

Optimiertes Sanierungskonzept für die Grund- und Hauptschule St. Hildegardis in Mettendorf

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

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

Leiter: Prof. Dr. Ralf Simon
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
 Telefon: 06721 / 409 229
 Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs
 Telefon: 06721 / 409 218
Telefax: 06721 / 409 129
Homepage: <http://tsb.fh-bingen.de>

Projektnummer: 985

Datum: 16.12.2004



Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs



Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz



Prof. Dr. Ralf Simon

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Ist-Analyse	4
3	Optimierung des Wärmedämmstandards	9
3.1	Wärmedämmstandard Energieeinsparverordnung (EnEV).....	10
3.2	3-Liter-Haus-Standard.....	15
3.3	Passivhaus-Standard	24
4	Vorschläge zur Energieeinsparung	25
5	Solarthermische Anlage	28
6	Fotovoltaikanlage	30
7	Zusammenfassung.....	35
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	39
	Anhang	41

1 Einleitung

Die Grund- und Hauptschule St. Hildegardis in Mettendorf wurde 1967/68 zusammen mit einer Turnhalle errichtet und durch einen Anbau 1987/88 erweitert. Der Wärmedämmstandard des Schulkomplexes entspricht noch den damals gültigen Anforderungen.

In diesem optimierten Sanierungskonzept wird untersucht, mit welchen Maßnahmen der Wärmedämmstandard des Hauptschulgebäudes verbessert werden kann.

Dazu wird zunächst in der Ist-Analyse der derzeitige Wärmebedarf anhand einer Wärmebedarfsberechnung ermittelt. Ergänzend dazu werden Brennstoffverbrauch und Kenndaten der installierten Heizungsanlage dokumentiert.

Auf der Wärmebedarfsberechnung für den Ist-Zustand baut die Untersuchung zur Verbesserung des Wärmedämmstandards auf. Zunächst ist der in der EnEV vorgegebenen Dämmstandard zu erreichen. Weitere Ziele sind der 3-Liter-Haus-Standard und der Passivhaus-Standard, die eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erfordern. Die sich daraus ergebenden Einsparungen sind nicht auf den tatsächlichen Brennstoffverbrauch übertragbar, da die Berechnungen auf den Standards beruht.

Die Bewertung der einzelnen Maßnahmen erfolgt anhand einer Wirtschaftlichkeit. Dazu wird das Energie-Einsparpotential den Wärmedämmkosten gegenübergestellt. Im Zuge dieser Betrachtung werden die Einsatzmöglichkeiten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen geprüft und deren Mehrkosten gegenüber konventionellen Stoffen ermittelt. In einer Maßnahmenliste werden die einzelnen Maßnahmen und die zugehörige Wirtschaftlichkeit zusammengefasst.

Neben den Energie-Einsparmöglichkeiten durch Erhöhung des Wärmedämmstandards werden auch Vorschläge zur Reduzierung des Stromverbrauchs genannt.

Im Konzept werden außerdem die Einsatzmöglichkeiten einer solarthermischen Anlage und einer Fotovoltaikanlage auf den vorhandenen Dachflächen geprüft. Dazu werden die möglichen Dachflächen und der zu erwartende Ertrag für die verschiedene Technik genannt.

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

2 Ist-Analyse

Das Gebäude der Hauptschule besteht aus einem dreigeschossigen Hauptgebäude, das unterkellert ist, mit einem Westflügel, der nicht unterkellert ist, und einem Ostflügel, der teilweise unterkellert ist. Dieser Altbau wurde 1967/68 errichtet. Am Ostflügel schließen sich die Umkleieräume und die Turnhalle an. Die Grundschule wurde 1987/88 an die Südseite der Hauptschule angebaut.

Die Wärmeversorgung des Schulkomplexes erfolgt über eine Heizungsanlage. Es sind zwei heizölbefeuerte Heizkessel installiert. Aus Gründen der Versorgungssicherheit wurde der Heizkessel aus der Erstausrüstung nicht demontiert sondern als Reservekessel vorgehalten. Der Heizkessel mit Baujahr 1986 dient der Wärmeversorgung der gesamten Gebäudes. Der Lagerraum der Heizöltanks mit 80.000 l befindet sich neben dem Heizraum im Kellergeschoss des Hauptgebäudes.

	Heizkessel 1	Heizkessel 2 (Reservekessel)
Fabrikat, Bezeichnung	Buderus Omnicall 651	Buderus Lollar 45
Wärmeleistung	750 kW _{th}	480 kW _{th}
Baujahr	1986	1972
Abgasverluste	4,8 % (04.03.02)	7 % (05.03.04)
Brenner		
Fabrikat	Weishaupt L5Z	Weishaupt L5Z
Baujahr	1987	1992
Leistung	15 - 70 kg/h	15 - 70 kg/h

Die Unterverteilstation für die Heizkreise der Turnhalle befindet sich im Kellerraum unter dem Ostflügel. Für die Warmwasserbereitung befindet sich ein 1.500 l-fassender Trinkwarmwasserspeicher in Heizraum, während das Warmwasser über eine Zirkulationsleitung zur Turnhalle geführt wird.

Fabrikat, Bezeichnung	AB Thermia
Typ	18 S1500
Speichervolumen	1.500 l

Aus dem vorliegenden Heizölverbrauch nach den Ölstandsmessungen des Hausmeisters von 1998 bis 2002 wird der Wärmebedarf der Grund- und Hauptschule mit Turnhalle zunächst überschlägig berechnet. Die Heizkesselanlage dient sowohl der Raumheizung als auch der Warmwasserbereitung, sodass der Wärmebedarf und die Wärmeleistung zunächst nur für beide Wärmeabnehmer angegeben werden kann.

Heizölverbrauch, gemittelt 1998 - 2002	56.000 l/a
Heizölverbrauch, gemittelt 1998 - 2002	560.000 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	89 %
Wärmebedarf	500.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	750 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	667 h/a
beheizte Fläche	4.400 m ²
spez. Wärmebedarf	113 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Heizleistung	170 W _{th} /m ²

Tabelle 2-1 Ist-Daten zur Wärmeversorgung (Raumheizung + Warmwasserbereitung)

Die spezifische Wärmeleistung von 170 W_{th}/m² und die niedrigen Vollbenutzungsstunden des installierten Heizkessels deuten auf eine Überdimensionierung hin. Für die Dimensionierung der neuen Heizzentrale ist dies zu berücksichtigen. Gebäudetypische Werte liegen bei 70 bis 110 W_{th}/m² und für schlecht gedämmte Gebäude bei 120 bis 150 W_{th}/m².

Da der gebäudetypische Verbrauchswert sich nur auf die Raumheizung bezieht und die Warmwasserbereitung nicht einbezieht, wird der Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung für die Turnhalle überschlägig ermittelt.

Zur Warmwasserbereitung befindet sich ein 1.500 l-fassender Trinkwarmwasserspeicher im Heizraum, der eine Speichertemperatur von rund 60°C aufweist. Daraus ergibt sich eine Speicherkapazität von 87 kWh_{th}. Mit einer angenommenen Speicherladezeit von rund 2 Stunden wird eine Wärmeleistung von 50 kW_{th} benötigt.

Mit dem Heizölverbrauch im Sommer und den Angaben zur Turnhallennutzung durch Vereine wird der Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung zu ca. 20.000 kWh_{th}/a ermittelt.

Mithilfe der Ermittlung des Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung kann der Wärmebedarf zur Raumheizung des Schulkomplexes abgeschätzt werden.

Die daraus resultierenden Daten zur Wärmeversorgung sind in der Tabelle 2-2 aufgeführt.

Wärmebedarf, gesamt	500.000 kWh _{th} /a
Wärmebedarf Warmwasserbereitung	20.000 MWh _{th} /a
Wärmebedarf Raumheizung	480.000 MWh _{th} /a
Wärmeleistung Heizkessel	750 kW _{th}
Wärmeleistung Warmwasserbereitung	50 kW _{th}
Wärmeleistung Raumheizung	700 kW _{th}
beheizte Fläche	4.400 m ²
spez. Wärmebedarf Raumheizung	109 kWh _{th} /m ² a
spez. Wärmeleistung Raumheizung	159 W _{th} /m ²
Vollbenutzungsstunden Raumheizung	686 h/a
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Grundschule/Hauptschule Richtwert	75 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmebedarf Grundschule/Hauptschule Mittelwert	110 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. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ² ²
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 - 1.370 h/a ²
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a ²

Tabelle 2-2 Wärmebedarf Raumheizung und Warmwasserbereitung des Schulkomplexes

Die niedrigen Vollbenutzungsstunden und die hohe, spezifische Wärmeleistung deuten im Vergleich zu gebäudetypischen Werten auf eine Überdimensionierung der Heizkesselanlage hin.

Mittelfristig ist eine Erneuerung der vorhandenen Heizkesselanlage notwendig. Für die Erneuerung sollte die Auslegung der Nennwärmeleistung nach der Wärmebedarfsberechnung erfolgen, dies gilt insbesondere nach Abschluss von Maßnahmen zur Verbesserung des Dämmstandards.

¹ VDI 3807 Blatt 2 Energieverbrauchskenwerte für Gebäude, Juni 1998

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

Mithilfe eines Rechenprogramms und den zur Verfügung gestellten Unterlagen wird eine Wärmebedarfsberechnung für das Gebäude der Hauptschule durchgeführt. Darauf basieren auch die weiteren Untersuchungen zur Verbesserung des Wärmedämmstandards.

In der Tabelle 2-3 sind die durchschnittlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für die Bauteile angegeben. Im Anhang kann der Aufbau der Bauteile und der zugehörigen U-Wert entnommen werden.

Bauteil	U-Wert in W/(m ² K)
Außenwände	1,72
außenliegende Fenster, Fenstertüren	4,08
Außentüren	4,44
oberste Geschossdecke	0,93
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,96

Tabelle 2-3 U-Werte für Ist-Zustand

Für den Ist-Zustand sind die Ergebnisse der Wärmebedarfsberechnung nach dem Monatsbilanzverfahren in der Tabelle 2-4 aufgeführt.

Wärmebedarf Raumheizung Hauptschule	528.700 kWh _{th} /a
Wärmeleistung Raumheizung Hauptschule	288 kW _{th}
beheizte Fläche	2.800 m ²
spez. Wärmebedarf Raumheizung Hauptschule	189 kWh _{th} /m ² a
spez. Wärmeleistung Raumheizung Hauptschule	103 W _{th} /m ²
Vollbenutzungsstunden Raumheizung Hauptschule	1.836 h/a
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Hauptschule	75 - 250 kWh _{th} /m ² a ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ² ¹
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 - 1.370 h/a ¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a ¹

Tabelle 2-4 Wärmebedarf Hauptschule

¹ Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

Der Vergleich der Ergebnisse aus der Wärmebedarfsberechnung für die Hauptschule mit dem Wärmeverbrauch ist nicht möglich, da nur der Heizölverbrauch des gesamten Schulkomplexes vorliegt.

Der Wärmeverbrauch der Grundschule wird über zwei Wärmemengenzähler erfasst, sodass damit der Wärmeverbrauch der Hauptschule mit Turnhalle ermittelt werden kann. Die Aufteilung des Wärmeverbrauchs getrennt nach Hauptschule und Turnhalle ist nicht möglich.

Nach den wöchentlichen Aufzeichnungen der Wärmemengenzählerstände in der Grundschule ergibt sich ein mittlerer Wärmeverbrauch von 29.000 kWh_{th}/a für 1998 bis 2002. Dies entspricht einem spezifischen Wärmeverbrauch von 34 kWh_{th}/m²a, was für ein in den 80er Jahren errichtetes Gebäude nicht plausibel ist. Hier sollte geprüft werden, welcher Zählerstand in welcher Einheit notiert wird.

Da der Wärmeverbrauch der Turnhalle nicht erfasst wird und der Wärmeverbrauch der Grundschule nicht herangezogen werden kann, ist für den Wärmebedarf nur der Vergleich mit gebäudetypischen Werten möglich.

