

BEZIRKSAMT TREPTOW-KÖPENICK VON BERLIN

KLIMASCHUTZ-TEILKONZEPT FÜR 42 LIEGENSCHAFTEN

WENDENSCHLOSS-SCHULE, KÖPENZEILE 123

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 UND VORGEHENSWEISE	6
2.	BASISDATEN DES SCHULGEBÄUDES DER WENDENSCHLOSS-SCHULE	7
2.1	Objektbeschreibung	7
2.2	Energieverbrauch und Energiekennzahlen des Gebäudes	8
2.2.1	Wärme	8
2.2.2	Strom	9
2.2.3	Energiekennzahlen des Gebäudes	10
3.	BEWERTUNG DES IST-ZUSTANDES DES GEBÄUDES	12
3.1	Fotodokumentation	12
3.2	Vorbemerkungen und Hinweise	14
3.3	Gebäudehülle	14
3.3.1	Vorbemerkung	14
3.3.2	Bodenplatte	14
3.3.3	Decke über unbeheizten Kellerräumen	14
3.3.4	Außenwände	14
3.3.5	Innenwände gegen unbeheizte Räume	15
3.3.6	Fenster	15
3.3.7	Außentüren	15
3.3.8	Dach	15
3.3.9	Gesamteinschätzung der Gebäudehülle	16
3.4	Technische Anlagen	16
3.4.1	Bestandsaufnahme	16
3.4.2	Beurteilung der technischen Anlagen	17
3.5	Heizwärmebedarf des Gebäudes und Bedarfs-/Verbrauchsabgleich	18
3.6	Energiebilanz und Bewertung des Bestandsgebäudes	19
4.	ENERGIESPARMAßNAHMEN UND SANIERUNGSOPTIONEN	21
4.1	Grundlegendes	21
4.2	Sanierung der Gebäudehülle	21
4.2.1	Bodenplatte	21
4.2.2	Decke über unbeheizten Kellerräumen	22
4.2.3	Innenwände gegen unbeheizte Räume (Keller, unbeheizter Eingangsbereich)	22
4.2.4	Außenwände	22
4.2.5	Fenster und Sonnenschutz	23
4.2.6	Dach	23
4.3	Sanierung der technischen Anlagen	23
4.3.1	Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage	23
4.4	Schätzung der Investitionskosten	24
4.5	Nicht und minimal investive Energiesparmaßnahmen	26
4.6	Bewertung der möglichen Sanierungsvarianten	27
4.7	Sanierungsempfehlungen	31

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Kennwertevergleich für den witterungsbereinigten Fernwärmeverbrauch und den Stromverbrauch der Wendenschloss-Schule	10
Tabelle 2: Gebäudeparameter für die Bedarfsberechnung	18
Tabelle 3: Ergebnis des Bedarfs-Verbrauchs-Abgleichs	18
Tabelle 4: Sanierungsmaßnahmen Gebäudehülle	25
Tabelle 5: Überblick über mögliche Sanierungsvarianten	26
Tabelle 6: Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	28
Tabelle 7: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für Maßnahmenvarianten (Kosten inkl. Mehrwertsteuer)	29

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Fernwärmeverbrauch der Wendenschloss-Schule in den Jahren 2011 bis 2013	8
Abbildung 2: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO ₂) infolge Fernwärmeverbrauch	8
Abbildung 3: Stromverbrauch des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule in den Jahren 2011 bis 2013	9
Abbildung 4: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO ₂ -Äquivalent) infolge Stromverbrauch	9
Abbildung 5: Kennwertevergleich	10
Abbildung 6: Energieeinsatz und –verluste für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule	19
Abbildung 7: Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule	19
Abbildung 8: Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule	20
Abbildung 9: Variantenvergleich hinsichtlich der jährlich erzielbaren Energie-, CO ₂ - und Brennstoffkostenreduktionen	30

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 raumlufttechnischer 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, Modernisierungsleitfaden, 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 Neubausstandard, 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 und Vorgehensweise

Das Bezirksamt Treptow-Köpenick von Berlin möchte seinen Gebäudebestand energetisch modernisieren, um dessen Energieverbrauch, die damit verbundenen Energiekosten und die infolge des Energieverbrauchs emittierten Treibhausgasemissionen 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/Platzwirts 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 Treibhausgaseinsparungen ermittelt, die Wirtschaftlichkeit der Varianten bewertet und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet.

2. Basisdaten des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule

2.1 Objektbeschreibung

Bezeichnung des Objekts: Schulgebäude der Wendenschloss-Schule

Foto des Objekts:



Standort: Köpenzeile 123, 12557 Berlin

Nutzung: Grundschule

Gebäudeart: Freistehendes Nichtwohngebäude
Untergeschoss, Erdgeschoss und 3 Obergeschosse, annähernd vollständig beheizt

Bruttogrundfläche: 3878 m²

Baujahr: 1973

Sanierung Gebäudehülle: 1996 bis 1997 Austausch fast aller Fenster
voraussichtlich Ende der 90er Jahre Dämmung des Daches
ca. 2003 Dämmung / Verkleidung der West- und Ost-Fassade
ca. 2009-2014 Erneuerung der Beleuchtungsanlage
ca. 2014 Aufbereitung der Holzfenster auf der Nord-Seite

Sanierung haustechnische Anlage.: 2006 Austausch Umwälzpumpe
2012 Austausch Plattenwärmetauscher
voraussichtlich auch 2012 nachträgliche Dämmung der Rohrleitungen

Heizenergieerzeugung: Fernwärmeübergabestation

Warmwasserbereitung: Zentral durch Speicherladesystem mit Zirkulation mit Fernwärme und dezentral

Lüftung: Freie Lüftung

Angaben zum Leerstand: Leer stehend während 3 Wochen der Sommerferien und am Wochenende

Bestandsunterlagen: Aktuelle Grundrisse

Datum Objektbegehung: 26.03.2014

2.2 Energieverbrauch und Energiekennzahlen des Gebäudes

2.2.1 Wärme

Die Wendenschloss-Schule wird mit Fernwärme aus dem Netz der Vattenfall Europe Wärme AG¹ versorgt. Bis auf den Heizungskeller und vereinzelte Lagerräume wird das gesamte Gebäude beheizt. Auf dem Areal der Grundschule befindet sich noch eine Turnhalle. Die Wärmeverbräuche für Heizung und Warmwasserbereitung wurden für die beiden Gebäude gemeinsam erfasst, so dass keine gebäudebezogenen Aussagen treffbar sind.

Eine flächenanteilige Aufteilung der Wärmeverbrauchszahlen auf die zwei Gebäude wird nicht vorgenommen, da sich die Gebäude hierfür zu stark in ihrer Nutzung unterscheiden und die Zahlen so nicht aussagekräftig wären. Für eine detaillierte gebäudebezogene Analyse der Verbrauchsdaten wäre eine gebäudebezogene Erfassung der Wärmeverbräuche erforderlich. Im folgenden Diagramm ist daher der Wärmeverbrauch für beide Gebäude gemeinsam für die Jahre 2011-2013 angegeben.

