

BEZIRKSAMT TREPTOW-KÖPENICK VON BERLIN

KLIMASCHUTZ-TEILKONZEPT FÜR 42 LIEGENSCHAFTEN

HANS-GRADE-SCHULE, HEUBERGER WEG 37

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	5
2.	BASISDATEN DES SCHULGEBÄUDES DER HANS-GRADE-SCHULE	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.	BEWERTUNG DES IST-ZUSTANDES DES GEBÄUDES	11
3.1	Fotodokumentation	11
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	16
3.3.9	Gesamteinschätzung der Gebäudehülle	16
3.4	Technische Anlagen	16
3.4.1	Bestandsaufnahme	16
3.4.2	Energetische Beurteilung der technischen Anlagen	17
3.5	Heizwärmebedarf des Gebäudes und Bedarfs-/Verbrauchsabgleich	17
3.6	Energiebilanz und Bewertung des Bestandsgebäudes	18
4.	ENERGIESPARMAßNAHMEN UND SANIERUNGSOPTIONEN	20
4.1	Grundlegendes	20
4.2	Sanierung der Gebäudehülle	20
4.2.1	Bodenplatte	20
4.2.2	Decke über unbeheizten Kellerräumen	21
4.2.3	Außenwände	21
4.2.4	Innenwände gegen unbeheizte Räume (Keller, unbeheizter Eingangsbereich)	21
4.2.5	Fenster und Sonnenschutz	21
4.2.6	Außentüren	22
4.2.7	Dach	22
4.3	Sanierung der technischen Anlagen	23
4.3.1	Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage	23
4.3.2	Beleuchtung	23
4.3.3	Energieträger	23

4.4	Schätzung der Investitionskosten	24
4.5	Nicht und minimal investive Energiesparmaßnahmen	27
4.6	Bewertung der möglichen Sanierungsvarianten	27
4.7	Sanierungsempfehlungen	31

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Kennwertevergleich für den witterungsbereinigten Erdgasverbrauch und den Stromverbrauch der Hans-Grade-Schule	9
Tabelle 2:	Gebäudeparameter für die Bedarfsberechnung	17
Tabelle 3:	Ergebnis des Bedarfs-Verbrauchs-Abgleichs	17
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:	Erdgasverbrauch der Hans-Grade-Schule in den Jahren 2011 und 2013	7
Abbildung 2:	Produzierte Treibhausgasemissionen (CO ₂) infolge Erdgasverbrauch	7
Abbildung 3:	Stromverbrauch der Hans-Grade-Schule in den Jahren 2011 bis 2013	8
Abbildung 4:	Produzierte Treibhausgasemissionen (CO ₂ -Äquivalent) infolge Stromverbrauch	8
Abbildung 5:	Kennwertevergleich	9
Abbildung 6:	Energieeinsatz und –verluste für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Hans-Grade Schule	18
Abbildung 7:	Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Hans-Grade Schule	18
Abbildung 8:	Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes der Hans-Grade Schule	19
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 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 Baualterklasse 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 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 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 Hans-Grade-Schule

2.1 Objektbeschreibung

Bezeichnung des Objekts: Schulgebäude der Hans-Grade-Schule

Foto des Objekts:



Standort: Heuberger Weg 37, 12487 Berlin

Nutzung: Integrierte Sekundarschule

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

Bruttogrundfläche: 3989 m²

Baujahr: 1976

Sanierung Gebäudehülle: ca. 1998 Austausch der kleinen Fenster
ca. 2000 Austausch der übrigen Fenster
ca. 2000 / 2001 Dämmung der Fassade mit WDVS
ca. 2003 Austausch der Eingangstüren zur Hofseite

Sanierung haustechnische Anlagen.: 1992 Einbau der Brennwertkessel
nachträgliche Dämmung der Rohrleitungen (Jahr nicht bekannt)

Heizenergieträger: Brennwertkessel, Energieträger Erdgas

Warmwasserbereitung: Zentral durch Speicherladesystem mit Zirkulation, Wärmeerzeugung über Brennwert-Kessel-Anlage und dezentral über elektrisch beheizte Kleinspeicher

Lüftung: überwiegend freie Lüftung, Teeküche + Toiletten teilweise Abluftventilatoren

Angaben zum Leerstand: Leerstehend während der Schulferien und am Wochenende

Bestandsunterlagen: Aktuelle Grundrisse

Datum Objektbegehung: 20.03.2014

2.2 Energieverbrauch und Energiekennzahlen des Gebäudes

2.2.1 Wärme

Die Hans-Grade-Schule wird mit Erdgas versorgt. Bis auf den Heizungskeller und einzelne Lagerräume wird das gesamte Gebäude beheizt. Auf dem Areal der Sekundarschule befindet sich noch eine Turnhalle. Die Wärmeverbräuche für Heizung und Warmwasserbereitung wurden für beide Gebäude gemeinsam erfasst, so dass keine gebäudebezogenen Aussagen zu treffen sind. Eine flächenanteilige Aufteilung der Wärmeverbrauchszahlen auf die beiden 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 das Schulgebäude und die Turnhalle zusammen für die Jahre 2011 und 2013 angegeben¹.

