

Klimaschutzkonzept Schwerin

Teilplan Städtische Sporthallen

Landeshauptstadt Schwerin

- Am Packhof 2 - 6
19053 Schwerin

Förderung: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



LGE Mecklenburg-Vorpommern mbH

Bertha-vom-Suttner-Straße 5
19061 Schwerin

Telefon 0385 3031 750
Fax 0385 3031 751
E-Mail info@lge-mv.de

www.lge-mv.de

August 2016

Projektverantwortlich:

M.Eng. Carsten Unger
Telefon 0385 30 31-792
E-Mail carsten.unger@lge-mv.de

Dipl.-Ing. Arne Raketel
Telefon 03866 404-157
E-Mail arne.raketel@lgm.de

Dipl.-Ing. Robert Wick
Telefon 0385 30 31-776
E-Mail robert.wick@lge-mv.de

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Klimaschutz-/Energiemanagement (Baustein 1)	6
2.1.	Organisationskonzept.....	6
2.2.	Controlling-Konzept.....	7
2.3.	Basisdatenbewertung	10
3.	Gebäudewertung (Baustein 2)	34
3.1.	Vorgehensweise	34
3.2.	Kommunikationsstrategie	54
3.3.	Turnhalle 3: Sprachheilschule	56
3.4.	Turnhalle 5: Heinrich-Heine Schule	69
3.5.	Turnhalle 6 Berufliche Schule für Gesundheit und Soziales.....	80
3.6.	Turnhalle 8 Friedensschule	90
3.7.	Turnhalle 9 Erich-Weinert-Schule (Denkmal).....	101
3.8.	Turnhalle 12 John-Brinkmann-Schule	111
3.9.	Turnhalle 13 Nils-Holgerson-Schule	123
3.10.	Turnhalle 14 Bertolt-Brecht-Schule	133
3.11.	Turnhalle 17 Berufsschulförderzentrum West	144
3.13.	Turnhalle 22 Altes Fridericianum	154
3.14.	Turnhalle 23 Perleberger Straße	164
3.15.	Turnhalle 24 Meitner Straße.....	175
3.16.	Turnhalle 25 Hegelstraße	185
3.17.	Turnhalle 26 Hamburger Allee 122 (Judo Halle)	195
3.18.	Turnhalle 27 Gutenbergschule.....	205
3.19.	Alternative Lösungen zur Energiebedarfsdeckung	215
4.	Feinanalyse (Baustein 3)	218
4.1.	Vorgehensweise	218
4.2.	Turnhalle 10 Fritz-Reuter-Schule (Denkmal).....	221
4.3.	Turnhalle 15 Astrid-Lindgren-Schule	235
4.4.	Turnhalle 18 Berufliche Schule für Bautechnik	252
4.5.	Turnhalle 19 Berufliche Schule Technik.....	266
4.6.	Turnhalle 20 Siemens-Schule.....	282
5.	Prioritäten und Maßnahmenreihenfolge (Baustein 2 und 3).....	298
6.	Finanzierungsmöglichkeiten	300
6.1.	Aktionsplan Klimaschutz MV	300

6.2. KMU – Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzrichtlinie	303
6.3. Städtebaufördermittel (Liste mit Hallen in Fördergebieten)	305
7. Schlussbetrachtung.....	306
8. Tabellenverzeichnis	312
9. Fußnotenverzeichnis.....	315
10. Abbildungsverzeichnis.....	315

Musterinhalt Baustein 2:

- 3.3.1 Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle
- 3.3.2 Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausstattung
- 3.3.3 Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014
- 3.3.4 Sanierungsvarianten

Musterinhalt Baustein 3:

- 4.5.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle
- 4.5.2. Beschreibung der Wärmebrücken
- 4.5.3. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausstattung
- 4.5.4. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014
- 4.5.5. Energiebilanz (Verbrauchsmessung)
- 4.5.6. Sanierungsvarianten

1. Einleitung

Im Rahmen ihres Klimaschutzkonzeptes hat die Landeshauptstadt Schwerin eine umfangreiche Analyse der verschiedenen Handlungsfelder eingeleitet und ehrgeizige Ziele formuliert.

Der städtische Gebäudebestand ist dabei als eines der ersten Handlungsfelder in den Focus weiterer Aktivitäten geraten. Da die Stadt hier Tempo und Umfang der Maßnahmen selbst bestimmen kann, besteht bei diesen Gebäuden durch gezielte Maßnahmen die Möglichkeit, dass sie für Bauvorhaben privater Eigentümer eine Vorbildwirkung entfalten.

Das Teilkonzept Städtische Sporthallen soll jetzt das vorliegende und beschlossene Klimaschutzkonzept der Landeshauptstadt Schwerin für den Bereich städtische Sporthallen konkretisieren, indem es Empfehlungen für die notwendigen Maßnahmen formuliert.

Aktuell werden in den städtischen Sporthallen erhebliche CO₂-Einsparpotenziale vermutet, da der überwiegende Teil der Sporthallen aus den 70er und 80er Jahren stammt und hier umfassende Sanierungsmaßnahmen bisher unterblieben sind.

Das Konzept soll Investitionen in den städtischen Sporthallenbestand vorbereiten. Es ist die maßgebliche Grundlage für weitere Investitionsentscheidungen. Diese Investitionsentscheidungen können nämlich nur getroffen werden, wenn eine Gesamtschau vorliegt, aus der hervorgeht, wo der Einsatz der Mittel am effektivsten und ihr Nutzen am größten ist.

Als Ergebnis entsteht eine Maßnahmenübersicht über die erforderlichen Maßnahmen unter Bewertung der Potenziale und baulichen/ energetischen Mängel aller vorhandenen städtischen Sporthallen.

Die Landeshauptstadt verspricht sich von Maßnahmen in den Gebäudebestand nicht nur Verbesserungen bei den Sportmöglichkeiten, sondern auch eine deutliche Reduzierung der Betriebskosten und damit auch eine deutliche Entlastung des städtischen Haushalts.

Die überwiegende Anzahl der Schweriner Sporthallen liegt in förmlich festgelegten Sanierungsgebieten oder in Stadtumbaugebieten. Hier sind für Turnhallensanierungen bereits auch schon Fördermittel reserviert. Daraus ergeben sich günstige Rahmenbedingungen zur Sanierung der Sporthallen. Die zeitnahe Umsetzung des Klimaschutzkonzeptes, Teilplan städtische Sporthallen, ist somit gewährleistet.

Das Konzept gliedert sich entsprechend den Vorgaben der Kommunalrichtlinie in folgende 3 Bausteine:

Im Baustein **„Klimaschutz-/ Energiemanagement“** (Baustein 1) werden alle in der Tabelle 1 dargestellten Hallen betrachtet. Der Baustein dient zum Aufbau eines Energiemanagements in den Turnhallen der Stadt Schwerin. Hierbei geht es vor allem um die Erfassung des Ist-Zustands, die kontinuierliche Überprüfung des Energieverbrauches, die Treibhausgasemissionen sowie Energiekosten, die die Grundlage eines Energiemanagements darstellen. Dazu werden alle Wärme- und Stromverbrauchswerte erfasst und bewertet. Die sich daraus abgeleiteten witterungsbereinigten Energiekennwerte werden mit Durchschnittswerten verglichen und bewertet. Somit können Minderungspotenziale für Betriebskosten, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen ermittelt werden. Außerdem sind Ausführungen zu einem Organisations- und einem Controlling-Konzeptes enthalten.

Der Baustein „Gebäudebewertung“ (Baustein 2) umfasst die Erfassung und Bewertung des Ist-Zustandes der Turnhallen (siehe nachfolgende Tabelle). Dazu sollen die Hallen bezüglich der Gebäudehülle, der technischen Anlagen und energetischen Schwachstellen bewertet werden. Grundlage dafür bildeten Begehungen vor Ort. Zudem werden vereinfachte Wärmebedarfsberechnungen durchgeführt und die Ergebnisse mit den Ist-Werten verglichen. Darüber hinaus werden Sanierungsmaßnahmen entwickelt und nach ihrer Priorität geordnet werden.

Der Baustein „Feinanalyse“ (Baustein 3) stellt inhaltlich sehr ähnliche Anforderungen wie der Baustein 2. Zusätzlich dazu sollen jedoch noch die Wärmebrücken der jeweiligen Hallen (siehe Tabelle 1) erfasst, dokumentiert und bewertet werden. Zudem soll eine Energiebilanz aufgrund der vom ZGM Schwerin bereitgestellten Verbrauchswerte (tägliche bis monatliche Ablesintervalle) erstellt werden.

Im Klimaschutzteilkonzept wurden die 25 Turnhallen die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt sind ausgewählt. Die Nummern 2, 4, 11, 28 und 29 sind im Rahmen des Konzeptes nicht belegt.

Sporthallen Übersicht				Baustein		
Nr.	Objektbezeichnung	Straße	Baujahr	1	2	3
1	TH Sporthalle Reiferbahn (Fridericianum)	Reiferbahn 8	2007	X		
3	TH Sprachheilschule	Andrej-Sacharow-Straße 75	1978	X	X	
5	TH Heinrich-Heine-Schule	Werderstraße 83	1927	X	X	
6	TH BS GS-G (Johannes-R.-Becher-Schule)	Dr. Hans-Wolf-Straße 9	1964	X	X	
	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	Obotritenring 50	2004	X		
8	TH Friedenschule	Friedensstraße 14	1887	X	X	
9	TH Erich-Weinert-Schule	Rudolf-Breitscheid-Straße 23	1912	X	X	
10	TH Fritz-Reuter-Schule	Von-Thünen-Straße 9	1936	X		X
12	TH John-Brinckmann-Schule	Willi-Bredel-Straße 19	1969	X	X	
13	TH Nils-Holgersson-Schule	Friedrich-Engels-Straße 35	1975	X	X	
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	Von-Stauffenberg-Straße 67	1975	X	X	
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	Tallinner Straße 6	1976	X	X	X
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	Eulerstraße 2	1981	X		
17	TH Berufsschulförderzentrum West	Johannes-Brahms-Straße 55	1970	X	X	
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	Friesenstraße 29a	1970	X		X
19	TH Berufliche Schule Technik	Gadebuscher Straße 153	1971	X		X
20	TH Siemens-Schule	Ratzeburger Straße 44	1975	X		X
21	TH Schule Krebsförden	Friedrich-Schlie-Straße 16	2000	X		
22	TH Altes Fridericianum	August-Bebel-Str. 11-12	1890	X	X	
23	TH Perleberger	Perleberger Straße 18	1979	X	X	
24	TH Meitnerstr.	Lise-Meitner-Straße 3	1982	X	X	
25	TH Hegelstraße	Hegelstraße 10	1985	X	X	
26	TH Hamburger Allee 122	Hamburger Allee 122	1981	X	X	
27	TH Gutenbergschule (Ziolkowskistr. 16a)	Ziolkowskistraße 16 a	1982	X	X	
30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	Ratzeburger Str.	1998	X		

Tabelle 1: Übersicht der im Konzept betrachteten Sporthallen

2. Klimaschutz-/Energiemanagement (Baustein 1)

Der Baustein 1 dient zum Aufbau eines Energiemanagements in den Turnhallen der Stadt Schwerin. Hierbei geht es vor allem um die Erfassung des Ist-Zustands und die kontinuierliche Überprüfung des Energieverbrauches, Treibhausgasemissionen und Energiekosten, die die Grundlage eines Energiemanagements sind.

2.1. Organisationskonzept

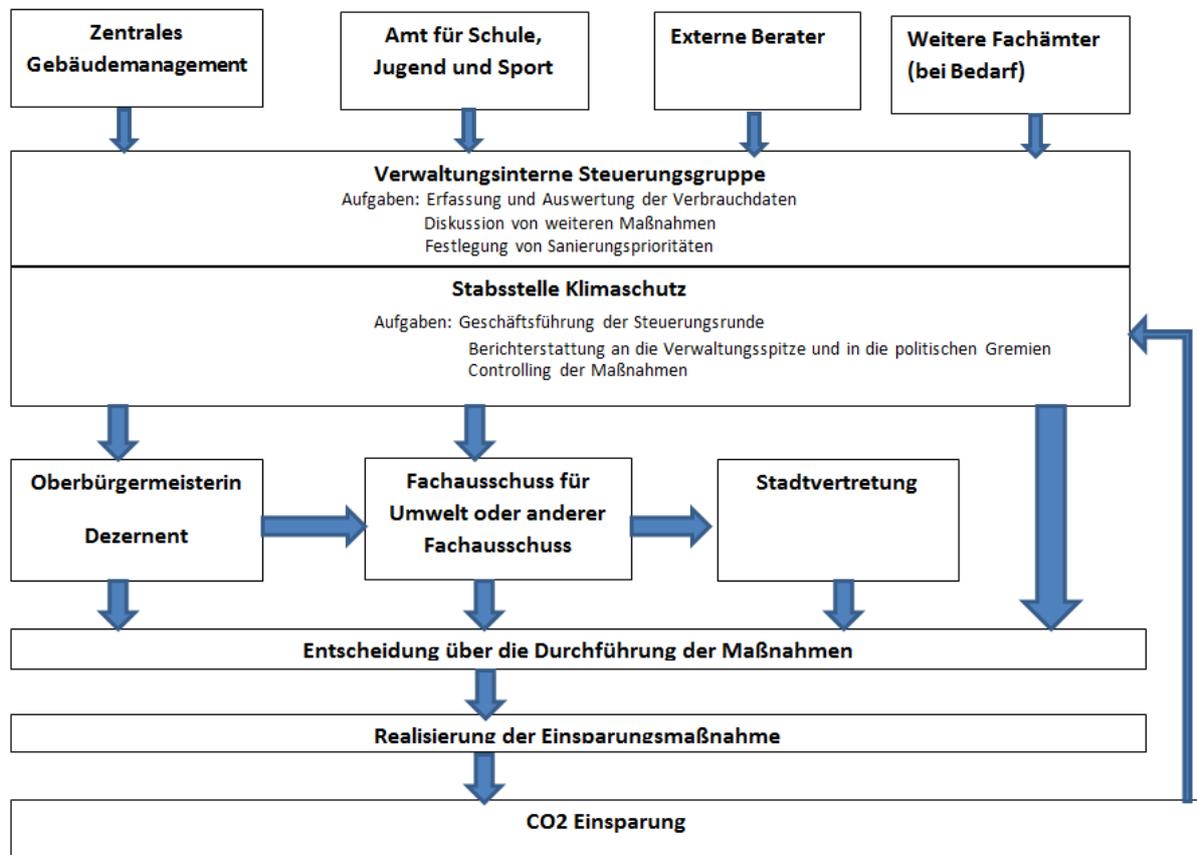


Abbildung 1: Organisationskonzept (Eigene Darstellung)

Die Verwaltung und Bewirtschaftung des städtischen Sporthallenbestandes ist innerhalb der Verwaltung auf verschiedene Stellen aufgeteilt. Der Fachdienst für Schule, Jugend und Sport ist zuständig für die Nutzung und Belegung der Sporthallen. Das Zentrale Gebäudemanagement der Landeshauptstadt verwaltet die Liegenschaften. Die Verwaltung umfasst sowohl die bauliche Instandhaltung sowie die Versorgung mit den unterschiedlichen Medien.

Im Rahmen des Konzeptes wird eine Vielzahl von Daten erhoben, aus denen Schlüsse gezogen und Investitionsentscheidungen vorbereitet werden müssen. Darüber hinaus müssen die Maßnahmen im Einklang mit der städtischen Gesamtstrategie stehen bzw. gebracht werden.

Da Zentrales Gebäudemanagement und Fachdienst für Schule, Jugend und Sport per Aufgabendefinition unterschiedliche Bereiche bearbeiten, empfiehlt es sich, den weiteren Prozess der Beobachtung und Entscheidungsvorbereitung durch einen zusätzlichen Dritten moderieren zu

lassen. Prädestiniert für eine solche Moderation wäre eine Stabsstelle wie zum Beispiel die Stabsstelle Klimaschutz und Mobilität oder ein Externer, der aber zugleich über gute Kenntnisse der Schweriner Strukturen verfügt und einen kurzen Weg zu den Entscheidungsträgern kennt.

Der voraussichtliche Umfang der Investitionen wird sich trotz der vielfältigen Fördermöglichkeiten nur mittelfristig bewältigen lassen, sodass die Steuerungsorganisation auf Dauer ausgelegt sein sollte.

Da sich aus dem Klimaschutzkonzept weitere Investitionsentscheidungen ergeben, ist eine frühzeitige Beteiligung der Politik erforderlich. Dadurch wird abgesichert, dass die Politik rechtzeitig informiert wird und innerhalb der politischen Gremien ausreichend Raum bleibt, um die Maßnahmen zu diskutieren und einen Meinungsbildungsprozess abzuschließen.

2.2. Controlling-Konzept

Die Stadt Schwerin hat sich im Rahmen des vorliegenden Klimaschutzkonzeptes das Ziel gesetzt, unter den Maßgaben der natürlichen, gesetzlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der damit verbundenen konkurrierenden Entwicklungsziele, den Energieverbrauch der städtischen Turnhallen und die damit verbundenen Klimabeeinflussungen zu reduzieren.

Um dieses Ziel zu unterstützen, wurden im Erstellungsprozess des Klimaschutzkonzeptes zahlreiche Maßnahmen entwickelt, die kurz-, mittel- und langfristig umgesetzt werden sollen. Um den Stand des Zieles und der Maßnahmen zu überprüfen, bedarf es eines Controlling-Konzeptes.

Das Konzept kann feststellen, ob sowohl finanzielle als auch personelle Ressourcen effektiv und effizient genutzt werden, sich die Umstände für Maßnahmen geändert haben und neu berücksichtigt werden müssen (bspw. Gesetzesänderungen, technische Innovationen) oder (Zwischen-)Ziele wie geplant erreicht wurden.

So kann aufgezeigt werden, welche Einsparungen bereits erfolgten, wie der aktuelle Stand des Wissens und der Technik ist und ob sich daraus neue Schwerpunkte ergeben oder Teilaspekte verstärkt betrachtet werden sollten. Ggf. müssen dann Ziele und Maßnahmen den neuen Erkenntnissen angepasst werden. Diese Evaluierung muss wesentlicher Bestandteil des Klimaschutzkonzeptes sein. Aus diesem Grund ist es während der Durchführung besonders wichtig, regelmäßig ausführliche Informationen über den Projektlauf zur Erreichung der Klimaschutzziele zu erhalten und diese entsprechend zur Optimierung der Zielverfolgung zu nutzen.

Das Controlling selbst ist dabei als Regelkreis zu verstehen, wie nachfolgende Abbildung verdeutlicht.



Abbildung 2: Controlling und Klimaschutzmanagement – Kreislauf (Quelle: ifeu. In: Difu (2011): Klimaschutz in Kommunen. Praxisleitfaden. Berlin.)

Beim Vergleich des Soll- und Ist-Zustandes sind mögliche Abweichungen festzustellen und mögliche Konsequenzen aus den Abweichungen müssen bewertet werden, sodass Korrekturmaßnahmen erarbeitet und die Maßnahmenplanung zur Erreichung der Klimaschutzziele angepasst werden können.

Dabei sollte betont werden, dass ein Umsetzungscontrolling eine unterstützende Rolle für das Klimaschutzkonzept hat und somit zugleich einen gewissen Servicecharakter einnimmt. Dem Umsetzungscontrolling obliegt die Transparenzverantwortung, um die Antwort zur Frage nach der Effektivität („Doing the right things?“) und der Effizienz des Klimaschutzkonzeptes für das geplante Ziel („Doing things right?“) eindeutig abbilden zu können.

Es umfasst somit zwei Bereiche:

- **Evaluierung der Klimaschutzmaßnahmen:**
Eine Kernaufgabe der Evaluierung ist die Dokumentation der Umsetzung von Maßnahmen.
Dies kann in Form von Umsetzungsberichten bzw. entsprechend aufbereiteter Bilanzen erfolgen. In einer weiteren Analyse könnten spezifische Wirkungen, z. B. CO₂-Reduktion und Kosteneinsparungseffekte ermittelt werden. Ziel ist die Informationsgewinnung über die Wirkung und den Erfolg der einzelnen Maßnahmen.
Diese wird abgeglichen mit den Erwartungen, die an die jeweilige Maßnahme geknüpft wurden bzw. mit den vereinbarten konkreten Klimaschutzzielen. Damit wird die Grundlage geschaffen, um im Sinne eines kontinuierlichen (Verbesserungs-)Prozesses den Gesamtfortschritt der Aktivitäten im Klimaschutz zu messen und bei Bedarf ggf. nachsteuern zu können.
- **Evaluierung des Umsetzungsprozesses**
Der Umsetzungsprozess sollte nachhaltig erfolgreich gestaltet werden. Voraussetzung hierfür ist, dass Ziele, Vorgehensweise und Ergebnisse offen dargelegt werden. Nur auf diese Weise kann erreicht werden, dass die konkreten Klimaschutzziele erreicht und von allen Umsetzungsakteuren mitgetragen werden.

Eine Evaluierung des Umsetzungsprozesses verfolgt in erster Linie das Ziel, den Fortgang der Konzeptrealisierung zu analysieren und anhand verschiedener Kriterien (z. B. Lösungswille, Projektmanagement, Leistungsträger, Akteurseinbindung, Akteursvernetzung, Win-win-Situation, Finanzierung, Transparenz, Kommunikation des Erreichten) nach Optimierungsmöglichkeiten hin zu untersuchen. Mit diesem Umsetzungscontrolling kann so insgesamt dem dynamischen Prozess, der generell einem Klimaschutzkonzept zu eigen ist, entsprochen werden.

Allgemein gilt, dass das Controlling von sogenannten harten Projektmaßnahmen (wie Gebäudesanierung, Einsatz erneuerbarer Energien) im Hinblick auf das Erreichen des Klimaschutzzieles relativ gut und einfach darzustellen ist, da hier anhand von Kennwerten wie z.B. Energieverbrauch die Einsparungen eindeutig berechenbar bzw. durch geeignete Energiemanagementsysteme aufzeigbar sind. Bei den „weichen“ Maßnahmen wie Informations- und Fortbildungskampagnen oder auch der Einstellung eines Klimaschutzmanagers lässt sich die CO₂-Einsparung nicht genau beziffern, sodass hier andere Indikatoren heranzuziehen sind (z.B. Teilnehmerzahlen bei Veranstaltungen, Entwicklung von Kampagnen, Akzeptanz durch Auslastung). Aus diesem Grund sind die erreichten Ergebnisse immer auf die spezifische Bezugsbasis zu beziehen, da z. B. eine höhere Auslastung aufgrund verbesserter Bedingungen ansonsten zu Verzerrungen in der Bilanz führen würde.

Für die Maßnahmen und den Prozess werden für die städtischen Sporthallen folgende Controlling-Elemente empfohlen:

- Dokumentation der Maßnahmen mit Zeit-, Kosten- und Personalbedarf
- Aufstellung eines Investitionsplans mit Wirtschaftlichkeitsdarstellung
- Erfassung, Aufbereitung und Dokumentation der Verbrauchswerte
- Dokumentation der erreichten Einsparungen
- Bezugnahme der Ergebnisse auf das vorhandene Klimaschutzkonzept im Rahmen des vorgeschriebenen jährlichen Zwischen- und Endberichts.
- Implementierung des Konzeptes und Aufbau eines Energiemanagementtools
- Erstellung eines Energieberichts für die Öffentlichkeitsdarstellung

Auch die Einsparungen bei den Energieverbräuchen und CO₂-Emissionen sind in regelmäßigen Abständen zu evaluieren. Mit einer fortschreibbaren CO₂-Bilanz kann dabei die Entwicklung des Verbrauchs und der Emissionen innerhalb des Untersuchungsgebietes aufgezeigt werden. Für das Klimaschutzkonzept kann mit geeigneter Software die CO₂-Bilanz dokumentiert und entsprechend fortgeführt werden.

Dies bedeutet in der Umsetzung:

- Verwendung der vereinfachten Bilanz beispielsweise mit der Software ECO-Region smart (Kosten: ca. 750 EUR pro Jahr)
- Erhebung der statistischen Daten: Benutzerzahlen, Auslastung, Benutzungsstunden

2.3. Basisdatenbewertung

2.3.1. Grundlagen

In der Basisdatenbewertung geht es in zum einen um den Aufbau einer Datenbank, die Gebäude-spezifische Angaben zur Gebäudeart, Baujahr, Nutzfläche, Energieverbrauch für Strom und Wärme, Zählernummern, Wartungsverträgen, Ansprechpartnern usw. zusammenführen soll. Die Zuarbeit der Daten erfolgte durch das Zentrale Gebäudemanagement der Landeshauptstadt Schwerin.

Zum anderen wird die Ist-Situation analysiert und bewertet. Dazu wird der Energieverbrauch der Turnhallen mit Durchschnittswerten verglichen und Minderungspotenziale dargestellt.

Im Klimaschutzteilkonzept wurden die 25 Turnhallen, die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt sind, ausgewählt. Die Nummern 2, 4, 11, 28 und 29 sind im Rahmen des Konzeptes nicht belegt.

Sporthallen Übersicht im Baustein 1			
Nr.	Objektbezeichnung	Straße	Baujahr
1	TH Sporthalle Reiferbahn (Fridericianum)	Reiferbahn 8	2007
3	TH Sprachheilschule	Andrej-Sacharow-Straße 75	1978
5	TH Heinrich-Heine-Schule	Werderstraße 83	1927
6	TH BS GS-G (Johannes-R.-Becher-Schule)	Dr. Hans-Wolf-Straße 9	1964
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	Obotritenring 50	2004
8	TH Friedensschule	Friedensstraße 14	1887
9	TH Erich-Weinert-Schule	Rudolf-Breitscheid-Straße 23	1912
10	TH Fritz-Reuter-Schule	Von-Thünen-Straße 9	1936
12	TH John-Brinckmann-Schule	Willi-Bredel-Straße 19	1969
13	TH Nils-Holgersson-Schule	Friedrich-Engels-Straße 35	1975
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	Von-Stauffenberg-Straße 67	1975
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	Tallinner Straße 6	1976
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	Eulerstraße 2	1981
17	TH Berufsschulförderzentrum West	Johannes-Brahms-Straße 55	1970
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	Friesenstraße 29a	1970
19	TH Berufliche Schule Technik	Gadebuscher Straße 153	1971
20	TH Siemens-Schule	Ratzeburger Straße 44	1975
21	TH Schule Krebsförden	Friedrich-Schlie-Straße 16	2000
22	TH Altes Fridericianum	August-Bebel_Str. 11-12	1890
23	TH Perleberger	Perleberger Straße 18	1979
24	TH Meitnerstr.	Lise-Meitner-Straße 3	1982
25	TH Hegelstraße	Hegelstraße 10	1985
26	TH Hamburger Allee 122	Hamburger Allee 122	1981
27	TH Gutenbergschule (Ziolkowskistr. 16a)	Ziolkowskistraße 16 a	1982
30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	Ratzeburger Str.	1998

Tabelle 2: Übersicht der im Baustein 1 betrachteten Sporthallen

Die betrachteten Turnhallen sind in verschiedenen Zeiträumen entstanden. Zum Teil sind es denkmalgeschützte Gebäude aus den Jahren vor 1900, Typenbauten aus der Zeit der ehemaligen DDR oder Neubauten die im Zeitraum 1998 – 2007 entstanden sind.

Die Energieversorgung der Hallen mit Strom, Fernwärme und Gas erfolgt fast ausschließlich durch die Stadtwerke Schwerin GmbH. Eine Halle verfügt über eine Ölheizung und wird somit nicht über die Stadtwerke versorgt.

Als weitere Grundlage zum Konzept wurde die Hallenauslastung von Belegungsplänen des Schuljahres 2013/2014 der einzelnen Turnhallen abgeleitet. Diese wurde vereinfacht für alle 3

betrachteten Jahre als nahezu gleich betrachtet. Um die Auslastung zu berechnen, wurde in Abstimmung mit dem ZGM folgende Methodik festgelegt: Hallenbetriebszeiten in der Woche von 07:30 Uhr bis 22:00 Uhr; am Wochenende eine durchschnittliche Nutzungsdauer von jeweils drei Stunden. Somit ergaben sich insgesamt Nutzungsstunden von 78,5 Stunden pro Woche (5 Tage x 14,5 Stunden wochentags und 6 Stunden am Wochenende). Anhand der Hallenbelegungspläne wurden anschließend die vorhandenen Nutzungsstunden ermittelt und ins Verhältnis mit den Gesamtnutzungsstunden gebracht. Bei einigen Hallen lag die Nutzungszeit am Wochenende leicht über den veranschlagten 6 Stunden. Um einen einheitlichen Ansatz zu erhalten wurde die Nutzungszeit über 6 Stunden nicht berücksichtigt. Wenn beispielsweise die Zeit am Samstag über den 3 Stunden und am Sonntag unter 3 Stunden lag, dann wurde die Summe aus beiden Tagen verwendet. Jedoch wurden wieder nur max. 6 Stunden in Ansatz gebracht. Pausenzeiten zwischen den einzelnen Unterrichtsstunden sind als Nutzungspotenzial in die Betrachtung eingeflossen. Ferienzeiten wurden nicht berücksichtigt, da nur eine Betrachtung einer wöchentlichen Auslastung sinnvoll ist. Die Darstellung einer jährlichen Auslastung ist bei der Betrachtung von Nutzungspotenzialen der einzelnen Hallen nicht sinnvoll.

Die mittlere Hallenausnutzung aller Hallen liegt etwa bei 83 %. Eine Auslastung von größer gleich 80 % ist als akzeptabel zu betrachten. Bei ca. 19 der 25 Hallen ist dies der Fall und davon liegt bei 7 Hallen die Auslastung sogar über 90 %.

Als Spitzenreiter mit einer Auslastung von ca. 95 % ist die Turnhalle 19 TH Berufliche Schule Technik zu nennen. Die Hallen mit den geringsten Nutzungszeiten sind die Hallen 26 TH Hamburger Allee 122 (58 %), 25 TH Hegelstraße (62 %) und 23 TH Perleberger Straße (72 %).

