

BEZIRKSAMT TREPTOW-KÖPENICK VON BERLIN

KLIMASCHUTZ-TEILKONZEPT FÜR 42 LIEGENSCHAFTEN

SCHULE AN DEN PÜTTBERGEN, FÜRSTENWALDER ALLEE 182

Berlin, den 20. Oktober 2014
BN00149.102

CSD INGENIEURE GmbH

Köpenicker Straße 154a, Aufgang D
D-10997 Berlin

t +49 30 69 81 42 78

f +49 30 65 81 42 77

e berlin@csdingenieure.de

www.csdingenieure.de

INHALTSVERZEICHNIS

1.	AUFGABENSTELLUNG	5
2.	BASISDATEN DER SCHULE AN DEN PÜTTBERGEN	6
2.1	Objektbeschreibung	6
2.2	Energieverbrauch und Energiekennzahlen des Gebäudes	7
2.2.1	Wärme	7
2.2.2	Strom	8
2.2.3	Energiekennzahlen des Gebäudes	9
3.	GEBÄUDEBEWERTUNG	11
3.1	Fotodokumentation	11
3.2	Vorbemerkungen und Hinweise	13
3.3	Gebäudehülle	13
3.3.1	Vorbemerkungen	13
3.3.2	Bodenplatte des Erdgeschosses	13
3.3.3	Decke über unbeheizten Kellerräumen	13
3.3.4	Außenwände	13
3.3.5	Fenster	13
3.3.6	Außentüren	14
3.3.7	Decke gegen unbeheiztes Dachgeschoss	14
3.3.8	Abseitenwände	14
3.3.9	Gesamteinschätzung Gebäudehülle	14
3.4	Technische Anlagen	15
3.4.1	Bestandsaufnahme	15
3.4.2	Energetische Beurteilung der technischen Anlagen	15
3.5	Heizwärmebedarf des Gebäudes und Bedarfs-/Verbrauchsabgleich	15
3.6	Energiebilanz und Bewertung des Bestandsgebäudes	16
4.	ENERGIESPARMAßNAHMEN UND SANIERUNGSOPTIONEN	18
4.1	Grundlegendes	18
4.2	Sanierung der Gebäudehülle	19
4.2.1	Bodenplatte	19
4.2.2	Außenwände	19
4.2.3	Abseitenwände	20
4.2.4	Fenster und Sonnenschutz	20
4.2.5	Außentüren	20
4.2.6	Oberste Geschossdecke	20
4.3	Sanierung der technischen Anlagen	21
4.3.1	Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage	21
4.3.2	Beleuchtung	21
4.3.3	Energieträger	21
4.4	Schätzung der Investitionskosten	22

4.5	Nicht und minimal investive Energiesparmaßnahmen	24
4.6	Bewertung der möglichen Sanierungsvarianten	24
4.7	Sanierungsempfehlungen	28

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Kennwertevergleich für den witterungsbereinigten Fernwärmeverbrauch und den Stromverbrauch der Püttbergen-Grundschule	9
Tabelle 2:	Gebäudeparameter für die Bedarfsberechnung	16
Tabelle 3:	Ergebnis des Bedarfs-/Verbrauchsabgleichs	16
Tabelle 4:	Sanierungsmaßnahmen Gebäudehülle	22
Tabelle 5:	Überblick über mögliche Sanierungsvarianten	23
Tabelle 6:	Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	25
Tabelle 7:	Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für Maßnahmenvarianten (alle Kostenangaben inklusive Mehrwertsteuer)	26

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Wärmeverbrauch der Grundschule in den Jahren 2011 bis 2013	7
Abbildung 2:	Produzierte Treibhausgasemissionen (CO ₂) infolge Fernwärmeverbrauch	7
Abbildung 3:	Stromverbrauch der Grundschule 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	17
Abbildung 7:	Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes	17
Abbildung 8:	Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes (bei Ansatz der Standard-Innentemperatur von 19°C)	18
Abbildung 9:	Variantenvergleich hinsichtlich der jährlich erzielbaren Energie-, CO ₂ - und Brennstoffkostenreduktionen	27

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, Modernisierungslitfadens, 1999
- [16] BINE Informationsdienst: themeninfo I/06, Gebäude sanieren – Schulen
- [17] Plötz Schulführer Berlin 2010, Deutsche Informationsbörse AG, Berlin 2009
- [18] Umweltamt Steglitz-Zehlendorf, Sanierung von alten Kastendoppelfenstern auf Neubaustandard, Februar 2011

PRÄAMBEL

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

CSD geht davon aus, dass

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

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

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

1. Aufgabenstellung

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

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

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

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

2. Basisdaten der Schule an den Püttbergen

2.1 Objektbeschreibung

Bezeichnung des Objekts: Hauptgebäude der Schule an den Püttbergen

Foto des Objekts:



Standort: Fürstenwalder Allee 182, 12589 Berlin

Nutzung: Grundschule

Gebäudeart: Freistehendes Nichtwohngebäude
Untergeschoss und sowie nicht ausgebautes Dachgeschoss nicht beheizt
Erdgeschoss und 1. und 2. Obergeschoss sowie Zwischengeschoss vollständig beheizt

Bruttogrundfläche: 9:087 m²

Baujahr: 1929

Sanierung Gebäude: 1995 teilweiser Austausch der Fenster sowie der Beleuchtung
2009 teilweiser Austausch der Fenster
2012 teilweiser Austausch der Fenster

Sanierung Heizungsanlage: 1993 neue Erdgasheizungsanlage
2012 neue Heizkessel, Leitungsdämmung, Pumpenaustausch

Heizenergieerzeugung: Zwei Erdgas-Brennwertkessel

Warmwasserbereitung: Indirekt beheizter Warmwasserspeicher mit Zirkulation, Energieträger Erdgas

Lüftung: Fensterlüftung, Turnhalle Abluftanlage

Bestandsunterlagen: Aktuelle Grundrisse

Datum Objektbegehung: 18.02.2014

2.2 Energieverbrauch und Energiekennzahlen des Gebäudes

2.2.1 Wärme

Die Schule an den Püttbergen wird von einer Erdgasheizung mit Wärme versorgt. Bis auf den Keller und die beiden Dachgeschosebenen wird das gesamte Gebäude beheizt. Im folgenden Diagramm ist daher der Wärmeverbrauch für das Gebäude für die Jahre 2011-2013 angegeben. Der deutlich geringere Verbrauch des Jahres 2013 gegenüber den beiden vorherigen Jahren lässt sich mit den im Jahr 2012 durchgeführten Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und Heizungsanlage erklären..