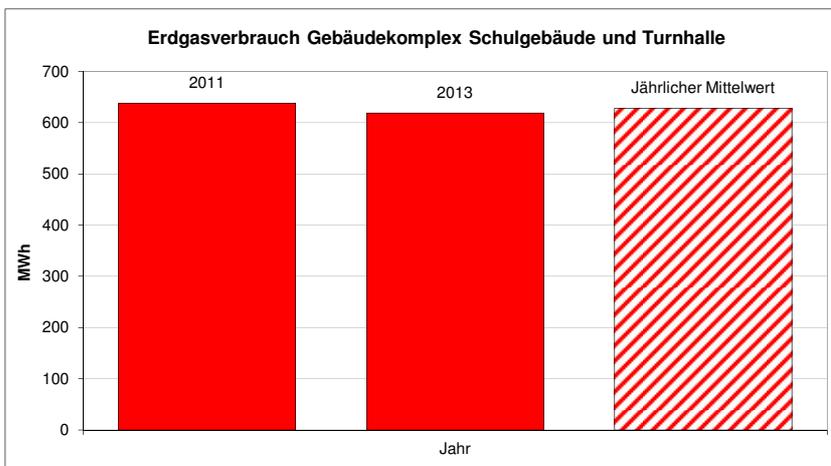


Abbildung 1: Erdgasverbrauch der Hans-Grade-Schule in den Jahren 2011 und 2013

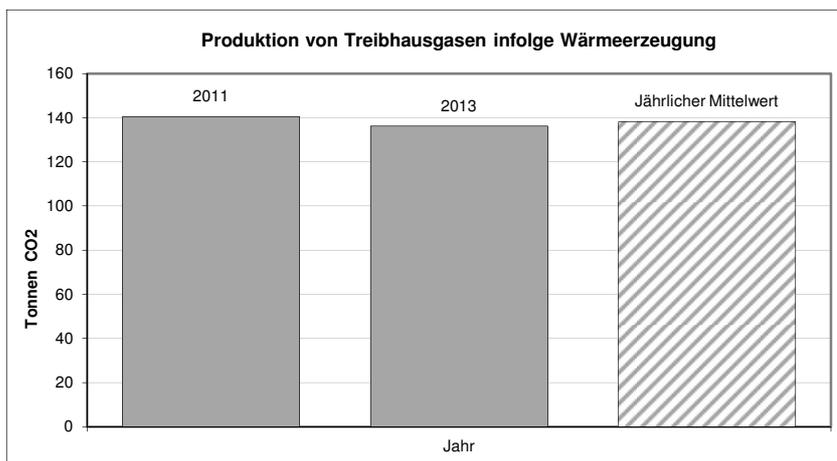


Abbildung 2: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂) infolge Erdgasverbrauch²

¹ Der Wärmeverbrauch des Jahres 2012 wurde mit 1.194.824 kWh abgerechnet und ist damit fast doppelt so hoch wie die Werte aus den Jahren 2011 und 2013. Da beim Bezirksamt und beim Hausmeister keine möglichen Ursachen hierfür bekannt sind, wird der Wert für das Jahr 2012 in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

² Gemäß GEMIS-Datenbank entsteht infolge 1 MWh Erdgasverbrauch (bezogen auf den unteren Heizwert) 244 kg des Treibhausgases CO₂.

2.2.2 Strom

Für die Jahre 2011-2013 wurden gemeinsam für das Schulgebäude und die Turnhalle die nachstehend dargestellten Stromverbräuche abgerechnet. Abbildung 4 zeigt die infolge der Stromherstellung produzierten Treibhausgasemissionen.

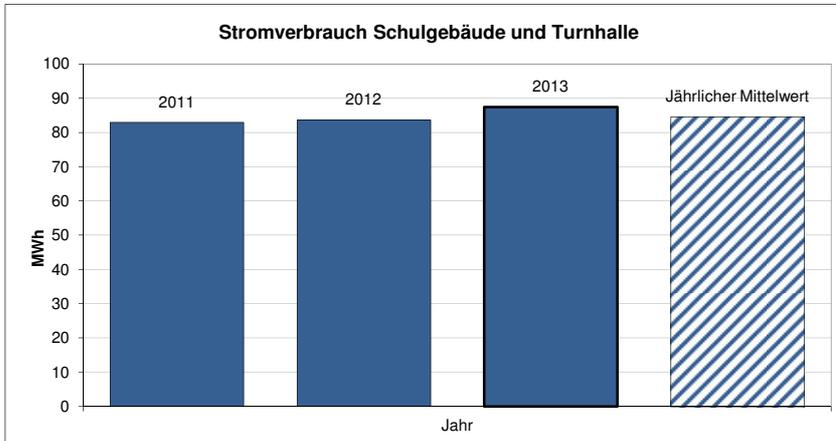


Abbildung 3: Stromverbrauch der Hans-Grade-Schule in den Jahren 2011 bis 2013

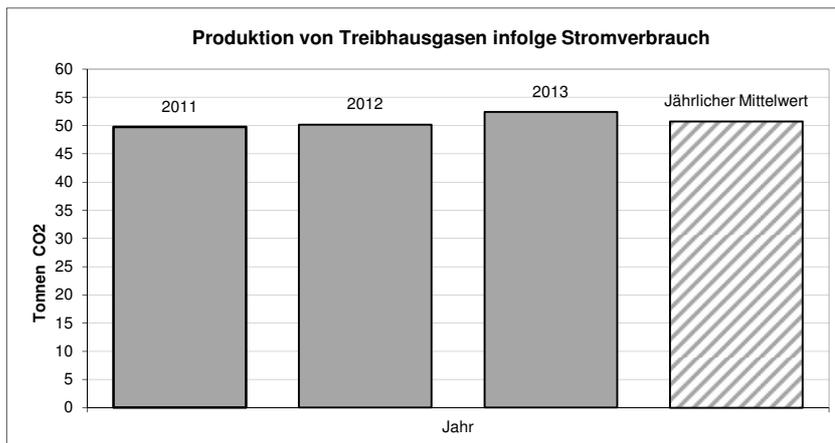


Abbildung 4: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalent) infolge Stromverbrauch³

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 Realschulen und Turnhallen (1000-2000m²) entsprechend den Flächenanteilen der zwei Gebäude gemittelt. Abbildung 5 verdeutlicht die Relationen grafisch.

Tabelle 1: Kennwertevergleich für den witterungsbereinigten Erdgasverbrauch und den Stromverbrauch der Hans-Grade-Schule

		ages - Arithm. Mittel	ages - Arithm. Mittel des besten Viertels
Heizenergieverbrauch - kWh/(m ² BGFa)*	127,7	113,0	68,0
Treibhausgasemissionen - kg/(m ² BGFa)	28,1	24,9	15,0
Stromverbrauch - kWh/(m ² BGFa)	15,3	15,0	8,0
Treibhausgasemissionen - kg/(m ² BGFa)	9,2	9,0	4,8

* 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.