Um in der weiteren Betrachtung dieselbe Vergleichsgrundlage zu erhalten, erfolgt die Wärmebedarfsberechnung für die unterschiedlichen Dämmstandards nach DIN 4108-6 und den Vorgaben der Energieeinsparverordnung. Aufgrund des Nutzerverhaltens liegt der tatsächliche Wärmeverbrauch der Hauptschule unterhalb des berechneten Wertes und wird hier nicht näher betrachtet.

3 Optimierung des Wärmedämmstandards

Die Dokumentation des derzeitigen Wärmedämmstandard für das Hauptschulgebäude ist die Grundlage für die Optimierung des Wärmedämmstandards.

Zunächst wird untersucht, mit welchen Maßnahmen der in der Energieeinsparverordnung vorgeschriebene Standard erreicht werden kann. Darauf baut die Untersuchung des höheren Wärmedämmstandards im 3-Liter-Haus-Standard und im Passivhaus-Standard auf.

Für die Dämmmaßnahmen wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Dazu werden nur die Investitionskosten angerechnet, die sich direkt auf die Verbesserung des Dämmstandards beziehen. Investitionskosten, die auch für Instandsetzungsmaßnahmen wie z. B. Gerüstkosten aufzuwenden sind, werden nicht berücksichtigt.

Die Bewertung der Dämmstandards erfolgt mithilfe der statischen Amortisationsdauer, die sich aus den eingesparten Brennstoffkosten und der aufzuwendenden Investitionskosten berechnet. Da durch das Nutzerverhalten im Ist-Zustand deutlich weniger Wärme verbraucht wird als die Wärmebedarfsberechnung ermittelt, werden die eingesparten Brennstoffkosten bei Umsetzung der Maßnahmen unter den nach den Vorgaben der Energieeinsparverordnung berechneten Werten liegen.

3.1 Wärmedämmstandard Energieeinsparverordnung (EnEV)

In der Energieeinsparverordnung sind die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen angegeben.

Es gelten folgende Werte für Gebäude mit normalen Innentemperaturen:

Außenwände	0,35 W/(m²K)
außenliegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster	1,70 W/(m²K)
Außentüren	2,90 W/(m²K)
Decken, Dächer, Dachschrägen	0,30 W/(m²K)
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,40 W/(m²K)

Die durchschnittlichen U-Werte der Bauteile, deren Aufbau aus dem Anhang zu entnehmen ist, sind in der Tabelle 3-1 angegeben.

Bauteil	Maßnahme	U-Wert in W/(m²K)
Außenwände	8 cm WDVS	0,82
außenliegende Fenster, Fenstertüren	neue Fenster mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung	1,70
Außentür	neue Leichtmetallrahmentür mit Verglasung	2,36
oberste Geschossdecke	12 cm Mineralfaserdämmung	0,28
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	4 cm Polystyrol	0,58

Tabelle 3-1 U-Werte für EnEV-Standard

Für die Außenwände liegt der durchschnittliche U-Wert höher als in der Vorgabe, da die Stahlbetonpfeiler zwischen den Fenstern nicht gedämmt werden können.

Bis auf den Westflügel mit der Verwaltung und ein Teil der Pausenhalle im Ostflügel ist das Hauptschulgebäude unterkellert. Dort kann die Kellerdecke von unten gedämmt werden. Da auf die Bodenplatte nicht mehr nachträglich eine Dämmschicht aufgetragen werden kann, ergibt sich ein höherer, durchschnittlicher U-Wert als in der EnEV vorgegeben wird. Eine Möglichkeit zur nachträglichen Dämmung der Bodenplatte stellt der Einsatz von Vakuumdämmplatten dar, hierzu ist der vorhandene Aufbau der Bodenplatte auf die Eignung zu prüfen.

Der Wärmebedarf und die Wärmeleistung des Standards nach der EnEV sind aufgeführt.

Wärmebedarf EnEV-Standard	241.900 kWh _{th} /a
Wärmeleistung EnEV-Standard	153 kW _{th}
beheizte Fläche	2.800 m²
spez. Wärmebedarf EnEV-Standard	86 kWh _{th} /m²a
spez. Wärmeleistung EnEV-Standard	55 W _{th} /m²

Tabelle 3-2 Ergebnisse EnEV-Standard

Der geringere Jahresheizwärmebedarf führt zu einem niedrigeren Heizölverbrauch und damit zu geringeren Kohlendioxid-Emissionen. Es werden ca. 102 t CO₂/a eingespart.

Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für die Dämmmaßnahmen die Investitions- und Kapitalkosten überschlägig ermittelt. Es werden sowohl die Kosten herangezogen, die zu einer Verbesserung des Dämmstandards führen als auch Kosten, die bei Instandhaltungsmaßnahmen vorliegen, wie z. B. Gerüst, Putzerneuerung oder Entsorgung alter Fenster.

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Dämmmaßnahmen für die einzelnen Bauteile separat betrachtet, sodass für jede Maßnahme die zugehörige Amortisationsdauer angegeben werden kann. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich eine höhere Einsparung, weil sich die Lüftungswärmeverluste aufgrund einer Verbesserung der Luftdichtheit durch die Dämmung der Gebäudehülle gegenüber dem Ist-Zustand verringern und so ebenfalls zu einer Einsparung führen.

Die Kapitalkosten berechnen sich nach der Annuitätenmethode mit 5 % Zinssatz und 30 Jahren rechnerischer Nutzungsdauer. Anhand des reduzierten Wärmebedarfs wird die eingesparte Heizölmenge und somit die eingesparten Brennstoffkosten mit einem spezifischen Heizölpreis von 0,44 €/l inkl. MwSt. gegenüber dem Ist-Zustand ermittelt.

		Außenwand	Fenster und Türen	oberste Geschossdecke	Kellerdecke / Bodenplatte	Gesamt
Investition	€	176.300	319.300	37.300	14.700	547.600
Kapitalkosten	€/a	11.469	20.771	2.426	956	35.622
Einsparung	€/a	3.115	8.138	2.056	909	17.142
Jahreskosten	€/a	8.354	12.633	370	47	18.480
stat. Amortisation	a	56,6	39,2	18,1	16,2	31,9

Tabelle 3-3 Wirtschaftlichkeit EnEV-Standard

Die Dämmung der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke amortisieren sich innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer. Die Gesamtmaßnahme erreicht mit einer Amortisationsdauer von 31,9 Jahren fast die Wirtschaftlichkeit. Eine Außenwanddämmung und eine Erneuerung der Fenster und der verglasten Türen sind dann wirtschaftlich, wenn sie im Rahmen der Gebäudeinstandhaltung ausgetauscht werden müssen.

Neben dem Einsatz konventioneller Dämmstoffe wie z. B. Mineralwolle oder Polystyrol können auch Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie z. B. Holzfaserdämmplatten oder Flachsdämmstoffe eingesetzt werden.

Mehrinvestition

Außenwand	15.200 €
oberste Geschossdecke	19.000 €
Kellerdecke	8.400 €

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beim Einsatz solcher Dämmstoffe sind aus der Tabelle 3-4 zu entnehmen.

		Außenwand	oberste Geschossdecke	Kellerdecke / Bodenplatte
Investition	€	191.500	56.300	23.100
Kapitalkosten	€/a	12.457	3.662	1.503
Einsparung	€/a	2.866	2.056	910
Jahreskosten	€/a	9.591	1.606	593
stat. Amortisation	a	66,8	27,4	25,4

Tabelle 3-4 Wirtschaftlichkeit EnEV-Standard
mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Durch die Mehrinvestition für Holzfaserdämmstoffe stellt sich die Wirtschaftlichkeit ungünstiger dar. Die Dämmung der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke amortisieren sich aber noch innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer.

Sensitivität

Da sich die Maßnahmen über die eingesparten Heizölkosten amortisieren, wird eine Sensitivitätsanalyse für den Jahresüberschuss und die statische Amortisationsdauer abhängig von niedrigeren und höheren Brennstoffpreisen untersucht. Die Ergebnisse sind als Diagramm abgebildet.

Heizölpreis -40 % in €/l	Heizölpreis 0 % in €/l	Heizölpreis +40 % in €/l
0,26	0,44	0,62

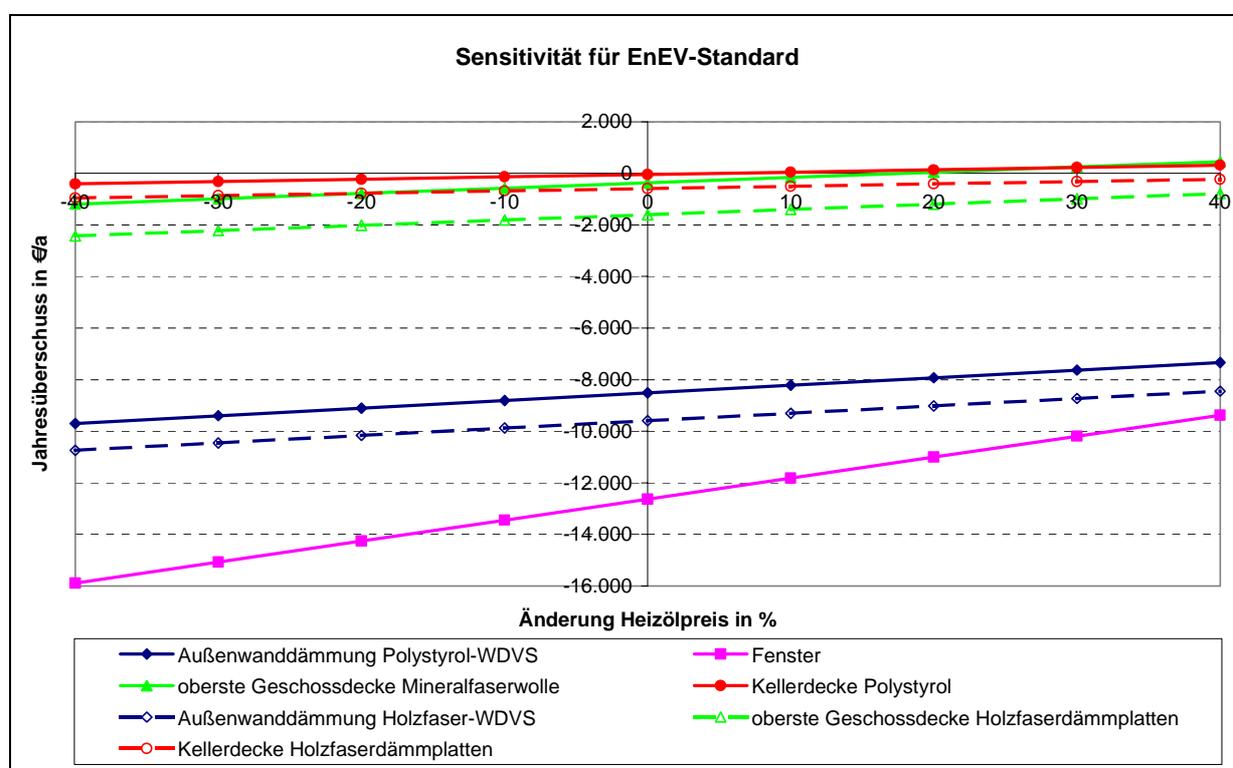


Abbildung 3-1 Sensitivität Jahresüberschuss, EnEV-Standard

		oberste Geschossdecke Mineralfaserwolle	Kellerdecke Polystyrol
Preisänderung	%	+ 18	+ 5
spez. Heizölpreis	€/l	0,46	0,52
Jahresüberschuss	€/a	0	0

Tabelle 3-5 Sensitivität Jahresüberschuss, EnEV-Standard

Die Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke erwirtschaftet schon mit einem um ca. 5 % bzw. 18 % höheren Heizölpreis einen Jahresüberschuss. Durch die Außenwanddämmung und den Fensteraustausch wird kein Überschuss im betrachteten Bereich erreicht.