In der nachfolgenden Tabelle ist die Hallenbelegung ersichtlich:

	Objektbezeichnung	Hallenauslastung (Mo-So)	Nutzungsstunden/ Woche		Objektbezeichnung	Hallenauslastung (Mo-So)	Nutzungsstunden/ Woche
1	TH Sporthalle Reiferbahn (Fridericianum)	85%	67	17	TH Berufsschulförderzentrum West	85%	67
3	TH Sprachheilschule	91%	71	18	TH Berufliche Schule Bautechnik	89%	70
5	TH Heinrich-Heine-Schule	92%	72	19	TH Berufliche Schule Technik	95%	75
6	TH BS GS-G (Johannes-R.-Becher-Schule)	81%	64	20	TH Siemens-Schule	85%	67
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	81%	64	21	TH Schule Krebsförden	80%	63
8	TH Friedensschule	84%	66	22	TH Altes Fridericianum	78%	61
9	TH Erich-Weinert-Schule	91%	71	23	TH Perleberger	72%	57
10	TH Fritz-Reuter-Schule	76%	60	24	TH Meitner Str.	79%	62
12	TH John-Brinckman-Schule	92%	72	25	TH Hegelstraße	62%	49
13	TH Nils-Holgersson-Schule	82%	64	26	TH Hamburger Allee 122	58%	46
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	86%	68	27	TH Gutenbergschule (Ziolkowskistr. 16a)	75%	59
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	94%	74	30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	83%	65
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	93%	73				

Tabelle 3: Hallenauslastung von Montag bis Sonntag (Quelle: eigene Darstellung)

2.3.2. Wärmeverbrauch Übersicht (Jahresheizenergieverbrauch)

Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes wird der Wärmeverbrauch der Turnhallen für die Jahre 2012 – 2014 betrachtet. Die Werte wurden vom ZGM der Landeshauptstadt Schwerin erfasst und für die Konzepterarbeitung zur Verfügung gestellt. Um die ermittelten Verbrauchswerte der Heizenergie über den betrachteten Zeitraum vergleichbar zu machen, ist eine Witterungsbereinigung erfolgt. Dies geschieht mit Hilfe von Klimafaktoren, auch Witterungsfaktoren genannt. Dabei werden die Klimafaktoren der unterschiedlichen Postleitzahlen (werden vom Deutschen Wetterdienst veröffentlicht) mit dem jeweiligen Verbrauch multipliziert. Die Faktoren schwanken innerhalb der 3 Jahre von 0,95 bis 1,12. Die Vereinheitlichung der lokalen Differenzen der unterschiedlichen Hallenstandorte ist dadurch ebenfalls abgedeckt. Diese scheint auf dem ersten Blick nicht notwendig, aber bei Betrachtung der Faktoren für das Jahr 2014 fällt auf, dass diese mit Werten von 1,09 bis 1,12 relativ stark schwanken. Die so bereinigten Werte können direkt miteinander verglichen werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Klimafaktoren der betreffenden Postleitzahlen ersichtlich:

Postleitzahl	Zeitraum		
	2012	2013	2014
19053	0,97	0,94	1,11
19055	0,97	0,95	1,12
19057	0,96	0,94	1,10
19059	0,96	0,94	1,11
19061	0,95	0,93	1,09
19063	0,95	0,93	1,09

Tabelle 4: Klimafaktoren vom Deutschen Wetterdienst

Die Witterungsbereinigung erfolgt, wenn der Warmwasserverbrauch vorliegt, in dem man den Heizwärmeverbrauch mit den Klimafaktoren multipliziert und anschließend den Wärmeverbrauch für Warmwasser dazu addiert. Wenn kein separater Wert für Warmwasser erfasst wird, wird dieser mithilfe eines mittleren Warmwasserverbrauchs abgeleitet. Der mittlere Warmwasserverbrauch liegt für die betrachteten Turnhallen bei etwas 6 % (aus den vorliegenden Werten berechnet). Die Witterungsbereinigung erfolgt dann analog der zuvor beschriebenen Berechnung. Der so berechnete Wasserverbrauch wird jedoch nicht weiter betrachtet.

Der Wärmeverbrauch ist als Grundlage zum Konzept vom Zentralen Gebäudemanagement der Landeshauptstadt Schwerin zur Verfügung gestellt worden. Dabei gibt es jedoch drei verschiedene Qualitäten, mit der diese Werte ermittelt werden. Die besten Daten liefern die Turnhallen, die über eine getrennte Erfassung des Energieverbrauchs für Wärme und Warmwasser verfügen. Die mittlere Datenqualität wird zwar mittels eigenen Wärmemengenzählers für die Halle erfasst, jedoch gibt es keine getrennte Erfassung des Verbrauches von Wärme und Warmwasser. Bei der schlechtesten Datenqualität wird der Verbrauch der jeweiligen Turnhalle aus einem Gesamtwärmeverbrauch der Schule und Turnhalle ermittelt. Diese Berechnung erfolgt anhand der Grundflächen der beiden Gebäude. Eine Aussage zum Warmwasserverbrauch ist dabei nicht möglich.

Bei den Hallen, bei denen die mittleren und schlechtesten Datenqualitäten vorliegen, können Effekte von Sanierungsmaßnahmen oder Nutzerverhaltensänderungen, die zu Energieeinsparungen führen, nicht dargestellt werden.

In der nachfolgenden Tabelle ist der Energieverbrauch der einzelnen Turnhallen dargestellt. Dabei sind auch die zuvor benannten Datenqualitäten ersichtlich.

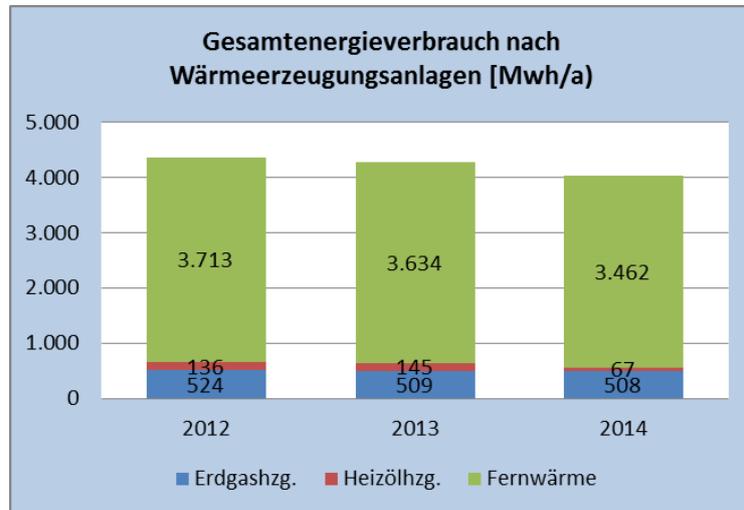
Grunddaten der Sporthallen			Energie-träger	Wärme (Witterungsbereinigt) inkl. Warmwasser (kWh/a)			davon Warmwasser wenn Werte vorh. (kWh/a)		
Nr.	Objektbezeichnung	NGF		2012	2013	2014	2012	2013	2014
1	TH Sporthalle Reiferbahn	2.037	FW	192.211	187.407	189.411			
3	TH Sprachheilschule	798	FW	92.319	104.416	124.572			
5	TH Heinrich-Heine-Schule	1.069	Gas	102.963	94.355	85.585			
6	TH Berufliche Schule GS-G	731	Gas	137.671	138.788	132.890			
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	2.194	Gas	204.799	200.821	200.830			
8	TH Friedensschule	322	Gas	78.246	75.229	88.271			7.376
9	TH Erich-Weinert-Schule	907	FW	98.238	111.820	129.493			
10	TH Fritz-Reuter-Schule	384	FW	60.443	51.840	84.154			
12	TH John-Brinckman-Schule	799	FW	94.595	92.929	91.332			
13	TH Nils-Holgersson-Schule	1.445	FW	176.692	187.331	184.448	6.782	7.202	5.313
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	1.453	FW	196.062	181.207	156.156	Unterzähler WW vorh. nicht funktionsfähig		
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	1.451	FW	216.373	236.465	186.888	13.195	10.375	7.920
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	759	FW	87.741	90.912	90.651			
17	TH Berufsschulförderz. West	687	FW	111.187	107.483	113.433			
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	1.272	FW	229.930	219.422	212.395			
19	TH Berufliche Schule Technik	1.904	FW	323.424	286.515	269.124			
20	TH Siemens-Schule	1.839	FW	348.513	318.679	211.483	Unterzähler WW vorh. nicht funktionsfähig		
21	TH Schule Krebsförden	2.015	FW	213.685	245.472	294.662			
22	TH Altes Fridericianum	400	Öl	136.106	144.913	66.808			
23	TH Perleberger	1.449	FW	353.690	334.754	350.378			
24	TH Meitnerstr.	1.188	FW	285.345	290.512	209.126			
25	TH Hegelstraße	662	FW	119.954	115.632	104.270	Unterzähler WW Einbau 2014		
26	TH Hamburger Allee 122	748	FW	175.562	149.784	138.715			
27	TH Gutenbergschule	758	FW	150.098	135.578	132.506			9.690
30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	3.078	FW	186.912	185.786	189.151			
Summe				4.372.760	4.288.047	4.036.732			
Legende:		Datenqualität 1: Wärmemengenzähler getrennt Wärme und Warmwasser (WW) vorh. Datenqualität 2: Wärmemengenzähler für Halle vorh. (nicht getrennt WW) Datenqualität 3: kein separater Wärmemengenzähler in TH (Aufteilung nach Grundfläche)							
FW = Fernwärme									
Gas= Erdgas									
Öl= Heizöl									

Tabelle 5: Übersicht Wärmeverbrauch Turnhallen (Datengrundlage ZGM)

Der Einfluss bei Wärmeverbrauch durch die Hallennutzung ist vergleichsweise gering, da viele Wärmeerzeugungsanlagen gerade in unsanierten Hallen nahezu permanent arbeiten müssen, um eine entsprechende Beheizung zu gewährleisten. Eine gesonderte Betrachtung erfolgt somit nicht.

Bei der Gegenüberstellung der einzelnen Wärmeerzeugungsanlagen fällt auf, dass der überwiegende Teil der Wärmeenergie (2014 ca. 86%) durch die Fernwärme der Stadtwerke Schwerin (SWS) bereitgestellt wird. Die Erdgas- (4 Hallen) und Heizölwärmeerzeugungsanlagen (1 Halle)

sind somit eher gering vertreten. Das Erdgas wird ebenfalls von den Stadtwerken Schwerin bezogen.



**Abbildung 3: Gesamtenergieverbrauch nach Wärmeerzeugungsanlagen
(Quelle: Eigene Abbildung)**

Die Hilfsenergie (elektrische Energie) für den Betrieb der Heizungsanlagen wird und kann nicht separat ausgewiesen werden. Dieser Verbrauch kann gerade bei Lüftungsanlagen relativ groß sein. Der Hilfsenergieverbrauch wird im elektrischen Energieverbrauch der Turnhallen erfasst. Die Darstellung der Größe ist jedoch nur bei einer feineren Erfassung des Verbrauches möglich (Unterzähler Lüftung für elektr. Energie).

2.3.3. Analyse und Bewertung des Wärmeverbrauchs

Um die Hallen besser mit einander vergleichen und eventuelle Auswirkungen von Energiesparmaßnahmen beurteilen zu können, werden Energiekennwerte der einzelnen Hallen gebildet. Dabei wird der spezifische witterungsbereinigte Energieverbrauch auf die Nettogrundfläche der jeweiligen Halle bezogen (in kWh/m²a). Zudem werden die Gesamt-CO₂-Emissionen der einzelnen Jahre dargestellt.

Dazu wurden die spezifischen Verbrauchswerte der Hallen mittels CO₂-Äquivalenten verrechnet. Dieses Vorgehen ermöglicht eine differenzierte Darstellung der Emissionen nach Energieträgern und eine weitere Identifikation klimaschutzrelevanter Bereiche.

Das CO₂-Äquivalent beschreibt den Einfluss der wichtigsten klimarelevanten Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO₂), aber auch Methan (CH₄) oder Distickstoffoxid (N₂O/Lachgas). Die verschiedenen Gase tragen nicht gleichermaßen zum Treibhauseffekt bei. Methan ist beispielsweise 25-mal schädlicher als Kohlendioxid, bleibt aber für eine kürzere Zeit in der Atmosphäre. Um diese Wirkung vergleichbar zu machen, werden die anfallenden klimarelevanten Gase in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Es wird in der Regel als Gramm CO₂ pro verbrauchte kWh beim Endverbraucher angegeben.

Energieträger/ Wärmerzeuger	CO ₂ -Äquivalent
Strom-Stadtwerke Schwerin (Berücksichtigung von KWK)	341,1 g CO ₂ / kWh (Quelle: SWS)
Heizen mit Heizöl (Durschnitt)	320 g CO ₂ / kWh (Quelle: Gemis Datenbank 4.94)
Heizen mit Erdgas (H) – Stadtwerke Schwerin	217,8 g CO ₂ / kWh (Quelle: SWS) (vgl. <i>Durchschn. Deutschland 250 g CO₂/kWh</i> ; Quelle: Gemis Datenbank)
Heizen mit Fernwärme – Stadtwerke Schwerin	190,8 g CO ₂ / kWh (Quelle: SWS)

Tabelle 6: Übersicht verwendeter CO₂-Äquivalente

Aus den in Tabelle 6 dargestellten Werten der einzelnen Energieträger wird deutlich, dass die verschiedenen Beheizungsarten sich teilweise deutlich voneinander unterscheiden. Beispielsweise verursacht die Verbrennung von Heizöl fast 70 % mehr CO₂ als die Nutzung von Fernwärme.

In der nachfolgend dargestellten Tabelle sind die Energieverbrauchskennwerte (in kWh/m²a) und die jährlichen CO₂-Emissionen (t CO₂-Äq/ a) der einzelnen Hallen dargestellt. Vergleicht man die einzelnen Energieverbrauchskennwerte mit dem Vergleichswert von 110 kWh/m²a fällt auf, dass viele Hallen einen sehr hohen Verbrauch aufweisen. Dieser Vergleichswert wird analog der Vorgabe des § 19 Absatz 4 der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) bei der Erstellung von Energieverbrauchsausweisen angesetzt. Der Energiekennwert von 110 kWh/m²a für Sporthallen (betrieben durch die „öffentliche Hand“) ist aus der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit entnommen.

Bei fast allen Hallen liegt der Wert über dem Vergleichswert und somit lassen sich enorme potenzielle CO₂-, Energie- und Kosteneinsparungen ableiten. Bei 15 Hallen wird der Vergleichswert deutlich überschritten (siehe rote Markierung in Tabelle). Die höchsten Energiekennwerte (2014) weisen die Turnhalle 8 TH Friedensschule mit 274 kWh/m²a und die Turnhalle 23 TH Perleberger Straße mit 241 kWh/m²a und die Turnhalle 10 TH Fritz-Reuter-Schule mit 218 kWh/m²a auf.

¹ Quelle: Gemis Datenbank 4.94; <http://www.iinas.org/gemis-download-de.html>; Stand März 2015

In der nachfolgenden Tabelle sind zudem die jeweiligen CO₂-Emissionen der Turnhallen ersichtlich.

Energiekennwerte/ CO-Emissionen Wärme									
Nr.	Objektbezeichnung	Baujahr	Energieträger	Energiekennwert Wärme (Witterungsbereinigt) inkl. Warmwasser (kWh/m ² a)			Gesamt-CO-Emissionen (t CO ₂ -Äq/ a)		
				2012	2013	2014	2012	2013	2014
1	TH Sporthalle Reiferbahn	2007	FW	94,36	92,00	92,99	36,67	35,76	36,14
3	TH Sprachheilschule	1978	FW	115,73	130,89	156,16	17,61	19,92	23,77
5	TH Heinrich-Heine-Schule	1927	Gas	96,32	88,27	80,06	22,43	20,55	18,64
6	TH Berufliche Schule GS-G	1964	Gas	188,36	189,88	181,81	29,98	30,23	28,94
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	2004	Gas	93,33	91,51	91,52	44,61	43,74	43,74
8	TH Friedensschule	1887	Gas	243,30	233,92	274,48	17,04	16,38	19,23
9	TH Erich-Weinert-Schule	1912	FW	108,32	123,30	142,79	18,74	21,34	24,71
10	TH Fritz-Reuter-Schule	1936	FW	157,26	134,88	218,95	11,53	9,89	16,06
12	TH John-Brinckman-Schule	1969	FW	118,41	116,32	114,32	18,05	17,73	17,43
13	TH Nils-Holgersson-Schule	1975	FW	122,27	129,63	127,63	37,41	34,57	29,79
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	1975	FW	134,98	124,75	107,51	16,21	13,78	27,18
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	1976	FW	149,16	163,01	128,84	41,28	45,12	35,66
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	1981	FW	115,67	119,85	119,51	16,74	17,35	17,30
17	TH Berufsschulförderz. West	1970	FW	161,92	156,52	165,19	21,21	20,51	21,64
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	1970	FW	180,73	172,47	166,95	43,87	41,87	40,52
19	TH Berufliche Schule Technik	1971	FW	169,86	150,47	141,34	61,71	54,67	51,35
20	TH Siemens-Schule	1975	FW	189,52	173,30	115,01	66,50	60,80	40,35
21	TH Schule Krebsförden	2000	FW	106,06	121,83	146,25	40,77	46,84	56,22
22	TH Altes Fridericianum	1890	Öl	340,27	362,28	167,02	43,42	46,23	21,31
23	TH Perleberger	1979	FW	244,03	230,97	241,75	67,48	63,87	66,85
24	TH Meitnerstr.	1982	FW	240,12	244,47	175,98	54,44	55,43	39,90
25	TH Hegelstraße	1985	FW	181,08	174,55	157,40	22,89	22,06	19,89
26	TH Hamburger Allee 122	1981	FW	234,60	200,15	185,36	33,50	28,58	26,47
27	TH Gutenbergschule	1982	FW	198,04	178,88	174,83	28,64	25,87	25,28
30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	1998	FW	60,72	60,35	61,44	35,66	35,45	36,09
Summe							865,9	850,5	792,5
Legende: FW = Fernwärme Gas= Erdgas Öl= Heizöl				Datenqualität 1: Wärmemengenzähler getrennt Wärme und Warmwasser (WW)vorh. Datenqualität 2: Wärmemengenzähler für Halle vorh. (nicht getrennt WW) Datenqualität 3: kein separater Wärmemengenzähler in TH (Aufteilung nach Grundfläche)					

Tabelle 7: Energiekennwerte für Wärme und Gesamt-CO₂-Emissionen (Quelle: Eigene Darstellung)

Die betrachteten Turnhallen haben im Jahr 2014 ca. 792 Tonnen CO₂-Äq. emittiert. Vergleicht man diesen Wert mit den Jahren 2012 und 2013, so haben sich die CO₂-Emissionen um 11 bzw. 10 % verringert. Die Halle mit den größten CO₂-Emissionen ist die Turnhalle 23 TH Perleberger Straße mit allein ca. 67 Tonnen CO₂ im Jahr 2014, was gut 15 % der Gesamtemissionen entspricht. Ebenfalls sehr hohe Werte haben die Hallen 21 TH Schule Krebsförden mit 56 Tonnen CO₂ und 19 TH Berufliche Schule Technik mit 51 Tonnen im Jahr 2014.

Es ist abschließend nochmals festzustellen, dass bei Hallen ohne eigene Erfassung des Wärmeverbrauchs keine Rückschlüsse über den Effekt von Sanierungsmaßnahmen gezogen werden können.

2.3.4. Minderungspotenziale Wärme (Energie, Kosten, CO₂)

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Energie-, Kosten- und CO₂-Minderungspotenziale beim Wärmeverbrauch dargestellt. Dazu werden ausschließlich die aktuellsten Verbrauchswerte des Jahres 2014 verwendet.

Nachfolgend wird kurz die Vorgehensweise erläutert: Im ersten Schritt wird der vorhandene Energiekennwert der einzelnen Hallen mit dem zuvor erläuterten Vergleichswert (110 kWh/m²a) gegenübergestellt. Die Hallen, bei denen der vorhandene Energiekennwert kleiner als 110 kWh/m²a ist, werden diesbezüglich nicht betrachtet. Bei diesen Gebäuden ist der Verbrauch relativ gering und potenzielle Einsparungen können nicht ausgewiesen werden. Im Zweiten Schritt wird vereinfacht der Vergleichswert von den tatsächlichen Energiekennwerten abgezogen. Wenn man dieses Ergebnis mit der jeweiligen Nutzfläche multipliziert, dann erhält man die mögliche jährliche Gesamtenergieeinsparung. Im dritten Schritt wurden die tatsächlichen Kosten der Wärmeerzeugungsanlagen aus den einzelnen Heizkostenabrechnungen ausgewertet.

Daraus ergeben sich folgende Preise pro Kilowattstunde:

Energieträger/Wärmeerzeuger	Preis je kWh (brutto)
Heizöl	0,082 €/kWh ²
Erdgas – Stadtwerke Schwerin	0,06 €/kWh ²
Heizen mit Fernwärme – Stadtwerke Schwerin	0,0889 €/kWh ²

Tabelle 8: Energiepreise der einzelnen Wärmeerzeuger (Quelle: ZGM und Stadt Schwerin)

Die Preise sind den Heizkostenabrechnungen für das Jahr entnommen worden. Bei allen Hallen wird je nach Wärmeerzeugertyp der gleiche Preis angesetzt. Aufgrund des geringeren Verbrauches kann es sein, dass sich bei den Energieverträgen andere Grundkosten ergeben könnten. Diese Veränderungen wurden bei dieser Betrachtung vernachlässigt. Aus der Multiplikation der Gesamtenergieeinsparung mit dem jeweiligen Energiepreis ergibt sich die potenzielle jährliche Kosteneinsparung der einzelnen Hallen. Zuletzt wurde noch die CO₂-Einsparung mithilfe der in Tabelle 6 dargestellten CO₂-Äquivalente ermittelt.

Bei der Betrachtung der möglichen Energieeinsparungen ist ersichtlich, dass ca. ein Viertel (ca. 965 MWh) des jährlichen Gesamtverbrauchs eingespart werden könnte. Die Hallen mit den größten Einsparpotenzialen sind die Turnhallen 23 TH Perleberger Straße und 24 Meitner Str. (auf den Gesamtverbrauch bezogen).

Wenn man die Einsparungen aller Hallen mit dem jeweiligen Energiepreis verrechnet, ergeben sich beträchtliche Kosteneinsparpotenziale. Alleine bei der Turnhalle 23 TH Perleberger Straße und TH 24 Meitnerstraße sind Einsparungen von ca. 17.000 EUR bzw. 7.000 EUR (Bezug auf Vergleichswert) möglich. Die jährliche Gesamteinsparung liegt bei ca. 86.000 EUR. Ebenfalls beträchtliche Kostenminderungspotenziale weisen die Turnhallen TH 19 Berufliche Schule für Technik; TH 18 TH Berufliche Schule für Bautechnik, 21 TH Schule Krebsförden und 24 TH Meitner Straße auf mit Werten von 5.300 bis 6.500.

² Quelle: Zentralen Gebäudemanagement der Stadt Schwerin und bei Halle 22 von WGS Schwerin

Die die Einsparpotenziale bei den CO₂-Emissionen ist ebenfalls beträchtlich. Die Turnhalle TH 23 Perleberger Straße ist auch hier die Halle mit dem größten Potenzial. Das Einsparpotenzial liegt bei bei ca. 36 Tonnen CO₂ im Jahr. Bei den restlichen Hallen schwanken die Werte zwischen 2 und 15 Tonnen CO₂.

Potenzielle Energie-, CO ₂ und Kosteneinsparungen									
Grunddaten der Sporthallen		Wärme inkl. WW für 2014 Witterungsbereinigt			Vergleichswert (kWh)/m ² a	Potenzielle Einsparungen ggü. 2014 (auf 110 kWh/m ² bezogen)			
Nr	Objektbezeichnung	Energieträger	Kosten Energieträger (€/kWh) (*)	Energiekennwert (kWh/(m ² a))		(kWh/(m ² a))	Gesamteinsparung in kWh/a	€/a	t / CO ₂ /a
1	TH Sporthalle Reiferbahn	FW	0,0889	92,99	110	-	-	-	
3	TH Sprachheilschule	FW	0,0889	156,16		46,16	36.820	3.273,33 €	7,03
5	TH Heinrich-Heine-Sch.	Gas	0,0600	80,06		-	-	-	
6	TH BS GS-G (Johannes-R.-Becher-Schule)	Gas	0,0600	181,81		71,81	52.490	3.149,42 €	11,43
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	Gas	0,0600	91,52		-	-	-	
8	TH Friedensschule	Gas	0,0600	274,48		164,48	52.895	3.173,73 €	11,52
9	TH Erich-Weinert-Schule	FW	0,0889	142,79		32,79	29.735	2.643,47 €	5,67
10	TH Fritz-Reuter-Schule	FW	0,0889	218,95		108,95	41.876	3.722,74 €	7,99
12	TH John-Brinckman-S.	FW	0,0889	114,32		4,32	3.455	307,14 €	0,66
13	TH Nils-Holgersson-Sch.	FW	0,0889	127,63		17,63	25.481	2.265,30 €	4,86
14	TH Bertholt-Brecht-Sch.	FW	0,0889	107,51		-	-	-	
15	TH Astrid-Lindgren-Sch.	FW	0,0889	128,84		18,84	27.324	2.429,14 €	5,21
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	FW	0,0889	119,51		9,51	7.214	641,30 €	1,38
17	TH Berufsschulförderzentrum West	FW	0,0889	165,19		55,19	37.896	3.368,94 €	7,23
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	FW	0,0889	166,95		56,95	72.449	6.440,74 €	13,82
19	TH Berufliche Schule Technik	FW	0,0889	141,34		31,34	59.675	5.305,13 €	11,39
20	TH Siemens-Schule	FW	0,0889	115,01		5,01	9.205	818,36 €	1,76
21	TH Schule Krebsförden	FW	0,0889	146,25		36,25	73.030	6.492,33 €	13,93
22	TH Altes Fridericianum	Öl	0,082	490,53		380,53	129.566	10.401,58 €	41,33
23	TH Perleberger	FW	0,0889	241,75		131,75	190.948	16.975,30 €	36,43
24	TH Meitnerstr.	FW	0,0889	175,98		65,98	78.410	6.970,63 €	14,96
25	TH Hegelstraße	FW	0,0889	157,40		47,40	31.402	2.791,62 €	5,99
26	TH Hamburger Allee 122	FW	0,0889	185,36		75,36	56.396	5.013,64 €	10,76
27	TH Gutenbergschule (Ziolkowskistr. 16a)	FW	0,0889	174,83		64,83	49.133	4.367,96 €	9,37
30	TH Mecklenb. Schule für Körperbehinderte	FW	0,0889	61,44		-	-	-	
Summe:							965.191	82.506,76 €	190,8

(*) Die Kosten der Energieträger sind die durchschnittlichen Preise der Jahresabrechnungen der einzelnen Turnhallen.

Tabelle 9: Darstellung der potenziellen Energie-, Kosten- und CO₂-Einsparungen (Quelle: Eigene Darstellung)

2.3.5. Energieverbrauch Übersicht – Elektr. Energie

Für die Betrachtung des Stromverbrauches sind, wie zuvor beim Wärmeverbrauch, ebenfalls die Jahre 2012 bis 2014 ausgewertet worden. Der Stromverbrauch ist als Grundlage zum Konzept vom Zentralen Gebäudemanagement der Landeshauptstadt Schwerin zur Verfügung gestellt worden. Dabei gibt es jedoch zwei verschiedene Qualitäten mit der diese Werte ermittelt werden. Die Daten guter Qualität liefern die Turnhallen, die über einen eigenen Stromzähler verfügen. Bei der schlechten Datenqualität wird der Verbrauch der jeweiligen Turnhalle aus einem Gesamtstromverbrauch der Schule und Turnhalle ermittelt. Diese Berechnung erfolgt anhand der Grundflächen beider Gebäude. Eine Stromverbrauchserfassung der verschiedenen Nutzungseinheiten der Hallen (Sozialtrakt, Halle, usw.) ist nicht vorhanden. Eine Witterungsbereinigung wie beim Wärmeverbrauch muss nicht erfolgen.

Hallen mit schlechter Datenqualität können Effekte von Sanierungsmaßnahmen oder Nutzerverhaltensänderungen, die zu Energieeinsparungen führen nicht darstellen.

In der nachfolgenden Tabelle ist die Zusammenfassung des elektrischen Energieverbrauchs dargestellt. Sie zeigt, dass in den Turnhallen der Landeshauptstadt Schwerin in den Jahren 2012 bis 2014 jährlich etwa 775 – 908 MWh verbraucht wurden. Die betragsmäßig größten Verbraucher sind im Jahr 2014 dabei die Turnhallen TH 19 Berufliche Schule für Technik mit 130.080 kWh/a, TH 15 Astrid-Lindgren-Schule mit 110.593 kWh/a und die TH 1 Sporthalle Reiferbahn mit 75.686 kWh/a. Die Verbrauchsschwankungen im Betrachtungszeitraum sind verhältnismäßig gering. Bei der Turnhalle TH 3 Sprachheilschule zeigt sich, dass die Verteilung des Verbrauches zwischen Schulgebäude und Turnhalle anhand der Nutzflächen relativ ungenau ist. Diese Turnhalle hat im Jahr 2013 einen eigenen Stromzähler erhalten. Der Verbrauchswert im nachfolgenden Jahr ist um ca. 60 % gestiegen. Diese Erhöhung ist wahrscheinlich nicht auf mögliche Nutzungsänderungen, sondern auf die objektspezifische Erfassung des Verbrauches zurückzuführen. Hierbei handelt es sich allerdings um die einzige Halle, bei dem eine Zählernachrüstung stattgefunden hat. Um diesen Effekt weiter belegen zu können, müssten noch weitere Hallen nachgerüstet werden. Vermutlich sind die Abweichungen bei den restlichen Hallen ohne separaten Stromzähler ebenfalls beträchtlich.

