

BEZIRKSAMT TREPTOW-KÖPENICK VON BERLIN
KLIMASCHUTZ-TEILKONZEPT FÜR 42 LIEGENSCHAFTEN

**MOBILE UNTERRICHTSRÄUME DER GRUNDSCHULE IN DER
KÖLLNISCHEN VORSTADT, RUDOWER STRASSE 201**

Berlin, den 20. Oktober 2014
BN00149.102

CSD INGENIEURE GmbH
Köpenicker Straße 154a, Aufgang D
D-10997 Berlin
t +49 30 69 81 42 78
f +49 30 65 81 42 77
e berlin@csdingenieure.de
www.csdingenieure.de

INHALTSVERZEICHNIS

1. AUFGABENSTELLUNG	5
2. BASISDATEN MOBILE UNTERRICHTSRÄUME - RUDOWER STRASSE 201	6
2.1 Objektbeschreibung	6
2.2 Energieverbrauch und Energiekennzahlen des Gebäudes	7
2.2.1 Wärme	7
2.2.2 Strom	8
2.2.3 Energiekennzahlen des Gebäudes	9
3. GEBÄUDEBEWERTUNG	10
3.1 Fotodokumentation	10
3.2 Vorbemerkungen und Hinweise	12
3.3 Gebäudehülle	12
3.3.1 Bodenplatte des Erdgeschosses	12
3.3.2 Außenwände einschl. Kellerwänden	12
3.3.3 Fenster	12
3.3.4 Außentüren	12
3.3.5 Dach	12
3.3.6 Gesamteinschätzung Gebäudehülle	13
3.4 Technische Anlagen	13
3.4.1 Bestandsaufnahme	13
3.4.2 Energetische Beurteilung der technischen Anlagen	13
3.5 Heizwärmebedarf des Gebäudes und Bedarfs-/Verbrauchsabgleich	14
3.6 Energiebilanz und Bewertung des Bestandsgebäudes	15
4. ENERGIESPARMAßNAHMEN UND SANIERUNGSOPTIONEN	17
4.1 Grundlegendes	17
4.2 Sanierung der Gebäudehülle	17
4.2.1 Bodenplatte	17
4.2.2 Außenwände	17
4.2.3 Fenster	17
4.2.4 Außentüren	18
4.2.5 Dachflächen	18
4.3 Sanierung der technischen Anlagen	18
4.3.1 Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage	18
4.3.2 Beleuchtung	19
4.3.3 Energieträger	19

4.4	Schätzung der Investitionskosten	19
4.5	Nicht und minimal investive Energiesparmaßnahmen	22
4.6	Bewertung der möglichen Sanierungsvarianten	22
4.7	Sanierungsempfehlungen	27

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Gebäudeparameter für die Bedarfsberechnung	14
Tabelle 2:	Sanierungsmaßnahmen Gebäudehülle	20
Tabelle 3:	Überblick über mögliche Sanierungsvarianten	21
Tabelle 4:	Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	23
Tabelle 5:	Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für Maßnahmenvarianten (alle Kostenangaben inklusive Mehrwertsteuer)	25

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Fernwärmeverbrauch des Schulkomplexes in den Jahren 2011 bis 2013	7
Abbildung 2:	Produzierte Treibhausgasemissionen (CO ₂) infolge Wärmeverbrauch	7
Abbildung 3:	Stromverbrauch des Gebäudes in den Jahren 2011 bis 2013	8
Abbildung 4:	Produzierte Treibhausgasemissionen (CO ₂ -Äquivalent) infolge Stromverbrauch	8
Abbildung 5:	Energieeinsatz und –verluste für den Ist-Zustand des Schulgebäudes	15
Abbildung 6:	Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes	15
Abbildung 7:	Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes bei einer Solltemperatur von 19°C	16
Abbildung 8:	Variantenvergleich hinsichtlich der jährlich erzielbaren Energie-, CO ₂ - und Brennstoffkostenreduktionen	26

QUELLENVERZEICHNIS

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand, 26. Juli 2007
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Merkblatt Erstellung von Klimaschutz-Teilkonzepten, Fassung 17.10.2012
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, April 2013
- [4] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/ Bundesliegenschaften, BBSR-Online-Publikation, Nr. 06/2014
- [5] DIN V 4108-6:2003-06: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfs
- [6] DIN V 4701-10:2003-08: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung und Lüftung
- [7] DIN V 18599-10:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
- [8] VDI 2067 Blatt 1:2012-09: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung
- [9] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013 (EnEV 2014)
- [10] Gesetz zur Förderung Erneuerbare Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG) vom 07. August 2008, zuletzt geändert am 22.12.2011
- [11] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Anlage zu den Merkblättern IKK und IKU – Energetische Stadtsanierung – Energieeffizient Sanieren (Programme 218 und 219), Technische Mindestanforderungen, Stand 04/2014
- [12] Ages GmbH, Verbrauchskennwerte 2005, Forschungsbericht der ages GmbH, Februar 2007
- [13] Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V.: Katalog regionaltypischer im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten, 30. April 2009
- [14] Institut für Bauforschung e.V. Hannover, U-Werte alter Bauteile, Fraunhofer IRB Verlag, November 2003
- [15] Zentralstelle für Normungsfragen und Wirtschaftlichkeit im Bildungswesen, Typenschulbauten in den neuen Ländern, Modernisierungleitfaden, 1999
- [16] BINE Informationsdienst: themeninfo I/06, Gebäude sanieren – Schulen
- [17] Plötz Schulführer Berlin 2010, Deutsche Informationsbörse AG, Berlin 2009
- [18] Umweltamt Steglitz-Zehlendorf, Sanierung von alten Kastendoppelfenstern auf Neubaustandard, Februar 2011

PRÄAMBEL

CSD bestätigt hiermit, dass bei der Abwicklung des Auftrages die Sorgfaltspflicht angewendet wurde, die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf dem derzeitigen und im Bericht dargestellten Kenntnisstand beruhen und diese nach den anerkannten Regeln des Fachgebietes und nach bestem Wissen ermittelt wurden.

CSD geht davon aus, dass

- ihr seitens des Auftraggebers oder von ihm benannter Drittpersonen richtige und vollständige Informationen und Dokumente zur Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt wurden
- von den Arbeitsergebnissen nicht auszugsweise Gebrauch gemacht wird
- die Arbeitsergebnisse nicht unüberprüft für einen nicht vereinbarten Zweck oder für ein anderes Objekt verwendet oder auf geänderte Verhältnisse übertragen werden.

Andernfalls lehnt CSD gegenüber dem Auftraggeber jegliche Haftung für dadurch entstandene Schäden ausdrücklich ab.

Macht ein Dritter von den Arbeitsergebnissen Gebrauch oder trifft er darauf basierende Entscheidungen, wird durch CSD jede Haftung für direkte und indirekte Schäden ausgeschlossen, die aus der Verwendung der Arbeitsergebnisse allenfalls entstehen.

1. Aufgabenstellung

Das Bezirksamt Treptow-Köpenick von Berlin möchte seinen Gebäudebestand energetisch modernisieren, um dessen Energieverbrauch, die damit verbundenen Energiekosten und die infolge des Energieverbrauchs emittierten Treibhausgasmengen nachhaltig zu reduzieren. Aus diesem Grund wird für 42 sanierungsbedürftige Liegenschaften die Erstellung eines Klimaschutz-Teilkonzepts vorgenommen, das im Rahmen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit finanziell gefördert wird.

Aufgabenstellung der CSD Ingenieure GmbH als Beitrag zum Klimaschutz-Teilkonzept war es, die spezifische Ausgangssituation der Liegenschaften und darauf aufbauend technisch und wirtschaftlich umsetzbare CO₂-Minderungspotentiale aufzuzeigen. Damit soll dargestellt werden, wie kurz-, mittel- und langfristig Klimaschutzpotentiale erschlossen werden können. Für jede Liegenschaft wurde ein separater Untersuchungsbericht wie der vorliegende erstellt. Ergebnis der Untersuchungen ist außerdem eine Prioritätenliste, die die Untersuchungsergebnisse für alle Objekte zusammenfasst und anhand derer das Bezirksamt Treptow-Köpenick entscheiden kann, in welcher Reihenfolge die Liegenschaften am wirtschaftlichsten saniert werden können.

