

Machbarkeitsstudie Null-Heizkosten-Schulen



Haupt- und
Realschule
Neumagen-
Dhron



Schillerschule
Kaiserslautern



Erich-Kästner-
Schule
Ludwigshafen



Franz-von-
Sickingen-
Schule
Bad Münster
am Stein /
Ebensburg



Grundschule
Birresborn

Präambel

Vor dem Hintergrund der Umweltbelastung durch CO₂ sowie dem rapiden Preis-Anstieg der sich verknappenden nicht regenerativen fossilen Energieträger (Gas, Öl, Kohle, etc.) werden Lösungen zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes sowie alternative Lösungen zu den fossilen Energieträgern mehr denn je benötigt.

Die Bewirtschaftung von Gebäuden verbraucht in Deutschland einen Großteil (ca. 40%) der Energie und stellt somit ein erhebliches Potential zur Energieeinsparung dar.

Das Land Rheinland-Pfalz, als Eigentümer einer erheblichen Anzahl von Gebäuden verschiedenster Nutzung und somit als großer Energieverbraucher, sieht sich in der Verantwortung, u. a. auch im Sinne eines Vorbildcharakters, seine eigenen Gebäude energetisch unter Berücksichtigung des wirtschaftlich gebotenen zu optimieren.

Die Firma LUWOGÉ consult GmbH, eine Tochtergesellschaft der LUWOGÉ GmbH, welche wiederum eine Tochtergesellschaft der BASF in Ludwigshafen ist, hat für Mehrfamilienhäuser ein „Null-Heiz-Kosten“-Konzept entwickelt und nachweislich bei der Sanierung eines Wohngebäudes mit 8 Wohneinheiten umgesetzt. Hierbei ist klarzustellen, dass sich „Null-Heiz-Kosten“ auf die Sicht der Wohnungsmieter bezieht. Diese bezahlen quasi „kalt“ für „warm“, meint, die Kosten für Warmwasser und Heizung sind mit der Kaltmiete pauschal abgedeckt. Die Mietpreissteigerung ist von der Energiepreissteigerung für fossile Energieträger entkoppelt. Der Wirtschaftlichkeitsnachweis wird nach der so genannten „LUWOGÉ consult – Methode“ geführt.

Diese Methode könnte neue Wege in der Sanierung öffentlicher Gebäude aufzeigen wodurch zu erwarten ist, dass für das Land Rheinland-Pfalz eine erhebliche Einsparung bei den Betriebskosten seiner Gebäude erzielt werden kann, gepaart mit einer deutlichen Reduzierung des CO₂-Ausstoßes.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie „Null-Heiz-Kosten-Schule“ soll bei der Sanierung von fünf Schulbauten die Übertragbarkeit der Methode auf einen anderen Gebäudetyp in angewandter Forschung wissenschaftlich untersucht und bewertet werden.

Ziel ist die maximale Reduzierung des Verbrauchs von Primärenergie unter Berücksichtigung des wirtschaftlich gebotenen.

Das Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz beauftragt im Rahmen einer Projektförderung

das Institut für Nachhaltiges Bauen und Gestalten | INBG der Fachhochschule Kaiserslautern mit der Projektbegleitung und

die Firma LUWOGÉ consult GmbH, Ludwigshafen mit der Projektstudie.

Zur Auswahl geeigneter Objekte fanden im Vorfeld diverse Besichtigungen von potentiellen Schulgebäuden statt.

Auswahlkriterien waren dabei u. a.:

- unterschiedliche charakteristische Typen von Schul-Gebäuden zur flächendeckenden Anwendbarkeit der Erkenntnisse,
- vorhandener, hoher Sanierungstau beim Einzelobjekt mit der Bereitschaft einer zeitnahen Umsetzung

Die nachstehend aufgeführten Schulen wurden für die Machbarkeitsstudie ausgewählt:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| ▪ Neumagen-Dhron | Haupt- und Realschule |
| ▪ Kaiserslautern | Schillerschule |
| ▪ Ludwigshafen | Erich-Kästner-Schule |
| ▪ Bad Münster am Stein / Ebernburg | Hauptschule Franz-von-Sickingen |
| ▪ Birresborn | Grundschule Birresborn |

In der folgenden Dokumentation der Machbarkeitsstudie "Null-Heizkosten-Schulen in Rheinland-Pfalz?" der Firma LUWOGÉ consult GmbH werden für jede Schule drei von insgesamt 18 gerechneten Varianten vergleichend gegenübergestellt und bewertet:

- die energetische Mindestvariante „DFL“ nach EnEV 2007,
- die energetisch gehobene Variante „D+FL+“ sowie
- die energetisch beste Variante „D++F++L+“.

Ergänzend zu dieser Dokumentation gibt es für jede Schule eine Anlage mit den Berechnungen für alle 18 Varianten

- Anlage 1/5 Neumagen-Dhron . Haupt- und Realschule
- Anlage 2/5 Kaiserslautern . Schillerschule
- Anlage 3/5 Ludwigshafen . Erich-Kästner-Schule
- Anlage 4/5 Bad Münster am Stein / Ebernburg . Hauptschule Franz-von-Sickingen
- Anlage 5/5 Birresborn . Grundschule Birresborn

Weiterhin liegt für jede Schule ein Exposé vor.



NULL- HEIZKOSTEN- SCHULEN IN RHEINLAND- PFALZ?

Machbarkeitsstudie

Im Auftrag des
INBG | Institut für Nachhaltiges Bauen und Gestalten
der Fachhochschule Kaiserslautern

Alexander Peischl
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.

LUWOG CONSULT GmbH
Donnersbergweg 2
67059 Ludwigshafen

www.luwoqe-consult.de

14. November 2008



INHALT:

1	AUFGABENSTELLUNG DIESER MACHBARKEITSSTUDIE	6
2	„LUWOG CONSULT- METHODE“	6
2.1	Die „LUWOG consult- Methode“ beim Null-Heizkosten-Haus.....	6
2.2	Das Calculation Model der Luwog consult.....	6
2.2.1	Statische Verfahren.....	7
2.2.2	Dynamische Verfahren.....	7
2.2.3	Die Tools des CalculationModels	8
2.3	Anwendung der Methoden auf Schulen.....	12
3	GRUNDBEDINGUNGEN DIESER STUDIE	14
3.1	Bauliche Maßnahmen an den Schulen.....	14
3.2	Lüftungsanlagen als Bestandteil der Modernisierung.....	15
3.3	Finanzierung und Wirtschaftlichkeit	16
4	STUDIE ZUR HAUPT- UND REALSCHULE NEUMAGEN-DHRON.....	19
4.1	Bestandsaufnahme	19
4.2	Maßnahmen und Kosten.....	21
4.3	Energiekostenentwicklung	23
4.4	Darstellung der Wirtschaftlichkeit	25
4.5	Fazit	26
4.6	Beibehalten der Nachtspeicheröfen vs. neue warmwasserbasierte Heizungsanlage.....	26
5	STUDIE ZUR SCHILLERSCHULE IN KAISERSLAUTERN.....	31
5.1	Bestandsaufnahme	31
5.2	Maßnahmen und Kosten.....	32
5.3	Energiekostenentwicklung	34
5.4	Darstellung der Wirtschaftlichkeit	36
5.5	Fazit	36
6	STUDIE ZUR ERICH KÄSTNER- SCHULE IN LUDWIGSHAFEN.....	38
6.1	Bestandsaufnahme	38
6.2	Maßnahmen und Kosten.....	39
6.3	Energiekostenentwicklung	41
6.4	Darstellung der Wirtschaftlichkeit	43
6.5	Fazit	43
7	STUDIE ZUR FRANZ VON SICKINGEN SCHULE IN BAD MÜNSTER AM STEIN.....	45
7.1	Bestandsaufnahme	45
7.1	Maßnahmen und Kosten.....	46
7.2	Energiekostenentwicklung	48
7.3	Darstellung der Wirtschaftlichkeit	50
7.4	Fazit	50
8	STUDIE ZUR GRUNDSCHULE BIRRESBORN IN GEROLSTEIN-BIRRESBORN	52
8.1	Bestandsaufnahme	52
8.2	Maßnahmen und Kosten.....	53
8.3	Energiekostenentwicklung	55
8.4	Darstellung der Wirtschaftlichkeit	57
8.5	Fazit	57
9	ANWENDBARKEIT DER ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN	59

1 Aufgabenstellung dieser Machbarkeitsstudie

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie vor, die durch die LUWOG CONSULT im Auftrag der FH Kaiserslautern durchgeführt wurde. Folgende Fragen wurden untersucht:

- Modellhafte Untersuchung der wirtschaftlichsten Lösungen für die energetische Sanierung von Schulen und deren Übertragbarkeit auf Gebäudetypen
- Prüfung der Anwendbarkeit der beim Null-Heizkosten-Haus erfolgreich umgesetzten LUWOG CONSULT-Methode bei Schulen

Zu Beginn dieses Berichts sind die Arbeitsweise der Luwoge consult sowie die Grundannahmen der hier vorgestellten Studien erläutert. Dabei wird auch auf das Null-Heizkosten-Haus eingegangen, das von LUWOG CONSULT für den Wohnungsbau entwickelt und umgesetzt wurde. Danach wird die Übertragbarkeit dieser Methoden auf die vorliegende Untersuchung von fünf Schultypen erläutert.

Es wurden fünf verschiedene für Rheinland-Pfalz typische Schulgebäude untersucht. Die Ergebnisse der sind nach folgendem Schema dargestellt: Zunächst wird ein Überblick über das jeweilige Schulgebäude gegeben. Daran schließt sich eine Beschreibung verschiedener möglicher Sanierungsvarianten an. Zu jeder Variante werden die Kosten dargestellt, außerdem werden der aktuelle sowie der zukünftig mögliche Heizenergiebedarf dargestellt. Danach wird die zukünftige Entwicklung der Energiekosten der jeweiligen Schule dargestellt, ausgehend von verschiedenen Annahmen zur Energiepreissteigerung. Zum Schluss wird pro Schule ein Vergleich der Sanierungsvarianten in wirtschaftlicher Hinsicht präsentiert, der dann die Empfehlung der wirtschaftlich sinnvollsten Variante erlaubt.

Im Anhang sind schließlich die Berechnungen der insgesamt 18 berechneten Varianten pro Schule enthalten.

2 Die „Luwoge consult- Methode“

2.1 Die „LUWOG CONSULT-Methode“ beim Null-Heizkosten-Haus

LUWOG CONSULT ist ein Tochterunternehmen der LUWOG, der Wohnungsgesellschaft der BASF. Sie berät unter anderem Wohnungsunternehmen bei energetischen Modernisierungen. Der Fokus liegt hier vor allem auf der wirtschaftlichen Betrachtung solcher Maßnahmen.

Ein Beispiel einer solchen Beratungstätigkeit ist das „Null-Heizkosten-Haus“ der LUWOG in Ludwigshafen am Rhein. Hier wurde eine hochwertige energetische Modernisierung mit einem Warmmietmodell verbunden um sowohl für den Investor als auch für die Nutzer einen Vorteil zu erzielen. Dieses Null-Heizkosten-Haus erwirtschaftet seine Energiekosten selbst (z.B. durch regenerative Energien wie Photovoltaikanlagen). So bezahlt der Mieter nur eine gleichbleibend hohe Warmmiete und muss kein Energiepreissteigerungsrisiko tragen. Die Grundvoraussetzung für ein „Null-Heizkosten-Haus“ ist, dass das Gebäude nach der Modernisierung nur noch einen sehr geringen Energieverbrauch hat.

2.2 Das Calculation Model der Luwoge consult

LUWOG CONSULT setzt verschiedene Software-Tools zur Ermittlung von technischen und wirtschaftlichen Parametern ein. Auf der technischen Seite wird für diese Studie der

„Energieberater plus 18599“ der Firma Hottgenroth eingesetzt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden mit Hilfe des „Calculation Models“ angefertigt.

Energetechnische Gestaltungsmaßnahmen im Gebäudebereich sind in der Regel mit (hohen) Kosten verbunden und zielen auf die Reduzierung zukünftig notwendiger finanzieller Aufwendungen. Dabei steht naturgemäß die Wirtschaftlichkeit alternativ möglicher Investitionen im Mittelpunkt. Zur Entscheidungsfindung stellt die betriebswirtschaftliche Investitionstheorie eine Reihe von Verfahren zur Verfügung. Grundsätzlich lassen diese sich in statische und dynamische Verfahren unterteilen.

2.2.1 Statische Verfahren

Bekannte statische Verfahren der Investitionstheorie sind die Gewinnvergleichs- bzw. Kostenvergleichsrechnung, die Rentabilitätsvergleichsrechnung und die statische Amortisationsrechnung. Vorteile der statischen Verfahren sind in der einfachen Handhabung und im relativ geringen Informationsbedarf zu sehen.

Allerdings bieten diese Verfahren keine ausreichende Basis zur Beurteilung von Investitionsentscheidungen, weil es sich bei Energiesparinvestitionen immer um mehrperiodige Entscheidungsprobleme handelt. Bei deren Beurteilung müssen die zeitliche Struktur der Ein- und Auszahlungsreihen und entsprechende Zinseffekte berücksichtigt werden.

2.2.2 Dynamische Verfahren

Das wesentliche Merkmal von dynamischen Verfahren ist es, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen mit Hilfe der Zinseszinsrechnung auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt ab- oder aufzudiskontieren. Somit haben Einnahmen und Ausgaben nicht nur über ihren Betrag, sondern auch über den Zeitpunkt des Cashflows einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis. Dies ist der entscheidende Vorteil gegenüber den statischen Verfahren.

Zu den dynamischen Verfahren zählen die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode und die interne Zinsfußmethode. Im Folgenden soll kurz auf die ersten beiden Verfahren eingegangen werden, die im Rahmen der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energieeinsparmaßnahmen und/oder Investition bei der LUWOG CONSULT verwendet werden:

Der Kapitalwert KW einer Investition ist die Summe aller mit dem Kalkulationszinssatz i auf den Zeitpunkt $t = 0$ diskontierten Investitionszahlungen (Jahresüberschüsse) \ddot{u}_t :

$$KW = \sum_{t=0}^n \ddot{u}_t \cdot (1+i)^{-t}$$

Die Kapitalwertmethode setzt voraus, dass der Investor weiß, welchen "Zinsgewinn" er aus einer Investition mindestens erwirtschaften will. Diese – vom Marktzins und Risikogesichtspunkten abhängige – Mindestverzinsung nennt man Kalkulationszinssatz.

Bei der Wahl des Kalkulationszinssatzes ist zu differenzieren zwischen:

- Vollständiger Eigenfinanzierung der Investition. Der Kalkulationszinssatz sollte den Verzicht auf eine entgangene Alternativanlage widerspiegeln. Er ist definiert als Zinssatz einer risikofreien Kapitalanlage.
- Vollständiger Fremdfinanzierung der Investition. Der Kalkulationszinssatz sollte die durch die Kreditaufnahme entstandene Zinsbelastung abbilden. Er ist definiert als Zinssatz des aufgenommenen Kredits.

- Mischfinanzierung der Investition. Der Kalkulationszinssatz muss die von den Eigenkapitalgebern geforderte Verzinsung und die durch die anteilige Fremdfinanzierung verursachte Zinsbelastung widerspiegeln. Als Definition bietet sich das gewogene arithmetische Mittel aus Eigen- und Fremdkapitalzinssatz an.

Die Kapitalwertmethode prüft, ob in einer Investition zumindest der gewählte Kalkulationszinssatz steckt und die Investition somit vorteilhaft ist ($KW > 0$ bei der Beurteilung einer Einzelinvestition). Aus einer Menge von Investitionsalternativen ist diejenige Alternative optimal, die den größten Kapitalwert aufweist.

Die Annuitätenmethode berücksichtigt als Entscheidungskriterium nicht die Höhe des Kapitalwertes, sondern die Höhe der sich daraus ergebenden Annuität. Inhaltlich ist die Annuität als der unter Berücksichtigung einer Verzinsung zum Kalkulationszinssatz durchschnittlich je Periode erzielbare Einzahlungsüberschuss interpretierbar. Die Annuität A kann ermittelt werden, in dem der Kapitalwert der Investition mit dem sog. Annuitätenfaktor $a_{i,n}$ multipliziert und so auf die Nutzungsperioden der Investition verteilt wird:

$$A = KW * a_{i,n}$$

Der Annuitätenfaktor $a_{i,n}$ lautet für einen gegebenen Kalkulationszinssatz i und eine gegebene Nutzungsdauer n :

$$a_{i,n} = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Bei gleichem Kalkulationszinssatz und gleicher Nutzungsdauer ist die Annuitätenmethode mit der Kapitalwertmethode vollkommen äquivalent. Insoweit ist die Annuität nichts anderes als eine Umformung des Kapitalwertes.

2.2.3 Die Tools des CalculationModels

Kosten der eingesparten kWh Energie / Annuitätischer Gewinn

Bei dieser Berechnungsmethode handelt es sich um eine Mehrertragsrechnung d.h. nur die sog. energiebedingten Mehrkosten fließen in die Berechnung ein. Zur Ermittlung der energiebedingten Mehrkosten müssen von den Gesamtkosten einer energetischen Sanierung diejenigen Kosten abgezogen werden, die bei einer Instandsetzung des Gebäudes „sowieso“ angefallen wären (die sog. „Sowiesokosten“ z.B. für Baustellengerüst, Putzerneuerung etc.). Die Kosten der eingesparten kWh Energie ergeben sich, wenn man die energiebedingten Mehrkosten mit dem Annuitätenfaktor (s.o.) multipliziert und durch die jährliche Energieeinsparung dividiert.

Die Maßnahmen sind dann wirtschaftlich, wenn die Kosten der eingesparten kWh kleiner sind als der (berechnete) mittlere zukünftige Energiepreis d.h. wenn es billiger ist, eine kWh Energie einzusparen als sie über den Energiemarkt zu beziehen. Alternativ kann auch der annuitätische Gewinn betrachtet werden. Ist der annuitätische Gewinn, d.h. der gemittelte jährliche Gewinn (die Differenz aus Energiekostensparnis und energiebedingten Mehrkosten) über den Betrachtungszeitraum größer als 0, ist die Maßnahme wirtschaftlich. Bei einem Vergleich von Sanierungsvarianten ist diejenige Alternative vorzuziehen, die den größten annuitätischen Gewinn verspricht. Ein Alternativenvergleich sollte ausschließlich über den annuitätischen Gewinn erfolgen. Die Kosten der eingesparten kWh sind dafür nicht geeignet, da dabei nicht berücksichtigt wird, wie viel kWh Endenergie durch die Maßnahmen insgesamt eingespart wird. Die Variante mit den geringsten Kosten der eingesparten kWh ist dabei nicht zwangsläufig die wirtschaftlich optimale.

Kapitalwertmethode (Mehrertragsrechnung)

Bei dieser Berechnungsmethode handelt es sich ebenfalls um eine Mehrertragsrechnung d.h. der durch die Energiesparmaßnahmen erzielte Mehrertrag (hier die resultierende Mieterhöhung) wird den Mehrkosten gegenübergestellt, die durch die zusätzlichen Energiesparmaßnahmen verursacht wurden (die sog. energiebedingten Mehrkosten). Zur Ermittlung der energiebedingten Mehrkosten müssen von den Gesamtkosten die „Sowiesokosten“ (z.B. Baustellengerüst, Putzerneuerung) abgezogen werden (s.o.).

Die Maßnahmen sind dann wirtschaftlich, wenn der Kapitalwert der Maßnahmen größer als 0 ist. Ein Kapitalwert größer 0 entspricht einem Mehrertrag der zusätzlich zum Kalkulationszins erwirtschaftet wird. Bei einem Vergleich von Alternativen ist die Alternative mit dem höchsten Kapitalwert vorzuziehen.

Für die Berechnung des Kapitalwertes einer energetischen Modernisierung im Gebäudebestand müssen festgelegt bzw. ermittelt werden:

- Der Kalkulationszinssatz des Investors, der Betrachtungszeitraum sowie eine allgemeine Inflationsrate bei einem Nominalansatz
- Die mit der Investition verbundenen Ein- und Auszahlungsreihen
- Die gesamten Investitionskosten

Modernisierungsbedingte zusätzliche Mieteinnahmen ergeben sich aus der Differenz zwischen den Mieteinnahmen des nicht modernisierten und des energetisch modernisierten Gebäudes. Entscheidend für die Einnahmen des Vermieters sind die Höhe und die zeitliche Entwicklung der zusätzlichen Mieteinnahmen.