Grunddaten der Sporthallen			Elekt. Energie (kWh/a)		
Nr.	Objektbezeichnung	NGF	2012	2013	2014
1	TH Sporthalle Reiferbahn	2.037	69.970	71.520	75.686
3	TH Sprachheilschule	798	8.206	7.656	12.505
5	TH Heinrich-Heine-Schule	1.069	12.883	14.048	14.256
6	TH Berufliche Schule GS-G	731	11.979	11.342	11.751
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	2.194	51.633	49.200	51.210
8	TH Friedensschule	322	8.187	8.010	8.235
9	TH Erich-Weinert-Schule	907	10.286	9.524	8.408
10	TH Fritz-Reuter-Schule	384	4.983	5.236	5.695
12	TH John-Brinckman-Schule	799	14.686	12.795	14.864
13	TH Nils-Holgersson-Schule	1.445	35.140	41.949	42.635
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	1.453	36.487	40.388	44.963
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	1.451	99.628	104.531	110.593
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	759	14.196	15.083	15.073
17	TH Berufsschulförderz. West	687	9.616	9.931	12.849
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	1.272	16.636	16.408	20.489
19	TH Berufliche Schule Technik	1.904	109.620	149.100	130.800
20	TH Siemens-Schule	1.839	53.970	49.950	51.300
21	TH Schule Krebsförden	2.015	43.469	62.920	64.964
22	TH Altes Fridericianum	340	9.434	11.932	11.345
23	TH Perleberger	1.449	78.180	74.279	77.958
24	TH Meitnerstr.	1.188	-	29.125	45.964
25	TH Hegelstraße	662	13.503	13.736	10.064
26	TH Hamburger Allee 122	748	11.820	10.890	13.020
27	TH Gutenbergschule	758	7.980	6.975	5.175
30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	3.078	43.499	44.792	48.333
Summe			790.143	889.217	925.152
Datenqualität 1 (gut) separater Stromzähler in TH vorhanden					
Datenqualität 2 (Schlecht): kein separater Wärmemengenzähler in TH (Aufteilung nach Grundfläche)					

Tabelle 10: Energieverbrauch elektrische Energie 2012 – 2014
(Quelle: Daten ZGM Schwerin, eigene Darstellung)

2.3.6. Analyse und Bewertung des Stromverbrauchs

Um eine bessere Vergleichbarkeit der Hallen untereinander zu ermöglichen und eventuelle Auswirkungen von Energiesparmaßnahmen besser beurteilen zu können, werden Energiekennwerte der einzelnen Hallen gebildet. Dabei wird, ähnlich wie beim Wärmeverbrauch, der spezifische Energieverbrauch auf die Nettogrundfläche der jeweiligen Halle bezogen (in kWh/m²a). Zudem werden die Gesamt-CO₂-Emissionen der einzelnen Jahre dargestellt.

Dazu werden die spezifischen Verbrauchswerte der einzelnen Hallen mit dem CO₂-Äquivalenten für Strom (Elektrische Energie) verrechnet. Dieses Vorgehen ermöglicht eine differenzierte Darstellung der Emissionen und eine weitere Identifikation klimaschutzrelevanter Bereiche.

Ein CO₂-Äquivalent beschreibt dabei den Einfluss der wichtigsten klimarelevanten Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO₂), aber auch Methan (CH₄) oder Distickstoffoxid (N₂O/Lachgas). Die verschiedenen Gase tragen nicht gleichermaßen zum Treibhauseffekt bei. Methan ist beispielsweise

25-mal schädlicher als Kohlendioxid, bleibt aber für eine kürzere Zeit in der Atmosphäre. Um diese Wirkung vergleichbar zu machen, werden die anfallenden klimarelevanten Gase in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Es wird in der Regel als Gramm CO₂ pro verbrauchte kWh beim Endverbraucher angegeben.

Energieträger	CO ₂ -Äquivalent
Strom-Stadtwerke Schwerin (Berücksichtigung von KWK)	341,1 g CO ₂ / kWh (Quelle: SWS)

Tabelle 11: Übersicht verwendeter CO₂-Äquivalente

In der zuvor dargestellten Tabelle ist das CO₂-Äquivalent für elektrische Energie der Stadtwerke Schwerin dargestellt. Die Turnhallen der Landeshauptstadt Schwerin werden alle von Stadtwerken Schwerin versorgt. Das CO₂-Äquivalent ist im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (Bundesstrom-Mix 2014) mit 569 g CO₂/kWh³ (Umweltbundesamt, 2014) um 40 % besser.

In der nachfolgend dargestellten Tabelle sind die Energieverbrauchskennwerte für die elektrische Energie (in kWh/m²a) und die jährlichen CO₂-Emissionen (t CO₂-Äq/ a) der einzelnen Hallen dargestellt. Bei der Gegenüberstellung der Energieverbrauchskennwerte mit dem Vergleichswert von 25 kWh/m²a⁴ fällt auf, dass ca. 20 % der Hallen einen größeren bzw. deutlich größeren Verbrauch aufweisen. Dieser Vergleichswert wird analog der Vorgabe des § 19 Absatz 4 der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) bei der Erstellung von Energieverbrauchsausweisen angesetzt. Der Energiekennwert von 25 kWh/m²a für Sporthallen (betrieben durch die „öffentliche Hand“) ist aus der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit entnommen.

³ Quelle: CO₂ für Bundesstrom-Mix 2014: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen>; 15. April 2015

⁴ Quelle: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, Anlage 2 Tab. 2.1; 7. April 2015

Energiekennwerte/ CO-Emissionen elektr. Energie								
Nr.	Objektbezeichnung	Auslastung (Mo-So)	Energiekennwert elektr. Energie (kWh/m²a)			Gesamt-CO-Emissionen (t CO-Äq/ a)		
			2012	2013	2014	2012	2013	2014
1	TH Sporthalle Reiferbahn	85%	34,35	35,11	37,16	23,9	24,4	25,8
3	TH Sprachheilschule	91%	10,29	9,60	15,68	2,8	2,6	4,3
5	TH Heinrich-Heine-Schule	92%	12,05	13,14	13,34	4,4	4,8	4,9
6	TH Berufliche Schule GS-G	81%	16,39	15,52	16,08	4,1	3,9	4,0
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	81%	23,53	22,42	23,34	17,6	16,8	17,5
8	TH Friedensschule	84%	25,46	24,91	25,61	2,8	2,7	2,8
9	TH Erich-Weinert-Schule	91%	11,34	10,50	9,27	3,5	3,2	2,9
10	TH Fritz-Reuter-Schule	76%	12,97	13,62	14,82	1,7	1,8	1,9
12	TH John-Brinckman-Schule	92%	18,38	16,02	18,61	5,0	4,4	5,1
13	TH Nils-Holgersson-Schule	82%	24,32	29,03	29,50	12,0	14,3	14,5
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	86%	25,12	27,81	30,96	12,4	13,8	15,3
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	94%	68,68	72,06	76,24	34,0	35,7	37,7
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	93%	18,72	19,88	19,87	4,8	5,1	5,1
17	TH Berufsschulförderz. West	85%	14,00	14,46	18,71	3,3	3,4	4,4
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	89%	13,08	12,90	16,11	5,7	5,6	7,0
19	TH Berufliche Schule Technik	95%	57,57	78,31	68,69	37,4	50,9	44,6
20	TH Siemens-Schule	85%	29,35	27,16	27,90	18,4	17,0	17,5
21	TH Schule Krebsförden	80%	21,57	31,23	32,24	14,8	21,5	22,2
22	TH Altes Fridericianum	78%	23,59	29,83	28,36	3,2	4,1	3,9
23	TH Perleberger	72%	53,94	51,25	53,79	26,7	25,3	26,6
24	TH Meitnerstr.	79%	-	24,51	38,68	-	9,9	15,7
25	TH Hegelstraße	62%	20,38	20,74	15,19	4,6	4,7	3,4
26	TH Hamburger Allee 122	58%	15,79	14,55	17,40	4,0	3,7	4,4
27	TH Gutenbergschule	75%	10,53	9,20	6,83	2,7	2,4	1,8
30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	83%	14,13	14,55	15,70	14,8	15,3	16,5
Summe						269,5	303,3	315,6
Datenqualität 1 (gut) separater Stromzähler in TH vorhanden								
Datenqualität 2 (schlecht): kein separater Wärmemengenzähler in TH (Aufteilung nach Grundfläche)								
Energiekennwert mit roter Schriftfarbe: deutlich größer als Vergleichswert von 25 kWh/m²a								
CO-Emissionen mit roter Schriftfarbe: die mit Abstand größten CO-Emittenten								

Tabelle 12: Energiekennwerte für Wärme und Gesamt-CO₂-Emissionen (Quelle: Eigene Darstellung)

Der quadratmeterbezogene Verbrauch liegt bei den meisten Hallen unter dem Vergleichswert. Bei 7 Turnhallen liegt er aber zum Teil deutlich über 25 kWh/m²a (siehe rote Schriftfarbe in Tabelle). Somit lassen sich auch bei der elektrischen Energie enorme potenzielle CO₂-, Energie- und Kosteneinsparungen ableiten.

Die mit Abstand höchsten Energiekennwerte (2014) weisen die Turnhallen 15 TH Astrid-Lindgren-Schule mit 76,24 kWh/m²a, 19 TH Berufliche Schule für Technik mit 68,7 kWh/m²a und 23 TH Perleberger Straße mit 53,8 kWh/m²a auf.

Die betrachteten Turnhallen haben im Jahr 2014 ca. 310 Tonnen CO₂-Äq. emittiert. Vergleicht man diesen Wert mit den Jahren 2012 und 2013 so haben sich die CO₂-Emissionen um 15 % bzw. 4 % erhöht (Bezug 2014). Die beiden größten CO₂-Emittenten sind dabei die Turnhallen 15 TH Astrid-Lindgren-Schule und 19 TH Berufsschule Technik mit allein ca. 37,7 bzw. 44,6 Tonnen CO₂ im Jahr

2014. Das entspricht ca. 12 % bzw. 14 % der jährlichen Gesamtemissionen.

Beim Vergleich der Energiekennwerte mit der Hallenauslastung fällt auf, dass es einen widersprüchlichen Zusammenhang zwischen der Hallenauslastung und dem jeweiligen Energiekennwert gibt. Die Hallen 14 und 19 mit den beiden höchsten Werten haben auch die höchste Auslastung. Widersprüchlich ist dagegen, dass bei den Hallen 23 und 24, die ebenfalls hohe Energiekennwerte beim Strom ausweisen, die Auslastung verhältnismäßig gering ist. Zudem ist bei den Turnhallen bei denen die Auslastung über 90 % ist, wie bspw. bei den Hallen 3, 12 und 16, der Energiekennwert zum Teil deutlich unter 20 kWh/m²a. Die Hallen die keine separate Stromerfassung haben, können bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden. Da wie zuvor erwähnt, sind bei diesen Hallen keine direkten Einflüsse der Hallenauslastung auf den Stromverbrauch nachweisbar.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Energiekennwerte der Turnhallen mit eigenem Stromzähler der dazugehörigen Hallenauslastung gegenübergestellt:

Gegenüberstellung Hallenauslastung/ Energiekennwert Strom			
Gebäude-Nr	Objektbezeichnung	Energiekennwert 2014	Auslastung (Mo-So)
1	TH Sporthalle Reiferbahn (Fridericianum)	37,16	85%
3	TH Sprachheilschule	15,68	91%
7	TH Berufliche Schule Wirt. / Verw.	23,34	81%
12	TH John-Brinckman-Schule	18,61	92%
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	30,96	86%
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	76,24	94%
16	TH Grundschule Am Mueßer Berg	19,87	93%
17	TH Berufsschulförderzentrum West	18,71	85%
19	TH Berufliche Schule Technik	68,69	95%
20	TH Siemens-Schule	27,90	85%
21	TH Schule Krebsförden	32,24	80%
23	TH Perleberger	53,79	72%
24	TH Meitnerstr.	38,68	79%
25	TH Hegelstraße	15,19	62%
26	TH Hamburger Allee 122	17,40	58%
27	TH Gutenbergschule (Ziolkowskistr. 16a)	6,83	75%

**Tabelle 13: Gegenüberstellung Hallenauslastung/ Energiekennwert Strom
(Quelle: Eigene Darstellung)**

2.3.7. Minderungspotenziale elektrische Energie (CO₂ und Kosten)

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Energie-, Kosten- und CO₂ - Minderungspotenziale beim elektrischen Energieverbrauch dargestellt. Als Grundlage werden diesbezüglich ausschließlich die Verbrauchswerte für das Jahr 2014 verwendet.

Die Vorgehensweise ist analog wie beim Wärmeverbrauch. Im ersten Schritt wird der vorhandene Energiekennwert der einzelnen Hallen mit dem zuvor erläuterten Vergleichswert (25 kWh/m²a) gegenübergestellt. Die Hallen, bei denen der vorhandene Energiekennwert kleiner bzw. gleich als 25 kWh/m²a ist, werden diesbezüglich nicht betrachtet. Bei diesen Gebäuden ist der Verbrauch relativ gering und potenzielle Einsparungen können nicht ausgewiesen werden. Im Zweiten Schritt wird vereinfacht der Vergleichswert von den tatsächlichen Energiekennwerten abgezogen. Wenn man dieses Ergebnis der jeweiligen Nutzfläche multipliziert, dann erhält man die mögliche jährliche Gesamtenergieeinsparung. Im dritten Schritt wurden die tatsächlichen Kosten der Wärmeerzeugungsanlagen aus den einzelnen Jahresabrechnungen für Strom ausgewertet.

Daraus ergibt sich folgender Preis pro Kilowattstunde:

Energieträger/ Wärmeerzeuger	Preis je kWh
Elektrische Energie	0,2495 €/kWh (²)

Tabelle 14: Energiepreise der einzelnen Wärmeerzeuger (Quelle: ZGM)

Die Preise sind den Energiekostenabrechnungen der Jahre entnommen worden. Bei allen Hallen wird der gleiche Preis angesetzt. Veränderungen bei den Grundkosten infolge geringeren Verbrauches werden vernachlässigt. Die Gesamtenergieeinsparung wird anschließend mit dem Energiepreis verrechnet. Zuletzt wird die CO₂-Einsparung mit dem in Tabelle 11 dargestellten CO₂-Äquivalent ermittelt.

Bei der Betrachtung der möglichen Energieeinsparungen ist ersichtlich, dass ca. ein Drittel (ca. 295 MWh) des jährlichen Gesamtverbrauchs eingespart werden könnte. Die Hallen mit den größten Einsparpotenzialen sind die TH 19 BS Technik und TH 15 Astrid-Lindgren-Schule. Die möglichen Einsparungen liegen bei ungefähr 84 MWh und 74 MWh pro Jahr (Bezug 2014).

Wenn man die Einsparungen aller Hallen mit dem jeweiligen Energiepreis verrechnet ergeben sich beträchtliche Kosteneinsparpotenziale. Alleine bei der Turnhalle 19 sind Einsparungen von 20.000 EUR gegenüber dem Vergleichswert möglich. Die jährliche Gesamteinsparung liegt bei ca. 70.000 EUR.

Die Einsparpotenziale bei den CO₂-Emissionen sind ebenfalls beträchtlich. Die TH 19 BS Technik und TH 15 Astrid-Lindgren-Schule sind auch hier die Hallen mit den größten Potenzialen. Bei beiden Hallen liegen die Einsparpotenziale bei ca. 28 bzw. 25 Tonnen CO₂ im Jahr. Bei den restlichen Hallen schwanken die Werte zwischen 1 und 14 Tonnen CO₂.

Nr	Objektbezeichnung	Energiekennwert (kWh/m ² a)	Kosten Energieträger (€/kWh) (*)	Vergleichswert (kWh/m ² a)	Potenzielle Einsparungen ggü. 2014 (Bezug auf 25 kWh/m ² a)			
					Δ-Energiekennwert (kWh/m ² a)	Energieeinsparung (kWh/a)	€/a	CO ₂ -Emissionen (t CO ₂ /a)
1	TH Sporthalle Reiferbahn (Fridericianum)	37,16	0,2495	25	12,2	24.762	6.178	8,45
13	TH Nils-Holgersson-Schule	29,50	0,2495		4,5	6.506	1.623	2,22
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	30,96	0,2495		6,0	8.650	2.158	2,95
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	76,24	0,2495		51,2	74.329	18.545	25,35
19	TH Berufliche Schule Technik	68,69	0,2495		43,7	83.198	20.758	28,38
20	TH Siemens-Schule	27,90	0,2495		2,9	5.328	1.329	1,82
21	TH Schule Krebsförden	32,24	0,2495		7,2	14.593	3.641	4,98
22	TH Altes Fridericianum	33,32	0,2495		8,3	2.833	707	0,97
23	TH Perleberger	53,79	0,2495		28,8	41.724	10.410	14,23
24	TH Meitnerstr.	38,68	0,2495		13,7	16.256	4.056	5,54
	Summe					278.178...	69.405	94,89
Datenqualität 1 (gut) separater Stromzähler in TH vorhanden								
Datenqualität 2 (Schlecht): kein separater Wärmemengenzähler in TH (Aufteilung nach Grundfläche)								
Energiekennwert mit roter Schriftfarbe: deutlich größer als Vergleichswert von 25 kWh/m ² a								
CO ₂ -Emissionen mit roter Schriftfarbe: die mit Abstand größten CO ₂ -Emittenten								

Tabelle 15: Darstellung Potenzieller Einsparungen ggü. 2014 (eigene Darstellung)

2.3.8. Analyse und Bewertung der Ist-Situation

In den nachfolgenden Tabellen werden die einzelnen Hallen betrachtet. Dabei wird auf die Verbrauchsentwicklungen, die Sanierungshistorie und die Hallenauslastung eingegangen. Die Sanierungshistorie wurde anhand der vom ZGM Schwerin zur Verfügung gestellten Daten ausgewertet.

<p>1 TH Reiferbahn Bj. 2007</p> <p>Die Turnhalle Reiferbahn ist die neuste Sporthalle in der Landeshauptstadt Schwerin. Der vorhandene Energiekennwert für Wärme von ca. 93 kWh/m²a (2014) ist deutlich geringer als der Vergleichskennwert von 110 kWh/m²a. Es liegen über den Betrachtungszeitraum von 2012 - 2014 keine Verbrauchsschwankungen vor. Der Energiekennwert Strom ist in den letzten Jahren nahezu konstant und liegt bei ca. 37 kWh/m² und damit über dem Vergleichswert von 25 kWh/m²a. Aufgrund des geringen Alters des Gebäudes und des vorliegenden Energiekennwertes kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um ein energetisch optimales Gebäude handelt.</p> <p>Sanierungen: - Hallenauslastung: 85% Verbrauchserfassung: Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.</p>
<p>3 TH Sprachheilschule Bj. 1978</p> <p>Der Energiekennwert Wärme ist in den Jahren 2012 -2014 kontinuierlich von 115 auf 156 kWh/m² gestiegen und liegt somit deutlich über dem Vergleichswert von 110 kWh/m². Der Energiekennwert Strom ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Das liegt aber daran, dass die Halle 2013 einen eigenen Stromzähler erhalten hat und somit die genauen Werte erfasst werden. (Ist: 15,7 < 25)</p> <p>Sanierungen: keine , nur Instandhaltung- Hallenauslastung: 91% Verbrauchserfassung: Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; keine Gebäudeleittechnik (GLT) mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.</p>
<p>5 TH Heinrich Heine Schule Bj. 1927 (denkmalgeschützt)</p> <p>Der Energiekennwert Wärme ist im Betrachtungszeitraum von 96 auf 80 kWh/m²a gesunken und liegt somit deutlich unter dem Vergleichswert von 110 kWh/m². Der Energiekennwert Strom ist im gleichen Zeitraum konstant bei 13 kWh/m² geblieben (deutlich < 25). Die Verbrauchswerte sind allerdings kaum für hallenspezifische Rückschlüsse zu gebrauchen, da keine separaten Zähler vorhanden sind.</p> <p>Sanierungen: 2010 neu Fenster und Dämmung oberste Geschossdecke Hallenauslastung: 92% Verbrauchserfassung: kein eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Schule und Halle ohne zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.</p>
<p>6 TH BS GS-G (Johannes-R.-Becher-Schule) Bj. 1964</p> <p>Der Energiekennwert Wärme lag im Betrachtungszeitraum im Mittel bei 186 kWh/m²a und liegt somit deutlich über dem Vergleichswert (110). Der Energiekennwert Strom ist im gleichen Zeitraum konstant bei 23 kWh/m² geblieben (< 25). Die Verbrauchswerte sind allerdings kaum für hallenspezifische Rückschlüsse zu gebrauchen, da keine separaten Zähler vorhanden sind.</p> <p>Sanierungen: Erneuerung GLT zusammen für Halle und Schule 2011 Hallenauslastung: 81% Verbrauchserfassung: kein eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Schule und Halle tlw. mit zentraler Fernauslesung (ZFA)</p>

7 TH Berufliche Schule Wirt. / Verw. – Bj. 2004

Der Energiekennwert ist im Betrachtungszeitraum bei ca. 92 kWh/m²a konstant geblieben (guter Wert, deutlich unter 110).
 Der Energiekennwert Strom ist im gleichen Zeitraum bei 16 kWh/m² konstant geblieben (deutlich < 25).
 Aufgrund des geringen Alters des Gebäudes und des vorliegenden Energiekennwertes kann davon ausgegangen werden, dass sich hierbei um ein energetisch optimales Gebäude handelt
Sanierungen: Isolierung Lüftung 2004
Hallenauslastung: 81%
Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.
Erneuerbare Energien: PV-Anlage 2012 (Contracting), kein Eigenverbrauch

8 TH Friedensschule Bj. 1887 (denkmalgeschützt)

Die vorhandenen Erhöhungen beim Energiekennwert Wärme von 2013 auf 2014 um 18 % lassen sich wahrscheinlich auf die Nachrüstung eines Wärmemengenzählers für Raumwärme und Warmwasser (WW) zurückführen.
 Der Energiekennwert Strom ist im gleichen Zeitraum konstant bei 25 kWh/m² geblieben (entspricht dem Vergleichswert 25).
 Aufgrund der Nachrüstung des Wärmemengenzählers für Wärme und WW lassen sich die Einflüsse von Sanierungsmaßnahmen oder Nutzerverhaltensänderungen nachweisen.
Sanierungen: Gebäudesanierung 2005, Einbau drehzahlgeregelte Pumpe 2012
Hallenauslastung: 84%
Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengenzähler (auch WW) vorh.;- kein separater Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) ohne zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.

9 TH Erich-Weinert-Schule Bj. 1912 (denkmalgeschützt)

Der Energiekennwert ist im Betrachtungszeitraum kontinuierlich von 108 auf 142 kWh/m²a gestiegen.
 Der Energiekennwert Strom ist im gleichen Zeitraum von ca. 11,3 auf 9,3 kWh/m² gesunken (deutlich < 25).
 Die Verbrauchswerte sind aus dem Gesamtenergieverbrauch der Schule und Halle abgeleitet. Rückschlüsse infolge von Sanierungsmaßnahmen sind somit nicht möglich.
Sanierungen: Erneuerung Heizungsunterzentrale, MSR, Isolierung Heizung und Energiesparende Sozialtrakt 2009; Erneuerung energiesparende Beleuchtung in Halle 2012; neue Fenster 2013; Einbau drehzahlgeregelte Pumpe 2014
Hallenauslastung: 91%
Verbrauchserfassung: kein eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle und Schule ohne zentrale Fernauslesung (ZFA) vorh.

10 TH Fritz-Reuter-Schule Bj. 1936 (denkmalgeschützt)

Seit 2014 wird der Wärmeverbrauch Hallenspezifisch erfasst und liegt bei ca. 218 kWh/m²a (<< 110). Die Verbrauchsschwankungen sind gegenüber den Vorjahren sind somit nicht bewertbar. Allerdings ist der Verbrauch bei genauer Erfassung deutlich größer als in den Jahren 2012 und 2013. Der Energiekennwert Strom war im gleichen Zeitraum konstant, bei im Mittel 13 kWh/m². (< 25)
Sanierungen: Energieträgerumstellung von Erdgas auf FW, Einbau einer FW-Heizzentrale für Schule und TH, Installation getrennter Heizkreisregelungen für Schule und TH
Hallenauslastung: 76%
Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen-(auch Warmwasser) und Stromzähler vorh.; keine Gebäudeleittechnik (GLT) und keine zentrale Fernauslesung (ZFA) vorh.

12 TH John-Brinkmann-Schule Bj. 1969

Der Energiekennwert Wärme war in den Jahren 2012 -2014 nahezu konstant bei 116 kWh/m² und somit fast gleich dem Vergleichswert von 110 kWh/m². Veränderungen aufgrund der Sanierungen 2013 sind nicht ersichtlich.

Der Energiekennwert Strom lag in den letzten Jahren ebenfalls fast konstant bei ca. 18 kWh/m²a (< 25). Im Jahr der Sanierung ist eine kleine Verringerung des Verbrauchs ersichtlich. Diese ist möglicherweise mit einer möglichen Sperrung der Halle während der Bauzeit zu begründen.

Sanierungen: Isolierung Lüftung 2012; Beleuchtungsumstellung auf LED inkl. Lichtsteuerung, Einbau drehzahlgeregelte Pumpe 2013 und Komplett Sanierung: Fassade, Dach, Fenster ebenfalls 2013;

Hallenauslastung: 92%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.

13 TH Nils-Holgerson-Schule Bj. 1975

Der Energiekennwert Wärme lag in den Jahren 2012 -2014 bei im Mittel 126 kWh/m² und somit leicht über dem Vergleichswert von 110 kWh/m². Der Anteil Warmwasser ist im Jahr 2014 um 35 % geringer als im Vorjahr (7202 kWh/a auf 5313 kWh/a). Der Energiekennwert Strom lag im Jahr 2012 bei 24 und ist in den Folgejahren auf 29 kWh/m²a gestiegen. (< 25) Der Verbrauchswert für Strom ist aus dem Gesamtverbrauch von Schule und Halle abgeleitet. Rückschlüsse infolge von Sanierungsmaßnahmen im Bereich der elektrischen Energie sind somit nicht möglich.

Sanierungen: Erneuerung FW-Heizzentrale, Speicherladesystem, Abluftventilator, Frequenzumrichter für Zu- und Abluftventilator, Einbau GLT, Reduzierung FW-Anschlusswert 2011; Isolierung Lüftung und Heizung und Lichtbänder beidseitig erneuert 2012

Hallenauslastung: 82%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengenzähler (auch für Warmwasser) und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.

14 Bertholt-Brecht-Schule Bj. 1975

Der Energiekennwert für Wärme ist während des Betrachtungszeitraumes von 134 auf 107 kWh/m²a gesunken (< 110). Der Rückgang des Wärmeverbrauchs ist wahrscheinlich auch auf die Erneuerung der Lichtbänder 2012 zurückzuführen. Die Halle ist seit 2013 mit Unterzählern für Warmwasser, Statische Heizung und Lüftung ausgestattet. Diese liefern allerdings im Vergleich zum Hallenverbrauch stark widersprüchliche Werte und können deshalb nicht verwendet werden. Eine Überprüfung des Systems ist bisher nicht erfolgt.

Der Energiekennwert für Strom ist in den letzten Jahren permanent angestiegen. Er hat sich von 25 auf mittlerweile 31 kWh/m²a erhöht und liegt somit über dem Vergleichswert von 25.

Sanierungen: Erneuerung FW-Heizzentrale, Speicherladesystem, Einbau GLT, Reduzierung FW-Anschlusswert 2011; Lichtband erneuert 2012; (Dachsanierung geplant 2015)

Hallenauslastung: 86%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengenzähler und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle und Schule mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.; Unterzähler für Warmwasser, Heizung und Lüftung vorhanden aber nicht funktionsfähig

15 TH Astrid-Lindgren--Schule Bj. 1976

Der Energiekennwert Wärme ist vom Jahr 2012 auf 2013 von 149 auf 163 kWh/m²a angestiegen und im Jahr 2014 auf 139 kWh/m²a gesunken. Der Kennwert liegt allerdings deutlich über 110 kWh/m²a. Der Warmwasserverbrauch hat sich im gleichen Zeitraum von 13.200 auf 7900 kWh/a fast halbiert (ist im Energiekennwert für Wärme enthalten). Der Rückgang des Wärmeverbrauchs (inkl. Warmwasser) von 2012 bis 2014 ist somit vermutlich mit der Sanierung des Daches und des Hallenbodens 2012 und der Dämmung der Heizung in 2013 zu begründen.

Der Energiekennwert Strom ist in den Jahren 2012 -2014 nahezu konstant bei 72 kWh/m²a (sehr groß). (< 25).

Sanierungen: Erneuerung Lichtbänder 2006; Erneuerung FW-Heizzentrale, Speicherladesystem, Abluftventilator, Frequenzumrichter für Zu- und Abluftventilator, Einbau GLT, Reduzierung FW-Anschlusswert 2011; Isolierung Heizung 2012, Sanierung Dach und Hallenboden inkl. Dämmung 2012

Hallenauslastung: 94%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen-, Warmwasser - und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle und Schule mit zentrale Fernauslesung (ZFA) vorh.; Unterzähler für Warmwasser, Heizung und Lüftung vorhanden

16 TH Grundschule am Mueßer Berg Bj. 1981

Der Energiekennwert Wärme war in den Jahren 2012 -2014 nahezu konstant bei 119 kWh/m²a und somit leicht über dem Vergleichswert von 110 kWh/m². Der Energiekennwert Strom ist in den letzten Jahren ebenfalls konstant geblieben (bei ca. 19 kWh/m²a < 25).

Sanierungen: umfassend energetisch saniert (Wärmedämmung, neue Fenster)

Hallenauslastung: 93%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.

17 TH Berufsschulförderzentrum West Bj. 1970

Der Energiekennwert Wärme lag in den Jahren 2012 -2014 im Mittel bei 160 kWh/m² und somit deutlich über dem Vergleichswert von 110 kWh/m². Veränderungen aufgrund der der Heizungsisolierung 2012 sind nicht ersichtlich. Der Energiekennwert Strom in den Jahren 2012 und 2013 und ist 2014 18,7 gestiegen (< 25).

Sanierungen: Isolierung Heizung 2012;

Hallenauslastung: 85%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; kein Gebäudeleittechnik (GLT).

18 TH Berufliche Schule Bautechnik Bj. 1970

Der Energiekennwert Wärme ist in den Jahren 2012 -2014 leicht von 180 auf 167 kWh/m² zurückgegangen (> 110 kWh/m²).

Der Energiekennwert Strom ist in den letzten Jahren von ca. 13 auf 16 kWh/m²a angestiegen (< 25). Allerdings leitet sich der Stromverbrauch aus dem Gesamtstromverbrauch von Schule und Halle ab und ermöglicht somit keine genaueren Rückschlüsse.