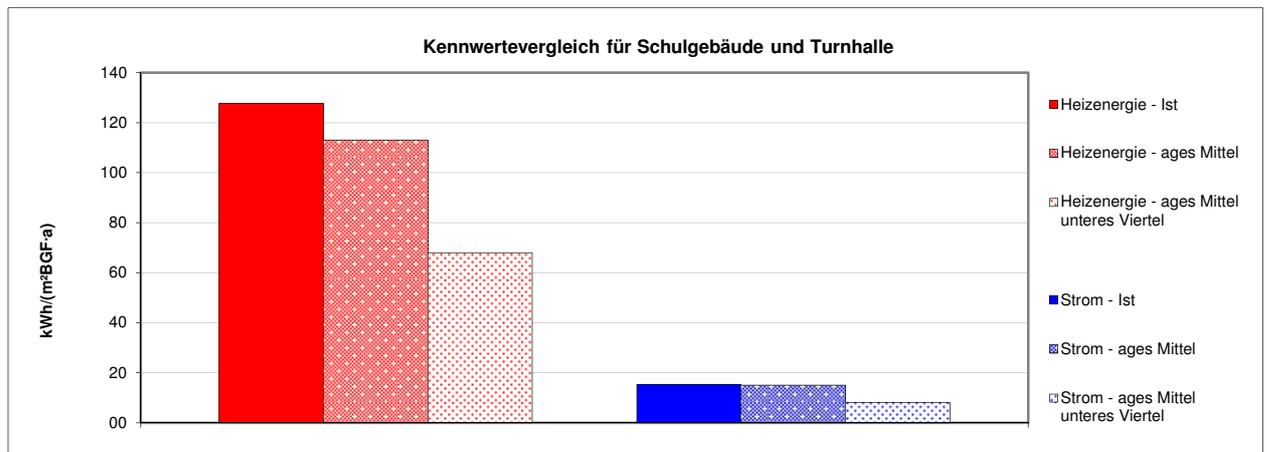


Abbildung 5: Kennwertevergleich

Der Komplex aus Schulgebäude und Turnhalle verbraucht demnach etwas mehr Heizenergie als von ages GmbH für deutsche Realschulen und Turnhallen im Mittel 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.

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.

Da die vorliegenden Verbrauchsdaten 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.

Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Turnhalle einen großen Einfluss auf diesen hohen Verbrauch hat. Die Gebäudehülle des Schulgebäudes wurde in den letzten Jahren bereits saniert. Im Zuge dieser Sanierungen wurden die Fenster und Eingangstüren erneuert und ein Wärmedämmverbundsystem aufgebracht. Demnach wäre für das Schulgebäude ein niedrigerer Wert zu erwarten.

Auch der mittlere jährliche Stromverbrauch des Schulgebäudes und der Turnhalle der Hans-Grad-Schule liegt knapp oberhalb des von ages GmbH für deutsche Realschulen und Turnhallen (1000-2000 m²) im Mittel erfassten Stromverbrauchs und deutlich oberhalb des Mittelwerts des besten Viertels. Auch hier ist keine aussagekräftige Analyse des Kennwertevergleichs möglich, da sich die vorliegenden Verbrauchsdaten auch auf die Turnhalle beziehen. Da die Beleuchtungsanlage des Schulgebäudes in den letzten Jahren nicht erneuert wurde, besteht für dieses ein enormes Einsparpotenzial.

3. Bewertung des Ist-Zustandes des Gebäudes

3.1 Fotodokumentation



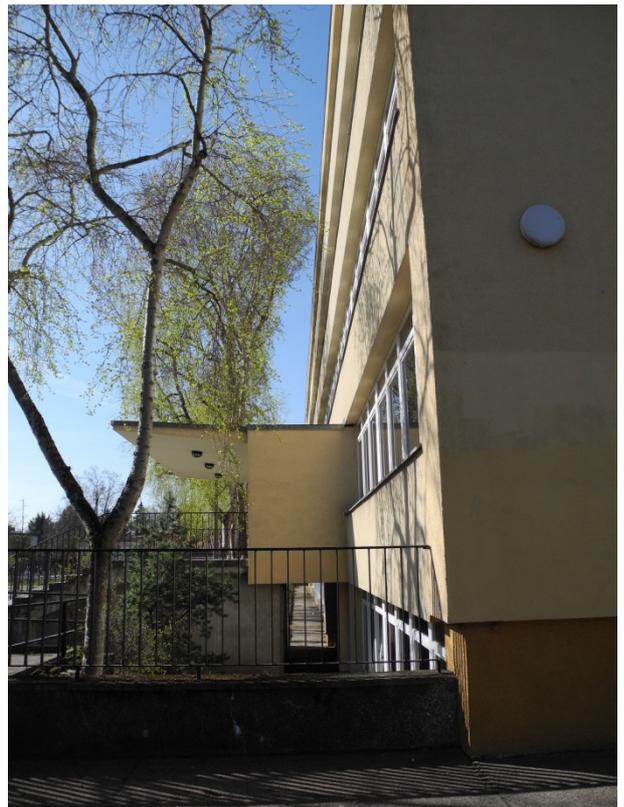
Süd-Ost-Ansicht (Hofseite)



Nord-West-Ansicht (Straßenseite)



Nord-Ost-Ansicht



Süd-West-Ansicht



Algenbewuchs an WDVS Fassade



Beispiel Farbabplatzungen Fassade



Beispiel Zustand Fenster Nord-West Seite



Alte Treppenhausfenster



Risse im Innenputz



Elektrisch beheizter Kleinspeicher, Hausmeisterbüro



Buderus Brennwertkessel



Brennwertkessel mit Druckausgleichsbehältern



Verteilerstation der Heizungsanlage



Warmwasserspeicher

3.2 Vorbemerkungen und Hinweise

Nach Aussage des Hausmeisters sind zwei Anbauten an das Schulgebäude der Hans-Grade-Schule geplant. Die Umbaumaßnahmen sollen 2014 oder 2015 beginnen. Im Zuge dieser Sanierung soll auch die Heizungsanlage erneuert werden. Dafür sollen bereits Angebote zu einem Wechsel des Energieträgers von Erdgas zu Fernwärme eingeholt worden sein. Genauere Informationen zu den geplanten Baumaßnahmen liegen jedoch nicht vor.