Mieterhöhungsmöglichkeiten bestehen für den Investor aufgrund der §§ 558 (Anhebung auf die ortsübliche Vergleichsmiete) und 559 (Wohnwertverbesserungszuschlag) BGB. Da energietechnische Modernisierungen in der Regel im Mietspiegel nicht abgebildet sind, bleibt dem Investor häufig lediglich eine Erhöhung der Miete auf Basis § 559 BGB durch den Wohnwertverbesserungszuschlag (11 %). Darüber hinaus ist es notwendig einen Mietanstieg im Zeitverlauf zu berücksichtigen.

Die Auszahlungsreihen setzen sich zusammen aus dem eingesetzten Eigenkapital, den Zins- und Tilgungszahlungen, den Steuerzahlungen sowie den möglichen zusätzlichen Zahlungen für Verwaltung und Instandhaltung.

Kapitalwertmethode (Gesamtertrag mit Risikobetrachtung)

Im Unterschied zur Mehrertragsrechnung basiert diese Berechnungsmethode auf einem Vollkostenansatz, d.h. den gesamten Kosten einer Maßnahme werden die gesamten Erträge gegenübergestellt (Gesamtertragsrechnung). Wirtschaftlich sind die Maßnahmen dann, wenn der Kapitalwert größer als 0 ist. Der Kapitalwert wird hierbei als Gegenwartswert der zukünftigen Reinerträge verstanden. Die wirtschaftlich optimale Alternative ist diejenige mit dem höchsten Kapitalwert. Im Rahmen der Berechnung können mehrere Risikoparameter in die Berechnung integriert werden (Leerstand, Mieterträge, Eigenkapitalverzinsung, Instandhaltungskosten). Der Ansatz von nach Risikogesichtspunkten gestaffelten Eigenkapitalzinsen entspricht dem Capital-Asset-Value-Gedanken, der im Zuge von BASEL II auch von Banken bei der Vergabe von Krediten angewendet wird.

In den Wirtschaftswissenschaften geht man davon aus, dass Entscheidungen über Investitionen durch den erwarteten Ertrag und das erwartete Risiko determiniert werden. Auch energiesparende Investitionen im Gebäudebestand können sich an Rendite und Risiko orientieren. Sie weisen dabei eine Reihe von positiven Wirkungen auf:

- Die energetische Modernisierung führt zu einer Erhöhung der Mietzahlungsbereitschaft durch höheren Wohnkomfort.
- Die energetische Modernisierung kann zu einer Verlängerung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer einer Immobilie führen. Dadurch steigt der zur Verfügung stehende Reinertrag aus der Bewirtschaftung der Immobilie.
- Die Betriebskosten werden von den Mietern getragen. Folglich beeinflussen hohe Energiepreise die Vermietbarkeit der Immobilien negativ. Niedrige Betriebskosten, wie z.B. bei einem energetisch sanierten Gebäude, wirken sich dagegen positiv auf die Vermietbarkeit und dadurch auf den ökonomischen Erfolg des Wohnungsunternehmens aus.
- Ist für die Zukunft mit einem erheblichen Anstieg der Energiepreise zu rechnen, stellt die energetische Sanierung eine Absicherung („Hedging“) gegen zukünftige Energiepreiserhöhungen dar.

Die genannten Vorteile einer energetischen Modernisierung werden in den üblichen Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Gebäudebereich (z.B. II. Berechnungsverordnung, Amortisationsrechnung) in der Regel nicht abgebildet. Aus diesen Gründen wird im Folgenden ein alternativer Bewertungsansatz erläutert.

Zur Bewertung von Unternehmen (z.B. bei einem geplanten Verkauf oder bei Fusionen) haben sich heute weitgehend Barwertmethoden durchgesetzt, die auf der Kapitalwertmethode basieren. Dabei wird der heutige Wert (Barwert) der erwarteten Geldzuflüsse ermittelt. Bei den Methoden der Unternehmensbewertung lassen sich u.a. die Ertragswertmethode und die Discounted Cash Flow-Verfahren unterscheiden. Sowohl die Ertragswertmethode als auch die Discounted Cash Flow-Verfahren verwenden zur Bemessung des Kapitalisierungszinssatzes bzw. zur Ermittlung der vom Eigenkapitalgeber geforderten Eigenkapitalverzinsung das Capital Asset Pricing Model (CAPM), das eine Risikoerfassung ermöglicht.

Allgemein wird in den Wirtschaftswissenschaften dann auf das Capital Asset Pricing Model zurückgegriffen, wenn ein Zusammenhang zwischen Risiken und dem Wert von Wertpapieren hergestellt werden soll. Die Eigenkapitalzinsen für ein bestimmtes Unternehmen werden gemäß dem CAPM als Summe des Zinses einer risikolosen Anlage und eines Betrages, der das Risiko der Anlage in das Unternehmen reflektiert, dargestellt.

Es bietet sich an, eine ähnliche Vorgehensweise wie bei der Unternehmensbewertung auch zur Bewertung von energiesparenden Investitionen im Immobilienbestand anzuwenden. Der Wert einer Immobilie wird demnach allein durch den zukünftigen Gesamtertrag (die zukünftigen Cash-Flows) unter Beachtung von Risikoaspekten bestimmt.

- Zunächst ist es erforderlich, den zu erwartenden jährlichen Reinertrag der Immobilie (NOI; Net operating income) zu ermitteln. Der jährliche Reinertrag (NOI) wird definiert als Bruttomiettertrag abzüglich Betriebs-, Instandhaltungs- und Verwaltungskosten. Im Bruttomiettertrag berücksichtigt sind erwartete Leerstände. Mietrückstände sind dagegen nicht enthalten, da es sich um eine Cash-Flow-Rechnung handelt, die nur die tatsächlichen Zahlungsströme (den Finanzmittelüberschuss der Periode) erfasst. Auch Zinsen und Abschreibungen sind bei dieser Definition (noch) nicht berücksichtigt. Wenn die Betriebskosten von den Mietern getragen werden, gehen sie nicht in die Berechnung ein. Der so ermittelte NOI steht für die Bedienung des Eigen- und des Fremdkapitals zur Verfügung.

- Ausgehend vom Barwert des Fremdkapitals (der hypothekarischen Gesamtbelastung), dem Zinssatz für das Fremdkapital und der Restnutzungsdauer der Immobilie können die annuitätischen Zahlungen an die Fremdkapitalgeber errechnet werden.
- Zieht man vom NOI die annuitätische Zahlung an die Fremdkapitalgeber ab, erhält man den Betrag, der pro Jahr zur Bedienung der Eigenkapitalgeber zur Verfügung steht.
- Mit dem jährlichen Betrag zur Bedienung der EK-Geber, dem geforderten EK-Zinssatz und der Restlebensdauer des Gebäudes kann der Barwert des Eigenkapitals errechnet werden.
- Als Entscheidungskriterium für die Vorteilhaftigkeit der Investition kann festgehalten werden: Übersteigt der Barwert des Eigenkapitals des Projektes den Eigenkapitaleinsatz zu Beginn des Investitionsprojektes sollte das Projekt durchgeführt werden, denn dann ist die Eigenkapitalrendite des Projektes höher als die von den Eigenkapitalgebern verlangte Eigenkapitalverzinsung („Kapitalmarkt- Benchmark“).

Im Gegensatz zur Kapitalwertberechnung für eine Mieterhöhung nach § 559 BGB handelt es sich hierbei nicht um eine Mehrertrags- sondern um eine Gesamtertragsrechnung, d.h. um einen Vollkostenansatz. Die erforderliche Eigenkapitalverzinsung wird ebenso wie der erwartete NOI abgeschätzt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich beim NOI nicht um den vereinbarten Nettomietlertrag, sondern um den über die Nutzungsdauer erwarteten effektiven Nettomietlertrag pro Jahr handelt. Erwartete Leerstände sowie die Höhe der Instandhaltungs- und Verwaltungskosten über den Nutzungszeitraum gehen in diese Annahme mit ein und können für unterschiedliche Varianten variiert werden. Dabei könnte z.B. angenommen werden, dass mit steigendem Sanierungsumfang der erwartete NOI aufgrund sinkender Leerstände, sinkender Instandhaltungskosten und erhöhter Mietzahlungsbereitschaft steigt. Der Abriss des Gebäudes erfolgt nach der jeweiligen Restnutzungsdauer, wobei sich Abrisskosten und Bodenwert aufheben.

Die Höhe der erforderlichen Eigenkapitalverzinsung wird entsprechend dem Risiko der unterschiedlichen Gebäudevarianten abgeschätzt. Der Eigenkapitalzins ist dabei stets höher als der Fremdkapitalzins, da der Eigenkapitalgeber ein höheres Risiko als der Fremdkapitalgeber eingeht und dafür einen höheren Rückfluss im Vergleich zu einer sicheren Kapitalmarktanlage erwartet. Es ist weiterhin zu beachten, dass mit abnehmendem Risiko der Eigenkapitalzinssatz sinkt. Im unsanierten Zustand könnte der Kapitalmarkt- Benchmark wegen der hohen Risiken eines Gebäudes (Marktsituation, Zustand des Gebäudes) z.B. bei 10 % liegen. Bei einem hochwertig energetisch sanierten Gebäude könnte das Eigenkapital wegen der gesunkenen Risiken des Gebäudes lediglich mit 6 % verzinst werden. Dies entspricht einer alternativen Kapitalmarktanlage mit relativ geringem Risiko.

Die Investitionen haben darüber hinaus Auswirkungen auf den zu erzielenden Nettomietlertrag (höhere Mietzahlungsbereitschaft, weniger Leerstand), reduzieren die zukünftigen Instandhaltungskosten und verlängern die wirtschaftliche Restnutzungsdauer des Gebäudes. Darüber hinaus ist zu beachten, dass auch der Zinssatz für das Fremdkapital durch ein positives Rating des Wohnungsunternehmens sinken kann.

Vollständiger Finanzplan

Das Konzept vollständiger Finanzpläne bildet alle mit der Investition verbundenen Zahlungen explizit ab. Auf diese Weise werden eine vergleichsweise exakte und

transparente Erfassung sämtlicher Zahlungsreihen und der sich ergebenden finanzwirtschaftlichen Alternativen ermöglicht. Anders als bei den barwertig orientierten Verfahren werden alle Zahlungen statt auf den Investitionszeitpunkt auf den Planungshorizont bezogen. Der Zeitpräferenz des Entscheiders wird dementsprechend über die Dauer der möglichen Wiederanlage bzw. der notwendigen Zwischenfinanzierung explizit Rechnung getragen. Die Zinssätze, zu denen diese Wiederanlagen oder Zwischenfinanzierungen erfolgen, können frei und an der tatsächlichen Situation orientiert gewählt werden.

Die VOFI- Rentabilität wird nach folgender Formel berechnet:

$$r_{\text{VOFI}} = \sqrt[T]{\frac{C_T}{EK}} - 1$$

wobei C_T den Vermögensendwert am Ende des Betrachtungszeitraumes und EK die Eigenkapitalbasiszahlung in Periode 0 darstellt.

Wesentlicher Bestandteil vollständiger Finanzpläne ist die periodenbezogene Erfassung aller im Zusammenhang mit der Investition stehenden Zahlungsströme und zwar sowohl der originären als auch der derivativen. Unter den originären Zahlungsströmen sind alle Ein- und Auszahlungen zu verstehen, die direkt mit der Investition in Zusammenhang stehen. Als derivative Zahlungsströme werden alle Ein- und Auszahlungen bezeichnet, die sich als Konsequenz aus der Investition ergeben. Hierunter werden vornehmlich die steuerlichen Auswirkungen sowie der gesamte Finanzierungsbereich mit dem gewichtigen Aspekt der Reinvestition zusammengefasst. Gerade im Bereich der derivativen Zahlungsströme sind Parameter zu definieren, mittels derer die periodengerechte Abbildung innerhalb der vollständigen Finanzpläne gewährleistet werden kann. Zu diesen Parametern gehören unter anderem die Zinssätze für Kapitalaufnahme und Kapitalanlage, Abschreibungssätze sowie Annahmen bezüglich der Ertragsentwicklung für den betrachteten Zeitraum. Als Entscheidungskriterien werden der Vermögensendwert und die VOFI- Rendite verwendet. Der Vermögensendwert (liquide Mittel am Ende des Betrachtungszeitraums) eignet sich nur für den Vergleich von Alternativen, da er für die Beurteilung von Einzelentscheidungen keinen Maßstab bereitstellt. Die VOFI- Rentabilität ist als durchschnittliche Rendite des eingesetzten Eigenkapitals zu verstehen. Sie kann mit einer geforderten Mindestrendite verglichen werden und erlaubt so auch eine Bewertung von Einzelentscheidungen. Die Eigenkapitalrendite kann nur berechnet werden, wenn Eigenkapital eingesetzt wird oder positives kalkulatorisches Eigenkapital (Buchwert Gebäude und Grund) zu Beginn des Betrachtungszeitraum vorhanden ist.

2.3 Anwendung der Methoden auf Schulen

Die erfolgreiche Tätigkeit der LUWOG CONSULT auf den Gebieten Wohn- und Nichtwohngebäude wirft die Frage auf, inwieweit Erkenntnisse in diesen Bereichen auf Schulen anwendbar sind. Da sich Schulen – gerade was wirtschaftliche Aspekte betrifft – erheblich von Wohngebäuden unterscheiden, müssen Methoden und Werkzeuge die für die wirtschaftliche Betrachtung von Wohngebäuden entwickelt wurden und an die veränderten Randbedingungen angepasst werden.

Der wichtigste Punkt dabei ist, dass Schulen auf unterschiedliche Weisen finanziert werden. Es gibt unterschiedliche Schulträger und diverse Modelle zur Verrechnung tatsächlich anfallender Kosten. Ein Beispiel ist die meist von Schule zu Schule unterschiedliche Erhebung von Mieten. Einige Schulträger zahlen Mieten an das Gebäudemanagement der Stadt oder Gemeinde, andere nicht. Die Frage, ob diese Mieten marktgerecht sind ist hierbei noch nicht betrachtet. Diese unterschiedliche Miet- oder Einnahmensituation müsste in einer weiteren Studie umfassend analysiert werden.

Die vorliegende Studie geht auf diese Frage nicht ein und lässt die Frage der Mieten außen vor. Dies ergibt die erste Anpassung:

Mieteinnahmen werden nicht berücksichtigt.

LUWOG CONSULT entwickelt bei einer herkömmlichen Machbarkeitsstudie für Gebäude maßgeschneiderte technische Lösungen für die betreffenden Objekte. Nur so lassen sich optimale Handlungsempfehlungen aussprechen. Diese Schulstudie soll Aussagen über Schultypen treffen, so dass hier mit

standardisierten Modernisierungsmaßnahmen gearbeitet wird.

Die wirtschaftlichen Untersuchungen werden mit einem speziell für diese Studie angepassten Rechenmodell eines **vollständigen Finanzplans** gerechnet. Anpassungen des vollständigen Finanzplans erfolgen speziell auf der Ausgabenseite.

Die wichtigsten Randbedingungen sind:

- Maßnahmen, die nicht mit der energetischen Modernisierung zusammenhängen werden nicht berücksichtigt.
- Bauteilbezogene Kosten werden auf die Energiebezugsfläche heruntergebrochen und ein Preis pro m² Energiebezugsfläche ermittelt.
- Es erfolgt eine Sensitivitätsanalyse bezüglich verschiedener Energiepreissteigerungsszenarien (2%, 5% und 10% Energiepreissteigerung pro Jahr).

3 Grundbedingungen dieser Studie

3.1 Bauliche Maßnahmen an den Schulen

Für diese Studie wurden unterschiedliche Schultypen identifiziert und ausgewählt. Es sollen soweit möglich, allgemeingültige Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von energetischen Modernisierungsmaßnahmen getroffen werden. Deshalb werden für alle Schultypen einheitliche Maßnahmen definiert. Es werden Maßnahmen für

- Dämmung der Außenwände, Dachflächen und Kellerdecken
- Fenster
- Lüftungstechnik

definiert. Diese Maßnahmen ergeben folgende Variantenmatrix:

Bauteile	Maßnahmen		
Dämmung	Außenwand 8 cm WLG 035 Dach 12 cm WLG 035 D	Außenwand 14 cm WLG 035 Dach 18 cm WLG 035 D+	Außenwand 30 cm WLG 035 Dach 40 cm WLG 035 D++
Fenster	2-Scheiben-WSV U=1,7 F	2-Scheiben-WSV U=1,3 F+	3-Scheiben-WSV U=0,8 F++
Lüftung	ohne WRG L	mit WRG L+	

Die Varianten erhalten Kurzbezeichnungen nach folgendem Schema:

DFL bedeutet eine Sanierung nach dem vorgegebenen Standard der EnEV.

D+F+L+ bedeutet:

- Dämmung der Außenwand 14 cm WLG 035
- Dämmung Dach 18 cm WLG 035
- 2-Scheiben-WSV U=1,3
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Der Untersuchung wird als mindestens durchzuführendes Maßnahmenpaket eine Modernisierung nach EnEV (2007) zugrunde gelegt. Sie entspricht der zuvor eingeführten Variante „DFL“. Diese Variante beinhaltet:

- Erfüllung der Anforderungen der EnEV 2007 für Altbauten

- Eine Lüftungsanlage, die unbedingt notwendig ist um eine ausreichende Luftqualität sicherzustellen (CO₂-Konzentration unter 1500 ppm).

3.2 Lüftungsanlagen als Bestandteil der Modernisierung

Die Luftqualität in Klassenräumen wird vor allem durch Feinstaubbelastung, Emissionen aus Baumaterialien, Einrichtungs- und Ausstattungsgegenständen, aus Reinigungs- und Pflegemitteln, Feuchtigkeitsschäden, aber auch in hohem Maße durch Kohlendioxid beeinflusst.¹ Die Luftqualität wird unter anderem an Kohlendioxid-Konzentration gemessen. Als Richtwert gilt in Deutschland nach DIN 1946 Teil 2 ein CO₂ – Wert von 1500 ppm oder 0,15 Vol.-%, der nur kurz erreicht oder überschritten werden sollte. Viele durchgeführte Untersuchungen, bei denen der CO₂ – Gehalt der Raumluft gemessen wurde, haben gezeigt dass dieser Wert besonders in Wintermonaten oft überschritten wird. In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse einer Studie an 40 Berliner Schulen dargestellt. In 87% der Schulen wurde eine Überschreitung des Richtwertes festgestellt, bis zu Maximalgehalt von 10700 ppm (LGL, Projekt Luftqualität in öffentlichen Innenräumen²).

Schlechte Luftqualität spiegelt sich zum einen im gesundheitlichen Zustand der Schüler und Lehrer wieder, wie z.B. Müdigkeit, Kopfschmerzen, Allergien, Asthma und ähnliches. Kinder sind dabei besonders betroffen, da sich deren Immunsystem noch in der Entwicklungsphase befindet und sie empfindlicher auf Schadstoffe reagieren als Erwachsene.³ Zum anderen wirkt sich schlechte Luft auf das Lernvermögen der Schüler negativ aus, wie z.B. auf deren Konzentrationsfähigkeit.

Daher ist es sehr wichtig, dass Klassenräume ausreichend gelüftet werden. Die Fensterlüftung reicht dabei in den meisten Fällen nicht aus. Eine dauerhaft gute Luftqualität kann nur durch eine mechanische Lüftung sichergestellt werden. In Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung kann auch der Energieverbrauch deutlich reduziert werden.

Aus diesen Gründen wird in dieser Studie grundsätzlich mit einer Lüftungsanlage gearbeitet. Je nach Variante werden Lüftungsanlagen dezentrale oder zentrale Lüftungsanlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung unterschieden.

Zentrale Lüftungsanlagen: Bei der Einhaltung des Mindestluftwechsels gibt es wegen der großen Luftmengen Probleme durch große Luftkanalquerschnitte.

Wird der hohe Luftwechsel überhaupt benötigt?

Nach EN 13779 ist ein Außenluftvolumenstrom von ca. 20 m³/h und Person ausreichend, um eine akzeptable Luftqualität zu erreichen. Eine zusätzliche kurze Stoßlüftung in den Pausen sorgt für eine gute Ausgangssituation für die nächsten Schulstunden.

Prinzipiell gilt: Das bauliche und haustechnische Konzept soll möglichst einfach gestaltet werden. Es wird zwischen Lüftungsanlagen ohne Wärmerückgewinnung und solchen mit WRG unterschieden. Innerhalb dieser Kategorien kann zwischen zentralen und dezentralen Systemen unterschieden werden. Die einströmende Luft muss aus Komfortgründen zwingend vorgewärmt werden.

¹ Vgl. Leitfaden für die Innenraumluftthygiene in Schulgebäuden, S. 2.

² LGL: Luftqualität in öffentlichen Innenräumen, URL: http://www.lgl.bayern.de/global/script/xxl.php?url=gesundheit/umweltmedizin/projekt_luft.htm (10.07.2007, 07.25 Uhr)

³ APUG: Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit, URL: <http://www.apug.de/kinder/index.htm> (26.06.2007, 15.22 Uhr)

3.3 Finanzierung und Wirtschaftlichkeit

Ein wesentlicher Punkt einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist die Rücklagenbildung. Die Höhe der zu bildenden Rücklagen muss intensiv für jede Schule ermittelt werden. Dieser Beitrag kann in dieser Studie nicht geleistet werden und muss für die jeweilige Schule separat untersucht werden.