Sanierungen: keine

Hallenauslastung: 89%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengenzähler vorh.; kein eigener Stromzähler; keine Gebäudeleittechnik (GLT)/ keine zentrale Fernauslesung (ZFA) vorh.

19 TH Berufsschule Technik Bj. 1971

Der Energiekennwert Wärme ist in den Jahren 2012 -2014 leicht von 170 auf 141 kWh/m² zurückgegangen (> 110 kWh/m²).

Der Stromverbrauch hat in den letzten Jahren stark von 57 über 78 bis 69 kWh/m²a geschwankt (>> 25). Allerdings leitet sich der Stromverbrauch aus dem Gesamtstromverbrauch von Schule und Halle ab und ermöglicht somit keine genaueren Rückschlüsse.

Sanierungen: Isolierung Heizung 2009; Einbau Präsenzmelder in den Umkleiden 2011

Hallenauslastung: 95%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengenzähler vorh.; kein eigener Stromzähler; keine Gebäudeleittechnik (GLT)/ keine zentrale Fernauslesung (ZFA) vorh.

20 TH Siemens-Schule Bj. 1975

Die Halle hat 2014 einen eigenen Wärmemengenzähler erhalten. Der hallenspezifische Energiekennwert liegt in diesem Jahr ca. 33 % unter dem Vorjahreswert (Ermittelt über Flächenverteilung). Die Verringerung des Wärmeverbrauchs ist wahrscheinlich auf die genauere Erfassung des Verbrauchs und auf die Aufhebung der Unterversorgung weiterer Bereiche (siehe Sanierungen) zurückzuführen.

Der Energiekennwert Strom war in den Jahren 2012 -2014 nahezu konstant bei im Mittel 28 kWh/m²a und liegt somit leicht über dem Vergleichswert (<25).

Sanierungen: Isolierung Heizung 2009; Einbau Präsenzmelder in den Umkleiden 2011;

Beleuchtungssteuerung (Tageslicht/ Präsenz) im EG und OG 2012;

Erneuerung FW-Heizzentrale, Speicherladesystem, Einbindung Regelung Lüftung, Einbau GLT, Reduzierung FW-Anschlusswert, Aufhebung Unterversorgung FW für Jugendclub und Container Sportclub 2014; Erneuerung Fenster, Lichtbänder, teilweise Fassade und Dach 2014;

Hallenauslastung: 85 %

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.

21 TH Schule Krebsförden Bj. 2000

Der Energiekennwert Wärme ist in den Jahren 2012 - 2014 permanent von 106 auf 146 kWh/m² gestiegen (>110 kWh/m²).

Der Energiekennwert Strom ist in den letzten Jahren ebenfalls stetig von 21 auf 32 kWh/²a erhöht (> 25).

Sanierungen: keine

Hallenauslastung: 80%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.

22 TH Altes Fridericianum Bj. 1890 (denkmalgeschützt)

Der Energiekennwert Wärme ist in den Jahren 2012 - 2014 permanent von 340 auf 167 kWh/m² gesunken (>110 kWh/m²).

Der Energiekennwert Strom hat sich in den letzten Jahren von 24 auf 29 kWh/²a erhöht (> 25).

Sanierungen: keine

Hallenauslastung: 78%

Verbrauchserfassung: kein eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; keine Gebäudeleittechnik (GLT)

23 TH Perleberger Str. Bj. 1979

Der Energiekennwert Wärme war in den Jahren 2012 -2014 nahezu konstant bei ca. 240 kWh/m² und somit deutlich über dem Vergleichswert von 110 kWh/m².

Der Energiekennwert Strom ist in den letzten Jahren ebenfalls konstant bei ca. 53 kWh/2a (>> 25).

Sanierungen: keine

Hallenauslastung: 72 %

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; keine Gebäudeleittechnik (GLT)

24 TH Meitnerstr. Bj. 1982

Der Energiekennwert Wärme lag in den Jahren 2012 und 2013 bei ca. 240 kWh/m²a. Im Jahr 2013 wurde die Fernwärmeheizzentrale saniert und der Fernwärmeanschlusswert der Halle reduziert, was vermutlich die Verringerung des Energiekennwertes auf 176 kWh/m²a in 2014 begründet (>>110).

Der Energiekennwert Strom wurde nur über die Jahr 2013 und 2014 erfasst. Der Kennwert hat sich von 24 (2013) auf 38 kWh/m²a (2014) deutlich erhöht (>25).

Sanierungen: Isolierung Heizung 2009; Erneuerung FW-Heizzentrale, Speicherladesystem, Frequenzumrichter für Ventilator, Einbau GLT, Reduzierung FW-Anschlusswert 2013; -(Erneuerung Hauptverteilung 2015 geplant)

Hallenauslastung: 79 %

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.

25 TH Hegelstraße Bj. 1985

Der Energiekennwert Wärme ist stetig von 181 auf 157 kWh/m²a gesunken (>>110). Im Jahr 2014 wurde die Fernwärmeheizzentrale saniert und der Fernwärmeanschlusswert der Halle reduziert, was vermutlich die Verringerung des Energiekennwertes begründet.

Der Energiekennwert Strom lag in den Jahren 2012/2013 bei ca. 20 und ist im Jahr 2014 auf 15 zurückgegangen (<25). – Hallenauslastung sehr gering

Sanierungen: Hallenbeleuchtung 2007; Isolierung Heizung 2009; Erneuerung FW-Heizzentrale, Speicherladesystem, Einbau GLT, Reduzierung FW-Anschlusswert 2014;

Hallenauslastung: 62%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) für Halle mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.; Einbau Unterzähler Warmwasser 2014

26 TH Hamburger Allee 122 Bj. 1981

Der Energiekennwert Wärme ist stetig von 234 auf 185 kWh/m²a gesunken (>>110).

Der Energiekennwert Strom lag in den letzten Jahren im Mittel bei ca. 16 kWh/m²a und ist somit kleiner als der Vergleichswert (<25,). – Hallenauslastung sehr gering

Sanierungen: keine

Hallenauslastung: 58%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; keine Gebäudeleittechnik (GLT)

27 TH Gutenberg Schule Bj. 1982

Der Energiekennwert Wärme ist stetig von 198 auf 174 kWh/m²a gesunken (>>110). Im Jahr 2013 wurde die Fernwärmeheizzentrale saniert und der Fernwärmeanschlusswert der Halle reduziert, was vermutlich die Verringerung des Energiekennwertes begründet.

Der Energiekennwert Strom ist im gleichen Zeitraum vom 10,5 auf 6,8 kWh/m²a zurückgegangen (<<25). – Hallenauslastung gering

Sanierungen: Isolierung Heizung 2009; Erneuerung FW-Heizzentrale, Speicherladesystem, Einbau GLT, Reduzierung FW-Anschlusswert 2013;

Hallenauslastung: 75%

Verbrauchserfassung: eigener Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; Gebäudeleittechnik (GLT) mit zentraler Fernauslesung (ZFA) vorh.; Einbau Unterzähler Warmwasser 2013

30 TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte Bj. 1998

Der Energiekennwert Wärme war im Betrachtungszeitraum konstant bei ca. 60 kWh/m²a und somit deutlich kleiner als der Vergleichswert von 110.

Der Energiekennwert Strom lag im Betrachtungszeitraum ebenfalls konstant bei ca. 15 kWh/m²a (<25). Die Energiekennwerte für Wärme und Strom sind aus dem Gesamtverbrauch von Schule und Halle abgeleitet. Rückschlüsse infolge von Sanierungsmaßnahmen sind somit nicht möglich.

Sanierungen: Einbau drehzahlregelte Pumpe 2009; Beleuchtungsumstellung auf LED incl. Lichtsteuerung im Flurbereich 2014;

Hallenauslastung: 83%

Verbrauchserfassung: keine eigenen Wärmemengen- und Stromzähler vorh.; keine Gebäudeleittechnik (GLT)

3. Gebäudewertung (Baustein 2)

3.1. Vorgehensweise

3.1.1. Grundlagenermittlung

Von Ende November 2015 bis Ende Januar 2016 wurden die ausgewählten 15 Liegenschaften der Landeshauptstadt Schwerin von 2 Fachplanern begangen. Bei den ca. 1 bis 3-stündigen Besuchen wurden nach einer zuvor entwickelten und vorbereiteten Checkliste Eckdaten der Bauphysik, der Heizungsanlagen, der Beleuchtung und anderer größerer Stromverbraucher erfasst. Zudem erfolgte eine umfangreiche Fotodokumentation.

Im Bereich Haustechnik wurden folgende Anlagen der Liegenschaften überprüft:

- Heizanlage mit Kessel, Brenner, Heizkreisen, Pumpen, Regelung und Warmwasserbereitung
- Heizkörper und Thermostatventile
- Elektroverteilung
- Lüftung
- Sanitäre Anlagen
- Beleuchtung
- Sonstige Stromverbraucher

Neben der reinen Datenaufnahme wurden auch die jeweiligen Hausmeister der Objekte zum technischen Zustand und Sanierungen der Hallen befragt. Außerdem wurden angetroffene Hallennutzer zum Thema Behaglichkeit in den Hallen befragt.

In Verbindung mit den vom Zentralen Gebäudemanagement der Landeshauptstadt Schwerin (ZGM) bereitgestellten sonstigen Liegenschaftsdaten (Anschrift, Flächen; Grundrisse, Verbrauchsdaten, Klimadaten) steht damit eine gute Datengrundlage für die Konzepterstellung zur Verfügung. Um die vorliegenden Daten weiter zu verifizieren, wurden zudem die Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin nach weiteren Grundrissen, Schnitten oder Angaben zu Bauteilaufbauten durchsucht.

Ergänzt um Liegenschaftsdaten wie Flächen und Verbräuche können auf der Grundlage dieser Daten Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen und die damit verbundenen Einsparpotenziale grob abgeschätzt.

Folgende Sporthallen wurden im Baustein 2 betrachtet:

Sporthallen Übersicht			
Nr.	Objektbezeichnung	Straße	Baujahr
3	TH Sprachheilschule	Andrej-Sacharow-Straße 75	1978
5	TH Heinrich-Heine-Schule	Werderstraße 83	1927
6	TH BS GS-G (Johannes-R.-Becher-Schule)	Dr. Hans-Wolf-Straße 9	1964
8	TH Friedensschule	Friedensstraße 14	1887
9	TH Erich-Weinert-Schule	Rudolf-Breitscheid-Straße 23	1912
12	TH John-Brinckman-Schule	Willi-Bredel-Straße 19	1969
13	TH Nils-Holgersson-Schule	Friedrich-Engels-Straße 35	1975
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	Von-Stauffenberg-Straße 67	1975
17	TH Berufsschulförderzentrum West	Johannes-Brahms-Straße 55	1970
22	TH Altes Fridericianum	August-Bebel Str. 11-12	1890
23	TH Perleberger	Perleberger Straße 18	1979
24	TH Meitnerstr.	Lise-Meitner-Straße 3	1982
25	TH Hegelstraße	Hegelstraße 10	1985
26	TH Hamburger Allee 122	Hamburger Allee 122	1981
27	TH Gutenbergschule (Ziolkowskistr. 16a)	Ziolkowskistraße 16 a	1982

Tabelle 16: Übersicht der Hallen im Baustein 2

3.1.2. Aufbau von Baustein 2 (Gebäudebewertung)

Der Baustein 2 ist in Anlehnung an den Anforderungen des Merkblatts für die Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten und die Angebotsaufforderung des ZGM Schwerin gegliedert und beinhaltet folgende Bestandteile:

1. Geometrie, Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle
 - a. Steckbrief mit den wichtigsten Angaben zur energetischen Qualität der Hallen; Einteilung der Baulichen Hülle Kategorie:
 -  Unsaniert / deutliche Abweichung ggü. Richtwert für U-Wert der EnEV 2014
 -  tlw. saniert/ mittlere Abweichung ggü. Richtwert für U-Wert der EnEV 2014
 -  saniert/ Richtwert für U-Wert der EnEV 2014 eingehalten
 - b. Grundrisse und Gebäudeschnitte
 - c. Fotodokumentation der baulichen Hülle
 - d. Bauteilbeschreibung/-bewertung (im Vergleich mit Richtwerte des Referenzgebäudes der EnEV 2014)
 - Festlegung von den vorhandenen Bauteilaufbauten und U-Werte durch Recherche der Bestandsunterlagen in Verbindung mit den Erkenntnissen vor Ort
 - Wenn keine Daten verfügbar, wurden diese mittels Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07.April 2015 festgelegt

- Bewertung der Bauteile im Vergleich mit Richtwert des Referenzgebäudes der aktuellen Energieeinsparverordnung von 2014 (EnEV 2014)
- 2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausstattung
 - a. Fotodokumentation
 - b. Beschreibung/Bewertung der TGA (siehe auch 3.1.4)
- 3. Wärmebedarfsberechnung
 - a. siehe Punkt 3.1.3
- 4. Sanierungsvarianten/ -maßnahmen
 - a. Maßnahmen auf Grundlage der Erkenntnisse vor Ort
 - b. der jeweiligen Einsparung auf Grundlage des jeweiligen Einsparpotenzials aus der Bedarfsberechnung in Verbindung mit den tatsächlichen Verbräuchen und Energiekosten aus Baustein 1
 - c. Investitionskosten: anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten; Kostenansätze mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM).

3.1.3. Erläuterung Bedarfsberechnung:

Für die Berechnung des Jahresheizwärmebedarfes der einzelnen Turnhallen wird vereinfacht das Heizperiodenverfahren nach DIN 4108-6 (2003-06) angewendet. Diesbezüglich müssen die erforderlichen Werte schrittweise nach a) bis l) ermittelt werden:

- a) Hüllfläche und Bruttovolumen aufgrund der Systemgrenzen des Gebäudes mit Hilfe von Außenmaßen;
- b) Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)

$$U_i = 1 / (R_{si} + d_1 / \lambda_1 + \dots + d_n / \lambda_n + R_{se}) \quad [W / m^2 K]$$

Die Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen werden mit den Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeit λ [W / (mK)] in Abhängigkeit von der Rohdichte der Materialien und ihren Schichtdicken [m] zuzüglich der Wärmeübergangswiderstände (der Bauteiloberfläche zur Raumluft R_{si} bzw. Außenumgebung R_{se} [m² K/W] ermittelt.

- c) Temperaturkorrekturfaktoren f_x nach Tabelle 3 der DIN 4108-6 2003-06
Nachfolgend werden die angewendeten Faktoren kurz dargestellt:

- Außenwand $F_e = 1,0$
- Dach (als Systemgrenze) $F_D = 1,0$
- Dachgeschossdecke (Dachraum nicht ausgebaut) $F_D = 0,8$
- Fenster $F_e = 1,0$
- Fußboden:

- in Abhängigkeit von dem jeweiligen Gebäudegeometrie dem Wärmedurchlasswiderstand (R) und einer möglichen Randdämmung $F_g = 0,15-0,6$

d) Spezifische Wärmeverluste H unter Beachtung der Wärmebrückeneffekte;

$$\sum U_i \cdot A_i \cdot F_{xi} \text{ [W/K]}$$

Der spezifische Transmissionswärmeverlust eines Bauteils ergibt sich aus dem Produkt von Fläche, Wärmedurchgangskoeffizient und Temperaturkorrekturfaktor. Die Summe aus den spezifischen Transmissionswärmeverlusten aller Bauteile führt zu dem gesamten spezifischen Transmissionswärmeverlust.

e) Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}

$$\Delta U_{WB} \cdot A \text{ [W/K]}$$

Die Berechnung des Wärmebrückenkorrekturwertes erfolgte in Abhängigkeit vom Baujahr des Gebäudes bzw. von dem Sanierungsjahres der Außenwände (WDVS). Bei den Außenwänden, die ab dem Jahr 1995 errichtet bzw. saniert wurden (unter Einhaltung der DIN 4108 Blatt 2), wird mit einem Wärmebrückenzuschlagskoeffizient (ΔU_{WB}) von 0,05 [W/(m²K)] gerechnet.

Für die Berechnung des Wärmebrückenkorrekturwertes bei Gebäude die vor 1995 gebaut und seitdem nicht mehr saniert wurden, wird mit einem Wärmebrückenzuschlagskoeffizient von 0,1 [W/(m²K)] gerechnet.

f) Transmissionswärmeverlust

- Spezifisch:

$$H_T = \Delta(U_i \cdot A_i \cdot F_{xi}) + \Delta U_{WB} \cdot A \text{ [W/K]}$$

Der gesamte temperaturspezifische Transmissionswärmeverlust ergibt sich aus der Summe der spezifischen Transmissionswärmeverluste ($\Delta(U_i \cdot A_i \cdot F_{xi})$) und dem Wärmebrückenkorrekturwert (ΔU_{WB}).

- Absolut:

$$Q_T = 66 \cdot H_T \text{ [kWh/a]}$$

Unter Berücksichtigung von mittlerer Gebäudeinnentemperatur und Außentemperatur Faktor 66 = Heizgradtagszahlfaktor bezogen auf Referenzklima Deutschland $66 \approx (f_{NA} \text{ (Faktor Nachtabsenkung – Annahme 0,95)} \times 185 \text{ Heiztage} \times 15,7 \text{ (mittl. Temperaturdifferenz)} \times 0,024 \text{ (Umrechnungsfaktor für Einheiten)})$

g) Lüftungswärmeverlust

- Spezifisch:

$$H_v = 0,19 \cdot V_e \text{ [W/K]}$$

Für Gebäude ohne Luftdichtheitsprüfung und ohne Berücksichtigung von Lüftungsanlagen. (V_e = Gebäudevolumen; A_N = Nettogrundfläche - als Vereinfachung wird hier die Nettogrundfläche verwendet)

- Absolut:

$$Q_T = 66 * H_V$$

Unter Berücksichtigung von mittlerer Gebäudeinnentemperatur und Außentemperatur

Faktor 66 = Heizgradtagszahlfaktor bezogen auf Referenzklima Deutschland

$66 \approx (f_{NA} \text{ (Faktor Nachtabsenkung – Annahme 0,95)} \times 185 \text{ Heiztage} \times 15,7 \text{ (mittl. Temperaturdifferenz)}) \times 0,024 \text{ (Umrechnungsfaktor für Einheiten)}$

h) Solare Wärmegewinne mit den Strahlungsintensitäten

$$Q_S = \sum I_s * \sum (0,567 * g * A_w) * \eta_P$$

I_s = Strahlungsintensität abhängig von Himmelsrichtung

0,567 = Faktor für Teilverschattung der Fenster, Fensterrahmen sowie Absorption und Reflexion der Gläser

g = Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

A_w = Fläche Fenster

$\eta_P = 0,95$ - Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne

i) Interne Wärmegewinne

$$Q_i = 22 * A_N * \eta_P$$

$22 \approx 5 \text{ W/m}^2$ (Wärmestrom für sonstige Gebäude) $\times 185$ Heiztage $\times 0,024$ (Umrechnungsfaktor für Einheiten)

$$A_N \approx x * V_e$$

x = Nach DIN 4108-6 wird die Nutzfläche mit einem Faktor von 0,32 vom Volumen berechnet. Dieser ist bei Turnhallen aber nicht zutreffend, wird in Anlehnung der EnEV 2014 Anlage 1 Nr. 1.3.3 berechnet:

$$x = 1/h_G * 0,04 \text{ (} h_G \text{ = mittlere Geschosshöhe)}$$

$\eta_P = 0,95$ - Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne

Im Rahmen des Konzeptes wird vereinfacht angenommen, dass die Gebäudenutzfläche ungefähr der Nettogrundfläche entspricht. ($A_N \approx A_{NGF}$)

j) Jahresheizwärmebedarf

$$Q_h = Q_T + Q_v - Q_s + Q_i$$

Der Jahresheizwärmebedarf setzt sich auch den einzelnen Wärmegewinnen und Wärmeverlusten zusammen.

k) Jahresnutzungsgrad

η : siehe 3.1.4

l) Jahresheizenergiebedarf

$$= Q_h / \eta$$

m) nutzflächenbezogener Jahresheizenergiebedarfs;

$$q_h = Q_h / \eta / A_w$$

n) Warmwasserbedarf;

Der Warmwasserbedarf wurde bei der Betrachtung nicht berücksichtigt. Die Turnhallen werden überwiegend durch die Schulen genutzt. Die Schüler gehen in der Regel nicht duschen nach dem Sportunterricht und führen somit auch beim Verbrauch nur zu geringen Erhöhungen. Zudem gibt es bei nur bei 4 der in Baustein 2 und Baustein 3 betrachteten Hallen (20 Hallen) einen Warmwasserzähler. Bei genauerer Betrachtung des Warmwasserverbrauchs mit dem Gesamtwärmeverbrauch fällt auf, dass der Anteil im Mittel (4 Hallen in 2014) nur ca. 5% beträgt. Zudem ist der Anteil bei energetisch schlechten Hallen als noch deutlich geringer zu erwarten.

3.1.4. Grundlagen der Bewertung der Anlagentechnik

Wärme nach DIN V 4701 Teil 10:

Die DIN V 4701 Teil 10 ist eine Rechenvorschrift, mit deren Hilfe Heizungs-, Trinkwarmwasser- und Lüftungsanlagen hinsichtlich ihrer energetischen Qualität bewertet werden können. Berechnet werden z. B. die Wärmeverluste und der Hilfsenergiebedarf der Wärmeverteilung im Gebäude oder der Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers. Die Berechnung einer Anlage nach dieser Norm liefert als Ergebnis den Primärenergiebedarf der Anlage, um den Jahresheizwärmebedarf des Gebäudes zu decken. Das Ergebnis der Berechnung wird in Form einer Verhältniszahl ausgedrückt, der so genannten **Anlagen-Aufwandszahl** e_p :

$$e_p = \frac{\text{Primärenergiebedarf zur Erzeugung von Heizwärme und Trinkwarmwasser}}{\text{Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf des Gebäudes}} = \frac{Q_p}{Q_h + Q_{tw}}$$

Aus dieser Definition folgt, dass eine Anlage energetisch umso effektiver arbeitet, je kleiner die Anlagen-Aufwandszahl e_p ist. Neben dem Primärenergiebedarf weist die Norm auch getrennt für jeden Energieträger den Endenergiebedarf aus, da dies für den Betreiber zur Abschätzung der Energieverbrauchskosten interessant ist.

Erst mit Hilfe der DIN V 4701 Teil 10 ist es möglich, den Primärenergiebedarf eines Gebäudes zu ermitteln (die DIN V 4108 Teil 10 bzw. der Anhang 1 der EnEV liefert als Rechenergebnis nur den Heizwärmebedarf Q_h , nicht aber den Primärenergiebedarf des Gebäudes – dieser kann nur unter Einbeziehung der Anlagentechnik bestimmt werden). Damit benötigt man diese Norm, wenn man ermitteln möchte, ob ein Gebäude inklusive der installierten Anlagentechnik den in der EnEV vorgegebenen Primärenergie-Grenzwert einhält. Mit der gewählten Definition der Anlagen-Aufwandszahl e_p wird der Primärenergiebedarf Q_p mit folgender Formel berechnet:

$$Q_p = (Q_h + Q_{tw}) \cdot e_p$$

Wie wird die Anlagen-Aufwandszahl berechnet?

Verschiedene Arten von *Aufwandszahlen* kommen im Zusammenhang mit Rechnungen zur Bewertung des Energiebedarfs eines Gebäudes vor:

Die **Anlagenaufwandszahl** einer Heizungsanlage ergibt sich als das Produkt von Erzeugeraufwandszahl und Primärenergiefaktor. Der Primärenergiefaktor der Stadtwerke Schwerin für Fernwärme beträgt 0,62.

$$e_p = e_e * f_p$$

$f_p = 0,62$ (zertifizierter Wert der SW SN)

$f_p = 1,1$ Heizöl EL oder Erdgas

$f_p = 1,2$ Biomasse (Holhackschnitzel, Pellets)

$f_p = 1,00$ Geothermie

Die **Erzeugeraufwandszahl** einer Heizungsanlage ist der Kehrwert des Jahresnutzungsgrads.

$$e_e = 1 / \eta_a$$

Der **Jahresnutzungsgrad** η_a ist der Nutzungsgrad, der sich im Jahresmittel ergibt, anstatt etwa unter optimalen Bedingungen (z. B. Volllast). Zeiten mit Teillastbetrieb wirken sich oft negativ auf den Jahresnutzungsgrad aus.

Nutzungsgrade nach VDI 2067

Der Jahresnutzungsgrad wird aus dem Erzeugerwirkungsgrad η_E unter Berücksichtigung der Verluste der Verteilung und der Übergabe mit den Wirkungsgraden η_V und $\eta_{\dot{U}}$ η berechnet:

$$\eta_a = \eta_E * \eta_V * \eta_{\dot{U}}$$

Übliche Erzeugerwirkungsgrade η_E bei modernen, richtig ausgelegten und gut gewarteten Anlagen liegen bei konventionellen Heizkesseln zwischen 80 % und 95 %.

Für Fernwärmanlagen wird hingegen der Erzeugerwirkungsgrad η_E gleich 1 gesetzt, da die Fernwärme als fertige Wärme zur Verfügung steht und vor Ort keine Umwandlungsverluste anfallen.

Da die Verteilungs- und Übertragungsverluste innerhalb der thermischen Hülle auftreten, handelt es sich hierbei genau genommen nicht um „Verluste“ im klassischen Sinne, sondern um Überlasten an falscher Stelle, welche zu unerwünschter Beheizung nicht hierfür vorgesehener Bereiche führen. Im Detail ist hieraus zumindest theoretisch ein erhöhter Wärmeverlust in diesen Bereichen, insbesondere bei der sommerlichen Warmwasserbereitung an die Außenluft, die Folge.

Bei modernen, richtig ausgelegten und gut gewarteten Anlagen kann von einem ($\eta_v \cdot \eta_{\bar{u}}$) von bis zu 96 % ausgegangen werden.

Um den vorliegenden Anlagen Rechnung zu tragen, wird in der Realität der besichtigten Anlagen den Verlusten ein durchschnittlicher Gesamtwert von 4 bis 24% ($\eta_v \cdot \eta_{\bar{u}} = 0,96$ bis $0,76$) beige-messen.

Hierzu finden sich in den jeweiligen Objektsteckbriefen entsprechende Angaben mit dem für die jeweilige Anlage berechneten Wert für die resultierende **Anlagenaufwandszahl** nach Tabelle 17.

- Jahresnutzungsgrad Fernwärme $1,00 \times 0,96-0,76 = 0,96-0,76$
- Jahresnutzungsgrad Ölzentralheizung $0,85 \times 0,96-0,76 = 0,83-0,65$
- Jahresnutzungsgrad Gaszentralheizung $0,90 \times 0,96-0,76 = 0,84-0,68$

	Fernwärme			Gasheizung			Ölheizung		
Primärenergiefaktor f_p	0,62			1,10			1,10		
Erzeugerwirkungsgrad η_E	1,00			0,90			0,85		
Verluste Verteilung Übergabe	4-24%			4-24%			4-24%		
Jahresnutzungsgrad η_a	0,96-0,76			0,86-0,68			0,82-0,65		
Erzeugeraufwandszahl e_e	1,04-1,32			1,16-1,47			1,22-1,54		
Anlagenaufwandszahl e_p	0,64-0,82			1,28-1,62			1,34-1,69		
Primärenergiefaktor f_p	0,64	0,73	0,82	1,28	1,45	1,62	1,34	1,52	1,69
Symbol im Objektsteckbrief	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Tabelle 17: Berechnung der typischen Anlagenaufwandszahlen (eigene Darstellung)

Aus den vorliegenden Berechnungen lässt sich schließen, dass insbesondere die Hallen mit Öl- und Gasfeuerungen aufgrund der hohen Aufwandszahlen durch Fachplanungen auf Einsparpotenziale hin zu untersuchen sind, um den gesetzlichen Anforderungen zur Energieeffizienz Rechnung zu tragen.

Aus der Tatsache, dass kein Primärenergiefaktor außer Fernwärme aus z. T. erneuerbarer Energiewerte von unter 1 bietet, lassen sich auch keine energetischen Verbesserungsmöglichkeiten durch den Einsatz von Feuerungsanlagen auf Basis Biomasse erzielen.

Dementgegen sollte geprüft werden, inwieweit die verbliebenen Gas- und Ölheizungsanlagen in das bestehende Versorgungsnetz mit Fernwärme eingebunden werden können.

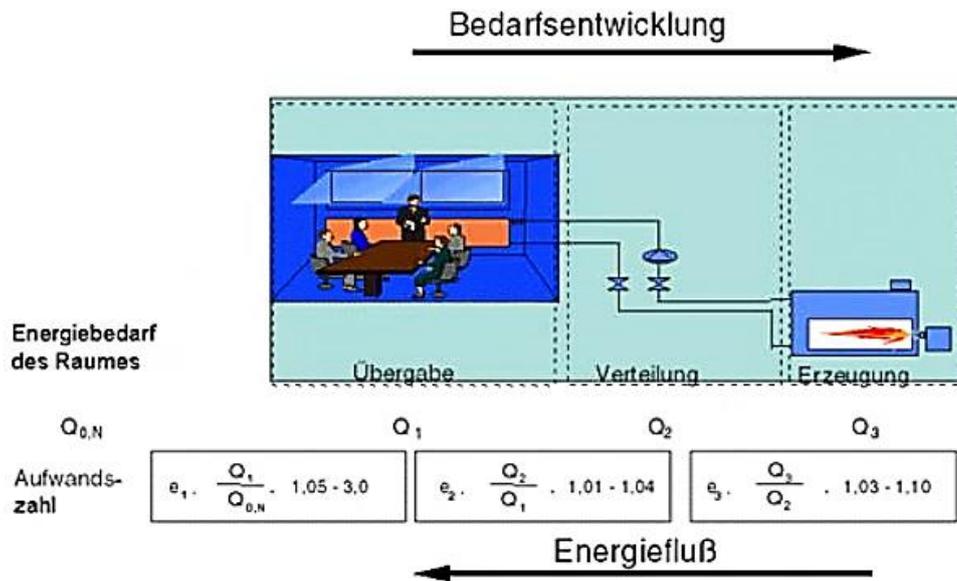


Abbildung 4: Zusammenhang der Beeinflussung des Gesamtenergieverbrauches

Beleuchtung:

Das Konzept der Aufwandszahlen, bisher im Bereich der Gebäudetechnik z. B. im Gewerk Heizung eingeführt, wurde nun auf die Bewertung der Innenraumbeleuchtung übertragen und bereits in der Neufassung der DIN V 18599-4 berücksichtigt. Somit wird zukünftig auch in der Beleuchtungstechnik eine Differenzierung nach Nutz- und Endenergie ermöglicht. Die Effizienz der Beleuchtungstechnik kann objektbezogen über die Aufwandszahl ausgewiesen werden. Die Endenergie für Beleuchtung Q_1 entspricht dann dem zur Deckung des Nutzenergiebedarfs für Beleuchtung rechnerisch aufgewendeten Bedarf am Energieträger, i. d. R. Strom.