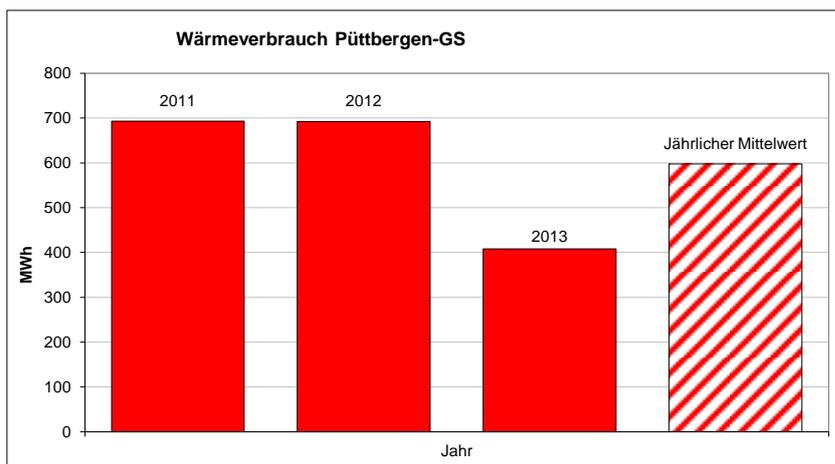


Abbildung 1: Wärmeverbrauch der Grundschule in den Jahren 2011 bis 2013

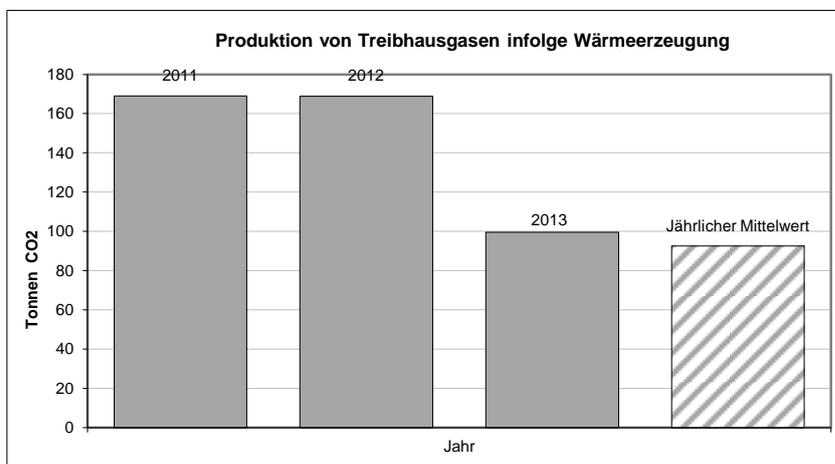


Abbildung 2: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂) infolge Wärmeverbrauch¹

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

2.2.2 Strom

Für die Jahre 2011-2013 wurden die nachstehend dargestellten Stromverbräuche abgerechnet. Abbildung 4 zeigt die infolge der Stromherstellung produzierten Treibhausgasemissionen.

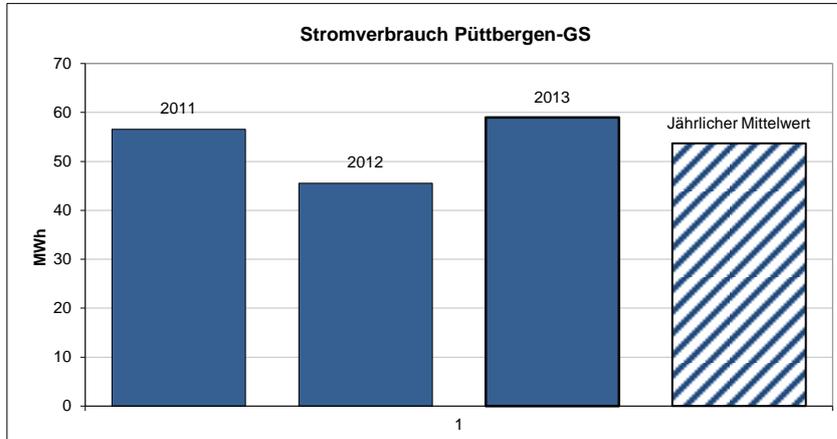


Abbildung 3: Stromverbrauch der Grundschule in den Jahren 2011 bis 2013

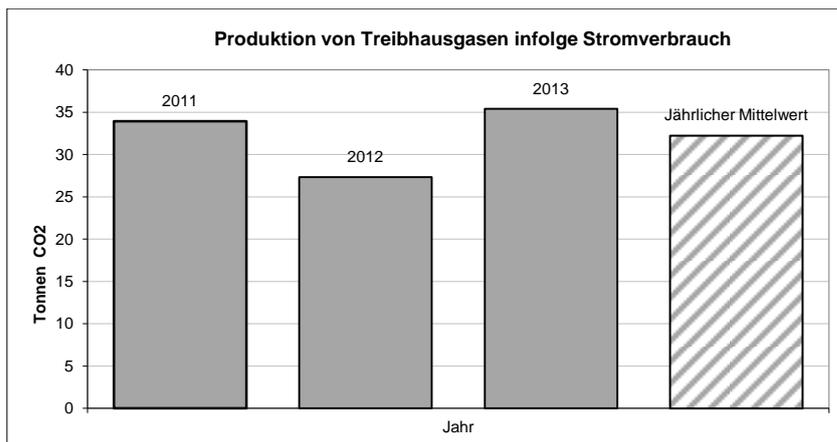


Abbildung 4: Produzierte Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalent) infolge Stromverbrauch²

² Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgte mittels des mittleren GEMIS-Emissionsfaktors für den deutschen Strommix i.H.v. 600 g/kWh, der von den Energiebeauftragten der Berliner Bezirke einheitlich verwendet wird.

2.2.3 Energiekennzahlen des Gebäudes

Eine Beurteilung der Energieverbräuche der Liegenschaft ist durch einen Vergleich mit den entsprechenden Verbräuchen des deutschen Gebäudebestands möglich. Hierfür hat die ages GmbH für verschiedene Gebäudenutzungskategorien Heizenergie- und Stromverbrauchswerte erfasst und die Mittelwerte sowie die Mittelwerte des Viertels mit dem geringsten Verbrauch bezogen auf die Bruttogrundfläche des jeweiligen Gebäudes berechnet und veröffentlicht.³ In der folgenden Tabelle sind die vorhandenen Verbrauchswerte den entsprechenden Vergleichswerten für Grundschulen mit Turnhallen gegenübergestellt. Abbildung 5 verdeutlicht die Relationen grafisch. Aufgrund des systembedingten Rückgangs des Wärmeverbrauchs im Jahr 2013 wird nur dieser Wert und nicht der Mittelwert der letzten 3 Jahre im Wärmevergleich berücksichtigt.

Tabelle 1: Kennwertevergleich für den witterungsbereinigten Fernwärmeverbrauch und den Stromverbrauch der Püttbergen-Grundschule

		ages - Arithm. Mittel	ages - Arithm. Mittel des besten Viertels
Heizenergieverbrauch - kWh/(m ² _{BGFa})*	47,0	119,0	68,0
Treibhausgasemissionen - kg/(m ² _{BGFa})*	7,3	18,4	10,5
Stromverbrauch - kWh/(m ² _{BGFa})	6,5	10,0	6,0
Treibhausgasemissionen - kg/(m ² _{BGFa})	3,9	6,0	3,6

* 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.