3.3 Gebäudehülle

3.3.1 Vorbemerkung

Die Hans-Grade-Schule wurde 1976 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 Standard von 1976 entspricht. Gemäß [1] ist demnach für die Bodenplatte von einem U-Wert von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 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 $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ anzusetzen. Auch für die Kellerdecke 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 nach dem Standard von 1976 errichtete Außenwände ein U-Wert von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Die Außenwände des Erdgeschosses und der Obergeschosse wurden ca. im Jahr 2000 / 2001 zusätzlich mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt. Über die genaue Dicke oder die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung konnte der Hausmeister keine Aussagen machen. Die an den Stirnseiten gemessene Dicke beträgt 8 cm inklusive Putz. Da die Wärmeleitfähigkeit nicht bekannt ist, wird ein für das Sanierungsjahr üblicher Wert von $0,040 \text{ W}/(\text{mK})$ und eine Dicke der Dämmung von 6 cm angesetzt. Der U-Wert der gedämmten Wand beträgt demnach $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Wände des unbeheizten Windfangs auf der Straßenseite wurden nicht gedämmt.

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.

Der bauliche Zustand der Außenwände ist größtenteils als gut zu bewerten. An der Nord-Ost Seite der gedämmten Außenwand hat sich jedoch in den letzten Jahren ein Algenbewuchs gebildet und im ungedämmten Sockelbereich sind Risse und Farbabplatzungen vorzufinden.

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 den Jahren 1998 und 2000 wurden fast die gesamten Fenster der Hans-Grade-Schule erneuert.

Im Jahr 1998 wurden die kleinen Fenster auf der Nord-Westseite der Schule durch 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit Metallrahmen ausgetauscht. Das Fensterglas hat einen U_g -Wert von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Da der U-Wert und der prozentuale Anteil des Fensterrahmens nicht bekannt sind, wird vereinfacht gemäß [1] ein U-Wert von $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.

Die übrigen Fenster des Schulgebäudes wurden im Jahr 2000 durch 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit Holzrahmen ersetzt. Gemäß [1] wird für diese Fenster ein U-Wert von $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Auf der Süd-Ost Seite wurden die Fensterrahmen im Jahr 2012 bereits aufgearbeitet. Auf der Nord-West Seite weisen die Holzrahmen zum Teil Farbabplatzungen auf. Der Schutzanstrich dieser Fensterrahmen sollte erneuert werden.

Der wärmetechnische Zustand der erneuerten Fenster ist gut, erreicht jedoch nicht ganz den heutigen Standard.

Nur in einem unbeheizten Kellerraum und im dritten Obergeschoss des Treppenhauses sind noch kleine 1-fach verglaste Fenster mit Metallrahmen verbaut, die laut Aussage des Hausmeisters nicht mehr dicht schließen. Gemäß [1] ist für diese Fenster ein U-Wert von $5,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ anzusetzen. Der wärmetechnische Zustand dieser Fenster liegt demnach deutlich über dem heutigen Standard.

An keinem Fenster der Schule ist ein außenseitiger Sonnenschutz angebracht. Dies führt dazu, dass sich laut Aussage des Hausmeisters gerade die Klassenräume in den oberen Stockwerken im Sommer stark erhitzen. Um die solaren Einträge zu reduzieren wird daher empfohlen einen Sonnenschutz nachzurüsten.

3.3.7 Außentüren

Die Haupteingangstüren zum Windfang auf der Hofseite des Schulgebäudes wurden im Jahr 2003 durch Metalltüren mit einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ersetzt. Da die Windfänge nicht beheizt sind, werden sie nicht zum beheizten Volumen des Schulgebäudes gezählt. Die innenliegenden Türen zum Windfang sind noch aus DDR-Zeiten. Es handelt sich bei ihnen um Metalltüren mit 1-fach Verglasung. Bei den Notausgangstüren handelt es sich ebenfalls um Metalltüren. Für die Türen wird gemäß [1] ein U-Wert von $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen. Die Wärmeschutzqualität der Türen ist demnach schlechter als die heutigen Anforderungen.

3.3.8 Dach

Das Dach der Hans-Grade-Schule wurde nach Aussage des Hausmeisters nicht saniert. Gemäß [1] liegt der U-Wert für ein nach dem Standard von 1976 erbautes Dach demnach bei $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Da keine gegenteiligen Informationen über eine Sanierung vorliegen, wird dieser U-Wert in der Betrachtung angesetzt. Ein gewisser Wärmeschutz ist damit bereits vorhanden, die heutigen Anforderungen sind jedoch höher.

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. Ende der 90er Jahre wurden die Fenster erneuert und die Außenwände mit einem Wärmedämmverbundsystem energetisch ertüchtigt, der heutige Standard wird durch die Sanierungsmaßnahmen jedoch nicht erreicht. Es besteht daher noch ein Energieeinsparungspotential. Viel Wärme geht aufgrund der großen Flächenanteile über die 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.

3.4 Technische Anlagen

3.4.1 Bestandsaufnahme

Das Schulgebäude und die Turnhalle der Hans-Grade-Schule werden über zwei Gas-Brennwertkessel beheizt. Auch die Warmwasserbereitung erfolgt mittels Erdgas. Im Schulgebäude gibt es zusätzlich noch eine dezentrale Warmwasserbereitung über elektrisch beheizte Kleinspeicher in der Teeküche, dem Büro des Hausmeisters und im Unterrichtsraum des Fachbereichs Chemie.

Die beiden Brennwertkessel Buderus SB 715 stammen aus dem Jahr 1992. Sie sind nach Aussagen des Hausmeisters bivalent-parallel geschaltet. Nachträglich wurden nur die Leitungen der Heizungsanlage gedämmt. Die Umwälzpumpen der Firma Wilo stammen ebenfalls aus dem Jahr 1992 und sind nicht leistungsgeregelt.

