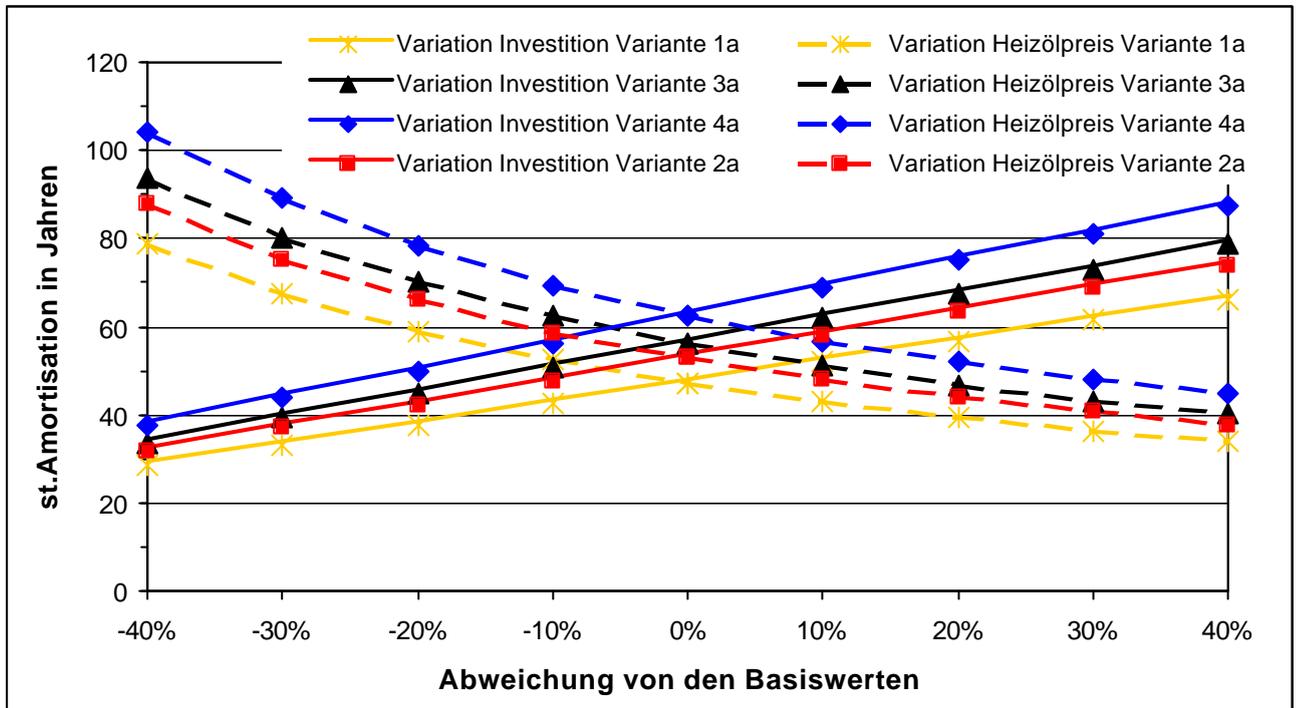


Bild 3-2: Verlauf der statischen Amortisation für **alternativen** Dämmstoff bei Variation Investition und Heizölpreis

Aufgrund der schneller steigenden Investitionssumme bei zunehmend stärkerer Dämmung hat beim alternativen Dämmstoff Holzfaser die Stärke der Dämmung für Geschossdecke und Außenwand (siehe Variante 1a und 2a) einen größeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

4 Wärmeversorgung

Als Vergleichsvariante dient eine zentrale Wärmeversorgung mit dem Energieträger Heizöl. Der Referenzvariante wird eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpellets sowie eine dezentrale Wärmeversorgung mit Heizöl (Schule) und Holzpellets (Turnhalle und Kindergarten) gegenübergestellt.

Die Dimensionierung der Heizungsanlage für das Schulgebäude erfolgt auf Basis des durch die Dämmmaßnahmen reduzierten Wärmebedarfs (Variante 4 bzw. 4a).

4.1 Nahwärmeleitung

Für die zentrale Wärmeversorgungsvarianten wird die in ihrer Isolierung beschädigte und in einem Bodenkanal verlegte Nahwärmeleitung im Bereich außerhalb der Grundschule erneuert. Es wird hierbei ein Kunststoff-Verbundmantelrohr für die direkte Erdverlegung eingesetzt. Das Mediumrohr besteht aus hochfrequenz-längsnahtgeschweißtem Stahlrohr (DIN 1626). Durch den äußeren Schutzmantel aus HDPE (high-density-polyethylene \approx hochverdichtete Polyethylen-Rohre) ist die Nahwärmeleitung absolut wasserdicht.

U-Wert Nahwärmeleitung alt (verbleibt im Schulbereich)	0,417 W/mK
U-Wert Nahwärmeleitung neu	0,200 W/mK
Temperatur Heizwasser	80/60 °C
Erdreichtemperatur	10 °C
Spezifische Nahwärmeverluste alt (verbleibt im Schulbereich)	50 W/m _{Trasse}
Spezifische Nahwärmeverluste neu	24
Trassenlänge alt (im Schulbereich)	ca. 25 m
Trassenlänge neu	ca. 125 m
Benutzungsstunden Nahwärmenetz	5.000 h/a
Nahwärmeverluste	21.250 kWh_{th}/a

Durch die Erneuerung der Nahwärmeleitung reduzieren sich die Verluste um rund 14.300 kWh_{th}/a.

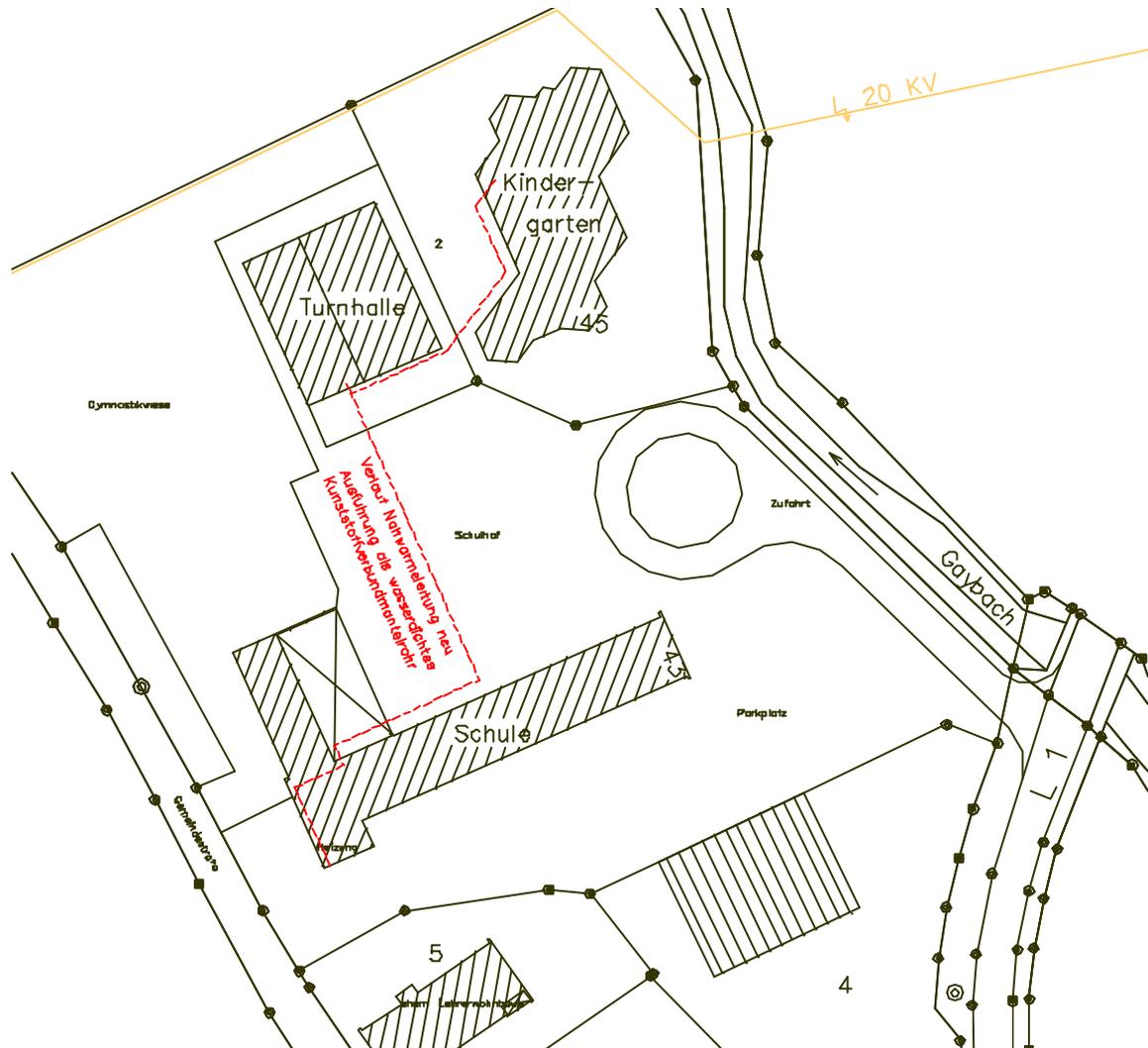


Bild 4-1: Auszug aus dem Katasterplan mit neu eingezeichneter Nahwärmeleitung (nicht maßstäblich)

4.2 Energieträger Holz

Biomassekessel:

Der Einsatz von Holz als Energieträger schont die Ressourcen der beschränkt vorhandenen Rohstoffe Öl, Gas und Kohle und verlängert dadurch deren Verfügbarkeit als Rohstoff für die Produktion für kommende Generationen. Holzfeuerungsanlagen sind speziell für Holz konstruierte Verbrennungssysteme. Wegen der besonderen Verbrennungseigenschaften von Holz muss eine moderne Holzfeuerungsanlage folgende Konstruktionsmerkmale aufweisen:

- getrennt regelbare Zufuhr der Primär- und Sekundärluft,
- heißer, möglichst ungekühlter Brennraum, d. h. ausschamottierte Wände,
- heiße, ungekühlte Nachbrennkammer mit intensiver Vermischung von Sekundärluft und Holzgas,
- möglichst große, nachgeschaltete Wärmetauscher und
- eine gute Wärmedämmung.

Durch eine Holzheizung mit einer automatischen Beschickung kann der Komfort und die Regelbarkeit einer Holzheizung auf das Niveau einer Heizöl-Heizung gesteigert werden.

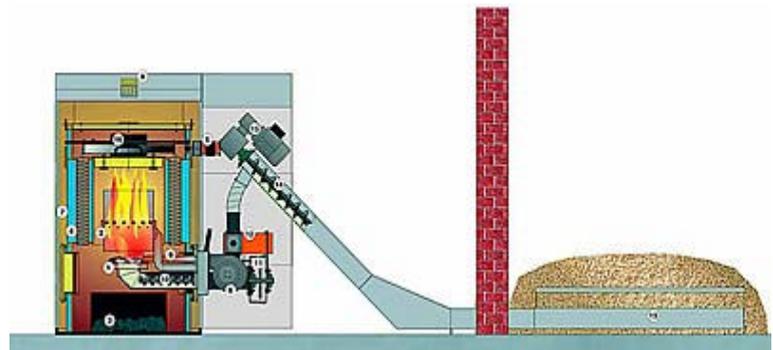


Bild 4-2: Holzpellet-Heizung

Brennstoffe:

Als Brennstoff können generell Holzpellets (HP) oder Holzhackschnitzel eingesetzt werden.

Holzpellets sind genormte zylindrische Presslinge (DIN 51731) mit einem Durchmesser von 6..8 mm und einer Länge von 10..30 mm, die ohne chemische Zusätze unter mechanischem Druck geformt werden. Holzpellets werden lose als Schüttgut und in Säcken abgepackt gehandelt, wobei das Schüttgewicht 650 kg/m³ beträgt. Ein Kilogramm Holzpellets hat einen genormten Heizwert von mindestens 4,9 kWh_{Hu}/kg und einen maximalen Wassergehalt von 10 %. ¹¹



Bild 4-3: Holzpellets

Der Vorteil von Holzpellets liegt darin, dass sie direkt in den Lagerraum eingeblasen werden können und nicht wie bei Holzhackschnitzeln eine separate Abkipfstelle und Befüllvorrichtung benötigt wird. Das Holzpelletlager sollte sich direkt neben dem Heizungsraum befinden, um lange Transportwege zu vermeiden. Als Lager kann ein Raum des zu beheizenden Gebäudes, ein Erdbunker, ein Container oder ein Gewebe- bzw. Stahlsilo eingesetzt werden. Aufgrund des LKW-Ladevolumens können zwischen etwa 40 und 80 Sm³ angeliefert werden. Dies wird in der Regel auch als Lagervolumen gewählt, um die Holzpellets zu einem günstigen Preis zu beziehen.

¹¹ Qualitätsmerkmale nach DIN 51731

Holz hackschnitzel sind maschinell gehacktes Holz. Der Wassergehalt von HHS kann je nach Ausgangsmaterial (Industrie-, Waldrestholz oder Landschaftspflegeholz) 20% bis 50% betragen. Der Heizwert von HHS kann in Abhängigkeit von der Holzart und dem Wassergehalt sehr stark von 650 kWh_{HU} bis 1.050 kWh_{HU} je Schüttkubikmeter (Sm³) differieren. Im Mittel kann ein Wert von 800 kWh_{HU}/Sm³ angesetzt werden.