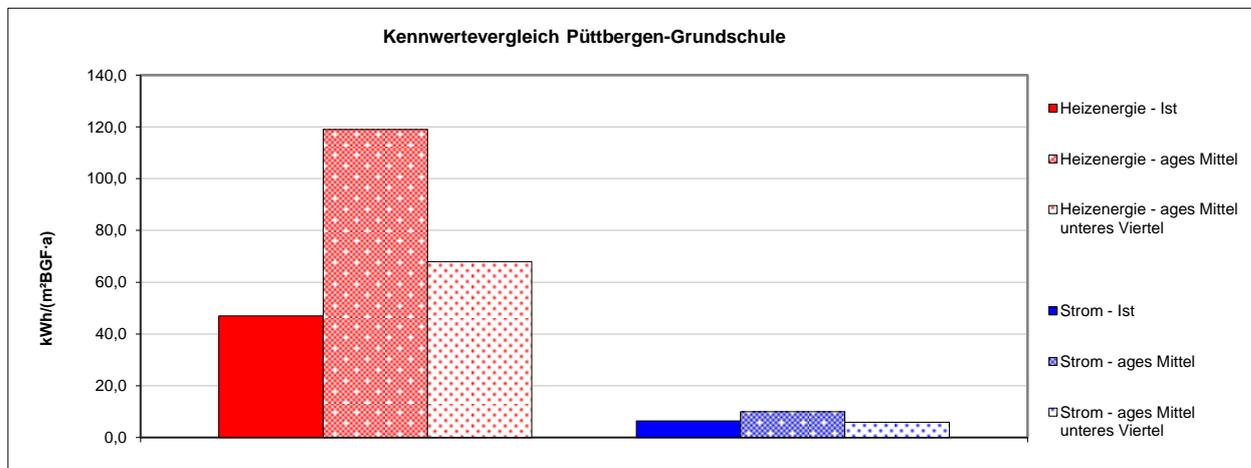


Abbildung 5: Kennwertevergleich

Gemäß des vorgenommenen Vergleichs verbraucht das Gebäude nach seiner Teilsanierung im Jahr 2012 weniger Wärme als das beste Viertel des Vergleichsgebäudebestandes. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der gemessene Wärmeverbrauch im Rahmen des Vergleichs auf die Bruttogrundfläche bezogen ausgewiesen wird. Beim untersuchten Gebäude sind sowohl das unbeheizte

³ ages-Verbrauchskennwerte 2005: <http://ages-gmbh.de>

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

Untergeschoss als auch die beiden unbeheizten Dachgeschossebenen in der BGF mit berücksichtigt, wodurch sich der Kennwert deutlich günstiger berechnet als bei einem Bezug ausschließlich auf die beheizte BGF. Auch bei den Vergleichsgebäuden ist zu erwarten, dass in der BGF auch unbeheizte Zonen berücksichtigt sind, so dass sich dieser Effekt im Durchschnitt ausmittelt. Im gegebenen Fall ist die Größe der unbeheizten Flächen jedoch so groß, dass ihr Einfluss das Ergebnis voraussichtlich beschönigt.

Im Hinblick auf den Stromverbrauch zeigt sich durch den Vergleich mit dem Gebäudebestand ein geringes Einsparpotential, das jedoch bei einer Anpassung des Flächenbezugs größer ausfallen würde.

Insgesamt ist trotz der günstigen Kennwerte von einem Einsparpotential auszugehen. Eine Abschätzung des Potentials ist allerdings aufgrund des BGF-Bezugs der Kennwerte in diesem Fall nicht möglich.

3. Gebäudebewertung

3.1 Fotodokumentation



Süd-Ost-Ansicht



Nord-West-Ansicht



Süd-Ansicht



Mangelhafte Fensterdichtung



Zustand der Nord-West-Fassade



Mangelhafter Fensteranschluss sowie Schäden am Putz



Heizkörper in der Turnhalle hinter Verkleidung



Nicht beheiztes Dachgeschoss



Undichtes Fenster



Neue Erdgasheizungsanlage



Wärmeverteilersystem



Wärmeverteilung

3.2 Vorbemerkungen und Hinweise

Der Energieverbrauch sowie die Energiekennzahlen des Gebäudes beziehen sich nur auf das Hauptgebäude der Schule sowie auf die darin enthaltene Turnhalle. Die im Hauptgebäude integrierte Hausmeisterwohnung wird nicht berücksichtigt, da sie nicht Teil des Auftrags ist. Jedoch wurde festgestellt, dass die Hausmeisterwohnung ebenfalls über eine sanierungsbedürftige Gebäudehülle verfügt. Eine Aussage zur separaten Heizungsanlage der Hausmeisterwohnung kann hingegen nicht getroffen werden, da die Anlage nicht besichtigt wurde.

Zukünftig wird der Sportunterricht der Schule nicht mehr in der gebäudeintegrierten Turnhalle, sondern in einer neu errichteten Nachbarturnhalle stattfinden.

3.3 Gebäudehülle

3.3.1 Vorbemerkungen

Beim Hauptgebäude der Grundschule an den Püttbergen handelt es sich um eine 1929 erbaute Schule in Massivbauweise. Für die Schule liegen neben den Grundrissplänen keine weiteren Bauunterlagen vor. Aus diesem Grund wurden für die U-Werte der Gebäudehülle die Werte der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 30. Juli 2009 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [1] angesetzt.

3.3.2 Bodenplatte des Erdgeschosses

Für den an das Erdreich angrenzenden Fußboden des Erdgeschosses ist davon auszugehen, dass es sich um eine nicht gedämmte Platte in der 1929 üblichen Bauweise handelt, deren wärmeschutztechnischen Eigenschaften damit nicht den heutigen Anforderungen entsprechen. Gemäß [1] wird der U-Wert der Bodenplatte mit $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ angenommen.

3.3.3 Decke über unbeheizten Kellerräumen

Für die Decke über den unbeheizten Kellerräumen ist von einer zur Bauzeit typischen Massivdecke mit einem U-Wert gemäß [1] von $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ auszugehen. Der wärmetechnische Zustand der Decke entspricht damit nicht den heutigen Anforderungen.

3.3.4 Außenwände

Bei den Außenwänden handelt es sich um ungedämmtes Ziegelmauerwerk. Gemäß [1] ist für diese Wände ein U-Wert von $1,7 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ anzunehmen. Dieser Wert ist für die vorhandenen Wandstärken jedoch zu groß. Die Dicken der Außenwände variieren laut Grundrissplänen zwischen 36 cm und 84 cm. Bei Ansatz einer mittleren Wanddicke von etwa 50 cm inkl. Putz, die auch die 13 cm tiefen Heizkörpernischen mit berücksichtigt, berechnet sich der U-Wert der Wand zu etwa $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. Der Berechnung ist dabei zu Grunde gelegt, dass die Mauerziegel gemäß [13] und [14] eine zur Bauzeit übliche Rohdichte von etwa $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$ und eine Wärmeleitfähigkeit im Bereich um $0,9 \text{ W}/(\text{mK})$ besitzen. Die Wärmeschutzqualität der Außenwände ist aufgrund fehlender Dämmung deutlich schlechter als der derzeitige Anspruch an die Wärmeschutzeigenschaften von Wänden. Zudem weist der Außenputz eine Reihe schadhafter Stellen wie Löcher und Ablätterungen auf.