Die Wärmeübergabe an die Räume erfolgt durch überwiegend an den Außenwänden angeordnete Gliederheizkörper. In einem Großteil der Unterrichtsräume sind die vorhandenen Thermostatventile voreingestellt und erlauben keine manuelle Regulierung durch die Nutzer. Die Temperatur wird automatisch über Außentemperaturfühler geregelt. Wenn die Temperaturen für die Schüler und Lehrer nicht angenehm sind, stellt der Hausmeister die Anlage manuell um. Ein Abdrehen der Heizkörper im Fall von Fensterlüftung ist für die Lehrer nicht möglich, wodurch unnötig Heizenergie verloren geht.

Für die Warmwasserversorgung steht ein Warmwasserspeicher im Keller des Schulgebäudes zur Verfügung. Der Warmwasserspeicher wird indirekt über die Brennwertkessel beheizt und wurde in den letzten Jahren nachträglich gedämmt. Die Cafeteria und die Lehrküche werden über dieses Speicherladesystem mit Zirkulation mit Warmwasser versorgt. Das Warmwasser der Teeküche, eines Unterrichtsraumes des Fachbereiches Chemie und das Büro des Hausmeisters werden dezentral über elektrisch beheizte Kleinspeicher mit Warmwasser versorgt.

Die Beleuchtungsanlage der Schule besteht zum großen Teil aus Deckenleuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen, die mit verlustarmen oder konventionellen Vorschaltgeräten ausgestattet sind. In den Jahren 1998 bis 2000 wurden bei zwei Flurlampen Präsenzmelder nachgerüstet. Die Außenbeleuchtung wird über Dämmerungsschalter gesteuert. Die Sanitärräume der Hans-Grade-Schule wurden im Jahr 1996 und 1997 saniert. Im Zuge der Sanierung wurde auch die Beleuchtung erneuert.

Eine Klimaanlage ist in der Hans-Grade-Schule nicht installiert. In der Teeküche und teilweise auch in den Sanitärräumen sind Abluftventilatoren eingebaut.

3.4.2 Energetische Beurteilung der technischen Anlagen

Insgesamt sind die haustechnischen Anlagen funktionstüchtig. Da die Brennwertkessel nach VDI 2067 [8] bereits ihre durchschnittlichen Lebensdauern erreicht haben, ist in naher Zukunft mit Erneuerungsinvestitionen zu rechnen.

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

Die Beleuchtungsanlage des Schulgebäudes ist laut Aussage des Hausmeisters kaum erneuert worden und verfügt nicht über die mögliche Energieeffizienz. Eine Modernisierung ist daher empfehlenswert.

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	Brennwertkessel, Energieträger Erdgas
Warmwasserbedarf	33,5 MWh/a ⁵

Ein Bedarfs- / Verbrauchsabgleich zur Validierung bzw. Kalibrierung der Eingabewerte konnte nicht mit ausreichender Genauigkeit durchgeführt werden, da sich der abgerechnete Erdgasverbrauch neben dem untersuchten Schulgebäude auch auf die Turnhalle 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-Abgleichs⁶

Berechneter Endenergiebedarf Erdgas MWh/a	356,7
Witterungskorrig. Erdgasverbrauch MWh/a (Wert f. Schulgebäude+Turnhalle)	636,7

⁵ Berechnung mit Hilfe des Ansatzes nach DIN V 18599-10:2011-12 Tab.7 für Schulen ohne Dusche, Schüleranzahl entsprechend Berliner Schulführer von 2010

⁶ 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.

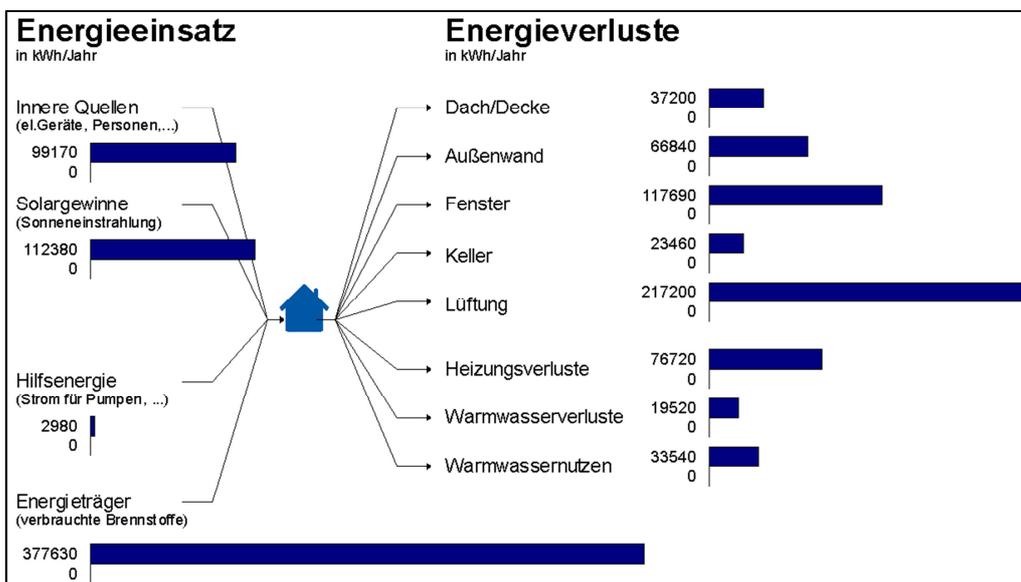


Abbildung 6: Energieeinsatz und -verluste für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Hans-Grade Schule

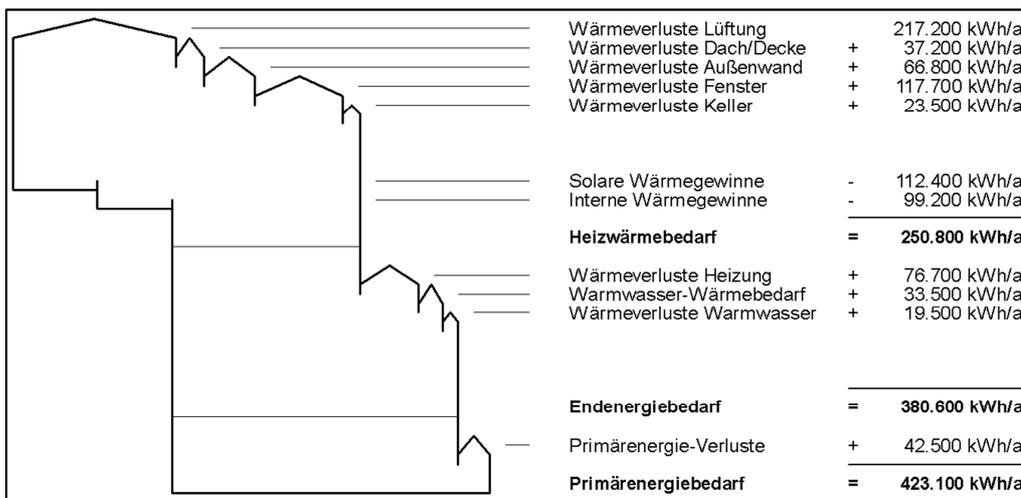


Abbildung 7: Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes der Hans-Grade Schule