Bild 4-4: Holz hackschnitzel

Aufgrund der baulichen Gegebenheiten (aufwendige Befüllung des Lagerraumes) wird der Einsatz von Holz hackschnitzeln in dieser Untersuchung nicht betrachtet.

Für Lagermengen bis zu 15 t eines festen Brennstoffs bestehen keine Anforderungen an Wände, Decken, Türen und Nutzen nach der Feuerungsanlagenverordnung. Ab 15 t sind die Lager nach baurechtlichen Vorgaben der Feuerungsanlagenverordnung auszuführen.

Pellet Lagermengen ≤ 15.000 kg ~ 23m ³	Pellet Lagermengen ≥ 15.000 kg
Keine Anforderungen an Wände, Decken, Türen und die Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Wände und Decken F90 • Keine Leitungen durch Wände • Keine andere Nutzung • Türen selbstschließend und feuerhemmend T30

Nennwärmeleistung des Heizkessel ≤ 50 kW (Feuerstättenaufstellraum)	Nennwärmeleistung des Heizkessel ≥ 50 kW (Heizraum)
<ul style="list-style-type: none"> • Keine Anforderung an den Raum • Verbrennungsluftversorgung der Feuerstätte min. 150 cm² • Abstand der Feuerstätte zum Brennstofflager 1 m oder Strahlungsblech • Pellet bis 15.000 kg dürfen im Aufstellraum gelagert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Wände und Decken F 90 • Türen selbstschließend nach außen öffnend und feuerhemmend (T 30) • Keine andere Nutzung • Be- und Entlüftung min. je 150 cm² (über 50 kW + 2 cm²/kW) • Bis 15.000 kg Pellet dürfen gelagert werden • Abstand Feuerstätte zum Pelletlager 1 m oder Strahlungsblech

Da ein Holz kessel nicht mit einer Leistung kleiner ca. 30% der Vollast gefahren werden kann, ist ein Pufferspeicher einzubauen. Der Kessel muss so nicht immer angefahren werden, wenn ein geringer Wärmebedarf besteht. Die Gebäude werden dann durch den Pufferspeicher mit Wärme versorgt. Als Richtwert für den Pufferspeicher lassen sich ca. 50 Liter pro kW Kesselminimaleistung ansetzen.

4.3 Energiebilanz

Tabelle 4-1: Energiebilanz der Wärmeversorgungsvarianten

		Variante 1 Heizöl zentral	Variante 2 Holzpellets zentral	Variante 3 Heizöl Schule Holzpellets Th, KiGa	
Gesamtfläche	m ²	2.859	2.859	1.658	1.201
Wärmebedarf Schule saniert	kWh _{th} /a	84.430	84.430	84.430	
Wärmebedarf Turnhalle	kWh _{th} /a	40.390	40.390		40.390
Wärmebedarf Kindergarten	kWh _{th} /a	127.270	127.270		127.270
Wärmeverlust Nahwärmeleitung	kWh _{th} /a	21.250	21.250		6.000
Wärmebedarf gesamt	kWh_{th}/a	273.340	273.340	84.430	173.660
				258.090	
Heizleistung Schule saniert	kW _{th}	87	87	87	
Heizleistung Turnhalle	kW _{th}	50	50		50
Heizleistung Kindergarten	kW _{th}	70	70		70
Verlustleistung Nahwärmeleitung	kW _{th}	4	4		1
Heizleistung gesamt	kW_{th}	211	211	87	121
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.295	1.295	970	1435
Jahresnutzungsgrad	%	90	88	90	88
Jahresbrennstoffbedarf	kWh_{BShu}/a	303.710	310.610	93.810	197.340
				291.150	
	l/a	ca. 30.370		ca. 9.380	
	t/a		63		40
	Sm ³ /a *		98		62

* = Schüttkubikmeter

4.4 Betrachtung der Varianten

Variante 1: zentraler Heizölkessel mit 220 kW_{th}:

Zur zentralen Wärmeversorgung mit einem Heizölkessel wird die Heizzentrale in der Grundschule genutzt. Ein alter Heizölkessel wird demontiert und anstelle dessen der neue Heizölkessel eingebunden. Der zweite Heizölkessel kann aus Versorgungssicherheitsgründen installiert bleiben.

Variante 2: zentraler Holzpelletkessel mit 220 kW_{th}:

Zur zentralen Wärmeversorgung mit einem Holzpelletkessel wird die Heizzentrale in der Grundschule genutzt. Ein alter Heizölkessel wird demontiert und anstelle dessen der Holzpelletkessel eingebunden. Der Heizraum bietet zusätzlich Platz für einen Pufferspeicher (ca. 3m³). Der zweite Heizölkessel kann aus Versorgungssicherheitsgründen installiert bleiben.

Zur Bevorratung der Holzpellets bietet es sich an, neben den Heizraum einen Lagerraum zu bauen (mit Verlängerung Dachfläche). Die Zufahrt zum Lagerraum ist damit über die PKW-Stellfläche möglich. Um den Jahreswärmebedarf decken zu können, sind bei der hier monovalenten Betriebsweise jährlich ca. 63 t bzw. 98 Sm³ an Holzpellets erforderlich. Bei einer Tiefe von 6,0m, einer Breite des Lagerraumes von 2,0m und einer mittleren Höhe (Dachschräge) von rund 3 m lässt sich ein Volumen von 36m³ schaffen. Durch den Luftraum für die Einblas- und Ausblasstutzen und aufgrund der schrägen Zwischenböden können allerdings nur ca. 75% des Lagerraumes befüllt werden. Damit ergibt sich eine Bevorratungsmenge von 27 Sm³. Mit dieser Menge lassen sich rund 15 Volllasttage überbrücken. Insgesamt muss der Raum pro Jahr ca. 4 mal befüllt werden.

Zur Austragung der Holzpellets aus dem Lager und zur Beschickung des Holzkessels stehen verschiedene Systeme zur Verfügung. Im vorliegenden Fall bietet es sich an, die Holzpellets mittels einer Saugaustragung in den Heizraum zu fördern. Der Lagerraum kann somit ebenerdig zum Heizraum errichtet werden und es behindern keine Transportschnecken den Durchgang.

In den Lagerraum werden Schalungsbretter mit einem Bodengefälle von 30 - 40° eingebracht, so dass eine nahezu völlige Entleerung des Lagerraumes möglich ist. Eine Saugturbine transportiert die Pellets vom Ende der Austragungsschnecke im Lager mittels Saugschläuche zu einem Zwischenbehälter. Der Zwischenbehälter dient dazu, dass die Sauganlage nicht permanent durchläuft. Bei einem Bevorratungsmenge von 1 m³ kann der Kessel rund ½ Tag unter Volllast fahren ohne dass die Sauganlage in Betrieb gehen muss. Die Saugschläuche können entsprechend den räumlichen Verhältnissen verlegt werden. Die Transportluft wird in einem Kreislaufsystem geführt. Dies ermöglicht einen staubfreien Betrieb ohne Druckausgleich.

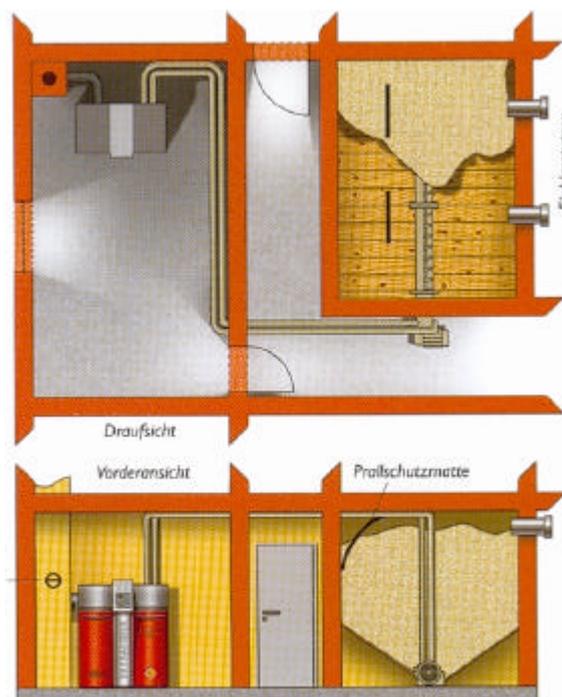


Bild 4-5: Prinzip der Pelletsaustragung mittels Sauganlage

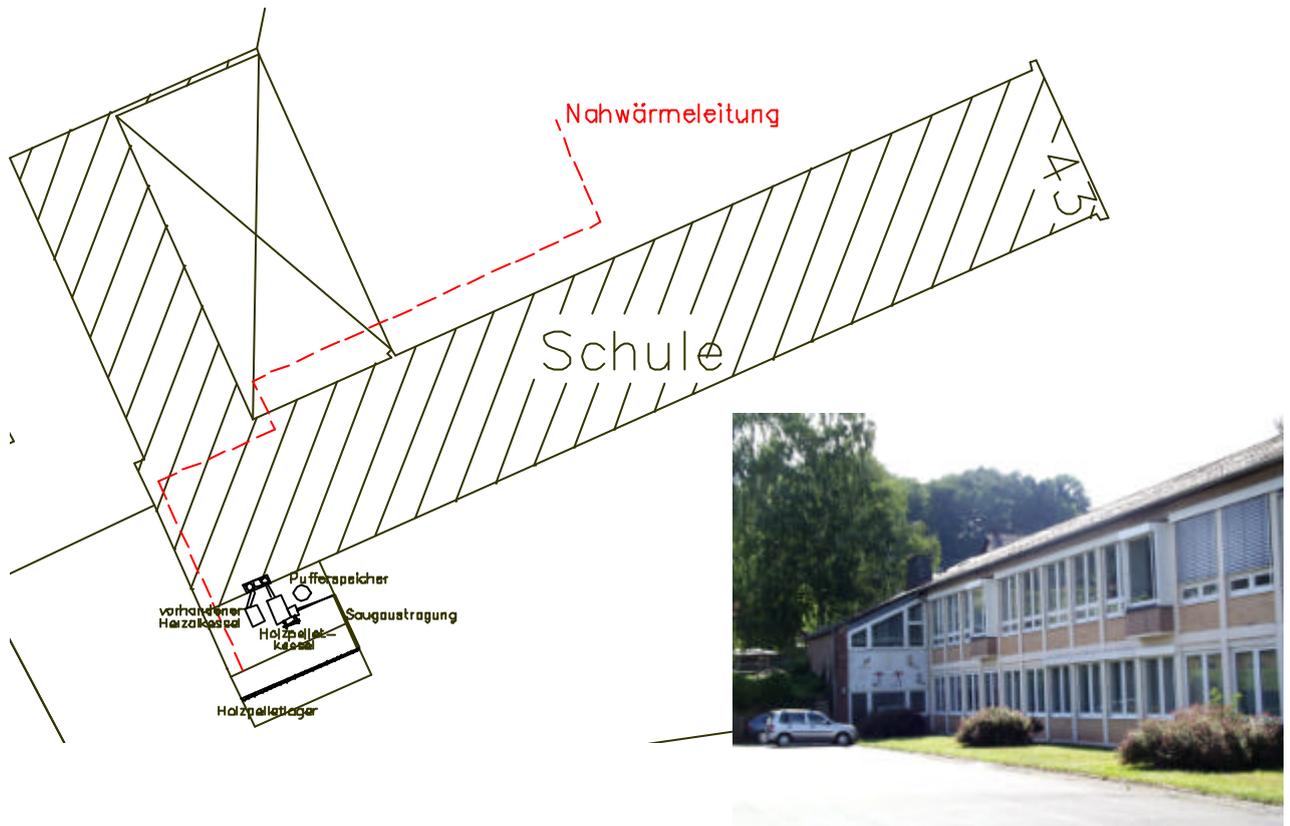


Bild 4-6: Lageplan mit Heiz- und Lagerraum (nicht maßstäblich)

Variante 3: dezentraler Heizölkessel 90 kW_{th} für Grundschule,

dezentraler Holzpelletkessel mit 120 kW_{th} für Turnhalle und Kindergarten

Zur Wärmeversorgung der Grundschule wird in der bestehenden Heizzentrale ein alter Heizölkessel demontiert und anstelle dessen der neue Heizölkessel eingebunden. Der zweite Heizölkessel kann auch hier aus Versorgungssicherheitsgründen installiert bleiben.

Zur Wärmeversorgung der Turnhalle und des Kindergartens über eine eigene Heizungsanlage muss ein Heiz- sowie ein Lagerraum geschaffen werden, da hierfür in den beiden Gebäuden kein Platz zur Verfügung steht. Als Fläche bietet sich der Bereich vor Turnhalle und Kindergarten an. Damit ist auch eine freie Zufahrt zum Lagerraum möglich. Die Verteilung der Wärme erfolgt über zwei separate Leitungen (unterschiedliche Nutzung) ebenfalls aus dem Heizraum aus. Hierzu muss der Verlauf der Nahwärmeleitung zum Kindergarten etwas geändert werden. Im weiteren Verlauf wird davon ausgegangen, dass der erforderliche Platz mittels Anbau geschaffen wird.

Die bestehende Nahwärmeleitung zwischen Grundschule und Turnhalle wird stillgelegt.

Um den Jahreswärmebedarf decken zu können, sind jährlich ca. 40 t bzw. 62 Sm³ an Holzpellets erforderlich. Als Austragungssystem wird hier ein Rührwerk mit Gelenkarmaustragung betrachtet. Es wird ein Lagervolumen von ca. 36 m³ angesetzt (Innenmaße 3,5 x 3,5 x 3,0 m). Bei einem Füllgrad von 75% lassen sich damit rund 27 Sm³ bzw. 18 t bevorraten (2-3 Befüllungen pro Jahr), so dass ein günstiger Pelletpreis bezogen werden kann.