3.3.5 Fenster

Beinahe zwei Drittel aller Fenster auf der Nordost - Seite wurden zwischen 1995-2012 durch neue 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit Holzrahmen ersetzt. Der Ug-Wert (U-Wert des Fensterglases)

dieser Fenster besitzt einen Wert zwischen 1,0-1,4 W/(m²K). Weil der Uf-Wert (U-Wert des Fensterrahmens) und der prozentuale Anteil des Fensterrahmens nicht bekannt sind, wird gemäß [1] ein U-Wert für Nichtwohngebäude von 1,6 W/(m²K) angesetzt. Bei den restlichen Fenstern handelt es sich um alte Kunststofffenster aus DDR-Zeiten sowie alte Holzkastenfenster. Diese Fenster besitzen gemäß [1] einen U-Wert von 3,0 bzw. 2,7 W/(m²/K).

Fast die Hälfte aller Fenster auf der Südwest-Seite wurde zwischen 1995-2012 ausgewechselt. An den Südost- und Nordwest-Fassaden wurden die Fenster im Erdgeschoss sowie im 1. Obergeschoss zwischen 2009-2012 ausgewechselt. Im 2. Obergeschoss der Südost-Fassade sind noch die alten Kastenfenster vorhanden.

Im kleinen Anbau an den Turnhallentrakt sind noch alte Einfachverglasungen vorhanden, deren U-Wert nach [1] mit 5,0°W/(m²K) abgeschätzt wird.

Bei der Gebäudebesichtigung wurde festgestellt, dass die Fenster aus den DDR-Zeiten sowie die alten Kastenfenster eine mangelhafte Dichtung aufweisen. Aus diesem Grund ist mit erhöhten Lüftungswärmeverlusten zu rechnen. Zudem klagten die Benutzer im Sommer über zu hohe Raumtemperaturen (ca. 35-40°C).

3.3.6 Außentüren

Bei den Eingangstüren handelt es sich um Holztüren mit Zweischeiben-Wärmedämmglas, deren U-Wert gemäß [1] mit 3,5 W/(m²/K) anzunehmen ist und damit über den heutigen Anforderungen liegt. Die Türen befinden sich in einem guten Zustand und verfügen augenscheinlich über eine bessere energetische Qualität als nach [1] anzunehmen ist.

3.3.7 Decke gegen unbeheiztes Dachgeschoss

Die Decke gegen das unbeheizte Dachgeschoss besteht aus einer Holzbalkendecke mit Schüttung und z.T. oberseitiger Estrichschicht. In Einzelbereichen ist zwischen den Holzbalken eine Mineralfaserdämmung vorhanden, die jedoch aufgrund ihres Zustands und der geringfügigen Fläche rechnerisch nicht berücksichtigt wird. Gemäß [1] kann der U-Wert der Holzbalkendecke mit 0,8 W/(m²/K) angenommen werden. Der wärmetechnische Zustand der Decke entspricht damit nicht den heutigen Anforderungen.

3.3.8 Abseitenwände

Für die im Zwischengeschoss neben dem Luftraum der Turnhalle vorhandenen Abseitenwände ist nach [1] ein U-Wert von 2,0 W/(m²/K) anzunehmen, der weit über den aktuellen Anforderungen liegt.

3.3.9 Gesamteinschätzung Gebäudehülle

Kein Außenbauteil erfüllt die Anforderungen, die nach der aktuellen Energieeinsparverordnung EnEV 2014 an zu sanierende Bauteile eines Nichtwohngebäudes gestellt werden.⁴ Allerdings weisen die neuen Fenster bereits gute Wärmeschutzeigenschaften auf. Die wärmetechnische Qualität der Gebäudehülle im derzeitigen Zustand ist insgesamt nicht ausreichend und es besteht ein erhebliches Energieeinsparpotential. Viel Wärme geht aufgrund der großen Flächenanteile über die massiven Außenwände und die Fenster verloren. Es sind keine besonderen konstruktions- oder materialbedingten Wärmebrücken hervorzuheben, so dass Wärmebrücken rechnerisch über einen U-Wert-Zuschlag von 0,1 W/(m²K) berücksichtigt werden. Da die Fenster z.T. ohne Lippendichtung ausgeführt sind, ist von etwas erhöhten Lüftungswärmeverlusten infolge Gebäudeundichtigkeit auszugehen.

⁴ Gleichermaßen werden auch die Anforderungen, die laut EnEV für die Bauteile eines Neubaus gelten, nicht erfüllt.

3.4 Technische Anlagen

3.4.1 Bestandsaufnahme

Die Raumwärme- und Warmwasserbereitung an der Grundschule erfolgt zentral im Kombibetrieb durch zwei Buderus Logano plus SB615 Erdgas-Brennwertkessel. Die Erdgasheizungsanlage aus dem Jahre 1993 befindet sich im Untergeschoss des Hauptgebäudes. Im Jahre 2012 wurden die Heizkessel und der Warmwasserspeicher ausgewechselt. Der Warmwasserspeicher AO Smith Cyclone III BFC hat ein Volumen von 368 Litern und verfügt über eine Zirkulationsleitung. Die 2012 installierten elektronisch geregelten Umwälzpumpen von GRUNDFOS MAGNA passen ihren Betriebspunkt dem Förderbedarf selbsttätig an.

Die Verteilleitungen befinden sich außerhalb der thermischen Gebäudehülle und sind bis auf kurze Abschnitte gut gedämmt. Aufgrund des Einbaupunkts der Kessel und auch nach Aussage des Hausmeisters ist davon auszugehen, dass ein hydraulischer Abgleich durchgeführt wurde. Zur Wärmeübergabe verfügen sämtliche Räume über Gliederheizkörper, welche manuell über Thermostatventile regulierbar sind. In einigen Klassen- und Büroräumen sind direkt oberhalb der Heizkörper Ablagebretter angeordnet, die die Luftzirkulation und damit die Wärmeabgabe der Heizkörper behindern.

Die Beleuchtungsanlage des Hauptgebäudes besteht zum großen Teil aus Deckenreihen mit Leuchtstoffröhren. Die Reihen lassen sich separat schalten und sind mit verlustarmen Vorschaltgeräten ausgestattet. In den Sanitärräumen wird die Beleuchtung abends zentral abgeschaltet. Des Weiteren befinden sich in den Fluren Bewegungsmelder, die jedoch außer Betrieb gesetzt sind. Die Beleuchtungsanlage wurde ca. 1993 zuletzt modernisiert.

3.4.2 Energetische Beurteilung der technischen Anlagen

Die neue Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage verfügt insgesamt über einen guten technischen Standard und eine gute Energieeffizienz. Eine Sanierung ist nur im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen durchzuführen.