Die 42 zu untersuchenden Gebäude mit Baujahren zwischen 1912 und 1992 umfassen insgesamt eine Bruttogrundfläche von über 113.000 m². Sie sind in den letzten Jahren bereits teilweise modernisiert worden, verfügen jedoch über einen umfangreichen weiteren Sanierungsbedarf. Um diesen aufzuzeigen und zu quantifizieren, wurden für alle Gebäude die im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritte durchgeführt.

Grundlage der Feststellung der energetischen Ausgangssituation jeder Liegenschaft war zunächst die Auswertung ihrer Energieverbräuche über die letzten drei Jahre und deren Vergleich mit den Verbräuchen des deutschen Gebäudebestands. Dies erlaubte eine erste Einschätzung des Energie- und Treibhausgasreduktionspotentials. Als zweiter Schritt folgte eine Gebäudebegehung, bei der der Zustand der Gebäudehülle sowie der haustechnischen Anlagen in energetischer Hinsicht erhoben sowie eine Befragung des zuständigen Hausmeisters/Platzwarts vorgenommen wurden. Auf Grundlage der erhobenen Daten und mittels der vom Bezirksamt zur Verfügung gestellten Grundrisspläne wurde dann für jedes Gebäude eine Energiebilanz erstellt und soweit möglich mit Hilfe der witterungskorrigierten Wärmeverbrauchsdaten justiert. Sodann wurden anhand der Feststellungen vor Ort und der Energiebilanz Energieeinsparmaßnahmen abgeleitet und zu Sanierungsvarianten gebündelt. Abschließend wurden die durch die Sanierungsvarianten realisierbaren Energie- und Treibhausgas-einsparungen ermittelt, die Wirtschaftlichkeit der Varianten bewertet und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet.

2. Basisdaten Mobile Unterrichtsräume - Rudower Strasse 201

2.1 Objektbeschreibung

Bezeichnung des Objekts: Mobile Unterrichtsräume der Grundschule in der Köllnischen Vorstadt

Foto des Objekts:



Standort: Rudower Strasse 201, 12557 Berlin

Nutzung: Unterrichtsgebäude

Gebäudeart: Freistehendes Nichtwohngebäude
Erdgeschoss bis 2. Obergeschoss, alle Geschosse vollständig beheizt

Bruttogrundfläche: 1159 m²

Baujahr: 1992

Sanierung Gebäudehülle: Es wurde keine Sanierung vorgenommen.

Sanierung haustechnische Anlage: Es wurde keine Sanierung vorgenommen.

Heizenergieerzeugung: Atmosphärischer Erdgas-Spezialheizkessel

Warmwasserbereitung: Dezentrale Warmwasserbereitung über elektrisch beheizte Kleinspeicher für die Küchen und eine Dusche

Lüftung: Freie Lüftung, Abluftventilatoren in den Sanitärbereichen

Angaben zum Leerstand: 3 Wochen in den Sommerferien und am Wochenende

Bestandsunterlagen: Aktuelle Grundrisse

Datum Objektbegehung: 11.06.2014

2.2 Energieverbrauch und Energiekennzahlen des Gebäudes

2.2.1 Wärme

Das Lehrgebäude wird durch eine Erdgasheizung mit Wärme versorgt. Es wird das gesamte Gebäude beheizt. Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral elektrisch. Im folgenden Diagramm ist der Wärmeverbrauch für den gesamten Schulkomplex bestehend aus den untersuchten mobilen Unterrichtsräumen und dem Hauptgebäude für die Jahre 2011-2013 angegeben. Die leicht ansteigenden Verbräuche können durch die jeweils etwas strengeren Winter erklärt werden. Insgesamt ist der Verbrauch für die zwei Gebäude sehr hoch, so dass möglicherweise ein weiteres Gebäude wie die benachbarte Sporthalle der Sekundarschule vom gleichen Wärmemengenzähler erfasst wird.

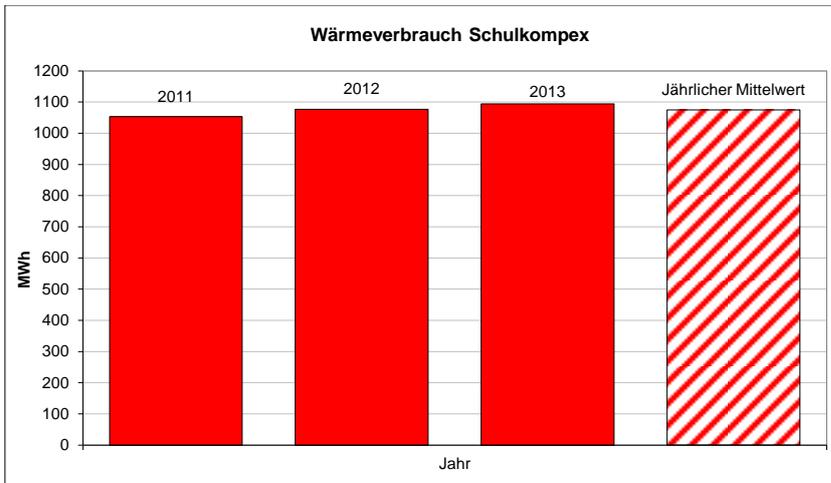


Abbildung 1: Fernwärmeverbrauch des Schulkomplexes in den Jahren 2011 bis 2013

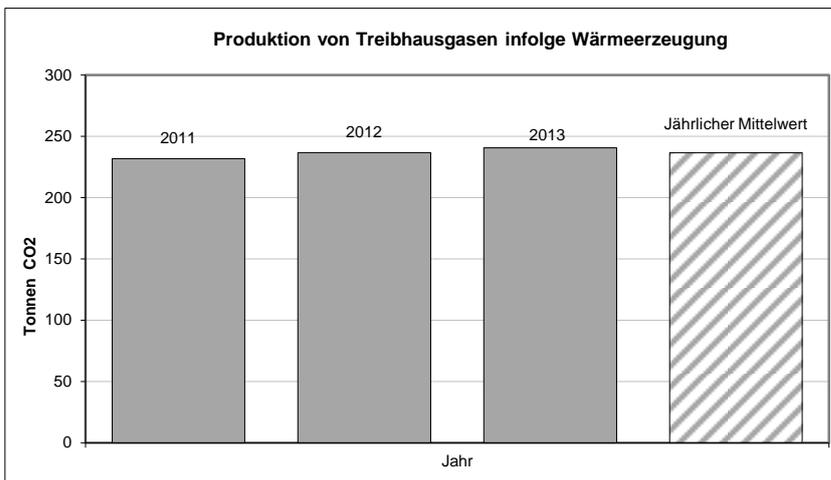


Abbildung 2: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂) infolge Wärmeverbrauch

2.2.2 Strom

Für die Jahre 2011-2013 wurden die nachstehend dargestellten Stromverbräuche für den gesamten Schulkomplex bestehend aus den untersuchten mobilen Unterrichtsräumen und dem Hauptgebäude abgerechnet. Abbildung 4 zeigt die infolge der Stromherstellung produzierten Treibhausgasemissionen.

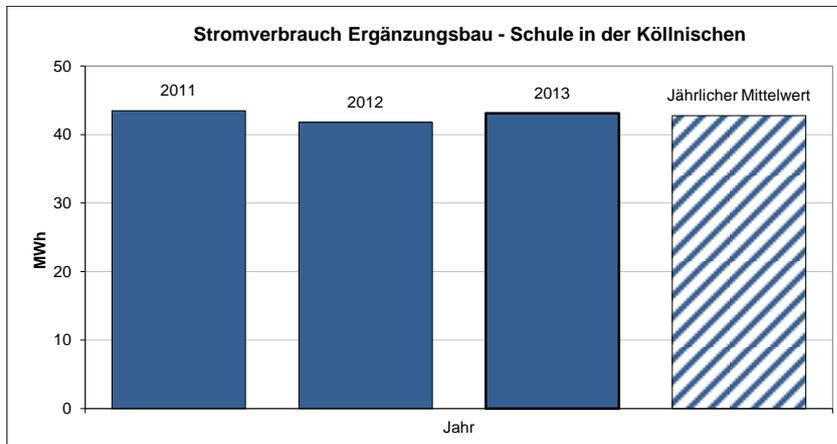


Abbildung 3: Stromverbrauch des Gebäudes in den Jahren 2011 bis 2013

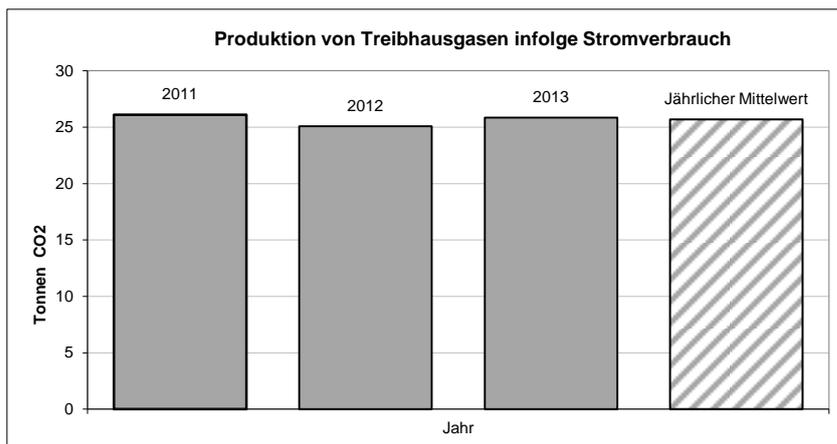


Abbildung 4: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalent) infolge Stromverbrauch¹