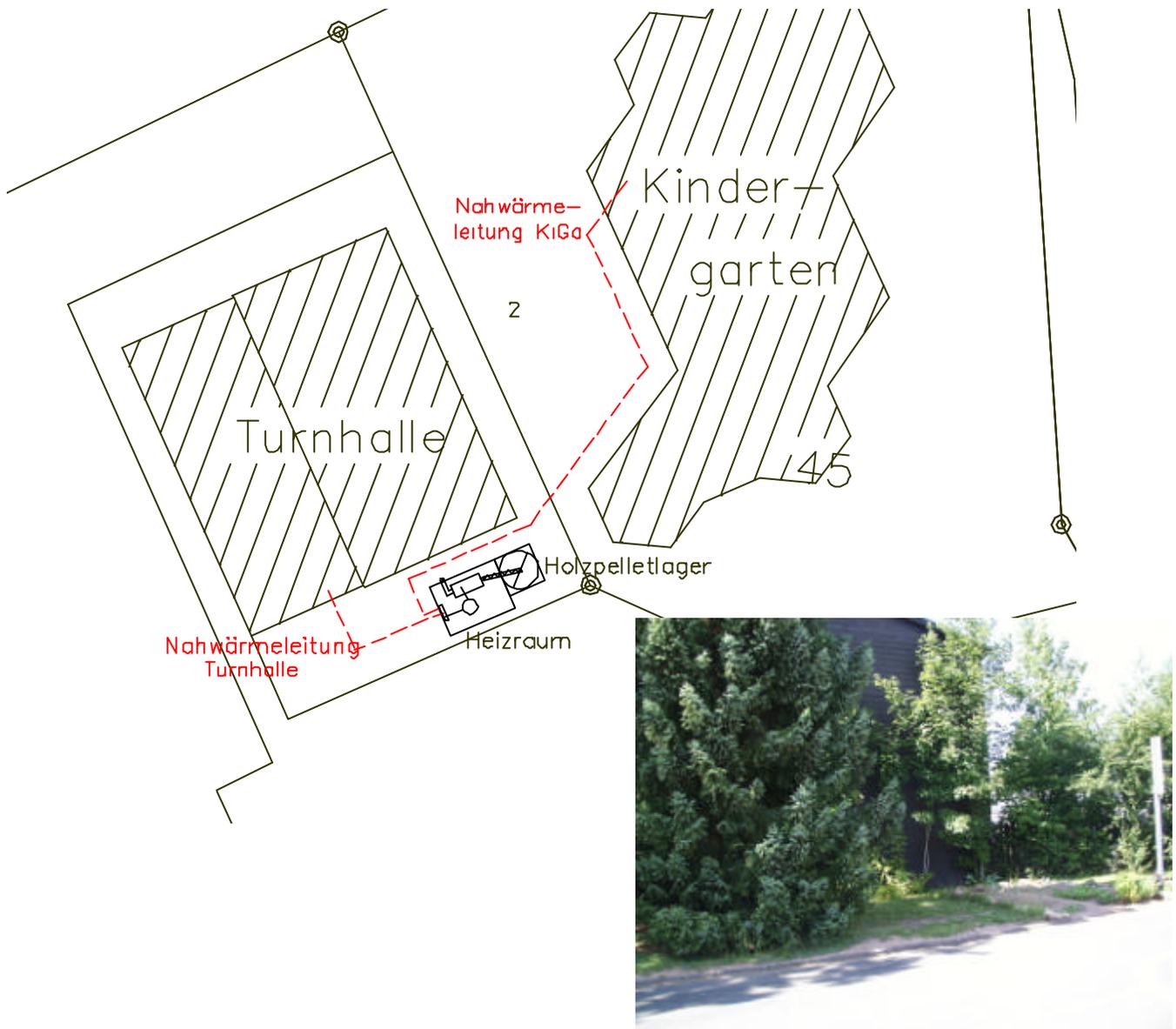


Bild 4-7: Lageplan mit Heiz- und Lagerraum (nicht maßstäblich)

4.5 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2067 nach der die jährlichen Kosten über die kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt werden. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beinhaltet die Förderung des Bundes für die Errichtung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse in Höhe von 60 €/kW installierter Nennwärmeleistung.

Rahmenbedingungen

Bestimmung Kapitalkosten

Zinssatz	5 %
Abschreibungsdauer Demontgearbeiten	30 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Planung	15 Jahre

Bestimmung Betriebskosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel (nur Heizanlage)	2 % der Investition
Personalkosten	30 €/h

Bestimmung Verbrauchskosten

Heizölpreispreis	0,40 €/l
	4,00 Ct/kWh _{BS} (netto)
Holzpelletpreis	148 €/t (netto)
Einblaspauschale Holzpellets	35 €/Lieferung (netto)
	3,00 Ct/kWh _{BS} (netto)
Anteil Hilfsenergie Heizölkessel	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Anteil Hilfsenergie Holzpelletkessel	0,02 kWh _{el} /kWh _{th}
Strompreis	13,0 Ct/kWh _{el} (netto)

Tabelle 4-2: Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgungsvarianten

		Variante 1 Heizöl zentral	Variante 2 Holzpellets zentral	Variante 3 Heizöl/Holzpellets dezentral
Investition (brutto):	€			
Demontearbeiten	€	1.200	1.200	1.200
Maschinenteknik	€	16.600	61.300	52.200
Versorgungstechnik	€	55.100	61.000	45.100
Bautechnik	€	0	15.100	46.100
Planung	€	7.300	13.900	14.500
Investition	€	80.200	152.500	145.700
Förderung Bund	€		13.200	7.200
Investition mit Förderung			139.300	138.500
Kapitalkosten	€/a	6.802	11.773	11.995
Betriebskosten	€/a	1.078	2.668	2.462
Verbrauchskosten	€/a	14.731	11.840	10.913
Jahreskosten	€/a	22.611	26.281	25.370
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	273.340	273.340	258.090
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	8,3	9,4	10,1

Die Referenzvariante zentraler Heizölkessel ist unter den getroffenen Randbedingungen die günstigste Versorgungsvariante. Bedingt durch die höhere Investition in die Maschinenteknik sowie in die Bautechnik für Lagerraum und in Variante 3 für einen zusätzlichen Heizraum liegt der Wärmepreis der zentralen Holzpelletversorgung rund 1 Ct/kWh_{th} über dem der Referenzvariante (einschließlich Förderung Bund).

Ein Vergleich der hier ermittelten Wärmepreise mit Wärmepreisen anderer Versorgungskonzepten ist nur bedingt geeignet. Zum einen trägt die hier durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Entwicklung am Energiemarkt mit gestiegenen Brennstoffpreisen Rechnung, darüber hinaus ist der Jahreswärmebedarf der betrachteten Gebäude (insbesondere Schule und Turnhalle) mit rund 100 kWh_{th}/m²a vergleichsweise gering, so dass sich bei höheren Wärmebedarfswerten niedrigere Wärmepreise ergeben.

Sensitivität

Die folgende Sensitivitätsanalyse zeigt die Entwicklung des Wärmepreises bei sich ändernden Parametern. Es werden die Eingangsgrößen Investition und Brennstoffpreis um jeweils 40% nach oben und unten vom Ausgangswert variiert.

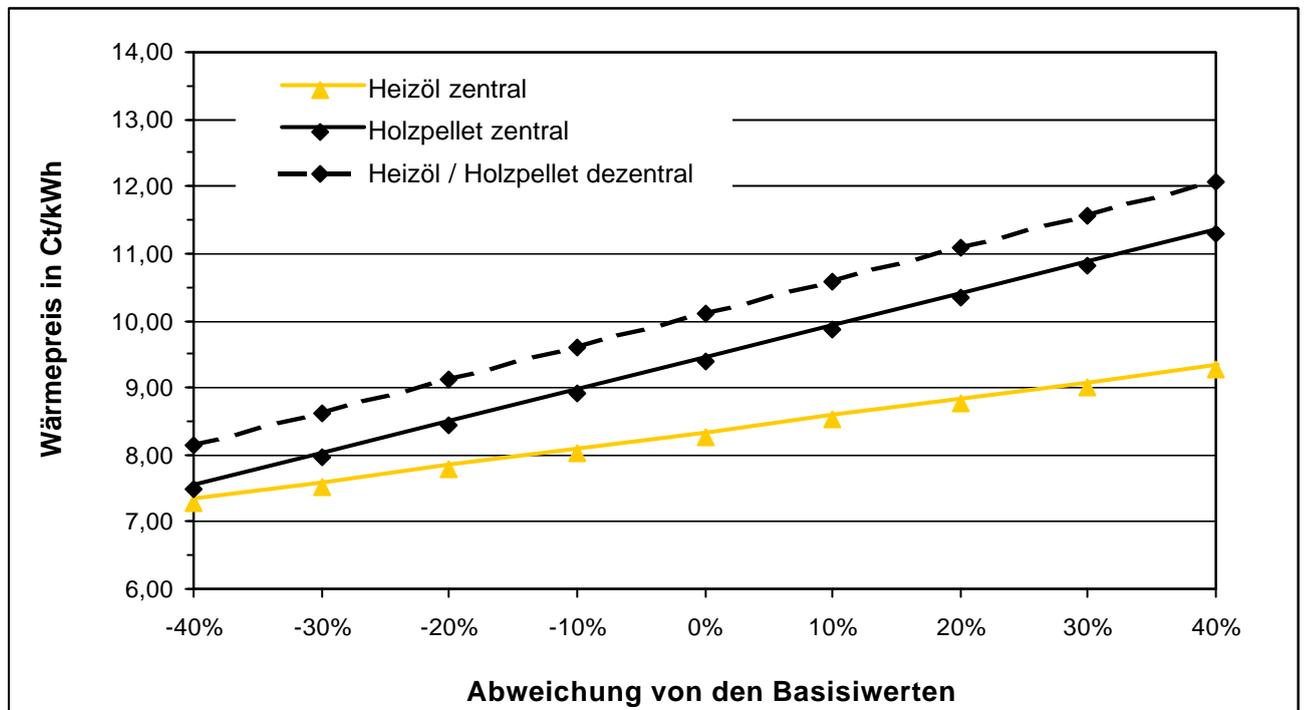


Bild 4-8: Verlauf des Wärmeprices bei Variation der Investition

Die Abbildung zeigt, dass die beiden Varianten mit Holzpelletkessel empfindlicher auf eine sich ändernde Investitionssumme reagieren. Generell muss bei Holzpelletheizungen im Vergleich zu konventionellen Öl- und Gasheizungen mit höheren Investitionen in die Maschinenteknik einschließlich Montage gerechnet werden. Darüber hinaus sind zusätzliche Investitionen in die Lagerung der Holzpellets erforderlich (auch bei Sanierung bestehender Kesselanlagen, wenn vorhandener Heizöllagerraum nicht genutzt werden kann). Ferner ergeben sich bei der hydraulischen Einbindung infolge der Einbeziehung eines Pufferspeichers höhere Investitionen. Ggf. können hier bei einem günstigen Anbieter niedrigere Investitionen erreicht werden.

Bei einer um rund 25% geringeren Investitionssumme der zentralen Holzpelletvariante bei gleichbleibender Investitionssumme der Referenzvariante ergibt sich für beide zentralen Varianten der gleiche Wärmepreis. Bei der dezentralen Variante müsste die Investitionssumme um ca. 40% geringer sein.

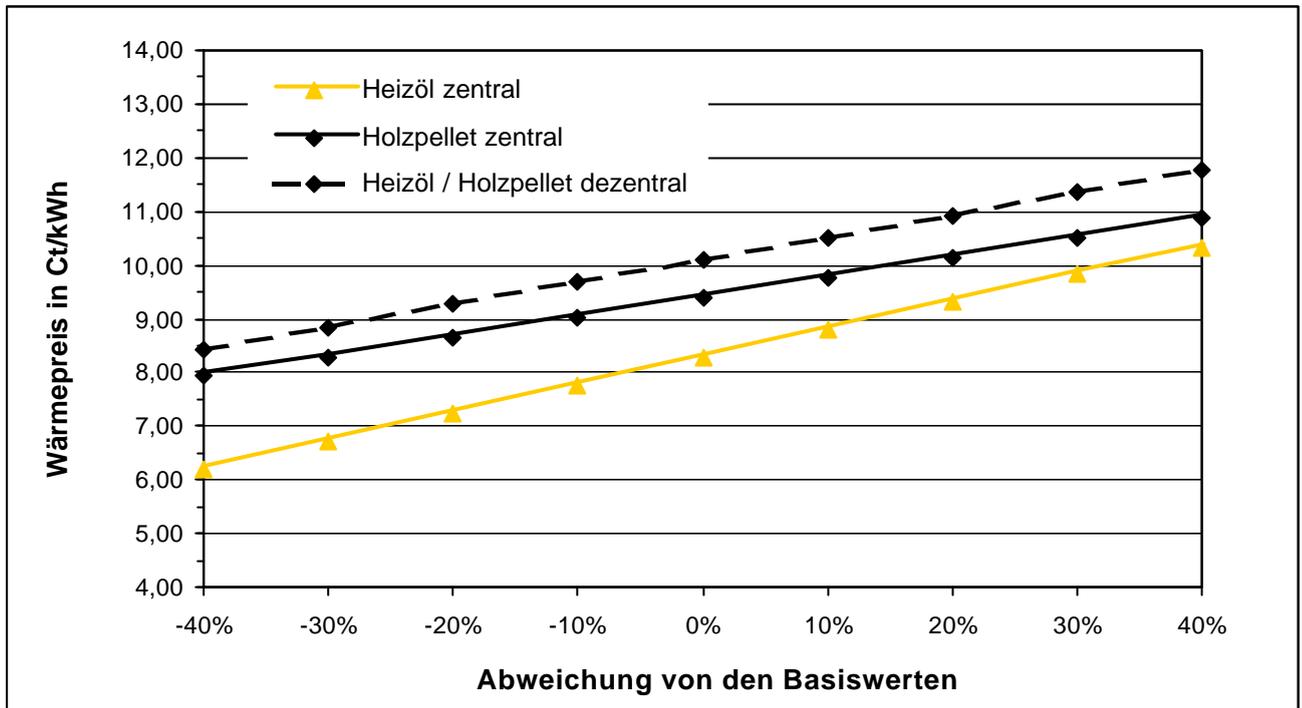


Bild 4-9: Verlauf des Wärmeprices bei Variation des Brennstoffpreises

Der Brennstoffpreis hat einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So stieg der Heizölpreis im Verlaufe des Jahres um rund 50% und trug damit zu einer deutlichen Erhöhung der Wärmeprices von Wärmeversorgungsanlagen bei. Nach Einschätzung des IEA (Internationale Energieagentur) hat die seit Jahresbeginn anhaltenden Ölpreis-Rally allerdings ihren Höhepunkt bereits überschritten. Verantwortlich hierfür seien eine weltweit höhere Produktion, wieder steigende Vorräte aber auch eine sinkende Nachfrage. So sinke, nach Ausführungen des IEA, gegenwärtig sowohl die Nachfrage Chinas nach Rohöl als auch die Indiens. Gleichwohl ließ die Agentur ihre Prognosen für die weltweite Öl-Nachfrage nahezu unverändert bei 82,4 mio Barrel für dieses Jahr und 83,4 mio Barrel für 2005. Experten erwarten, dass der Preis wieder steigen wird.