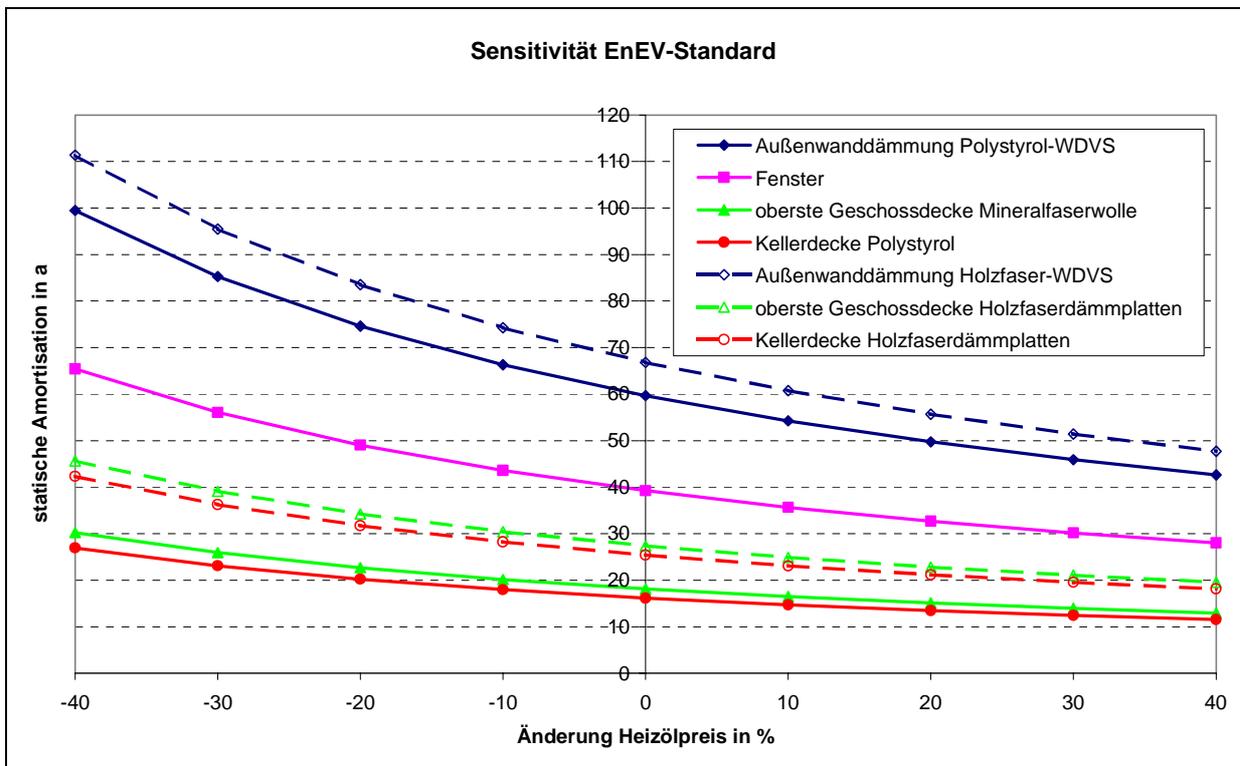


Abbildung 3-2 Sensitivität statische Amortisation, EnEV-Standard

	Fenster	oberste Geschossdecke Mineralfaserwolle	oberste Geschossdecke Holzfaserdämmung	Kellerdecke Polystyrol	Kellerdecke Holzfaserdämmung
Preisänderung %	+ 30	- 40	- 10	- 53	- 16
spez. Heizölpreis €/l	0,57	0,26	0,40	0,23	0,40
statische Amortisation a	30	30	30	30	30

Tabelle 3-6 Sensitivität statische Amortisation, EnEV-Standard

Die Abbildung zeigt, dass sich unterhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 30 Jahren nur die Dämmung der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke statisch amortisieren. Die Fenster amortisieren sich innerhalb von 30 Jahren, wenn eine Heizölpreissteigerung von ca. 30 % vorliegt.

3.2 3-Liter-Haus-Standard

Der 3-Liter-Haus-Standard bedeutet, dass der Wärmedämmstandard so niedrig ist, dass unter der Annahme, dass Heizöl als Energieträger eingesetzt wird, mit 3 Liter Heizöl je m² beheizte Fläche das Gebäude beheizt werden kann. Ein 3-Liter-Haus wird in der Literatur auch als Niedrigstenergiehaus bezeichnet.

Zum Vergleich entspricht das Schulgebäude im Ist-Zustand nach der Wärmebedarfsberechnung einem 18,9-Liter-Haus, während mit dem EnEV-Standard ein 8,6-Liter-Haus erfüllt werden müsste.

Die durchschnittlichen U-Werte der Bauteile, deren Aufbau aus dem Anhang zu entnehmen ist, sind in der Tabelle 3-7 angegeben.

Bauteil	Maßnahme	U-Wert in W/(m ² K)
Außenwände	30 cm WDVS WLG 035	0,64
außenliegende Fenster, Fenstertüren	neue, passivhausgeeignete Fenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung	0,70
Außentür	neue, passivhausgeeignete Leichtmetallrahmentür mit Verglasung	0,64
oberste Geschossdecke	30 cm Mineralfasserdämmung WLG 035	0,10
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	6 cm Vakuumdämmplatten	0,36

Tabelle 3-7 U-Werte für 3-Liter-Haus-Standard

Für die Außenwände ergibt sich ein verhältnismäßig hoher, durchschnittlicher U-Wert, da die Stahlbetonpfeiler zwischen den Fenstern nicht gedämmt werden können.

Auch der U-Wert für Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich liegt relativ hoch, da nur im Bereich der Teilunterkellerung eine Dämmung der Kellerdecke möglich ist und die Bodenplatte unverändert bleibt.

Außerdem ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zur kontrollierten Be- und Entlüftung erforderlich. Es wird angenommen, dass 85 % der Wärme zurückgewonnen werden kann, was einen üblichen Wert darstellt.

Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Das Hauptschulgebäude bietet durch den vorhandenen Keller und Dachraum ausreichend Platz zur nachträglichen Installation einer zentralen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Die Lüftungszentrale kann im Keller untergebracht werden. Von dort können die Verteilleitungen durch den Keller verlegt werden. Für den nichtunterkellerten Anbau Westflügel ist die Verteilung über den Dachraum möglich.

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

Es ist sinnvoll, die Zuluft in die Klassen- und Aufenthaltsräume zu zuführen, wo sie benötigt wird, und die Abluft über die Flure und WCs abzuführen. Die Klassenräume im Hauptgebäude liegen nebeneinander, sodass für zwei Klassenräume eine Verteilleitung für die beiden Versorgungsleitungen ausreicht. Auf dieser Basis erfolgt die Auslegung der Lüftungsanlage.

beheiztes Luftvolumen Klassen	4.107 m ³
Luftwechsel	4 - 5 1/h
Mindestaußenluftstrom	16.500 m ³ /h

Mit 30 m³/h Mindestaußenluft rate pro Person reicht der ermittelte Volumenstrom für 550 Personen.

In der Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4 ist das Lüftungsschema eines Schulneubaus, der im Passivhausstandard errichtet wurde, schematisch dargestellt.

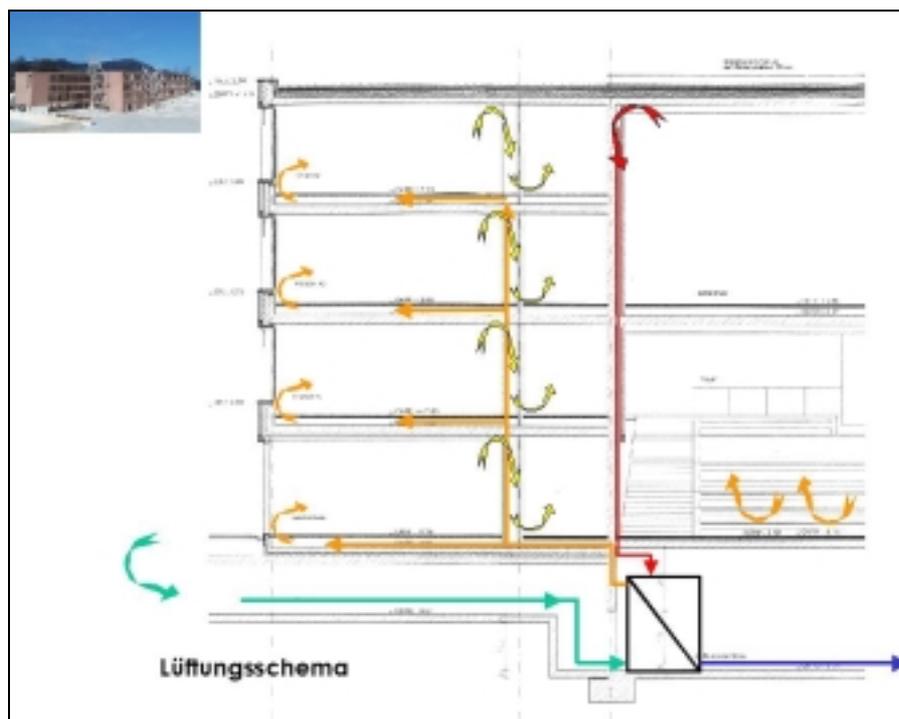


Abbildung 3-3 Lüftungsschema in Schnittdarstellung der Justus von Liebig Schule Waldshut
(Quelle: Kuhlmeiy, Leiter des Amtes für Schulwesen und Liegenschaften beim Landratsamt Waldshut)

In dem Schulneubau wird die Zuluft über sogenannte Druckböden in die Klassenräume geführt und tritt an der Fensterfront aus Drallauslässen aus.

Für das bestehende Hauptschulgebäude in Mettendorf ist dies nicht möglich. Dort kann die Zuluft über Wandauslässe in die Klassenräume geführt werden.

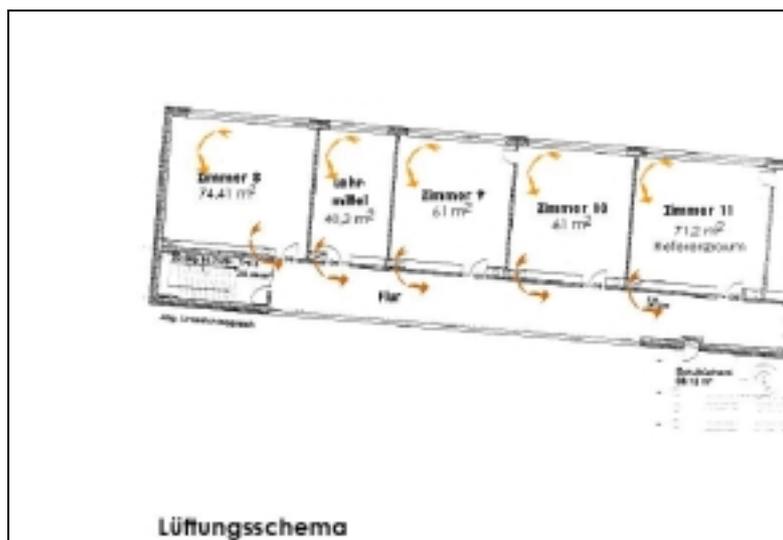


Abbildung 3-4 Lüftungsschema im Grundriss der Justus von Liebig Schule Waldshut
(Quelle: Kuhlmeier, Leiter des Amtes für Schulwesen und Liegenschaften beim Landratsamt Waldshut)

Die Abbildung 3-4 zeigt, dass die Abluft aus den Klassenräumen über die Flure abgeführt wird, was sich auch für das Hauptschulgebäude anbietet.

Neben der Reduzierung der Lüftungswärmeverluste durch die Wärmerückgewinnung in der Lüftungsanlage zeigt sich aus hygienischer Sicht ein weiterer Vorteil gegenüber einer Fensterlüftung.