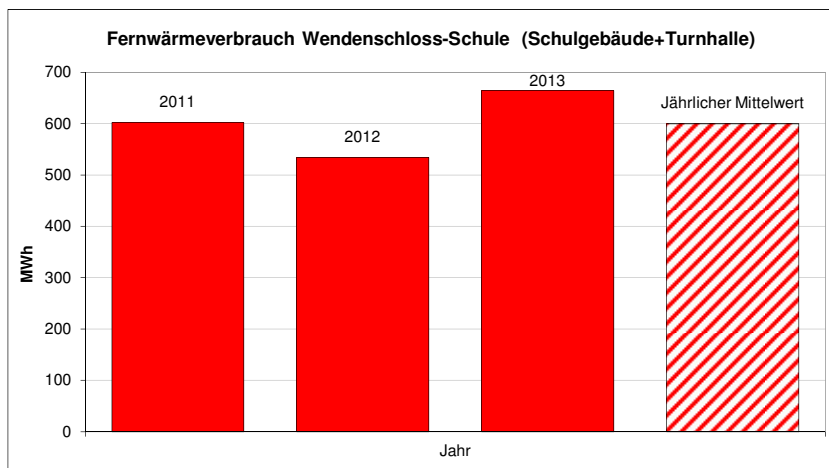


Abbildung 1: Fernwärmeverbrauch der Wendenschloss-Schule in den Jahren 2011 bis 2013

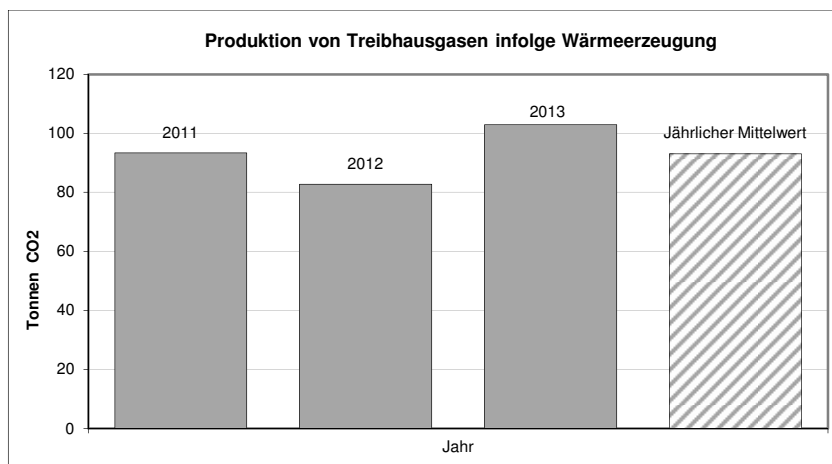


Abbildung 2: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂) infolge Fernwärmeverbrauch²

¹ Die Abrechnung des Fernwärmeverbrauchs erfolgt durch die Rhein Energie AG. Gemäß Angabe der Rhein Energie AG wird die Fernwärme aus dem Netz der Vattenfall Europe Wärme AG eingespeist.

² Laut Vattenfall Europe Wärme AG entstehen infolge 1 MWh Fernwärmeverbrauch in Berlin 155 kg des Treibhausgases CO₂.

2.2.2 Strom

Für die Jahre 2011-2013 wurden die nachstehend dargestellten Stromverbräuche abgerechnet. Hierbei handelt es sich allein um die Stromverbräuche des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule. Abbildung 4 zeigt die infolge der Stromherstellung produzierten Treibhausgasemissionen.

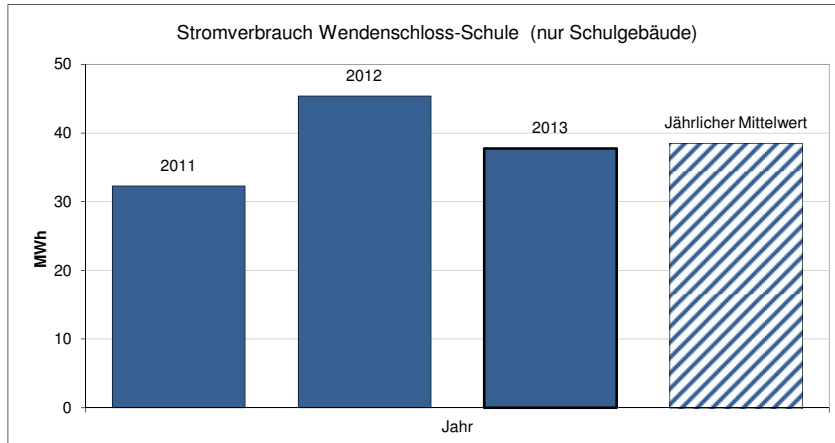


Abbildung 3: Stromverbrauch des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule in den Jahren 2011 bis 2013

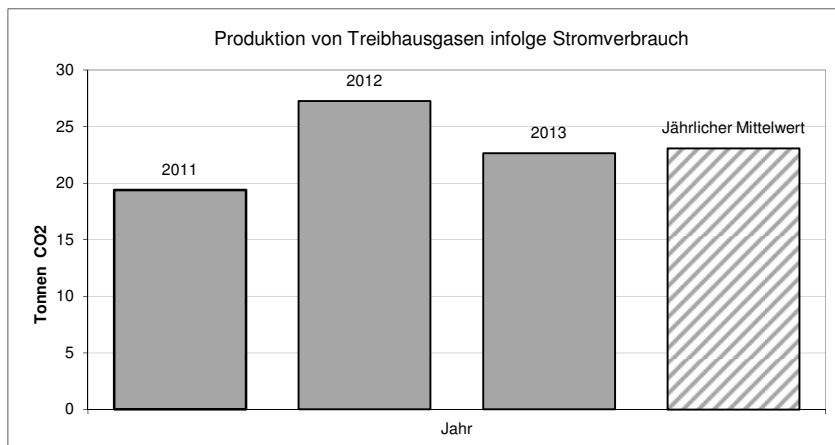


Abbildung 4: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalent) infolge Stromverbrauch³

³ 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 Gebäudekategorien 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.⁴ In der folgenden Tabelle sind die vorhandenen Verbrauchswerte den entsprechenden Vergleichswerten gegenübergestellt. Für den Wärmeverbrauch wurden dabei die Vergleichskennwerte für Grundschulen (ohne Schwimmbad) und Turnhallen (1000-2000m²) entsprechend den Flächenanteilen der zwei Gebäude gemittelt. Für den Stromverbrauch wurde der Vergleichskennwert für Grundschulen (ohne Schwimmbad) angesetzt. Abbildung 5 verdeutlicht die Relationen grafisch.

Tabelle 1: Kennwertevergleich für den witterungsbereinigten Fernwärmeverbrauch und den Stromverbrauch der Wendenschloss-Schule

		ages - Arithm. Mittel	ages - Arithm. Mittel des besten Viertels
Heizenergieverbrauch - kWh/(m ² _{BGFA})*	124,7	124,0	67,0
Treibhausgasemissionen - kg/(m ² _{BGFA})	19,3	19,2	10,4
Stromverbrauch - kWh/(m ² _{BGFA})	9,9	14,0	7,0
Treibhausgasemissionen - kg/(m ² _{BGFA})	6,0	8,4	4,2

* Der Heizenergieverbrauch wurde witterungsbereinigt und enthält die für die Warmwasserbereitung erforderliche Wärmemenge. Diese wurde mangels Abrechnung entsprechend den Regeln des BMVBS zur Ermittlung von Energieverbrauchswerten pauschal mit 5% der Wärmemenge angenommen. Zur Ermittlung der CO₂-Emissionen der ages-Werte wurde der gleiche Brennstoff wie beim untersuchten Gebäude angesetzt, um das Einsparpotential im Hinblick auf Treibhausgasemissionen zu verdeutlichen. Tatsächlich liegt dem Gebäudebestand jedoch ein nicht bekannter Brennstoffmix zu Grunde.