Erläuterung der Parameter der vollständigen Finanzpläne:

Die folgende Tabelle enthält eine Darstellung der Eingabemaske eines vollständigen Finanzplans am Beispiel der Franz von Sickingen- Schule in Bad Münster am Stein. Es werden hier die Varianten Ist- Zustand, DFL, DFL+ und D+FL bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 5 % berechnet.

Variante	Bez.	Ist	DFL	DFL+	D+FL
Energiebezugsfläche	[m ²]	5058	5058	5058	5058
Betrachtungszeitraum		25	25	25	25
Investitionskosten					
Instandsetzung	[€/m ²]	0	0	0	0
Modernisierung	[€/m ²]	0	451,8249797	475,4249797	462,8356597
Gesamtumfang der Maßnahme	[€]	0	2.286.216	2.402.550	2.341.854
Finanzierung					
Höhe des Darlehens	[€]	0	2.286.216	2.402.550	2.341.854
Eigenkapital	[€]	0	0	0	0
Darlehen			KfW Prg 156	KfW Prg 156	KfW Prg 156
Darlehenssumme	[€]	0	2.286.216	2.402.550	2.341.854
Laufzeit	[a]	25	25	25	25
Zins bis Periode 10	[%]	2,01%	2,01%	2,01%	2,01%
Zins ab Periode 11	[%]	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
Energiekosten					
Heizung und TWW	[kWh/a]	790.333	575.748	549.317	537.019
Preis Heizenergie	[€/kWh]	0,08	0,08	0,08	0,08
Beleuchtung, Belüftung	[kWh/a]	66.104	67.196	67.781	67.777
Preis Energie	[€/kWh]	0,17	0,17	0,17	0,17
Energiepreissteigerung	[%]	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%

Erläuterung der Parameter:

Variante	
Energiebezugsfläche	Energiebezugsfläche nach DIN 18599
Betrachtungszeitraum	Betrachtungszeitraum der Rechnung, hier 25 Jahre
Investitionskosten	
Instandsetzung	Kosten, die für die Instandsetzung aufzuwenden sind (um den Instandhaltungstau zu beseitigen).
Modernisierung	Modernisierungskosten entsprechend der Varianten ⁴

Finanzierung	
Höhe des Darlehens/Eigenkapital	Um Eigenkapitalrenditen vergleichen zu können, muss bei allen Varianten von einem gleich hohen Eigenkapitaleinsatz ausgegangen werden. Hier wird davon ausgegangen, dass die Modernisierungsmaßnahmen zu 100% fremdfinanziert sind. D.h. Eigenkapitaleinsatz = 0.
Darlehen	Für die einzelnen Varianten können die passenden Darlehen zusammengestellt werden. Diese Darlehen können Bankdarlehen, KfW-Darlehen etc. sein. Entsprechend der erreichbaren Förderniveaus werden unterschiedliche KfW-Förderniveaus genutzt. Bestehende Belastungen werden ebenfalls mit ihren Annuitäten berücksichtigt. Bei Darlehen kann entweder der genaue Tilgungsplan erfasst werden, oder das Darlehen kann mit folgenden Parametern erfasst werden:
Darlehenssumme	Höhe des Darlehens
Laufzeit	Laufzeit des Darlehens
Zins bis Periode 10	Darlehenszinsen in den Jahren 1-10
Zins ab Periode 11	Darlehenszinsen ab dem 11. Jahr
Art des Darlehens	Hier wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass die energetischen Modernisierungsmaßnahmen zu 100% mit dem KfW-Programm 156 finanziert werden (KfW-Kommunalkredit – Energetische Gebäudesanierung, Programmnummer 156).
Energiekosten	
Benötigte Heizenergie	Die benötigte Energie in kWh/a
Preis Heizenergie	Der Preis in €/kWh der Heizenergie. Die Unterscheidung in Heizenergie und Hilfsenergie erfolgt deshalb, um verschiedene

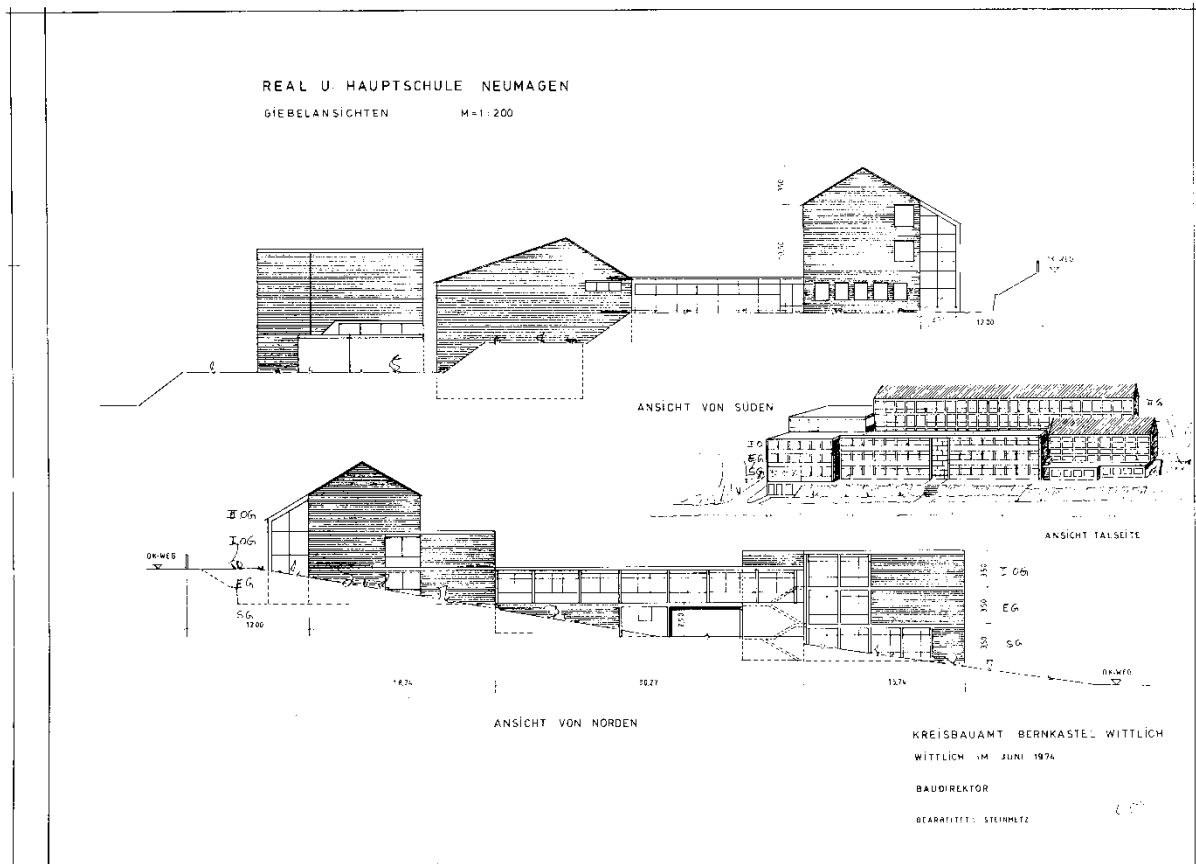
⁴ Die Unterscheidung in Instandsetzungs- und Modernisierungskosten geht in die steuerliche Nebenrechnung und darin in die Afa- Sätze ein. Bei dieser Studie wird davon ausgegangen, dass alle entstehenden Aufwendungen Modernisierungskosten sind.



	kWh-Preise abbilden zu können, z.B. für Fernwärme und Strom.
Beleuchtung/Belüftung	Benötigte Energie, z.B. für Warmwasserbereitung, Pumpen, Beleuchtung und Belüftung
Preis Energie	Preis in €/kWh
Energiepreissteigerung	Energiepreissteigerung in % p.a.. Die Abschätzung der Energiepreisentwicklung bestimmt den Faktor, der die Wirtschaftlichkeit der Varianten maßgeblich bestimmt. Um seine Auswirkung deutlich zu machen, kann eine Sensitivitätsanalyse angefertigt werden, bei der die Varianten unter verschiedenen Energiepreissteigerungsszenarien verglichen werden.

4 Studie zur Haupt- und Realschule Neumagen-Dhron

4.1 Bestandsaufnahme



Wichtige Daten:

3 Schulgebäude und 1 Turnhalle.

Baujahre 1961-1978

Heizung: Schule: Elektro-Nachtspeicheröfen, Turnhalle: Warmluftsystem mit Elektroblock

Besonderheiten: Die Nachtspeicheröfen wurden in den 1980er Jahren ausgetauscht, die Dachflächen wurden teilweise saniert und gedämmt.



Endenergiebedarf:

Stromheizung

1.450.000 kWh/a

Strom für Warmwasser, Beleuchtung etc. 95.850 kWh/a

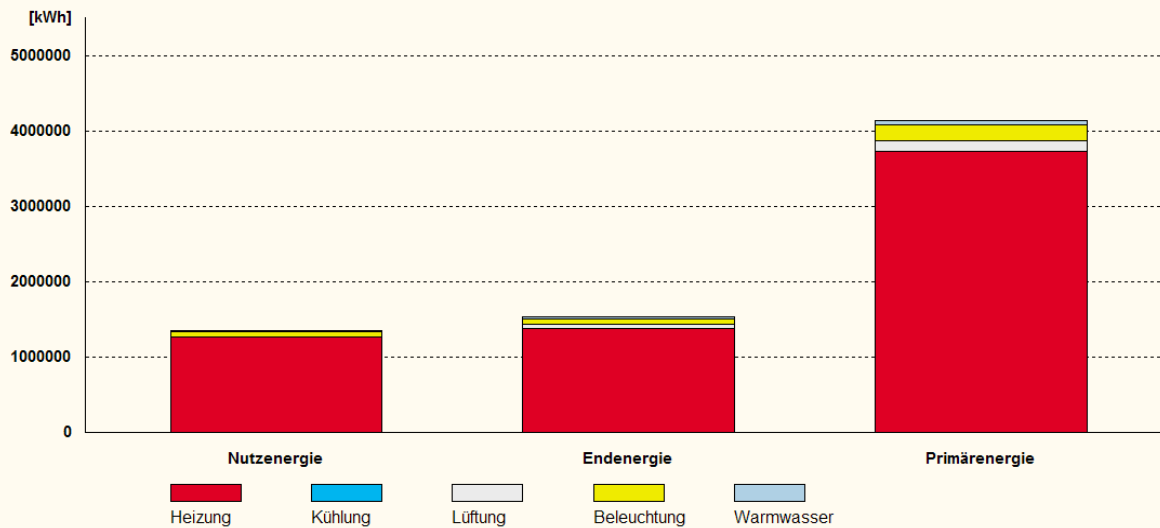
Stromkosten pro Jahr gesamt: 161.300 €/a

Stromkosten pro Nutzfläche und Jahr: 33,24 €/m²a

Energieberechnung nach DIN 18599

Energiebilanz:

	Gesamt [kWh/a] [kWh/(m ² a)]	Heizung [kWh/a] [kWh/(m ² a)]	Kühlung [kWh/a] [kWh/(m ² a)]	Lüftung [kWh/a] [kWh/(m ² a)]	Beleuchtung [kWh/a] [kWh/(m ² a)]	Warmwasser [kWh/a] [kWh/(m ² a)]
Nutzenergie	1358160	1265094	0	0	77316	15750
	199,14	185,49	0	0	11,34	2,31
Endenergie	1534752	1383433	0	55470	77316	18533
	225,03	202,84	0	8,13	11,34	2,72
Primärenergie	4143831	3735269	0	149770	208753	50039
	607,58	547,67	0	21,96	30,61	7,34



4.2 Maßnahmen und Kosten

Es wurden 18 Modernisierungsvarianten entwickelt. Nachfolgend werden exemplarisch 2 dargestellt⁵:

die Mindestvariante nach EnEV als Referenzgröße (DFL), und die energetisch und wirtschaftlich beste Variante (D++F++L+).

Tabelle 1: 3 Varianten und Kosten der Maßnahmen

DFL		D+FL+		D++F++L+	
Kellerdecke 6cm	10.835 €	Kellerdecke: 12cm	13.002 €	Kellerdecke 20cm	15.169 €
Außenwand 8cm	458.971 €	Außenwände 14cm	480.519 €	Außenwand 30cm	540.853 €
Flachdach 12cm	244.871 €	Flachdach 18cm	261.109 €	Flachdach 30 cm	292.286 €
Türen	65.405 €	Türen	65.405 €	Türen	65.405 €
Oberste Geschoßdecke	30.116 €	Oberste Geschoßdecke 18cm	33.558 €	Oberste Geschoßdecke	41.302 €
Fenster uw=1,7	906.594 €	Fenster uw=1,7	906.594 €	Fenster uw=0,8	1.115.111 €
Lüftungsanlage ohne WRG	778.800 €	Lüftungsanlage mit WRG	1.062.000 €	Lüftungsanlage mit WRG	1.062.000 €
Heizungsanlage	1.180.000 €	Heizungsanlage	719.800	Heizungsanlage	637.200 €
Summe	3.675.591 €	Summe	3.541.986 €	Summe	3.769.325 €
		Investitionsminderkosten zur DFL –Variante absolut	133.605 €	Investitionsmehrkosten zur DFL-Variante absolut	93.734 €
		Investitionsminderkosten zur DFL –Variante in %	3,6 %	Investitionsmehrkosten zur DLF-Variante in %	2,6 %

Die Heizungsanlage beinhaltet den Austausch der Nachspeicheröfen gegen eine warmwasserbasierte Heizung inkl. des Aufbaues eines komplett neuen Warmwassernetzes. Die Kosten dafür nehmen bei einem besseren energetischen Standard ab, da dort dann weniger Heizwärmebedarf entsteht. Deswegen ist die Gesamtinvestitionssumme der Variante D+FL+ niedriger als die der Variante DFL.

⁵ Die Varianten werden nach den verschiedenen Qualitäten der Hauptkomponenten bezeichnet. Hauptkomponenten sind Dämmung=D, Fenster=F und Lüftung=L. Daraus wird eine Variantenmatrix entwickelt. Eine Variante ist z.B. D+FL+, bei der die Dämmung besser ist als bei der Mindestvariante, die Fenster der Mindestvariante entsprechen und die Lüftung zusätzlich zur Mindestvariante eine Wärmerückgewinnung hat.

Investitionskosten pro m² Nettogrundfläche A_{NGF}⁶

DFL: 3.675.591 € / 6.820 m² = 539 €/m²

D+FL+: 3.541.986 € / 6.820 m² = 519 €/m²

D++F++L+: 3.769.325 € / 6.820 m² = 553 €/m²

Die Investitionskosten der wirtschaftlichsten (und in diesem Fall auch energetisch besten) Variante liegen 14 € pro m² A_{NGF} über der nach der Energieeinsparverordnung mindestens umzusetzenden Sanierungsvariante. Die Mehrkosten der Investition der wirtschaftlich besten Variante machen damit etwa 3 % aus.

Die Modernisierungsmaßnahmen sparen pro Jahr an Energie ein (ausgedrückt in Heizöläquivalent):

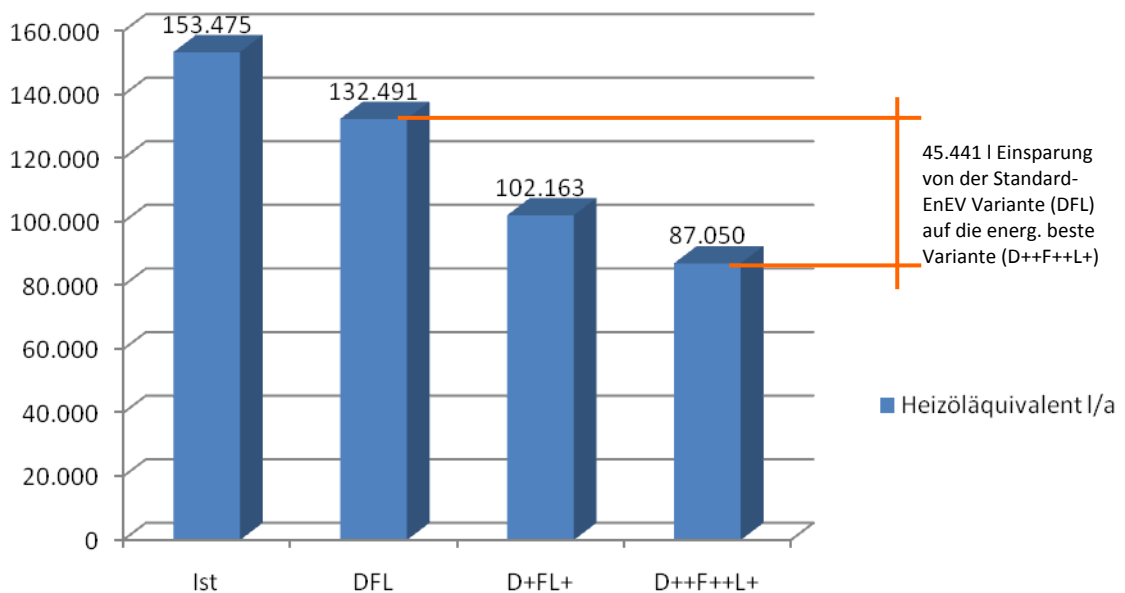


Abbildung 1: Verbrauch in Heizöläquivalent pro Jahr⁷

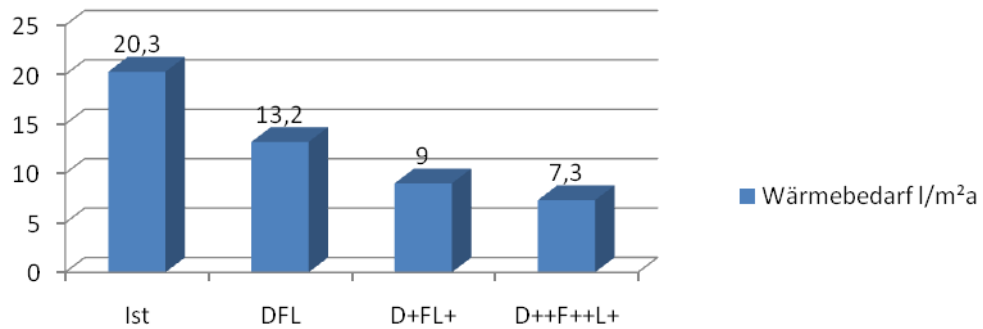
In Heizöläquivalenten verbraucht die Realschule Neumagen-Dhron derzeit (Ist-unsaniert) rechnerisch 153.475 Liter. Die Sanierung auf EnEV- Anforderungen reduziert den Wärmebedarf auf 132.491 Liter Heizöläquivalente (- 14%), die energetische Bestvariante auf 87.050 Liter (- 44 %).

⁶ Die Flächen wie Nutzfläche, Verkehrsfläche, BGF, etc. werden mit dem Endbericht der Studie nachgeliefert

⁷ Vergleichen werden „Ist“ = Ist-Zustand vor der Modernisierung und die 2 zuvor betrachteten Varianten

Heizwärmebedarf der Hülle

Entsprechend der Standarddarstellung einer energetischen Modernisierung eines Gebäudes kann man auch den Wärmebedarf der Gebäudehülle darstellen. Der Wärmebedarf wird in Litern Heizöläquivalent gerechnet.

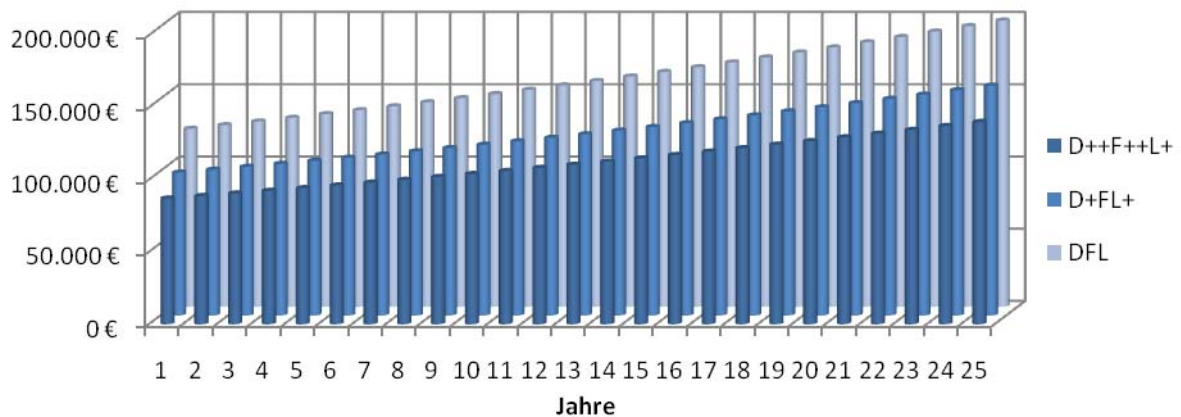


4.3 Energiekostenentwicklung

Die Entwicklung der Energiekosten für 3 Energiepreissteigerungsszenarien⁸ kann folgendermaßen dargestellt werden.