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.⁷ Alle drei verglichenen Werte beziehen sich auf die rechnerische Energiebezugsfläche des Gebäudes.

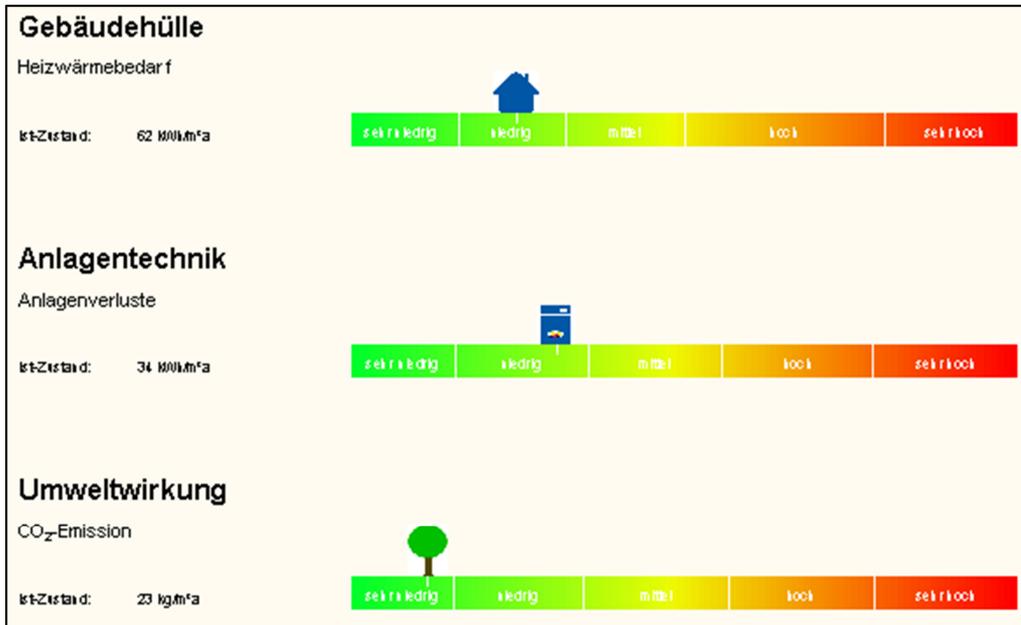


Abbildung 8: Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes der Hans-Grade Schule

In der Einstufung des Heizwärmebedarfs im niedrigen Bereich spiegelt sich die Tatsache wieder, dass in den letzten Jahren bereits energetische Sanierungen an der Gebäudehülle durchgeführt wurden. Es zeigt sich dennoch ein Sanierungspotenzial.

Entsprechend der Ausstattung der Heizungsanlage um die Brennwertkessel werden die Anlagenverluste im unteren niedrigen Bereich eingestuft. Ein Sanierungspotenzial ist auch hier noch vorhanden.

Die Umweltwirkung des Gebäudes wird im Hinblick auf seine Treibhausgasemissionen resultierend aus dem Energieverbrauch und Emissionsfaktor als sehr niedrig eingestuft. Auch hier gibt es noch ein Einsparpotenzial.

⁷ 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 und ihres Angrenzens an das Erdreich 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 ist 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 sehr geringen Flächenanteils der Decken der übrigen unbeheizten Räume, wird auch in diesen Bereichen keine unterseitige Dämmung der Kellerdecke empfohlen.

→ **Sanierung derzeit nicht empfohlen**

4.2.3 Außenwände

Die Außenwandelemente wurden bei der Erstellung bereits mit einem gewissen Wärmeschutz versehen und im Jahr 2000 zusätzlich mit einem dünnen Wärmedämmverbundsystem gedämmt. Aus diesem Grund sind ihre wärmetechnischen Eigenschaften deutlich besser als bei ungedämmten Wänden. Eine energetische Sanierung der Außenwände wird deshalb derzeit nicht empfohlen.

→ **Sanierung derzeit nicht empfohlen**

4.2.4 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 Innenwände zum Heizungskeller nicht erforderlich. Auch über die sehr geringe Fläche der Innenwände zu den unbeheizten Lagerräumen im Keller geht nur wenig Heizenergie verloren. Aus diesem Grund wird eine Sanierung der Innenwände im Keller derzeit nicht empfohlen. Da der Windfang unbeheizt ist, wird empfohlen im Zuge der Erneuerung der Eingangstüren des Windfangs 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**

4.2.5 Fenster und Sonnenschutz

Die gesamten Fenster des Erdgeschosses und der Obergeschosse wurden in den Jahren 1998 und 2000 erneuert und gegen 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit Holzrahmen oder Metallrahmen ersetzt. Auch die Kellerfenster wurden bereits erneuert. Eine Sanierung dieser Fenster ist derzeit folglich nicht erforderlich. Es wird jedoch empfohlen die kleinen nicht mehr dicht schließenden 1-fach verglasten Fenster mit Metallrahmen im Treppenhaus zu erneuern.