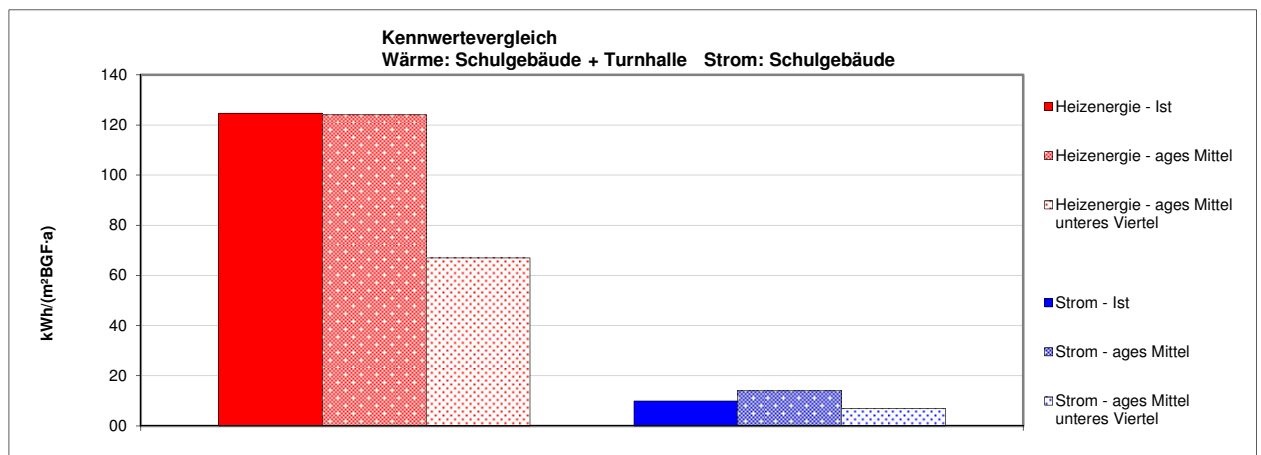


Abbildung 5: Kennwertevergleich

⁴ ages-Verbrauchskennwerte 2005: Forschungsbericht der ages GmbH, Münster

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.

Der Komplex aus Schulgebäude und Turnhalle verbraucht demnach genauso viel Heizenergie wie von ages GmbH im Mittel für den deutschen Gebäudebestand erfasst wurde. Verglichen mit dem Mittelwert des besten Viertels des entsprechenden deutschen Gebäudebestands zeigt sich gleichwohl ein deutliches Einsparpotential für den Heizenergieverbrauch und die zugehörigen Treibhausgasemissionen.

Da die vorliegenden Fernwärmeverbrauchsdaten für Schulgebäude und Turnhalle zusammen ermittelt wurden, jedoch keine Informationen zur energetischen Qualität der Turnhalle erhoben wurden, ist eine aussagekräftige Analyse des Kennwertevergleichs nicht möglich.

Der mittlere jährliche Stromverbrauch des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule liegt unter dem von ages GmbH für deutsche Grundschulen im Mittel erfassten Stromverbrauch, jedoch oberhalb des Mittelwerts des besten Viertels. Da laut Aussage des Hausmeisters die gesamte Beleuchtungsanlage in den letzten 5 Jahren saniert wurde, ist das Einsparpotenzial als niedrig einzustufen.

3. Bewertung des Ist-Zustandes des Gebäudes

3.1 Fotodokumentation



Nord-Ansicht



Süd-Ansicht



West-Ansicht



Ost-Ansicht



Zustand Stützen im Eingangsbereich



Beispiel Fassadenschaden



Außenbeleuchtung am Tag in Betrieb, Vordach undicht



Nicht dichtschießende Treppenhausfenster



Beispiel Zustand der Kellerfenster auf der Nordseite



Beispiel umbauter und zugestellter Heizkörper im Keller



Fernwärmestation im Heizungskeller



Warmwasserspeicher und Druckausdehnungsgefäße

3.2 Vorbemerkungen und Hinweise

Nach Aussage der Schulleitung wird ein Anbau an der Nordseite des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule für 2015 geplant. Genauere Informationen zu den Baumaßnahmen liegen jedoch nicht vor.

Laut Aussage des Hausmeisters steigen die Temperaturen in den Klassenräumen auf der Südseite des Schulgebäudes, insbesondere im dritten Obergeschoss im Sommer auf über 35°C an obwohl bereits ein außenliegender Sonnenschutz an den Fenstern installiert wurde.

Die Außenbeleuchtung wird über Dämmerungsschalter geregelt. Da die Regelung der Außenbeleuchtung auch nach Überprüfung durch eine Fachfirma nicht funktioniert, ist die Außenbeleuchtung teilweise auch bei ausreichendem Tageslicht angeschaltet. Dies sollte noch einmal überprüft werden.

3.3 Gebäudehülle

3.3.1 Vorbemerkung

Die Wendenschloss-Schule wurde 1973 in der ehemaligen DDR in Stahlbetonskelettbauweise (Plattenbau) errichtet. Für die Schule liegen neben Grundrissen keine weiteren Bauunterlagen mehr 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. Aufgrund ähnlich strenger Wärmeschutzvorschriften in Ost- und Westdeutschland (die lediglich etwas zeitlich versetzt in Kraft traten) können die Datenaufnahmeregeln abschätzend sowohl für Gebäude in der ehemaligen DDR als auch der ehemaligen BRD verwendet werden.

3.3.2 Bodenplatte

Für den an das Erdreich angrenzenden Fußboden des Untergeschosses ist davon auszugehen, dass er dem wärmetechnischen Standard von 1973 entspricht. Gemäß [1] ist von einem U-Wert von 1,0 W/(m²K) auszugehen. Ein gewisser Wärmeschutz ist damit bereits vorhanden, die heutigen Anforderungen sind jedoch höher.

3.3.3 Decke über unbeheizten Kellerräumen

Für die massiven Geschossdecken über den unbeheizten Kellerräumen ist nach [1] ein U-Wert von 1,0 W/(m²K) anzusetzen. Auch für die Geschossdecken ist damit bereits ein gewisser Wärmeschutz vorhanden, die heutigen Anforderungen werden jedoch nicht erreicht.

3.3.4 Außenwände

Sowohl für die massiven Kellerwände, als auch für die massiven Außenwände des Erdgeschosses und der Obergeschosse wird gemäß [1] für den Standard von 1973 ein U-Wert von 1,0 W/(m²K) angesetzt. Die Außenwände des Erdgeschosses und der Obergeschosse auf der West- und Ostseite wurden laut Aussage des Hausmeisters ca. vor 10 Jahren mit einer 4 cm starken Glaswolle-Dämmung hinter einer Verkleidung gedämmt. Über die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung konnte der Hausmeister keine Aussagen machen. Da die Wärmeleitfähigkeit nicht bekannt ist, wird ein Wert von 0,040 W/(m²K) angesetzt. Der U-Wert der gedämmten Wand beträgt demnach 0,50 W/(m²K).

Die Wärmeschutzqualität der Außenwände ist damit schlechter als der derzeitige Anspruch an die Wärmeschutzeigenschaften von Wänden. Aufgrund der bereits vorhandenen Dämmschichten entweicht aber prozentual weniger Wärme über die Außenwände als bei älteren Gebäuden ohne Dämmung.

Die ungedämmte Fassade ist in einem schlechten Zustand. An der Fassade befinden sich mehrere Fehlstellen und großflächige Farbabplatzungen.

3.3.5 Innenwände gegen unbeheizte Räume

Bei den an unbeheizte Keller- und Lagerräume sowie Windfänge angrenzenden Wänden konnte der Aufbau bei der Begehung nicht ermittelt werden. Auch aus dem Modernisierungsleitfaden für Typenschulbauten in den neuen Ländern der Zentralstelle für Normungsfragen und Wirtschaftlichkeit im Bildungswesen [15] gehen keine genaueren Informationen über den Aufbau hervor. Die Wände sind als massiv anzusehen. Da die Wände unterschiedliche Dicken aufweisen, wird ein gemittelter U-Wert angesetzt. Demnach wird für die verputzten Wände ein U-Wert von $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ abgeschätzt. Die wärmeschutztechnischen Eigenschaften der Innenwände entsprechen somit nicht den heutigen Anforderungen.

3.3.6 Fenster

Zwischen 1996 und 1997 wurden fast die gesamten Fenster des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule erneuert.