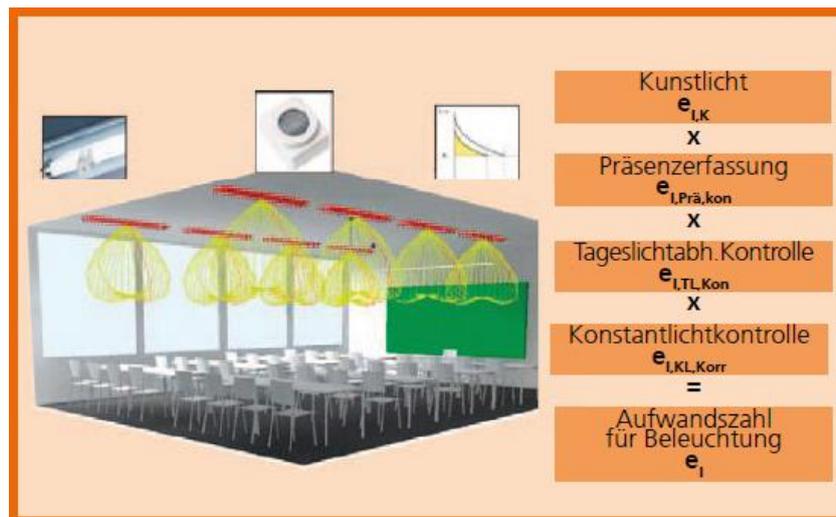
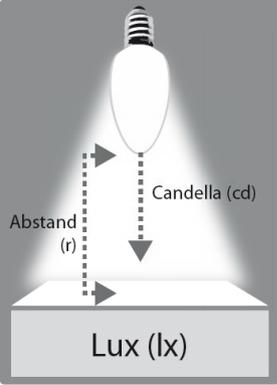


Abbildung 5: Berechnungsweg der Aufwandszahl Beleuchtung

(Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP)

Da Licht nicht pauschal energetisch zu bewerten ist, war die Festlegung einer Referenzbeleuchtung erforderlich. Diese fußt auf einer Referenzlichtausbeute von 140 lm/W und einer Referenzlichtstärkeverteilung (LVK) des Typs A 50. Die Referenzlichtausbeute entspricht der erwarteten zukünftigen Lichtausbeute von Weißlicht-LEDs. Die LVK des Typs A 50 entspricht einer direkt

strahlenden energieeffizienten Beleuchtung in der Stärke E_m von 200-300 lx, welche den Anforderungen der DIN EN 12464 bei üblichen Raumsituationen genügt.



Beleuchtungsstärke E

Beleuchtungsstärke E ist das Licht - gemessen z.B. mittels eines Luxmeters - welches effektiv auf einer Fläche ankommt. Angegeben wird dieses in Lux.

Das heißt – gemessen wird, wie viel Licht tatsächlich z.B. bei der Nutzebene (Üblicherweise 0,85m über dem Boden) ankommt – egal wie viel Lumen die Leuchte aussendet.

In der oberen Tabelle finden Sie E_m . Dies ist der Mittelwert der in der Nutzebene gemessenen Werte. Diese schwanken von Messpunkt zu Messpunkt. Direkt unter der Leuchte ist die Beleuchtungsstärke höher als am Rand der Messfläche. Der Mittelwert aus den gemessenen Werten ergibt E_m

Abbildung 6: Definition der mittleren Beleuchtungsstärke

Für Sportanlagenbeleuchtung für Innenräume werden Mindestwerte der horizontalen Beleuchtungsstärke für verschiedene Sportarten im Wert von 200-300 lx gemäß Beleuchtungsklasse III.

Raumtyp	Beleuchtungssystem	Nutzenergie $Q_{i,Nutz}$ [kWh/m]	Aufwandszahl Beleuchtung $e_{alt vs. neu}$	Faktor alt vs. neu	Endenergie
Verkehrsfläche	alt	0,7	6,6	3,0	4,6
	neu	0,7	2,2		1,5
Einzelbüro	alt	2,1	14,9	6,6	31,3
	neu	2,1	2,3		4,7
Großraumbüro	alt	7,5	6,5	2,8	48,5
	neu	7,5	2,3		17,0
Turnhalle mit Oberlichtern	alt	0,4	40,2	10,1	16,1
	neu	0,4	4,0		1,6
Turnhalle ohne Oberlichter	alt	6,4	6,2	3,3	39,9
	neu	6,4	1,9		12,2
Klassenzimmer	alt	1,4	9,3	3,9	13,1
	neu	1,4	2,4		3,4

Tabelle 18: Beispielwerte nach Raumtypen für Nutzenergie, Aufwandszahl und Endenergie

Hieraus folgen für die untersuchten Turnhallen je nach Zustand der Bestandsbeleuchtung und Grad des Tageslichteinflusses Möglichkeiten der energetischen Einsparung von 70 % - 90 % der benötigten Endenergie in kWh/m² a.

Die Aufwandszahlen für die Beleuchtung lassen sich durch Erneuerung der Leuchten ebenfalls im Bereich von 70 % - 90 % reduzieren. Hierbei handelt es sich um das reine Energie- und Emissionseinsparpotenzial ohne Berücksichtigung der Kostensituation.

Da der Stromverbrauch für die Beleuchtung nicht explizit separat erfasst wird, ist eine Berechnung der möglichen Endenergieeinsparung nur anhand von Einzelfallprüfungen im Rahmen einer detaillierten Fachplanung oder aufgrund Annahmen möglich. Ebenso ist die Berechnung der Kosteneinsparung im Rahmen einer Amortisationsrechnung nur nach Einzelfallprüfung des vorhandenen IST-Zustandes und der für die Sanierung erforderlichen baulichen Maßnahmen möglich.

Hallenfläche 1.000 m ²	Turnhalle mit Neonröhren	Turnhalle mit LED-Beleuchtung
Anzahl Leuchten	40	40
Leistungsaufnahme je Leuchte	2x58W+30%VSG=150W	2x30W
Benutzungstunden pro Jahr	1.000	1.000
Jahresstromverbrauch	6.000 kWh	2.400 kWh
CO ₂ -Emission 341,1 g CO / kWh (Quelle: SWS)	2.046,60 kg _{CO2}	818,64 kg _{CO2}
CO ₂ -Einsparung	0	60 % (1.245,96 kg _{CO2})
Anlagenaufwandszahl e _l	6,2	1,9
Symbol im Objektsteckbrief		

Tabelle 19: Berechnungsbeispiel Beispieltturnhalle Leuchtstoff/ LED

Elektrische Antriebe – Pumpen und Ventilatoren:

Der Aufwand für die Verteilung

Der hydraulische Leistungsbedarf Ph_{yd} zum Fördern einer Flüssigkeit ist proportional zum Produkt aus Förderstrom Q und Förderhöhe H .

$$Ph_{yd} \sim Q \cdot H \quad (1)$$

Heizungsumwälzpumpen laufen bis zu 6 000 Betriebsstunden pro Jahr. Mit jeder Betriebsstunde müssen die hydraulischen Widerstände der Rohrleitung und der Einzelwiderstände überwunden werden. Durch folgende Maßnahmen lässt sich der Aufwand für die Verteilung minimieren.

1. Betriebsstunden reduzieren

Umwälzpumpen sollten immer ausgeschaltet werden, wenn sie nicht benötigt werden. Die EnEV fordert in § 12 (1), dass Zentralheizungen in Gebäuden mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und der Zeit ausgestattet werden. Die Praxis sieht vielfach anders aus. Nicht selten laufen Umwälzpumpen gegen geschlossene Absperrorgane, pumpen Wasser im Bypass oder fördern kaltes Heizungswasser.

2. Förderstrom Q durch große Spreizung reduzieren

Über die Beziehung

$$Q = \frac{\dot{Q}_N \cdot p}{c \cdot \Delta\vartheta} \quad (2)$$

mit:

Q Förderstrom der Pumpe

Q_N Normwärmebedarf nach DIN 4701-1 (Heizlast)

p Dichte des Fördermediums

c Spezifische Wärmekapazität

Δ ϑ Spreizung

wird deutlich, dass zwischen dem benötigten Förderstrom Q zum Transport der Wärme und der Spreizung Δ ϑ ein linearer Zusammenhang besteht. Je größer die Spreizung, desto geringer der benötigte Förderstrom. Bei der Auslegung der Raumheizflächen und Festlegung der Spreizung muss zwischen Behaglichkeit (kleine Spreizung) und Wirtschaftlichkeit (große Spreizung) abgewogen werden.

3. Hydraulische Widerstände durch großzügige Dimensionierung der Rohrleitung reduzieren

Hydraulische Widerstände einer Rohrleitung im Verhältnis zum Rohrrinnendurchmesser ändern sich in der 5. Potenz.

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^5 \quad \text{mit } Q = \text{const} \quad (3)$$

mit: Q Förderstrom der Pumpe

H₁ Druckhöhenverlust bei Rohrrinnendurchmesser d₁

H₂ Druckhöhenverlust bei Rohrrinnendurchmesser d₂

4. Umwälzpumpen mit gutem Wirkungsgrad einsetzen

Der Aufwand an Hilfsenergie für die Verteilung der Wärme hängt im hohen Maße vom Gesamtwirkungsgrad der Umwälzpumpen ab. Dieser errechnet sich aus dem Quotient der Leistungsaufnahme P₁ und der hydraulischen Leistung P_{hydr.}

$$\eta_{\text{gesamt}} = \frac{P_{\text{hydr.}}}{P_1} \quad \text{oder auch}$$

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}} \quad (5)$$

mit: $P_{\text{hydr}} = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g$ hydraulische Leistung der Pumpe
 P_1 Leistungsaufnahme der Pumpe

5. Umwälzpumpen mit selbstadaptierender Kennlinie verwenden

Geregelte Umwälzpumpen passen ihre Drehzahl selbsttätig dem wechselnden Bedarf an. Die Regelgröße ist in den meisten Fällen der Differenzdruck. Der Sollwert (Führungsgröße) muss dem Regler der Pumpe über die Tastatur am Klemmkasten oder via BUS vorgegeben werden. Die Pumpe versucht nun durch Veränderung der Drehzahl (Stellgröße) dem eingestellten Sollwert zu folgen. So arbeiten geregelte Umwälzpumpen seit vielen Jahren erfolgreich im Markt. Grundfos beispielsweise hat bereits im September 2001 die erste und einzige Umwälzpumpe mit ECM-Technologie und selbstadaptierender Kennlinie, der AUTO-Funktion, entwickelt und eingeführt. Der Grundfos MAGNA muss kein Sollwert vorgegeben werden. In der Regelungsart AUTO-Funktion lernt die Pumpe vom System und findet ihren optimalen Sollwert und somit die optimale Kennlinie selbsttätig.

Ermittlung der Anlagenaufwandszahl zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs

Die Anlagenaufwandszahl wird in Anlehnung an DIN V 4701-10 ermittelt. Wenn Kennwerte von konkreten Produkten vorliegen, beispielsweise die Leistungsaufnahme einer Umwälzpumpe im Auslegungspunkt, dann können diese zur Berechnung des flächenbezogenen Aufwandes für die Verteilung nach folgender Gleichung verwendet werden.

$$q_{H,d,HE} = \frac{P_{\text{pumpe}} \cdot f_{HP} \cdot z}{1000 \cdot f_p \cdot A_N} \quad (6)$$

mit: $q_{H,d,HE}$ spezifischer Hilfsenergiebedarf der Pumpe in kWh (m²a)

P_{pumpe} Leistungsaufnahme der Pumpe im Auslegungspunkt in W

t_{HP} Dauer der Heizperiode in d/a nach den Randbedingungen der Tabelle 2 der Norm

z Laufzeit der Pumpe pro Tag in h/d nach den Randbedingungen der Tabelle 2 der Norm

$$f_p = 1,4 - \frac{20}{A_N} \text{ Korrekturfaktor für geregelte Pumpen, sonst } f_p = 1$$

A_N Nutzfläche des Gebäudes in m² nach Norm

Beispiel

Die Berechnung des spezifischen Stromaufwandes für die Verteilung nach dem detaillierten Verfahren soll anhand eines konkreten Beispiels verdeutlicht werden. Die Wärmebedarfs- und die Rohrnetzrechnung ergeben folgenden Auslegungspunkt: Förderstrom $Q = 12 \text{ m}^3/\text{h}$, Förderhö-

he $H = 4$ m. Die Pumpenauswahl mit der Pumpenauslegungs-Software WinCAPS liefert die Leistungsaufnahme P_1 bzw. PPumpe im Auslegungspunkt .

Aus Gleichung (6) folgt mit den Randbedingungen der Tabelle 2 der DIN V 4701-10 und $AN = 10.000 \text{ m}^2$

$$q_{H,d,HE} = \frac{269 \cdot 185 \cdot 24 \text{ kWh}}{1000 \cdot 1,398 \cdot 10.000 \text{ m}^2 \text{ a}} = 0,085 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}} \quad (7)$$

$$q_{H,d,HE} \text{ (nach Tabellenverfahren bei } \Delta\vartheta = 20 \text{ K} = 0,16 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}} \quad (8)$$

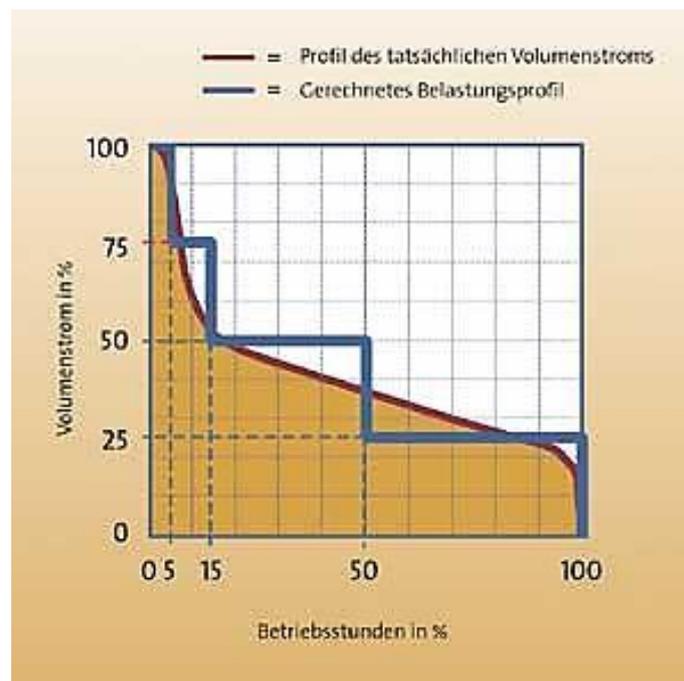


Abbildung 7: Belastungsprofil einer Heizungsanlage

Der Vergleich der Ergebnisse der Gleichungen (7) und (8) zeigt, dass in diesem konkreten Beispiel der Hilfsenergiebedarf für die Verteilung, berechnet mit dem detaillierten Verfahren mit Produktkenndaten der Grundfos MAGNA UPE, ungefähr halb so hoch ist. Dies führt zu geringeren Anlagenaufwandszahlen und somit zu einem geringeren Primärenergiebedarf.

Stromaufwand im Vergleich

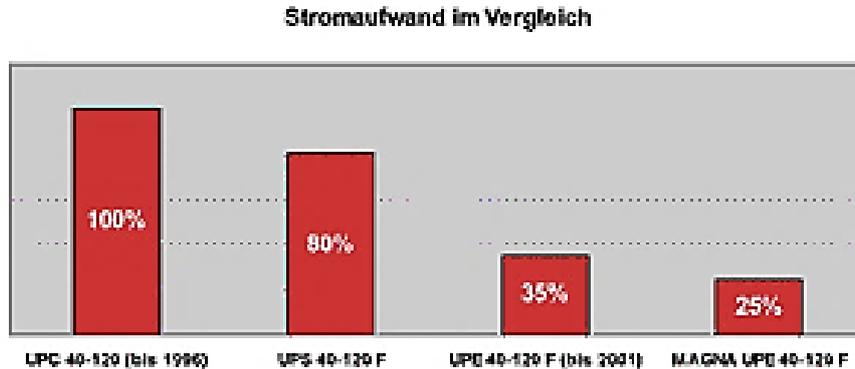


Abbildung 8: Vergleich zweier unregelter Umwälzpumpen UPC 40-120 und UPS 40-120 F mit geregelten der UPE Serie 2000 und dessen Nachfolger Grundfos MAGNA UPE 40-120 F.

*) ermittelt unter folgenden Randbedingungen:

- Absenkbetrieb 8 Stunden pro Heiztag
- Nachtabsenkfunktion bei Grundfos MAGNA UPE ist aktiviert
- MIN-Kennlinie über potenzialfreien Kontakt während des Absenkbetriebes bei UPE 40-120 F
- Belastungsprofil nach Abbildung
- Auslegungsförderstrom: 12 m³/h, Förderhöhe: 6 m

Auf Basis des Auslegungspunktes und des Belastungsprofils einer Heizungsanlage lässt sich der Stromaufwand für die Verteilung berechnen. Mehr als 87,5 % des Volumenstromes ist an weniger als 5 % der Heizzeit erforderlich, während 85 % der Heizzeit maximal 62,5 % des Volumenstromes benötigt wird. Die Bedeutung von geregelten Umwälzpumpen in Anlagen mit variablen Volumenströmen wird aus der Darstellung ersichtlich.

A _v in m ²	Geregelte Pumpen				Ungeregelte Pumpen			
	20K 90/70°C	15K 70/55°C	10K 55/45°C	7K 35/28°C	20K 90/70°C	15K 70/55°C	10K 55/45°C	7K 35/28°C
100	1,69	1,85	1,98	3,52	2,02	2,22	2,38	4,22
150	1,12	1,24	1,35	2,40	1,42	1,56	1,71	3,03
200	0,86	0,95	1,06	1,88	1,11	1,24	1,38	2,44
300	0,61	0,68	0,78	1,39	0,81	0,91	1,04	1,85
500	0,42	0,48	0,57	1,01	0,57	0,65	0,78	1,38
750	0,33	0,38	0,47	0,83	0,45	0,52	0,64	1,14
1000	0,28	0,33	0,43	0,74	0,39	0,48	0,58	1,02
1500	0,23	0,28	0,37	0,65	0,33	0,39	0,51	0,90
2500	0,20	0,24	0,33	0,58	0,28	0,34	0,46	0,81
5000	0,17	0,22	0,30	0,53	0,24	0,30	0,42	0,74
10000	0,16	0,20	0,36	0,50	0,22	0,26	0,40	0,70

Tabelle 20: Flächenbezogener Stromaufwand für die Verteilung von Heizwärme in kWh/(m² a).

Da der Stromverbrauch für die Umwälzpumpen nicht explizit separat erfasst wird, ist eine Berechnung der möglichen Endenergieeinsparung nur anhand von Einzelfallprüfungen im Rahmen einer detaillierten Fachplanung oder aufgrund Annahmen möglich. Ebenso ist die Berechnung der Kosteneinsparung im Rahmen einer Amortisationsrechnung nur nach Einzelfallprüfung des vorhandenen IST-Zustandes und der für die Sanierung erforderlichen baulichen Maßnahmen möglich.

Energieeffizienz Elektroverbraucher

Da der Stromverbrauch für die Ventilatoren nicht explizit separat erfasst wird, ist eine Berechnung der möglichen Endenergieeinsparung nur anhand von Einzelfallprüfungen im Rahmen einer detaillierten Fachplanung oder aufgrund Annahmen möglich. Ebenso ist die Berechnung der Kosteneinsparung im Rahmen einer Amortisationsrechnung nur nach Einzelfallprüfung des vorhandenen IST-Zustandes und der für die Sanierung erforderlichen baulichen Maßnahmen möglich.

Sparpotenziale

- Reduzierung Leerlaufzeit
- Wartung
- Direktantrieb
- effizienterer Motor
- Einsatz FU

Zur Erläuterung der Zusammenhänge dient nachfolgende Übersicht zur Entwicklung des Wirkungsgrades in der Vergangenheit.

Wirkungsgrade nach Baualter

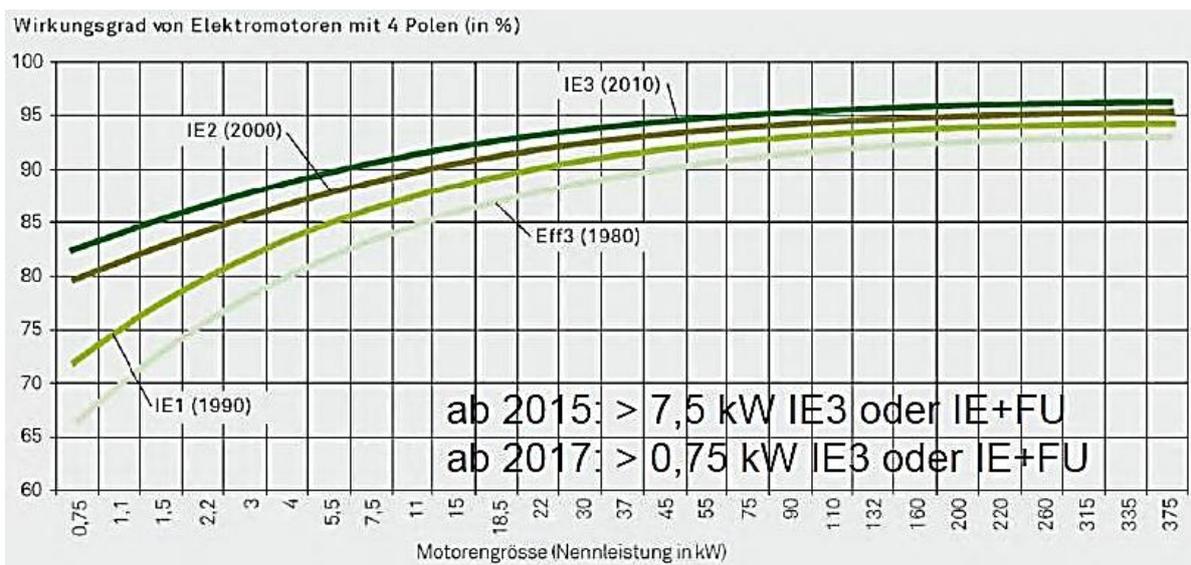


Abbildung 9: Wirkungsgrade nach Baualter (Quelle: www.topmotors.ch)

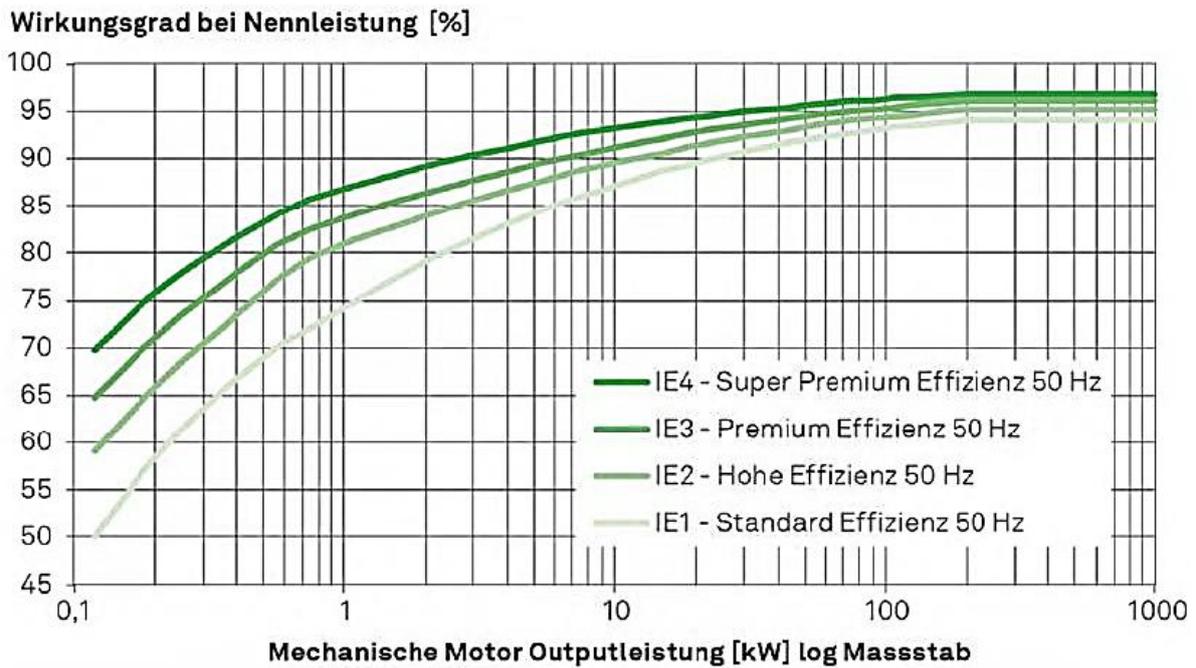


Abbildung 10: Wirkungsgrade bei Nennleistung (Quelle: www.topmotors.ch)

Zur Erklärung der zu überprüfenden Eigenschaften eines Elektromotors, z. B. in der Lüftungsanlage einer Turnhallen-Lüftungsanlage, dient folgende Erklärung eines Elektromotor-Typenschildes.

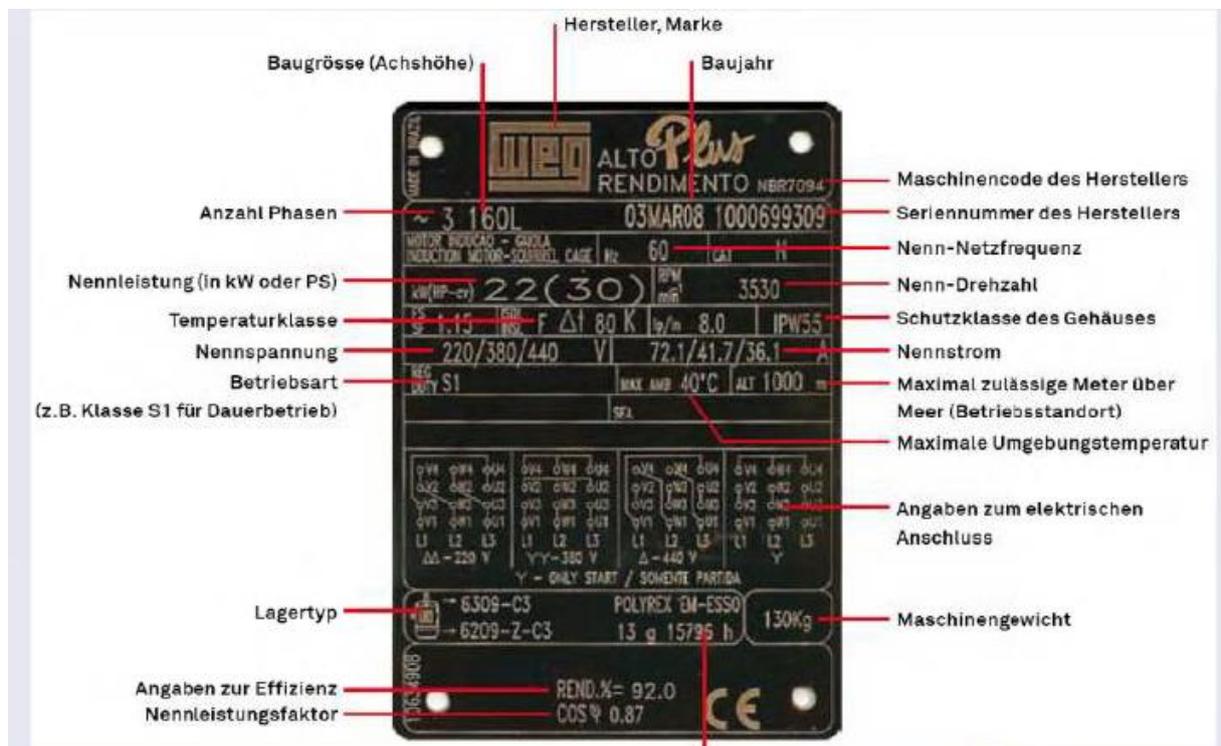


Abbildung 11: Typenschild eines Elektromotors (Quelle: www.topmotors.ch)

Bestimmung der Effizienz

Angabe	Erläuterung
Angaben zur Effizienz respektive Wirkungsgrad bei Nennbedingungen	Falls auf dem Typenschild die Effizienzklasse oder der Wirkungsgrad angegeben ist, kann die Energieeffizienz des Elektromotors direkt beurteilt werden, wenn dieser nicht überdimensioniert ist (Teillast reduziert in der Regel den Wirkungsgrad). Für Motoren gelten die Effizienzklassen IE1 (Standard Effizienz, früher Eff2), IE2 (Hohe Effizienz, früher Eff1), IE3 (Premium Effizienz) und IE4 (Super Premium Effizienz).
<ul style="list-style-type: none"> ■ Nennleistung ■ Nennspannung ■ Nennstrom ■ Leistungsfaktor 	Bei vielen alten Motoren gibt es auf dem Typenschild keine Angaben zur Energieeffizienz. Mit den Angaben zu den Nennbedingungen (Motorauslegung) lässt sich der Wirkungsgrad des Elektromotors berechnen. Ist der Motor nicht überdimensioniert, liefert der Wirkungsgrad einen guten Anhaltspunkt zur Bewertung der Energieeffizienz.

Abbildung 12: Bestimmung der Effizienz (Quelle: www.topmotors.ch)

Die Berechnung des Wirkungsgrades eines Elektroantriebes erfolgt nach folgenden Zusammenhängen.

Berechnung des Wirkungsgrades

$$\eta = P_{\text{mech}} / P_{\text{elektr.}} = P_{\text{Welle}} / (U_N \cdot I_N \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi)$$

η	Wirkungsgrad [-]
P_{Welle}	Leistungsangabe auf dem Typenschild [kW]
U_N	Nenn-Spannung [V]
I_N	Nenn-Strom [A]
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor [-]

Achtung, gilt nur bei Nennbetrieb !