Auch beim Energieholz ist mittel- bis langfristig mit steigenden Preisen zu rechnen. Hier besteht allerdings für den Kesselbetreiber die Möglichkeit, durch den Abschluss langfristiger Verträge den Brennstoff Holz auch bei hohen Ölpreisen vergleichsweise günstig beziehen zu können. In den Verträgen kann hierbei eine Preisgleitklausel unter Einbezug des Erzeugerpreisindex für Sägenebenprodukte, der Lohnkosten und zu kleinen Teilen der Ölpreise einbezogen werden, um dem Anbieter Preisanpassungsmöglichkeiten zu gewährleisten¹².

Die Abbildung zeigt, dass die Referenzvariante empfindlicher auf einen sich ändernden Brennstoffpreis reagiert. Kann der Holzpelletpreis um rund 30% günstiger bezogen werden (ca. 104 €/t) bzw. erhöht sich der Heizölpreis um rund 20% (ca. 48 Ct/l) ergibt sich für beide zentralen Varianten in etwa der gleiche Wärmepreis.

¹² Forschungsbericht Sportschule Seibersbach: Dipl. Betriebswirt (FH) Thomas Anton, Dipl. Forstwirt Bernhard Wern, IfaS Umwelt-Campus-Birkenfeld, September 2004

5 CO₂-Bilanz

Eine ökologische Bewertung der Maßnahmen Wärmedämmung und Heizungserneuerung erfolgt hier mithilfe einer Kohlendioxid-Bilanz. Aufgrund der Dämmmaßnahmen ergibt sich eine Verringerung des Wärmebedarfs. Für die folgende Betrachtung wird dabei die Dämmvariante 4 angesetzt.

Darüber hinaus trägt die Erneuerung der Nahwärmeleitung bei der zentralen Wärmeversorgung bzw. die Stilllegung der Nahwärmeleitung zwischen Grundschule und Turnhalle bei der dezentralen Variante zu einer weiteren Reduktion bei, so dass sich folglich auch die CO₂-Emission verringert. Bei einem Wechsel des Energieträgers von Heizöl auf Holz ergeben sich weitere Einsparungen.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzpellets und der Holzhackschnitzel benötigten Energie ergibt sich für Holzpellets eine spezifische CO₂-Emission von 70,1 g CO₂/kWh_{BS}. Die spezifische CO₂-Emission von Heizöl beträgt 317,7 g CO₂/kWh_{BS}.

Tabelle 5-1: CO₂-Bilanz der betrachteten Maßnahmen (Dämmung, Wärmeerzeugung)

Maßnahme	Wärme- verbrauch [kWh _{th} /a]	Brennstoff- verbrauch [kWh _{BS} /a]	CO ₂ - Emission [kg/a]	Einsparung [%]
Ist-Situation Schule ungedämmt alte Heizung (Heizöl) alte Nahwärmeleitung	397.270	472.940	150.250	
Dämmung Schule komplett gedämmt alte Heizung (Heizöl) alte Nahwärmeleitung	287.620	342.400	108.780	28
Wärmeerzeugung Schule komplett gedämmt neue Heizung (Heizöl zentral) neue Nahwärmeleitung	273.340	303.710	96.490	36
Wärmeerzeugung Schule komplett gedämmt neue Heizung (Pellet zentral) neue Nahwärmeleitung	273.340	310.610	21.770	86
Wärmeerzeugung Schule komplett gedämmt neue Heizung (Heizöl / Pellet dezentral) neue Nahwärmeleitung zu Kindergarten	258.090	290.150	43.640	71

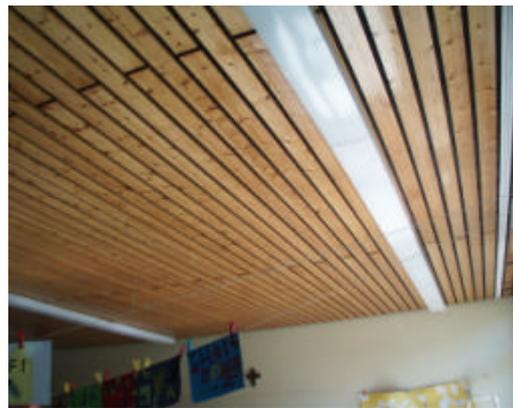
6 Vorschläge zur Energieeinsparung

6.1 Beleuchtung

In den Klassenzimmern des Alt- und Anbaus sind jeweils zwei Bänder mit zweiflämmigen Leuchtstofflampen und Opalwannen installiert. Im Altbau verlaufen die Beleuchtungsbänder durchgehend. Aus Energiespargründen wurde hier jede zweite Leuchtstoffröhre entfernt. Im Altbau sind in den Fluren des Erdgeschosses 7 vierflämmige und im Obergeschoss 6 zweiflämmige Leuchtstofflampen sowie im Altbau nochmals 4 vierflämmige Leuchtstofflampen ebenfalls mit Opalglaswannen eingebaut. Die Leuchten sind noch mit konventionellen Vorschaltgeräten ausgestattet.



Bild 6-1: Beleuchtung Klassenzimmer Altbau



Beleuchtung Klassenzimmer Anbau

Die vorhandene Beleuchtung hat mehrere Nachteile:

Die konventionellen Vorschaltgeräte (KVG) bestehen aus einer Spule, die als induktiver Widerstand wirkt und dadurch eine hohe zusätzliche Verlustleistung verursachen. Der Einsatz der KVG erfordert zudem noch einen Starter und einen Kompensationskondensator. Nachteile dieser Baugruppen sind unangenehme Brummgeräusche, verzögerter Start und flackerndes Licht im Betrieb. Während der Begehung konnte festgestellt werden, dass die Kondensatoren zum Teil bereits auslaufen. Der Starter hat darüber hinaus eine geringe Lebensdauer und sollte gleichzeitig mit der Lampe gewechselt werden (Betriebskosten). Bei hoher Schaltheufigkeit verkürzt sich die Lampenlebensdauer.

Der Beleuchtungswirkungsgrad der eingebauten opalen Wannenleuchten ist wegen der geringen Transmissionsgrade der Opalabdeckung und der hohen Innentemperaturen schlecht (ca. 50%).

Sanierung Beleuchtung:

Es besteht die Möglichkeit, durch Austausch der Leuchten durch moderne energiesparende Modelle, den Stromverbrauch zu senken. Die Stromeinspar-Potenziale bei der Beleuchtung liegen dabei zwischen 30 bis 50%. Die sich ergebende Einsparung setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen:

Dreibandenlampen:

Die Dreibandenleuchtstofflampe verfügt bei gleicher elektrischer Anschlussleistung über einen höheren Lichtstrom als eine Standardleuchtstofflampe. Der Wirkungsgrad des Leuchtstoffes ist höher.

Tabelle 6-1: Lichtstrom von Standard- und Dreibandenleuchtstofflampen

Nennleistung / Nennlänge	Standardlampe	Dreibandenlampe Lichtfarbe 21, 31 (OSRAM)
18 W, 590 mm	1.100 lm	1.350 lm
36 W, 1200 mm	2.600 lm	3.350 lm
58 W, 1500 mm	4.100 lm	5.200 lm

Elektronische Vorschaltgeräte anstatt konventionelle Vorschaltgeräte:

Leuchtstofflampen müssen wegen ihrer negativen Stromspannungskennlinie mit einem Vorschaltgerät betrieben werden. Das konventionelle und das verlustarme Vorschaltgerät bestehen aus einer Kupferspule und einem Eisenkern und haben im Vergleich zum elektronischen Vorschaltgerät deutlich höhere Verluste. Bei einem elektronischen Vorschaltgerät wird die Lampe bei etwa gleichem Lichtstrom unter ihrer Nennleistung betrieben.

Tabelle 6-2: Leistungen einflammiger Leuchten mit unterschiedlichen Vorschaltgeräten

Leuchtstofflampe	Leuchte mit		
	KVG konventionelles Vorschaltgerät	VVG verlustarmes Vorschaltgerät	EVG elektronisches Vorschaltgerät
18 W, 590 mm	29 W	24 W	19 W
36 W, 1200 mm	46 W	42 W	36 W
58 W, 1500 mm	71 W	66 W	55 W

Die folgende Aufzählung zeigt die weiteren Eigenschaften des EVG's im Überblick:

- höherer Preis
- höhere Lichtausbeute der Lampen
- um etwa 50 % höhere Lebensdauer der Lampen
- flimmerfreies Licht durch die hochfrequente Spannung (25 - 40 kHz)
- automatisches Abschalten defekter Lampen
- kein zusätzlicher Starter notwendig
- Tageslichtabhängige Regelung möglich (dimmen)
- keine Blindleistungskompensation erforderlich
- geringere Verlustleistung

Im folgenden wird für die Unterrichtsräume im Alt- und Anbau der Austausch der vorhandenen Beleuchtung gegen Dreiband-Leuchtstofflampen mit Parabolspiegelraster und elektronischen Vorschaltgeräten betrachtet. Mit Hilfe eines Simulationsprogramm zur Dimensionierung von Beleuchtungsanlagen wurde dabei die Anzahl der erforderlichen Leuchten bestimmt. Als Nennbeleuchtungsstärke wurde ein Wert von 500 lx angesetzt, der in der DIN 5035 Teil 2 als Richtwert für Büroräume angegeben ist.

Tabelle 6-3: Wirtschaftlichkeit Erneuerung Beleuchtung

Vergleichsrechnung		vorhandene Beleuchtung	neue Beleuchtung
Kapitalzinssatz	%		4
Abschreibungszeitraum	a		15
Annuität:	%/a		9
mittlerer Strompreis (netto)	Ct/kWh _{el}		13,0
Anzahl der Leuchten	St.	ca. 128	ca. 98
Anzahl der Lampen	St.	ca. 186	ca. 196
Preis einer Leuchte	€	0	250
Montagekosten einer Leuchte	€	0	30
Preis einer Lampe	€	4,00	5,00
Montagekosten einer Lampe	€	2,50	2,50
Entsorgungskosten einer Lampe	€	1,00	1,00
Benutzungsdauer der Lampe	h/a	600	600
Lebensdauer der Lampe	h	8.000	12.000
Investition		0	27.440
Kapitalkosten		0	2.468
Betriebskosten		140	111
Verbrauchskosten		1.195	975
Jahreskosten		1.335	3.554

Bedingt durch die vergleichsweise hohe Investition bei geringen Benutzungsstunden kann über die Energieeinsparung die neue Beleuchtungsanlage nicht wirtschaftlich betrieben werden.

Adapterleuchten:

Statt eines kompletten Leuchtentauschs gibt es seit einiger Zeit eine einfache und kostengünstige Möglichkeit verbesserte Beleuchtungstechnik einzusetzen. Das Retrolux Adaptersystem der Firma GEM (Global-Energie-Management GmbH). Es besteht aus einem EVG sowie einer T5-Leuchtstofflampe und wird einfach anstelle der alten T8-Leuchtstofflampe eingeklickt. Das alte Vorschaltgerät verbleibt im Gerät, der Starter wird entfernt.

Die T5-Leuchtstofflampen mit 16mm Durchmesser sind im Vergleich zu den früher eingesetzten Lampen mit 38mm Durchmesser (T12) und den gängigen T8-Leuchtstofflampen (26mm) inzwischen Stand der Technik. Sie sind effizienter (geringere Anschlussleistung bei gleicher Helligkeit) und verfügen über eine rund doppelt so lange Lebensdauer.

Im folgenden wird für ein Klassenzimmer im Schulanbau der Austausch der vorhandenen Leuchtstofflampen gegen das Retrolux Adaptersystem betrachtet. Die Kosten für die T5-Leuchtstofflampen werden dabei nicht als Investition angesehen, sondern wie in Tabelle 6-3 den Betriebskosten zugeordnet.