Die Beleuchtungsanlage des Gebäudes ist wie beschrieben seit längerem nicht modernisiert wurden. Modernisierungsmaßnahmen sind daher empfehlenswert, um ihre Energieeffizienz zu steigern.

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	17°C (statt Norm-Standardtemperatur von 19°C, um Bedarfs-Verbrauchsabgleich zu erfüllen)
Luftwechselrate	0,7/h (Fenster z.T. ohne Abdichtung, jedoch Ansatz des Standardwerts für Altbau, um Bedarfs-Verbrauchsabgleich zu erfüllen)
Heizungsabschaltung	Nacht- und Wochenendsenkung
Interne Wärmegewinne	5 W/m ²
Wärmebrückenzuschlag	0,1 W/(m ² K)
Heizungsanlage	Erdgas-Brennwertkessel
Warmwasserbedarf	34 MWh/a ⁵

Zur Validierung bzw. Kalibrierung der Eingabewerte wurde ein Bedarfs-/Verbrauchsabgleich durchgeführt. In der folgenden Tabelle sind der berechnete Heizenergiebedarfswert sowie der Verbrauchswert für die Grundschule zusammengestellt. Sie zeigen eine gute Übereinstimmung (Abweichung < 10%), so dass davon auszugehen ist, dass die Energiebedarfsberechnung den energetischen Zustand gut abbildet.

Tabelle 3: Ergebnis des Bedarfs-/Verbrauchsabgleichs⁶

Berechneter Wärmeendenergiebedarf MWh/a	488,7
Witterungskorrig. Wärmeverbrauch im Jahr 2013 MWh/a	474,2

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. 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.

⁵ Berechnung mit Hilfe des Ansatzes nach DIN V 18599-10:2011-12 Tab.7 [7] für Schulen ohne Dusche, Schüleranzahl entsprechend des Berliner Schulführers von 2010 [17]. Dabei wird zugrunde gelegt, dass die vorhandenen Duschen nur geringfügig genutzt werden.

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

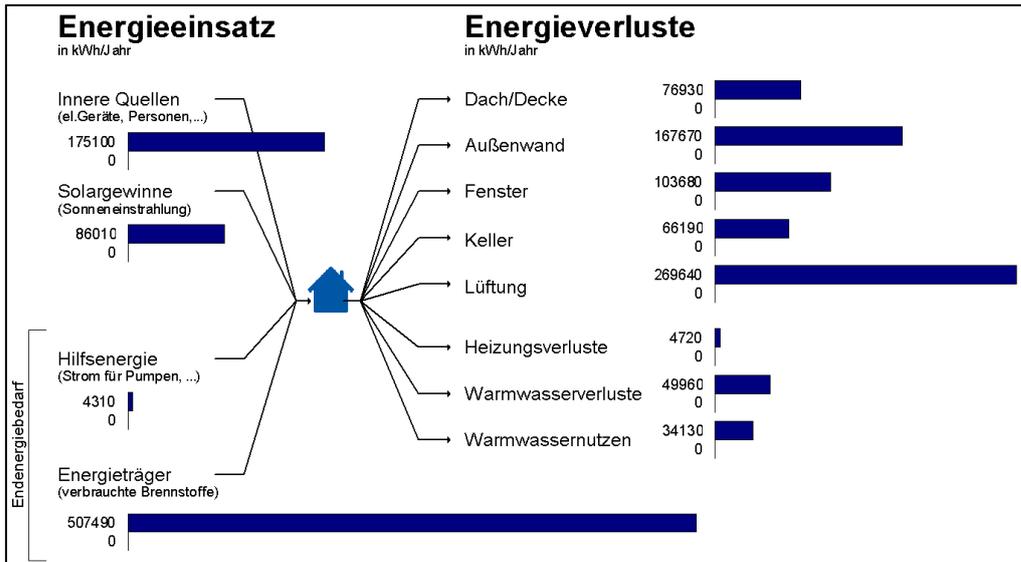


Abbildung 6: Energieeinsatz und -verluste für den Ist-Zustand des Schulgebäudes

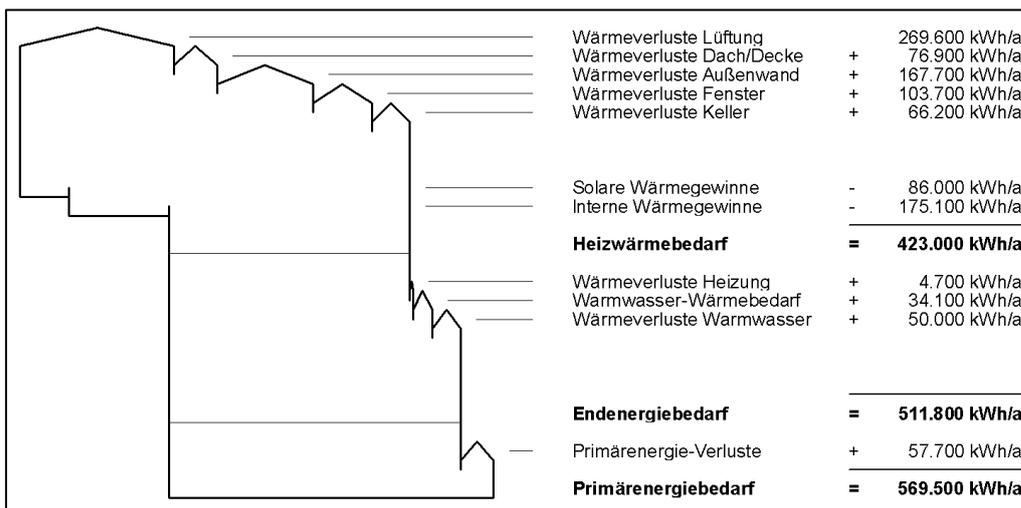


Abbildung 7: Energiebilanz für den Ist-Zustand des Schulgebäudes

Die folgende Grafik stuft den energetischen Zustand der Gebäudehülle und der technischen Anlagen sowie den Umfang der Treibhausgasemissionen des 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.