Außer den Kellerfenstern auf der Nordseite der Schule wurden 1996 und 1997 alle Fenster durch 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit Holzrahmen ersetzt. Für diese Fenster wird gemäß [1] ein U-Wert von $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Auf der Nordseite des Schulgebäudes werden zur Zeit teilweise die Holzrahmen aufbereitet. Der U-Wert dieser Fenster liegt nur knapp über dem heutigen wärmetechnischen Standard.

Bei den Kellerfenstern auf der Nordseite des Schulgebäudes handelt es sich noch um 2×1 Scheibenverbundfenster mit Holzrahmen. Gemäß [1] wird für diese Fenster ein U-Wert von $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Ihr Zustand ist außenseitig sehr schlecht. Der Schutzanstrich der Fenster ist dringend zu erneuern. Des Weiteren liegt der wärmetechnische Zustand der Fenster über dem heutigen Standard.

Auf der Südseite der Schule sind im 3.OG Außenjalousien als Sonnenschutz an den Fenstern angebracht.

3.3.7 Außentüren

Die Windfänge sind nicht beheizt und gehören demnach nicht zum beheizten Volumen des Schulgebäudes. Die Eingangstüren des Schulgebäudes sind noch nicht erneuert worden. Es handelt sich bei ihnen um Metalltüren mit Einfachverglasung. Nur bei der innenliegenden Tür zum Windfang auf der Nordseite der Schule handelt es sich um eine Holztür mit Einfachverglasung. Aufgrund des hohen Fensterglasanteils wird für diese Türen gemäß [1] ein Wert von $5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ abgeschätzt. Dieser Wert liegt deutlich über den heutigen Anforderungen.

Im Untergeschoss wurden Metalltüren verbaut. Für diese Türen wird gemäß [1] ein U-Wert von $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen. Der wärmetechnische Zustand der Türen liegt damit über dem heutigen Standard.

3.3.8 Dach

Über eine nachträgliche Sanierung des Flachdaches ist nichts bekannt. Nach der Inaugenscheinnahme des Schulgebäudes wird jedoch davon ausgegangen, dass die Wärmeschutzqualität des Daches durch eine zusätzliche Dämmung verbessert wurde. Aufgrund des Baujahrs des Schulgebäudes und bekannter Dachsanierungen anderer baugleicher Schulgebäude wird abgeschätzt, dass das Dach Ende der 90er Jahre / Anfang 2000er saniert wurde. Aus diesem Grund wird der gemäß [1] anzunehmende U-Wert für Dächer des Sanierungsjahres angenommen, der mit $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eine realistische Schätzung darstellt. Der Dachaufbau sollte jedoch noch einmal überprüft werden.

3.3.9 Gesamteinschätzung der Gebäudehülle

Kein Außenbauteil erfüllt die Anforderungen, die nach der aktuellen Energieeinsparverordnung EnEV 2014 an zu sanierende Bauteile eines Nichtwohngebäudes gestellt werden.⁵ Obwohl bereits einige Sanierungen durchgeführt wurden, ist die wärmetechnische Qualität der Gebäudehülle im derzeitigen Zustand insgesamt noch nicht ausreichend. Es besteht daher noch immer ein Energieeinsparungspotential. Viel Wärme geht aufgrund der großen Flächenanteile vor allem über die massiven Außenwände 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.

3.4 Technische Anlagen

3.4.1 Bestandsaufnahme

Das Schulgebäude und die Turnhalle der Wendenschloss-Schule werden über Fernwärme beheizt. Auch die Warmwasserbereitung erfolgt mittels Fernwärme. Im Schulgebäude gibt es zusätzlich noch eine dezentrale Warmwasserbereitung im Lehrerzimmer und dem Büro des Hausmeisters. Die Fernwärmestation ist im Untergeschoss des Schulgebäudes außerhalb der thermischen Hülle untergebracht. Alle erforderlichen Regel-, Mess- und Absperrrichtungen sowie die Plattenwärmetauscher für die Heizung und die Warmwassererwärmung und die Heizungsumwälzpumpen sind dort integriert.

Über Erneuerungen der Heizungsanlage konnte der Hausmeister der Schule kaum Aussagen treffen. Der Plattenwärmetauscher wurde im Jahr 2012 und die Druckausdehnungsgefäße wurden im Jahr 2011 erneuert. In den letzten Jahren wurden nachträglich die Rohrleitungen im Keller der Schule gedämmt. Die leistungsgeregelte Heizungsumwälzpumpe Grundfos UPE 80-120 stammt aus dem Jahr 2006.

Die Wärmeübergabe an die Räume erfolgt durch überwiegend an den Außenwänden angeordnete Gliederheizkörper. In einem Großteil der Unterrichtsräume kann die Raumtemperatur manuell durch den Nutzer eingestellt werden. Schritt für Schritt werden die Thermostate durch neue ersetzt. Bei diesen sind die Thermostatventile voreingestellt und erlauben keine manuelle Regulierung durch die Nutzer. Die Temperatur wird automatisch über Außenfühler geregelt. Die Solltemperatur während der Schulzeit beträgt 21°C . Nachts und am Wochenende wird die Temperatur auf 15°C abgesenkt und in den Ferien auf 12°C . Ein Abdrehen der Heizkörper im Fall von Fensterlüftung ist für die Lehrer mit den neuen Thermostaten nicht mehr möglich, wodurch unnötig Heizenergie verloren geht. Im Lehrerzimmer und in einigen Räumen im Keller sind die Heizkörper zugestellt. Dadurch wird die Luftzirkulation und damit die Wärmeabgabe der Heizkörper behindert.

Für die Warmwasserversorgung steht ein Warmwasserspeicher im Keller des Schulgebäudes zur Verfügung. Der Warmwasserspeicher wird indirekt über Fernwärme beheizt. Die Schul- und die Lehrküche werden über dieses Speicherladesystem mit Zirkulation mit Warmwasser versorgt. Das Lehrerzimmer und das Büro des Hausmeisters werden dezentral über elektrisch beheizte 5l Kleinspeicher mit Warmwasser versorgt.

Die Abluftventilatoren, die früher in mehreren Räumen vorhandenen waren, sind außer Betrieb.

Nach Aussage des Hausmeisters wurde die Beleuchtungsanlage der Schule in den letzten 5 Jahren komplett erneuert. Sie besteht zum großen Teil aus Deckenleuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät oder Energiesparlampen. Einzelne Flurlampen werden über Präsenzmelder gesteuert. Die Regelung der Außenbeleuchtung funktioniert jedoch derzeit nicht.

⁵ Gleichermaßen werden auch die Anforderungen, die laut EnEV für die Bauteile eines Neubaus gelten, nicht erfüllt.

3.4.2 Beurteilung der technischen Anlagen

Da die für die Wärmeerzeugung verwendete Fernwärme im Berliner Vattenfallnetz zu über 90% aus Kraft-Wärme-Kopplung gewonnen wird, handelt es sich um einen primärenergetisch sehr günstigen Energieträger, der vom Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) auf eine Stufe mit erneuerbaren Energien gestellt wird. Ein Wechsel des Energieträgers ist somit nicht angezeigt. Auch die Anlagenkomponenten selbst verfügen insgesamt über einen guten technischen Standard. Da die Komponenten der Heizungsanlage in den letzten Jahren erneuert wurden sind die mittleren Lebensdauern nach VDI 2067 [8] noch nicht erreicht, so dass aktuell keine Erneuerungsinvestitionen anstehen.

Auch die Beleuchtungsanlage wurde in den letzten Jahren bereits erneuert, sodass momentan auch hier keine Erneuerungsinvestitionen anstehen.