Tabelle 6-4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Retrolux-Adaptersystem

Vergleichsrechnung		vorhandene Beleuchtung	neue Beleuchtung
mittlerer Strompreis (netto)	Ct/kWh _{el}		13,0
Anzahl Leuchten in Klassenzimmer	St.	14	14
Anzahl Lampen in Klassenzimmer	St.	14	14
Preis einer Lampe	€	4,00	36,00
Montagekosten einer Lampe	€	2,50	4,00
Entsorgungskosten einer Lampe	€	1,00	1,00
Benutzungsdauer der Lampe	h/a	600	600
Lebensdauer der Lampe	h	8.000	16.000
Investition		0	0
Kapitalkosten		0,00	0,00
Betriebskosten		9,14	24,85
Verbrauchskosten		89,94	48,77
Jahreskosten		99,08	73,62

Mit dem Retrolux Adaptersystem können die jährlichen Kosten für die Beleuchtung verringert werden. Allerdings wird hier Geld in eine alte Beleuchtungsanlage gesteckt.

6.2 Umwälzpumpen Heizung

Bei den eingebauten Umwälzpumpen zur Wärmeverteilung handelt es sich überwiegend um Standardpumpen. Zum Teil noch um unregelte Pumpen eingebaut.



Bild 6-2: Verteilstation Heizraum



Unterverteilung Turnhalle

Während die Rohrleitungen im Heizungsraum und der Verteilstation in der Turnhalle gedämmt sind, weisen die übrigen Armaturen keine Dämmung auf.

Nach der Energieeinsparverordnung - EnEV vom 16. November 2001 müssen ungedämmte und zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen von heizungstechnischen Anlagen in nicht beheizten Räumen bis zum 31. Dezember 2006 gedämmt werden. Die Dämmstärken sind abhängig vom Rohrdurchmesser und Lage im Gebäude in der EnEV vorgegeben.

Optimierung Pumpenbetrieb:

Heizungen werden nur während der Heizperiode benötigt, die Umwälzpumpen werden jedoch oft ununterbrochen betrieben. Durch die Abschaltung am Ende der Heizperiode können bis zu 40% an Strom eingespart werden.

Die seit den 70er Jahren eingebauten drehzahlgeregelten Umwälzpumpen können in mehreren Leistungsstufen betrieben und so dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden. Oft kann durch eine Reduzierung der Drehzahl genau so effektiv geheizt werden wie bei einer höheren Drehzahl. Der Leistungs- und damit der Strombedarf lassen sich so weiter reduzieren. Für neu eingebaute Umwälzpumpen ist nach der Energieeinsparverordnung eine Regelung in mindestens drei Stufen vorgeschrieben (Heizungen über 25 kW).

Stand der Technik sind vollautomatische drehzahlgeregelte Pumpen, die die Leistung in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur- und Druckdifferenz variieren und so dem Bedarf optimal angepasst werden können.

Eine neue innovative Technik stellen Pumpen mit EC-Motor (elektronisch kommutierter Synchronmotor) dar. Die Hocheffizienzpumpe besitzt sowohl bei Voll- als auch bei Teillast einen hohen Wirkungsgrad und ist stufenlos regelbar.

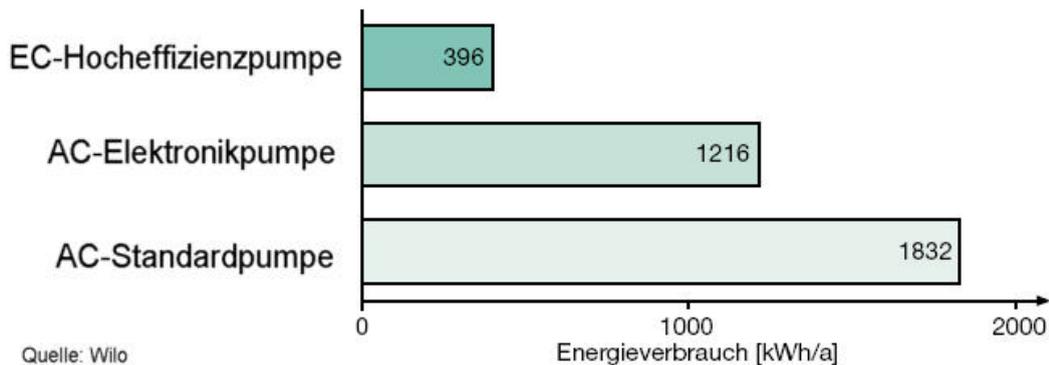


Bild 6-3: Jährlicher Energieverbrauch einer Heizungspumpe (DN 30) mit Absenkbetrieb (Quelle: WILO)

- Standardpumpe z.B. TOP-S 30/10
- Elektronikpumpe z.B. TOP-E 30/1-10
- Hocheffizienzpumpe z.B. Stratos 30/1-12

Die Investitionskosten einer EC-Hocheffizienzpumpe liegen ca. 15% über denen einer AC-Elektronikpumpe bzw. beim 2,5-fachen einer geregelten Standardpumpe. Durch die Stromersparung von bis zu 70% (vgl. Abbildung) amortisiert sich die Mehrinvestition jedoch innerhalb weniger Jahre.

7 Einsatz von Solaranlagen

7.1 Einsatzmöglichkeiten einer thermischen Solaranlage

Wie in Kapitel 2.4 bereits erwähnt, erfolgt die WW-Bereitung dezentral in den einzelnen Gebäuden elektrisch. Der Warmwasserbedarf der Turnhalle ist in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 7-1: Warmwasserbedarf Turnhalle

Anzahl Sportler pro Duschgang	15
Anzahl Duschgänge pro Woche	1 - 2
Duschzeit	6 min
Zapfmenge 40°C	8 l/min
Warmwasserverbrauch	1.080 l/Wo
Wärmebedarf	38 kWh _{th} /Wo
Annahme Benutzungszeit	44 Wo/a
Jahreswärmebedarf WWB	1.670 kWh_{th}/a
Speicherinhalt (60°C)	ca. 500 l
Wärmekapazität Speicher	ca. 30 kWh _{th}
Annahme Ladezeit	2 h
Übertragungs-Korrekturfaktor Speicher	0,99
Wärmeleistung WWB	15 kW_{th}
Vollbenutzungsstunden	ca. 110 h/a

Der vergleichsweise geringe Warmwasserbedarf der Turnhalle macht den Einsatz einer Solaranlage uninteressant. Darüber hinaus sind die räumlichen Verhältnisse für die Installation eines Solarspeichers begrenzt. Aus diesem Grund wird von der Betrachtung einer Solaranlage abgesehen.

7.2 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.

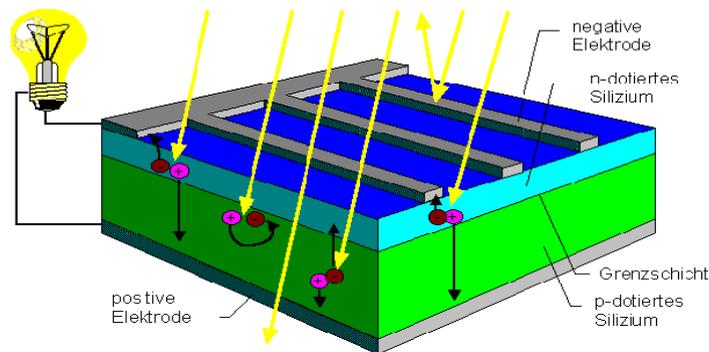


Bild 7-1: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

Bei den Solarzellen unterscheidet man nach drei Typen: monokristalline, polykristalline und amorphe Zellen (Dünnschicht-Solarzellen). Als Grundmaterial wird hauptsächlich Silizium eingesetzt. Während die mono- und polykristallinen Solarzellen einen Wirkungsgrad von rund 15% erreichen liegt der Wirkungsgrad der billigeren meist bei autarken Anwendungen (Taschenrechnern, Uhren usw.) eingesetzten Dünnschichtzellen bei rund 10%.

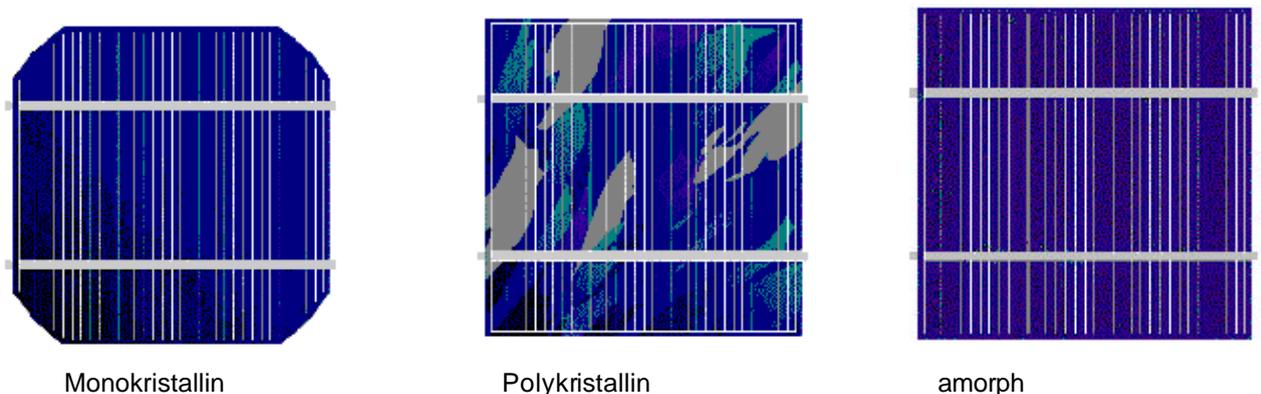


Bild 7-2: Zelltypen für Fotovoltaikmodule (Quelle: CD Solarenergie)

Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt mehr als 250 verschiedene 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. Aufdach-, Indach-, Flachdach- und Fassadensysteme). Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr einen nahezu gleichbleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Photovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Fotovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann.

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.



Bild 7-3: Eine netzgekoppelte Anlage speist den Solarstrom ins öffentliche Netz ein (Quelle: CD Solarenergie)

Aufgrund dem „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)“, das eine Mindestvergütung von Strom aus Solarenergie festlegt, bietet es sich an, den durch die Fotovoltaik erzeugten Strom komplett ins Stromnetz einzuspeisen. Die Vergütungssätze werden für eine Dauer von 20 Jahren vom Stromversorger gezahlt und sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Es gilt eine jährliche Degression von 5%.

Tabelle 7-2: Vergütung des Fotovoltaikstroms nach dem EEG, Stand 2004

Anlagenart	Vergütung [Ct/kWh _{el}]
Anlagen auf Dächern bis 30 kW	57,4
Anlagen auf Dächern 30 – 100 kW	54,6
Anlagen auf Dächern größer 100 kW	54,0
Anlagen an Fassaden bis 30 kW	62,4
Anlagen an Fassaden 30 – 100 kW	59,4
Anlagen an Fassaden größer 100 kW	59,0
Freiflächenanlagen	45,7

Eine Fotovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung (kW_p) eine Dachfläche von rund 10 m² (bei Verwendung mono- oder polykristalliner Solarzellen). Um eine möglichst hohe Ausbeute zu erzielen, sollte die Fläche der Solarmodule um 30° geneigt und nach Süden ausgerichtet sein. Eine Ausrichtung der Fotovoltaikanlage nach Süd-West bzw. Süd-Ost und eine Dachneigung von 10-60° verringern den Solarertrag um weniger als 10%.

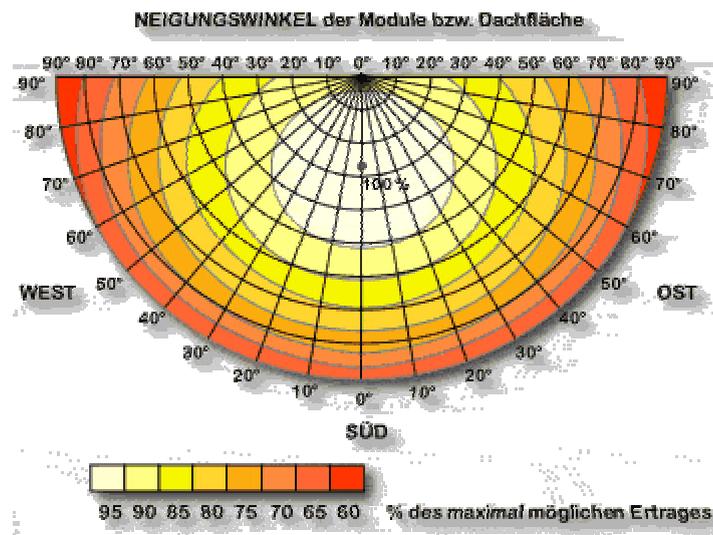


Bild 7-4: Anlagenenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators (Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund 750 – 850 kWh je kW_p, in Süddeutschland unter optimalen Bedingung können über 900 kWh je kW_p geerntet werden. Eine Verschattung der Fotovoltaikmodule durch Schornsteine oder Bäume sollte unbedingt vermieden werden, da dadurch der Ertrag reduziert wird.

Hinweise:

Für die Errichtung und den Betrieb einer Solarstromanlage im Netzparallelbetrieb sind insbesondere folgende gesetzlichen oder behördlichen Vorschriften zu beachten:

Baugenehmigung:

In Deutschland sind die Bundesländer für das Bauordnungsrecht zuständig. Meistens sind PV-Anlagen baugenehmigungsfrei. Es sollte jedoch auf alle Fälle das örtliche Bauordnungsamt informiert werden (Errichtung formlos anzeigen), insbesondere bei Gebäuden die unter Denkmalschutz stehen und in Fällen, in denen die PV-Anlage mehr als 1,5m von der Gebäudehülle absteht. Der Aufstellungsort sollte vor der Montage auf seine statische Eignung geprüft werden.