Die anfänglichen Energiekosten pro Jahr liegen bei der Basisvariante bei 123.206 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 87.061 €.

Energiekostenentwicklung bei 2% Energiepreissteigerung p.a.

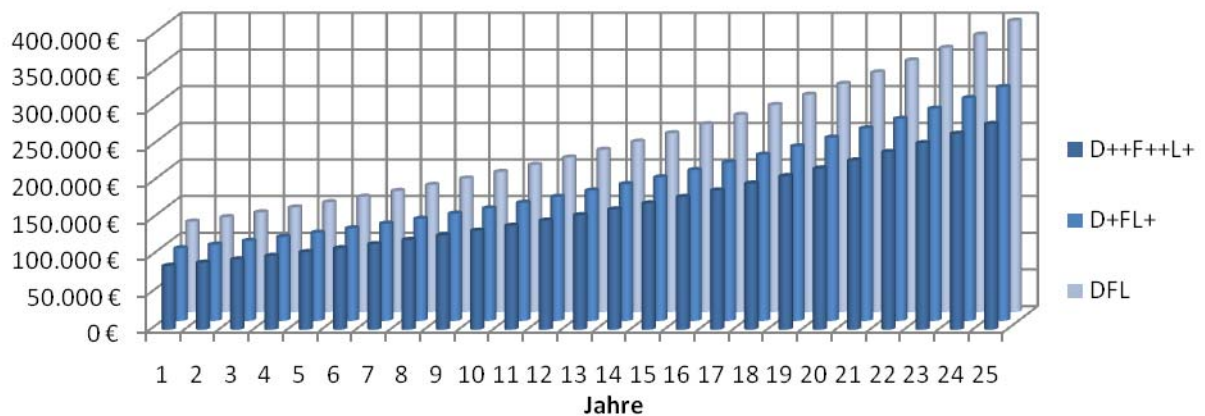


Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 2 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 198.171 €/a, bei der Variante

⁸ In der Studie werden 3 Energiepreissteigerungsszenarien betrachtet: 2%, 5% und 10% Energiepreissteigerung pro Jahr.

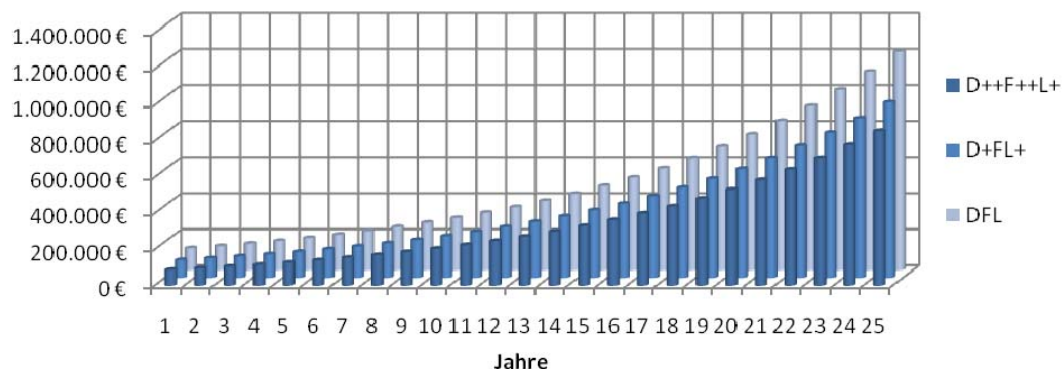
D+FL+ bei 159.126 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 140.032 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 39.045 €/a, DFL zu D++F++L+ = 58.139 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 3.946.349 €, für D+FL+ bei 3.168.793 € und für D++F++L+ bei 2.788.590 €

Energiekostenentwicklung bei 5% Energiepreissteigerung p.a.



Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 5 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 397.354 €/a, bei der Variante D+FL+ bei 319.065 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 280.777 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 78.289 €/a, DFL zu D++F++L+ = 116.577 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 5.880.282 €, für D+FL+ bei 4.721.723 € und für D++F++L+ bei 4.155.129 €

Energiekostenentwicklung bei 10% Energiepreissteigerung p.a.

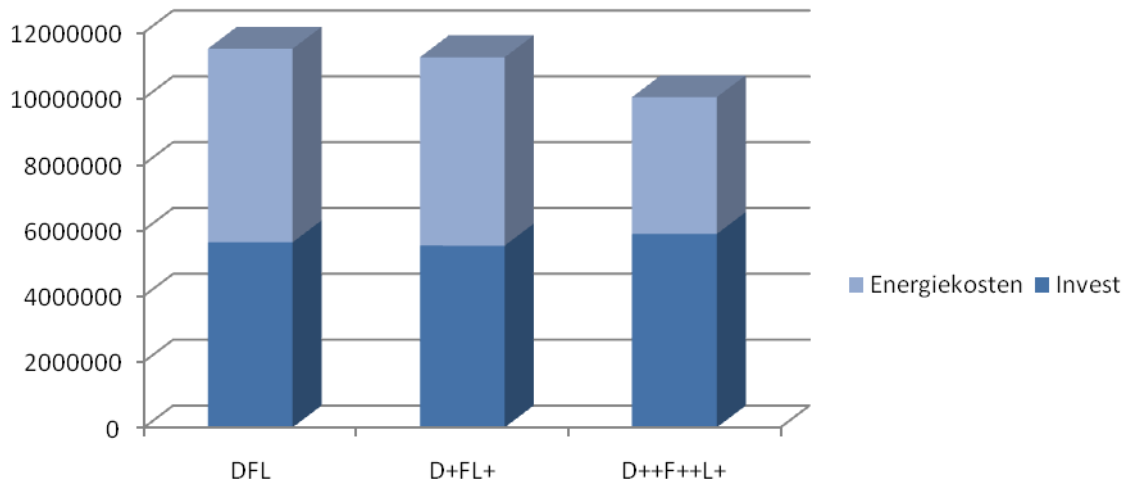


Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 10 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 1.213.564 €/a, bei der Variante D+FL+ bei 974.443 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 857.531 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 239.121 €/a, DFL zu D++F++L+ = 356.033 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 12.117.085 €, für D+FL+ bei 9.729.552 € und für D++F++L+ bei 8.562.223 €.

4.4 Darstellung der Wirtschaftlichkeit

Die Energiekosten und die Kosten der Investition und der sonstigen Kosten über 25 Jahre ergeben den „Vermögensendwert“ der Maßnahme.

Tabelle 2: Lebenszykluskosten über 25 Jahre (bei Energiepreissteigerung von 5% p.a.)



Variante	DFL	D+FL+	D++F++L+
Energiekosten [€]	5.880.282 €	4.721.723 €	4.155.129 €
Invest [€]	5.623.165 €	5.721.723 €	5.878.454 €
Summe Lebenszykluskosten	11.503.447 €	11.245.470 €	10.033.583 €

Die kapitalisierten Gesamtkosten über 25 Jahre (Annahme: jährliche Energiepreissteigerung 5%; ohne Berücksichtigung von Restwerten) liegen bei der Sanierung auf den Mindeststandard nach EnergieEinsparVerordnung EnEV bei ca. 11.5 Mio. €, bei der energetisch besten Variante bei 10.0 Mio. €.

4.5 Fazit

Es zeigt sich, dass die Energiekosteneinsparungen den Mehrinvest (und dessen Lebenszykluskosten über 25 Jahre) bei der Variante D++F++L+ mehr als kompensieren und dass somit die energetisch hochwertige Variante auch die wirtschaftlichste ist. Vor dem Hintergrund, dass sich dieses Ergebnis bei einer Energiepreissteigerung von 5 % ergibt und sich die Wirtschaftlichkeit der energetisch besten Variante bei einer Energiepreissteigerung von 10 % noch besser darstellt ist eine Modernisierung auf das energetisch beste Niveau auf jeden Fall zu empfehlen.

4.6 Beibehalten der Nachtspeicheröfen vs. neue warmwasserbasierte Heizungsanlage

Bei der energetisch besten Variante D++F++L+ stellt sich die Frage, ob auch hier eine neue warmwasserbasierte Heizung eingebaut werden muss oder ob man nicht die vorhandenen Nachtspeicheröfen weiter nutzen sollte.

Tabelle 3: Maßnahmen im Vergleich

Variante	D++F++L+	D++F++L+ mit Nachtspeicheröfen
Dach	Dämmung 30cm WLG 035	Dämmung 30cm WLG 035
Fassade	Dämmung 30cm WLG 035	Dämmung 30cm WLG 035
Kellerdecke	Dämmung 20cm WLG 035	Dämmung 20cm WLG 035
Fenster	3-Scheiben-WSV u=0,8	3-Scheiben-WSV u=0,8
Lüftung	Dezentral, mit Wärmerückgewinnung	Dezentral, mit Wärmerückgewinnung
Heizung	Neue Heizungsanlage mit neuem Leitungsnetz und 2 Gaskesseln	Beibehalten der dezentralen Elektro-Nachtspeicheröfen

Tabelle 4: Investitionskosten der Varianten

D++F++L+		D++F++L+ mit Nachtspeicheröfen	
Kellerdecke 20cm	15.169	Kellerdecke 20cm	15.169
Außenwand 30cm	540.853	Außenwand 30cm	540.853
Flachdach 30 cm	292.286	Flachdach 30 cm	292.286
Türen	65.405	Türen	65.405
Oberste Geschoßdecke	41.302	Oberste Geschoßdecke	41.302
Fenster uw=0,8	1.115.111	Fenster uw=0,8	1.115.111
Lüftungsanlage	1.062.000	Lüftungsanlage mit	1.062.000

mit WRG		WRG	
Heizungsanlage	637.200	Heizungsanlage	0
Summe	3.769.325	Summe	3.132.125

Würden die Nachtspeicheröfen beibehalten werden Reduziert ich der Invest um 637.200 €, die Investitionssumme reduziert sich von 3,7 Mio € auf 3,1 Mio €

Energieverbrauch der Variante D++F++L+ mit Beibehaltung der Nachtspeicheröfen im Vergleich zur Umstellung auf ein warmwasserbasiertes Heizsystem

Der Endenergiebedarf für die Heizung von 515.324 kWh/a ist bei der Variante mit Nachtspeicheröfen deutlich niedriger als bei der vergleichbaren Variante mit warmwasserbasierter Heizung mit 683.070 kWh/a (+ 33%). Dies liegt an den Leitungsverlusten, die bei einer strombasierten Heizung nicht anfallen.

Der Primärenergiebedarf ist bei der Variante mit Nachtspeicheröfen (1.894.093 kWh) deutlich höher (+59%) als bei der vergleichbaren Variante mit warmwasserbasierter Heizung (1.190.427 kWh). Die Variante „Nachspeicheröfen“ böte die Möglichkeit Überschussstrom aufzunehmen, der aus regenerativen Energien wie Windkraft oder Photovoltaik gewonnen wird. Eine Endenergiebetrachtung kann im Kontext von hochenergetisch modernisierten Gebäuden künftig sinnvoller sein als eine Betrachtung der Primärenergie.

Tabelle 5: Variante DF++L+ mit Beibehaltung der Nachspeicheröfen**

	Gesamt [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Heizung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Kühlung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Lüftung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Beleuchtung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Warmwasser [kWh/a] [kWh/(m²a)]
Nutzenergie	572791	486545	0	0	70496	15750
	83,98	71,34	0	0	10,34	2,31
Endenergie	701516	515324	0	97182	70496	18514
	102,86	75,56	0	14,25	10,34	2,71
Primärenergie	1894093	1391374	0	262392	190338	49989
	277,72	204,01	0	38,47	27,91	7,33

Tabelle 6: Variante D++F++L+ mit Umstellung von Nachspeicheröfen auf warmwasserbasiertes Heizen

	Gesamt [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Heizung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Kühlung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Lüftung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Beleuchtung [kWh/a] [kWh/(m²a)]	Warmwasser [kWh/a] [kWh/(m²a)]
Nutzenergie	572791	486545	0	0	70496	15750
	83,98	71,34	0	0	10,34	2,31
Endenergie	869263	683070	0	97182	70496	18514
	127,45	100,15	0	14,25	10,34	2,71
Primärenergie	1190427	687708	0	262392	190338	49989
	174,54	100,83	0	38,47	27,91	7,33

Wirtschaftlichkeit der Variante D++F++L+ mit „Beibehaltung der Nachtspeicheröfen“ im Vergleich zur Umstellung auf ein warmwasserbasiertes Heizsystem

Tabelle 7: Lebenszykluskosten bei 2% Energiepreissteigerung p.a.

Varianten bei 2% Energiepreissteigerung p.a.	D++F++L+	D++F++L+ mit Nachtspeicheröfen
Vermögensendwert Invest	5.878.454 €	4.897.791 €
Vermögensendwert Energiekosten	2.764.215 €	2.664.490 €
Vermögensendwert Summe	8.642.669 €	7.562.281 €

Tabelle 8: Lebenszykluskosten bei 5% Energiepreissteigerung p.a.

Varianten bei 5% Energiepreissteigerung p.a.	D++F++L+	D++F++L+ mit Nachtspeicheröfen
Vermögensendwert Invest	5.878.454 €	4.897.791 €
Vermögensendwert Energiekosten	4.118.830 €	3.970.260 €
Vermögensendwert Summe	9.997.284 €	8.868.051 €

Tabelle 9: Lebenszykluskosten bei 10% Energiepreissteigerung p.a.

Varianten bei 10% Energiepreissteigerung p.a.	D++F++L+	D++F++L+ mit Nachtspeicheröfen
Vermögensendwert Invest	5.878.454 €	4.897.791 €
Vermögensendwert Energiekosten	8.487.282 €	8.180.996 €
Vermögensendwert Summe	14.365.736 €	13.078.787 €

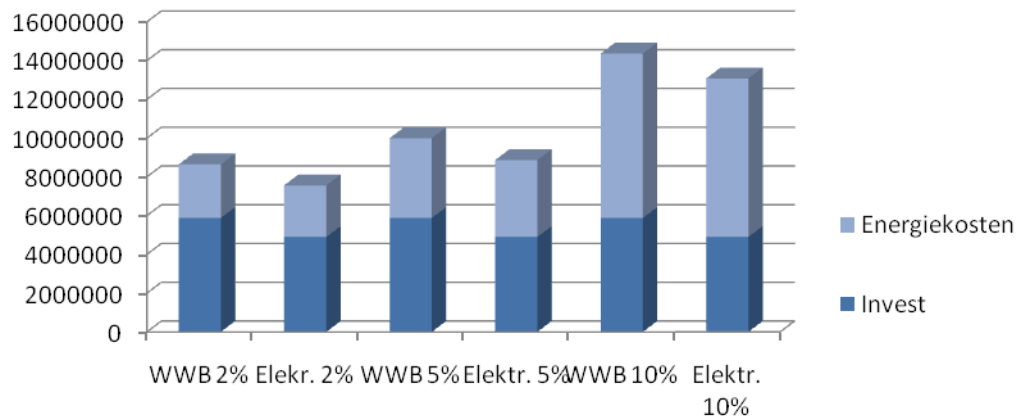


Abbildung 2: Vergleich der Lebenszykluskosten der Variante D++F++L+ mit Umstellung auf warmwasserbasiertes Heizsystem im Vergleich zur Beibehaltung der Nachtspeicherheizung auf Basis 25 Jahre (ohne Restwertberücksichtigung), differenziert nach den Investitionskosten und den Energiekosten

Energiepreisrandbedingungen:

Startpreis Heizenergie (nicht Elektro) 8 ct/kWh,

Startpreis Heizenergie (Nachtstrom) 10 ct/kWh,

Startpreis Strom 17 ct/kWh

Die Beibehaltung der Nachtspeicheröfen ist für alle Energiepreissteigerungsszenarien wirtschaftlicher (unter den o.g. Randbedingungen) als der Ersatz der Nachtspeicherheizungen durch ein warmwasserbasiertes Heizsystem. Die Kosteneinsparung in 25 Jahren Lebenszyklus liegt bei allen 3 Szenarien bei über 1 Mio. €.

Photovoltaikanlage

Grundsätzlich ist die Installation einer Photovoltaikanlage mit 214 kWpeak auf geeigneten Flächen der Schule möglich.⁹

⁹ Flachdachfläche:	Fläche	Energieausbeute %	Belegungsdichte	kWpeak
B-Flachdach:	90,20 m ²	95 %	80%	6,86
C1-Flachdach:	235 m ²	95 %	80%	17,86
D-Flachdach:	514,93 m ²	95 %	80%	39,13
E-Flachdach:	1050,91 m ²	95 %	80%	79,87
Gesamtflachdachfläche:	1891 m ²	95 %	80%	143,72
Satteldächer:	Dachfläche	Energieausbeute %	Belegungsdichte	kWpeak
A-Dach Ost 30°	536,35 m ²	80 %	60%	25,74
A-Dach West 30°	469,80 m ²	70 %	60%	19,73
C2-Dach Ost 27°	199,87 m ²	80 %	60%	9,59
C2-Dach West 18°	326,40 m ²	80 %	60%	15,67
				70,73

Module werden auf Flachdach im optimalen Winkel aufgeständert.
 Ertrag pro Jahr: 214kWpeak * 950h/a = 203.300 kWh/a



Der jährliche Solarstromertrag liegt bei ca. 203.300 kWh/a.

Bei der Variante D++F++L+ mit Beibehaltung der Nachtspeicheröfen läge der Jahresstromverbrauch der Realschule bei insgesamt 701.516 kWh Strom, der bilanzielle Deckungsanteil von Solarstrom damit bei ca. 29%.

In der Variante D++F++L+ mit Umstellung auf ein wasserbasiertes Heizsystem reduziert sich der Stromverbrauch der Realschule durch Wegfall der Nachtspeicheröfen auf 167.700 kWh (Lüftung/Beleuchtung ...) pro Jahr. Der Solarstrom würde dann 121% des Jahresstromverbrauchs der Realschule abdecken.

5 Studie zur Schillerschule in Kaiserslautern

5.1 Bestandsaufnahme



Das Objekt hat folgende Grunddaten:

Hauptbau mit 3 Anbauten, 3-geschossig

Baujahr: ca. 1960

Nettogrundfläche A_{NGF} ca. 5.500 m²

Heizung über Erdgas mit Radiatoren

Zweikesselanlage, unterschiedliche Baujahre und Erzeugergrößen, Regelung alt !

Zentrale WWB mit über Kesselanlage

Lüftungsanlage nicht vorhanden

Photovoltaikanlage ca. 1.000 m² vorh.

Die Schule wird über Niedertemperatur-Erdgas-Kessel versorgt. Eine Kesselfolgeschaltung ist bis jetzt nicht vorgesehen, so werden die beiden unterschiedlichen Gasgebläsekessel parallel angesteuert. Über beide Kessel werden die statischen Heizkörper und die Warmwasserbereitung betrieben. Einer der beiden Heizkessel hat das Ende seiner Lebensdauer fast erreicht und muss in absehbarer Zeit ausgetauscht werden.

Endenergiebedarf (Heizung und WWB): 1.033.912 kWh/a

Endenergiebedarf Beleuchtung: 70.875 kWh/a

Energiekosten pro Jahr gesamt: 82.713 € + 12.049 € = 94.762 €/a (zu aktuellen Energiepreisen)

Energiekosten pro Nettogrundfläche und Jahr: 17,22 €

5.2 Maßnahmen und Kosten

Es wurden 18 Modernisierungsvarianten entwickelt. Nachfolgend werden exemplarisch 3 dargestellt¹⁰: Die Mindestvariante nach EnEV als Referenzgröße (DFL), die wirtschaftlich beste Variante (D++F+L+) und die energetisch beste Variante (D++F++L+)

Tabelle 10: 3 Varianten und Kosten der Maßnahmen

DFL		D++F+L+		D++F++L+	
Außenwände 8 cm WDVS WLG 035	313.611 €	Außenwände 30 cm WDVS WLG 035	372.316 €	Außenwände 30 cm WDVS WLG 035	372.316 €
Dach/oberste Decke, 12 cm Dämmung WLG 035	396.950 €	Dach/oberste Decke, 40 cm Dämmung WLG 035	463.284 €	Dach/oberste Decke, 40 cm Dämmung WLG 035	463.284 €
Fenster 2- Scheiben-WSV 2/1,6/1,4 U=1,7	905.868 €	Fenster 2-Scheiben- WSV 2/1,2/1,2 U=1,3	933.044 €	Fenster 3-Scheiben- WSV 3/0,6/0,8 U=0,8	1.068.925 €
Lüftungsanlage ohne WRG	708.000 €	Lüftungsanlage mit WRG	767.000 €	Lüftungsanlage mit WRG	767.000 €
Summe	2.324.429 €	Summe	2.535.645 €	Summe	2.671.525 €
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante absolut	211.216 €	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante absolut	347.096 €
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	9,1 %	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	14,9 %

An der Heizungsanlage sind keine Maßnahmen vorgesehen.