3.5 Heizwärmebedarf des Gebäudes und Bedarfs-/Verbrauchsabgleich

Die energetische Bilanzierung des Gebäudes wurde entsprechend der Empfehlung in [2] nach DIN 4108-6 in Verbindung mit DIN 4701-10 durchgeführt. Die Bilanzierung erfolgte für den Standort Berlin (Klimareferenzort Potsdam). In der folgenden Tabelle sind wesentliche Bilanzierungsparameter aufgeführt.

Tabelle 2: Gebäudeparameter für die Bedarfsberechnung

Gebäudeparameter	Eingabegröße
Klimareferenzort	Potsdam
Raumtemperatur	19°C
Luftwechselrate	0,7/h (Gebäude ohne Dichtheitsprüfung)
Heizungsabschaltung	Nacht- und Wochenendsenkung
Interne Wärmegewinne	5,0 W/m ²
Wärmebrückenzuschlag	0,1 W/(m ² K)
Heizungsanlage	Fernwärmeübergabestation
Warmwasserbedarf	24,3 MWh/a ⁶

Ein Bedarfs-/Verbrauchsabgleich zur Validierung bzw. Kalibrierung der Eingabewerte konnte nicht mit ausreichender Genauigkeit durchgeführt werden, da sich der abgerechnete Fernwärmeverbrauch neben dem untersuchten Schulgebäude auch auf die Turnhalle der Wendenschloss-Schule bezieht, über die jedoch keine Informationen zur energetischen Qualität erhoben wurden. In der folgenden Tabelle sind der berechnete Heizenergiebedarfswert sowie der Verbrauchswert für das Schulgebäude und die Turnhalle zusammengestellt.

Tabelle 3: Ergebnis des Bedarfs-Verbrauchs-Abgleichs⁷

Berechneter Endenergiebedarf Fernwärme MWh/a	338,8
Witterungskorrig. Fernwärmeverbrauch MWh/a (Wert f. Schulgebäude+Turnhalle)	653,9

⁶ Berechnung mit Hilfe des Ansatzes nach DIN V 18599-10:2011-12 Tab.7 für Schulen ohne Dusche, Schüleranzahl entsprechend Berliner Schulführer von 2010

⁷ Berechnung des Endenergiebedarfs und Witterungskorrektur jeweils für den mittleren Klimareferenzort Deutschlands nach 4108-6 (Würzburg).

3.6 Energiebilanz und Bewertung des Bestandsgebäudes

Für den beschriebenen Ist-Zustand der Gebäudehülle und der technischen Anlagen des Schulgebäudes berechnet sich die nachfolgende Energiebilanz. Da kein detaillierter Abgleich der berechneten Bedarfsgrößen mit den Verbrauchswerten erfolgen konnte, ist von einer gewissen Abweichung zwischen dem berechneten Bedarf und dem tatsächlichem Verbrauch auszugehen. Die Bilanz ist daher als eine auf der Grundlage der vorliegenden Informationen vorgenommene Abschätzung des individuellen Energiebedarfs des Schulgebäudes zu verstehen. 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.

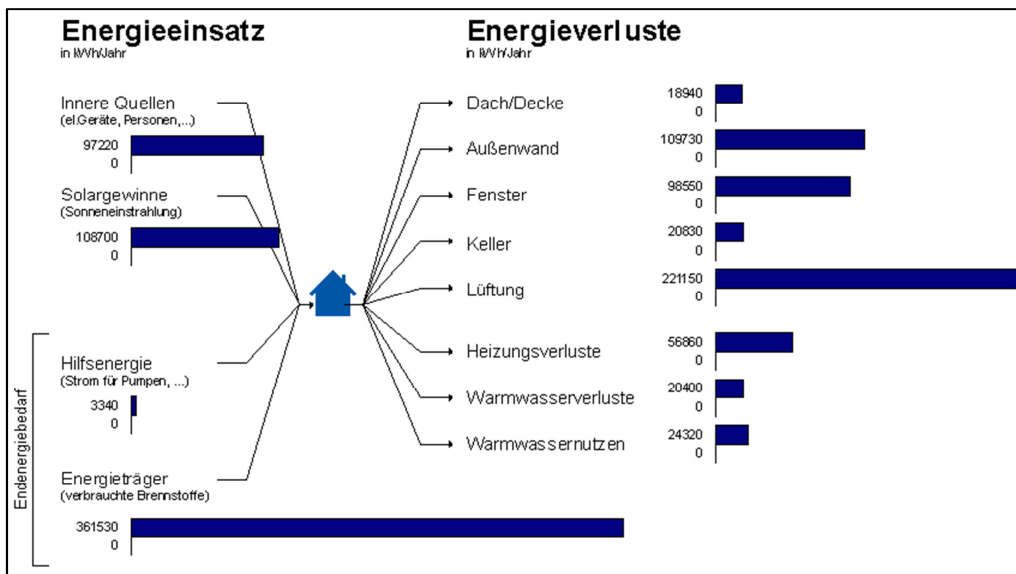


Abbildung 6: Energieeinsatz und –verluste für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule

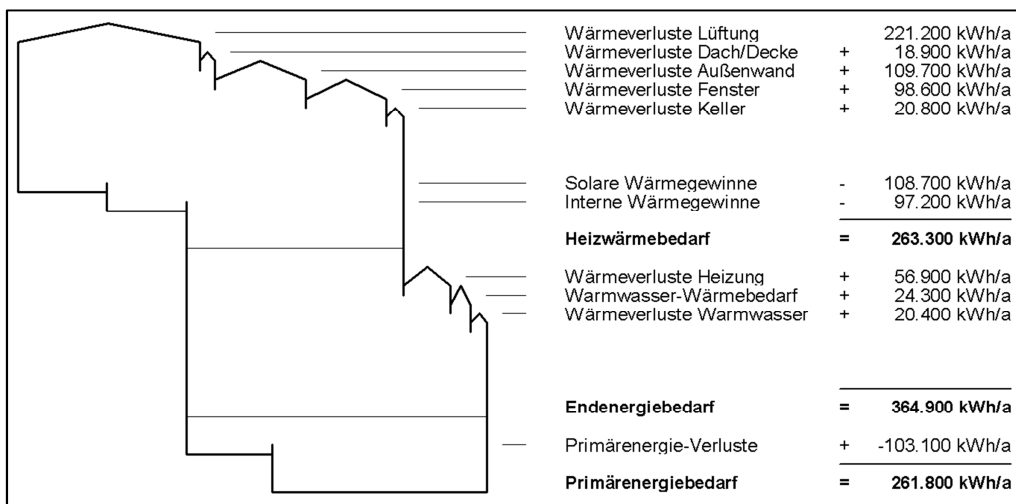


Abbildung 7: Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule

Die folgende Grafik stuft den energetischen Zustand der Gebäudehülle und der technischen Anlagen sowie den Umfang der Treibhausgasemissionen des Schulgebäudes anhand der Berechnungsergebnisse anschaulich und übersichtlich ein. Für die Anlagentechnik wird hierbei der Primärenergiebedarf bewertet.⁸ Alle drei verglichenen Werte beziehen sich auf die rechnerische Energiebezugsfläche des Gebäudes.