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

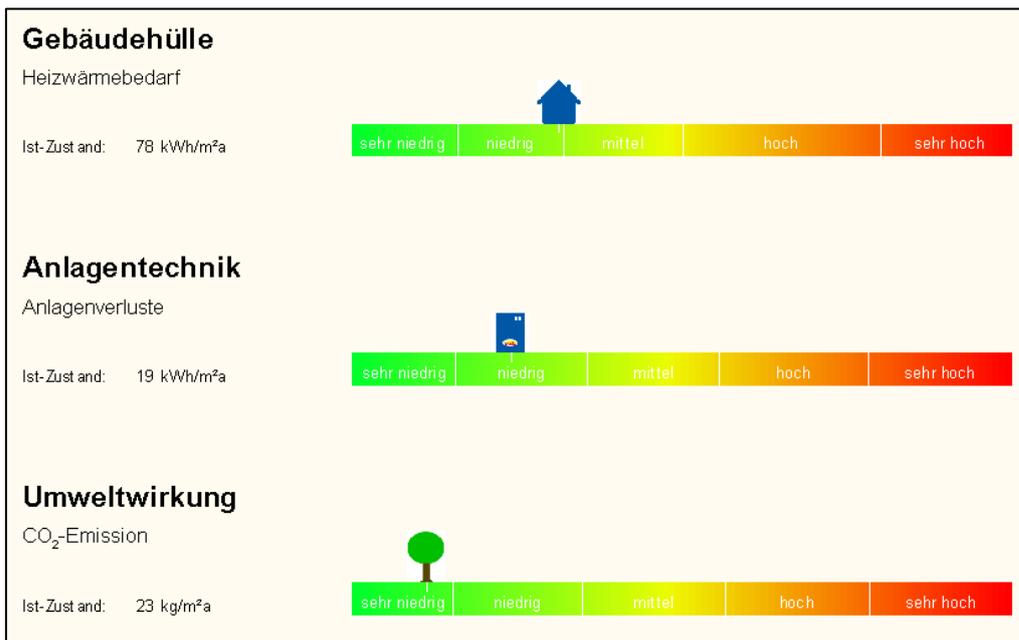


Abbildung 8: Beurteilung des Ist-Zustandes des Schulgebäudes (bei Ansatz der Standard-Innentemperatur von 19°C)

In der Einstufung des Heizwärmebedarfs im mittleren Bereich spiegelt sich die Tatsache, dass mehr als die Hälfte der Fensterflächen bereits energetisch saniert wurden. Gleichwohl zeigt sich ein weiteres Sanierungspotential. Aufgrund der modernisierten Anlagentechnik werden die Anlagenverluste im niedrigen bis mittlerem Bereich eingestuft, was auch die Umweltwirkung leicht positiv beeinflusst. Ein weiteres Einsparpotential ist auch hier noch vorhanden.

4. Energiesparmaßnahmen und Sanierungsoptionen

4.1 Grundlegendes

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

Um dieser Zielsetzung Rechnung zu tragen, werden den Sanierungsmaßnahmen für Bauteile und haustechnische Anlagen nicht die bis 2018 gültigen Anforderungen der EnEV 2014 [9] zugrunde gelegt, sondern die technischen Mindestanforderungen der KfW in den Programmen 218 und 219 zur energetischen Stadtsanierung [11] an die Durchführung von Einzelmaßnahmen. Letztere fordern Bauteil-

den Gebäudezustand so genau wie möglich abzubilden. Daher zeichnet die Einstufung des Gebäudes anhand der von der Software implementierten Skalen insgesamt ein überschlüssiges Bild.

U-Werte, die bis zu 40% unter den Anforderungen der EnEV liegen und damit den Niedrigstenergiestandard besser repräsentieren. Aufgrund der mit einer Sanierung auf diesen Standard einhergehenden hohen Investitionskosten werden ggf. auch alternative Maßnahmen untersucht, die zu Energieeinsparungen bei niedrigerem Kosteneinsatz führen.

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

4.2 Sanierung der Gebäudehülle

4.2.1 Bodenplatte

Über die Bodenplatte geht aufgrund ihres Angrenzens an das Erdreich nur ein geringer Wärmeanteil verloren. Aufgrund der relativ großen Fläche der Bodenplatte wäre es energetisch dennoch günstig, sie oberseitig mit einer druckfesten Dämmung zu versehen. Ausreichend lichte Raumhöhe ist weitgehend vorhanden. Es ist zu beachten, dass diese Maßnahme mit vorübergehenden Nutzungseinschränkungen und ggf. erforderlichen Anpassungsmaßnahmen einhergeht. Eine Sanierung auf KfW-Standard ($U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) würde eine etwa 11 cm dicke Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 erfordern, eine Sanierung auf EnEV-Standard hingegen 3 cm Dämmung der WLG 035 ($U = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Über der Dämmung wären eine Dampfsperre und eine lastverteilende Schicht, z.B. Nassestrich, anzuordnen. Da die hieraus 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 Außenwände

Die Außenwände sind entsprechend ihrer großen Fläche für einen sehr großen Teil der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle verantwortlich. Trotz ihrer Dicke kann durch das Aufbringen eines Wärmedämmverbundsystems viel Energie eingespart werden. Mit einer 15 cm dicken Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 wird die über die gesetzliche Anforderung der EnEV hinausgehende erhöhte Anforderung der KfW und ein U-Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht.⁸ (Da der Berechnung der Dämmstoffdicke eine mittlere Dicke der Wände zugrunde liegt, handelt es sich auch um eine mittlere Dämmstoffdicke.)

Zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der vorhandenen Fassadenarchitektur mit Verklammerung und Ornamentierungen stehen verschiedene Möglichkeiten zu Verfügung. Bei der Planung sollte ein sachkundiger Architekt zu Rate gezogen werden.

→ **Sanierung empfohlen**

⁸ Ggf. muss die Dämmstoffdicke zur Berücksichtigung von Wärmebrücken infolge Dübeln geringfügig vergrößert werden.

4.2.3 Abseitenwände

Aufgrund ihrer geringen Fläche geht über die Wände beheizter gegen unbeheizte Räume nur ein geringer Wärmeanteil verloren. Da die Dämmmaßnahmen mit Nutzungseinschränkungen einhergehen würden, wird empfohlen, diese Maßnahme erst dann durchzuführen, wenn sowieso Umbaumaßnahmen im betroffenen Zwischengeschoss anstehen.

→ **Sanierung eingeschränkt empfohlen**

4.2.4 Fenster und Sonnenschutz

Es wird der Austausch aller alten einfachverglasten Fenster sowie aller alten DDR- und Kastenfenster empfohlen, da ihre wärmeschutztechnischen Eigenschaften bei weitem nicht den heutigen Anforderungen genügen und sie sich zum Teil in einem schlechten baulichen Zustand befinden. Zudem entstehen erhöhte Lüftungswärmeverluste, da sie nicht mit Lippendichtungen versehen sind und teilweise nicht mehr richtig schließen. Das Einsparpotential ist daher beträchtlich. Zur Einhaltung der KfW-Anforderungen wäre der Einbau einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert kleiner oder gleich $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erforderlich. Für die Einhaltung der EnEV 2014 ist eine 2-fach-Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert kleiner oder gleich $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausreichend.

Zum Erhalt der architektonischen Gestaltqualität des Gebäudes ist es möglich, die Kastenfenster nicht durch Wärmeschutzfenster zu ersetzen, sondern sie rundzuerneuern und die Innenscheibe durch eine Wärmeschutzverglasung mit einem ausreichend niedrigen U-Wert zu ersetzen. Die Kosten hierfür bewegen sich laut [18] im gleichen Rahmen wie für den vollständigen Austausch.⁹

Um die hohen Raumtemperaturen infolge solarer Einträge zu senken, wird empfohlen an den betroffenen Fassaden außenliegende Sonnenschutzeinrichtungen vorzusehen.

→ **Sanierung empfohlen**

4.2.5 Außentüren

Aufgrund ihrer anteilig sehr geringen Fläche geht über die Außentüren nur ein geringer Wärmeanteil verloren. Da sich die Türen obendrein in einem guten Zustand befinden und ihre U-Werte günstiger sind als nach [1] anzunehmen, wird ihre Sanierung nicht empfohlen.