Investitionskosten pro m² Nettogrundfläche¹¹

DFL: 2.324.429 € / 5500 m² = 422,62 €/m²

D++F+L+: 2.535.645 € / 5500 m² = 461,03 €/m²

D++F++L+: 2.671.525 € / 5500 m² = 485,73 €/m²

Die Investitionskosten der energetischen Bestvariante liegen 63,11 € pro m² Energiebezugsfläche über der nach der Energieeinsparverordnung mindestens umzusetzenden Sanierungsvariante. Die Mehrkosten der Investition der wirtschaftlich

¹⁰ Die Varianten werden nach den verschiedenen Qualitäten der Hauptkomponenten bezeichnet. Hauptkomponenten sind Dämmung=D, Fenster=F und Lüftung=L. Daraus wird eine Variantenmatrix entwickelt. Eine Variante ist z.B. D+FL+, bei der die Dämmung besser ist als bei der Mindestvariante, die Fenster der Mindestvariante entsprechen und die Lüftung zusätzlich zur Mindestvariante eine Wärmerückgewinnung hat.

¹¹ Die Flächen wie Nutzfläche, Verkehrsfläche, BGF, NGF etc. werden mit dem Endbericht der Studie nachgeliefert

besten Variante machen damit etwa 9,1 % aus. Die energetisch beste Variante hat um 38,41 € pro m² höhere Investitionskosten (14,9 %).

Die Modernisierungsmaßnahmen sparen pro Jahr an Energie ein (ausgedrückt in Heizöläquivalent¹²):

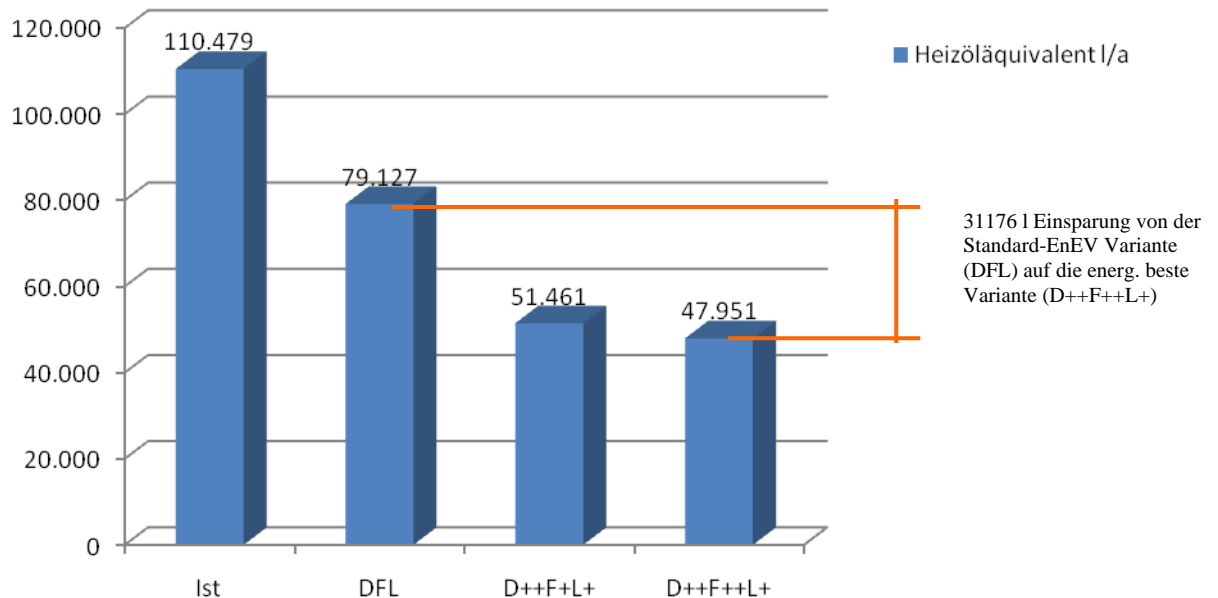


Abbildung 3: Verbrauch in Heizöläquivalent pro Jahr¹³

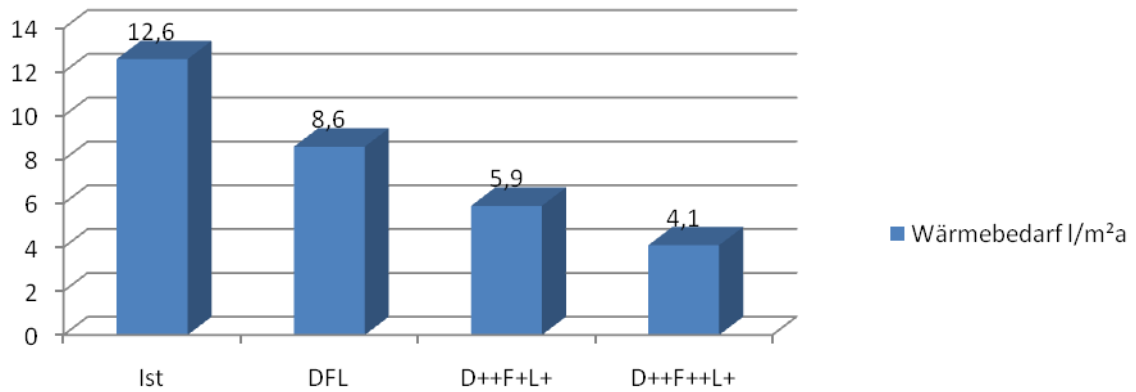
In Heizöläquivalenten verbraucht die Schillerschule derzeit (Ist-unsaniert) rechnerisch 110.479 Liter. Die Sanierung auf EnEV- Anforderungen reduziert den Energiebedarf auf 79.127 Liter Heizöläquivalente (- 28 %), die wirtschaftlichste Variante auf 51.461 Liter (- 53 %) und die energetische Bestvariante auf 47.951 Liter (- 57 %).

Heizwärmebedarf der Hülle

Entsprechend der Standarddarstellung einer energetischen Modernisierung eines Gebäudes kann man auch den Wärmebedarf der Gebäudehülle darstellen. Der Wärmebedarf wird in Litern Heizöläquivalent gerechnet.

¹² Heizöläquivalent: ca. 1 l Heizöl = 10 kWh

¹³ Vergleichen werden „Ist“ = Ist-Zustand vor der Modernisierung und die 2 zuvor betrachteten Varianten

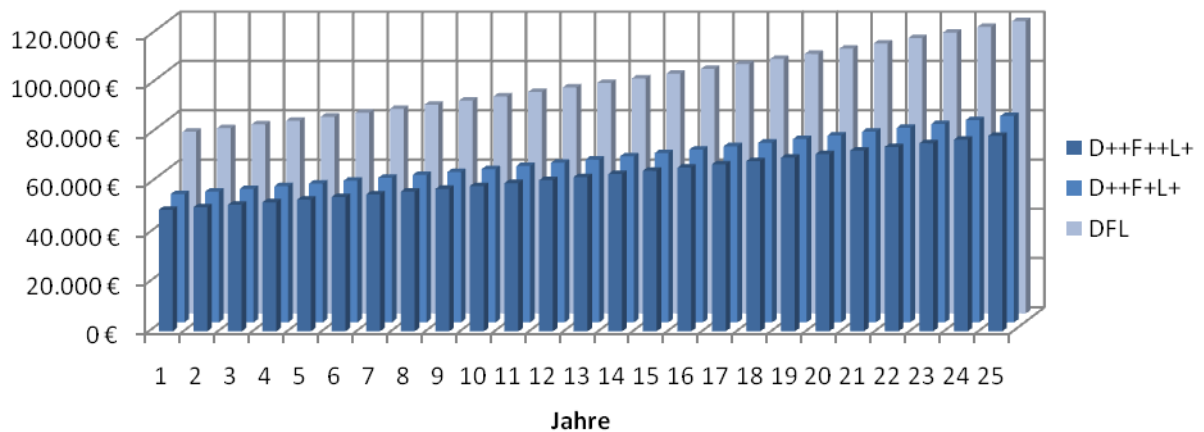


5.3 Energiekostenentwicklung

Die Entwicklung der Energiekosten für 3 Energiepreissteigerungsszenarien¹⁴ kann folgendermaßen dargestellt werden.

Die anfänglichen Energiekosten pro Jahr liegen bei der Basisvariante bei 73.769 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 52.097 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 49.384 €.

Energiekostenentwicklung bei 2% Energiepreissteigerung p.a.

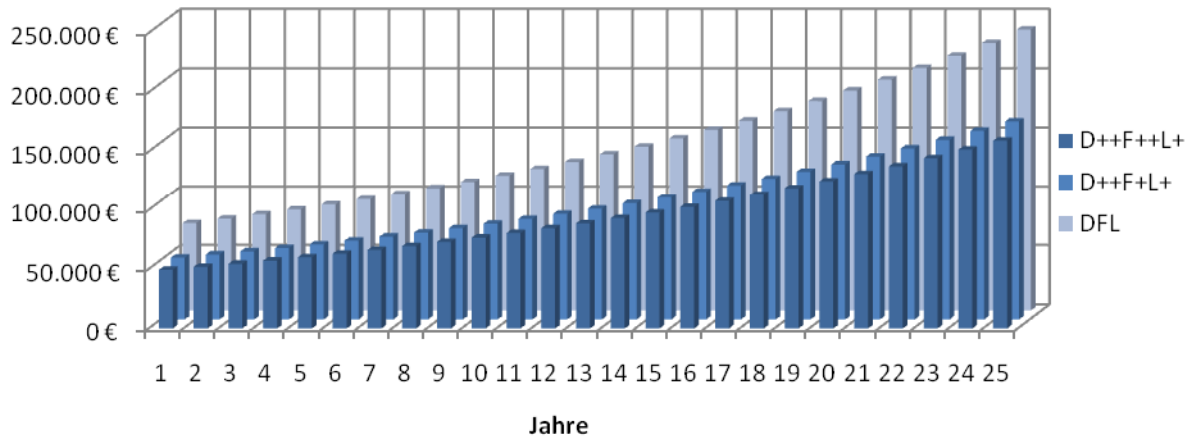


Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 2 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 118.655 €/a, bei der wirtschaftlichen Variante bei 83.801 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei

¹⁴ In der Studie werden 3 Energiepreissteigerungsszenarien betrachtet: 2%, 5% und 10% Energiepreissteigerung pro Jahr.

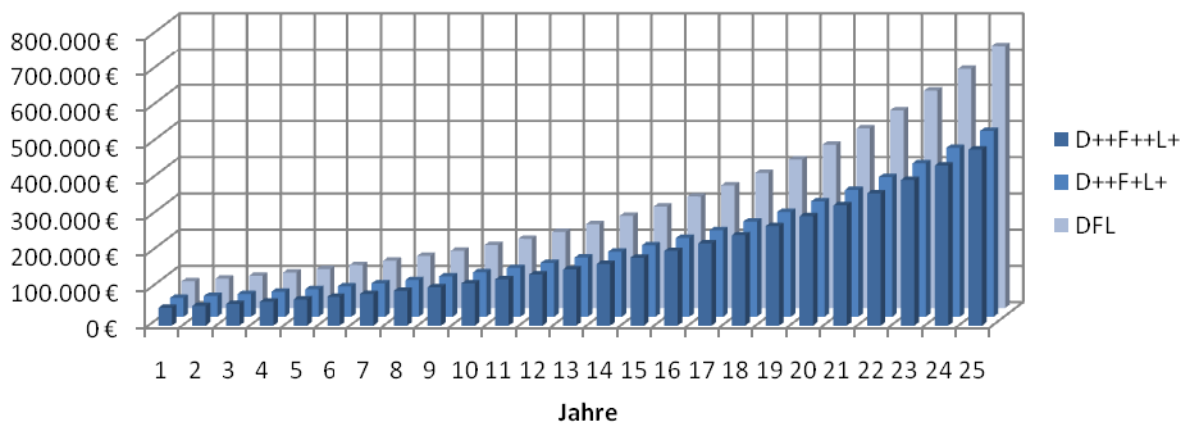
79.431 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D++F+L+ = 34.854 €/a, DFL zu D++F++L+ = 39.224 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 2.362.859 €, für D++F+L+ bei 1.668.765 € und für D++F++L+ bei 1.581.762 €

Energiekostenentwicklung bei 5% Energiepreissteigerung p.a.



Bei einer Energiepreissteigerung von 5 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 237.918 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 168.024 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 159.274 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D++F+L+ = 69.894 €/a, DFL zu D++F++L+ = 78.644 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 3.520.840 €, für D++F+L+ bei 2.486.501 € und für D++F++L+ bei 2.357.016 €

Energiekostenentwicklung bei 10% Energiepreissteigerung p.a.

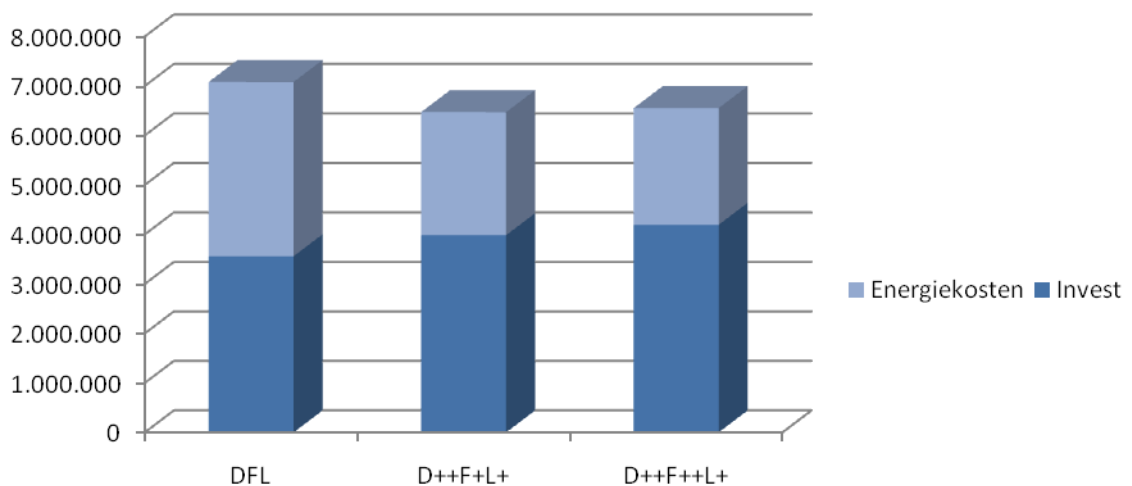


Bei einer Energiepreissteigerung von 10 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 726.611 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 513.162 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 486.410 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D++F+L+ = 213.449 €/a, DFL zu D++F++L+ = 240.201 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 7.255.020 €, für D++F+L+ bei 5.123.770 € und für D++F++L+ bei 4.856.670 €.

5.4 Darstellung der Wirtschaftlichkeit

Die Energiekosten und die Kosten der Investition und der sonstigen Kosten über 25 Jahre ergeben den „Vermögensendwert“ der Maßnahme.

Tabelle 11: Lebenszykluskosten über 25 Jahre (bei Energiepreissteigerung von 5% p.a.)



Variante	DFL	D++F+L+	D++F++L+
Energiekosten [€]	3.520.840 €	2.486.501 €	2.357.016 €
Invest [€]	3.558.863 €	3.984.242 €	4.194.580 €
Summe Lebenszykluskosten	7.079.703 €	6.470.743 €	6.551.596 €

Die kapitalisierten Gesamtkosten über 25 Jahre (Annahme: jährliche Energiepreissteigerung 5%; ohne Berücksichtigung von Restwerten) liegen bei der Modernisierung auf den Mindeststandard nach EnergieEinsparVerordnung EnEV bei ca. 7,080 Mio. €, bei der wirtschaftlichsten Variante D++F+L+ bei 6,471 Mio. € und bei der energetisch besten Variante bei 6,552 Mio. €.

5.5 Fazit

Es zeigt sich, dass die Energiekosteneinsparungen den Mehrinvest (und dessen Lebenszykluskosten über 25 Jahre) bei den Varianten D+FL+ und D++F++L+ kompensieren und dass die energetisch hochwertige Variante und die wirtschaftlichste Variante sehr nahe zusammen liegen.

Vor dem Hintergrund, dass sich dieses Ergebnis bei einer Energiepreissteigerung von 5



% ergibt und sich die Wirtschaftlichkeit der energetisch besten Variante bei einer Energiepreissteigerung von 10 % noch besser darstellt ist eine Modernisierung auf das energetisch beste Niveau auf jeden Fall zu empfehlen.

Photovoltaikanlage

Es ist bereits eine PV-Anlage mit ca. 1.000 m² vorhanden.

6 Studie zur Erich Kästner- Schule in Ludwigshafen

6.1 Bestandsaufnahme



Die Erich-Kästner-Schule befindet sich im Westendviertel in Ludwigshafen. Zurzeit wird sie als Kinderhort und als Grund- und Berufsbildende Schule genutzt. Der Kellerbereich wird außerdem teilweise durch einen Trachtenverein genutzt. Das Gebäude weist einen erheblichen Sanierungsbedarf auf: Nach ihrer Fertigstellung 1956 wurden in der Schule ausschließlich verkehrssichernde Maßnahmen durchgeführt. Der Schulhof befindet sich dagegen in einem guten Zustand: Er wurde 2001 im Rahmen des Projekts „Soziale Stadt“ umgestaltet.

Das Objekt hat folgende Grunddaten:

4 Geschosse , unbeheizter Keller

Baujahr: 1956

Energiebezugsfläche 5829 m²

Heizung über Fernwärme mit Radiatoren (Kraft-Wärme-Kopplung aus regenerativen Energien)

Zentrale WWB über Heizung für Putz- und Duschräume

Das Schule wird über Fernwärme versorgt. Darüber werden statische Heizkörper und die Warmwasserbereitung betrieben. Die Fernwärmeübergabestation hat das Ende ihrer Lebensdauer fast erreicht und muss in absehbarer Zeit ausgetauscht werden.

Die Turnhalle verfügt über eine einfache Lüftungsanlage.

Endenergiebedarf: 917.301 kWh/a

Strom für Hilfsenergie: 5.757 kWh/a

Energiekosten pro Jahr gesamt: 73.384 € + 979 € = 74.363 €/a (zu aktuellen Energiepreisen)

Energiekosten pro Energiebezugsfläche und Jahr: 14 €/m²a

6.2 Maßnahmen und Kosten

Es wurden 18 Modernisierungsvarianten entwickelt. Nachfolgend werden exemplarisch 3 dargestellt¹⁵:

die Mindestvariante nach EnEV 2007 als Referenzgröße (DFL), und

die wirtschaftlich beste Variante (D+FL+)

die energetisch beste Variante (D++F++L+)

Tabelle 12: 3 Varianten und Kosten der Maßnahmen

DFL		D+FL+		D++F++L+	
Außenwände 8 cm WDVS WLG 035	188.928 €	Außenwände 14 cm WDVS WLG 035	198.979 €	Außenwände 30 cm WDVS WLG 035	224.293 €
Dach/oberste Decke, 12 cm Dämmung WLG 035	271.774 €	Dach/oberste Decke, 18 cm Dämmung WLG 035	281.506 €	Dach/oberste Decke, 40 cm Dämmung WLG 035	317.190 €
Fenster 2-Scheiben-WSV 2/1,6/1,4 U=1,7	953.310 €	Fenster 2-Scheiben-WSV U=1,7	953.310 €	Fenster 3-Scheiben-WSV 3/0,6/0,8 U=0,8	1.124.906 €
Lüftungsanlage ohne WRG	708.000 €	Lüftungsanlage mit WRG	767.000 €	Lüftungsanlage mit WRG	767.000 €
Summe	2.122.012 €	Summe	2.200.795 €	Summe	2.433.389 €
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante absolut	78.675 €	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante absolut	311.377 €
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	3,7 %	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	14,7 %

An der Heizungsanlage sind keine Maßnahmen vorgesehen.