¹ Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgte mittels des mittleren GEMIS-Emissionsfaktors für den deutschen Strommix i.H.v. 600 g/kWh, der von den Energiebeauftragten der Berliner Bezirke einheitlich verwendet wird.

2.2.3 Energiekennzahlen des Gebäudes

Eine Beurteilung der Energieverbräuche der Liegenschaft ist durch einen Vergleich mit den entsprechenden Verbräuchen des deutschen Gebäudebestands möglich. Hierfür hat die ages GmbH für verschiedene Gebäudenutzungskategorien Heizenergie- und Stromverbrauchswerte erfasst und die Mittelwerte sowie die Mittelwerte des Viertels mit dem geringsten Verbrauch bezogen auf die Bruttogrundfläche des jeweiligen Gebäudes berechnet und veröffentlicht.²

Ein derartiger Vergleich ist für das untersuchte Objekt leider nicht möglich, da keine Flächenangaben für die mit dem Ergänzungsneubau gemeinsam abgerechneten Gebäude des Schulkomplexes vorliegen.

² ages-Verbrauchskennwerte 2005: <http://ages-gmbh.de>

Der Heizenergieverbrauch umfasst dabei sowohl den Brennstoffverbrauch zur Erzeugung von Raumwärme als auch zur Bereitung von Warmwasser, sofern beide Wärmearten von einer gemeinsamen Heizungsanlage erzeugt werden. Aktuellere Verbrauchskennwerte der Jahre 2012/13 werden voraussichtlich Ende des Jahres 2014 veröffentlicht.

3. Gebäudebewertung

3.1 Fotodokumentation



Süd-West-Ansicht



Nord-West-Ansicht



Nord-Ost-Ansicht



Sonnenschutz an der Südfassade



Eingangsbereich



Feuchtigkeitsschäden der Außenwand



Offene Plattenfugen



Feuchteschäden an den Holzfenstern



Plattenheizkörper an der AW



Atmosphärischer Erdgas-Spezialheizkessel



Grundfos Magna Heizungsumwälzpumpe

3.2 Vorbemerkungen und Hinweise

Beim untersuchten Lehrgebäude handelt es sich um ein 1992 errichtetes Gebäude in Massivbauweise. Das Gebäude besteht aus Stahlbetonfertigteilen, die über Schraubverbindungen miteinander verbunden sind. Es wird aufgrund der wieder lösbaren Verbindungen als „Mobile Unterrichtsräume“ bezeichnet. Es besteht aus drei Vollgeschossen, die alle vollständig genutzt und beheizt werden. Laut Aussage des Hausmeisters steht das Gebäude maximal 3 Wochen im Sommer sowie an den Wochenenden leer.

Für das Gebäude liegen neben Grundrissen keine weiteren Bauunterlagen vor. Entsprechend den Vorschriften des Merkblatts zur Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten des BMU wurden die Bauteildaten daher überschlägig anhand von Bauteiltypologien erhoben. Als Datengrundlage wurden dabei die Datenaufnahmeregeln des BMVBS für Nichtwohngebäude [1] verwendet.

3.3 Gebäudehülle

3.3.1 Bodenplatte des Erdgeschosses

Für den an das Erdreich grenzenden Fußboden des Erdgeschosses ist nach [1] von einem U-Wert der $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auszugehen. Ein gewisser Wärmeschutz ist damit bereits vorhanden, die heutigen Anforderungen sind jedoch deutlich strenger.

3.3.2 Außenwände einschl. Kellerwänden

Bei den Außenwänden handelt es sich um ca. 26 cm dicke Stahlbetonfertigteilmwände mit Innenputz. Aufgrund der Bauzeit ist von einem gewissen Mindestwärmeschutz auszugehen. Gemäß [1] kann von einem U-Wert von $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausgegangen werden. Damit ist die Wärmeschutzqualität der Wände geringer als es entsprechend der derzeitigen Anforderungen erforderlich wäre. Die Außenwände sind sanierungsbedürftig, da vor allem in den Fugen der Stahlbetonplatten größere Schäden vorzufinden sind und durch Undichtigkeiten Feuchteschäden im Innenbereich verursacht werden.

3.3.3 Fenster

Die Fenster des Lehrgebäudes bestehen aus Isolierverglasung mit Holzrahmen aus dem Jahr 1992. Sie wurden seitdem augenscheinlich nicht ausgetauscht. Ihr U-Wert kann nach [1] mit $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ abgeschätzt werden. Die Fenster befinden sich insgesamt in einem stark sanierungsbedürftigen Zustand durch Undichtigkeiten sowie direkte Schäden an den Holzrahmen. Ein außenliegender Sonnenschutz wurde an den Fenstern der südlichen Fassade angebracht. Laut Nutzerklagen heizen sich die Räume im südlichen Teil vom Gebäude in den Sommermonaten sehr auf. Im Winter würden die Räumlichkeiten außerdem nicht ausreichend mit Wärme versorgt, besonders im nördlichen Bereich.

3.3.4 Außentüren

Bei den Eingangstüren handelt es sich um Glastüren aus Isolierverglasungen mit Stahlrahmen, deren U-Wert gemäß [1] mit $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ anzunehmen ist. Für die opaken Anteile der Tür wird gemäß [1] ein U-Wert von $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Die Tür zum Heizraum besteht aus Stahl, hier wird gemäß [1] ebenfalls ein U-Wert von $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen.

3.3.5 Dach

Das dreigeschossige Gebäude wird von einem Flachdach nach oben abgeschlossen, wobei davon ausgegangen wird, dass es sich um eine massive Konstruktion aus Stahlbeton-Fertigteilen handelt. Für

das Flachdach ist von einer für die Bauzeit üblichen Wärmeschutzqualität auszugehen. Gemäß [1] wurde ein U-Wert von $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen. Das Dach wird durch eine Innenentwässerung entwässert.

3.3.6 Gesamteinschätzung Gebäudehülle

Kein Außenbauteil erfüllt die Anforderungen, die nach der aktuellen Energieeinsparverordnung EnEV 2014 an zu sanierende Bauteile eines Nichtwohngebäudes gestellt werden.³ Die wärmetechnische Qualität der Gebäudehülle im derzeitigen Zustand ist insgesamt nicht ausreichend. Es besteht daher erhebliches Energieeinsparungspotential. Viel Wärme geht aufgrund der großen Flächenanteile über die massiven Außenwände und die Fenster verloren. Es sind keine besonderen konstruktions- oder materialbedingten Wärmebrücken hervorzuheben, so dass Wärmebrücken rechnerisch über einen U-Wert-Zuschlag von $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ berücksichtigt werden. Da die Fenster z.T. ohne Lippendichtung ausgeführt sind, ist von etwas erhöhten Lüftungswärmeverlusten infolge Gebäudeundichtigkeit auszugehen, die durch eine Luftwechselrate von $0,8/\text{h}$ berücksichtigt werden.

3.4 Technische Anlagen

3.4.1 Bestandsaufnahme

Die Heizwärmeversorgung der Schulgebäude erfolgt mittels einer Erdgasheizung. Die im Erdgeschoss des Hauptgebäudes untergebrachte Erdgasheizung, ein atmosphärischer Erdgas-Spezialheizkessel: vom Typ Buderus G_224L Lownox, wurde im Jahr 1992 eingebaut.