→ **Sanierung nicht empfohlen**

4.2.6 Oberste Geschossdecke

Auf die Geschossdecke zum ungenutzten Dachraum sollte oberseitig eine in den erforderlichen Bereichen begehbare Dämmung ergänzt werden. Zur Einhaltung U-Wert-Anforderung der KfW von $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ist eine 23 cm dicke Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 erforderlich. Die genauen Eigenschaften des vorhandenen Geschossdeckenaufbaus sollten im Rahmen der Sanierungsplanung genau erhoben und die Eigenschaften der Dämmung daran angepasst werden.

→ **Sanierung empfohlen**

9

4.3 Sanierung der technischen Anlagen

4.3.1 Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage

Eine Sanierung der Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlage in energetischer Hinsicht ist nicht erforderlich, da wesentliche Anlagekomponenten neu sind und eine gute energetische Effizienz besitzen. Jedoch sollten die bisher nicht gedämmten Abschnitte der Wärmeleitungen und Armaturen noch nachträglich gedämmt werden. Bei der zukünftigen Planung von Erneuerungsmaßnahmen 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.

→ **Sanierung teilweise empfohlen**

4.3.2 Beleuchtung

Es wird empfohlen die Modernisierung der Beleuchtung fortzusetzen und alte 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.

→ **Sanierung empfohlen**

4.3.3 Energieträger

Bei dem verwendeten Energieträger zur Wärmeerzeugung 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 Energieträger aus erneuerbaren Quellen. Ein Wechsel des Energieträgers und der Einbezug erneuerbarer Energien ist daher empfehlenswert, wenn die Anlage ihre Lebensdauer erreicht hat.

Günstig wäre der Anschluss des Gebäudes an das im Süd-Osten-Berlins gut ausgebaute Vattenfall-Fernwärmenetz, 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 des Gebäudes an das Fernwärmenetz möglich ist, müsste zum gegebenen Zeitpunkt mit dem Versorger geklärt werden.

Denkbar wäre auch der Wechsel hin zum Energieträger Holzpellets mit einem sehr günstigen Primärenergiefaktor und geringeren Treibhausgasemissionen. Da hierfür große Lagerflächen erforderlich sind, kommt diese Variante für das Gebäude im derzeitigen Zustand nicht infrage.

Die Dachfläche des Gebäudes könnte für die Aufstellung von PV-Anlagen genutzt werden, sofern dies gestalterisch akzeptabel und statisch durchführbar ist. Es ist von einer Amortisation der Kosten innerhalb von 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 Teil der Stromproduktion ins Netz eingespeist werden.

Weiterhin könnten die Dachflächen für Solarthermiemodule zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Hierfür wären ebenfalls eine gründliche Verschattungs- sowie insbesondere eine Warmwasserbedarfsanalyse erforderlich. Ähnlich wie bei der PV-Anlage fallen Hauptertrags- und Hauptnutzungszeit nicht optimal zusammen.

4.4 Schätzung der Investitionskosten

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

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

In der anschließenden Tabelle 5 werden die aktuell empfehlenswerten investiven Einzelmaßnahmen zu sinnvollen Maßnahmepaketen 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)	
Dämmung der Außenwände (WDVS)	Aufbringen eines WDVS mit im Mittel 15 cm Dämmung der WLG 035 inkl. der erforderlichen Nebenarbeiten:	Einzelpreis:	104 €/m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontrolle und Vorbereitung des Untergrunds 	Fläche:	2.550 m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Montage des Dämmmaterials mit allem Systemzubehör 	Gesamtpreis:	263.925 €
	<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 W/(m²K)		

Austausch alter Fenster	Demontage und Entsorgung der alten Fenster, Einbau neuer Fenster		
	Sowieso anfallende Kosten für Holzfenstersanierung (Abschleifen, Anstrich, Ausbesserung, Dichtung, Wartung Beschläge), falls kein Fensteraustausch erfolgt	Einzelpreis:	100 €/Stk
	Einbau neuer 3-Scheiben-Wärmeschutz-verglasungen mit Holzrahmen, $U \leq 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Einzelpreis** abzgl. Sowieso-K.:	1.539 €/Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demontage und Entsorgung der alten Fenster 	Anzahl:*	73 Stk
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung, Lieferung und Montage der neuen Fenster einschl. Montage-, Dicht- und Dämmmaterial 	Gesamtpreis:	112.311 €
	<p>* Hierbei handelt es sich um eine rechnerische Größe, die sich aus der Gesamfensterfläche 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>		
Dämmung der obersten Geschossdecke	Dämmung der obersten Geschossdecke mit einer zusätzlichen ca. 23 cm dicken Wärmedämmung der WLG 035 inkl. der erforderlichen Nebenarbeiten:	Einzelpreis:	61 €/m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlegen der Dämmschicht 	Fläche:	1.750 m ²
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlegen der trittfesten Bekleidung 	Gesamtpreis:	107.450 €
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ggf. Dampfsperrschicht ▪ Anarbeitung der Dämmung im Bereich von Bauteilen, Schächten etc. 		
	U-Wert des sanierten Bauteils: $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$		

(Fortsetzung von Tabelle 4)

Tabelle 5: Überblick über mögliche Sanierungsvarianten

Sanierungsmaßnahmen		Schätzung der energetisch bedingten Investitionskosten (netto)	
Variante 1	Dämmung der obersten Geschossdecke	GD:	107.450
	Dämmung der ungedämmten Leitungsabschnitte, Modernisierung der technischen Anlagen im Rahmen von Erneuerungsinvestitionen, hydraulischer Abgleich	Anlagen:	-
			107.450 €
Variante 2	wie Variante 1	Variante 1:	107.450 €
	zusätzlich Austausch der alten Fenster durch Fenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasung	Fenster:	112.311 €
			219.761 €
Variante 2	wie Variante 2	Variante 2:	219.761 €

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 die hier relevanten Sanierungsbauteile sind. Die Lebensdauern der Komponenten der technischen Anlagen werden hier nicht berücksichtigt, da ihr Austausch eine jeweils sowieso erforderliche Maßnahme darstellt. Nach 40 Jahren wäre aus Verschleiß- und Abnutzungsgründen demnach die erste Ersatzinvestition erforderlich. Erneuerungs- und Wartungskosten im Untersuchungszeitraum werden rechnerisch nicht berücksichtigt, da diese Kosten auch ohne die energetische Sanierung für die vorhandenen Bauteile anfallen würden.

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

Die Berechnungen werden ohne Kalkulationszinssatz geführt, um zu berücksichtigen, dass dem Bezirksamt bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen i.d.R. selbst keine Kapitalkosten entstehen.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

Aufgrund von Restabweichungen beim Bedarfs-/Verbrauchsabgleich für das Schulgebäude, möglichen Preisunterschieden für die Sanierungsleistungen sowie nutzungs- und witterungsbedingten Differenzen, ist nicht auszuschließen, dass die nach Realisierung der Sanierungsmaßnahmen tatsächlich auftretenden Einsparungen 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:	35.866 €	Kalkulationszinssatz:	0%

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 Erdgas: 6,2 ct/kWh_{Brennwert} gemäß der Verbrauchsabrechnung für 2013, Strom: 21,8 ct/kWh über mehrere Objekte gemittelt, jeweils brutto. Der Grundpreis wurde hierbei vereinfacht mit auf die verbrauchten Kilowattstunden umgelegt.