Quelle: www.topmotors.ch

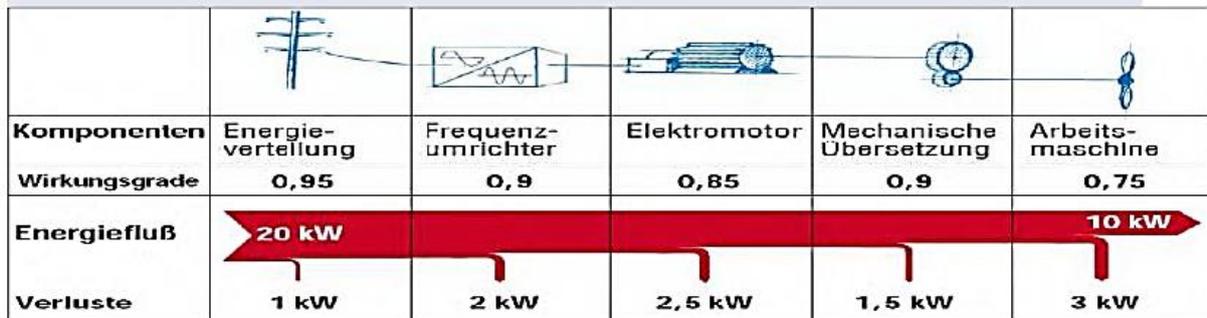
Die Wirkungsgrade ergeben sich aus der den Nennleistungen zugeordneten Effizienzklassen.

Wirkungsgrade nach Effizienzklasse

Nennleistung in kW	Eff3 Wirkungsgrad in %	IE1 Wirkungsgrad in %	IE2 Wirkungsgrad in %	IE3 Wirkungsgrad in %
0,75	66,5	72,1	79,6	82,5
1,1	70,0	75,0	81,4	84,1
1,5	72,7	77,2	82,8	85,3
2,2	75,7	79,7	84,3	86,7
3	77,8	81,5	85,5	87,7
4	79,7	83,1	86,6	88,6
5,5	81,6	84,7	87,7	89,6
7,5	83,3	86,0	88,7	90,4
11	85,1	87,6	89,8	91,4
15	86,4	88,7	90,6	92,1
18,5	87,2	89,3	91,2	92,6
22	87,8	89,9	91,6	93,0
30	88,9	90,7	92,3	93,6
37	89,5	91,2	92,7	93,9

Abbildung 13: Wirkungsgrade nach Effizienzklasse (Quelle: www.topmotors.ch)

Wann der Einsatz eines Frequenzumrichters sinnvoll ist, entscheidet die Qualität der Regelung. Wenn die Regelung der Hallenlüftung basierend auf bestimmten Messwerten oder Zeitalgorithmen in der Lage wäre, die Lüftung mit angepasstem Volumenstrom zu betreiben, dann sollte dies über die Ansteuerung eines Frequenzumrichters geschehen. Dies lohnt sich aufgrund der höheren Effizienz bei Teillast deutlich gegenüber allen anderen Lösungen mit Bypassklappen oder klassischen Stern-/Dreieckschaltungen. Siehe hierzu die folgende Prozesskette:



das schwächste Glied entscheidet über die Effizienz

Abbildung 14: Prozesskette (Quelle: www.topmotors.ch)

Im praktischen Beispiel sieht der Unterschied im Leistungsverlust dann so aus:

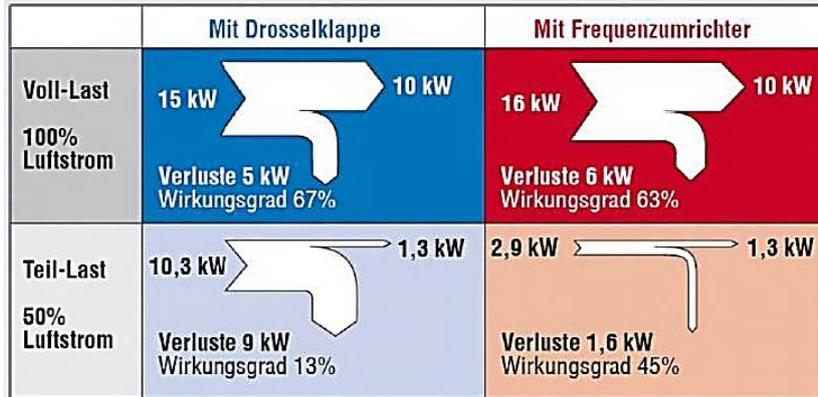


Abbildung 15: Unterschied im Wirkungsgrad mit FU (Quelle: www.topmotors.ch)

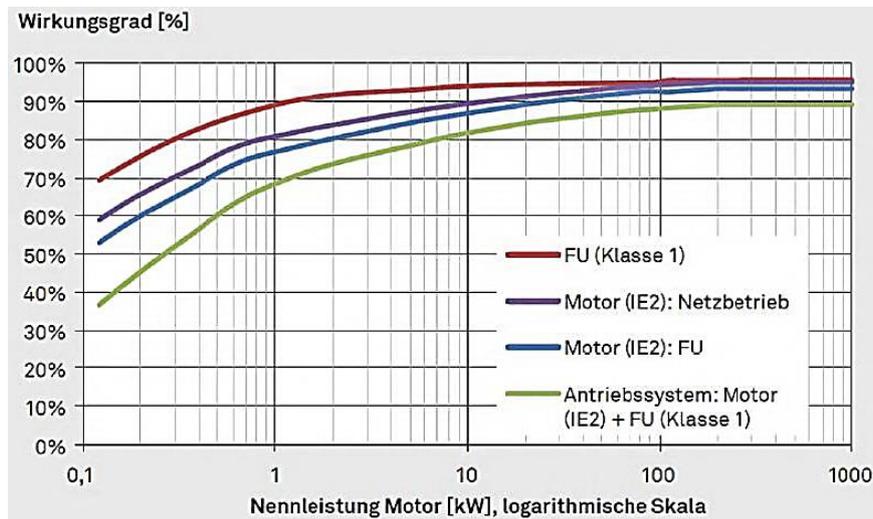


Abbildung 16: Unterschied im Wirkungsgrad mit FU (Quelle: www.topmotors.ch)

Zusammenfassend ist zu sagen, dass insbesondere Ventilatormotoren mit einer bedarfsgerechten Regelung über eine Frequenzumrichtung angesteuert werden sollten, um Antriebs- und Wärmeenergie einzusparen.

3.2. Kommunikationsstrategie

Grundsätzliche Anmerkungen

Mit dem vorliegenden Teilplan Städtische Sporthallen vervollständigt die Landeshauptstadt ihr durch die Stadtvertretung beschlossenes Klimaschutzkonzept und konkretisiert die Maßnahmen zum Erreichen der formulierten Klimaschutzziele. Betroffen von den in diesem Teilplan beschriebenen Maßnahmen sind aber nicht wie bei anderen Teilplänen des Klimaschutzkonzeptes alle Bürger der Landeshauptstadt, sondern nur ausgewählte Zielgruppen.

Die städtischen Sporthallen in der Landeshauptstadt Schwerin werden von folgenden zwei grundsätzlich verschiedenen Nutzergruppen genutzt:

- Schüler im Rahmen des Schulsports
- Freizeit und Leistungssportler im Rahmen ihrer sportlichen Betätigung

Vor diesem Hintergrund ist eine umfassende Bürgerbeteiligung, in der alle Bürger der Landeshauptstadt teilnehmen können, nicht zielführend.

Es bedarf vielmehr eines Kommunikationsprozesses mit den Entscheidungsträgern einerseits und eines auf die Nutzer abgestimmten Kommunikationsprozesses.

Erster Schritt – verwaltungsinterne Kommunikation

Als ersten Schritt ist deshalb eine Information über die Ergebnisse des Teilplans Sporthallen innerhalb einer verwaltungsinternen, ämterübergreifenden Arbeitsrunde sinnvoll. Die Runde sollte folgenden Teilnehmerkreis umfassen:

- Fachdienst für Schule, Jugend und Sport, Fachbereich Sport
- Fachdienst für Schule, Jugend und Sport, Fachbereich Schule
- Fachdienst für Stadtentwicklung und Wirtschaft
- Zentrales Gebäudemanagement der Landeshauptstadt
- Kämmerei

Diese Runde wertet die Ergebnisse des Teilplans Sporthallen aus, formuliert Maßnahmen und definiert Prioritäten. Als Zwischenschritt erfolgt eine Information an die Dezernenten der Landeshauptstadt sowie an den Hauptausschuss.

Zweiter Schritt – Kommunikation mit den Nutzern

In einem zweiten Schritt erfolgt anschließend eine Information der beiden betroffenen Nutzergruppen.

Dem Fachdienst für Schule, Jugend und Sport, Fachbereich Schule obliegt der Kommunikationsprozess mit den betroffenen Schulen. Da aktuell jeder Schule in der Landeshauptstadt eine Sporthalle zugeordnet ist und diese Sporthallen zudem einen überwiegend guten Zustand haben, ist davon auszugehen, dass die in diesem Bereich zu treffenden Entscheidungen in der Regel konfliktfrei getroffen werden können.

Dem Fachdienst für Schule, Jugend und Sport, Fachbereich Schule, obliegt der Kommunikationsprozess mit den betroffenen Sportvereinen. Vor dem Hintergrund hoher Verbräuche einiger Sporthallen und hoher Kosten, um einzelne Sporthallen auf einen akzeptablen energetischen Standard zu bringen, ist davon auszugehen, dass es für einzelne Sportvereine/Nutzergruppen zu Veränderungen hinsichtlich ihrer Hallennutzung kommen wird. Es können sich sowohl Veränderungen bei den Hallenzeiten als auch bei den genutzten Hallen ergeben. Dieser Prozess wird aufgrund der zu erwartenden Änderungen nicht konfliktfrei verlaufen. Deshalb sollte hier geprüft werden, ob der Kommunikationsprozess durch einen externen Moderator begleitet wird. Ziel dieses Kommunikationsprozesses ist es, Konsens zu den geplanten Maßnahmen zu erreichen. Als Ergebnis dieses Abstimmungsprozesses kann es durchaus noch zu Änderungen bei der Reihenfolge und Prioritätensetzung kommen.

Dritter Schritt – Abschluss der Kommunikation

Mit dem dritten Schritt wird der Kommunikationsprozess abgeschlossen. In diesem Schritt werden die Ergebnisse des Beteiligungsprozesses in die ämterübergreifende Arbeitsgruppe eingebracht und Prioritäten, durchzuführende Maßnahmen, sowie zur Verfügung stehende Mittel einschließlich der zur Verfügung stehenden Förderungen in Bezug zueinander gesetzt und zwischen den beteiligten Konsens über die zukünftigen Maßnahmen erzielt. Als Ergebnis wird eine Maßnahmenliste erarbeitet, die eine Beschlussvorlage für die politischen Gremien bildet. Für die wichtigsten Maßnahmen sollen dann schon in ihr Zeitraum der Durchführung sowie die Finanzierung dargestellt werden. Die Beschlussvorlage soll für die Verwaltung die Ermächtigung darstellen, kurzfristig die erforderlichen Baumaßnahmen zu veranlassen. Für diese prioritär benannten Maßnahmen soll dann kein weiterer Beschluss der Stadtvertretung mehr erforderlich sein. Nach einem Zeitraum von ca. drei Jahren erfolgt dann eine Fortschreibung des Konzeptes, in dem die aktuellen Entwicklungen berücksichtigt werden und weitere Prioritäten definiert werden.

3.3. Turnhalle 3: Sprachheilschule

Kurzübersicht der Turnhalle Sprachheilschule

Adresse:

19061 Schwerin
 Andrej-Sacharow-Str. 75
 Ansprechpartner: Herr Prause

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1978
Nettogrundfläche	798 m ²
Typenbezeichnung	KT 60 L



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	12.505
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	124.572
Warmwasser (WW)	-

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Bisherige energetische Sanierungen:

- Austausch Fenster (Kunststoff) 2004
- Austausch obere Giebelwand im Bogenbereich als Mauerwerkswand (Porenbeton)

Energetische Schwachstellen:

- bauliche Hülle (Dach, Außenwände, Bodenplatte): Bauteile unsaniert und Dämmung vorhanden, aber sehr gering
- Beleuchtung Leuchtstoffröhre in Halle (2 Reihen je 17 Leuchten je 3 Röhren) sogar ohne Präsenzerfassung

Sonstige Merkmale:

- direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung
- keine separaten Zähler für Energiebilanzkreise Strom und Wärme

3.3.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 3 - Sprachheilschule handelt es sich um den Typenbau KT 60 L aus dem Jahr 1978. Bei diesem Bauwerk sind die bogenförmige Dachform (Tonnendach) und die seitlichen Anbauten für den Sozial- und Technikbereich charakteristisch. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

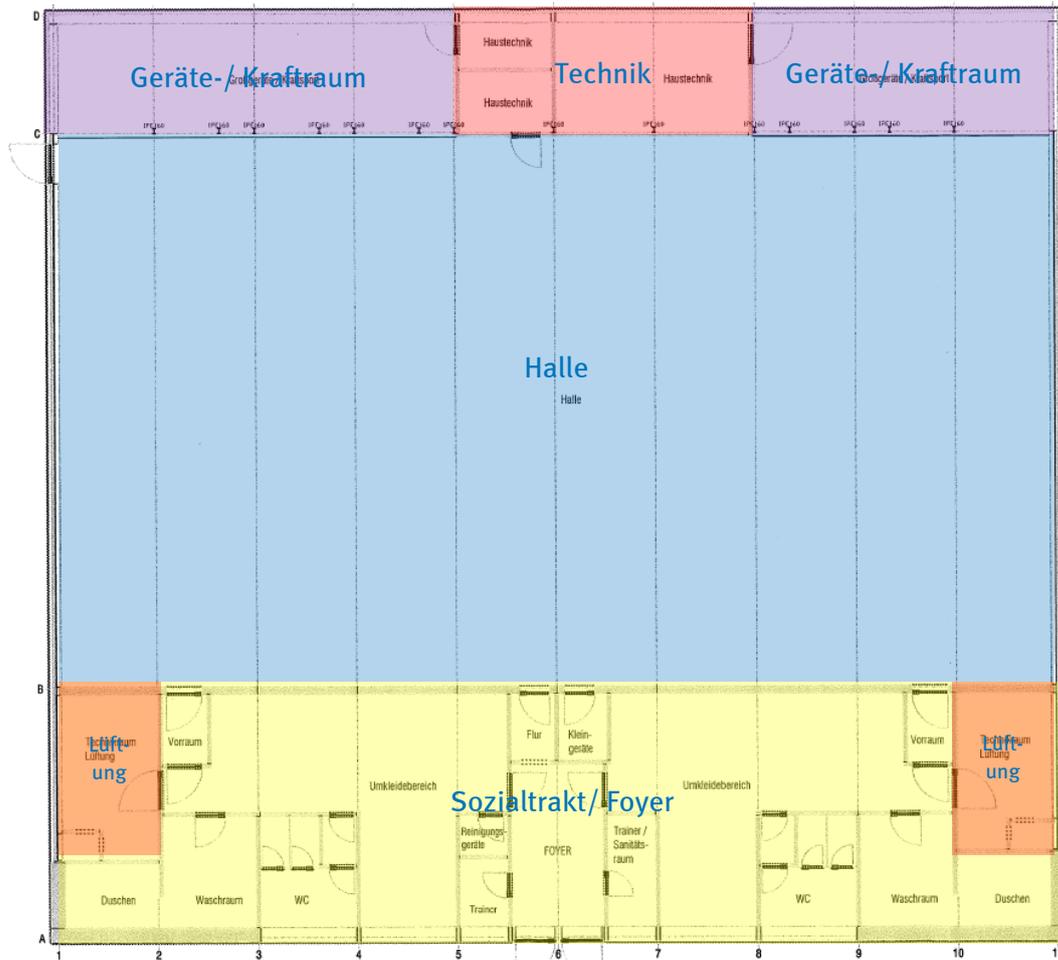


Abbildung 17: Grundriss TH 3 - Typ KT 60L (Quelle: ZGM)

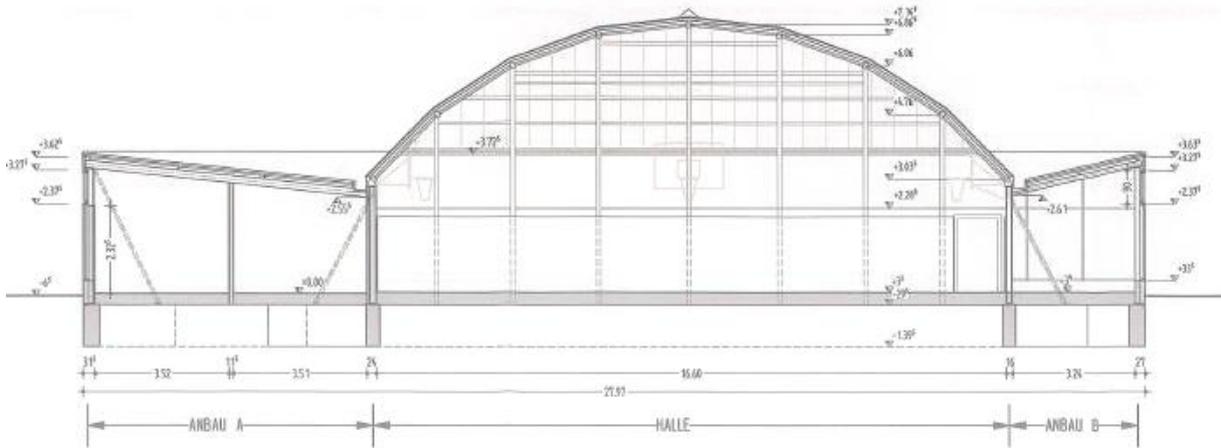


Abbildung 18: Schnitt durch Halle 3 - Typ KT 60 L

Ansichten:



Abbildung 19: Ansichten TH 3 Sprachheilschule (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

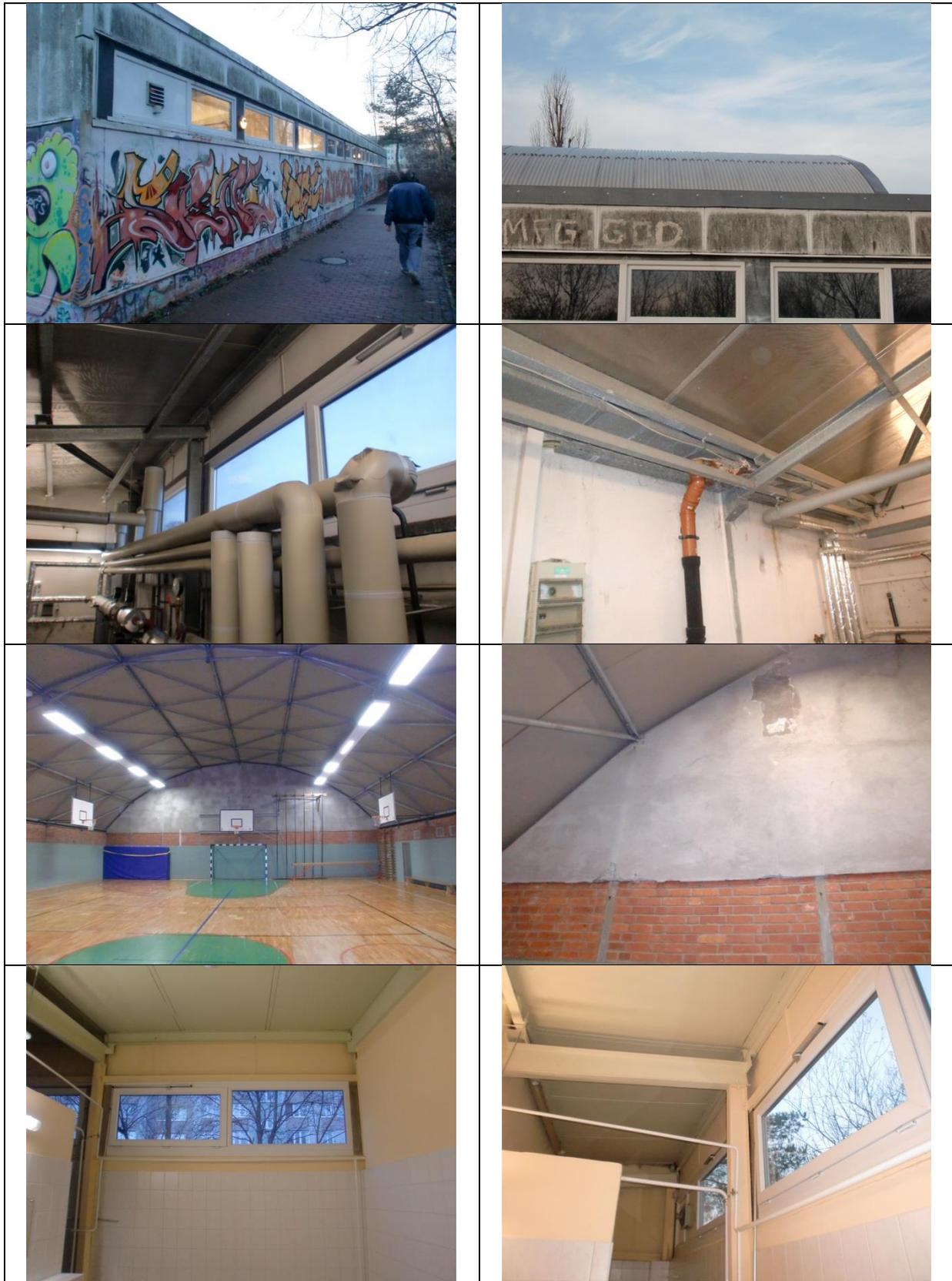
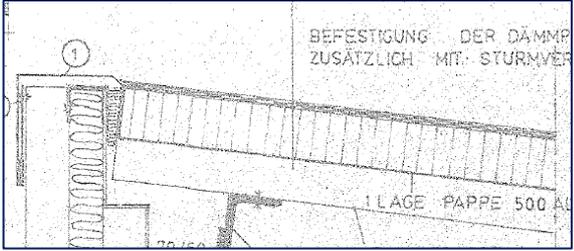
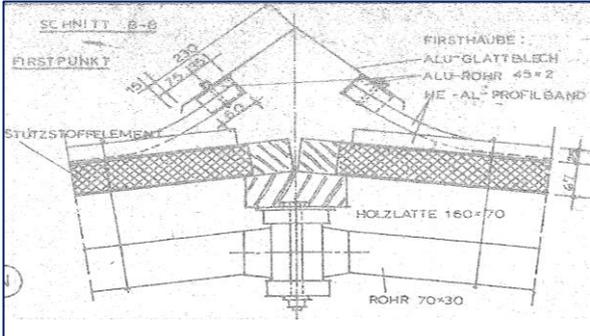


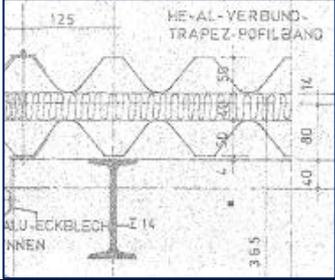
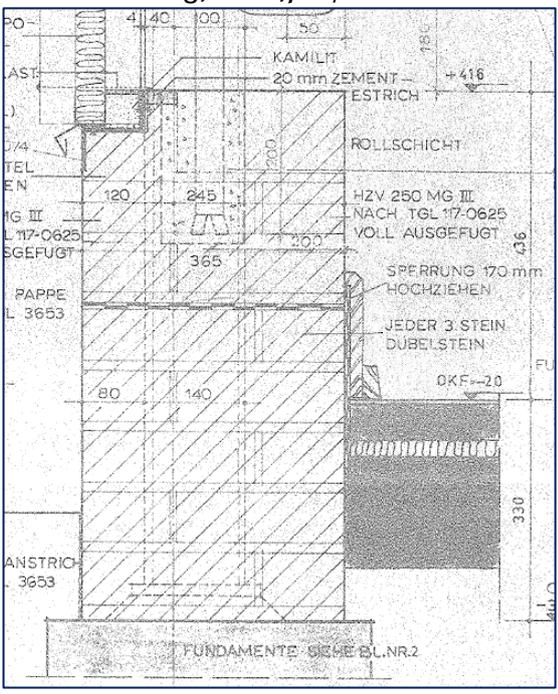
Abbildung 20: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWi des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Die verwendeten Pläne beziehen sich auf den Hallentyp KT 60 L und sind somit nicht als verbindlich anzusehen. Je nach Bauort, Bauzeit und Materialverfügbarkeit kann es zu Variationen in der Bauweise kommen.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁵
Dach	<p>Seitliche Anbauten: HE-AL-Trapezprofilband mit innerer Verkleidung, 60 mm Dämmung (Altmark-Platten ($\lambda \approx 0,05$ Annahme) und äußere Bitumenabdichtung U-Wert ca. $0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Dämmung sehr gering, somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 -22 cm mit WLG 035 - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
	<p>Hallenbereich: vermutlich ähnliche Konstruktion wie Anbauten aber mit äußerer Blechabdeckung U-Wert ca. $0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; 60mm WäDä vorh.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Dämmung sehr gering, somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 -22 cm mit WLG 035 - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

⁵ Vergleichswerte der EnEV in Anlehnung an das Referenzgebäude nach Anlage 2 Tabelle 1 EnEV 2014

Außenwand	<p>Normaler Wandbereich: (außen mit Faserzementplatten verkleidet; nicht obere Giebelbereiche) ca. 40 mm Wädä; U-Wert ca. 1,0 W/(m²K)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert (laut Hausmeister) - Dämmung sehr gering, somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 12- 14 cm - Richtwert der EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K)
	<p>Sockelbereich: (h ≈ 30 cm, d = 36,5 cm) ohne Dämmung; U ≈ 2,7 W/m²K</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Dämmung sehr gering, somit ist Wärmeverlust sehr groß - Standard heute ca. 12- 14 cm - Richtwert der EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K) - jedoch ist die Dämmung im Perimeterbereich üblicherweise etwas dünner
	<p>oberer Giebelwandbereich (Halle) Porenbetonwand (laut Hausmeister nachträglich eingebaut) mit einer Dicke von vermutlich 36 cm (aus Geometrie abgeschätzt); U≈ 0,39 W/m²K (Annahme WLG 150)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - saniert - Dämmung relativ gut, Wärmeverlust akzeptabel - Richtwert der EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K)
Fenster Halle	Keine	
Fenster Anbau	Kunststofffenster mit 2 Scheibenisolierverglasung aus dem Jahr 2004 an Anlehnung an die EnEV 2001 wird der vorh. U-Wert mit 1,3 W/m²K angenommen	<ul style="list-style-type: none"> - saniert - vorhandener U-Wert auch nach aktueller EnEV ausreichend

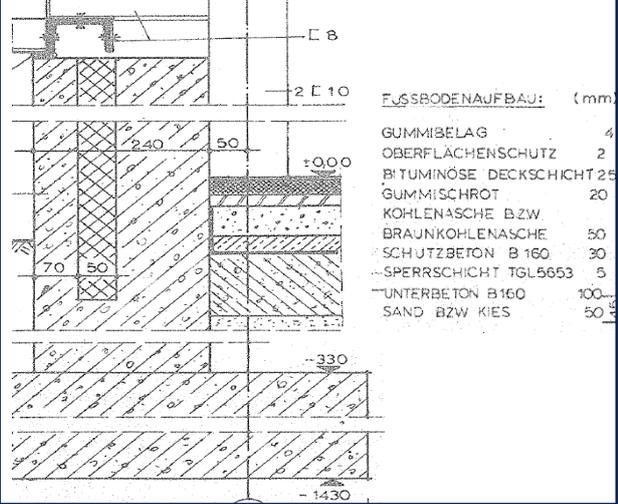
<p>Bodenplatte</p>	<p>Betonplatte mit nachfolgendem Aufbau U-Wert wird mit $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}^6$ abgeschätzt</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - keine Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
--------------------	--	---

Tabelle 21: Turnhalle 3 - Bauliche Hülle und Bewertung

⁶ aus der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand des BMUB und BMWi des Bundes vom 07. April 2015

3.3.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

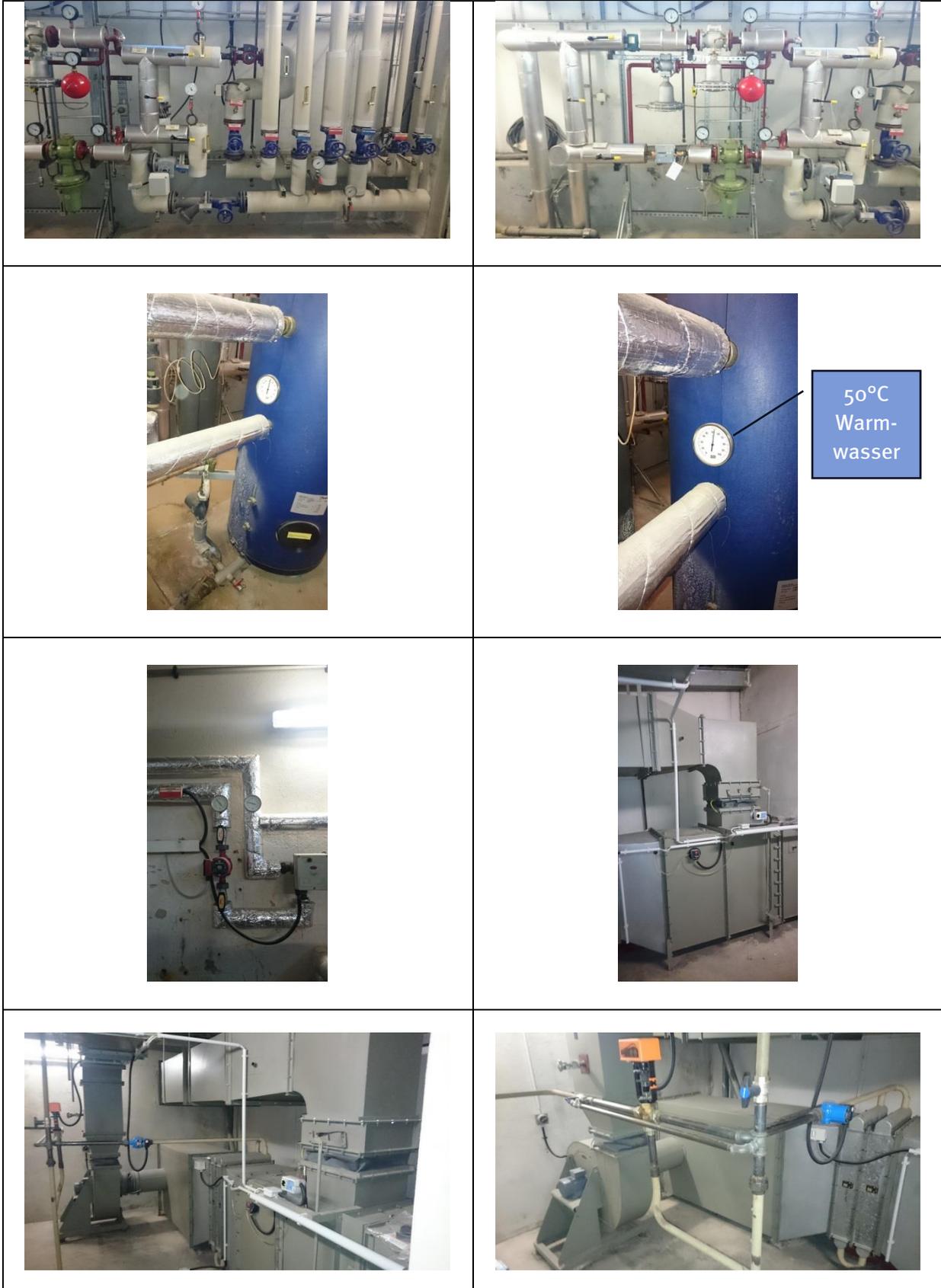


Abbildung 21: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - Umwälzpumpen überwiegend nicht in Hocheffizienzausführung - Heizleitungen der Heizkreise zu den Lüftungswärmetauschern unter dem Hallenboden mit mutmaßlich höheren Wärmeverlusten
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung nur 50° C
Lüftung	Lüftungsanlage Um- und Außenluftgeführt Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert	<ul style="list-style-type: none"> - saniertes Zustand - gute Regelbarkeit - Ventilatormotoren nicht drehzahl geregelt (keine FU) - keine Wärmerückgewinnung - Volumenstrom unregelt, nicht eingemessen
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren in Halle (2 Reihen je 17 Leuchten je 3 Röhren) ohne Präsenzerfassung	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - keine Tageslichtnutzung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 22: Turnhalle 3 - TGA und Bewertung

Einsparpotenzial besteht bei der Begrenzung der Verluste in der Verteilung und Übergabe der Wärmeenergie. Insbesondere durch Hocheffizienzpumpen, Wärmedämmung von Heizungs- und Lüftungsleitungen sowie drehzahl geregelte Lüftungsventilatoren können die Verteilungs- und Übergabeverluste reduziert werden.