Energieversorgungsunternehmen:

Die beabsichtigte Installation einer PV-Anlage im Netzparallelbetrieb muss bei dem zuständigen Netzbetreiber vor Beginn der Errichtung vom Elektroinstallateur angemeldet werden. Eine Prüfung erfolgt auf Grundlage der VDEW „Richtlinie für den Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Niederspannungsnetz des Netzbetreibers“, der TAB (Technische Anschlussbedingungen) und weiteren regionalen Bestimmungen. Nach Einverständnis des Netzbetreibers darf mit dem Bau begonnen werden.

Technische Daten zur Fotovoltaik

Leistung: ca. 0,08..0,13 kW_{Peak} / m² Kollektorfläche
 Ertrag: ca. 750..850 kWh_{el} / kW_{Peak}

Investitionskosten

Anlagengröße: < 3 kW_{peak}
 spez. Kosten: 6.500 €/kW_{el} (Module, Wechselrichter, Aufständering, Montage)

Anlagengröße: < 30 kW_{peak}
 spez. Kosten: 4.500 €/kW_{el} (Module, Wechselrichter, Aufständering, Montage)

Anlagengröße: < 100 kW_{peak}
 spez. Kosten: 4.000 €/kW_{el} (Module, Wechselrichter, Aufständering, Montage)

Einsatzmöglichkeiten für Schulkomplex:

Der Lageplan zeigt eine Ausrichtung der Dachfläche des Schulaltbaus nach Süd-Osten und eine Ausrichtung des Schulanbaus sowie der Turnhalle nach Süd-Westen. Zu berücksichtigen ist hier allerdings eine eventuelle Verschattung infolge des Baumbestandes im Bereich des Heizraumes (Schulealtbau).

Im folgenden wird überschlägig für die jeweiligen Dachflächen eine PV-Anlage dimensioniert und der mögliche Ertrag ermittelt. Für die Auslegung wird folgendes Solarmodul betrachtet:

Modultyp	: BP3160S (Wagner & Co Solartechnik)
Modulgröße	: 1.593 mm x 790 mm x 50 mm
Zelltyp	: 72 x polykristallin
Wirkungsgrad	: 14 %
Nennleistung	: 160 W
Minimalleistung	: 150 W

Die Wirtschaftlichkeit der Fotovoltaikanlagen mit überschlägig ermittelten Investitionskosten stellt sich wie folgt dar. Für die Ermittlung der statischen Amortisation wird die Degradation der Stromerzeugung durch Alterung nicht berücksichtigt.

Tabelle 7-3: Mögliche Fotovoltaikanlagen mit Wirtschaftlichkeit

		Altbau Grundschule	Anbau Grundschule	Turnhalle
Modulfläche	m ²	260	170	280
Leistung	kW _p	32	21	34
Stromerzeugung	kWh _e /a	25.600	16.800	27.200
Investition	€	144.000	94.500	153.000
Kapitalkosten (5%, 20a)	€/a	11.555	7.583	12.277
Betriebskosten	€/a	500	500	500
Gutschrift Strom	€/a	- 13.978	- 9.643	- 14.851
Jahreskosten	€/a	- 1.923	- 1.560	- 2.074
statische Amortisation	a	11	10	11

Aufgrund der hohen Einspeisevergütung kann mit den Fotovoltaikanlagen ein jährlicher Überschuss erwirtschaftet werden (Einspeisevergütung 2004). Die Fotovoltaikanlagen amortisieren sich in etwa 10 - 11 Jahren.

8 Zusammenfassung

Die Verbandsgemeinde Neuerburg betreibt in Körperich eine Grundschule mit angrenzender Turnhalle. Über eine Fernwärmeleitung ist zusätzlich noch der von der Gemeinde Körperich betriebene Kindergarten mit an die zentrale Heizungsanlage angeschlossen.

Der Altbau des Schulgebäudes wurde 1969 errichtet, im Jahre 1979 erfolgte ein Anbau. Bis auf eine Erneuerung der Fenster im Schulaltbau gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung und Kunststoffprofilrahmen in den 90-er Jahren entspricht der Wärmedämmstandard noch den damaligen Anforderungen. Für die Bausubstanz der Grundschule besteht hinsichtlich Feuchte- und Schimmelschäden Sanierungsbedarf.

Aufgrund dessen wurden in diesem Sanierungskonzept verschiedene Dämmmaßnahmen untersucht. Grundlage hierzu war der vorliegende Ist-Zustand des Schulgebäudes. Dieser konnte anhand des Brennstoffverbrauchs, üblicher Kennwerte der einzelnen Gebäude sowie einer Wärmebedarfsberechnung ermittelt werden.

Tabelle 8-1: Wärmeverbrauchswerte der betrachteten Gebäude

	Jahreswärmebedarf	Spez. Wärmebedarf
Grundschule	194.080 kWh _{th} /a	117 kWh _{th} /m ² a
Turnhalle	40.390 kWh _{th} /a	81 kWh _{th} /m ² a
Kindergarten	127.270 kWh _{th} /a	182 kWh _{th} /m ² a
Nahwärmeverluste	35.530 kWh _{th} /a	

Der Wärmebedarf für die Grundschule und die Turnhalle ist im Vergleich zu Kennwerten aus der Literatur als niedrig einzustufen. Dies ist allerdings nicht auf den Dämmstandard sondern auf das Nutzerverhalten zurückzuführen.

Die Energie-Einsparverordnung (EnEV) legt für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) fest. Diese wurden für das Schulgebäude als Mindeststandard festgelegt.

Die folgende Tabelle zeigt die mit den betrachteten Varianten erreichbaren U-Werte der jeweiligen Bauteile mit herkömmlichem Dämmstoff (Polystyrol). Für die Betrachtung mit dem alternativen Dämmstoff Holzfaser ergeben sich ähnliche U-Werte. Das Schulgebäude ist nicht unterkellert, wobei die Bodenplatte im Schulaltbau ungedämmt ist. Es ist daher ohne größeren Aufwand (Innendämmung) keine zusätzliche Dämmmaßnahme möglich und wurde in dieser Untersuchung daher nicht betrachtet.

Tabelle 8-2: U-Werte im für verschiedene Dämmvarianten mit herkömmlichen Dämmstoff

Bauteil	Ist W/m ² K	Variante 1 W/m ² K	Variante 2 W/m ² K	Variante 3 W/m ² K
Bodenplatte gegen Erdreich	2,85			
Außenwand gegen Erdreich	1,13	0,38	0,32	
Außenwand gegen Außenluft	1,77	0,35	0,29	0,25
Geschossdecke gegen unbeheizt	2,13	0,40	0,30	0,23
Fenster	2,11	1,53	1,42	
Türen	5,50	2,70	1,10	

Für die erdberührten Bauteile wurde in der Untersuchung eine Perimeterdämmung vorgesehen. Zur Minimierung der Wärmeverluste sollte die Perimeterdämmung dabei umlaufend über die Bodenplatte angebracht werden.

Die Geschossdecke ist zum Dach hin im Randbereich mit einer Betonaufkantung versehen. Dies stellt eine Wärmebrücke dar. Wenn möglich sollte diese Wärmebrücke entfernt werden, zumindest jedoch die Außenwanddämmung bis über die Höhe der Geschossdecke gezogen werden.

Die Bewertung der einzelnen Maßnahmen erfolgte anhand einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, in der das Energie-Einsparpotential den Wärmedämmkosten gegenübergestellt wurde. Die Tabelle 8-3 gibt die Ergebnisse wieder. Zu berücksichtigen ist, dass für alle Bauteile in den Investitionskosten die Dämmmaßnahmen sowie die zugehörigen Gebäudeinstandhaltungsmaßnahmen wie z. B. Putzerneuerung enthalten sind und es sich somit um Gesamtinvestitionen handelt.

Ohne Anrechnung einer Gutschrift für die Wärmedämmung als Maßnahme zum Gebäudeerhalt ist als einzige Maßnahme die Dämmung der Geschossdecke wirtschaftlich darstellbar, wobei diese mit dem herkömmlichen Dämmstoff etwas günstiger ausfällt.

Für die Außenwanddämmung ergeben sich bedingt durch Montagearbeiten an den Sonnenschutzvorrichtungen, Anpassungsarbeiten am Dach und der Perimeterdämmung je nach gewählter Variante Investitionen in Höhe von rund 180.000 € (herkömmlicher Dämmstoff) bzw. rund 200.000 – 220.000 € beim alternativen Dämmstoff. Der Mehraufwand in eine stärkere Dämmung ist dabei gemessen an der Investitionssumme vergleichsweise gering. In Verbindung mit der verhältnismäßig geringen Energieeinsparung (geringer Wärmebedarf im Ist-Zustand) kann das eingesetzte Kapital nicht innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden. Dies gilt auch für die Maßnahmen an Fenster und Türen.

Tabelle 8-3: Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahmen

Bauteil	Investition in Euro (brutto)	Jahreskosten in Euro/a	st. Amortisation in a
Geschossdecke Polystyrol			
1. Variante: 8 cm WLG 035 in Altbau	28.800	- 646	11
2. Variante: 12 cm WLG 040 in Alt- und Anbau	39.200	- 77	15
3. Variante: 16 cm WLG 040 in Alt- und Anbau	42.700	44	16
Geschossdecke Holzfaser			
1. Variante: 10 cm WLG 040 in Altbau	38.000	-47	15
2. Variante: 12 cm WLG 040 in Alt- und Anbau	56.300	1.035	21
3. Variante: 16 cm WLG 040 in Alt- und Anbau	65.400	1.520	24
Außenwand Polystyrol			
1. Variante: 8 cm WDVS WLG 035 + 6cm Perimeter	175.300	8.938	71
2. Variante: 10 cm WDVS WLG 035 + 6cm Perimeter	179.300	9.091	70
3. Variante: 12 cm WDVS WLG 035 + 8cm Perimeter	184.000	9.342	70
Außenwand Holzfaser			
1. Variante: 10 cm WDVS WLG 040 + 6cm Perimeter	200.100	10.498	79
2. Variante: 12 cm WDVS WLG 035 + 6cm Perimeter	208.600	10.997	81
3. Variante: 14 cm WDVS WLG 035 + 8cm Perimeter	217.500	11.522	83
Fenster / Türen			
1. Variante: 2-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 2.1 und Leichtmetallrahmentüren	60.600	3.352	103
2. Variante: 3-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 1 und Leichtmetallrahmentüren	95.700	5.528	137

Neben der Betrachtung der Einzelmaßnahmen wurden auch Gesamtbetrachtungen angestellt. Die Variante 1 bzw. 1a entspricht dabei wieder dem Mindeststandard nach EnEV:

Tabelle 8-4: Untersuchte Gesamtmaßnahmen

	konventioneller Dämmstoff (Polystyrol)	alternativer Dämmstoff (Holzfaser)
Geschossdecke Außenwand	Variante 1: 8 cm WLG 035 in Altbau 8 cm WDVS WLG 035 + 6cm Perimeter	Variante 1a: 10 cm WLG 040 in Altbau 10 cm WDVS WLG 040 + 6cm Perimeter
Geschossdecke Außenwand	Variante 2: 16 cm WLG 040 in Alt- und Anbau 12 cm WDVS WLG 035 + 8cm Perimeter	Variante 2a: 16 cm WLG 040 in Alt- und Anbau 14 cm WDVS WLG 040 + 8cm Perimeter
Geschossdecke Außenwand Fenster Türen	Variante 3: 12 cm WLG 040 in Alt- und Anbau 10 cm WDVS WLG 035 + 6cm Perimeter 2-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 2.1 Leichtmetallrahmentür (2,7 W/m ² K)	Variante 3a: 12 cm WLG 040 in Alt- und Anbau 12 cm WDVS WLG 040 + 6cm Perimeter 2-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 2.1 Leichtmetallrahmentür (2,7 W/m ² K)
Geschossdecke Außenwand Fenster Türen	Variante 4: 16 cm WLG 040 in Alt- und Anbau 12 cm WDVS WLG 035 + 8cm Perimeter 3-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 1 Leichtmetallrahmentür (1,1 W/m ² K)	Variante 4a: 16 cm WLG 040 in Alt- und Anbau 14 cm WDVS WLG 040 + 8cm Perimeter 3-S-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen RMG 1 Leichtmetallrahmentür (1,1 W/m ² K)

Die folgende Tabelle gibt den nach dem Monatsbilanzverfahren berechneten Wärmebedarf und Wärmeleistung der oben aufgeführten Varianten wieder.

Tabelle 8-5: Wärmebedarf und Wärmeleistung für die betrachteten Gesamtmaßnahmen

konventioneller Dämmstoff:		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
berechneter Wärmebedarf	kWh _{th} /a	103.833	97.040	89.277	84.425
berechnete Wärmeleistung	kW _{th}	107	100	92	87
spezifischer Wärmebedarf	kWh _{th} /m ² a	63	59	54	51
spezifische Wärmeleistung	W _{th} /m ²	65	60	55	52
alternativer Dämmstoff:		Variante 1a	Variante 2a	Variante 3a	Variante 4a
berechneter Wärmebedarf	kWh _{th} /a	102.862	97.040	89.277	84.425
berechnete Wärmeleistung	kW _{th}	106	100	92	87
spezifischer Wärmebedarf	kWh _{th} /m ² a	62	59	54	51
spezifische Wärmeleistung	W _{th} /m ²	64	60	55	52

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt die Tabelle 8-6. Die Tabelle weist die Ergebnisse getrennt für die Dämmung mit konventionellem und alternativen Dämmstoff aus. Darüber hinaus ist die Mehrinvestition bei Dämmung mit nachwachsenden Rohstoffen gegenüber der vergleichbaren Variante mit konventionellem Dämmstoff enthalten. Bei den aufgelisteten Investitionen handelt es sich um die Gesamtinvestitionen.