Die Wärmeleitungen sind bis auf kurze Zwischenstücke und Armaturen gut gedämmt. Eine leistungsgeregelte Pumpe vom Typ GRUNDFOS Magna 25-60 180 aus dem Jahr 2006 wälzt das Heizungswasser um. Ob ein hydraulischer Abgleich vorgenommen wurde, ist nicht bekannt. Die Wärmeübergabe an die Räume erfolgt durch an den Außenwänden angeordnete Plattenheizkörper mit Thermostatventilen. Da einige Räume gemäß Nutzerklagen im Winter nicht ausreichend beheizt werden wäre zu überprüfen, ob ein hydraulischer Abgleich hier Abhilfe schaffen kann oder weitere Schritte vorgenommen werden müssen.

Warmwasser für die Küchen und Dusche wird dezentral über elektrisch betriebene Kleinspeicher, erwärmt. Die Handwaschbecken der Sanitärräume werden nicht mit Warmwasser versorgt.

Die Beleuchtungsanlage des Lehrgebäudes besteht aus Deckenleuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen, die im Jahr 1992 eingebaut wurden und konventionelle Vorschaltgeräte besitzen.

3.4.2 Energetische Beurteilung der technischen Anlagen

Insgesamt sind die haustechnischen Anlagen funktionstüchtig. Wesentliche Komponenten haben jedoch ihre mittlere Lebensdauer erreicht und besitzen einen energetischen Standard mittlerer bis niedriger Effizienz. Eine energetische Sanierung der Anlage wird empfohlen. Die dezentrale Warmwasserbereitung erfolgt bedarfsgeführt und bedarf keiner Erneuerung.

Die Beleuchtungsanlage des Gebäudes ist wie beschrieben teilsaniert. Weitere Modernisierungsmaßnahmen sind daher empfehlenswert.

³ Gleichermaßen werden auch die Anforderungen, die laut EnEV für die Bauteile eines Neubaus gelten, nicht erfüllt.

3.5 Heizwärmebedarf des Gebäudes und Bedarfs-/Verbrauchsabgleich

Die energetische Bilanzierung von Gebäuden im Rahmen der Erstellung von Klimaschutz-Teilkonzepten erfolgt gemäß Merkblatt des BMU [2] prinzipiell vereinfacht nach DIN 4108-6 in Verbindung mit DIN 4701-10. Die Bilanzierung erfolgte für den Standort Berlin (Klimareferenzort Potsdam). In der folgenden Tabelle sind wesentliche Bilanzierungsparameter aufgeführt.

Ein Bedarfs-/Verbrauchsabgleich zur Validierung der Eingabewerte konnte nicht durchgeführt werden, da sich der abgerechnete Wärmeverbrauch neben dem untersuchten Ergänzungsneubau auf mindestens ein weiteres Gebäude bezieht, über das jedoch keine Informationen zur energetischen Qualität erhoben wurden.

Tabelle 1: Gebäudeparameter für die Bedarfsberechnung

Gebäudeparameter	Eingabegröße
Klimareferenzort	Potsdam
Raumtemperatur	19°C
Luftwechselrate	0,8/h (Fenster teilweise ohne Abdichtung)
Heizungsabschaltung	Nacht- und Wochenendsenkung
Interne Wärmegewinne	5 W/m ²
Wärmebrückenzuschlag	0,1 W/(m ² K)
Heizungsanlage	Atmosphärischer Erdgas-Spezialheizkessel
Warmwasserbedarf	Entfällt (nur vereinzelte dezentrale Warmwassererhitzer)

3.6 Energiebilanz und Bewertung des Bestandsgebäudes

Für den beschriebenen Ist-Zustand der Gebäudehülle und die technischen Anlagen des Schulgebäudes berechnet sich die nachfolgende Energiebilanz. Abbildung 6 zeigt anhand der Energiebilanz des Gebäudes anschaulich, welchen Anteil die einzelnen Bauteilgruppen am Gesamtwärmeverlust haben und welche Wärmegewinne und –zufuhr diesen gegenüber stehen. Abbildung 7 fasst diese Angaben zusammen und ergänzt sie um die für die Wärmeerzeugung auftretenden Primärenergieverluste.

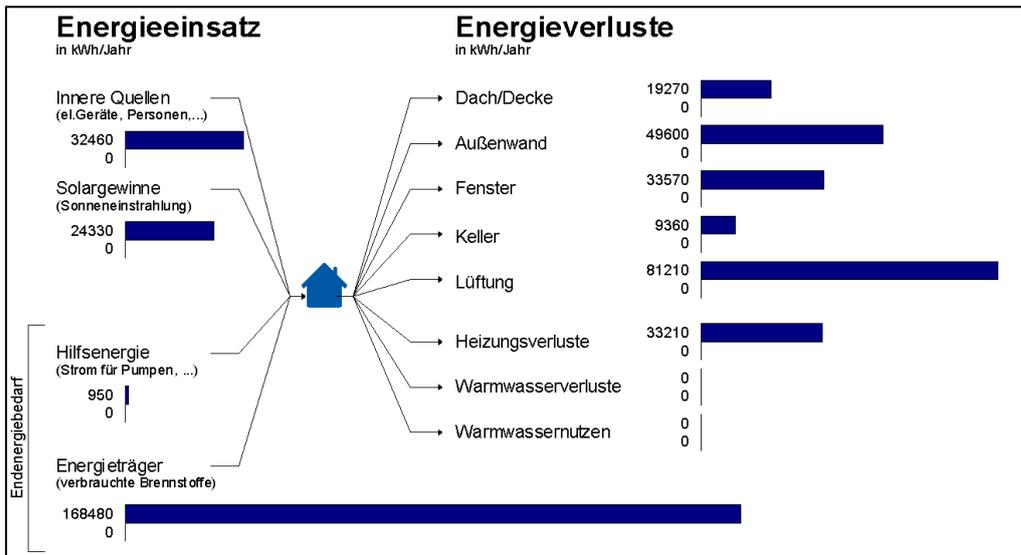


Abbildung 5: Energieeinsatz und -verluste für den Ist-Zustand des Schulgebäudes

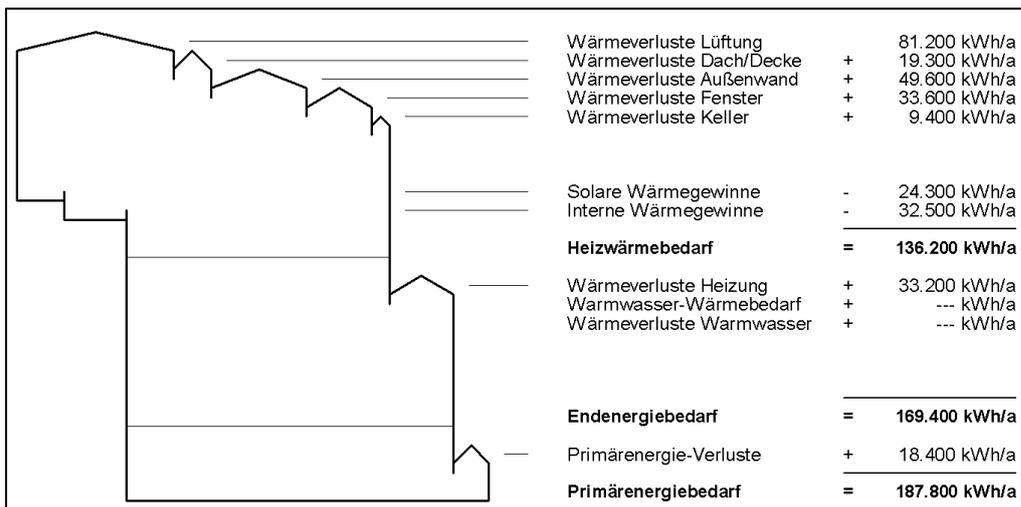


Abbildung 6: Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes

Die folgende Grafik stuft den energetischen Zustand der Gebäudehülle und der technischen Anlagen sowie den Umfang der Treibhausgasemissionen des Gebäudes anhand der Berechnungsergebnisse anschaulich und übersichtlich ein. Für die Anlagentechnik wird hierbei der Primärenergiebedarf

bewertet.⁴ Alle drei verglichenen Werte beziehen sich auf die rechnerische Energiebezugsfläche des Gebäudes.