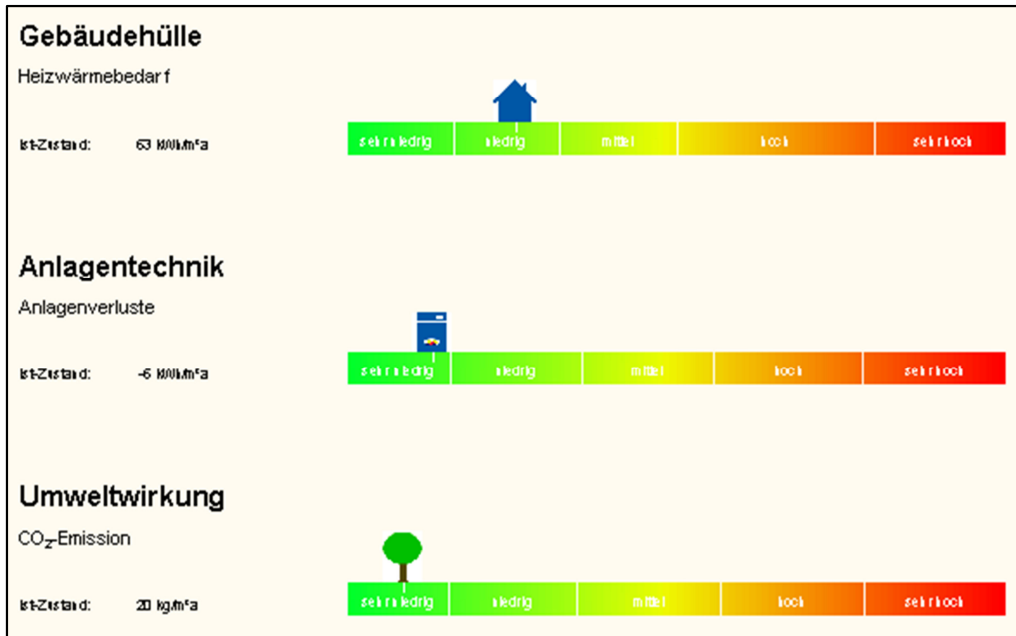


Abbildung 8: Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes der Wendenschloss-Schule

In der Einstufung des Heizwärmebedarfs im niedrigen Bereich spiegelt sich die Tatsache wider, dass die Bauteile bereits eine Wärmedämmung besitzen und ein großer Teil der Fenster sowie ein Teil der Außenwände schon saniert wurden.

Aufgrund ihres Zustands, aber insbesondere aufgrund des primärenergetisch sehr günstigen Energieträgers Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung wird die Heizungsanlage sehr positiv bewertet. Es errechnen sich negative Primärenergieverluste aufgrund des niedrigen Primärenergiefaktors für Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung.

Die Umweltwirkung des Gebäudes wird im Hinblick auf seine Treibhausgasemissionen entsprechend dem vergleichsweise niedrigen Emissionsfaktor der verwendeten Fernwärme günstig bewertet. Ein weiteres Einsparpotential ist gleichwohl vorhanden.

⁸ 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 übersichtliches Bild.

4. Energiesparmaßnahmen und Sanierungsoptionen

4.1 Grundlegendes

Bei dem untersuchten Gebäude handelt es sich wie berichtet um einen DDR-Typenbau, der in Berlin in großer Anzahl errichtet und auch bereits saniert wurde. Es empfiehlt sich, die Sanierungserfahrungen und Planungsunterlagen bezirksübergreifend zu sammeln und für zukünftige Sanierungen als Planungshilfe zur Verfügung zu stellen.

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 einbindbar 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 ihrer vorhandenen Wärmeschutzqualität, ihres Angrenzens an das Erdreich und ihrer anteilig geringen Fläche nur ein geringer Wärmeanteil verloren. Dennoch wäre es energetisch günstig, sie oberseitig mit einer druckfesten Dämmung zu versehen. Da bei der oberseitigen Dämmung der Bodenplatte die lichte Höhe der Räume minimiert wird, sollte vor der Sanierung geprüft werden, ob die Raumhöhen ausreichen. Es ist zu beachten, dass diese Maßnahme mit vorübergehenden Nutzungseinschränkungen und ggf. erforderlichen Anpassungsmaßnahmen einhergeht. Bereits mit einer 4 cm dicken oberseitigen Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 könnte der wärmetechnische Standard der Bodenplatte entsprechend den aktuellen Anforderungen der EnEV aufgerüstet werden. Eine Sanierung auf KfW-Standard würde eine etwa 12 cm dicke Dämmung gleicher WLG erfordern. Auf der Dämmung sind eine Dampfbremse und eine lastverteilende Schicht, z.B. Nassestrich, zu verlegen. Da die daraus resultierenden Einsparungen bezogen auf den Ist-Zustand des Gebäudes jedoch relativ gering sind und temporär mit deutlichen Nutzungseinschränkungen einhergehen, wird diese Maßnahme zunächst nicht empfohlen. Wenn entsprechende Nutzungseinschränkungen tolerierbar und Anpassungsmaßnahmen möglich sind und eine Sanierung aus baulichen Gründen erforderlich ist, sollte eine Dämmung jedoch ergänzt werden. (Um die hierbei entstehende Wärmebrücke zur Außenwand zu minimieren, ist die Außenwand außenseitig bis zur Unterkante des Fundaments mit einer Perimeterdämmung zu versehen.)

→ **Sanierung eingeschränkt empfohlen**

4.2.2 Decke über unbeheizten Kellerräumen

Über die ungedämmte Kellerdecke (Fußboden des Erdgeschosses) zu unbeheizten Kellerräumen geht aufgrund des geringen Flächenanteils nur relativ wenig Heizenergie verloren. Bei den unbeheizten Kellerräumen handelt es sich nur um die Räume für die technischen Anlagen des Schulgebäudes sowie die zugehörigen Lagerräume. Da der Heizungskeller indirekt über die Wärmeverluste der Heizungsanlage beheizt wird, sind die Wärmeverluste über die Kellerdecke in diesem Bereich zu vernachlässigen. Aufgrund des geringen Flächenanteils der Decken der übrigen unbeheizten Räume, wird auch in diesem Bereich keine unterseitige Dämmung der Kellerdecke empfohlen.

→ **Sanierung nicht empfohlen**

4.2.3 Innenwände gegen unbeheizte Räume (Keller, unbeheizter Eingangsbereich)

Aufgrund ihrer anteilig geringen Fläche und ihres Angrenzens an unbeheizte Räume (statt Außenluft) geht über die Innenwände nur ein geringer Wärmeanteil verloren. Da der Heizungskeller indirekt über die Wärmeverluste der Heizungsanlage beheizt wird, ist eine Dämmung der Innenwand zum Heizungskeller nicht erforderlich. Auch über die sehr geringe Fläche der Innenwände zu den unbeheizten Lagerräumen geht nur wenig Energie verloren. Aus diesem Grund wird eine Sanierung der Innenwände im Keller derzeit nicht empfohlen.

Da die Windfänge unbeheizt sind wird empfohlen im Zuge der Erneuerung der Eingangstüren zu den Windfängen auch die Wände auf der kalten Seite zu dämmen. Mit einer 13 cm dicken Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 wird die über die gesetzliche Anforderung der EnEV hinausgehende erhöhte Anforderung der KfW erreicht

→ **Sanierung teilweise empfohlen**

4.2.4 Außenwände

Die Außenwandelemente sind entsprechend ihrer großen Fläche für einen großen Teil der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle verantwortlich. Da sie jedoch bereits gedämmt ausgeführt wurden, sind ihre wärmetechnischen Eigenschaften deutlich besser als bei ungedämmten Wänden. Bereits mit einer 14 cm dicken Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 wird die über die gesetzliche Anforderung der EnEV hinausgehende erhöhte Anforderung der KfW erreicht.⁹ An den Außenwänden des Erdgeschosses und der Obergeschosse auf der West- und Ostseite wurden laut Aussage des Hausmeisters ca. vor 10 Jahren eine 4 cm starke Glaswollendämmung hinter einer Verkleidung angebracht. Nähere Informationen zu dieser Dämmmaßnahme liegen nicht vor. Aufgrund der geringen Dämmdicke wird empfohlen, die Dämmung inkl. der Verkleidung rückzubauen und ein außenseitiges Wärmedämmverbundsystem an der gesamten Fassade auszuführen. Aufgrund der großflächigen Fassadengestaltung ist es vergleichsweise einfach und damit kostengünstig aufzubringen. Bei der Planung der Sanierung wird empfohlen den Zustand und die reale Dicke der Dämmung zu überprüfen. Wenn die Dämmung noch intakt ist und eine höhere Stärke aufweist als angenommen, wird empfohlen noch einmal zu überprüfen, ob eine neue Dämmung an der West- und Ost-Fassade wirtschaftlich ist.