3.3.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 3 Sprachheilschule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		3360				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		800				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	276	1	1	276	WK
Außenwand Sockel	$A_{Aw, Sockel}$	44	2,7	1	118,8	WK
oberer Giebelwand- bereich	$A_{Aw, Giebel}$	68	0,39	1	26,52	WK
Boden	A_G	840	0,8	0,2	134,4	WK
Dach	A_D	930	0,75	1	697,5	WK
Fenster	A_F	54	1,3	1	70,2	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	2212		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1323,42	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		221,2	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		1544,62	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		101944,92	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	638,4	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		42134,4	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,65833	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost			$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Südost bis Südwest			$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Ost und West	54	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	2373	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	2373	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	17600	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	18974	kWh/a
Jahresheiz- wärmeverbrauch	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	125105	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,76	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	164612	kWh/a
		pro m^2 NGF			205,8	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 23: Berechnung des Heizwärmebedarfs TH 3 (Eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 165.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 800 m² ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 206 kWh/m²a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 124.000 kWh (156 kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit um ca. 25 % geringer als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat eine relative hohe Auslastung von 91 %. Dennoch könnten sich auch daraus Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

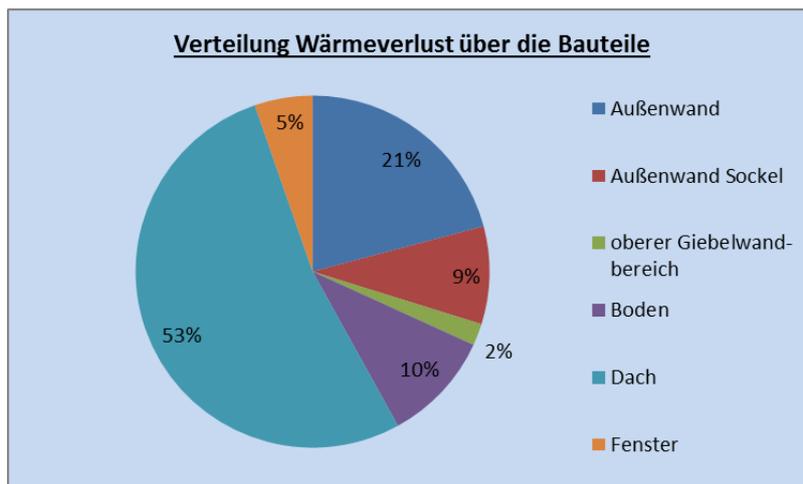


Abbildung 22: Verteilung der Energieverluste über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über das Dach (53 %) und die Außenwände (24%) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.3.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Austausch der Fassadenelemente durch Sandwichelemente und restliche Wandbereiche (analog TH 12 John Brinkmann-Schule) ($U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$)	60.000 €	ca. 17	ca. 4.000	ca. 1.900€
2 Austausch Dachelemente durch Sandwichelemente und Dämmung oberer Giebel (analog TH 12 John Brinkmann-Schule) ($U \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$)	160.000€	ca. 27	ca. 6.400	3.000 €
3 Austausch Hallenboden mit Dämmung ($U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$)	100.000 €	ca. 5	ca. 1200	560 €
4 Ertüchtigung HL-Anlage	50.000 €	10	2.400	1.120 €
5 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 24: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 3 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau eines Wärmerückgewinnungswärmetauschers in die Lüftungsanlage

3.4. Turnhalle 5: Heinrich-Heine Schule

Kurzübersicht der Turnhalle Heinrich-Heine-Schule (Denkmalschutz)

Adresse:

19055 Schwerin
Werderstraße 83
Ansprechpartner: Herr Gaul

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1927
Nettogrundfläche	1.069 m ²
Typenbezeichnung	-



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	14.256
Wärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	85.585 (Erdgas)
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung Kastenfenster, innen 2-Scheibenisolierverglasung Fenster (Holz) 2004
- Dämmung der Hallendecke
- teilweise Neubau Sozialbereich

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen:

- Außenwände der Halle ungedämmt
- Boden der Turnhalle vermutlich nicht/gering gedämmt
- fossiler Energieträger Erdgas

Sonstige Merkmale:

- keine Hallenlüftung
- Abluftöffnungen in unbeheizten und ungedämmten Dachbodenbereich

3.4.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Die Turnhalle der Heinrich-Heine Schule ist ein unter Denkmalschutz stehendes Gebäude. Bei Sanierungsmaßnahmen gelten somit besondere Herausforderungen. Alle Sanierungsmaßnahmen müssen in enger Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde erfolgen.

Zudem ist die Energieeinsparverordnung nur begrenzt für denkmalgeschützte Bauwerke anzuwenden. Im § 24 Abs. 1 der EnEV 2014 heißt es folgendermaßen: „Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.“

Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss und Schnitt durch Halle:

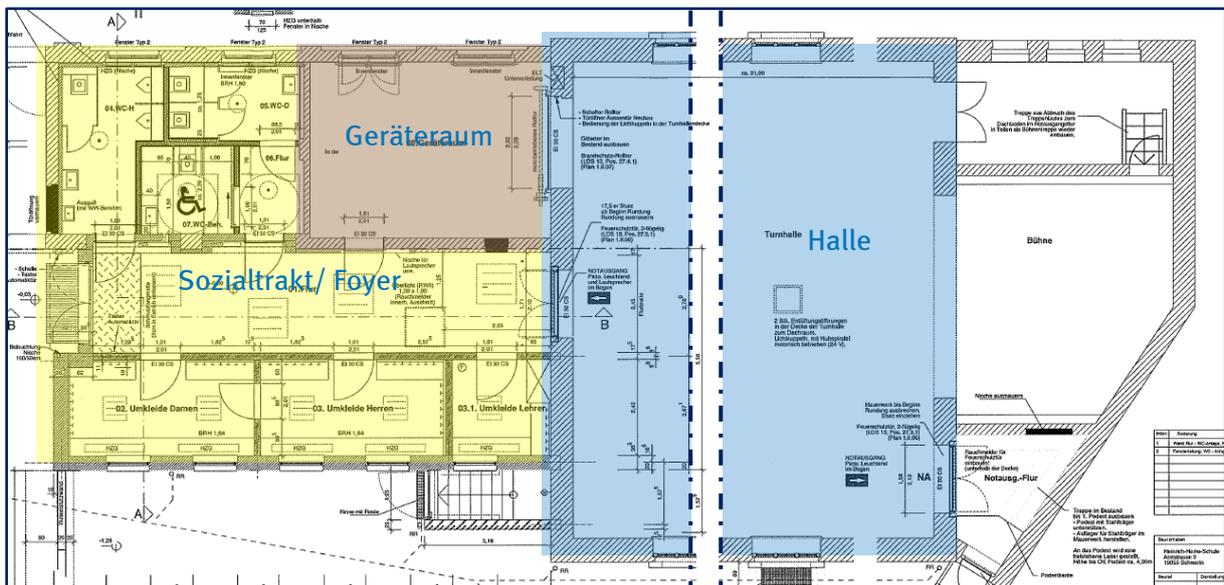


Abbildung 23: Grundriss TH 5 - (Quelle: ZGM)

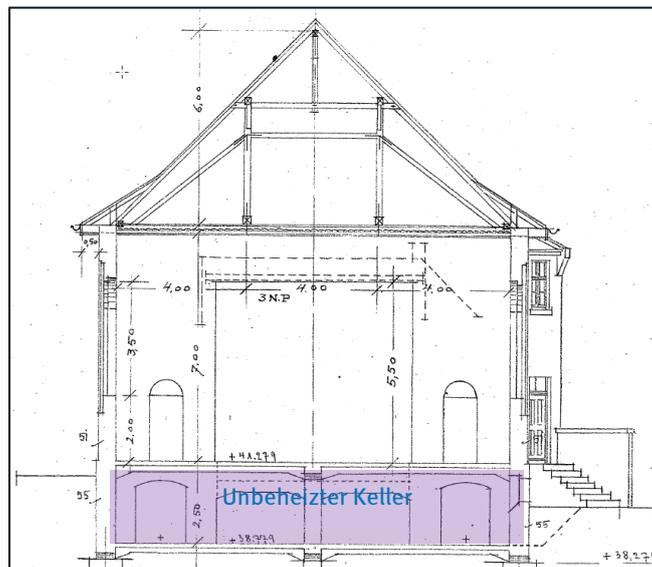


Abbildung 24: Schnitt durch TH 5 (Quelle: ZGM)

Ansichten:

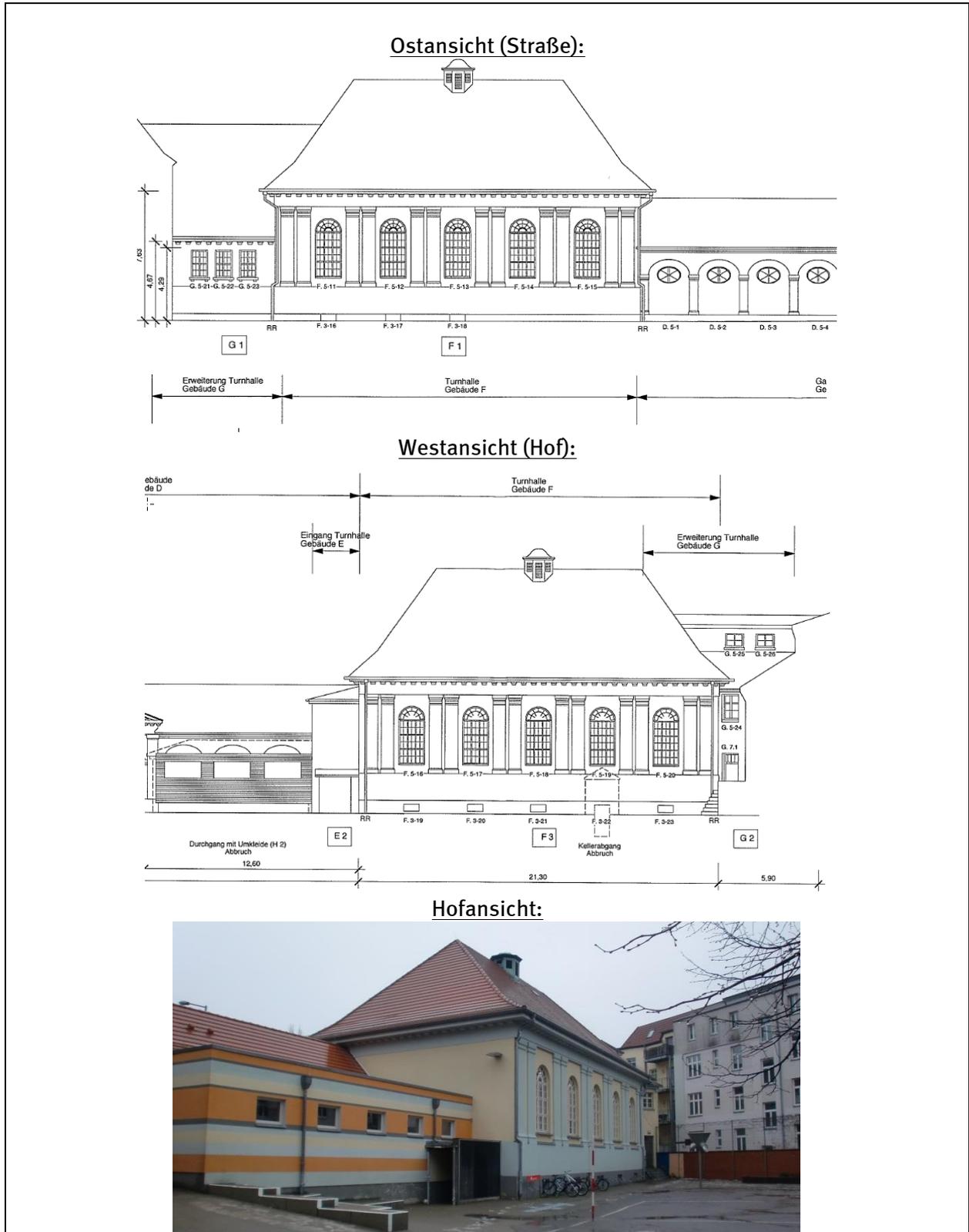


Abbildung 25: Ansichten TH 5 Heinrich-Heine-Schule (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 26: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	<u>Halle (Decke zu unbeheizten Dachraum):</u> Holzbalkendecke über der Halle von oben mit 20 cm Dämmung; $U \approx 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	- saniert - Dämmung sehr gut, somit ist Wärmeverlust gering - entspricht Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
	<u>Sozialbereich (Flachdach):</u> Vermutlich Betondecke mit Dämmung und Bitumenabdichtung außen $U \approx 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	- saniert - Dämmung sehr gut, somit ist Wärmeverlust gering - entspricht Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Außenwand	<u>Halle und Bühne:</u> Altes Mauerwerk verputzt, $d \approx 60 \text{ cm}$; $U \approx 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	- saniert - keine Dämmung - Wärmeverlust groß - nur innen Dämmung umsetzbar; Vorgabe EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ($\approx 12\text{-}14 \text{ cm}$ WäDä) in der Form aber nicht umsetzbar
Außenwand	<u>WC-Bereich Neu:</u> 36,5 cm Porenbeton (Annahme $\lambda = 0,10$); $U \approx 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$	- Neubau aus 36,5 cm Porenbeton - Wärmeverlust gering - Standard heute ca. 12- 14 cm - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wird erfüllt
	<u>WC-Bereich Alt</u> Ca. 40 cm Mauerwerk; $U \approx 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	- saniert - keine Dämmung – großer Wärmeverlust Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Fenster	<u>Halle:</u> Holzkastenfenster, Innen mit 2-Scheiben Isolierverglasung ($U_{\text{glas}} = 1,0$ – Angabe auf Fenster), $U_{\text{Fenster}} \approx 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	- saniert - vorh. U-Wert auch nach aktueller EnEV ausreichend (Vorgabe EnEV 2014 $U = 1,3$)
	<u>Sozialtrakt:</u> tlw. Holzkastenfenster, Innen mit 2-Scheiben Isolierverglasung ($U_{\text{glas}} = 1,0$ – Angabe auf Fenster), $U_{\text{Fenster}} \approx 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ tlw. im Neubaubereich 2-Scheiben Isolierverglasung ($U_{\text{glas}} = 1,0$ – Angabe auf Fenster), $U_{\text{Fenster}} \approx 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	

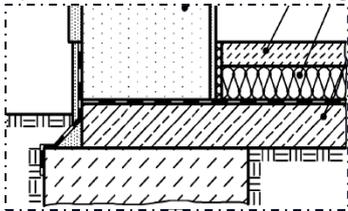
<p>Decke zu unbeheizten Keller (Halle)</p>	<p>Sportboden auf Stahlbetondecke (ohne Dämmung) U-Wert wird mit $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}^{(6)}$ abgeschätzt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - keine Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
<p>Bodenplatte Sozialtrakt (gegen Erdreich)</p>	<p>Fußbodenaufbau vermutlich in Anlehnung an EnEV/ DIN 4108 Bbl. 2 saniert; $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Neubau : Annahme U- Wert in Anlehnung an EnEV 2009 \approx EnEV 2014 vorhanden;

Tabelle 25: Turnhalle 5 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.4.1. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 27: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	<p>Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (alte Heizkörper) in Wandnischen</p> <p>Heizkessel ohne motorisch betriebene Abgasklappen</p> <p>Brenner ohne Modulation (reine Kaskade)</p> <p>Umwälzpumpen (Kesselspeisepumpen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Leistung, lange Aufheizzeiten, hohe Druckverluste - Auskühlung des Kessels bei Stillstand energetisch ungünstig - keine ausreichende Anpassung der Kesselleistung an den wirklichen Bedarf möglich - ineffizient
Warmwasser	Abluftwärmepumpe mit elektrischer Nachheizung	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - hygienisch einwandfreier Betrieb nur durch elektrische Nachheizung möglich
Lüftung	<p>Lüftungsanlage nicht vorhanden</p> <p>Abluftöffnungen im Deckenbereich in den unbeheizten und ungedämmten Dachboden</p> <p>Fensterlüftung äußerst unpraktikabel</p>	<ul style="list-style-type: none"> - schlechte Raumlufthqualität - hohe Wärmeverluste - Gefahr von Bauschäden durch Kondenswasser im Dachboden - Fenstergriffe nicht erreichbar
Beleuchtung	Beleuchtung über HQL Leuchten in Halle	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - keine Beleuchtungsregelung möglich
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 26: Turnhalle 5 - TGA und Bewertung

3.4.2. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 5 Heinrich-Heine-Schule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		2750				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		1069				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand Bestand	A_{Aw}	364	1,5	1	546	WK
Außenwand Neubau	A_{Aw} , Sozialneu	40	0,26	1	10,4	WK
Boden zu Keller	A_G	330	1,6	0,5	264	WK
Boden zu Erdreich	A_G	131	0,35	0,25	11,5	WK
Dach (Sozialteil)	A_D	131	0,2	1	26,2	WK
Decke zu Dachraum	A_D	330	0,2	0,8	52,8	WK
Fenster	A_F	77	1	1	77	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	1403		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	987,8625	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		140,3	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		1128,1625	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		74458,725	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	522,5	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		34485	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,51018	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost			$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Südost bis Südwest			$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Ost und West	77	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	3384	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	3384	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	23518	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	25556	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	83387	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,78	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	106907	kWh/a
	pro m^2 NGF					100,0

Tabelle 27: Bedarfsberechnung TH 5 (eigene Berechnung)

Aus der zuvor dargestellten Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 107.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1069 m² ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 100 kWh/m²a. Der im Baustein 1/Tabelle 5 dargestellte Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 86.000 kWh (80 kWh/m²a). Dieser Verbrauchswert ist somit um ca. 20 % niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf. Allerdings verfügt die Halle 5 über keinen eigenen Wärmemengenzähler.

Wie in Baustein 1/Tabelle 5 dargestellt, wird der Verbrauch der Turnhalle 5 aus dem Gesamtwärmeverbrauch der Schule und der Turnhalle ermittelt. Diese Berechnung erfolgt anhand der Grundflächen der beiden Gebäude. Der tatsächliche Energieverbrauch kann somit auch deutlich von dem angegebenen Verbrauch abweichen. Ein Vergleich mit dem zuvor ermittelten Wärmebedarf ist somit nicht zielführend.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

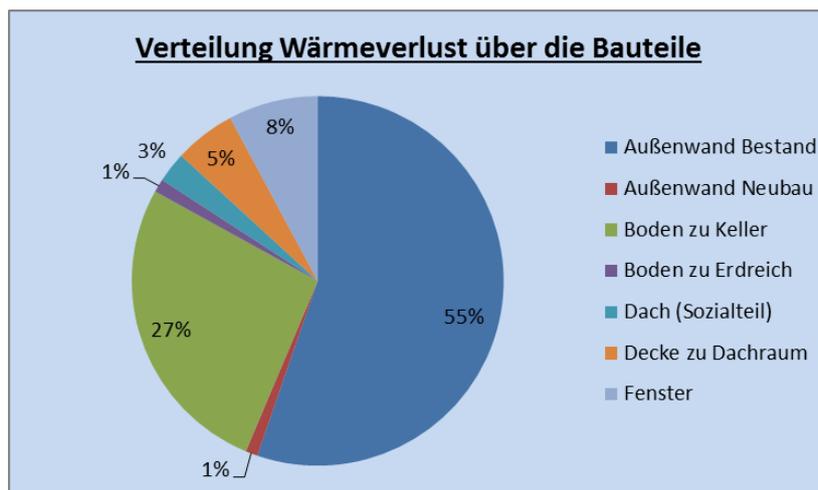


Abbildung 28: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die großen Wärmeverluste über die ungedämmten Außenwände und die Decke zum unbeheizten Keller erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.4.3. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Innendämmung der Außenwand ca. 6 cm Dämmung (WLG 032) U \approx 0,50 W/m ² K, Dämmung auf EnEV-Standardniveau aus Bauphysikalische Sicht nicht ratsam	55.000 €	ca. 29	ca. 5.600	ca. 1.500€
2 Kellerdeckendämmung: ca. 10 cm Dämmung von unten an die Stahlbetondecke anbringen U \approx 035 w/m ² k	20.000 €	17	ca. 2.400	Ca. 850 €
4 Fernwärmeanschluß	100.000 €	10	1.800	520 €
5 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	3.200	1.040 €
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 28: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 5 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich
- Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und gedämmter Abluftführung

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf Fernwärmeversorgung über den Energieversorger

3.5. Turnhalle 6 Berufliche Schule für Gesundheit und Soziales

Kurzübersicht der Turnhalle BS GS-G

Adresse:

19055 Schwerin
 Dr. Hans-Wolf-Straße 9
 Ansprechpartner: Herr Framke

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1964
Nettogrundfläche	731 m ²
Typenbezeichnung	-



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	11.751
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	132.890
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung Fenster in Nordseite der Halle und Nebenräume
- 1/4 der Decke über Halle gedämmt

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen:

- Außenwände und Bodenplatte der Halle nicht gedämmt
- Glasbausteine in der Südseite
- 3/4 der Decke über Halle nicht gedämmt

Sonstige Merkmale:

- fossiler Energieträger Erdgas

3.5.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Die Turnhalle 6 der Berufsschule für Gesundheit und Soziales ist im Jahr 1964 errichtet worden. Es handelt sich dabei um einen Anbau an das Schulgebäude. Das Bauwerk wurde als massiver Mauerwerksbau errichtet. Nachfolgend werden Schemagrundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:



Abbildung 29: Schemagrundrisse der Turnhalle 6 (Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 30: Ansichten TH 6 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 31: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Decke zu unbeheizten Dachraum (Über Halle und Nebenräume)	<p>Vermutlich Holzbalkendecke; bei ca. 3/4 der Fläche keine Dämmung vorhanden (laut Hausmeister) $U \approx 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾</p> <p>Dämmung bei ca. 1/4 der Fläche vorhanden ca. $U \approx 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Annahme)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert, 1/4 der Fläche gedämmt - restl. Bereiche ohne Dämmung, somit ist Wärmeverlust groß - Dämmung Standard heute ca. 18 cm mit WLG 035 - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Außenwand	Altes Mauerwerk verputzt, $d \approx 30 \text{ cm}$ (im Mittel); $U \approx 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - keine Dämmung - Wärmeverlust sehr groß - -Außendämmung umsetzbar; Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ($\approx 12\text{-}14 \text{ cm WäDä}$)
Fenster	<p><u>Nordseite Halle, Nebenräume, und Sozialbereich:</u> Kunststofffenster, 2-Scheibenverglasung, $U \approx 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (älter 10 Jahre)</p> <p><u>Südseite der Halle:</u> Glasbausteine, $U_{\text{Fenster}} \approx 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - tlw. Saniert, Glasbausteine alt - aktuelle Vorgabe nach EnEV 2014 $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Wärmeverlust über die Glasbausteine sehr groß
Bodenplatte	Sportboden auf Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾ abgeschätzt	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - keine Dämmung vorhanden, Wärmeverlust sehr groß - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Tabelle 29: Turnhalle 6 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.5.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 32: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	<p>Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (Gebläsekonvektoren) in Wandnischen</p> <p>Heizkessel ohne motorisch betriebene Abgasklappen</p> <p>Brenner ohne Modulation (reine Kaskade)</p> <p>Umwälzpumpen (Kesselspeisepumpen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Leistung, lange Aufheizzeiten, hohe Druckverluste - Auskühlung des Kessels bei Stillstand energetisch ungünstig - keine ausreichende Anpassung der Kesselleistung an den wirklichen Bedarf möglich - ineffizient
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage Um- und Außenluftgeführt</p> <p>Dimensionierung der Lüftungsanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - sanierter Zustand - gute Regelbarkeit - Ventilatormotoren nicht drehzahl geregelt (keine FU) - zu klein für Hallenvolumen - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich - Zähler teilweise nicht fernauslesbar

Tabelle 30: Turnhalle 6 - TGA und Bewertung

3.5.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 6 Berufliche Schule für Gesundheit und Soziales						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		2100				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		731				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	418	1,8	1	752,4	WK
Boden	A_G	350	1,2	0,4	168	WK
Decke ungedämmt	A_D	263	0,7	0,8	147	WK
Decke gedämmt	A_D	88	0,3	0,8	21	WK
Fenster KS	A_F	34	1,6	1	54,4	WK
Glasbausteine	A_F	31	3,5	1	108,5	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	1183		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1251,3	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		118,3	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F) + A \cdot 0,10$		1369,6	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		90393,6	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	399	WK
	(Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		26334	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,56333	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	14	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	397	kWh/a
	Südost bis Südwest	31	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	2373	kWh/a
	Ost und West	20	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	879	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	3649	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	16082	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	18744	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	97983	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,78	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	125620	kWh/a
	pro m^2 NGF				171,8	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 31: Bedarfsberechnung TH 6 (eigene Berechnung)

Aus der zuvor dargestellten Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 126.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 731 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 172 kWh/ m^2 a. Der im Baustein 1/Tabelle 5 dargestellte Energieverbrauch

lag im Jahr 2014 bei ca. 133.000 kWh (181 kWh/m²a). Dieser Verbrauchswert ist somit nahe identisch mit dem vereinfacht ermittelten Energiebedarf. Allerdings verfügt die Halle 6 über keinen eigenen Wärmemengenzähler.

Wie in Baustein 1/Tabelle 5 dargestellt, wird der Verbrauch der Turnhalle 6 aus dem Gesamtwärmeverbrauch der Schule und der Turnhalle ermittelt. Diese Berechnung erfolgt anhand der Grundflächen der beiden Gebäude. Der tatsächliche Energieverbrauch kann somit auch deutlich von dem angegebenen Verbrauch abweichen. Ein Vergleich mit dem zuvor ermittelten Wärmebedarf ist somit nicht zielführend.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

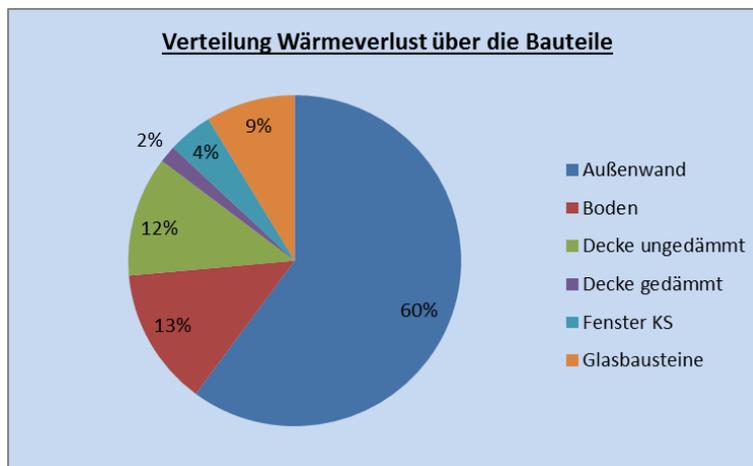


Abbildung 33: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die ungedämmten Außenwände und den Boden erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.5.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwand 14 cm WäDä ($U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$)	60.000 €	ca. 42	ca. 12.000	ca. 3.350€
2 Dämmung der obersten Geschossdecke. 18 – 20 cm ($U \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$)	20.000€	ca. 9	ca. 2.600	700 €
3 Austausch neuer Fußboden mit Dämmung ($U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$)	45.000 €	ca. 9	ca. 2.600	700 €
4 Austausch Glasbausteine durch 2-Scheiben Isolierverglasung ($U \leq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$)	13.000 €	ca. 5	ca. 1400	400 €
5 Ertüchtigung HL-Anlage	20.000 €	10	2.700	790 €
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 32: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 6 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf Fernwärmeversorgung über den Energieversorger

3.6. Turnhalle 8 Friedensschule

Kurzübersicht der Turnhalle Friedensschule (Denkmal)

Adresse:

19053 Schwerin
Friedenstraße 14
Ansprechpartner: Herr. Ausburg



Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1887
Nettogrundfläche	322 m ²
Typenbezeichnung	

Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	11.751
Wärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	88.271 (Erdgas)
Warmwasser (WW)	7.376

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Bisherige energetische Sanierungen:

- Dach, Boden, Fenster und teilweise Außenwände saniert (2001), teilweise erfüllen die Bauteile sie sogar den heutigen EnEV Standard

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Wände unterhalb der Fenster nicht gedämmt

Sonstige Merkmale:

- fossiler Energieträger Erdgas
- Lüftungsanlage nicht vorhanden

3.6.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Die Turnhalle (Nr. 8) der Friedensschule ist ein unter Denkmalschutz stehendes Gebäude und wurde im Jahr 1887 erbaut. Das Gebäude wurde im Jahr 2000 umfassend saniert. Der Sozialtrakt wurde dabei als unterirdisches Bauwerk neu errichtet. Dieses dient zudem als Verbindungsgang zwischen der Grundschule und der Turnhalle. Der Sozialbereich wird von der Schule und von der Turnhalle aus genutzt. Alle Sanierungsmaßnahmen müssen in enger Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde erfolgen.