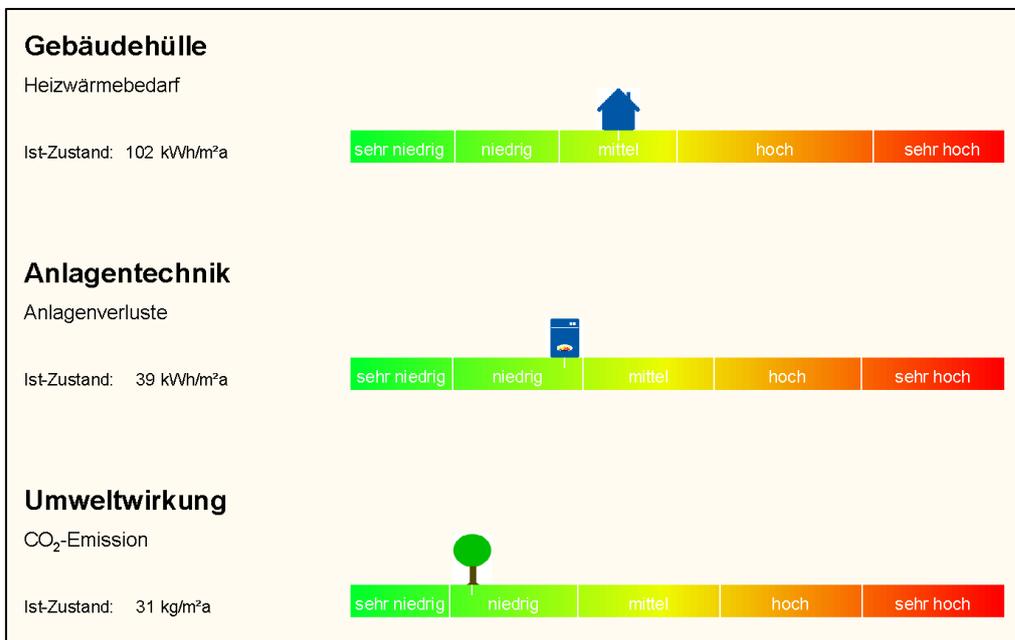


Abbildung 7: Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes C

In der Einstufung des Heizwärmebedarfs im mittleren Bereich verdeutlicht sich das vorhandene Energieeinsparpotential. Auch für die Anlage zeigt die Einstufung im mittleren Bereich Einsparmöglichkeiten. Trotz der relativ günstigen Einordnung des Gebäudes hinsichtlich seiner Treibhausgasemissionen besteht auch in diesem Punkt ein deutliches Einsparpotential.

⁴ Die Bewertungsskala ist in der verwendeten Software Hottgenroth Energieberater 18599 implementiert und wurde in Anlehnung an die Bewertungsskala für Energieausweise nach EnEV entwickelt. Da die energetische Bilanzierung entsprechend den Empfehlungen in den Anforderungen an die Erstellung von Klimaschutz-Teilkonzepten [2] nach DIN 4108-6 in Verbindung mit DIN 4701-10 erfolgte, die nach EnEV 2009/2014 nur noch zur Bilanzierung von Wohngebäuden herangezogen werden dürfen, bezieht sich die Farbenskala auf Wohngebäude. Die Einstufung ist gleichwohl aussagekräftig, da sich die Referenzausführungen für Wohn- und Nichtwohngebäude im Hinblick auf die wärmeschutztechnischen Eigenschaften der Gebäudehülle und der Heizungs- und Warmwassererzeugungsanlage nicht wesentlich unterscheiden.

Zu bemerken ist außerdem, dass bei einer Gebäudebilanzierung nach EnEV Standard-Randbedingungen verwendet werden, bei der energetischen Bilanzierung des untersuchten Gebäudes jedoch teilweise individuelle Randbedingungen angesetzt wurden, um den Gebäudezustand so genau wie möglich abzubilden. Daher zeichnet die Einstufung des Gebäudes anhand der von der Software implementierten Skalen insgesamt ein überschlätiges Bild.

4. Energiesparmaßnahmen und Sanierungsoptionen

4.1 Grundlegendes

Gemäß dem Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutz-Teilkonzepten [2] soll bei der Darstellung der Sanierungsmaßnahmen die Zielsetzung eines Gebäudebestands im Niedrigstenergiehaus-Standard bis zum Jahr 2050 gemäß EU-Richtlinie zur Gesamteffizienz von Gebäuden berücksichtigt werden. Niedrigstenergiehäuser haben laut [2] einen Energiebedarf in der Größenordnung von Passiv- oder Nullenergiehäusern, der zu großen Teilen durch erneuerbare Energien der näheren Umgebung gedeckt wird.

Um dieser Zielsetzung Rechnung zu tragen, werden den Sanierungsmaßnahmen für Bauteile und haustechnische Anlagen nicht die bis 2018 gültigen Anforderungen der EnEV 2014 [9] zugrunde gelegt, sondern die technischen Mindestanforderungen der KfW in den Programmen 218 und 219 zur energetischen Stadtsanierung [11] an die Durchführung von Einzelmaßnahmen. Letztere fordern Bauteil-U-Werte, die bis zu 40% unter den Anforderungen der EnEV liegen und damit den Niedrigstenergiestandard besser repräsentieren. Aufgrund der mit einer Sanierung auf diesen Standard einhergehenden hohen Investitionskosten werden ggf. auch alternative Maßnahmen untersucht, die zu Energieeinsparungen bei niedrigerem Kosteneinsatz führen.

Für die Anlagentechnik wird entsprechend der Zielsetzung des Merkblatts [2] untersucht, inwieweit erneuerbare Energien bereits verwendet werden oder durch entsprechende Sanierungsmaßnahmen integrierbar sind. Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung wird dabei im Sinne des Erneuerbare Energien Wärmegesetzes [10] als Ersatzmaßnahme für erneuerbare Energien angesehen.

4.2 Sanierung der Gebäudehülle

4.2.1 Bodenplatte

Über die Bodenplatte geht aufgrund ihres Angrenzens an das Erdreich nur ein geringer Wärmeanteil verloren.

→ **Sanierung derzeit nicht empfohlen**

4.2.2 Außenwände

Die Außenwände sind entsprechend ihrer großen Fläche für einen sehr großen Teil der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle verantwortlich. Mit einer 14 cm dicken Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 wird die über die gesetzliche Anforderung der EnEV hinausgehende erhöhte Anforderung der KfW und ein U-Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht.⁵

→ **Sanierung empfohlen**

4.2.3 Fenster

Es wird der Austausch aller alten Isolierglasfenster mit durch Fenster mit Wärmeschutzverglasung empfohlen, da ihre wärmeschutztechnischen Eigenschaften nicht den heutigen Anforderungen genügen und sie sich zum Teil in einem schlechten baulichen Zustand befinden. Zudem entstehen erhöhte Lüftungswärmeverluste, da sie nicht mit Lippendichtungen versehen sind. Das Einsparpotential ist

⁵ Ggf. muss die Dämmstoffdicke zur Berücksichtigung von Wärmebrücken infolge Dübeln geringfügig vergrößert werden.

beträchtlich. Zur Einhaltung der KfW-Anforderungen wäre der Einbau einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert kleiner oder gleich $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erforderlich. Für die Einhaltung der EnEV 2014 ist eine 2-fach-Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert kleiner oder gleich $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausreichend.

→ **Sanierung empfohlen**

4.2.4 Außentüren

Aufgrund ihrer anteilig sehr geringen Fläche geht über die Außentüren nur ein geringer Wärmeanteil verloren. Da die U-Werte der vorhandenen Türen jedoch relativ hoch sind, wird ihr Ersatz im Rahmen der übrigen Sanierungsmaßnahmen empfohlen. Zur Einhaltung der KfW-Anforderungen ist ein U-Wert von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erforderlich.

→ **Sanierung empfohlen**

4.2.5 Dachflächen

Aufgrund der vorhandenen bauzeitlichen Dämmung geht über das Dach ein relativ geringer Wärmeanteil verloren. Dieser kann durch zusätzliche Dämmung auf den von der KfW geforderten U-Wert von $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ weiter reduziert werden. Hierfür wäre zusätzlich eine 20 cm dicke Wärmedämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 erforderlich.