Es empfiehlt sich, auch die ins Erdreich einbindenden Wände der beheizten Räume des Untergeschosses mit einer Perimeterdämmung zu versehen, um die Wärmeverluste auch hier zu reduzieren.

→ **Sanierung empfohlen**

⁹ Ggf. muss die Dämmstoffdicke zur Berücksichtigung von Wärmebrücken infolge Dübeln geringfügig vergrößert werden.

4.2.5 Fenster und Sonnenschutz

Es wird der Austausch aller alten Verbundfenster im Untergeschoss empfohlen, da ihre wärmeschutztechnischen Eigenschaften bei weitem nicht den heutigen Anforderungen genügen und sie sich zum Teil in einem schlechten baulichen Zustand befinden. 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.

An den Fenstern der Klassenräume des 3. Obergeschosses ist bereits ein außenliegender Sonnenschutz installiert. Um die solaren Einträge in die Unterrichtsräume der übrigen Geschosse ebenfalls wirksam zu reduzieren, sollte auch an diesen Fenstern ein außenliegender Sonnenschutz vorgesehen werden. Optimal geeignet sind lichtlenkende Lamellenbehänge mit automatischer Steuerung, die im Sommer am frühen Morgen automatisch zufahren und dann manuell nach Bedarf geöffnet werden können. Der Sonnenschutz ist aus Komfortgründen auch ohne Fensteraustausch erforderlich.

→ **Sanierung teilweise empfohlen**

4.2.6 Dach

Aufgrund der vorhandenen nachträglichen Dämmung geht über das Dach ein relativ geringer Wärmeanteil verloren. Dieser könnte durch eine zusätzliche Dämmung weiter reduziert werden. Da der zu erzielende Einspareffekt jedoch gering ist, sollte eine weitere Dämmung erst aufgebracht werden, wenn eine vollständige Dachsanierung erforderlich ist. Da keine genauen Informationen über die Dämmung des Daches vorliegen, wird empfohlen den genauen Dachaufbau zu ermitteln. Falls die Dachdämmung nicht mehr intakt ist oder eine geringere Dicke aufweist, könnte eine zeitnahe Dämmung des Daches wirtschaftlich sein.

→ **Sanierung derzeit nicht empfohlen**

4.3 Sanierung der technischen Anlagen

4.3.1 Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage

Eine Sanierung der Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage in energetischer Hinsicht ist nicht erforderlich. Wesentliche Anlagekomponenten sind in den letzten Jahren bereits erneuert worden und besitzen eine gute Effizienz. Bei der zukünftigen Planung der Erneuerung sind die Anforderungen der dann gültigen Energieeinsparverordnung an Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen zu beachten. Es sollten weiterhin die technischen Mindestanforderungen der KfW berücksichtigt werden, um der übergeordneten Zielsetzung des Niedrigstenergieverbrauchs Rechnung zu tragen.

Vor der Planung und Durchführung von Erneuerungsinvestitionen sollte überprüft werden, ob die Warmwasserbereitung im Speicherladeprinzip beibehalten wird oder eine Umstellung auf ein dezentrales elektrisches System erfolgt, das bedarfsabhängig gesteuert wird und ggf. energetisch günstiger ist. Hierfür ist es sinnvoll, zuvor als Planungsgrundlage über einen repräsentativen Zeitraum den Trinkwarmwasserverbrauch zu erfassen.

→ **Sanierung derzeit nicht empfohlen**

4.3.2 Beleuchtung

Die Beleuchtungsanlage des Schulgebäudes wurde in den letzten 5 Jahren erneuert. Eine Modernisierung steht momentan demnach nicht an.

Die Außenbeleuchtung wird über Dämmerungsschalter geregelt. Da die Regelung der Außenbeleuchtung auch nach Überprüfung durch eine Fachfirma nicht funktioniert, ist die Außenbeleuchtung teilweise auch bei ausreichendem Tageslicht in Betrieb. Es wird empfohlen die Regelung erneut zu überprüfen.

→ **Sanierung derzeit nicht empfohlen**

4.3.3 Energieträger

Da die Wärmeversorgung mit Fernwärme aus KWK erfolgt und dieser Energieträger gemäß EEWärmeG [10] als Ersatzmaßnahme für den Einsatz erneuerbarer Energien anerkannt ist, ist ein Wechsel des Energieträgers nicht erforderlich.

Die Dachfläche des Gebäudes könnte teilweise für die Aufstellung von PV-Anlagen genutzt werden. Bei hohem Eigennutzungsanteil des erzeugten Stroms ist von einer Amortisation der Anlage nach etwa 10 Jahren auszugehen. Da Stromproduktion und –verbrauch wegen der Sommerferien zur Hauptproduktionszeit und der Wochenenden ohne Stromnutzung zeitlich nicht ausreichend zusammenfallen und die Stromspeichertechnik technisch noch nicht ausgereift ist, müsste ein großer Teil der Stromproduktion ins Netz eingespeist werden.

4.4 Schätzung der Investitionskosten

In Tabelle 4 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 hinterlegten Kostenfunktionen 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 5 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 4: Sanierungsmaßnahmen Gebäudehülle

Sanierungsmaßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Schätzung der energetisch bedingten Investitionskosten (netto)		
Austausch alter Fenster	Demontage und Entsorgung der alten Fenster, Einbau neuer Fenster	Einzelpreis:	100	€/Stk
	Sowieso anfallende Kosten für Holzfenstersanierung (Abschleifen, Anstrich, Ausbesserung, Dichtung, Wartung Beschläge), falls kein Fensteraustausch erfolgt			
	Einbau neuer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit Holzrahmen, $U \leq 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Einzelpreis** abzgl. Sowieso-K.:	695	€/Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demontage und Entsorgung der alten Fenster 	Anzahl:*	29	Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung, Lieferung und Montage der neuen Fenster einschl. Montage-, Dicht- und Dämmmaterial 	Gesamtpreis:	20.155	€
	<p>* 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.</p> <p>** Der Einzelpreis berechnet sich aus der Kostenfunktion für 3-fach-Verglasung mit einem mittleren U-Wert von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Da dieser etwas größer ist als der Zielwert für die 3-fach-Verglasung kann sich ggf. ein etwas höherer Einzelpreis ergeben.</p>			
Austausch der Außentüren	Demontage und Entsorgung der alten Eingangstürelemente, Einbau neuer Türelemente	Einzelpreis:	4.450	€/Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demontage und Entsorgung der alten Türelemente 	Anzahl:	3	Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung, Lieferung und Montage der neuen Türelemente einschl. Montage-, Dicht- und Dämmmaterial 	Gesamtpreis:	13.350	€
	U-Wert des sanierten Bauteils: $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			
Dämmung der Innenwände	Montage einer 13 cm Dämmung der WLG 035 auf der unbeheizten Seite der Innenwände	Einzelpreis:	49	€/m ²
	inkl. Beschichtung der Dämmung z.B. durch Armierung und Anstrich	Fläche:	25	m ²
		Gesamtpreis:	1.225	€
	U-Wert des sanierten Bauteils: $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			
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:	1.660	m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Montage des Dämmmaterials mit allem Systemzubehör 	Gesamtpreis:	168.656	€
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ alle Anschlussarbeiten an Fenster/Türöffnungen, Vorsprünge, Gebäudekanten 			
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wandbekleidung oder Oberputz 			
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De-/Remontage von Regenfallrohren, Blitzableitern, etc. 			
	<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: $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			