Tabelle 7: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für Maßnahmenvarianten (alle Kostenangaben inklusive Mehrwertsteuer)

Variante	Investitionskosten energetische Sanierung [€]	Energiekosten nach Sanierung [€]	im Nutzungszeitraum				Energiekosten- einsparung je 1.000 € Investitions- kosten [€]	Investitionskosten je jährlich eingesparte MWh Energie [€/(MWh/a)]	Amortisations- dauer [Jahre]
			Energiekosten- einsparung [€]	Gesamtkosten- einsparung [€]	Mittlere jährl. Energiekostenein- sparung [€/Jahr]	Eingesparte Treibhausgase [t]			
1	127.866	32.328	128.120	255	3.203	500	1.002	2.507	23
2	261.515	28.970	459.920	198.405	11.498	975	1.759	2.632	23
3	575.586	22.282	1.120.480	544.894	28.012	1.944	1.947	2.968	25

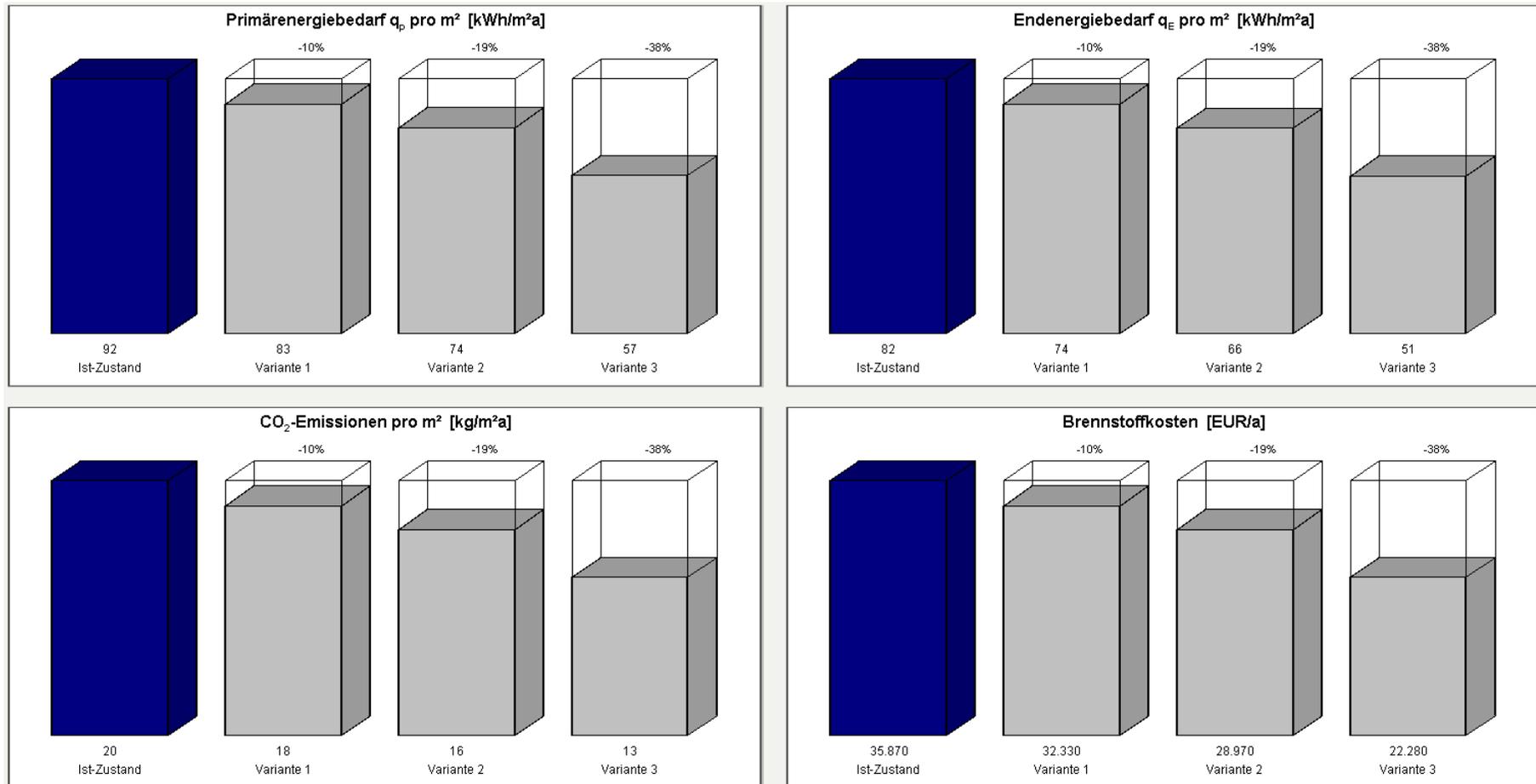


Abbildung 9: Variantenvergleich hinsichtlich der jährlich erzielbaren Energie-, CO_2 - und Brennstoffkostenreduktionen

4.7 Sanierungsempfehlungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Varianten zeigen, dass sich die Maßnahmenpakete etwa zu dem Zeitpunkt amortisiert haben, zu dem die sanierten Bauteile die Hälfte ihrer Lebensdauer erreicht haben. Aufgrund der Amortisation der Maßnahmen innerhalb der Nutzungsdauer der Sanierungselemente weisen alle Varianten eine positive Annuität und einen positiven internen Zinssatz aus.

Die eingesparten Energie- und Treibhausgasmengen sind aufgrund des Umfangs und der Qualität der einbezogenen Maßnahmen bei Variante 3 am größten. Dementsprechend weist diese Variante auch die größte jährliche Energie- und Treibhausgaseinsparung auf. Es wird daher empfohlen, dieses Maßnahmenpaket umzusetzen.

Darüber hinaus sollte die in Kapitel 4.2.1 beschriebene Option der Dämmung der Bodenplatte überprüft werden. Weiterhin wird empfohlen, durch Nutzerbefragung zu überprüfen, ob auf der Rückseite des Gebäudes bei Austausch der Fenster außenliegende Sonnenschutzeinrichtungen eingebaut werden sollten. Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 4.2.4. 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.

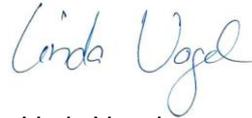
Die vorliegende Untersuchung ersetzt keine Ausführungsplanung für die zu sanierenden Bauteile.

CSD INGENIEURE GmbH



Andrea Untergutsch

Dipl.-Ing. Bauingenieurwesen



Linda Vogel

Dipl.-Ing. Bauingenieurwesen (FH)

Berlin, den 20. Oktober 2014