→ **Sanierung empfohlen**

4.3 Sanierung der technischen Anlagen

4.3.1 Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage

Eine Sanierung der Heizungsanlage in energetischer Hinsicht ist mit Ausnahme der Wärmeübergabeeinrichtungen und Heizungspumpe erforderlich. Der Heizungskessel hat seine mittlere Lebensdauer nach VDI 2067 [8] erreicht. Damit stehen in naher Zukunft ohnehin umfangreiche Erneuerungsinvestitionen an. Im Zuge der Erneuerung ist der Kessel bei Beibehaltung des Energieträgers durch einen Brennwertkessel zu ersetzen. Bei der Planung dieser Erneuerungen sind die Anforderungen der dann gültigen Energieeinsparverordnung zu beachten. Es sollten auch die technischen Mindestanforderungen der KfW berücksichtigt werden, um der übergeordneten Zielsetzung des Niedrigstenergieverbrauchs Rechnung zu tragen. Vor der Durchführung der anlagentechnischen Sanierungsmaßnahmen sollten die Gebäudehüllen energetisch saniert werden, um den Energiebedarf des Gebäudes zu senken und eine neue Heizungsanlage mit entsprechend reduzierter Leistung einbauen zu können.

Außerdem sollten die bisher nicht gedämmten Abschnitte der Wärmeleitungen und Armaturen noch nachträglich gedämmt werden.

→ **Sanierung empfohlen**

4.3.2 Beleuchtung

Es wird empfohlen, die vorhandene Beleuchtungsanlage im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen schrittweise weiter zu modernisieren und die Leuchten gegen moderne Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) oder Beleuchtungskörper mit LED-Technik auszutauschen. Eine Lichtregelung in Abhängigkeit der Tageslichtversorgung und Präsenzmelder würde für weitere Energieeinsparung sorgen. In den Fluren und den Sanitär- und Umkleieräumen wird empfohlen, eine präsenzabhängige Steuerung zu installieren.

→ **Sanierung im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen empfohlen**

4.3.3 Energieträger

Bei dem verwendeten Energieträger zur Heizwärmeerzeugung handelt es sich mit Erdgas um einen fossilen Energieträger, der hinsichtlich seiner Primärenergieeffizienz und seiner Treibhausgaswirkung ungünstiger zu bewerten ist als Fern- oder Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung und Energieträger aus erneuerbaren Quellen. Ein Wechsel des Energieträgers und der Einbezug erneuerbarer Energien ist daher empfehlenswert.

Günstig wäre der Anschluss des Gebäudes an die im Süd-Osten-Berlins gut ausgebauten Fernwärmenetze, da die darin verteilte Fernwärme mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird. Fernwärme aus KWK ist gemäß EEWärmeG [10] als Ersatzmaßnahme für den Einsatz erneuerbarer Energien anerkannt. Inwieweit und zu welchen Kosten ein Anschluss des Gebäudes an das Fernwärmenetz möglich ist, müsste in einem weiteren Schritt mit dem Versorger geklärt werden.

Die Dachfläche des Gebäudes könnte für die Aufstellung von PV-Anlagen genutzt werden. Aufgrund der umgebenden Bäume und der vorhandenen Dachversprünge ist von einer Teilverschattung der Dachfläche auszugehen. Der Ertragsberechnung muss daher eine gründliche Verschattungsanalyse vorausgehen.

4.4 Schätzung der Investitionskosten

In Tabelle 2 sind alle empfehlenswerten Sanierungsmaßnahmen für die Gebäudehülle und Anlagentechnik einschließlich einer Schätzung der anfallenden Investitionskosten zusammengestellt. Die Kosten wurden soweit wie möglich mit den in der aktuellen BBSR-Online-Publikation zu den Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/Bundesliegenschaften ermittelt [4]. In dieser Publikation nicht enthaltene Kostenansätze wurden mit Hilfe von online verfügbaren Baupreisdokumentationen abgeschätzt. Alle Kostenansätze müssen anhand konkreter Angebote überprüft werden. In den Kostenansätzen sind keine Anteile für Planungsleistungen enthalten.

Die Kostenansätze enthalten nur die energetisch bedingten Mehrkosten. Kosten für Maßnahmen, die ohnehin aus baulichen, hygienischen oder komfortverbessernden Gründen erforderlich sind, werden nicht mit einbezogen (sogenannte Ohnehin- bzw. Sowieso-Kosten).

In der anschließenden Tabelle 3 werden die aktuell empfehlenswerten investiven Einzelmaßnahmen zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefügt. Diese Sanierungsvarianten werden in Kapitel 4.6 wirtschaftlich und im Hinblick auf ihr Energieeinsparpotential bewertet. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass in den Kapiteln 4.2 und 4.3 weitere Sanierungsmaßnahmen beschrieben sind, die entweder aus unterschiedlichen Gründen ohnehin erforderlich sind bzw. erst im Zusammenhang mit Erneuerungsinvestitionen ausgeführt werden sollten.

Tabelle 2: Sanierungsmaßnahmen Gebäude

Sanierungsmaßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Schätzung der energetisch bedingten Investitionskosten (netto)	
Dämmung der Außenwände (WDVS)	Aufbringen eines WDVS mit 14 cm Dämmung der WLG 035 inkl. der erforderlichen Nebenarbeiten:	Einzelpreis:	102 €/m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontrolle und Vorbereitung des Untergrunds 	Fläche:	904 m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Montage des Dämmmaterials mit allem Systemzubehör ▪ alle Anschlussarbeiten an Fenster-/Türöffnungen, Vorsprünge, Gebäudekanten ▪ Wandbekleidung oder Oberputz ▪ De-/Remontage von Regenfallrohren, Blitzableitern, etc. 	Gesamtpreis:	91.893 €
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ im Zusammenhang mit der Dämmmaßnahme notwendige Bauleistungen wie die Vergrößerung von Dachüberständen oder die Verbreiterung von Fensterbänken 		
	Gerüstkosten werden nicht veranschlagt, da die Fassade ohnehin zu überarbeiten ist		
	U-Wert des sanierten Bauteils: U = 0,2 W/(m²K)		
Austausch alter Fenster	Demontage und Entsorgung der alten Fenster, Einbau neuer Fenster		
	Sowieso anfallende Kosten für Holzfenstersanierung (Abschleifen, Anstrich, Ausbesserung, Dichtung, Wartung Beschläge), falls kein Fensteraustausch erfolgt	Einzelpreis:	60 €/Stk
	Einbau neuer 3-Scheiben-Wärmeschutz-verglasungen mit Holzrahmen, U ≤ 0,95 W/(m²K)	Einzelpreis** abzgl. Sowieso-K.:	1.336 €/Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demontage und Entsorgung der alten Fenster ▪ Herstellung, Lieferung und Montage der neuen Fenster einschl. Montage-, Dicht- und Dämmmaterial 	Anzahl:* Gesamtpreis:	48 Stk 63.865 €
	* Hierbei handelt es sich um eine rechnerische Größe, die sich aus der Gesamtfensterfläche geteilt durch die Fläche des der Kalkulation zugrunde gelegten häufigsten Fenstertyps ergibt.		
	** Der Einzelpreis berechnet sich aus der Kostenfunktion für 3-fach-Verglasung mit einem mittleren U-Wert von 1,1 W/(m ² K). Da dieser etwas größer ist als der Zielwert für die 3-fach-Verglasung kann sich ggf. ein etwas höherer Einzelpreis ergeben.		
Austausch der Außentüren im OG	Demontage und Entsorgung der alten Außentürelemente, Einbau neuer Türelemente - nur der Fluchttreppen.	Einzelpreis:	3.500 €/Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demontage und Entsorgung der alten Türelemente 	Anzahl:	2 Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung, Lieferung und Montage der neuen Türelemente einschl. Montage-, Dicht- und Dämmmaterial 	Gesamtpreis:	7.000 €
	U-Wert des sanierten Bauteils: U = 1,3 W/(m²K)		

Dämmung des Daches	Dachdämmung und Erneuerung der Dachhaut	Einzelpreis:	98 €/m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlegen der Dämmschicht ▪ Erstellen der neuen Dachhaut einschließlich aller Anschlüsse/Durchführungen ▪ ggf. Anpassung der Dachkonstruktion zur Aufnahme des Dämmmaterials ▪ De- und (Wieder-) Montage von dachmontierten Elementen ▪ Nicht veranschlagt werden Gerüstkosten und der Abbruch und die Wiedererrichtung des tradenden Dachaufbaus. 	Fläche	376 m ²
		Gesamtpreis:	36.838 €
U-Wert des sanierten Bauteils: U = 0,14 W/(m²K)			
Erneuerung der Heizungsanlage	Erneuerung des Brennwertkessels, Erneuerung der Pumpen sowie Durchführung weiterer Anpassungsmaßnahmen einschließlich eines hydraulischen Abgleichs	Gesamtpreis:	Sowiesokosten