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

Eine stichprobenartige Messung¹ der CO₂-Konzentration in einem Klassenraum eines Gymnasiums ergab, dass trotz gekippter Fenster die Pettenkofer-Zahl schon nach 15 Minuten überschritten wurde. Die Lüftung des Klassenraums mit vollständig geöffneten Fenstern während der großen Pause führte zum Absinken der CO₂-Konzentration, die gegen Ende der Unterrichtsstunde die Pettenkofer-Zahl deutlich überschritt.

Die Konzentrationsentwicklung zeigt, dass für Klassenräume eine gute Durchlüftung bei natürlicher Lüftung nur durch regelmäßiges Öffnen der Fenster innerhalb kurzer Zeitabschnitte ausreichend durchgeführt werden kann.

¹ Transferstelle Bingen: Vorbildhaftes Sanierungskonzept für Schulen in Verbindung mit einer Nahwärmeversorgung am Standort Daun, Bingen, 2002

Die Dichtigkeit des Gebäudes insbesondere der Fenster beeinflusst die Infiltration. Ein ziemlich luftundurchlässiges Gebäude besitzt eine Luftwechselrate von etwa 0,1 1/h, was für ein 3-Liter-Haus zutrifft. Im Vergleich dazu weisen undichte Gebäude einen zweifachen oder höheren Luftwechsel auf. Durch das Öffnen des Fenster kann sich eine Luftwechselrate von rund 10 1/h einstellen. Um eine ausreichend hohe Luftwechselrate bei gleichzeitig geringen Wärmeverlusten zu erhalten, ist eine Be- und Entlüftungsanlage für ein 3-Liter-Haus unerlässlich. Verschiedene Untersuchung zur Luftqualität in Klassenräumen zeigen, dass eine kontrollierte, mechanische Be- und Entlüftungsanlage zu CO₂-Konzentration unterhalb der Pettenkofer-Zahl führen.

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

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

In der Tabelle 3-8 ist der Wärmebedarf und die Wärmeleistung des 3-Liter-Haus-Standards aufgeführt.

Wärmebedarf 3-Liter-Haus-Standard	83.100 kWh _{th} /a
Wärmeleistung 3-Liter-Haus-Standard	104 kW _{th}
beheizte Fläche	2.800 m ²
spez. Wärmebedarf 3-Liter-Haus-Standard	30 kWh _{th} /m ² a
spez. Wärmeleistung 3-Liter-Haus-Standard	37 W _{th} /m ²

Tabelle 3-8 Ergebnisse 3-Liter-Haus-Standard

Mit diesen Maßnahmen zur Erhöhung des Dämmstandards kann der spezifische Wärmebedarf auf etwa 30 kWh_{th}/m²a, was einem 3,0 -Liter-Haus entspricht, absinken.

Nicht nur Dämmmaßnahmen und der Einsatz einer Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmehückgewinnung führen zum 3-Liter-Haus-Standard. Ein weiterer wichtiger Faktor stellen die Wärmebrücken dar.

In einem vergleichbaren Projekt¹ wurde ebenfalls untersucht, ob ein ehemaliges Kasernen-Mietwohnhaus zu einem 3-Liter-Haus modernisiert werden kann. Um diesen Wärmedämmstandard zu erreichen, wurden auch solche Maßnahmen umgesetzt, die eine vollständige Erneuerung einiger Bauteile bedeutete. Hieran zeigt sich, dass der Aufwand zum Erreichen des 3-Liter-Hauses nicht zu unterschätzen ist.

Der geringere Jahresheizwärmebedarf führt zu einem niedrigeren Heizölverbrauch und damit zu geringeren Kohlendioxid-Emissionen. Es werden ca. 159 t CO₂/a gegenüber dem Ist-Zustand eingespart.

¹ Transferstelle Bingen: Abschlussbericht zur wissenschaftlichen Begleitung der wärmetechnischen Sanierung der Wohngebäude „Am Finther Wald“, Bingen, 2004



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im



Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für die Dämmmaßnahmen und die Lüftungsanlage die Investitions- und Kapitalkosten überschlägig ermittelt. Es werden sowohl die Kosten herangezogen, die zu einer Verbesserung des Dämmstandards führen als auch Kosten, die bei Instandhaltungsmaßnahmen vorliegen, wie z. B. Gerüst, Putzerneuerung oder Entsorgung alter Fenster.

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Dämmmaßnahmen für die einzelnen Bauteile separat betrachtet, sodass für jede Maßnahme die zugehörige Amortisationsdauer angegeben werden kann. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich eine höhere Einsparung, weil sich die Lüftungswärmeverluste aufgrund einer Verbesserung der Luftdichtheit durch die Dämmung der Gebäudehülle und die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gegenüber dem Ist-Zustand verringern und so ebenfalls zu einer Einsparung führen.

Die Kapitalkosten berechnen sich nach der Annuitätenmethode mit 5 % Zinssatz und 30 Jahren (Dämmmaßnahmen) bzw. 20 Jahren (Lüftungsanlage) rechnerischer Nutzungsdauer. Anhand des reduzierten Wärmebedarfs wird die eingesparte Heizölmenge und somit die eingesparten Brennstoffkosten mit einem spezifischen Heizölpreis von 0,44 €/l inkl. MwSt. gegenüber dem Ist-Zustand ermittelt.

		Außenwand	Fenster und Türen	oberste Geschossdecke	Kellerdecke / Bodenplatte	Lüftungsanlage	Gesamt
Investition	€	206.000	529.900	56.100	474.300	102.000	1.368.300
Kapitalkosten	€/a	13.401	34.471	3.649	30.854	8.185	89.010
Einsparung	€/a	3.496	11.810	2.621	1.447	4.526	23.900
Jahreskosten	€/a	9.905	22.661	1.028	29.407	3.659	65.110
statische Amortisation	a	58,9	44,9	21,4	327,9	22,5	57,3

Tabelle 3-9 Wirtschaftlichkeit 3-Liter-Haus

Die Dämmung der obersten Geschossdecke amortisiert sich innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer. Für eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung liegt die Amortisationszeit etwas höher als die rechnerische Nutzungsdauer. Eine Außenwanddämmung, eine Erneuerung der Fenster und der verglasten Türen und eine Kellerdeckendämmung sind dann wirtschaftlicher, wenn die Maßnahmen im Rahmen der Gebäudeinstandhaltung umgesetzt werden können.

Neben dem Einsatz konventioneller Dämmstoffe wie z. B. Mineralwolle oder Polystyrol können auch Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie z. B. Holzfaserdämmplatten oder Flachsdämmstoffe eingesetzt werden.

Mehrinvestition

Außenwand	56.800 €
oberste Geschossdecke	57.000 €

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beim Einsatz solcher Dämmstoffe sind aus der Tabelle 3-410 zu entnehmen.

		Außenwand	oberste Geschossdecke
Investition	€	262.800	113.100
Kapitalkosten	€/a	17.096	7.357
Einsparung	€/a	3.472	2.548
Jahreskosten	€/a	13.624	4.809
stat. Amortisation	a	75,7	44,4

Tabelle 3-10 Wirtschaftlichkeit 3-Liter-Haus-Standard
mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Durch die Mehrinvestition für Holzfaserdämmstoffe stellt sich die Wirtschaftlichkeit ungünstiger dar.

Sensitivität

Da sich die Maßnahmen über die eingesparten Heizölkosten amortisieren, wird eine Sensitivitätsanalyse für den Jahresüberschuss und die statische Amortisationsdauer abhängig von niedrigeren und höheren Brennstoffpreisen untersucht. Die Ergebnisse sind als Diagramm abgebildet.

Heizölpreis -40 % in €/l	Heizölpreis 0 % in €/l	Heizölpreis +40 % in €/l
0,26	0,44	0,62

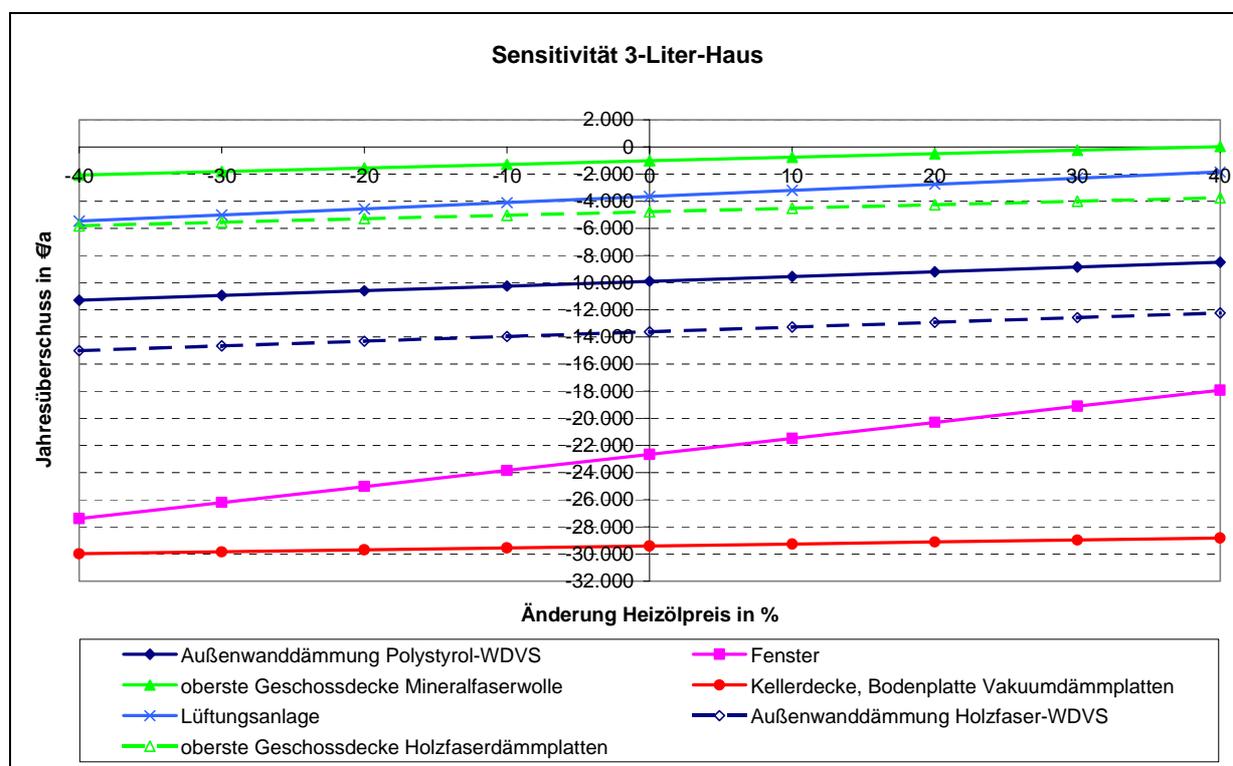


Abbildung 3-5 Sensitivität Jahresüberschuss, 3-Liter-Haus

		oberste Geschossdecke Mineralfaserwolle
Preisänderung	%	+ 39
spez. Heizölpreis	€/l	0,61
Jahresüberschuss	€/a	0

Abbildung 3-6 Sensitivität Jahresüberschuss, 3-Liter-Haus

Die Dämmung der obersten Geschossdecke erwirtschaftet mit einem um ca. 39 % höheren Heizölpreis einen Jahresüberschuss. Durch die übrigen Maßnahmen wird kein Überschuss im betrachteten Bereich erreicht.