Tabelle 8-6: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Gesamtmaßnahmen

konventioneller Dämmstoff:		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Gesamtinvestition brutto	€	204.000	226.700	279.100	322.400
Jahreskosten	€/a	8.285	9.387	12.367	14.916
st. Amortisationsdauer	a	41	42	48	53
alternativer Dämmstoff:		Variante 1a	Variante 2a	Variante 3a	Variante 4a
Gesamtinvestition brutto	€	238.100	282.900	325.400	378.600
Mehrinvestition gegen vergleichbare Variante mit herkömmlichen Dämmstoff	€	34.100	56.200	46.300	56.200
Jahreskosten	€/a	10.450	13.043	15.379	18.571
st. Amortisationsdauer	a	47	53	56	63

Um das eingesetzte Kapital wieder zurückzuwirtschaften ist bei statischer Betrachtung bei allen Varianten ein deutlich längerer Zeitraum als die rechnerische Nutzungsdauer von 30 Jahren erforderlich.

Bedingt durch die Mehrinvestition verlängert sich mit dem alternativen Dämmstoff Holzfaser die statische Amortisation je nach gewählter Variante um 6 – 11 Jahren.

Eine durchgeführte Sensitivitätsanalyse zeigt, dass der Verlauf der statischen Amortisation für die Varianten 1 und 2 mit Dämmung der Geschossdecken und der Außenwand bei dem herkömmlichen Dämmstoff nahezu identisch ist. Die Stärke der Dämmung für Geschossdecke und Außenwand hat bei diesen beiden Varianten daher kaum Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit (geringe Mehrinvestition bei zunehmender Dämmung). Bei zusätzlichem Austausch der Fenster im Schulanbau und der Türen verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit. Die Sensitivitätsanalyse verdeutlicht zudem, dass sich bei steigendem Heizölpreis die Wirtschaftlichkeit weniger stark ändert als bei fallendem Heizölpreis. Insgesamt können die Dämmmaßnahmen mit herkömmlichen Dämmstoff erst bei einer um ca. 30-40% günstigeren Investitionssumme bzw. einem um rund 40% höheren Heizölpreis eine Amortisationsdauer im Bereich der rechnerischen Nutzungsdauer erreichen.

Aufgrund der schneller steigenden Investitionssumme bei zunehmend stärkerer Dämmung hat beim alternativen Dämmstoff Holzfaser die Stärke der Dämmung für Geschossdecke und Außenwand (siehe Variante 1a und 2a) einen größeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Die bestehende Kesselanlage ist nicht dringend sanierungsbedürftig (Kessel Baujahr 1993). Allerdings liegt der Abgasverlust an Kessel 2 bei 10% und damit über dem ab dem 01. November 2004 zulässigen Wert in Höhe von 9%.

Darüber hinaus ist die Isolierung der in einem Bodenkanal verlegten Fernwärmeleitung in einem schlechten Zustand. Aufgrund von Hangwasser hat sich die Isolierung nahezu vollständig aufgelöst. Das Sanierungskonzept umfasst daher auch die Betrachtung verschiedener Wärmeversorgungsvarianten.

Als Vergleichsvariante dient eine zentrale Wärmeversorgung mit dem Energieträger Heizöl. Der Referenzvariante wurde eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpellets sowie eine dezentrale Wärmeversorgung mit Heizöl (Schule) und Holzpellets (Turnhalle und Kindergarten) gegenübergestellt. Die zentrale Wärmeversorgung berücksichtigt hierbei die Erneuerung der Nahwärmeleitung mit einem Kunststoff-Verbundmantelrohr für die direkte Erdverlegung (wasserdicht). Die Dimensionierung der Heizungsanlagen erfolgte auf Basis des reduzierten Wärmebedarfs nach den Gesamtmaßnahmen Variante 4 bzw. 4a.

Tabelle 8-7: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Heizungserneuerung

		Variante 1 Heizöl zentral	Variante 2 Holzpellets zentral	Variante 3 Heizöl/Holzpellets dezentral
Investition (brutto)	€	80.200	152.500	145.700
Förderung Bund	€		13.200	7.200
Investition mit Förderung			139.300	138.500
Jahreskosten	€/a	22.611	26.281	25.370
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	273.340	273.340	258.090
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	8,3	9,4	10,1

Die Referenzvariante zentraler Heizölkessel ist unter den getroffenen Randbedingungen die günstigste Versorgungsvariante. Bedingt durch die höhere Investition in die Maschinenteknik sowie in die Bautechnik für den Lagerraum und in Variante 3 für einen zusätzlichen Heizraum ergibt sich für die Pelletvarianten einschließlich der Bundesförderung ein höherer Wärmepreis.

Eine durchgeführte Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die beiden Varianten mit Holzpelletkessel aufgrund der höheren Investition empfindlicher auf eine sich ändernde Investitionssumme reagieren. Bei einer um rund 25% geringeren Investitionssumme der zentralen Holzpelletvariante bei gleichbleibender Investitionssumme der Referenzvariante ergibt sich für beide zentralen Varianten der gleiche Wärmepreis. Bei der dezentralen Variante müsste die Investitionssumme um ca. 40% geringer sein.

Bei Variation des Brennstoffpreises reagiert die Referenzvariante empfindlicher. Kann der Holzpelletpreis um rund 30% günstiger bezogen werden (ca. 104 €/t) bzw. erhöht sich der Heizölpreis um rund 20% (ca. 48 Ct/l) ergibt sich für beide zentralen Varianten in etwa der gleiche Wärmepreis.

Die Ergebnisse einer anhand einer CO₂-Bilanz durchgeführten ökologischen Betrachtung der Maßnahmen Dämmung und Heizungserneuerung zeigt die folgende Abbildung.

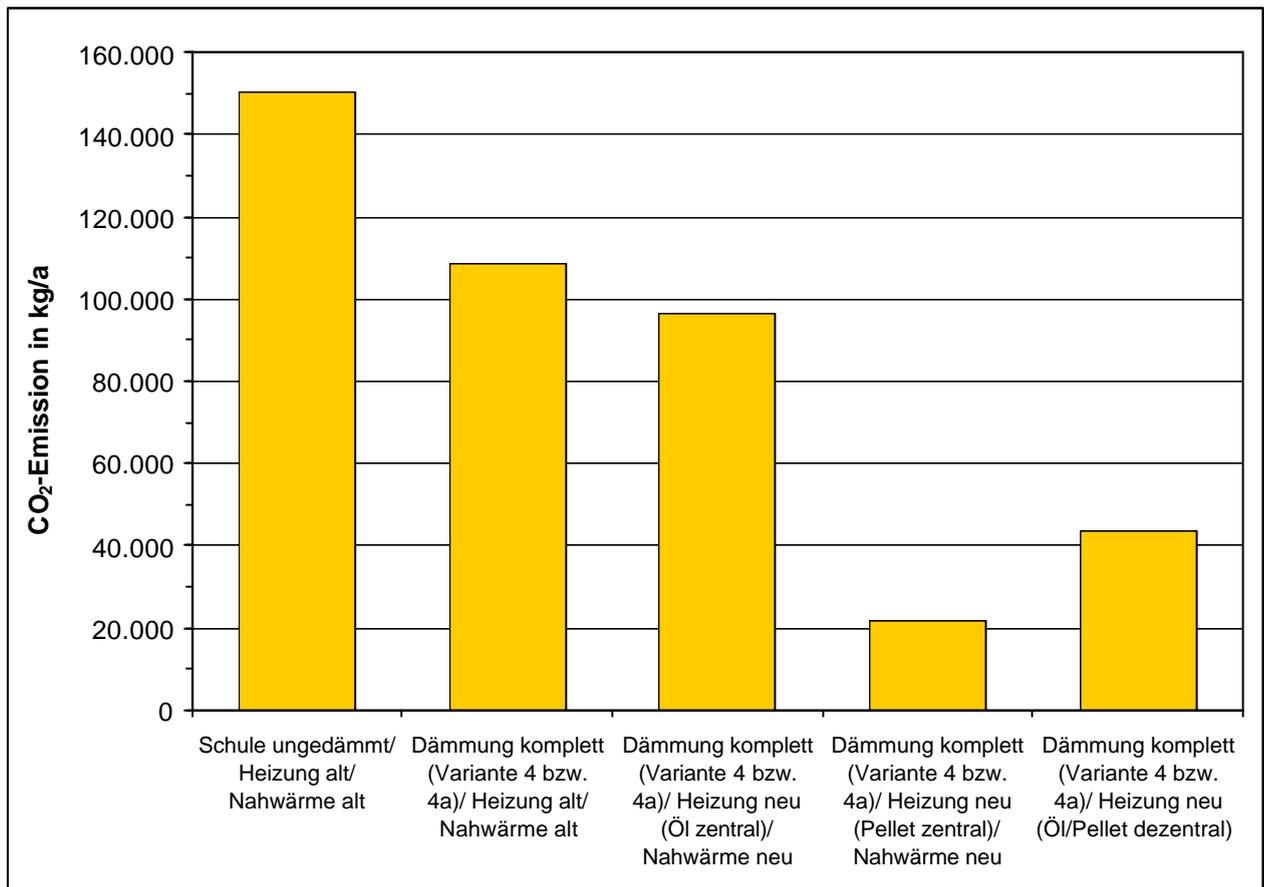


Bild 8-1: Ergebnis der CO₂-Bilanz für die Maßnahmen Dämmung und Heizungserneuerung

Im gegenwärtigen Ist-Zustand werden rund 150 t CO₂/a in die Umwelt abgegeben. Bei Durchführung der Dämmmaßnahmen nach den Varianten 4 bzw. 4a reduziert sich dieser Ausstoß auf ca. 109 t/a. Ein auf den neuen Wärmebedarf angepasster Heizkessel lässt mit einer neu verlegten Nahwärmeleitung den CO₂-Ausstoß weiter auf rund 96 t/a senken.

Mit einem Holzpelletkessel zur zentralen Wärmeversorgung kann einschließlich einer neuen Nahwärmeleitung dieser Ausstoß auf rund 22 t/a verringert werden. Dies entspricht einer Reduktion gegenüber dem Ist-Zustand von ca. 86%. Bedingt durch den Heizkessel zur Versorgung der Schule liegt die CO₂-Einsparung bei der dezentralen Versorgungsvariante gegenüber dem Ausgangszustand bei rund 71%.

Neben der Brennstoffeinsparung liegt im elektrischen Energieverbrauch weiteres Einsparpotential vor. Es wurden zusätzliche Möglichkeiten zur Verringerung des elektrischen Energieverbrauchs vorgeschlagen.

Im Zuge einer Erneuerung der Beleuchtung ist durch den Einsatz von Dreiband-Leuchtstofflampen mit Parabolspiegelraster und elektronischen Vorschaltgeräten eine Stromeinsparung möglich. Eine zusätzliche, tageslichtabhängige Beleuchtung der Flure würde zu weiteren Einsparungen führen.

Eine durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt jedoch, dass aufgrund der vergleichsweise hohen Investition bei geringen Benutzungsstunden die neue Beleuchtungsanlage über die Energieeinsparung nicht wirtschaftlich darstellbar ist.

Eine Alternative zur kompletten Erneuerung der Beleuchtung ist ein Adaptersystem der Firma GEM (Global-Energie-Management GmbH). Sie besteht aus einem EVG sowie einer T5-Leuchtstofflampe und wird einfach anstelle der alten T8-Leuchtstofflampe eingeklickt. Das alte Vorschaltgerät verbleibt im Gerät, der Starter wird entfernt.

Mit diesem Adaptersystem können die jährlichen Kosten für die Beleuchtung verringert werden. Allerdings wird hier Geld in eine alte Beleuchtungsanlage gesteckt.

Bei den eingebauten Umwälzpumpen handelt es sich überwiegend um Standardpumpen. Zum Teil sind noch unregulierte Pumpen eingebaut. Hier sollte überprüft werden, ob bei den Standardpumpen durch eine Reduzierung der Drehzahl die Beheizung der Räume gewährleistet bleibt. Für den Fall, dass ein Pumpenaustausch ansteht, bietet es sich an, neue Energiespar- bzw. Hocheffizienzpumpen einzusetzen. Die Mehrinvestitionen hierfür amortisieren sich über die Stromeinsparung innerhalb weniger Jahre.

Neben den Maßnahmen zur Energieeinsparung wurde der Einsatz von Anlagen zur Nutzung regenerativer Energie in Form von Solarstrahlung geprüft.

Es konnte festgestellt werden, dass der vergleichsweise geringe Warmwasserbedarf der Turnhalle in Verbindung mit den engen räumlichen Verhältnissen den Einsatz einer Solaranlage uninteressant macht.

Allerdings können die nach Süd-Osten bzw. nach Süd-Westen ausgerichteten Dachflächen der Schule und der Turnhalle zur Erzeugung von Fotovoltaikstrom verwendet werden. Eine überschlägige Dimensionierung ergab eine Fotovoltaikfläche von 710 m². Damit lassen sich jährlich rund 69.600 kWh_{el} erzeugen. Bedingt durch die Einspeisevergütung ergeben sich jährliche Überschüsse und die Anlagen rechnen sich je nach Leistungsgröße in 10-11 Jahren.