Tabelle 3: Überblick über mögliche Sanierungsvarianten

	Sanierungsmaßnahmen	Schätzung der energetisch bedingten Investitionskosten (netto)	
Variante 1	Austausch alter Fenster	Fenster:	63.865
	Austausch der Außentüren im OG	Türen	7.000 €
	Modernisierung der technischen Anlagen im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen (außer Erneuerung Heizungsanlage), hydraul. Abgleich	Anlagen:	-
			70.865 €
Variante 2	wie Variante 1, zusätzlich	Variante 1:	70.865 €
	Dämmung des Daches	Dach:	36.838 €
			107.704 €
Variante 3	wie Variante 2, zusätzlich	Variante 2:	107.704 €
	Dämmung der Außenwände (WDVS)	WDVS:	91.893 €
			199.597 €
Variante 4	wie Variante 3, zusätzlich	Variante 3	199.597 €
	Erneuerung der Heizungsanlage	Sowiesokosten:	0 €
			199.597 €

4.5 Nicht und minimal investive Energiesparmaßnahmen

Neben technischen Maßnahmen, die häufig mit erheblichen Investitionskosten einhergehen, können nutzerbezogene Maßnahmen in Nichtwohngebäuden zu einer deutlichen Energieeinsparung führen. Zur Reduzierung des Heizenergieverbrauchs führen insbesondere korrektes Lüften (mehrmaliges kurzes Stoßlüften statt dauerhafter Kippstellung der Fenster, Abdrehen der Heizkörper beim Stoßlüften) und das geringfügige Absenken der Raumtemperatur um ein Grad. Eine Reduktion der Warmwasserbereitungsenergie erfolgt wirkungsvoll durch das Ergänzen von Durchflussbegrenzer bzw. den Einbau von wassersparenden Armaturen. Zur Reduzierung des Stromverbrauchs empfiehlt sich ein sogenanntes power management für die Computer (z.B. automatische Aktivierung standby/Ruhezustand, Verzicht auf Bildschirmschoner), die Einführung von abschaltbaren Steckerleisten zur Trennung aller Geräte über Nacht und am Wochenende sowie die Sensibilisierung der Nutzer zur Abschaltung des Lichts beim Verlassen des Raums und einem ausreichenden Tageslichtangebot. Unterstützend muss hierbei die Beschaffung agieren und energiesparende Produkte beim Einkauf von Bürogeräten bevorzugen. Entsprechende Bewertungssysteme wie Energy Star und Blauer Engel sind hierbei behilflich.

Um das in einer Änderung des Nutzerverhaltens liegende Energieeinsparpotential auszuschöpfen, bedarf es einer gezielten Aktivierung der Nutzer durch Informationsveranstaltungen und -pakete. Zu diesem Thema findet sich eine Vielzahl von informativen Seiten im Internet. An Schulen ist es zudem hilfreich, Energiesparen als pädagogisches Projekt zu verankern. Hierdurch kann ein energiebewusstes Verhalten der Schüler und Lehrer unterstützt werden.

Da in der untersuchten Schule eine reine Fensterlüftung praktiziert wird, sollten Schüler und Lehrer neben dem Hinweis, dass die Thermostatventile während des Lüftens abgedreht werden müssen, auch über die beste Art und den notwendigen Umfang des Fensterlüftens informiert werden, da bekannt ist, dass das reale Lüftungsverhalten in Klassenräumen häufig nicht ausreicht. Um die CO₂-Konzentrationen in den Klassenräumen wirksam zu begrenzen, ist es laut [16] erforderlich, neben einem konsequenten Stoßlüften in den Pausen sowie vor und nach dem Unterricht auch während des Unterrichts nach ca. 20 Minuten und in der Mitte der Unterrichtsstunde alle Fenster und wenn möglich auch die Tür kurz zu öffnen. Auch das Querlüften des gesamten Gebäudes in den Pausen wird empfohlen. Unterstützend sollten raumweise sogenannte CO₂-Ampeln eingesetzt werden, die anhand der gemessenen CO₂-Konzentration ein farbles Signal geben, ob gelüftet werden muss. Diese Ampeln gibt es auch mit Messvorrichtungen für VOC (flüchtige organische Bestandteile).

4.6 Bewertung der möglichen Sanierungsvarianten

Im Folgenden werden die vorgeschlagenen Sanierungsvarianten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und der Größe der mit ihnen einhergehenden Energie- und Treibhausgaseinsparungen untersucht. Aus den Energiekosten vor und nach der Sanierung wird unter Berücksichtigung einer Preissteigerungsrate u.a. die mittlere jährliche Energiekosteneinsparung über den betrachteten Zeitraum berechnet. Darüber hinaus werden die Amortisationsdauern der Maßnahmen sowie die eingesparten Treibhausgasemissionen ermittelt. Durch Bezug der jeweiligen gesamten Energiekosteneinsparung über den Untersuchungszeitraum auf die Investitionskosten und den Bezug der Investitionskosten auf die jährlich eingesparte Energiemenge werden zwei weitere Kenngrößen zur Bewertung der Maßnahmenpakete zur Verfügung gestellt.

Den Untersuchungen wurde ein Zeitraum von 40 Jahren zugrunde gelegt, da dies nach [3] der durchschnittlichen Lebensdauer eines Wärmedämmverbundsystems sowie eines Fensters mit Rahmen aus Nadelholz entspricht. Die Lebensdauern der Komponenten der technischen Anlagen werden hier nicht berücksichtigt, da ihr Austausch eine jeweils sowieso erforderliche Maßnahme darstellt. Nach 40 Jahren wäre aus Verschleiß- und Abnutzungsgründen demnach die erste Ersatzinvestition erforderlich.

Erneuerungs- und Wartungskosten im Untersuchungszeitraum werden rechnerisch nicht berücksichtigt, da diese Kosten auch ohne die energetische Sanierung für die vorhandenen Bauteile anfallen würden.

Zu erwartende Preissteigerungen bei Erdgas und Strom werden mit einer durchschnittlichen jährlichen Preissteigerungsrate von 4% in den nächsten 40 Jahren angenommen. Diese Preissteigerungsrate wurde auf Grundlage der Preiserhöhungen der Energiepreise privater Haushalte in den letzten 10 Jahren ermittelt und unterschätzt die tatsächlich aufgetretenen Preissteigerungsraten etwas. In Abhängigkeit vom gewählten Untersuchungszeitraum kann die Steigerungsrate deutlich höher liegen. Eine dauerhaft niedrigere Preissteigerungsrate ist aufgrund der vorhandenen Rohstoffknappheit nicht zu erwarten. Höhere Preissteigerungsraten als berücksichtigt sind hingegen möglich und würden zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit der Sanierungsvarianten führen.

Die Berechnungen werden ohne Kalkulationszinssatz geführt, um zu berücksichtigen, dass dem Bezirksamt bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen i.d.R. selbst keine Kapitalkosten entstehen.⁶ Darüber hinaus befinden sich die Kreditzinsen insbesondere für die öffentliche Hand seit längerem auf einem so niedrigen Niveau, dass die zusätzlichen Kosten bei Kreditfinanzierung der Maßnahmen geringfügig und in der Gesamtbetrachtung vernachlässigbar sind.⁷

Die der Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde gelegten Energiekosten berechnen sich aus dem jeweiligen rechnerischen Energiebedarf (und nicht dem tatsächlichen Verbrauch) sowie dem Preisansatz pro Kilowattstunde aus den aktuellen Verbrauchsabrechnungen des untersuchten Objekts.⁸

Da kein Bedarfs-/Verbrauchsabgleich für das Schulgebäude möglich war, ist nicht auszuschließen, dass die nach Realisierung der Sanierungsmaßnahmen tatsächlich auftretenden Einsparungen über die zu erwartenden Abweichungen infolge von Preisunterschieden sowie nutzungs- und witterungsbedingten Differenzen hinaus größer oder kleiner als berechnet ausfallen.

Die folgende Tabelle fasst wesentliche Eingangsparameter der Wirtschaftlichkeitsberechnungen noch einmal zusammen. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Berechnungen zusammengestellt. Abbildung 8 dokumentiert die mit der jeweiligen Sanierungsvariante erzielbaren Einsparungen anschaulich.