Tabelle 5: Überblick über mögliche Sanierungsvarianten

Sanierungsmaßnahmen		Schätzung der energetisch bedingten Investitionskosten (netto)	
Variante 1	Austausch der alten Fenster durch Fenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasung	Fenster:	20.155 €
	Austausch der alten Eingangstüren	Türen:	13.350 €
	Dämmung der Innenwände	Innenwände:	1.225 €
	Modernisierung der technischen Anlagen im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen, hydraul. Abgleich	Anlagen:	-
			34.730 €
Variante 2	wie Variante 1	Variante 1:	34.730 €
	zusätzlich Dämmung der Außenwände	WDVS:	168.656 €
			203.386 €

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 farbliches 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, welches hier die Sanierungsbauteile mit der geringsten Lebensdauer sind. 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 der Fernwärme und beim 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.¹⁰ 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.¹¹

Die den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zugrunde gelegten Energiepreise berechnen sich aus dem jeweiligen rechnerischen Energiebedarf (und nicht dem tatsächlichen Verbrauch) sowie dem Preisansatz pro Kilowattstunde aus den aktuellen Verbrauchsabrechnungen des untersuchten Objekts.¹²

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 7 sind die Ergebnisse der Berechnungen zusammengestellt. Abbildung 8 dokumentiert die mit der jeweiligen Sanierungsvariante erzielbaren Einsparungen anschaulich.

¹⁰ In der verwendeten Berechnungssoftware ist für den Kalkulationszinssatz stets ein Wert > 0 einzugeben, so dass rechnerisch der kleinstmögliche Zinssatz von 0,01% verwendet wird.

¹¹ Der aktuelle effektive Jahreszins für das Programm 218 der KfW beträgt 0,1%.

¹² Fernwärme: 13,62 ct/kWh, Strom: 21,8 ct/kWh, jeweils brutto. Der Grundpreis wurde hierbei vereinfacht mit auf die verbrauchten Kilowattstunden umgelegt.

Tabelle 6: Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Betrachtungszeitraum (lebensdauerbasiert):	40 Jahre	Teuerungsrate Energiepreise:	4%
rechnerische Energiekosten (Ist-Zustand) brutto:	49.968 €	Kalkulationszinssatz:	0%

Tabelle 7: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für Maßnahmenvarianten (Kosten inkl. 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 [€]	mittlere jährl. Energiekosteneinsparung [€/Jahr]	Eingesparte Treibhausgase [t]			Energiekosten- einsparung je 1.000 € Investitions- kosten [€]
1	41.329	49.233	72.680	31.351	1.817	34	1.759	7.655	30
2	242.029	39.518	1.032.280	790.251	25.807	477	4.265	3.160	17

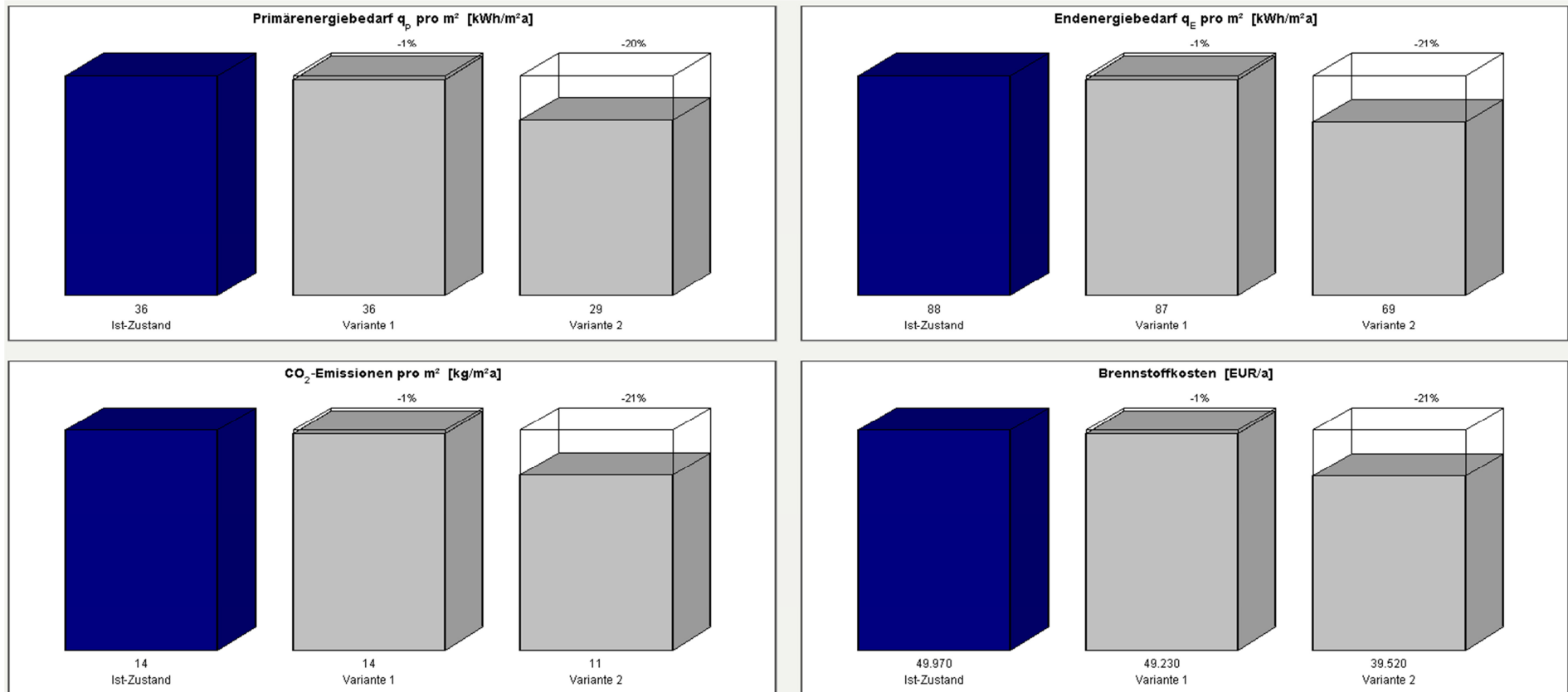


Abbildung 9: Variantenvergleich hinsichtlich der jährlich erzielbaren Energie-, CO_2 - und Brennstoffkostenreduktionen

4.7 Sanierungsempfehlungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Varianten zeigen, dass sich die Maßnahmenvariante 1 etwa zu dem Zeitpunkt amortisiert hat, zu dem die sanierten Bauteile drei Viertel ihrer Lebensdauer erreicht haben. Die Maßnahmenvariante 2 hat sich bereits zu dem Zeitpunkt amortisiert, zu dem die sanierten Bauteile knapp die Hälfte ihrer Lebensdauer erreicht haben. Aufgrund der Amortisation der Maßnahmen innerhalb der Nutzungsdauer der Sanierungselemente weisen beide Varianten eine positive Annuität und einen positiven internen Zinssatz aus.

Die eingesparten Energie- und Treibhausgasmengen sind aufgrund des Umfangs und der Qualität der einbezogenen Maßnahmen bei Variante 2 am größten. Dementsprechend weist diese Variante auch die größte jährliche Einsparung auf.

Wegen der kürzeren Amortisationsdauer der Variante 2 und den Förderzielsetzungen nach [2] wird empfohlen, Variante 2 aufgrund der hiermit verbundenen größten Energie- und Treibhausgaseinsparungen auszuführen.

Darüber hinaus sollte die in Kapitel 4.2.1 beschriebene Option der Dämmung der Bodenplatte und der in Kapitel 4.2.6 beschriebene Option der Dämmung des Daches überprüft werden. Weiterhin wird empfohlen die voreingestellten Thermostatventile freizugeben. Bei Durchführung von Erneuerungsinvestitionen für haustechnische Anlagenkomponenten 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



Linda Vogel

Dipl.-Ing. Bauingenieurwesen (FH)

Berlin, den 20. Oktober 2014