Um die solaren Einträge in die Unterrichtsräume wirksam zu reduzieren, ist ein außenliegender Sonnenschutz an allen rückseitigen Fenstern vorzusehen. 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 eingeschränkt empfohlen**

4.2.6 Außentüren

Aufgrund ihrer anteilig sehr geringen Fläche geht über die Außentüren nur ein geringer Wärmeanteil verloren. Der Einspareffekt für Energie und Treibhausgasemissionen infolge Austausch der Türen ist demnach ebenfalls relativ gering. Um das vorhandene Einsparpotential dennoch zu nutzen und um den Aufenthaltskomfort in den Eingangsbereichen im Winter zu erhöhen, wird trotzdem empfohlen die Eingangstüren durch selbsttätig schließende Türen mit einem U-Wert kleiner oder gleich $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu ersetzen.

→ **Sanierung empfohlen**

4.2.7 Dach

Da beim Bau des Schulgebäudes bereits ein gewisser Wärmeschutz eingehalten wurde, geht aufgrund der anzunehmenden Dämmung über das Dach ein relativ geringer Wärmeanteil verloren, der jedoch durch eine zusätzliche Wärmedämmung weiter reduziert werden kann. Da keine Informationen darüber vorliegen, dass das Dach seit Bestehen des Schulgebäudes nachträglich gedämmt wurde, wird davon ausgegangen, dass es noch dem wärmetechnischen Standard von 1976 entspricht. Diese Annahme sollte vor einer Sanierung dringend überprüft werden. Es wird angenommen, dass die alte Wärmedämmung noch intakt ist und der U-Wert des Flachdaches $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ beträgt. Um die Anforderung für die Sanierung von Flachdächern der KfW zu erfüllen, wären 20 cm einer 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 erforderlich. Der Heizungskessel und die Heizungspumpen haben ihre mittleren Lebensdauern nach VDI 2067 [8] erreicht. Damit stehen in naher Zukunft umfangreiche Erneuerungsinvestitionen an. Im Zuge der Erneuerung sind die Brennwertkessel bei Beibehaltung des Energieträgers durch neue energieeffizientere Brennwertkessel zu ersetzen. Für die Pumpen sollten jeweils Hocheffizienzgeräte verwendet werden. 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. Um die erforderliche Leistung der neuen Heizungsanlage genau ermitteln zu können, sollte vor der Sanierung geklärt werden ob und wenn ja in welcher Form der geplante Anbau an das Schulgebäude realisiert wird.

Vor der Planung und Durchführung von Erneuerungsinvestitionen sollte darüber hinaus geprüft werden, ob die Warmwasserbereitung im Speicherladeprinzip beibehalten werden soll oder eine komplette Umstellung auf ein dezentrales elektrisches System erfolgen soll, 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 im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen empfohlen**

4.3.2 Beleuchtung

Es wird empfohlen die alte Beleuchtung zu modernisieren und die Leuchten gegen moderne Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) oder Beleuchtungskörper mit LED-Technik auszutauschen.

In Unterrichtsräumen sollten die Lampenreihen einzeln schaltbar sein und über eine tageslichtabhängige Regelung verfügen, die das Kunstlicht bei ausreichendem Tageslichtangebot komplett abschaltet. (Wenn das Tageslichtangebot nicht mehr ausreicht, muss die Beleuchtung manuell wieder eingeschaltet werden.) Dieses System ist energieeffizient und laut [16] auch wirtschaftlich. In den Fluren wird empfohlen, eine präsenzabhängige Steuerung zu installieren.

→ **Sanierung im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen empfohlen**

4.3.3 Energieträger

Da aktuell der fossile Energieträger Erdgas verwendet wird, wäre der Anschluss des Schulgebäudes und die ebenfalls über die Heizungsanlage mit Wärme versorgt werdende Turnhalle an das in der Nähe anliegende Fernwärmenetz der BTB Blockheizkraftwerks- Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin sinnvoll, da diese 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 beider Gebäude an das Fernwärmenetz möglich ist, müsste in einem weiteren Schritt mit dem Versorger geklärt werden.

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.

Weiterhin könnten die Dachflächen für Solarthermiemodule zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Hierfür wäre vorab eine gründliche Warmwasserbedarfsanalyse erforderlich.

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 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 W/(m²K)		
Dämmung der Innenwände	Montage einer 13 cm Dämmung der WLG 035 auf der unbeheizten Seite der Innenwände	Einzelpreis:	49 €/m²
	inkl. Beschichtung der Dämmung z.B. durch Armierung und Anstrich	Fläche:	30 m²
	Gesamtpreis:		1.470 €
	U-Wert des sanierten Bauteils: U = 0,25 W/(m²K)		
Dämmung des Daches	Dachdämmung (20 cm, WLG 035) und Erneuerung der Dachhaut	Einzelpreis:	98 €/m²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlegen der Dämmschicht 	Fläche	770 m²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erstellen der neuen Dachhaut einschließlich aller Anschlüsse/Durchführungen 	Gesamtpreis:	75.460 €
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ggf. Anpassung der Dachkonstruktion zur Aufnahme des Dämmaterials 		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De- und (Wieder-) Montage von dachmontierten Elementen 		
	Errichtung und Vorhaltung Baugerüst (für ca. 10 Wochen)	Einzelpreis:	9 €/m²
		Fläche:	150 m²
Gesamtpreis:		1.350 €	
U-Wert des sanierten Bauteils: U = 0,14 W/(m²K)			
Erneuerung der Heizungsanlage	Austausch des Brennwertkessels gegen einen neuen Brennwertkessel, Erneuerung der Pumpen sowie Durchführung weiterer Anpassungsmaßnahmen einschließlich eines hydraulischen Abgleichs	Gesamtpreis:	Sowiesokosten

Tabelle 5: Überblick über mögliche Sanierungsvarianten

Sanierungsmaßnahmen		Schätzung der energetisch bedingten Investitionskosten (netto)	
Variante 1	Austausch der alten Eingangstüren	Türen:	13.350 €
	Dämmung der Innenwände	Innenwände:	1.470 €
	Dachdämmung	Dach:	76.810 €
			91.630 €
Variante 2	wie Variante 1	Variante 1:	91.630 €
	zusätzlich Modernisierung der technischen Anlagen im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen	Anlagen:	-
			91.630 €

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, um die Ergebnisse mit den übrigen 41 untersuchten Liegenschaften vergleichen zu können. Die Lebensdauern der Dämmung des Daches und der Innenwände werden gemäß [3] eigentlich mit mehr als 50 Jahren veranschlagt. Nach 50 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 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.⁸ 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.⁹

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.¹⁰

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 9 dokumentiert die mit der jeweiligen Sanierungsvariante erzielbaren Einsparungen anschaulich.