Tabelle 4: Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Betrachtungszeitraum (lebensdauerbasiert):	40 Jahre	Teuerungsrate Energiepreise:	4%
rechnerische Energiekosten (Ist-Zustand) brutto:	10.398 €	Kalkulationszinssatz:	0%

⁶ In der verwendeten Berechnungssoftware ist für den Kalkulationszinssatz stets ein Wert > 0 einzugeben, so dass rechnerisch der kleinstmögliche Zinssatz von 0,01% verwendet wird.

⁷ Der aktuelle effektive Jahreszins für das Programm 218 der KfW beträgt 0,1%.

⁸ Fernwärme: 12,7 ct/kWh, Strom: 21,8 ct/kWh (als Mittelwert über mehrere Objekte), jeweils brutto. Der Grundpreis wurde hierbei vereinfacht mit auf die verbrauchten Kilowattstunden umgelegt.

Tabelle 5: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für Maßnahmenvarianten (alle Kostenangaben inklusive Mehrwertsteuer)

Variante	Investitionskosten energetische Sanierung [€]	Energiekosten nach Sanierung [€]	im Nutzungszeitraum				Investitionskosten je jährlich eingesparte MWh Energie [€/MWh/a]	Amortisations- dauer [Jahre]	
			Energiekosten- einsparung [€]	Gesamtkosten- einsparung [€]	Annuität (jährl. Einsparung) [€/Jahr]	Eingesparte Treibhausgase [t]			Energiekosten- einsparung je 1.000 € Investitions- kosten [€]
1	84.330	8.840	153.920	69.590	3.848	251	1.825	3.300	29
2	128.167	7.915	245.240	117.073	6.131	399	1.913	3.148	28
3	237.520	6.101	424.480	186.960	10.612	691	1.787	3.372	30
4	237.520	5.025	530.680	293.160	13.267	869	2.234	2.651	26

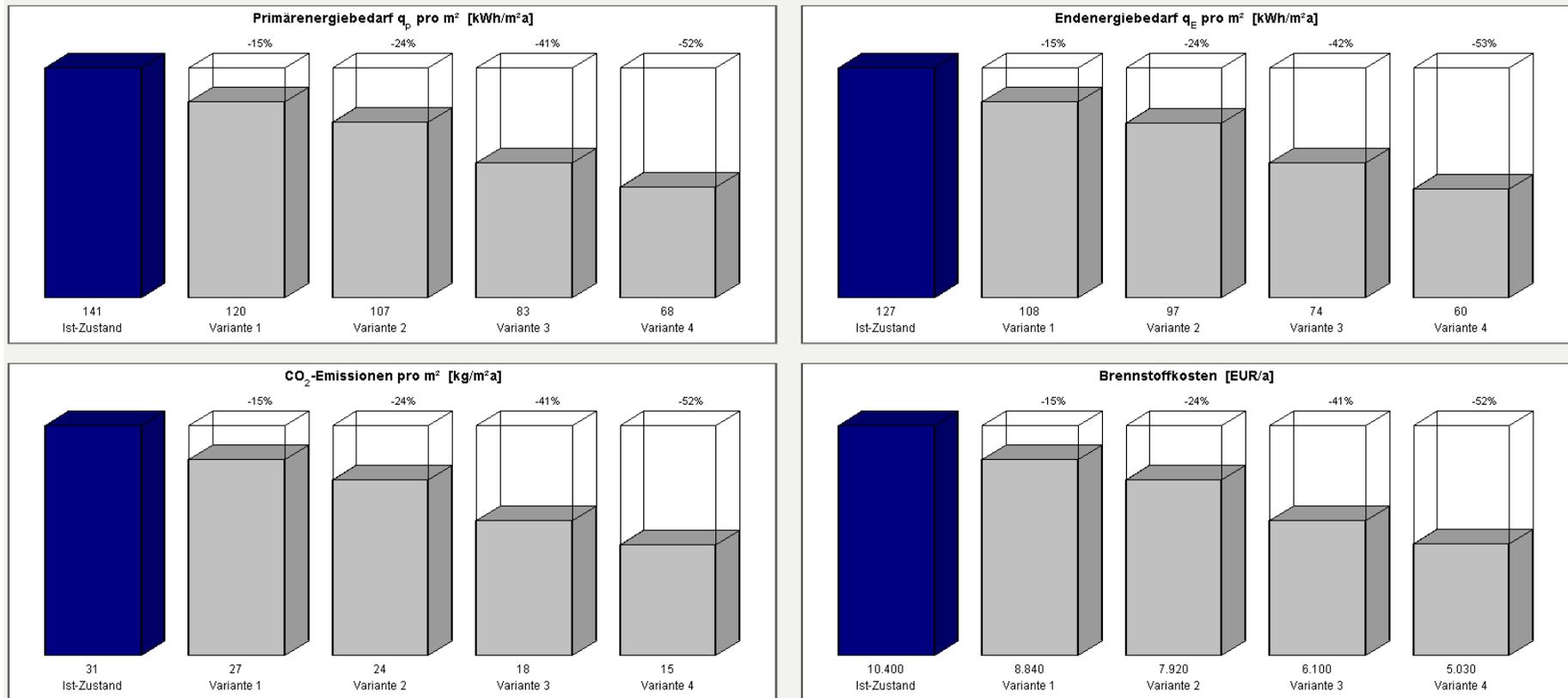


Abbildung 8: Variantenvergleich hinsichtlich der jährlich erzielbaren Energie-, CO₂- und Brennstoffkostenreduktionen

4.7 Sanierungsempfehlungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, dass sich die Maßnahmenvarianten 1 bis 3 etwa zu dem Zeitpunkt amortisiert haben, zu dem die sanierten Bauteile etwa zwei Drittel ihrer Lebensdauer erreicht haben. Aufgrund der Amortisation der Maßnahmen innerhalb der Nutzungsdauer der Sanierungselemente weisen alle Varianten eine positive Annuität und einen positiven internen Zinssatz aus. Da in Kürze Erneuerungen an der Heizungsanlage anstehen, werden die zusätzlichen Einsparungen durch eine neue Anlage in Variante 4 betrachtet. Die Erneuerungskosten werden als Sowiesokosten angesetzt.

Die eingesparten Energie- und Treibhausgasmengen sind aufgrund des Umfangs und der Qualität der einbezogenen Maßnahmen bei Variante 3 am größten. Dementsprechend weist diese Variante auch die größte jährliche Einsparung auf. Wegen der anstehenden Sanierungen an der Heizungsanlage und der Förderzielsetzungen nach [2] wird empfohlen, Variante 4 aufgrund der hiermit verbundenen größten Energie- und Treibhausgaseinsparungen auszuführen.

Bei Durchführung von Erneuerungsinvestitionen für haustechnische Anlagenkomponenten einschließlich Beleuchtung sind die Hinweise in Kapitel 4.3 zu beachten.

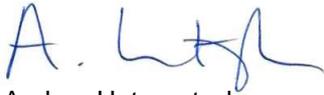
Nach der Durchführung der Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle sollte ein neuer hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage vorgenommen werden, um weiterhin eine gleichmäßige Wärmeversorgung der Heizkörper zu gewährleisten. Da ein hydraulischer Abgleich nur vergleichsweise geringe Kosten verursacht, wurde er bei der Investitionskostenberechnung vereinfacht vernachlässigt.

Die den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu Grunde gelegten Investitionskosten enthalten nur die auf die energetische Sanierung entfallenden Mehrkosten, nicht jedoch die infolge sowieso erforderlicher baulicher Maßnahmen entstehenden Kosten. Diese Kostenansätze müssen anhand konkreter Angebote überprüft werden. Sie enthalten keine Planungsleistungen.

Bei der konkreten Planung der Sanierungsmaßnahmen sind die Anforderungen der dann gültigen gesetzlichen Vorschriften wie Energieeinsparverordnung und Erneuerbare Energien Wärmegesetz zu beachten.

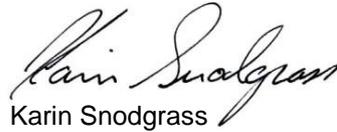
Die vorliegende Untersuchung ersetzt keine Ausführungsplanung für die zu sanierenden Bauteile.

CSD INGENIEURE GmbH



Andrea Untergutsch

Dipl.-Ing. Bauingenieurwesen



Karin Snodgrass

Dipl.-Ing., Architektin

Berlin, den 20. Oktober 2014