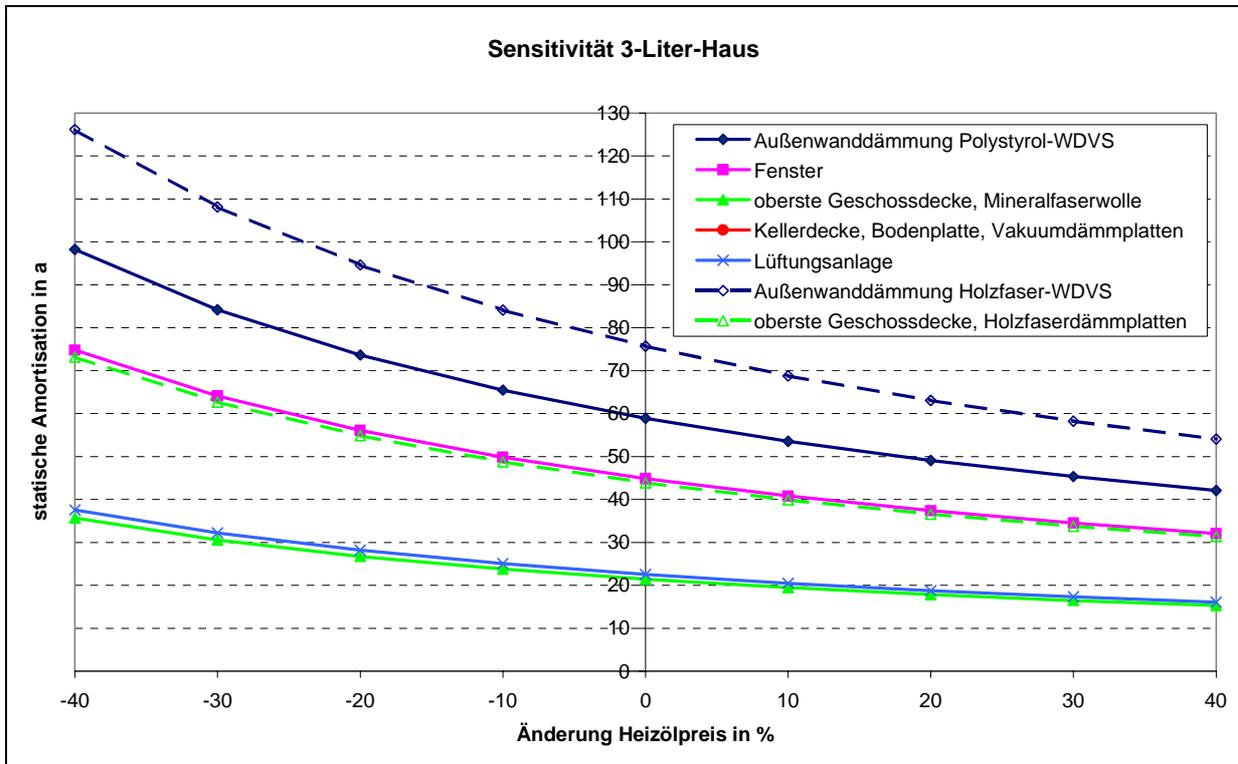


Abbildung 3-7 Sensitivität statische Amortisation, 3-Liter-Haus

	Fenster	oberste Geschossdecke Mineralfaserwolle	oberste Geschossdecke Holzfaserdämmung	Lüftungsanlage
Preisänderung %	+ 50	- 30	+ 45	+ 13
spez. Heizölpreis €/l	0,66	0,31	0,64	0,50
stat. Amortisation a	30	30	30	20

Tabelle 3-11 Sensitivität statische Amortisation, 3-Liter-Haus

Die Abbildung zeigt, dass sich unterhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 30 bzw. 20 Jahren nur die Dämmung der obersten Geschossdecke und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung statisch amortisieren. Auch für um 30 % bzw. 25 % niedrigeren Heizölpreis liegt die statische Amortisation der obersten Geschossdeckendämmung und der Lüftungsanlage innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer.

Die Fenster amortisieren sich innerhalb von 30 Jahren, wenn eine Heizölpreissteigerung von ca. 50 % vorliegt. Die Dämmung der obersten Geschossdecke mit Holzfaserdämmplatten erreicht 30 Jahre statische Amortisation für eine Heizölpreissteigerung um etwa 45 %.

3.3 Passivhaus-Standard

Ein Passivhaus-Standard bedeutet, dass der Wärmedämmstandard so hoch ausgelegt ist, dass der Heizenergieverbrauch mit kleiner als $15 \text{ kWh}_{\text{tr}}/(\text{m}^2\text{a})$ verschwindend gering ist. Dazu ist eine sehr gute Dämmung, Luftdichtheit, Warmfenster und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erforderlich.

Zum Erreichen des Passivhaus-Standards müssen die nachfolgend aufgeführten die U-Werte für die einzelnen Bauteile unterschritten werden. Zusätzlich ist wie für den 3-Liter-Haus-Standard auch hier eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung notwendig.

Außenwände	<0,15 W/(m ² K)
außenliegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster	<0,80 W/(m ² K)
Decken, Dächer, Dachschrägen	<0,15 W/(m ² K)
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	<0,15 W/(m ² K)

Schon der 3-Liter-Haus-Standard zeigte, dass nur mit einem hohen Aufwand der Dämmstandard erreicht werden kann.

Für den Passivhaus-Standard ist nicht nur die Einhaltung der U-Werte und der Einsatz einer Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung von Bedeutung sondern auch die Reduzierung der Wärmebrücken durch entsprechende Bauteilkonstruktionen. Bei den vorhandenen Bauteilen in dem Hauptschulgebäude ist nur mit einem sehr hohen Aufwand eine Reduzierung der Wärmebrücken möglich. Die Bodenplatte im Westflügel und in der Pausenhalle im Ostflügel der teilunterkellerten Hauptschule und die durchgehenden Decke der überdachten Pausenhalle können den Passivhaus-Standard nicht erfüllen.

Für das bestehende Hauptschulgebäude würden die aufzuwendenden Kosten für den Passivhaus-Standard in einem ungünstigen Verhältnis zu Kosten für einen Neubau im Passivhaus-Standard stehen, da hierbei schon die Planung auf die Einhaltung des Passivhaus-Standards abgestimmt wird.

Eine Berufsbildende Schule in Waldshut (Justus von Liebig Schule) wurde im Passivhaus-Standard errichtet. Die spezifischen Mehrkosten für den Passivhaus-Standard ergaben 292 €/m^2 mit einer Gesamtnutzfläche von 3.638 m^2 bzw. 35 €/m^3 bei einem Bruttorauminhalt von 30.000 m^3 . Im Vergleich dazu werden die Maßnahmen zur Erreichung des Passivhaus-Standards in einem Altbau deutlich höher liegen.

Die Investitionskosten zum Erreichen des 3-Liter-Haus-Standards für das Hauptschulgebäude betragen nach dem vorangegangenen Kapitel rund $1.400.000 \text{ €}$, die bezogen auf die 2.800 m^2 große Nutzfläche spezifische Kosten von ca. 500 €/m^2 entsprechen.

Nach der Schulbaurichtlinie betragen die Kostenrichtwerte für einen Grundschulneubau 2.334 €/m^2 und für einen Hauptschulneubau 2.544 €/m^2 .

4 Vorschläge zur Energieeinsparung

Zusätzlich zur Brennstoffeinsparung durch Verbesserung des Gebäudedämmstandards liegt im Einsatz von elektrischer Energie weiteres Einsparpotential vor. Es werden zusätzlich Möglichkeiten zur Verringerung des elektrischen Energieverbrauchs vorgeschlagen.

Beleuchtung

In den Klassenräumen des Altbaus befinden sich Wannenleuchten mit Kristallglasabdeckung und im Anbau Rasterleuchten, in denen jede zweite Leuchtstoffröhre entfernt wurde. Die Leuchten sind mit konventionellen Vorschaltgeräten ausgestattet. Die Anordnung der Leuchtbänder in Fensternähe führt dazu, dass auf der fensterfernen Seite deutlich schlechtere Lichtverhältnisse vorliegen.



Abbildung 4-1 Beleuchtung der Klassenräume

Die Leuchten mit Kristallglasabdeckung entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Durch einen ungünstigen Wirkungsgrad, weisen sie einen höheren Energieverbrauch auf. Bei einer Erneuerung der Beleuchtung ist der Einbau von Spiegelrasterleuchten mit Dreibanden-Leuchtstofflampen zu empfehlen, die gegenüber Wannenleuchten mit Kristallglasabdeckung bis zu 30 % Energie einsparen können.

Die vorhandenen, konventionellen Vorschaltgeräte weisen eine hohe Verlustleistung auf. Im Zuge einer Erneuerung der Beleuchtung in den Klassenräumen bieten sich Leuchtstoffröhren mit integriertem, elektronischem Vorschaltgerät (EVG) an, das die niedrigsten Verlustleistungen aufweist. Daneben sparen sie durch eine um 10 bis 15 % erhöhte Lichtausbeute der Lampen Energie ein. Außerdem erhöht sich die Lebensdauer um 30 bis 50 %, da die Lampen mit EVG schaltfester sind. Neuere EVG-Typen eignen sich auch zum Dimmen und können in Verbindung mit Tageslichtsensoren in einer tageslichtabhängig geregelten Beleuchtung eingesetzt werden. Dies wäre besonders für die Beleuchtung in Fluren und WCs sinnvoll, um mit einer bedarfsgerechten Schaltung Strom einzusparen.

Im Falle der Erneuerung der Beleuchtung ist die Anordnung der Leuchtbänder so zu wählen, dass für alle Schulbänke im Klassenraum die geforderten Lichtverhältnisse erfüllt werden.

In der DIN 5035,2 ist die Normbeleuchtungsstärke auf der Arbeitsebene für Unterrichtsräume mit 300 lx angegeben. Daraus ergibt sich eine spezifische Lampenleistung von 10 W/m² (einfacher Richtwert) bzw. 7,5 W/m² (verbesserter Richtwert).

Für eine Grundschule wurden in einem Konzept¹ die Wirtschaftlichkeit der Beleuchtungserneuerung geprüft. Aufgrund der vergleichsweise hohen Investitionskosten bei geringen Benutzungsstunden ist eine neue Beleuchtungsanlage für diese Schule über die Energieeinsparung nicht wirtschaftlich darstellbar. Ein Ersatz der vorhandenen Beleuchtung mit konventionellen Vorschaltgeräten durch ein Adaptersystem aus elektronischem Vorschaltgerät und einer T5-Leuchtstofflampe sowie die Entfernung des alten Starters führt zu niedrigeren Beleuchtungskosten. Allerdings wird dann Geld in eine alte Beleuchtungsanlage investiert.

Elektrische Warmwasserbereitung Lehrküche

In der Lehrküche erfolgt die Warmwasserbereitung elektrisch mit Boiler. Unabhängig vom Bedarf wird ständig Warmwasser bereitgehalten.

Mit einer nachgerüsteten Zeitschaltuhr, die entsprechend dem Warmwasserbedarf eingestellt wird, kann der Stromverbrauch reduziert werden.

Bei der geplanten Erneuerung der vier Küchenzeilen ist darauf zu achten, dass elektrische Untertischgeräte zur Warmwasserbereitung mit einer Zeitschaltuhr ausgestattet sind.

¹ Transferstelle Bingen: Sanierungskonzept für die Grundschule Körperich, Bingen, 2004

Umwälzpumpen Heizung

Die elektronisch geregelten Pumpen im Haupt- und Unterverteiler ermöglichen einen bedarfsgerechten Betrieb.

Während die Rohrleitungen und die Umwälzpumpen im Heizungsraum gedämmt sind, weisen die übrigen Armaturen des Hauptverteilers und die Armaturen des Unterverteilers keine Dämmung auf.



Abbildung 4-2 Hauptverteiler und Unterverteiler

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.

In einer Studie¹ für einen Schulkomplex mit Turnhalle und Hallenbad wurden Vorschläge für die Erneuerung von Heizkreispumpen vorgestellt. Vollautomatische, drehzahlgeregelte Umwälzpumpen, die die elektrische Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Zeit, der Temperatur und der Druckdifferenz an den tatsächlichen Bedarf anpassen, entsprechen dem Stand der Technik einzubauen. Die Einstellung auf eine kleine Drehzahl ermöglicht meist eine genauso effiziente Beheizung wie die maximal einstellbare Drehzahl, sodass sich die elektrische Leistungsaufnahme und damit der Stromverbrauch reduziert.