Tabelle 6: Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Betrachtungszeitraum (lebensdauerbasiert):	40 Jahre	Teuerungsrate Energiepreise:	4%
rechnerische Energiekosten (Ist-Zustand) brutto:	24.921 €	Kalkulationszinssatz:	0%

⁸ In der verwendeten Berechnungssoftware ist für den Kalkulationszinssatz stets ein Wert > 0 einzugeben, so dass rechnerisch der kleinstmögliche Zinssatz von 0,01% verwendet wird.

⁹ Der aktuelle effektive Jahreszins für das Programm 218 der KfW beträgt 0,1%.

¹⁰ Erdgas: 5,79 ct/kWh, Strom: 21,8 ct/kWh, jeweils brutto. Der Grundpreis wurde hierbei vereinfacht mit auf die verbrauchten Kilowattstunden umgelegt.

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	109.040	23.177	172.240	63.200	4.306	238	1.580	4.057	32
2	109.040	21.538	334.120	225.080	8.353	461	3.064	2.112	21

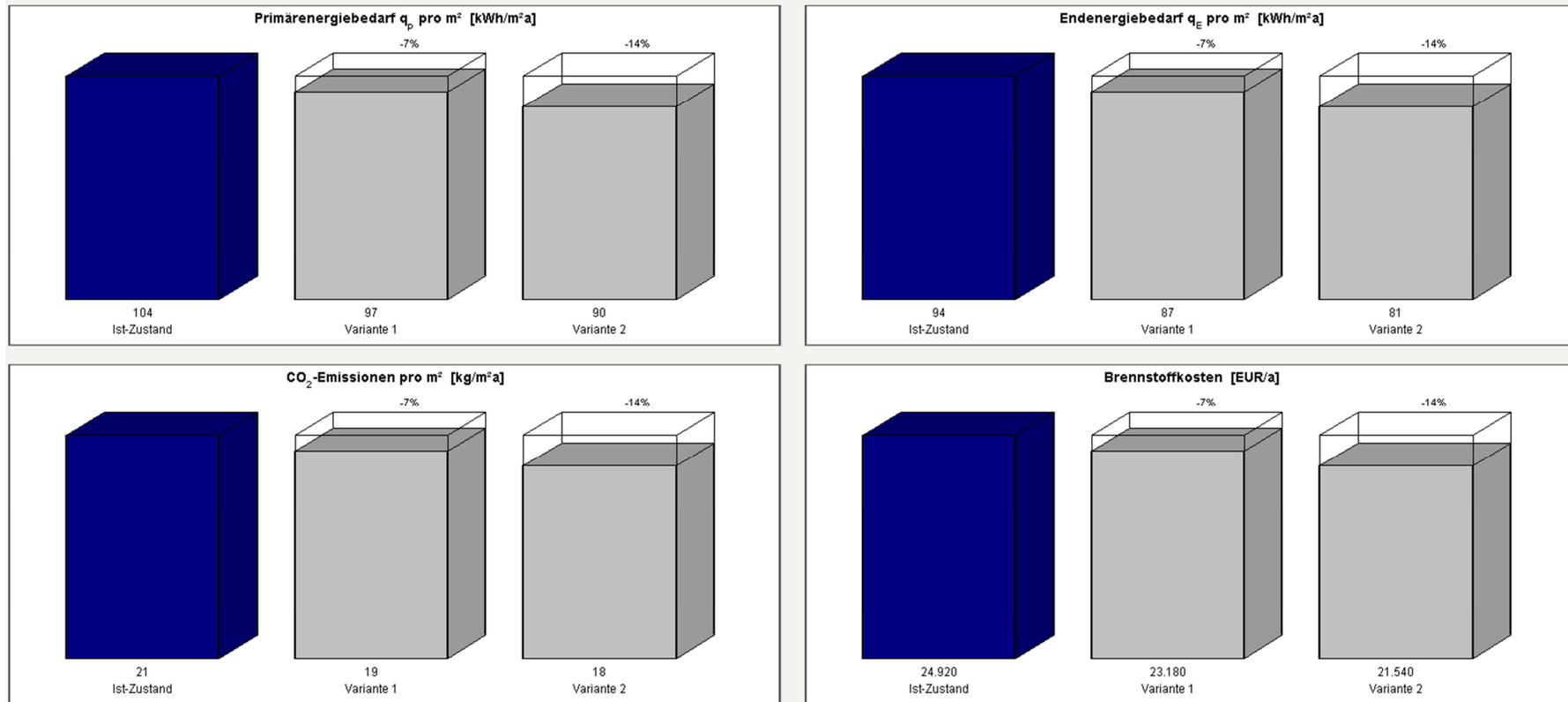


Abbildung 9: Variantenvergleich hinsichtlich der jährlich erzielbaren Energie-, CO₂- und Brennstoffkostenreduktionen

4.7 Sanierungsempfehlungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, dass sich die Maßnahmenvariante 1 etwa zu dem Zeitpunkt amortisiert hat, zu dem die sanierten Bauteile ca. 80 Prozent einer Lebensdauer von 40 Jahren erreicht haben. Aufgrund der Amortisation der Maßnahmen innerhalb der Nutzungsdauer der Sanierungselemente weist die Variante eine positive Annuität und einen positiven internen Zinssatz aus. Da bald Erneuerungen an der Heizungsanlage anstehen, werden die möglichen Einsparungen durch eine neue Anlage in Variante 2 betrachtet. Die Kosten werden als Sowieso-Kosten angesetzt. Die Variante 2 amortisiert sich etwa zu dem Zeitpunkt, zu dem die sanierten Bauteile ca. die Hälfte einer Lebensdauer von 40 Jahren erreicht haben. Aufgrund der Amortisation der Maßnahmen innerhalb der Nutzungsdauer der Sanierungselemente weist auch diese Variante 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.

Da bald Sanierungen an der Heizungsanlage anstehen 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 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