Fazit:

Das Schulgebäude muss aus bauphysikalischen Gründen mit einer Wärmedämmung (Außenwand, Geschossdecke) versehen werden. Die Untersuchung zeigt, dass die Mehrinvestition in eine stärkere Dämmung bei Geschossdecke und Außenwand im Verhältnis zur Gesamtinvestition gering ist und insbesondere beim herkömmlichen Dämmstoff kaum Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat. Es ist daher zu empfehlen, hier einen höheren Wärmedämmstandard als in der EnEV vorgeschrieben zu wählen.

In Verbindung mit der CO₂-Betrachtung zeigt die Untersuchung, dass aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpellets anzustreben ist.

Möglichkeiten zur Senkung des Stromverbrauchs liegen in der Erneuerung der Beleuchtung bzw. in der Verwendung von Adapterleuchten und einem optimierten Betrieb der überwiegend eingebauten Standardpumpen (Überprüfung Drehzahleinstellung). Bei einem anstehenden Pumpenaustausch sollten Energiespar- bzw. Hocheffizienzpumpen eingesetzt werden. Aufgrund der gegenwärtig hohen Vergütung von Fotovoltaikstrom (jährliche Degression von 5%) sollte der Bau einer Fotovoltaikanlage auf dem Schul- und/oder Turnhallendach seitens der Verbandsgemeinde angedacht werden.

9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Daten zur Heizungsanlage im Schulgebäude.....	6
Tabelle 2-2: Ermittlung des Jahreswärmebedarfs im Ist-Zustand.....	7
Tabelle 2-3: U-Werte für Ist-Zustand.....	8
Tabelle 2-4: Wärmebedarf Grundschule (Berechnung nach Monatsbilanzverfahren).....	8
Tabelle 2-5: Wärmebedarf Kindergarten.....	9
Tabelle 2-6: Wärmeverluste Nahwärmeleitung.....	9
Tabelle 2-7: Wärmebedarf Turnhalle.....	10
Tabelle 3-1: Dämmmaßnahme Obere Geschossdecke.....	12
Tabelle 3-2: Dämmmaßnahme Außenwand gegen Außenluft.....	13
Tabelle 3-3: Dämmmaßnahme Außenwand gegen Erdreich.....	13
Tabelle 3-4: Erneuerung Fenster.....	13
Tabelle 3-5: Wirtschaftlichkeit Geschossdecke mit konventionellem Dämmstoff (Polystyrol).....	15
Tabelle 3-6: Wirtschaftlichkeit Geschossdecke mit alternativem Dämmstoff (Holzfaser).....	16
Tabelle 3-7: Wirtschaftlichkeit Außenwand mit konventionellem Dämmstoff (Polystyrol).....	17
Tabelle 3-8: Wirtschaftlichkeit Außenwand mit alternativem Dämmstoff (Holzfaser).....	17
Tabelle 3-9: Wirtschaftlichkeit Austausch Fenster / Türen.....	18
Tabelle 3-10: Zusammenstellung der möglichen Dämmvarianten.....	19
Tabelle 3-11: Wärmebedarf und Wärmeleistung für die betrachteten Dämmvarianten bei konventionellem Dämmstoff.....	20
Tabelle 3-12: Wärmebedarf und Wärmeleistung für die betrachteten Dämmvarianten bei alternativem Dämmstoff.....	20
Tabelle 3-13: Wirtschaftlichkeit für die betrachteten Gesamtmaßnahmen mit konventionellem Dämmstoff.....	21
Tabelle 3-14: Wirtschaftlichkeit für die betrachteten Gesamtmaßnahmen mit alternativem Dämmstoff.....	22
Tabelle 4-1: Energiebilanz der Wärmeversorgungsvarianten.....	29
Tabelle 4-2: Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgungsvarianten.....	34
Tabelle 5-1: CO ₂ -Bilanz der betrachteten Maßnahmen (Dämmung, Wärmeerzeugung).....	37
Tabelle 6-1: Lichtstrom von Standard- und Dreibandenelektrofluoreszenzlampe.....	39
Tabelle 6-2: Leistungen einflammiger Leuchten mit unterschiedlichen Vorschaltgeräten.....	39
Tabelle 6-3: Wirtschaftlichkeit Erneuerung Beleuchtung.....	40
Tabelle 6-4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Retrolux-Adaptersystem.....	41

Tabelle 7-1: Warmwasserbedarf Turnhalle.....	44
Tabelle 7-2: Vergütung des Fotovoltaikstroms nach dem EEG, Stand 2004	47
Tabelle 7-3: Mögliche Fotovoltaikanlagen mit Wirtschaftlichkeit	49
Tabelle 8-1: Wärmeverbrauchswerte der betrachteten Gebäude	50
Tabelle 8-2: U-Werte im für verschiedene Dämmvarianten mit herkömmlichen Dämmstoff ..	51
Tabelle 8-3: Wirtschaftlichkeit Einzelmaßnahmen.....	52
Tabelle 8-4: Untersuchte Gesamtmaßnahmen.....	53
Tabelle 8-5: Wärmebedarf und Wärmeleistung für die betrachteten Gesamtmaßnahmen.....	53
Tabelle 8-6: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Gesamtmaßnahmen	54
Tabelle 8-7: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Heizungserneuerung.....	55

Abbildungsverzeichnis

Bild 2-1: Auszug aus dem Katasterplan für den Bereich Grundschule Körperich.....	4
Bild 2-2: Grundschule Altbau Grundschule Anbau.....	5
Bild 3-1: Verlauf der statischen Amortisation für konventionellen Dämmstoff bei Variation Investition und Heizölpreis	23
Bild 3-2: Verlauf der statischen Amortisation für alternativen Dämmstoff bei Variation Investition und Heizölpreis	24
Bild 4-1: Auszug aus dem Katasterplan mit neu eingezeichneter Nahwärmeleitung	26
Bild 4-2: Holzpellet-Heizung	27
Bild 4-3: Holzpellets.....	27
Bild 4-4: Holzhackschnitzel.....	28
Bild 4-5: Prinzip der Pelletsaustragung mittels Sauganlage.....	30
Bild 4-6: Lageplan mit Heiz- und Lagerraum (nicht maßstäblich)	31
Bild 4-7: Lageplan mit Heiz- und Lagerraum (nicht maßstäblich)	32
Bild 4-8: Verlauf des Wärmepreises bei Variation der Investition.....	35
Bild 4-9: Verlauf des Wärmepreises bei Variation des Brennstoffpreises	36
Bild 6-1: Beleuchtung Klassenzimmer Altbau und Anbau	38
Bild 6-2: Verteilstation Heizraum und Unterverteilung Turnhalle.....	42
Bild 6-3: Jährlicher Energieverbrauch einer Heizungspumpe (DN 30) mit Absenkbetrieb.....	43
Bild 7-1: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)	45
Bild 7-2: Zelltypen für Fotovoltaikmodule (Quelle: CD Solarenergie).....	45
Bild 7-3: Eine netzgekoppelte Anlage speist den Solarstrom ins öffentliche Netz ein	46
Bild 7-4: Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des	47
Bild 8-1: Ergebnis der CO ₂ -Bilanz für die Maßnahmen Dämmung und Heizungserneuerung.	56

10 Anhang

Bauteil Aufbau innen nach außen	Stärke mm	Wärmeleitfähigkeit W/mK	U-Wert W/m ² K	Bemerkung
Bodenplatte - Altbau			3,18	
PVC	4	0,140		
Zement-Estrich	56	1,400		
Stahlbeton	160	2,100		
Bodenplatte - Altbau Heizraum			4,06	
Stahlbeton	160	2,100		
Geschossdecke - Altbau			3,16	Tauwasserausfall < 1kg/m ² Fall B in DIN 4108 - 5 W _{Verd} > W _{Tau}
Kalk-Gips-Putz	15	0,700		
Stahlbeton	200	2,100		
Dachschräge - Altbau (Elternsprechzimmer)			2,61	
Kalk-Gips-Putz	15	0,700		
Holzwoleleichtbauplatte (bzw. Schilfrohmatten) ohne Dämmung	20 0	0,090		
Brüstung - Altbau			1,84	
Kalk-Gips-Putz	15	0,700		
Lochziegel	240	0,680		
Mauerwerk - Altbau			1,08	
Kalk-Gips-Putz	15	0,700		
Lochziegel	500	0,680		
Mauerwerk - Altbau gegen Erdreich			1,13	
Kalk-Gips-Putz	15	0,700		
Lochziegel	500	0,680		
Betonskelett - Altbau			2,99	Tauwasserausfall > 1kg/m ² Fall D in DIN 4108 - 5 W _{Verd} < W _{Tau}
Kalk-Gips-Putz	15	0,700		
Stahlbeton	300	2,100		
Fenstersturz - Altbau (in Betonskelett)			2,15	Tauwasserausfall > 1 kg/m ² Fall B in DIN 4108 - 5 W _{Verd} > W _{Tau}
Kalk-Gips-Putz	15	0,400		
Holzwoleleichtbauplatten (innen)	15	0,090		
Stahlbeton	225	2,100		
Fenstersturz - Altbau (in Mauerwerk)			2,03	Tauwasserausfall > 1 kg/m ² Fall B in DIN 4108 - 5 W _{Verd} > W _{Tau}
Kalk-Gips-Putz	15	0,700		
Holzwoleleichtbauplatten (innen)	15	0,090		
Stahlbeton	285	2,100		
Blumenfenster - Altbau				
Decke Blumenfenster			1,27	werden bei Sanierung abgerissen
Boden Blumenfenster			2,98	
Brüstung Blumenfenster			1,84	
Außenwand			1,72	
Fenster/Türen - Altbau				
Glasbausteine			3,50	
Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffprofilrahmen			1,50	
Eingang Schulhofseite - Einfachverglasung mit Alu-Profilrahmen (3x)			5,50	
Vorgebauter Windfang Hangseite				
Bodenplatte -Beton	160			wird bei Sanierung abgerissen
Bodenbelag Fliesen in Mörtel	70			
Verglasung/Eingangstüren - Stahlrahmen mit Einfachverglasung				
Decke WF -Beton	100			

Bauteil	Stärke mm	Wärmeleitfähigkeit W/mK	U-Wert W/m ² K	Bemerkung
Aufbau innen nach außen				
Bodenplatte - Anbau (Mehrzweckraum)			1,25	
PVC	4	0,140		
Zement-Estrich	46	1,400		
Mineralwolle	20	0,040		
Stahlbeton	150	2,100		
Bodenplatte - Anbau (WC's)			1,29	
Fliesen einschl. Kleber	15	1,300		
Zement-Estrich	35	1,400		
Mineralwolle	20	0,040		
Stahlbeton	150	2,100		
Bodenplatte gegen Außenluft - Anbau (überdachter Pausenraum)				
Werksteinplatten in Mörtel	70	0,170		
Stahlbeton	150	2,100		
Geschossdecke EG - Anbau überdachter Pausenraum (von unten nach oben)			1,60	
Holzkonstruktion auf offene Fugen gelegt mit aufliegend 80 mm				
Mineralwolle	1	0,400		da auf offene Fugen gelegt wird nur 1cm angesetzt
Stahlbeton	220	2,100		
Mineralwolle	0	0,040		
Zement-Estrich	46	1,400		
PVC	4	0,170		
Geschossdecke OG - Anbau (von unten nach oben)			0,43	
Stahlbeton	220	2,100		Wärmebrücke im Ranbereich
Mineralwolle	80	0,400		(Betonaufkantung)
Brüstung - Anbau			1,09	
2-lag. Kalkputz				
15	0,700			Tauwasserausfall > 1 kg/m ² Fall B in DIN 4108 - 5 W _{Verd} < W _{Tau}
Holzwolleleichtbauplatte (innen)				
50	0,090			
Stahlleichtbeton (1600 kg/m ³)				
150	1,000			
2-lag. Kalkputz				
20	1,000			
Brüstung - Anbau EG hinten			1,53	
2-lag. Kalkputz				
15	0,700			
MZ 150				
300	0,680			
2-lag. Kalkputz				
20	1,000			
Brüstung - Anbau EG vorne			1,77	
2-lag. Kalkputz				
15	0,700			
MZ 150				
240	0,680			
2-lag. Kalkputz				
20	1,000			
Mauerwerk - Anbau			1,34	
2-lag. Kalkputz				
15	0,700			
MZ 150				
365	0,680			
2-lag. Kalkputz				
20	1,000			
Betonskelett - Anbau			2,99	
2-lag. Kalkputz				
15	0,700			Tauwasserausfall > 1 kg/m ² Fall D in DIN 4108 - 5 W _{Verd} < W _{Tau}
Stahlbeton				
300	2,100			
Betonskelett - Anbau verputzt			2,82	
2-lag. Kalkputz				
15	0,700			Tauwasserausfall > 1 kg/m ² Fall D in DIN 4108 - 5 W _{Verd} < W _{Tau}
Stahlbeton				
300	2,100			
2-lag. Kalkputz				
20	1,000			
Betonskelett - Anbau verputzt			3,07	
2-lag. Kalkputz				
15	0,700			Tauwasserausfall > 1 kg/m ² Fall D in DIN 4108 - 5 W _{Verd} < W _{Tau}
Stahlbeton				
240	2,100			
2-lag. Kalkputz				
20	1,000			
Fenstersturz - Anbau			1,84	
Stahlbeton				
200	2,100			
Holzwolleleichtbauplatten				
25	0,090			
Fenster - Anbau			3,70	
Zweischeibenverglasung mit Aluminiumrahmen				
Türen - Anbau			5,50	
Toilettentüren - Einfachverglasung mit Alu-Profilrahmen (2x)				