Investitionskosten pro m² Energiebezugsfläche¹⁶

DFL: 2.122.012 € / 5829 m² = 364,04 €/m²

D+FL+: 2.200.795 € / 5829 m² = 377,56 €/m²

D++F++L+: 2.433.389 € / 5829 m² = 417,46 €/m²

¹⁵ Die Varianten werden nach den verschiedenen Qualitäten der Hauptkomponenten bezeichnet. Hauptkomponenten sind Dämmung=D, Fenster=F und Lüftung=L. Daraus wird eine Variantenmatrix entwickelt. Eine Variante ist z.B. D+FL+, bei der die Dämmung besser ist als bei der Mindestvariante, die Fenster der Mindestvariante entsprechen und die Lüftung zusätzlich zur Mindestvariante eine Wärmerückgewinnung hat.

¹⁶ Die Flächen wie Nutzfläche, Verkehrsfläche, BGF, NGF etc. werden mit dem Endbericht der Studie nachgeliefert

Die Investitionskosten der energetischen Bestvariante liegen nur 13,5 € pro m² Energiebezugsfläche über dem nach der Energieeinsparverordnung mindestens umzusetzenden Sanierungsvariante. Die Mehrkosten der Investition der wirtschaftlich besten Variante machen damit nur etwa 3,7% an den Mehrkosten aus. Die energetisch beste Variante hat um 53,42 € pro m² höhere Investitionskosten (14,7 %).

Die Modernisierungsmaßnahmen sparen pro Jahr an Energie ein (ausgedrückt in Heizöläquivalent¹⁷):

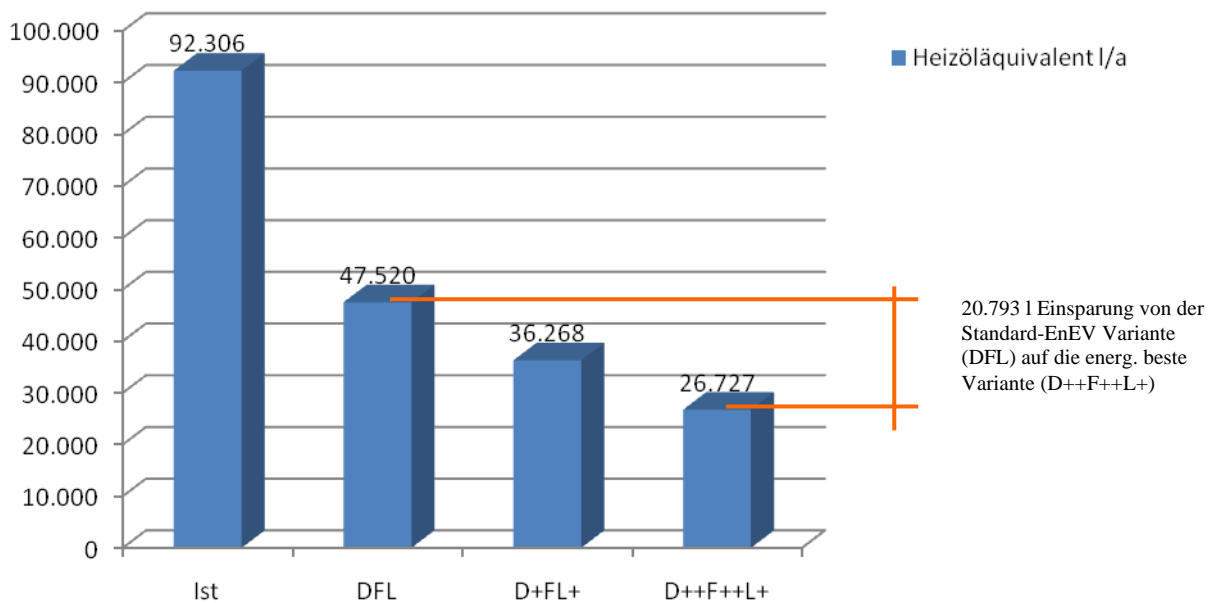


Abbildung 4: Verbrauch in Heizöläquivalent pro Jahr¹⁸

In Heizöläquivalenten verbraucht die Erich Kästner Schule derzeit (Ist-unsaniert) rechnerisch¹⁹ 92.306 Liter. Die Sanierung auf EnEV- Anforderungen reduziert den Energiebedarf auf 47.520 Liter Heizöläquivalente (- 49 %), die wirtschaftlichste Variante auf 36.268 Liter (- 61 %) und die energetische Bestvariante auf 26.727 Liter (- 71 %).

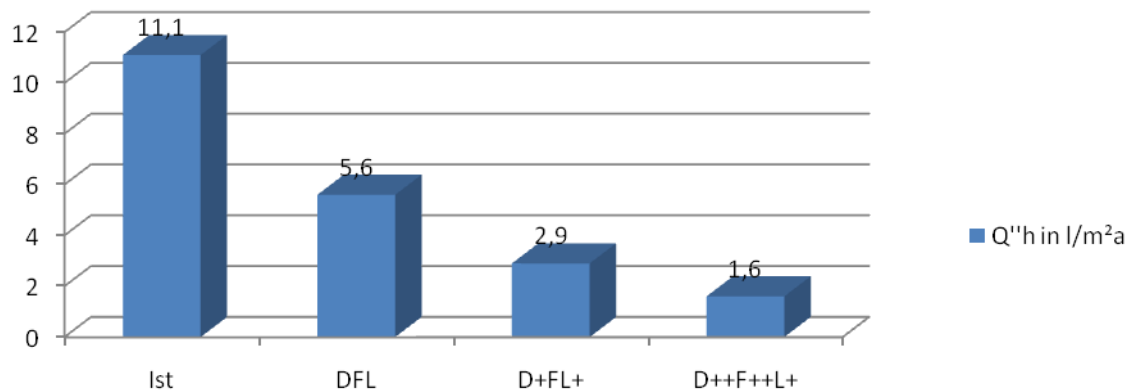
Heizwärmebedarf der Hülle

Entsprechend dem Standarddarstellung einer energetischen Modernisierung eines Gebäudes kann man auch den Heizwärmebedarf Q''_h der Gebäudehülle darstellen. Der Heizwärmebedarf wird in Litern Heizöläquivalent gerechnet.

¹⁷ Heizöläquivalent: ca. 1 l Heizöl = 10 kWh

¹⁸ Vergleichen werden „Ist“ = Ist-Zustand vor der Modernisierung und die 2 zuvor betrachteten Varianten

¹⁹ Nicht enthalten ist der Energieverbrauch für Beleuchtung

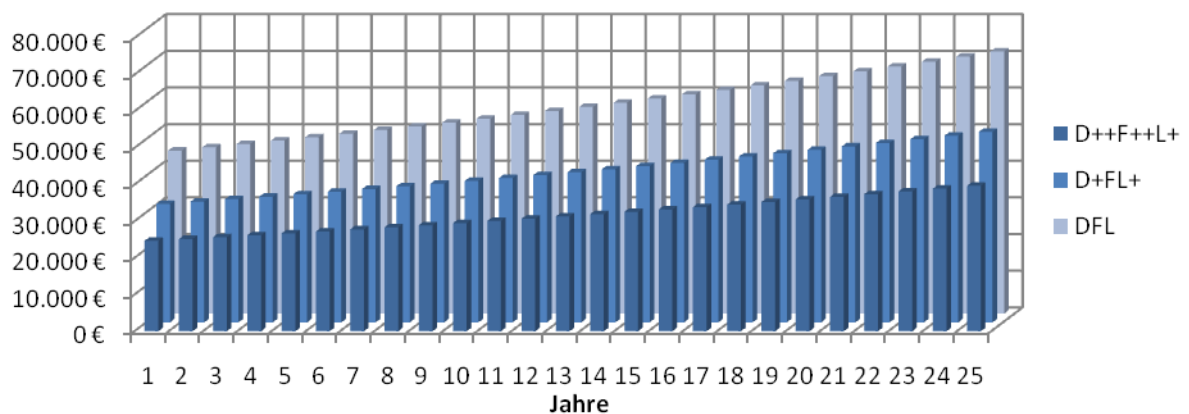


6.3 Energiekostenentwicklung

Die Entwicklung der Energiekosten für 3 Energiepreissteigerungsszenarien²⁰ kann folgendermaßen dargestellt werden. Betrachtet werden hier die Energiekosten für Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasser. Die Kosten für die Beleuchtung sind in diesen Summen nicht enthalten. Dies ist eine Besonderheit bei der Untersuchung der Erich Kästner Schule.

Die anfänglichen Energiekosten pro Jahr liegen bei der Basisvariante bei 44.446 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 32.306 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 24.678 €.

Energiekostenentwicklung bei 2% Energiepreissteigerung p.a.

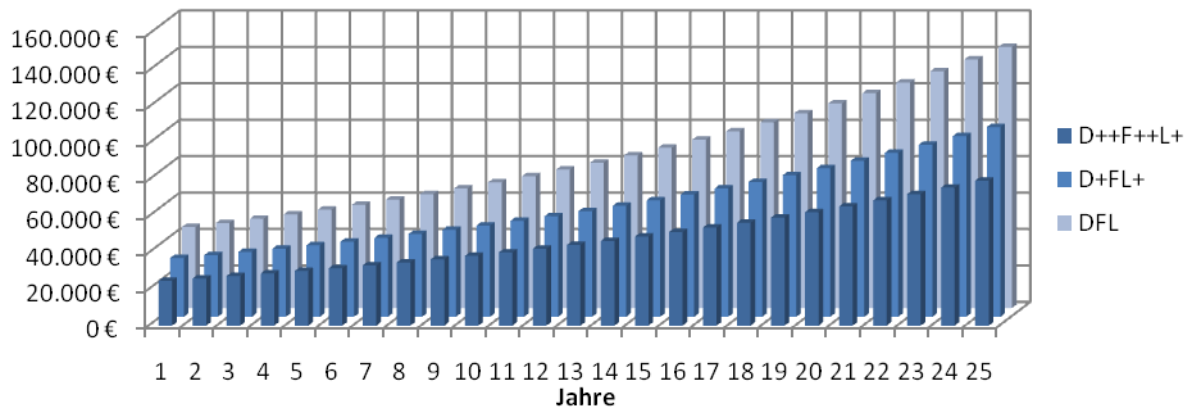


Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 2 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 71.491 €/a, bei der

²⁰ In der Studie werden 3 Energiepreissteigerungsszenarien betrachtet: 2%, 5% und 10% Energiepreissteigerung pro Jahr.

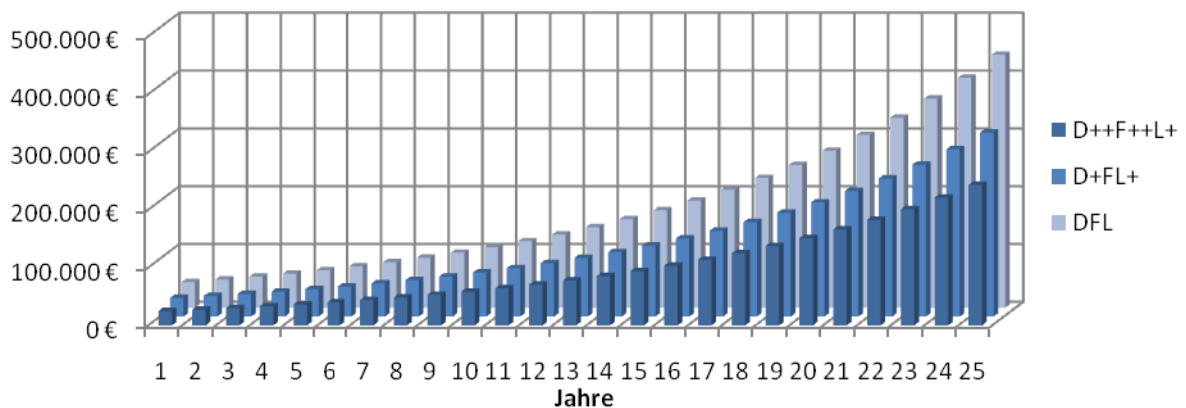
wirtschaftlichen Variante bei 51.965 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 39.695 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 19.526 €/a, DFL zu D++F++L+ = 31.796 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 1.423.645 €, für D+FL+ bei 1.034.805 € und für D++F++L+ bei 790.470 €

Energiekostenentwicklung bei 5% Energiepreissteigerung p.a.



Bei einer Energiepreissteigerung von 5 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 143.346 €/a, bei der wirtschaftlichen Variante bei 104.194 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 79.584 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 39.152 €/a, DFL zu D++F++L+ = 63.762 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 2.121.321 €, für D+FL+ bei 1.541.907 € und für D++F++L+ bei 1.177.759 €

Energiekostenentwicklung bei 10% Energiepreissteigerung p.a.

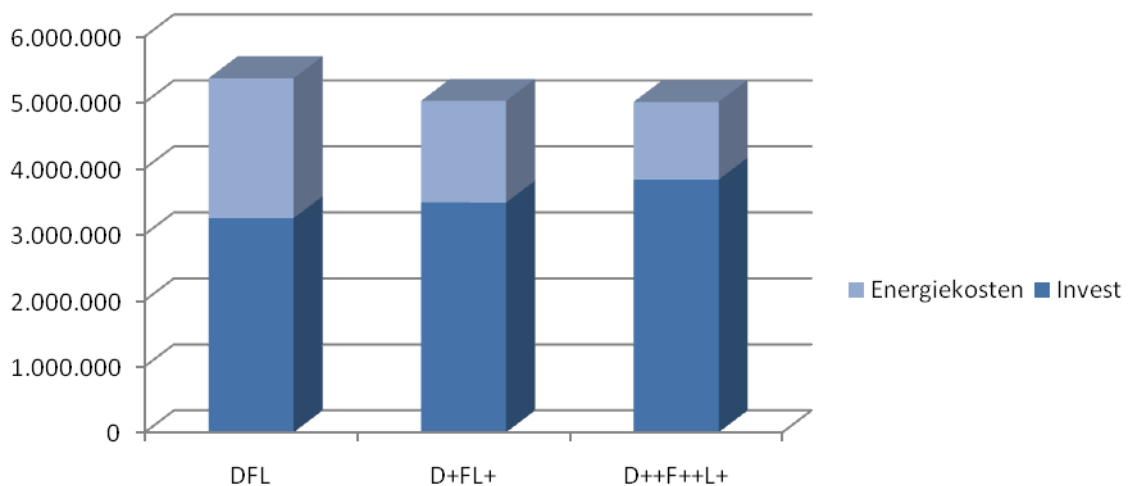


Bei einer Energiepreissteigerung von 10 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 437.793 €/a, bei der wirtschaftlichen Variante bei 318.220 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 243.087 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 119.573 €/a, DFL zu D++F++L+ = 194.706 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 4.371.215 €, für D+FL+ bei 3.177.328 € und für D++F++L+ bei 2.427.143 €.

6.4 Darstellung der Wirtschaftlichkeit

Die Energiekosten und die Kosten der Investition und der sonstigen Kosten über 25 Jahre ergeben den „Vermögensendwert“ der Maßnahme.

Tabelle 13: Lebenszykluskosten über 25 Jahre (bei Energiepreissteigerung von 5% p.a.)



Variante	DFL	D+FL+	D++F++L+
Energiekosten [€]	2.121.321 €	1.541.907 €	1.177.759 €
Invest [€]	3.245.659 €	3.482.501 €	3.830.248 €
Summe Lebenszykluskosten	5.366.980 €	5.024.408 €	5.008.007 €

Die kapitalisierten Gesamtkosten über 25 Jahre (Annahme: jährliche Energiepreissteigerung 5%; ohne Berücksichtigung von Restwerten) liegen bei der Sanierung auf den Mindeststandard nach EnergieEinsparVerordnung EnEV bei ca. 5,367 Mio. €, bei der wirtschaftlichsten Variante D+FL+ bei 5,024 Mio. € und bei der energetisch besten Variante bei 5,008 Mio. €.

6.5 Fazit

Es zeigt sich, dass die Energiekosteneinsparungen den Mehrinvest (und dessen Lebenszykluskosten über 25 Jahre) bei den Varianten D+FL+ und D++F++L+ kompensieren und dass die energetisch hochwertige Variante und die wirtschaftlichste Variante sehr nahe zusammen liegen.

Vor dem Hintergrund, dass sich dieses Ergebnis bei einer Energiepreissteigerung von 5



% ergibt und sich die Wirtschaftlichkeit der energetisch besten Variante bei einer Energiepreissteigerung von 10 % noch besser darstellt ist eine Modernisierung auf das energetisch beste Niveau auf jeden Fall zu empfehlen.

Photovoltaikanlage

Grundsätzlich ist die Installation einer Photovoltaikanlage auf geeigneten Flächen der Schule möglich.

Eine nähere Untersuchung der Möglichkeiten einer Photovoltaikanlage wird im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt. Die Photovoltaikanlage kann immer als zusätzlicher Baustein bei allen untersuchten Schulen in Betracht gezogen werden. Die Anlage ist durch die subventionierte Einspeisevergütung nach ca. 15 Jahren darlehensfrei und bringt nach diesem Zeitraum einen positiven Beitrag zum Cash-Flow.

7 Studie zur Franz von Sickingen Schule in Bad Münster am Stein

7.1 Bestandsaufnahme



Das Objekt hat folgende Grunddaten:

3 Schulgebäude und 1 Turnhalle

Baujahr: ca. 1965

Nettogrundfläche A_{NGF} ca. 5.058 m²

Heizung über Erdgas mit Radiatoren

Zweikesselanlage

Zentrale WWB mit über Kesselanlage

Lüftungsanlage vorhanden in Gebäude C und Turnhalle

Die Gebäude haben nachträglich Satteldächer erhalten. Das Gebäude C hat im Jahr 2001 neue Fenster erhalten.

Die Schule wird über Niedertemperatur-Erdgas-Kessel versorgt. Die Gebäude sind teilweise unterkellert (Kriechkeller).

Die Berechnung erfolgt unter Einbeziehung der Turnhalle

Endenergiebedarf (Heizung und WWB): 795.544 kWh/a

Endenergiebedarf (Lüftung und Beleuchtung): 98.261 kWh/a

Energiekosten pro Jahr gesamt: 63.644 € + 16.704 € = 80.348 €/a (zu aktuellen

Energiepreisen)

Energiekosten pro Nettogrundfläche A_{NGF}^{21} und Jahr: 15,89 €/m²a

7.1 Maßnahmen und Kosten

Es wurden 18 Modernisierungsvarianten entwickelt. Nachfolgend werden exemplarisch 3 dargestellt²²:

die Mindestvariante nach EnEV als Referenzgröße (DFL), und

die wirtschaftlich beste Variante (D+FL+)

die energetisch beste Variante (D++F++L+)

Tabelle 14: 3 Varianten und Kosten der Maßnahmen

DFL		D+FL+		D++F++L+	
Kellerdecke: Dämmung 6 cm WLG 035	34.006,67 €	Kellerdecke: Dämmung 12 cm WLG 035	40.588,61 €	Kellerdecke: Dämmung 20 cm WLG 035	54.849,47 €
Außenwände 8 cm WDVS WLG 035	341.895,67 €	Außenwände 14 cm WDVS WLG 035	357.947,11 €	Außenwände 30 cm WDVS WLG 035	402.891,14 €
Dach/oberste Decke, 12 cm Dämmung WLG 035	130.744,65 €	Dach/oberste Decke, 18 cm Dämmung WLG 035	153.158,02 €	Dach/oberste Decke, 30 cm Dämmung WLG 035	175.571,39 €
Fenster 2- Scheiben-WSV U=1,7	503.440,39 €	Fenster 2-Scheiben- WSV U=1,7	503.440,39 €	Fenster 3-Scheiben- WSV U=0,8	1.058.411,68 €
Zentrale Lüftungsanlage ohne WRG (4 Stk)	802.400,00 €	Zentrale Lüftungsanlage mit WRG (4 Stk)	896.800,00 €	Zentrale Lüftungsanlage mit WRG (4 Stk)	896.800,00 €
Summe	1.807.300 €	Summe	1.945.743 €	Summe	2.580.157 €
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante absolut	138.443 €	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante absolut	772.857 €
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	7,7 %	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	42,8 %

Die große Differenz der Investitionskosten zwischen den Varianten D+FL+ und D++F++L+ ist dadurch bedingt, dass in der Variante D+FL+ ca. 1/3 der vorhandene Fenster weiter verwendet werden können. Bei der Variante D++F++L+ müssen alle Fenster ausgetauscht werden um das vorgesehene energetische Niveau zu erreichen. Mit diesem kompletten Fenstertausch ist die Variante D++F++L+ auch berechnet. Der komplette

²¹ $A_{NGF}=5.058 \text{ m}^2$

²² Die Varianten werden nach den verschiedenen Qualitäten der Hauptkomponenten bezeichnet. Hauptkomponenten sind Dämmung=D, Fenster=F und Lüftung=L. Daraus wird eine Variantenmatrix entwickelt. Eine Variante ist z.B. D+FL+, bei der die Dämmung besser ist als bei der Mindestvariante, die Fenster der Mindestvariante entsprechen und die Lüftung zusätzlich zur Mindestvariante eine Wärmerückgewinnung hat.