Inzwischen wurden Pumpen mit EC-Motor (elektronisch kumulierter Synchronmotor) entwickelt, die sowohl unter Volllast als auch unter Teillast einen hohen elektrischen Wirkungsgrad aufweisen. Diese Hocheffizienzpumpen sind stufenlos regelbar. Sie erzielen im Vergleich zu geregelten Pumpen mit AC-Motor eine Stromeinsparung um bis zu 50 % und gegenüber unregulierten Pumpen bis zu 70 %, sodass sie sich innerhalb weniger Jahre über die Stromeinsparung amortisieren.

¹ Transferstelle Bingen: Energietechnische Analyse der Konrad-Adenauer-Schule in Vinningen, Bingen, 2004

5 Solarthermische Anlage

Im gesamten Schulkomplex wird nur in der Turnhalle Warmwasser benötigt, sodass sich hier auch eine solarthermisch unterstützte Warmwasserbereitung anbietet.

Durch die solare Einstrahlung auf den Solarkollektor nimmt das Wärmeträgermedium im Kollektorkreis die Wärme auf. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Speicher abgegeben. Dazu sind verschiedene Speichersysteme wie z. B. Pufferspeicher, Schichtenspeicher oder Warmwasserspeicher möglich.

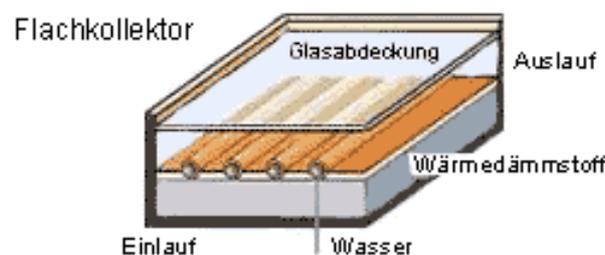


Abbildung 5-1 Prinzipdarstellung eines Flachkollektors (Quelle: Solarserver)

Um eine möglichst hohe Ausbeute über ein Jahr zu erzielen, ist eine Neigung der Kollektormodule von 30 - 45° in südlicher Richtung notwendig. Zur überschlägigen Berechnung der Kollektorfläche eines Flachkollektors kann davon ausgegangen werden, dass ein Quadratmeter Kollektorfläche etwa 70 l Warmwasser bereitet.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003“ des Bundes-Wirtschaftsministeriums kann ein Zuschuss in Höhe von 110 € je angefangenen m² installierter Gesamtbruttokollektorfläche bis zu einer Fläche von 200 m² beantragt werden. Voraussetzung für die Förderung ist seit Juni 2004, dass der jährliche Kollektorertrag von 525 kWh_{th}/(m²*a) bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % beträgt.

Einsatzmöglichkeiten für Turnhalle

Der Speicher zur Warmwasserbereitung befindet sich im Heizraum des Hauptgebäudes. Für die Warmwasserversorgung der Turnhalle ist eine Zirkulationsleitung, die mit einer Zeitschaltuhr ausgestattet ist, vorhanden.

Im Zuge einer Erneuerung des Warmwasserspeichers bietet sich als neuer Standort der Kellerraum, mit der Unterverteilstation der Turnhalle an, der sich unter dem Ostflügel befindet. Dadurch reduziert sich die Länge der Warmwasserleitungen und die daraus resultierenden Wärmeverluste.

Wenn der Warmwasserspeicher dort installiert wird, kann auf dem Süddach des Ostflügels Solarkollektoren mit kurzen Anbindungswegen zum Speicher installiert werden.



Abbildung 5-2 Ansicht Süddach des Ostflügels

Der vorhandene Warmwasserspeicher weist ein Volumen von 1.500 l auf. Anhand einer überschlägigen Berechnung kann mit einer rund 10 m² großen Solarkollektoranlage ein jährlicher Solarertrag von ca. 5.300 kWh_{th}/(m²a) erreicht werden. Die jährliche Deckungsrate beträgt etwa 52 %.

Die Schulturnhalle ist auch während der Schulferien für Fußballvereine geöffnet. Dadurch kann der hohe Solarertrag auch während der Sommerferien genutzt werden.

6 Fotovoltaikanlage

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

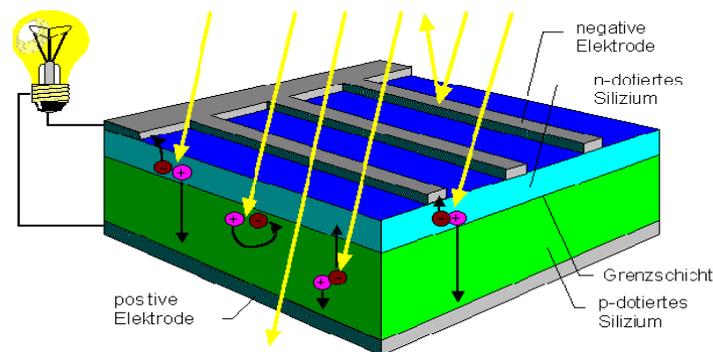


Abbildung 6-1 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

Von der Solarzelle zum Fotovoltaikmodul

Bei den Solarzellen werden drei Typen unterschieden: monokristalline, polykristalline und Dünnschicht-Solarzellen. Als Grundmaterial wird derzeit fast ausschließlich Silizium eingesetzt. Rund 80 % aller weltweit produzierten Fotovoltaikmodule setzen mono- oder polykristalline Solarzellen ein. Rund 20 % der Fotovoltaikmodule bestehen aus Dünnschichtzellen, wovon amorphes Silizium den weitaus größten Teil abdeckt. Dünnschichtzellen kommen meist bei autarken Anwendungen (Taschenrechnern, Uhren usw.) zum Einsatz. Sie können sogar in flexible Lamine integriert werden und so z.B. auf Booten oder nichtplanaren Flächen aufgeklebt werden. Der Aufbau eines kristallinen PV – Moduls setzt von unten nach oben sich zusammen aus:

- a) Glas chemisch gehärtet/alternativ Folie
- b) Folie gefärbt oder hochtransparent oder Gießharzschicht
- c) Solarzellenverbund
- d) Folie hochtransparent oder Gießharzschicht
- e) Weißglas chemisch gehärtet und geschliffen

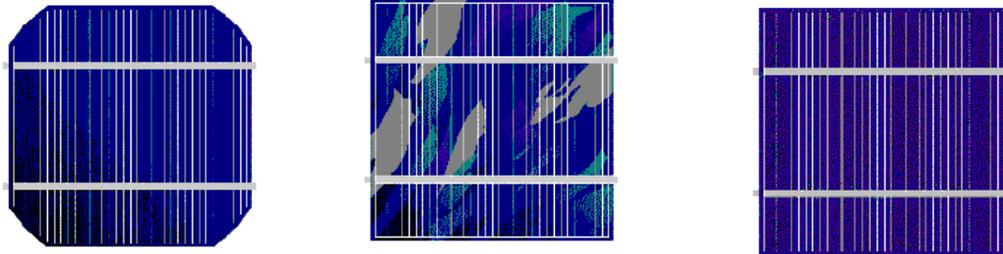


Abbildung 6-2 monokristalline, polykristalline und amorphe Zelltypen für Fotovoltaikmodule
(Quelle: CD Solarenergie)

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

Fotovoltaikmodule werden in Größen bis zu 3 m² angeboten. Mit 10 – 15 kg/m² stellen sie echte Leichtgewichte dar und bedürfen daher in der Regel keiner verstärkenden Maßnahmen an der Dachstatik. Es gibt auch sogenannte Solardachziegel, die geschindelt anstelle der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können. Mittlerweile sind komplette Dachelemente als PV-Modul ausgebildet.



Die einzelnen Fotovoltaikmodule werden mit Gleichstromkabeln verbunden und ergeben den Solargenerator.

Fotovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden.

Inselanlagen

Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solargenerator aus den Fotovoltaikmodulen, Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher. Insellösungen werden dann realisiert, wenn der Anschluss an das öffentliche Stromnetz nicht möglich oder zu teuer wäre, etwa bei Berghütten, sehr abgelegenen Bauernhöfen oder bei Raumstationen im Weltall.

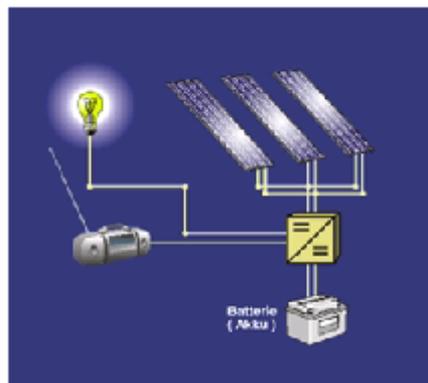


Abbildung 6-3 PV - Inselanlage (Quelle: CD Solarenergie)

Netzgekoppelte Systeme

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



Abbildung 6-4 Eine netzgekoppelte Anlage speist den Solarstrom ins öffentliche Netz ein (Quelle: CD Solarenergie)

Leistung

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

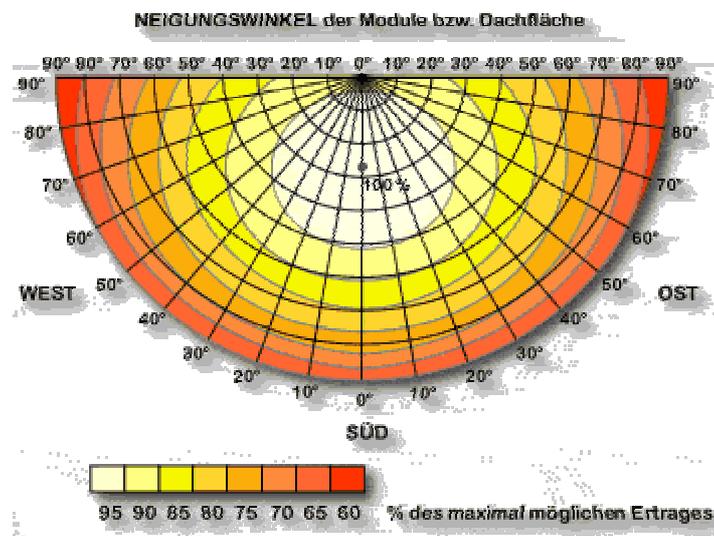


Abbildung 6-5 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators
(Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund $750 - 850 \text{ kWh je kW}_p$, in Süddeutschland unter optimalen Bedingungen 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.

Genehmigung von Fotovoltaikanlagen

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

Einsatzmöglichkeiten für Schulkomplex:

Auf dem Süddach des Ostflügels ist eine Komplettanlage Energy Class BP 1020W als Versuchsanlage mit insgesamt 12 Modulen installiert.



Abbildung 6-6 Fotovoltaikanlage auf Süddach des Ostflügels

Noch vorhandene, nach Süden ausgerichtete Dachflächen des Schulkomplexes bieten sich ebenfalls zur Installation von Fotovoltaikmodulen an. Aufgrund der Lage der Gebäude, der Dachausrichtung und Dachstruktur können vom Schulkomplex auf folgenden Gebäudeteilen Fotovoltaikmodule installiert werden.

		Westflügel Hauptschule	Ostflügel ¹ Hauptschule	Grundschule
Modulfläche	m ²	144	78	610
Leistung	kW _p	14	8	61
Stromerzeugung	kWh _{el} /a	12.200	6.700	51.900

Tabelle 6-1 Ertrag möglicher Fotovoltaikanlagen

Im Vergleich zum Gesamtstromverbrauch im Schulkomplex mit ca. 60.600 kWh_{el}/a² würde sich durch alle drei Fotovoltaikanlagen eine mögliche Deckungsrate von etwa 117 % ergeben.

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.

		Westflügel Hauptschule	Ostflügel Hauptschule	Grundschule
Investition	€	64.600	35.200	244.000
Stromerzeugung	kWh _{el} /a	12.200	6.700	51.900
Einspeisevergütung	Ct/kWh _{el}	57,40	57,40	55,98
Gutschrift Strom	€/a	7.003	3.846	29.052
statische Amortisation	a	9,2	9,2	8,4

Tabelle 6-2 Wirtschaftlichkeit der Fotovoltaikanlagen

Die Fotovoltaikanlagen amortisieren sich in etwa 8 bzw. 9 Jahren.

¹ Zur Verfügung stehende Dachfläche ohne vorhandene Fotovoltaikanlage und thermische Solaranlage

² Umwelt-Campus-Birkenfeld, Entwicklungs- und Management GmbH: Optimierungskonzept für vier Schulen in der Verbandsgemeinde Neuerburg, 2003

7 Zusammenfassung

Das Hauptschulgebäude des Schulkomplexes Grund- und Hauptschule St. Hildegardis mit Turnhalle in Mettendorf wurde 1967/68 errichtet. Der Wärmedämmstandard des Hauptschulgebäudes entspricht noch den damals gültigen Anforderungen.

Aufgrund dessen wurde in diesem Sanierungskonzept Maßnahmen zur Verbesserung des Dämmstandards in Hinblick auf eine Optimierung untersucht.

Grundlage war der vorliegende Ist-Zustand des Hauptschulgebäudes. Nach einer Wärmebedarfsberechnung beträgt der spezifische Wärmebedarf des Hauptschulgebäudes im Ist-Zustand $189 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$. Der tatsächliche Wärmeverbrauch, der überschlägig aus dem zur Verfügung gestellten Heizölverbrauch des Schulkomplexes ermittelt wurde, spielt in diesen Betrachtungen keine Rolle. Durch das vorliegende Nutzerverhalten wird weniger Wärme als nach der Wärmebedarfsberechnung verbraucht.

Da unterschiedliche Dämmstandards zu untersuchen waren, beruhte die Untersuchung auf Wärmebedarfsberechnungen. Für die Verbesserung des Dämmstandards wird zwischen dem EnEV-Standard, dem 3-Liter-Haus-Standard und dem Passivhaus-Standard unterschieden.

Zunächst wurden die Maßnahmen untersucht, um die Mindestanforderung, die nach der Energieeinsparverordnung einzuhalten sind, zu erfüllen. Unter diesen Vorgaben würde sich ein spezifischer Wärmebedarf von $86 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$ ergeben. Damit entspricht dies einer Gebäudesanierung mit Faktor 2,2 in Bezug auf den Ist-Zustand.

Mit einem niedrigeren Jahresheizwärmebedarf verringert sich der Heizölverbrauch um 55 % und gleichzeitig die Kohlendioxidemissionen. Im Vergleich zum Ist-Zustand können ca. $102 \text{ t CO}_2/\text{a}$ eingespart werden.

Der 3-Liter-Haus-Standard gibt an, dass das Gebäude $30 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$ als spezifischen Wärmebedarf aufweist. Mit aufwendigeren Dämmmaßnahmen in Verbindung mit einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung würde das Hauptschulgebäude einen spezifischen Wärmebedarf von $30 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$ erzielen. Daraus resultiert eine Gebäudesanierung mit Faktor 6,4 gegenüber dem Ist-Zustand.

Die Reduzierung des Jahresheizwärmebedarfs führt zu einem um 84 % geringeren Heizölverbrauch, sodass etwa $159 \text{ t CO}_2/\text{a}$ Kohlendioxidemissionen gegenüber dem Ist-Zustand eingespart werden können.

Ein Gebäude, das einen niedrigeren, spezifischen Wärmebedarf als $15 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$ besitzt, wird als Passivhaus bezeichnet. Neben den Dämmmaßnahmen und einer Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist die Reduzierung der Wärmebrücken von entscheidender Bedeutung. So können einige Bauteile wie z. B. die Bodenplatte im Westflügel und in der Pausenhalle im Ostflügel der teilunterkellerten Hauptschule und die durchgehenden Decke der überdachten Pausenhalle den Passivhaus-Standard nicht erfüllen. Zum Erreichen des Passivhaus-Standards wären außer den Dämmmaßnahmen auch Änderungen der Bauteilkonstruktionen zur Reduzierung der Wärmebrücken erforderlich.

Die Bewertung der einzelnen Maßnahmen erfolgte anhand einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, in der das Energie-Einsparpotential den Wärmedämmkosten gegenübergestellt wurde. Im Zuge dieser Betrachtung wurden die Einsatzmöglichkeiten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen geprüft und deren Mehrkosten gegenüber konventionellen Stoffen ermittelt. Die Tabellen geben die Ergebnisse wieder.

EnEV-Standard	Außenwand	Fenster und Türen	oberste Geschossdecke	Kellerdecke / Bodenplatte	Gesamt
Investition €	176.300	319.300	37.300	14.700	547.600
Kapitalkosten €/a	11.469	20.771	2.426	956	35.622
Einsparung €/a	3.115	8.138	2.056	909	17.142
Jahreskosten €/a	8.354	12.633	370	47	18.480
statische Amortisation a	56,6	39,2	18,1	16,2	31,9

Tabelle 7-1 Wirtschaftlichkeit EnEV-Standard

3-Liter-Haus-Standard	Außenwand	Fenster und Türen	oberste Geschossdecke	Kellerdecke / Bodenplatte	Lüftungsanlage	Gesamt
Investition €	206.000	529.900	56.100	474.300	102.000	1.368.300
Kapitalkosten €/a	13.401	34.471	3.649	30.854	8.185	89.010
Einsparung €/a	3.496	11.810	2.621	1.447	4.526	23.900
Jahreskosten €/a	9.905	22.661	1.028	29.407	3.659	65.110
statische Amortisation a	58,9	44,9	21,4	327,9	22,5	57,3

Tabelle 7-2 Wirtschaftlichkeit 3-Liter-Haus-Standard

Einige Maßnahmen würden sich innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 20 bzw. 30 Jahren amortisieren, während sich andere im Rahmen von Gebäudeinstandhaltungsmaßnahmen wirtschaftlicher darstellen.

Zu berücksichtigen ist, dass für alle Bauteile in den Investitionskosten die Dämmmaßnahmen sowie die zugehörigen Gebäudeinstandhaltungsmaßnahmen wie z. B. Putzerneuerung enthalten sind.

Die Mehrinvestition beim Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind in der Tabelle angegeben.

	EnEV-Standard	3-Liter-Haus
Außenwand	15.200 €	56.800 €
oberste Geschossdecke	19.000 €	57.000 €
Kellerdecke	8.400 €	

Tabelle 7-3 Mehrinvestition für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Zusätzlich zur Brennstoffeinsparung durch Verbesserung des Gebäudedämmstandards liegt im elektrischen Energieverbrauch weiteres Einsparpotential vor. Es wurden zusätzlich Möglichkeiten zur Verringerung des elektrischen Energieverbrauchs vorgeschlagen.

Im Zuge einer Erneuerung der Beleuchtung ist durch den Einsatz von Spiegelrasterleuchten mit Dreiband-Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten eine Stromeinsparung möglich. Eine zusätzliche, tageslichtabhängige Beleuchtung der Flure würde zu weiteren Einsparungen führen. Die derzeitige Anordnung der Leuchtbänder in Fensternähe führt dazu, dass auf der fensterfernen Seite deutlich schlechtere Lichtverhältnisse vorliegen. Bei Erneuerung der Beleuchtung ist die Anordnung der Leuchtbänder so zu wählen, dass für alle Schulbänke im Klassenraum die geforderten Lichtverhältnisse erfüllt werden.

Zur bedarfsgerechten Warmwasserbereitung in der Lehrküche kann an den elektrischen Boiler eine Zeitschaltuhr nachgerüstet werden, was ebenfalls zur Verminderung des Stromverbrauchs führen würde. Diese Maßnahme kann unabhängig von der geplanten Erneuerung der vier Küchenzeilen durchgeführt werden.

Die elektronisch geregelten Pumpen im Haupt- und Unterverteiler ermöglichen einen bedarfsgerechten Betrieb.

Die Rohrleitungen und Armaturen im Haupt- und Unterverteiler sind nur teilweise gedämmt, sodass Wärmeverluste auftreten. Hierzu besagt die Energieeinsparverordnung, dass ungedämmte und zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen von heizungstechnischen Anlagen in nicht beheizten Räumen bis zum 31. Dezember 2006 gedämmt werden müssen. In der EnEV sind die Dämmstärken abhängig vom Rohrdurchmesser und Lage im Gebäude vorgegeben.

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

Für die Turnhalle bietet sich eine Solaranlage zur solarunterstützten Warmwasserbereitung an. Zur Installation einer rund 10 m² großen Kollektorfläche ist das Süddach des Ostflügels, in dessen Kellergeschoss ein neuer Warmwasserspeicher zur Verringerung der Leitungsverluste aufgestellt werden könnte, geeignet. Mit einem jährlichen Solarertrag von ca. 5.300 kWh_{th}/a beträgt die jährliche Deckungsrate etwa 52 %. Da die Duschräume in der Schulturnhalle auch während der Schulferien von Fußballvereinen genutzt werden, kann der hohe Solarertrag auch während der Sommerferien genutzt werden.

Eine Fotovoltaikanlage mit insgesamt 12 Modulen ist als Versuchsanlage auf dem Süddach des Ostflügels installiert. Außerdem stehen noch weitere, nach Süden ausgerichtete Dachflächen von insgesamt rund 832 m² zur Installation zur Verfügung. Damit ist eine Stromerzeugung von etwa 70.800 kWh_{el}/a möglich.

Empfehlung:

Grundsätzlich sind im Zuge von der Gebäudeinstandhaltung Maßnahmen zur Verbesserung des Dämmstandards mit auszuführen, was auch in der Energieeinsparverordnung vorgeschrieben ist. Die Mindestanforderung nach der Energieeinsparverordnung ist in jedem Fall einzuhalten.

Unter den jeweiligen Gegebenheiten sollte die maximal mögliche Maßnahme auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten umgesetzt werden. Für die Grund- und Hauptschule Mettendorf wäre ein Wärmedämmstandard, der zwischen dem EnEV-Standard und dem 3-Liter-Haus-Standard liegen würde, aus technischer und wirtschaftlicher Sicht umsetzbar. Mit einer Dämmung der obersten Geschossdecke und den Einsatz einer Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung nach dem 3-Liter-Haus-Standard und den übrigen Maßnahmen nach dem EnEV-Standard würde ein Wärmedämmstandard im Bereich eines 5-Liter-Hauses erreicht werden können. Die meisten Maßnahmen für den 3-Liter-Haus-Standard amortisieren sich innerhalb einer Amortisationsdauer, die im Vergleich zum EnEV-Standard um 2 bis 6 Jahre höher liegt. Für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zur Verbesserung des Dämmstandards ist zu beachten, dass diese Maßnahmen in der Regel auch der Gebäudeerhaltung dienen.

Einen weiteren, wichtigen Effekt stellt die Reduzierung der Kohlendioxidemissionen durch den geringeren Brennstoffbedarf dar.