Fenstertausch (bedingt durch die dadurch wesentlich höheren Investitionskosten) empfiehlt sich jedoch nur – und das zeigt später auch das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung – wenn eine hohe Energiepreissteigerung prognostiziert wird.

Investitionskosten pro m² Nettogrundfläche A_{NGF}

DFL: 1.807.300 € / 5.058 m² = 357,32 €/m²

D+FL+: 1.945.743 € / 5.058 m² = 384,69 €/m²

D++F++L+: 2.580.157 € / 5.058 m² = 510,11 €/m²

Die Investitionskosten der wirtschaftlichsten Variante liegen 27,37 € pro m² A_{NGF} über der nach der Energieeinsparverordnung mindestens umzusetzenden Sanierungsvariante. Die Mehrkosten der Investition der wirtschaftlich besten Variante machen damit etwa 7,7 % aus. Die energetisch beste Variante hat um 152,79 € pro m² höhere Investitionskosten (42,8 %).

Die Modernisierungsmaßnahmen sparen pro Jahr an Energie ein (ausgedrückt in Heizöläquivalent²³):

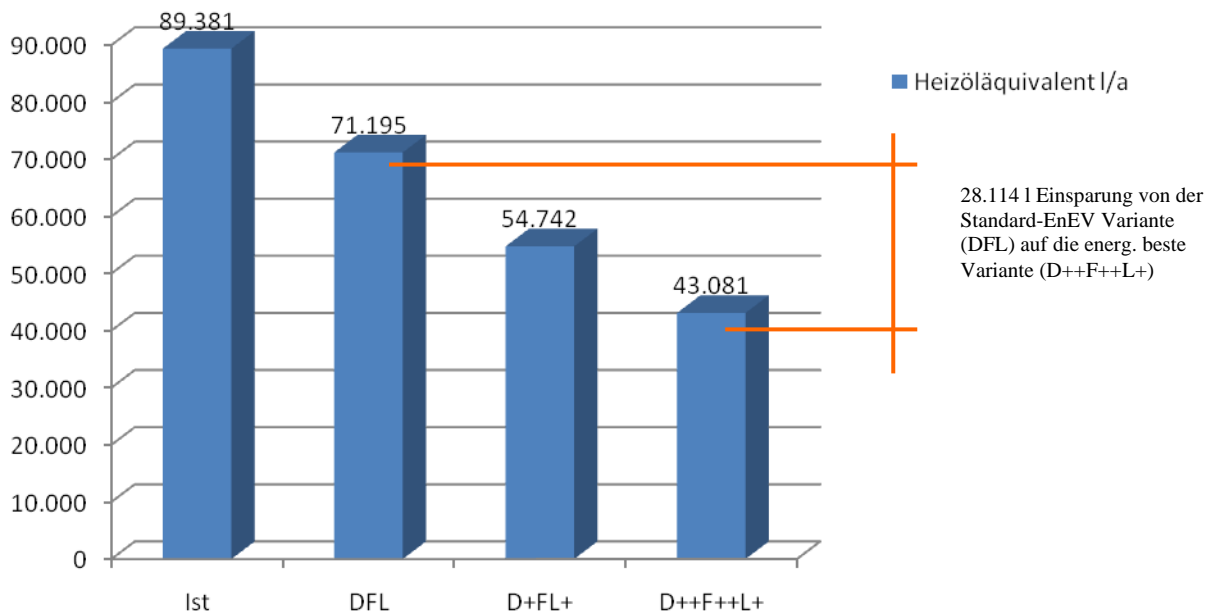


Abbildung 5: Verbrauch in Heizöläquivalent pro Jahr²⁴

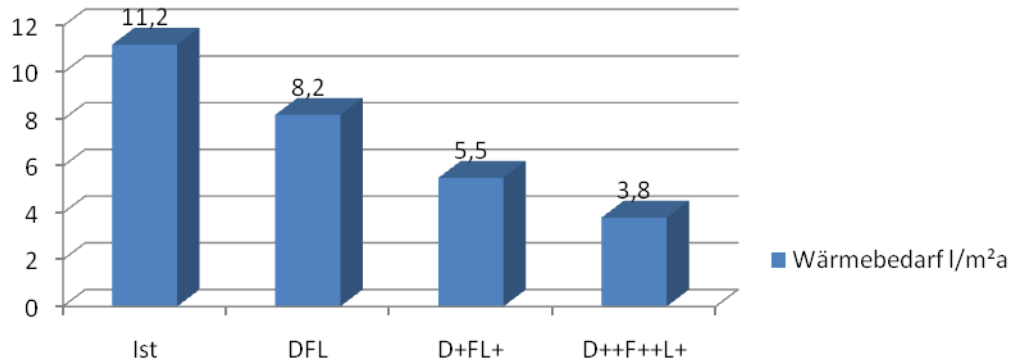
In Heizöläquivalenten verbraucht die Grundschule Birresborn derzeit (Ist-unsaniert) rechnerisch 89.381 Liter. Die Sanierung auf EnEV-Anforderungen reduziert den Energiebedarf auf 71.195 Liter Heizöläquivalente (- 20 %), die wirtschaftlichste Variante auf 54.742 Liter (- 39 %) und die energetische Bestvariante auf 43.081 Liter (- 52 %).

²³ Heizöläquivalent: ca. 1 l Heizöl = 10 kWh

²⁴ Vergleichen werden „Ist“ = Ist-Zustand vor der Modernisierung und die 2 zuvor betrachteten Varianten

Heizwärmebedarf der Hülle

Entsprechend der Standarddarstellung einer energetischen Modernisierung eines Gebäudes kann man auch den Wärmebedarf der Gebäudehülle darstellen. Der Wärmebedarf wird in Litern Heizöläquivalent gerechnet.

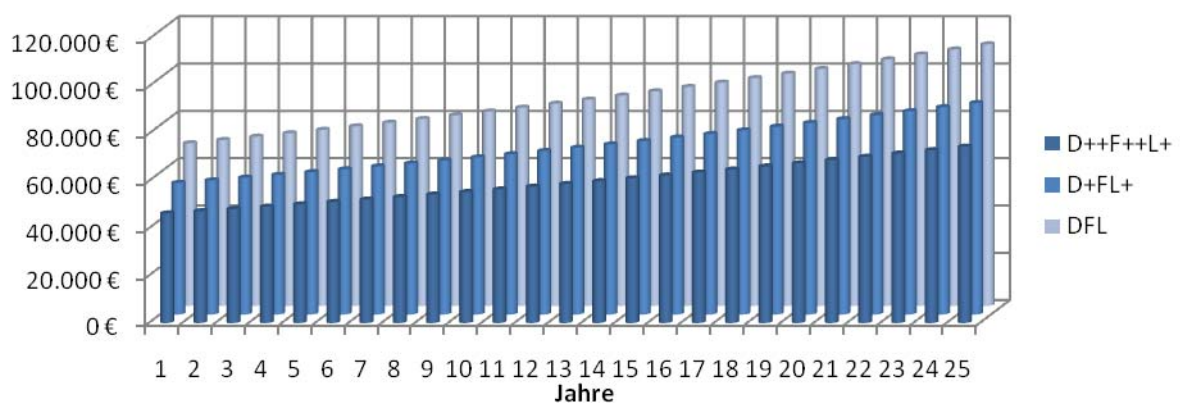


7.2 Energiekostenentwicklung

Die Entwicklung der Energiekosten für 3 Energiepreissteigerungsszenarien²⁵ kann folgendermaßen dargestellt werden.

Die anfänglichen Energiekosten pro Jahr liegen bei der Basisvariante bei 68.743 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 55.575 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 46.365 €/a.

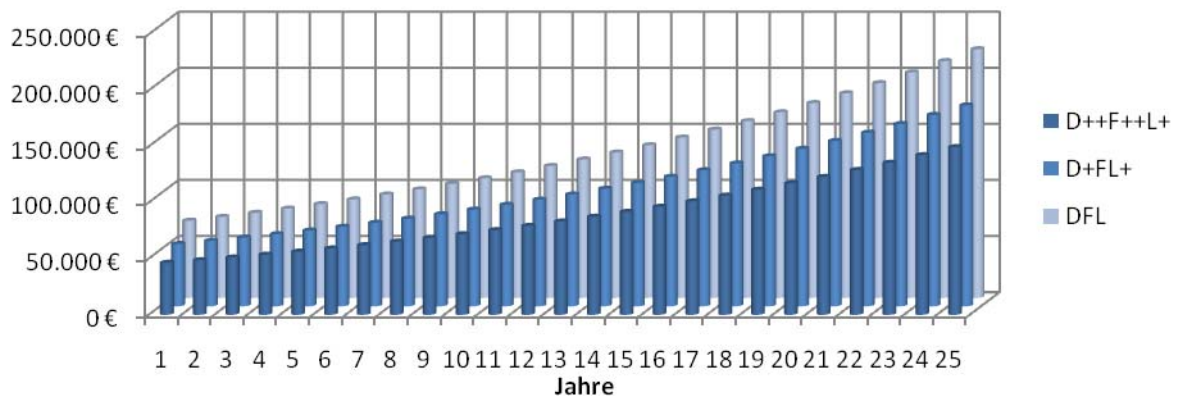
Energiekostenentwicklung bei 2% Energiepreissteigerung p.a.



²⁵ In der Studie werden 3 Energiepreissteigerungsszenarien betrachtet: 2%, 5% und 10% Energiepreissteigerung pro Jahr.

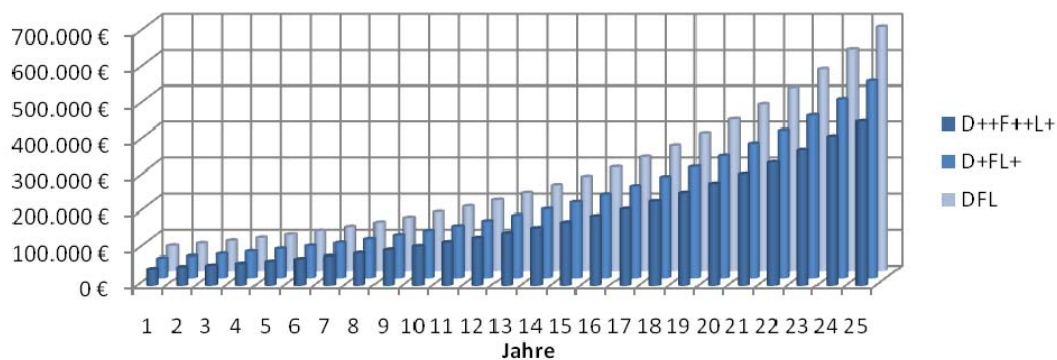
Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 2 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 110.570 €/a, bei der wirtschaftlichen Variante bei 89.386 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 74.574 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 21.184 €/a, DFL zu D++F++L+ = 35.996 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 2.201.860 €, für D+FL+ bei 1.780.039 € und für D++F++L+ bei 1.485.084 €.

Energiekostenentwicklung bei 5% Energiepreissteigerung p.a.



Bei einer Energiepreissteigerung von 5 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 221.698 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 179.239 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 149.532 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 42.459 €/a, DFL zu D++F++L+ = 72.166 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 3.280.863 €, für D+FL+ bei 2.652.451 € und für D++F++L+ bei 2.212.860 €.

Energiekostenentwicklung bei 10% Energiepreissteigerung p.a.

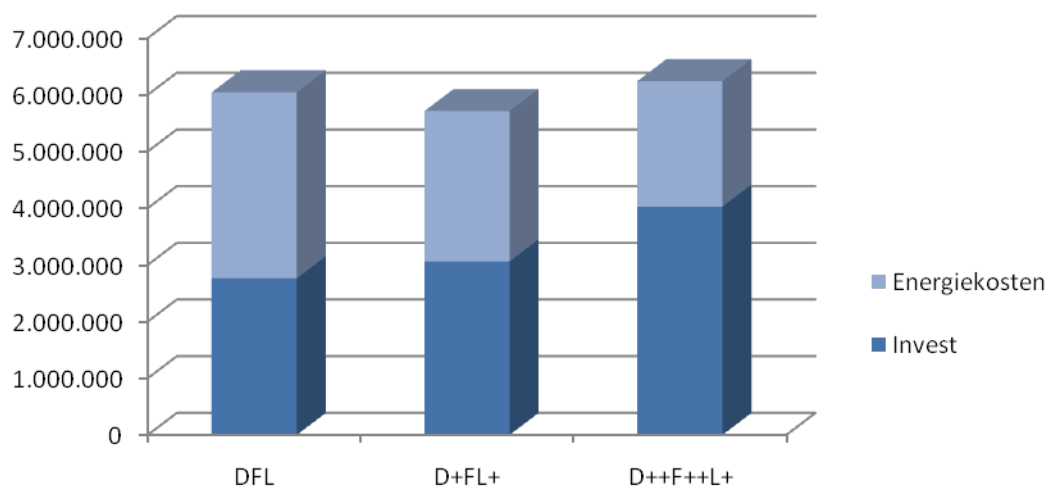


Bei einer Energiepreissteigerung von 10 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 677.109 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 547.408 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 456.695 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 129.701 €/a, DFL zu D++F++L+ = 220.414 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 6.760.751 €, für D+FL+ bei 5.465.694 € und für D++F++L+ bei 4.559.994 €.

7.3 Darstellung der Wirtschaftlichkeit

Die Energiekosten und die Kosten der Investition und der sonstigen Kosten über 25 Jahre ergeben den „Vermögensendwert“ der Maßnahme.

Tabelle 15: Lebenszykluskosten über 25 Jahre (bei Energiepreissteigerung von 5% p.a.)



Variante	DFL	D+FL+	D++F++L+
Energiekosten [€]	3.280.863 €	2.652.451 €	2.212.860 €
Invest [€]	2.762.202 €	3.059.876 €	4.027.034 €
Summe Lebenszykluskosten	6.043.065 €	5.712.327 €	6.239.894 €

Die kapitalisierten Gesamtkosten über 25 Jahre (Annahme: jährliche Energiepreissteigerung 5%; ohne Berücksichtigung von Restwerten) liegen bei der Modernisierung auf den Mindeststandard nach EnergieEinsparVerordnung EnEV bei ca. 6,043 Mio. €, bei der wirtschaftlichsten Variante D+FL+ bei 5,712 Mio. € und bei der energetisch besten Variante bei 6,240 Mio. €.

7.4 Fazit

Es zeigt sich, dass die Energiekosteneinsparungen den Mehrinvest (und dessen Lebenszykluskosten über 25 Jahre) bei der Varianten D+FL+ kompensiert. Die energetisch hochwertige Variante D++F++L+ ist in diesem Vergleich die unwirtschaftlichste. Die Variante D+FL+ ist die wirtschaftlichste. Vor dem Hintergrund, dass sich dieses Ergebnis bei einer Energiepreissteigerung von 5 % ergibt und sich die Wirtschaftlichkeit der energetisch besten Variante bei einer



Energiepreissteigerung von 10 % noch besser darstellt ist eine Modernisierung auf das energetisch beste Niveau auf jeden Fall zu empfehlen.

Photovoltaikanlage

Grundsätzlich ist die Installation einer Photovoltaikanlage auf geeigneten Flächen der Schule möglich.

Eine nähere Untersuchung der Möglichkeiten einer Photovoltaikanlage wird im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt. Die Photovoltaikanlage kann immer als zusätzlicher Baustein bei allen untersuchten Schulen in Betracht gezogen werden. Die Anlage ist durch die subventionierte Einspeisevergütung nach ca. 15 Jahren darlehensfrei und bringt nach diesem Zeitraum einen positiven Beitrag zum Cash-Flow.

8 Studie zur Grundschule Birresborn in Gerolstein-Birresborn

8.1 Bestandsaufnahme



Das Objekt hat folgende Grunddaten:

1 Schulgebäude und 1 Turnhalle

Baujahr: ca. 19– und 1982

Nettogrundfläche A_{NGF} ca. 1.580 m²

Heizung

Schule: Elektro-Nachtspeicheröfen

Turnhalle: Öl-Kessel

Zentrale WWB mit über Kesselanlage

Lüftungsanlage vorhanden in Turnhalle

Luftheizung

Endenergiebedarf (Ölheizung und WWB): 305.235kWh/a

Endenergiebedarf Stromheizung/Lüftung/Beleuchtung: 214.817 kWh/a

Energiekosten pro Jahr gesamt: 24.420 € + 36.345 € = 60.939 €/a (zu aktuellen Energiepreisen)

Energiekosten pro Nettogrundfläche A_{NGF}^{26} und Jahr: 38,57 €/m²a

8.2 Maßnahmen und Kosten

Es wurden 18 Modernisierungsvarianten entwickelt. Nachfolgend werden exemplarisch 3 dargestellt²⁷:

die Mindestvariante nach EnEV als Referenzgröße (DFL), und

die wirtschaftlich beste Variante (D+FL+)

die energetisch beste Variante (D++F++L+)

Tabelle 16: 3 Varianten und Kosten der Maßnahmen

DFL		D+FL+		D++F++L+	
Kellerdecke, Wärmedämmung 6cm	14.560,61 €	Kellerdecke, Wärmedämmung 12cm	17.472,73 €	Kellerdecke, Wärmedämmung 20cm	20.384,85 €
Außenwand, Wärmedämmung 8cm	172.596,43 €	Außenwand, Wärmedämmung 14cm	180.699,55 €	Außenwand, Wärmedämmung 30cm	203.388,29 €
Flachdach, unbelüftet 12cm Wärmedämmung	138.123,69 €	Flachdach, unbelüftet 18cm Wärmedämmung	147.283,09 €	Flachdach, unbelüftet 30cm Wärmedämmung	164.869,13 €
Aufsparren-dämmung mit Neueindeckung 12cm	69.106,77 €	Aufsparren-dämmung mit Neueindeckung 18cm	72.803,44 €	Aufsparren-dämmung mit Neueindeckung 30cm	76.615,04 €
Oberste Geschossdecke, 12cm Wärmedämmung	7.791,66 €	Oberste Geschossdecke, 18cm Wärmedämmung	8.682,13 €	Oberste Geschossdecke, 30cm Wärmedämmung	10.685,70 €
Fenster austausch, WSV-2-Scheiben, uw= 1,7	183.254,00 €	Fenster austausch, WSV-2-Scheiben, uw= 1,7	183.254,00 €	Fenster austausch, Passivhausfenster, uw= 0,8	252.703,25 €
Zentrale Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung	206.500,00 €	Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	241.900 €	Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	241.900 €
Heizungsanlage neu, Heizleitungen und Heizkörper	118.000,00 €	Heizungsanlage neu, Heizleitungen und Heizkörper	118.000,00 €	Heizungsanlage neu, Heizleitungen und Heizkörper	118.000,00 €
Summe	909.933 €	Summe	970.095 €	Summe	1.088.546 €
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante	60.162 €	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante	178.613 €

²⁶ $A_{NGF}=1.580 \text{ m}^2$

²⁷ Die Varianten werden nach den verschiedenen Qualitäten der Hauptkomponenten bezeichnet. Hauptkomponenten sind Dämmung=D, Fenster=F und Lüftung=L. Daraus wird eine Variantenmatrix entwickelt. Eine Variante ist z.B. D+FL+, bei der die Dämmung besser ist als bei der Mindestvariante, die Fenster der Mindestvariante entsprechen und die Lüftung zusätzlich zur Mindestvariante eine Wärmerückgewinnung hat.

		absolut		absolut	
		Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	6,6 %	Investitionsmehrkosten zur DFL –Variante in %	19,6 %

Die Elektroheizkörper werden in allen Varianten entfernt und es wird eine warmwasserbasierte Heizung installiert.

Investitionskosten pro m² Nettogrundfläche A_{NGF}²⁸

DFL: 909.933 € / 1.580 m² = 575,91 €/m²

D+FL+: 970.095 € / 1.580 m² = 613,98 €/m²

D++F++L+: 1.088.546 € / 1.580 m² = 688,95 €/m²

Die Investitionskosten der wirtschaftlichsten Variante liegen 38,07 € pro m² A_{NGF} über der nach der Energieeinsparverordnung mindestens umzusetzenden Sanierungsvariante. Die Mehrkosten der Investition der wirtschaftlich besten Variante machen damit etwa 6,6 % aus. Die energetisch beste Variante hat um 113,04 € pro m² höhere Investitionskosten (19,6 %).