Die Erhöhung des Wärmedämmstandards führt außerdem zu einem deutlich geringeren Heizleistungsbedarf, sodass für eine Erneuerung der Heizkesselanlage ein Heizkessel mit einer deutlich niedrigeren Nennleistung auszuwählen ist. Anstatt einen bedarfsgerecht ausgelegten Heizölkessel zu installieren, kann die Wärmeversorgung auch mit einem Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets oder Holzhackschnitzel erfolgen.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand der TSB wäre mit der Umsetzung eines Wärmedämmstandards in Richtung 3-Liter-Haus-Standard die Grund- und Hauptschule in Mettendorf die erste Schule im Bestand, die in Rheinland-Pfalz beispielhaft saniert wäre und hätte somit einen Vorbildcharakter für die weiteren, rheinland-pfälzischen Schulbauten.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Sensitivität Jahresüberschuss, EnEV-Standard	13
Abbildung 3-2 Sensitivität statische Amortisation, EnEV-Standard	14
Abbildung 3-3 Lüftungsschema in Schnittdarstellung der Justus von Liebig Schule Waldshut (Quelle: Kuhlmei, Leiter des Amtes für Schulwesen und Liegenschaften beim Landratsamt Waldshut).....	16
Abbildung 3-4 Lüftungsschema im Grundriss der Justus von Liebig Schule Waldshut (Quelle: Kuhlmei, Leiter des Amtes für Schulwesen und Liegenschaften beim Landratsamt Waldshut).....	17
Abbildung 3-5 Sensitivität Jahresüberschuss, 3-Liter-Haus	22
Abbildung 3-6 Sensitivität Jahresüberschuss, 3-Liter-Haus	22
Abbildung 3-7 Sensitivität statische Amortisation, 3-Liter-Haus	23
Abbildung 4-1 Beleuchtung der Klassenräume	25
Abbildung 4-2 Hauptverteiler und Unterverteiler	27
Abbildung 5-1 Prinzipdarstellung eines Flachkollektors (Quelle: Solarserver).....	28
Abbildung 5-2 Ansicht Süddach des Ostflügels	29
Abbildung 6-1 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS).....	30
Abbildung 6-2 monokristalline, polykristalline und amorphe Zelltypen für Fotovoltaikmodule (Quelle: CD Solarenergie).....	31
Abbildung 6-3 PV - Inselanlage (Quelle: CD Solarenergie).....	32
Abbildung 6-4 Eine netzgekoppelte Anlage speist den Solarstrom ins öffentliche Netz ein (Quelle: CD Solarenergie).....	32
Abbildung 6-5 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators (Quelle: CD Solarenergie)	33
Abbildung 6-6 Fotovoltaikanlage auf Süddach des Ostflügels	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Ist-Daten zur Wärmeversorgung (Raumheizung + Warmwasserbereitung)	5
Tabelle 2-3 Wärmebedarf Raumheizung und Warmwasserbereitung des Schulkomplexes	6
Tabelle 2-4 U-Werte für Ist-Zustand	7
Tabelle 2-5 Wärmebedarf Hauptschule	7
Tabelle 3-1 U-Werte für EnEV-Standard	10
Tabelle 3-2 Ergebnisse EnEV-Standard	10
Tabelle 3-3 Wirtschaftlichkeit EnEV-Standard	11
Tabelle 3-4 Wirtschaftlichkeit EnEV-Standard mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.....	12
Tabelle 3-5 Sensitivität Jahresüberschuss, EnEV-Standard	13
Tabelle 3-6 Sensitivität statische Amortisation, EnEV-Standard	14
Tabelle 3-7 U-Werte für 3-Liter-Haus-Standard.....	15
Tabelle 3-8 Ergebnisse 3-Liter-Haus-Standard.....	18
Tabelle 3-9 Wirtschaftlichkeit 3-Liter-Haus	20
Tabelle 3-10 Wirtschaftlichkeit 3-Liter-Haus-Standard mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.....	21
Tabelle 3-11 Sensitivität statische Amortisation, 3-Liter-Haus	23
Tabelle 6-1 Ertrag möglicher Fotovoltaikanlagen.....	34
Tabelle 6-2 Wirtschaftlichkeit der Fotovoltaikanlagen.....	34
Tabelle 7-1 Wirtschaftlichkeit EnEV-Standard	36
Tabelle 7-2 Wirtschaftlichkeit 3-Liter-Haus-Standard.....	36
Tabelle 7-3 Mehrinvestition für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	36

Anhang

Aufbau der Bauteile im Ist-Zustand

- Brüstung: Kalkputz, Holzwolle mehrschichtplatte, Beton, Kalkzementputz
Ost- und Westflügel: 0,75 W/(m²K) bzw. Hauptgebäude: 0,83 W/(m²K)
gegen unbeheizt: 0,72 W/(m²K)
- Stahlbeton: Kalkputz, Stahlbeton
gegen Außenluft: 3,11 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 2,43 W/(m²K)
- Ziegelwand: Kalkputz, Ziegel
1,37 W/(m²K)
- zugemauerte Fenster:
Kalkputz, Ziegel, Kalkzementputz
gegen Außenluft: 1,90 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 1,67 W/(m²K)
- Zimmertür: 1,38 W/(m²K)
- Glastür: Einfachverglasung in Stahlrahmen
5,50 W/(m²K)
- einfachverglaste Fenster:
Einfachverglasung in Stahlrahmen
5,20 W/(m²K)
- isolierverglaste Fenster:
Zweifach-Isolierverglasung in Stahlrahmen
3,00 W/(m²K)
- Bleiverglasung:
6,00 W/(m²K)
- oberste Geschossdecke Hauptgebäude und Ost- und Westflügel:
Kalkputz, Stahlbeton, Mineralfaserdämmung
Hauptgebäude und Ostflügel: 0,93 W/(m²K) bzw. Westflügel: 0,91 W/(m²K)
- Bodenplatte Ostflügel:
Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton
1,27 W/(m²K)
- Bodenplatte Westflügel:
PVC, Zementestrich, Stahlbeton
1,11 W/(m²K)
- Kellerdecke Ostflügel und Hauptgebäude:
PVC, Magnesia-Estrich, Trittschalldämmung, Stahlbeton
0,89 W/(m²K)
- Kellerdecke Hauptgebäude:
Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton
0,99 W/(m²K)

Aufbau der Bauteile im EnEV-Standard

Brüstung: Kalkputz, Holzwolle-mehrschichtplatte, Beton, Kalkzementputz, 8 cm WDVS (WLG 035)

gegen Außenluft: 0,28 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,27 W/(m²K)

Stahlbeton: Kalkputz, Stahlbeton, 8 cm WDVS (WLG 035)

gegen Außenluft: 0,38 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,37 W/(m²K)

Ziegelwand: Kalkputz, Ziegel, 8 cm WDVS (WLG 035)

0,33 W/(m²K)

zugemauerte Fenster:

Kalkputz, Ziegel, Kalkzementputz, 8 cm WDVS (WLG 035)

gegen Außenluft: 0,36 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,35 W/(m²K)

Zimmertür: 1,38 W/(m²K)

Glastür: Leichtmetallrahmentür mit Verglasung

2,70 W/(m²K)

Wärmeschutzglas-Fenster:

Zweischeiben-Wärmeschutzglas

1,70 W/(m²K)

oberste Geschossdecke Hauptgebäude und Ost- und Westflügel:

Kalkputz, Stahlbeton, Mineralfaserdämmung, 10 cm Mineralfaserdämmung (WLG 040)

0,28 W/(m²K)

Bodenplatte Ostflügel:

Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton

1,27 W/(m²K)

Bodenplatte Westflügel:

PVC, Zementestrich, Stahlbeton

1,11 W/(m²K)

Kellerdecke Ostflügel und Hauptgebäude:

PVC, Magnesia-Estrich, Trittschalldämmung, Stahlbeton, 6 cm EPS (WLG 040)

0,38 W/(m²K)

Kellerdecke Hauptgebäude:

Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton, 6 cm EPS (WLG 040)

0,40 W/(m²K)

Aufbau der Bauteile im 3-Liter-Haus-Standard

Brüstung: Kalkputz, Holzwolle-mehrschichtplatte, Beton, Kalkzementputz, 30 cm WDVS (WLG 035)

gegen Außenluft: 0,10 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,10 W/(m²K)

Stahlbeton: Kalkputz, Stahlbeton, 30 cm WDVS (WLG 035)

gegen Außenluft: 0,11 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,11 W/(m²K)

Ziegelwand: Kalkputz, Ziegel, 30 cm WDVS (WLG 035)

0,11 W/(m²K)

zugemauerte Fenster:

Kalkputz, Ziegel, Kalkzementputz, 30 cm WDVS (WLG 035)

gegen Außenluft: 0,11 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,11 W/(m²K)

Zimmertür: Passivhausgeeignete Tür

0,64 W/(m²K)

Glastür: Passivhausgeeignete Tür

0,64 W/(m²K)

Wärmeschutzglas-Fenster:

Dreischeiben-Wärmeschutzglas

0,70 W/(m²K)

oberste Geschosdecke Hauptgebäude und Ost- und Westflügel:

Kalkputz, Stahlbeton, Mineralfaserdämmung, 30 cm Mineralfaserdämmung (WLG 035)

0,10 W/(m²K)

Bodenplatte Ostflügel:

Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton

1,27 W/(m²K)

Bodenplatte Westflügel:

PVC, Zementestrich, Stahlbeton

1,11 W/(m²K)

Kellerdecke Ostflügel und Hauptgebäude:

PVC, Magnesia-Estrich, Trittschalldämmung, Stahlbeton, 6 cm Vakuumdämmplatten (0,006 W/mK)

0,09 W/(m²K)

Kellerdecke Hauptgebäude:

Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton, 6 cm Vakuumdämmplatten (0,006 W/mK)

0,09 W/(m²K)

Aufbau der Bauteile im EnEV-Standard mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

- Brüstung: Kalkputz, Holzwolle-mehrschichtplatte, Beton, Kalkzementputz, 8 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
gegen Außenluft: 0,30 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,29 W/(m²K)
- Stahlbeton: Kalkputz, Stahlbeton, 8 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
gegen Außenluft: 0,43 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,41 W/(m²K)
- Ziegelwand: Kalkputz, Ziegel, 8 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
0,36 W/(m²K)
- zugemauerte Fenster:
Kalkputz, Ziegel, Kalkzementputz, 8 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
gegen Außenluft: 0,39 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,38 W/(m²K)
- Zimmertür: 1,38 W/(m²K)
- Glastür: Leichtmetallrahmentür mit Verglasung
2,70 W/(m²K)
- Wärmeschutzglas-Fenster:
Zweischeiben-Wärmeschutzglas
1,70 W/(m²K)
- oberste Geschossdecke Hauptgebäude und Ost- und Westflügel:
Kalkputz, Stahlbeton, Mineralfaserdämmung, 10 cm Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
0,28 W/(m²K)
- Bodenplatte Ostflügel:
Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton
1,27 W/(m²K)
- Bodenplatte Westflügel:
PVC, Zementestrich, Stahlbeton
1,11 W/(m²K)
- Kellerdecke Ostflügel und Hauptgebäude:
PVC, Magnesia-Estrich, Trittschalldämmung, Stahlbeton, 6 cm Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
0,38 W/(m²K)
- Kellerdecke Hauptgebäude:
Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton, 6 cm Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
0,40 W/(m²K)

Aufbau der Bauteile im 3-Liter-Haus-Standard mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

- Brüstung: Kalkputz, Holzwolle-mehrschichtplatte, Stahlbeton, Kalkzementputz, 30 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
gegen Außenluft: 0,11 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,11 W/(m²K)
- Stahlbeton: Kalkputz, Stahlbeton, 30 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten
gegen Außenluft: 0,13 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,13 W/(m²K)
- Ziegelwand: Kalkputz, Ziegel, 30 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
0,12 W/(m²K)
- zugemauerte Fenster:
Kalkputz, Ziegel, Kalkzementputz, 30 cm WDVS mit Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
gegen Außenluft: 0,12 W/(m²K) bzw. gegen unbeheizt: 0,12 W/(m²K)
- Zimmertür: Passivhausgeeignete Tür
0,64 W/(m²K)
- Glastür: Passivhausgeeignete Tür
0,64 W/(m²K)
- Wärmeschutzglas-Fenster:
Dreischeiben-Wärmeschutzglas
0,70 W/(m²K)
- oberste Geschosdecke Hauptgebäude und Ost- und Westflügel:
Gipsputz, Stahlbeton, ca. 8 cm Mineralfaserdämmung, 30 cm Holzfaserdämmplatten (WLG 040)
0,12 W/(m²K)
- Bodenplatte Ostflügel:
Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton
1,27 W/(m²K)
- Bodenplatte Westflügel:
PVC, Zementestrich, Stahlbeton
1,11 W/(m²K)
- Kellerdecke Ostflügel und Hauptgebäude:
PVC, Magnesia-Estrich, Trittschalldämmung, Stahlbeton, 6 cm Vakuumdämmplatten (0,006 W/mK)
0,09 W/(m²K)
- Kellerdecke Hauptgebäude:
Werkstein/Fliesen, Zementestrich, Stahlbeton, 6 cm Vakuumdämmplatten (0,006 W/mK)
0,09 W/(m²K)