Die Modernisierungsmaßnahmen sparen pro Jahr an Energie ein (ausgedrückt in Heizöläquivalent²⁹):

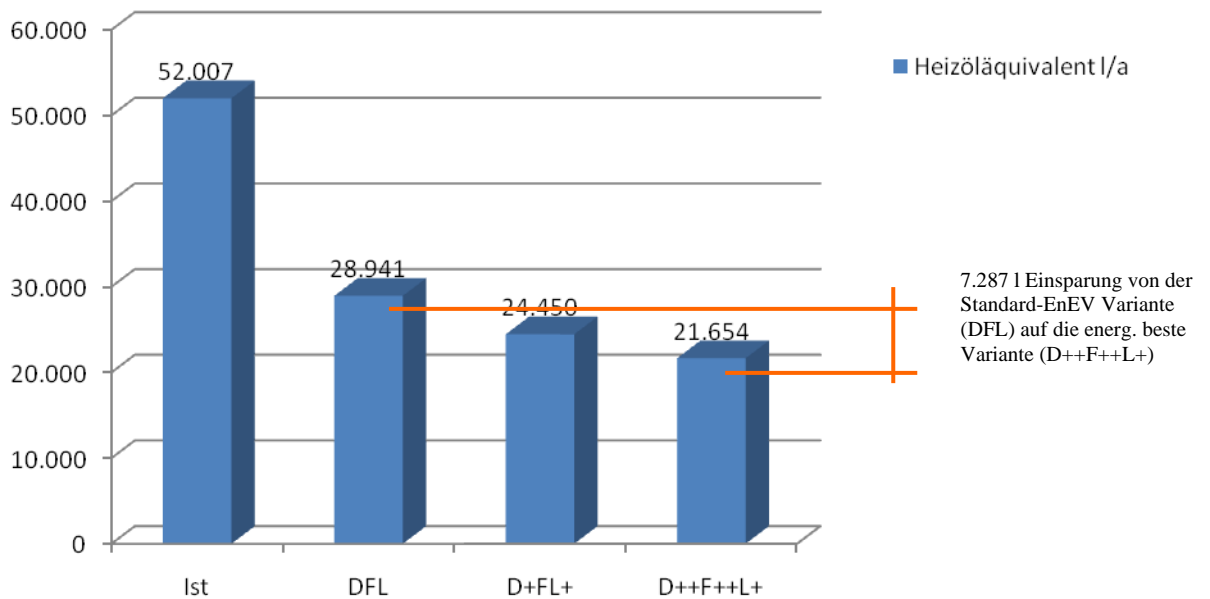


Abbildung 6: Verbrauch in Heizöläquivalent pro Jahr³⁰

²⁸ Die Flächen wie Nutzfläche, Verkehrsfläche, BGF, etc. werden mit dem Endbericht der Studie nachgeliefert

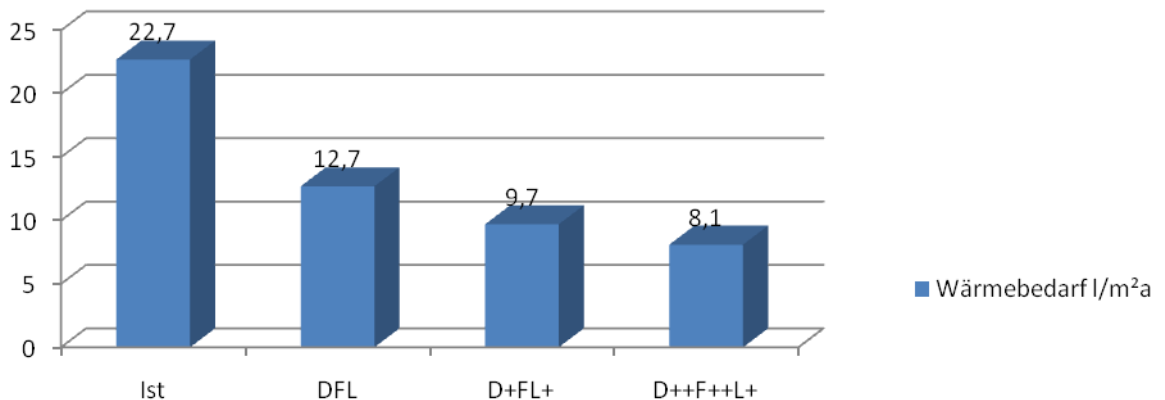
²⁹ Heizöläquivalent: ca. 1 l Heizöl = 10 kWh

³⁰ Vergleichen werden „Ist“ = Ist-Zustand vor der Modernisierung und die 2 zuvor betrachteten Varianten

In Heizöläquivalenten verbraucht die Grundschule Birresborn derzeit (Ist- unsaniert) rechnerisch 52.007 Liter. Die Sanierung auf EnEV- Anforderungen reduziert den Energiebedarf auf 28.941 Liter Heizöläquivalente (- 44 %), die wirtschaftlichste Variante auf 24.450 Liter (- 53 %) und die energetische Bestvariante auf 21.654 Liter (- 58 %).

Heizwärmebedarf der Hülle

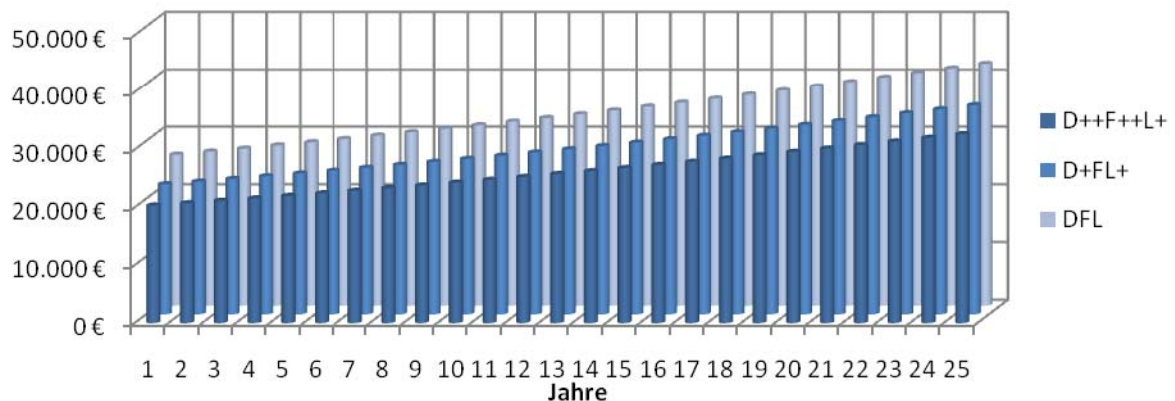
Entsprechend der Standarddarstellung einer energetischen Modernisierung eines Gebäudes kann man auch den Wärmebedarf der Gebäudehülle darstellen. Der Wärmebedarf wird in Litern Heizöläquivalent gerechnet.



8.3 Energiekostenentwicklung

Die Entwicklung der Energiekosten für 3 Energiepreissteigerungsszenarien³¹ kann folgendermaßen dargestellt werden: Die anfänglichen Energiekosten pro Jahr liegen bei der Basisvariante bei 26.123 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 22.520 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 20.340 €/a.

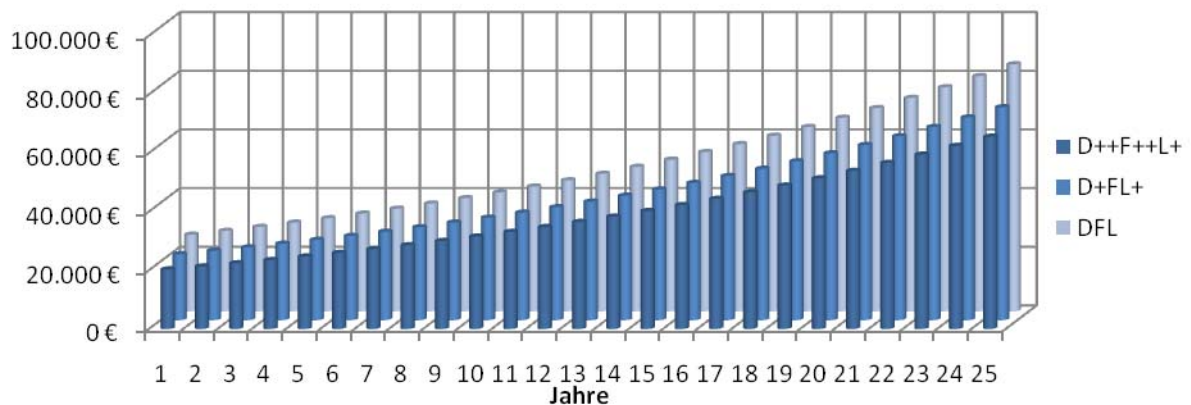
Energiekostenentwicklung bei 2% Energiepreissteigerung p.a.



³¹ In der Studie werden 3 Energiepreissteigerungsszenarien betrachtet: 2%, 5% und 10% Energiepreissteigerung pro Jahr.

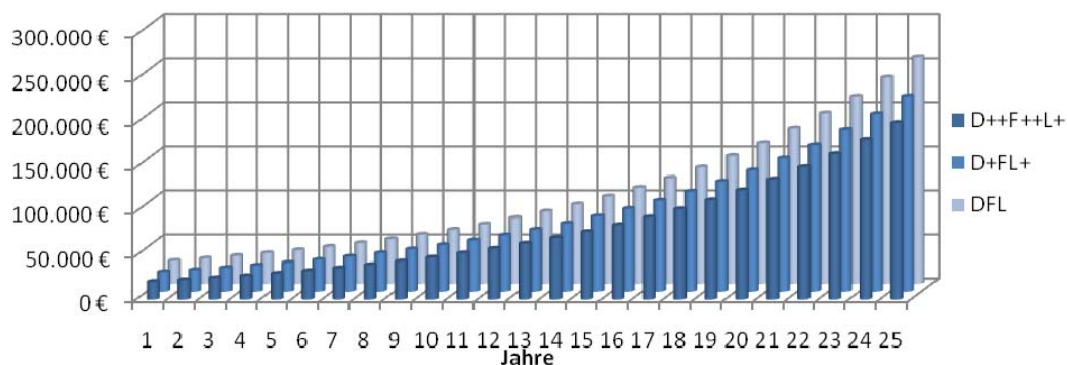
Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 2 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 42.013 €/a, bei der wirtschaftlichen Variante bei 36.222 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 32.716 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 5.791 €/a, DFL zu D++F++L+ = 9.297 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 836.661 €, für D+FL+ bei 721.330 € und für D++F++L+ bei 651.504 €.

Energiekostenentwicklung bei 5% Energiepreissteigerung p.a.



Bei einer Energiepreissteigerung von 5 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 84.254 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 72.633 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 65.603 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 11.621 €/a, DFL zu D++F++L+ = 18.651 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 1.246.836 €, für D+FL+ bei 1.074.871 € und für D++F++L+ bei 970.813 €.

Energiekostenentwicklung bei 10% Energiepreissteigerung p.a.

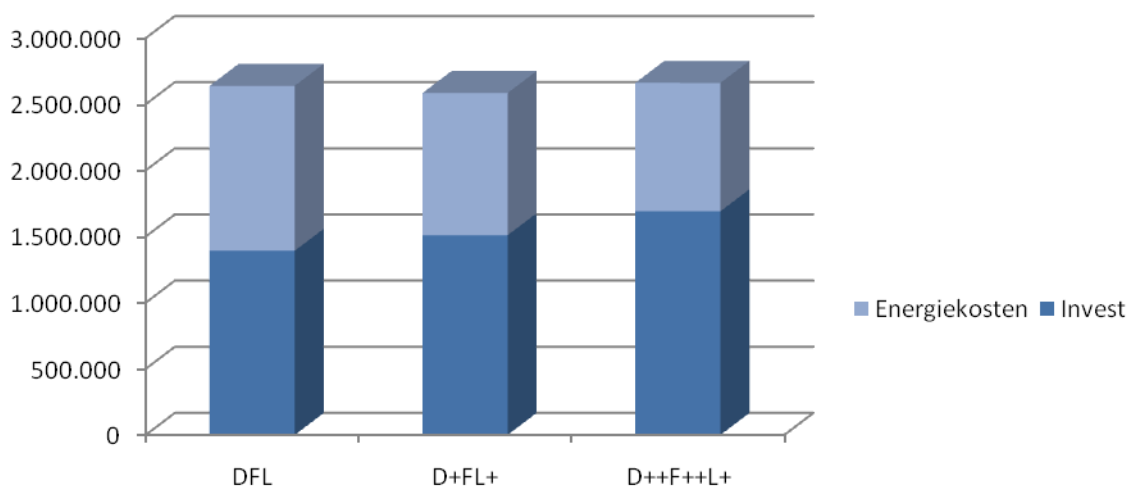


Bei einer Energiepreissteigerung von 10 % pro Jahr liegen die Energiekosten nach 25 Jahren bei der Basisvariante bei 257.305 €/a, bei der wirtschaftlichsten Variante bei 221.810 €/a und bei der energetischen Bestvariante bei 200.351 €/a. Die Differenzen im Jahr 25 betragen DFL zu D+FL+ = 35.495 €/a, DFL zu D++F++L+ = 56.954 €/a. Kumuliert über 25 Jahre liegen die Energiekosten für DFL bei 2.569.116 €, für D+FL+ bei 2.214.713 € und für D++F++L+ bei 2.000.429 €.

8.4 Darstellung der Wirtschaftlichkeit

Die Energiekosten und die Kosten der Investition und der sonstigen Kosten über 25 Jahre ergeben den „Vermögensendwert“ der Maßnahme.

Tabelle 17: Lebenszykluskosten über 25 Jahre (bei Energiepreissteigerung von 5% p.a.)



Variante	DFL	D+FL+	D++F++L+
Energiekosten [€]	1.246.836 €	1.074.871 €	970.813 €
Invest [€]	1.392.154 €	1.509.371 €	1.690.565 €
Summe Lebenszykluskosten	2.638.990 €	2.584.165 €	2.661.378 €

Die kapitalisierten Gesamtkosten über 25 Jahre (Annahme: jährliche Energiepreissteigerung 5%; ohne Berücksichtigung von Restwerten) liegen bei der Modernisierung auf den Mindeststandard nach EnergieEinsparVerordnung EnEV bei ca. 2,639 Mio. €, bei der wirtschaftlichsten Variante D+FL+ bei 2,584 Mio. € und bei der energetisch besten Variante bei 2,661 Mio. €.

8.5 Fazit

Es zeigt sich, dass die Energiekosteneinsparungen den Mehrinvest (und dessen Lebenszykluskosten über 25 Jahre) bei der Varianten D+FL+ kompensiert. Die energetisch hochwertige Variante D++F++L+ ist in diesem Vergleich die unwirtschaftlichste. Die Variante D+FL+ ist die wirtschaftlichste. Die Differenz ist jedoch nicht so groß, dass sich hier eine genaue Abgrenzung treffen lässt.



Vor dem Hintergrund, dass sich dieses Ergebnis bei einer Energiepreissteigerung von 5 % ergibt und dass die energetisch beste Variante D++F++L+ bei einer Energiepreissteigerung von 10 % die wirtschaftlichste ist, ist eine Modernisierung auf das energetisch beste Niveau auf jeden Fall zu empfehlen.

Photovoltaikanlage

Grundsätzlich ist die Installation einer Photovoltaikanlage auf geeigneten Flächen der Schule möglich.

Eine nähere Untersuchung der Möglichkeiten einer Photovoltaikanlage wird im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt. Die Photovoltaikanlage kann immer als zusätzlicher Baustein bei allen untersuchten Schulen in Betracht gezogen werden. Die Anlage ist durch die subventionierte Einspeisevergütung nach ca. 15 Jahren darlehensfrei und bringt nach diesem Zeitraum einen positiven Beitrag zum Cash-Flow.

9 Anwendbarkeit der Ergebnisse und Empfehlungen

Die Ergebnisse der Anwendung einer Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Hilfe eines vollständigen Finanzplans zeigt bei allen untersuchten Schulen: Eine energetische Modernisierung kann wirtschaftlich sein.

Jedoch werden nicht immer die wirtschaftlichsten Ergebnisse mit den energetisch höchstwertigen Maßnahmen erreicht. Es zeigt sich, dass die möglichen Energieeinsparpotenziale in diesen Fällen nicht zur wirtschaftlichen Begründung solcher Maßnahmen ausreichen.

Ein wesentlicher Faktor der zukünftigen Wirtschaftlichkeit energetischer Maßnahmen ist die Entwicklung der Energiepreise. Die hier durchgeführte Sensitivitätsanalyse zeigt, dass bei geringen bis moderaten Energiepreiserhöhungen die Varianten mit energetisch höchstwertigen Maßnahmen nicht wirtschaftlich sind. Erst bei sehr hohen Energiepreissteigerungen werden diese Varianten die wirtschaftlichsten.

Die Studie geht von diesen Rahmenbedingungen aus:

- Lüftungsanlage als Grundbestandteil jeder betrachteten Modernisierungsvariante.
- Ausschließliche Betrachtung von energetischen Maßnahmen, keine Berücksichtigung von anderen – auch durchaus notwendigen – Sanierungsmaßnahmen an den Schulgebäuden.
- Mögliche zukünftige Änderungen der Nutzung (Ganztagsschule, veränderte Schülerzahlen) werden nicht berücksichtigt.
- Berechnungen erfolgen auf Basis der EnEV 2007. Eventuelle Änderungen, die sich durch die EvEV 2009 ergeben könnten, sind nicht berücksichtigt.
- Vereinfachte Annahmen bei der Kreditfinanzierung. Tatsächliche finanzielle Rahmenbedingungen der einzelnen Schule wurden nicht berücksichtigt (insbesondere eventuelle ADD- Beschränkungen etc.), um eine annähernde Vergleichbarkeit der Studien zu erreichen.

Bei der Bearbeitung ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Die DIN 18599 kann nur begrenzt zur praxisgerechten Ermittlung von Energieverbräuchen (zum Variantenvergleich) herangezogen werden.
- Schulgebäude haben einige Besonderheiten, die das Ergebnis nicht unerheblich beeinflussen:
 - Sie weisen kurze Nutzungszeiten auf.
 - Die großen Fensterflächen lassen den Einfluss von Dämmmaßnahmen an den Außenwänden klein werden. Dementsprechend hat die Qualität der Fenster einen entscheidenden Einfluss auf den Energiebedarf der Gebäudehülle.
- Durch den Einsatz von Lüftungsanlagen wird ein hoher Luftwechsel in den Gebäuden erreicht. Der hohe Luftwechsel reduziert den energetischen Einfluss der Gebäudehülle. Die Effektivität einer evtl. vorhandenen Wärmerückgewinnung wird so zu einem ausschlaggebenden Faktor für die Energieeffizienz des Gebäudes.
- Ein großer Teil der Investitionskosten entfällt auf die Lüftungsanlagen.

Falls eine Investitionsentscheidung für eine spezielle Schule getroffen werden soll, muss eine spezifische Untersuchung der jeweiligen Schule erfolgen. Hier muss dann besonders auf die örtlichen Finanzierungsmöglichkeiten und –abhängigkeiten eingegangen werden.

Energetische Modernisierungen sind angesichts des Sanierungsrückstandes einiger untersuchter Schulen doppelt sinnvoll. Schließlich müssen grundlegende Arbeiten



ohnehin erledigt werden. Diese Sowiesokosten, würden den Anteil der Modernisierungskosten an den Gesamtkosten senken.

Grundsätzlich sind umfangreiche energetische Sanierungen an Schulen zu empfehlen, da sie sich in mehrfacher Hinsicht positiv auswirken: Die langfristigen Energiekosten können grundlegend reduziert werden und der Einbau von Lüftungsanlagen führt zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität (und damit der Lernbedingungen). Außerdem können Sanierungsrückstände kostengünstig mit behoben werden.

Anhang: Aufstellung aller 18 Modernisierungsvarianten, die pro Schule untersucht wurden.

Impressum

Projektstudie:

LUWOGÉ consult GmbH

Ansprechpartner:
Dipl.-Ing. Alexander Peischl

Kontaktadresse:
Donnersbergweg 2
67059 Ludwigshafen

Tel. +49 621 55 90 98 9-0
(Zentrale)
Fax +49 621 55 90 98 99
(Zentrale)
E-Mail: info@luwo-
consult.de

www.luwo-consult.de



Projektbegleitung:

INBG
Institut für Nachhaltiges Bauen
und Gestalten der
Fachhochschule Kaiserslautern

Ansprechpartner:
Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang
Schreiber
Prof. Dr.-Ing. Thomas Lechner

Kontaktadresse:
FH Kaiserslautern
Campus Kammgarn
Schoenstr. 6
67659 Kaiserslautern
T 105

Tel. + 49 631 3724 420
Fax + 49 631 3724 416
E-Mail: inbg@fh-kl.de

www.inbg.fh-kl.de



Projektförderung:

Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz (MUFV)
des Landes Rheinland-Pfalz

Ansprechpartner:
Prof. Dr. Karl Keilen

Kontaktadresse:
Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz
Referatsgruppe 1082
Energie und Klimaschutz

Tel. +49 6131 165442
E-Mail: karl.keilen@mufv.rlp.de

www.mufv.rlp.de