Zudem ist die Energieeinsparverordnung nur begrenzt für denkmalgeschützte Bauwerke anzuwenden. Im § 24 Abs. 1 der EnEV 2014 heißt es folgendermaßen: „Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.“

Nachfolgend werden die Schnitte der Turnhalle und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss und Querschnitte:

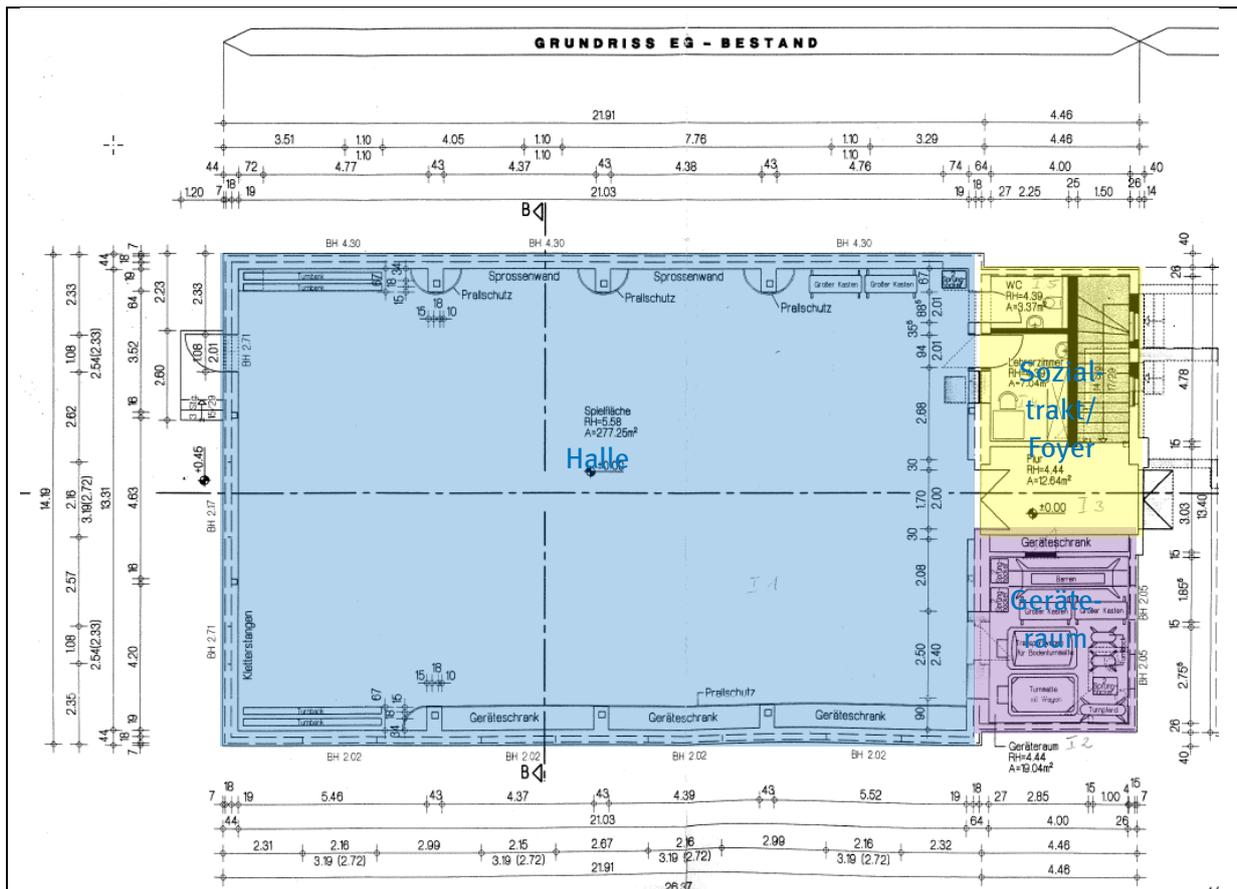
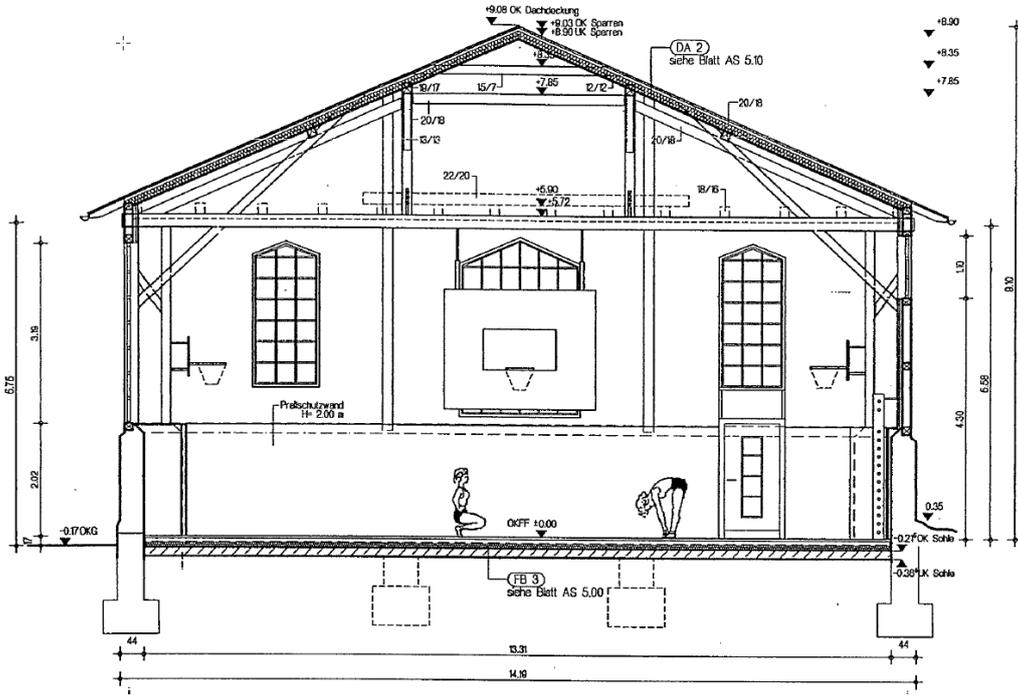


Abbildung 34: Grundriss TH Friedensschule (Quelle ZGM)

Querschnitt Halle:



Längsschnitt Halle:

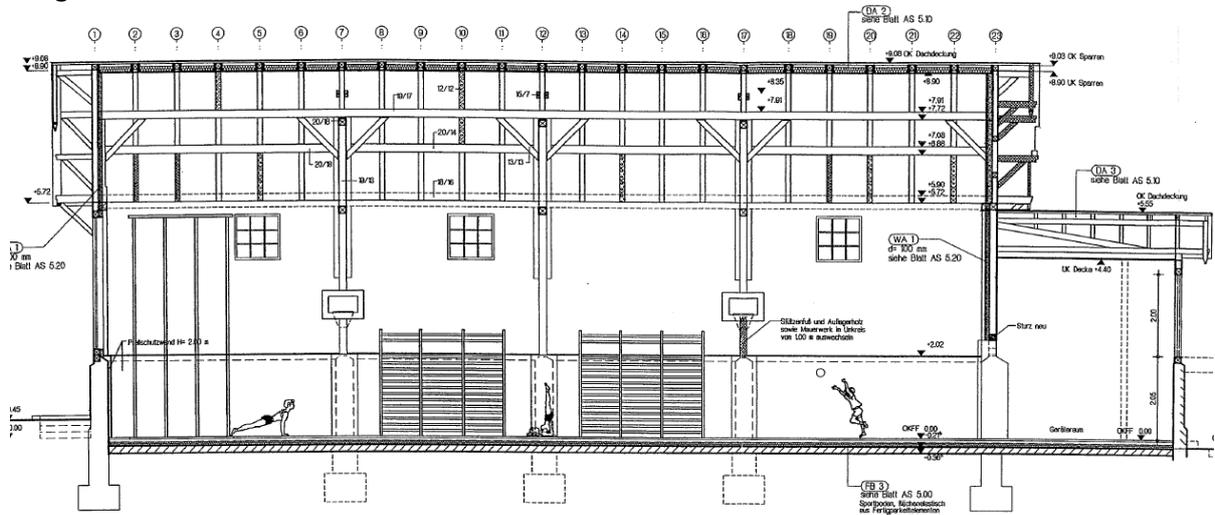


Abbildung 35: Querschnitte der Turnhalle 8 (Quelle: ZGM)

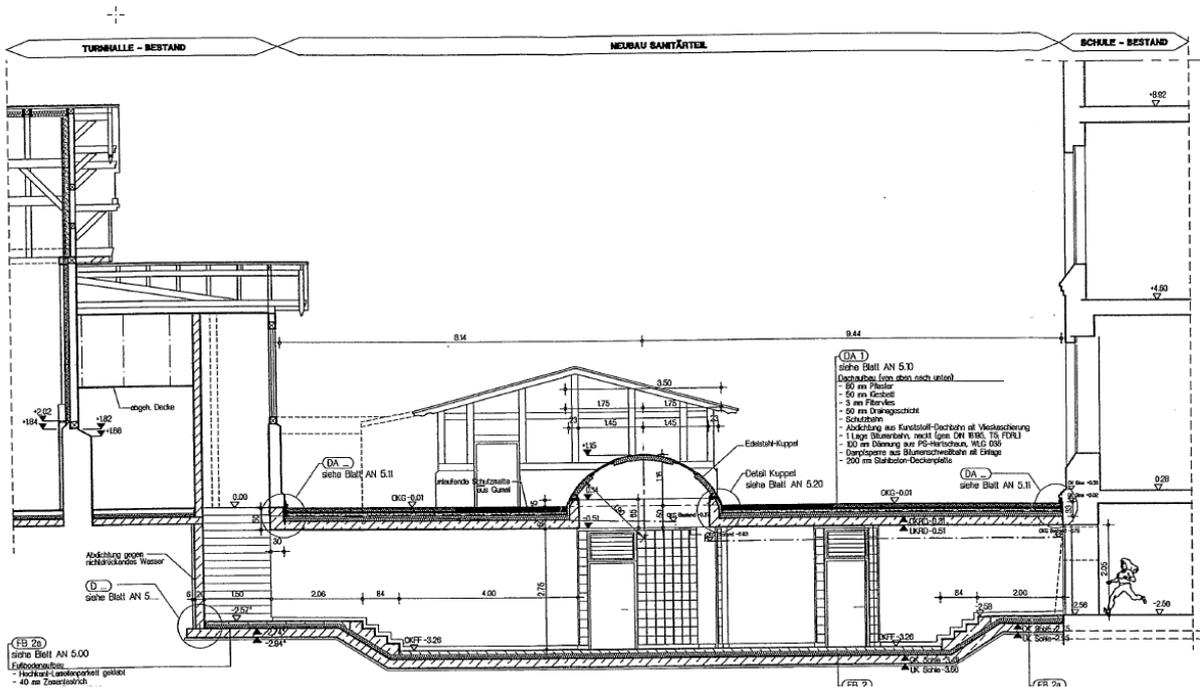


Abbildung 36: Querschnitte der Sozialtrakt der Turnhalle 8 Friedensschule (Quelle ZGM)

Ansichten:



Abbildung 37: Ansichten TH 8 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 38: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

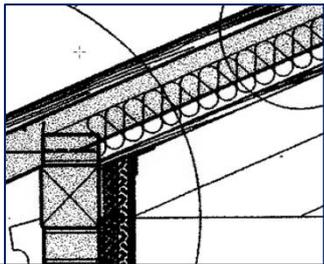
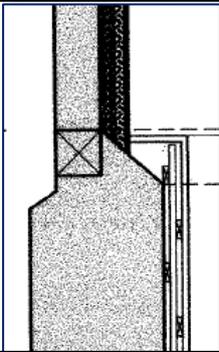
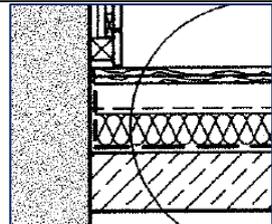
Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	 <p>Holzbalkendach; Dämmung ca. 20 cm ca. $U \approx 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - saniert; sehr gute Dämmung, somit ist Wärmeverlust gering - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wird erfüllt
Außenwand	 <p>Klinkermauerwerk, oberhalb Fachwerk mit innenliegender Dämmung (ca. 5 cm) $U_{\text{oben}} = 0,7$; Unten Mauerwerk $d \approx 42 \text{ cm}$; $U_{\text{unten}} \approx U \approx 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$⁽⁶⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch tlw. saniert - Wärmeverlust in gedämmten Bereichen gering - weitere Dämmung umsetzbar aber aufwendig; Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ($\approx 12\text{-}14 \text{ cm Wädä}$)
Fenster	<p>2013 Einbau neuer Fenster mit 2-Scheibenisolierverglasung (Metall) $U \approx 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Annahme)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - gute Verglasungen - aktueller Richtwert nach EnEV 2014 $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (auch Vorgabe der EnEV 2009) - Wärmeverlust über Fenster gering
Bodenplatte	 <p>Sportboden auf Bodenplatte (ca. 10 cm Dämmung) $U\text{-Wert} \approx 0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch saniert - Dämmung vorh.; Wärmeverlust gering - entspricht nahezu Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Tabelle 33: Turnhalle 8 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.6.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung

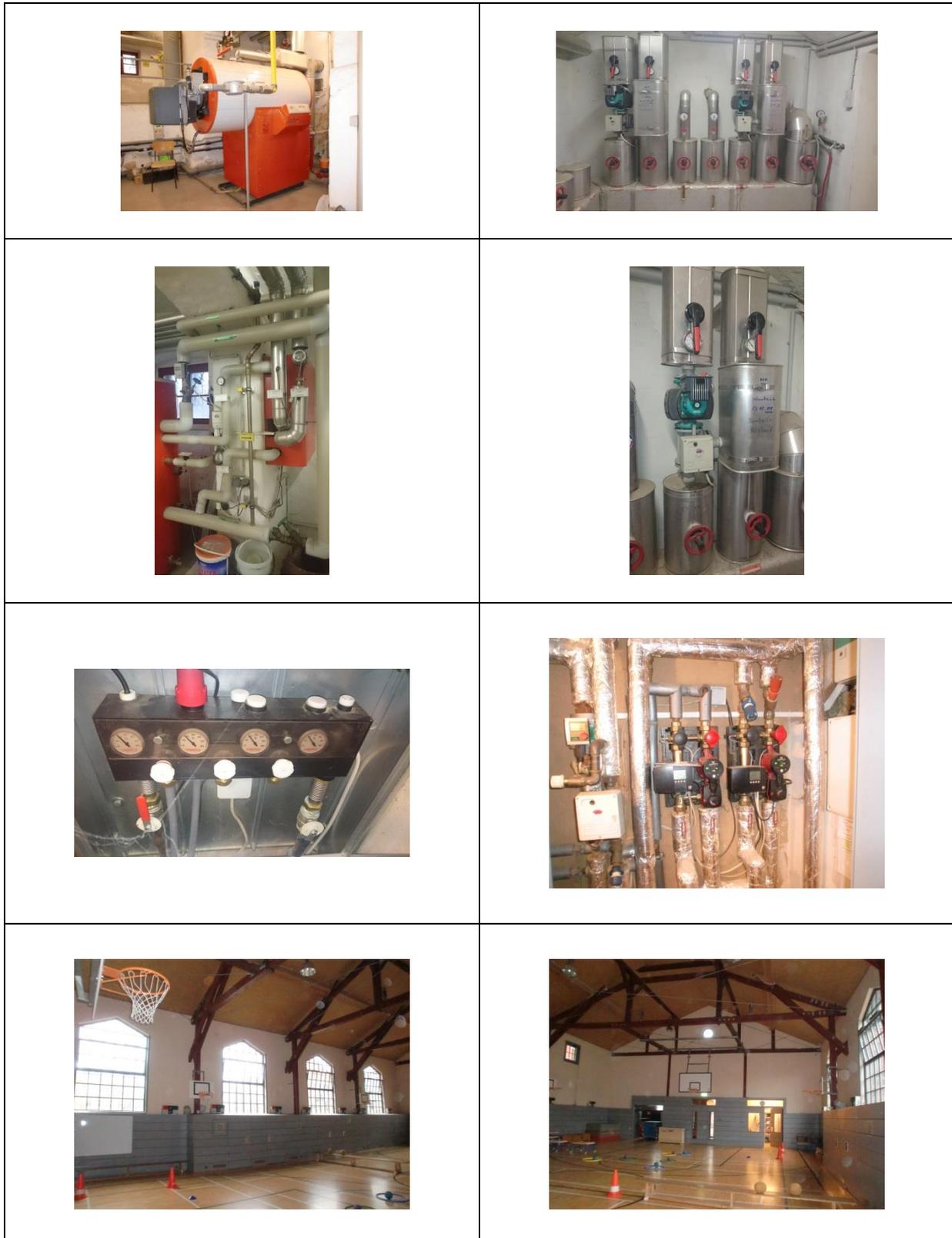


Abbildung 39: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (Gebläsekonvektoren) in Wandnischen und Fußbodenheizung	- Geringe Leistung, lange Aufheizzeiten, hohe Druckverluste
	Heizkessel ohne motorisch betriebene Abgasklappen	- Auskühlung des Kessels bei Stillstand energetisch ungünstig
	Brenner ohne Modulation	- Keine ausreichende Anpassung der Kesselleistung an den wirklichen Bedarf möglich
	Umwälzpumpen (Kesselspeisepumpen)	- ineffizient
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	- hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	Lüftungsanlage nicht vorhanden	- schlechte Raumlufqualität - hohe Wärmeverluste
	Fensterlüftung äußerst unpraktikabel	- Fenstergriffe nicht erreichbar
Beleuchtung	Beleuchtung über HQL Leuchten in Halle	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - keine Beleuchtungsregelung möglich
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	- keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 34: Turnhalle 8 - TGA und Bewertung

3.6.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 8 Friedensschule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		2300				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF$ =:		322				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand unten	A_{Aw}	160	1,8	1	288	WK
Außenwand oben	A_{Aw}	310	0,7	1	217	WK
Boden	A_G	310	0,37	0,5	57,35	WK
Dach	A_D	337	0,2	1	67,4	WK
Fenster	A_F	40	1,3	1	52	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	1157		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	681,75	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		115,7	WK
Transmissions- wärmeverlust	H T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F) + A \cdot 0,10$		797,45	WK
	Q T - absolut		$66 \cdot H_T$		52631,7	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H v - spezifisch		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	437	WK
	(Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q v - absolut		$66 \cdot H_v$		28842	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,50304	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	3	0,6	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	102	kWh/a
	Südost bis Südwest	23	0,6	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	2113	kWh/a
	Ost und West	12	0,6	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	633	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	2847	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	7084	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	9435	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	72039	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,78	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	92357	kWh/a
	pro m^2 NGF				286,8	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 35: Bedarfsberechnung TH 8 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 92.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 322 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 286 kWh/ m^2 a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 88.000 kWh (275

kWh/m²a). Der Verbrauch entspricht somit fast dem vereinfacht ermittelten Energiebedarf. Bei einer weiteren Gesamtoptimierung des Gebäudes muss eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

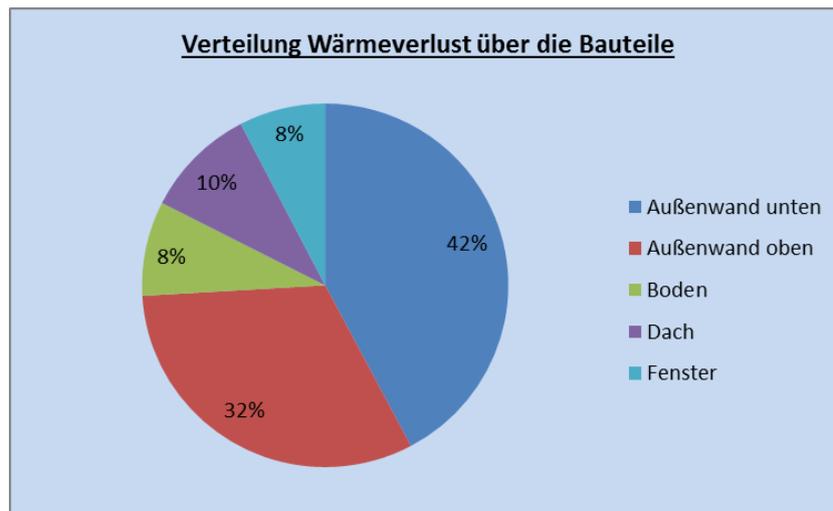


Abbildung 40: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die ungedämmten Außenwände (74%) erfolgen. Die Transmissionswärmeverluste über die restlichen Bauteile sind im Verhältnis zur Außenwand sehr gering. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesem Bauteil die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.6.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwände mit Innendämmung im unteren Bereich (Bauphysikalisch prüfen lassen) aber nur so gut wie oberer Wandbereich (U= 0,7 W/m ² K); (ggf. auch gesamte Außenwände verbessern)	23.000 €	ca. 17	ca. 3.000	ca. 850€
2 Ertüchtigung HL-Anlage	10.000 €	10	1.700	590 €
3 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%
4 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	3.400	1.180 €

Tabelle 36: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 8 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf Fernwärmeversorgung über den Energieversorger

3.7. Turnhalle 9 Erich-Weinert-Schule (Denkmal)

Kurzübersicht der Turnhalle Erich-Weinert-Schule (Denkmal)

Adresse:

19053 Schwerin
Rudolf-Breitscheid-Straße 23
Ansprechpartner: Hr. Möller

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1912
Nettogrundfläche	907 m ²
Typenbezeichnung	-



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	8.408
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	129.493
Warmwasser (WW)	-

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Decke	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Bisherige energetische Sanierungen:

- Neue Fenster 2013

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Außenwände, Decke zu unbeheizten Dachraum und Bodenplatte der Halle nicht gedämmt

Sonstige Merkmale:

- gemeinsame Heizungsanlage (Fernwärmestation) mit der Schule
- - Lüftungsanlage nicht vorhanden

3.7.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Die der Turnhalle (Nr. 9) der Erich-Weinert-Schule ist ein unter Denkmalschutz stehendes Gebäude und wurde im Jahr 1912 erbaut. Das Gebäude wurde in den Jahren 2009 -2014 umfassend saniert. Das Bauwerk ist über einen Verbindungsgang mit der Schule verbunden. Der Sozialtrakt befindet sich seitlich im Obergeschoss der Halle. Alle Sanierungsmaßnahmen müssen in enger Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde erfolgen.

Zudem ist die Energieeinsparverordnung nur begrenzt für denkmalgeschützte Bauwerke anzuwenden. Im §24 Abs. 1 der EnEV 2014 heißt es folgendermaßen: „Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.“

Nachfolgend werden die Schnitte der Turnhalle und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss und Querschnitte:

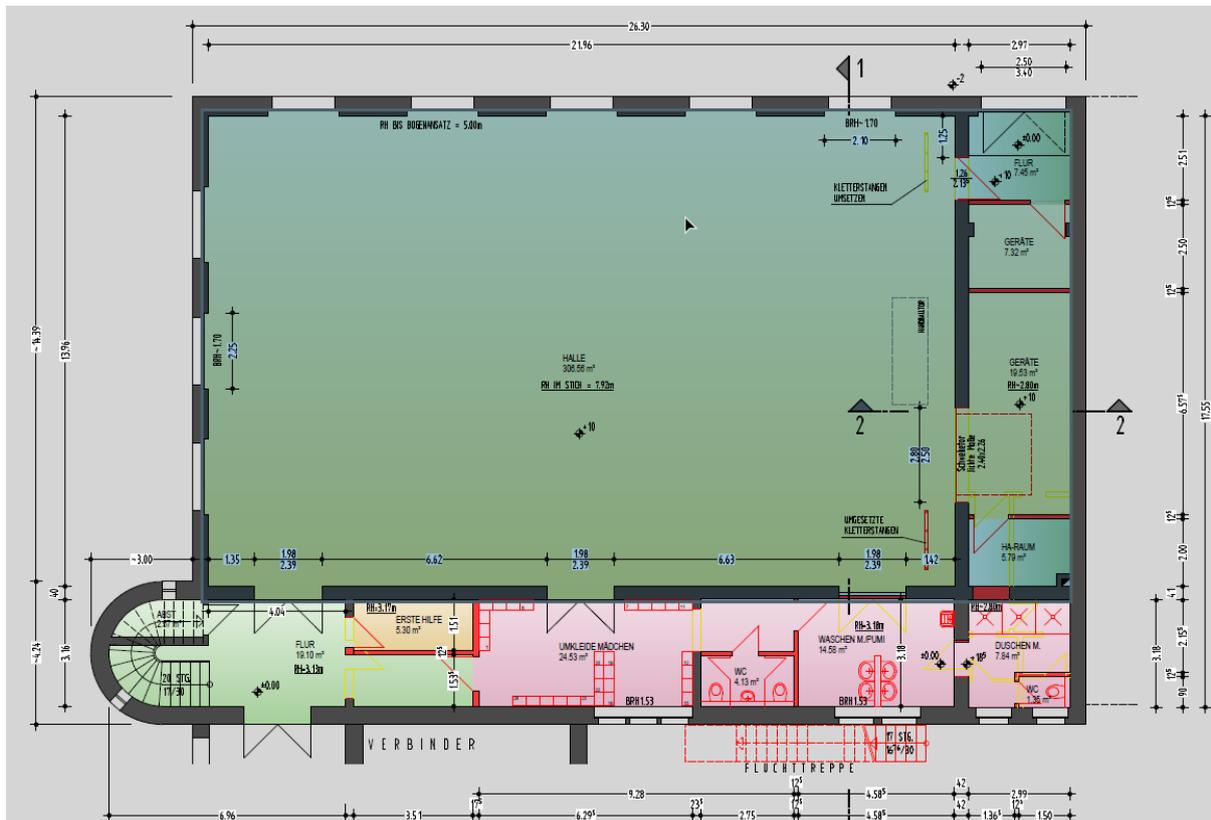


Abbildung 41: Grundriss Erdgeschoss TH 9 Erich-Weinert-Schule (Quelle ZGM)

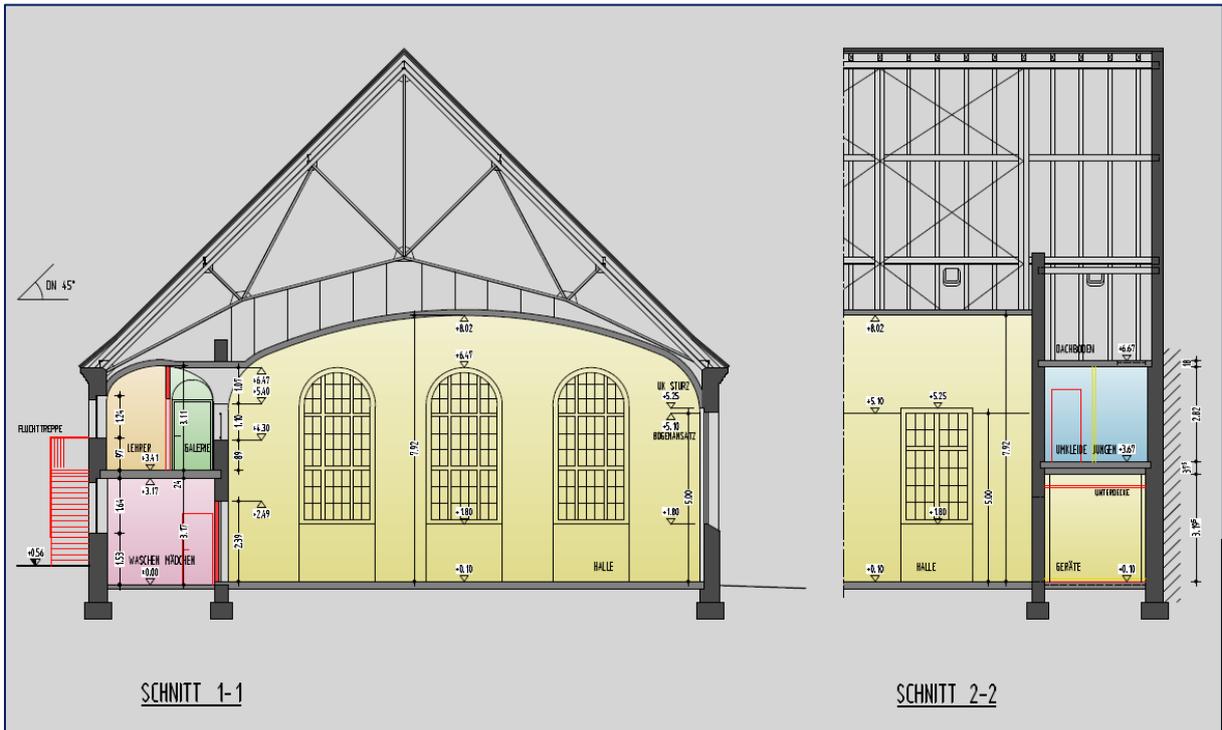


Abbildung 42: Querschnitte der Turnhalle (Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 43: Ansichten TH 9 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

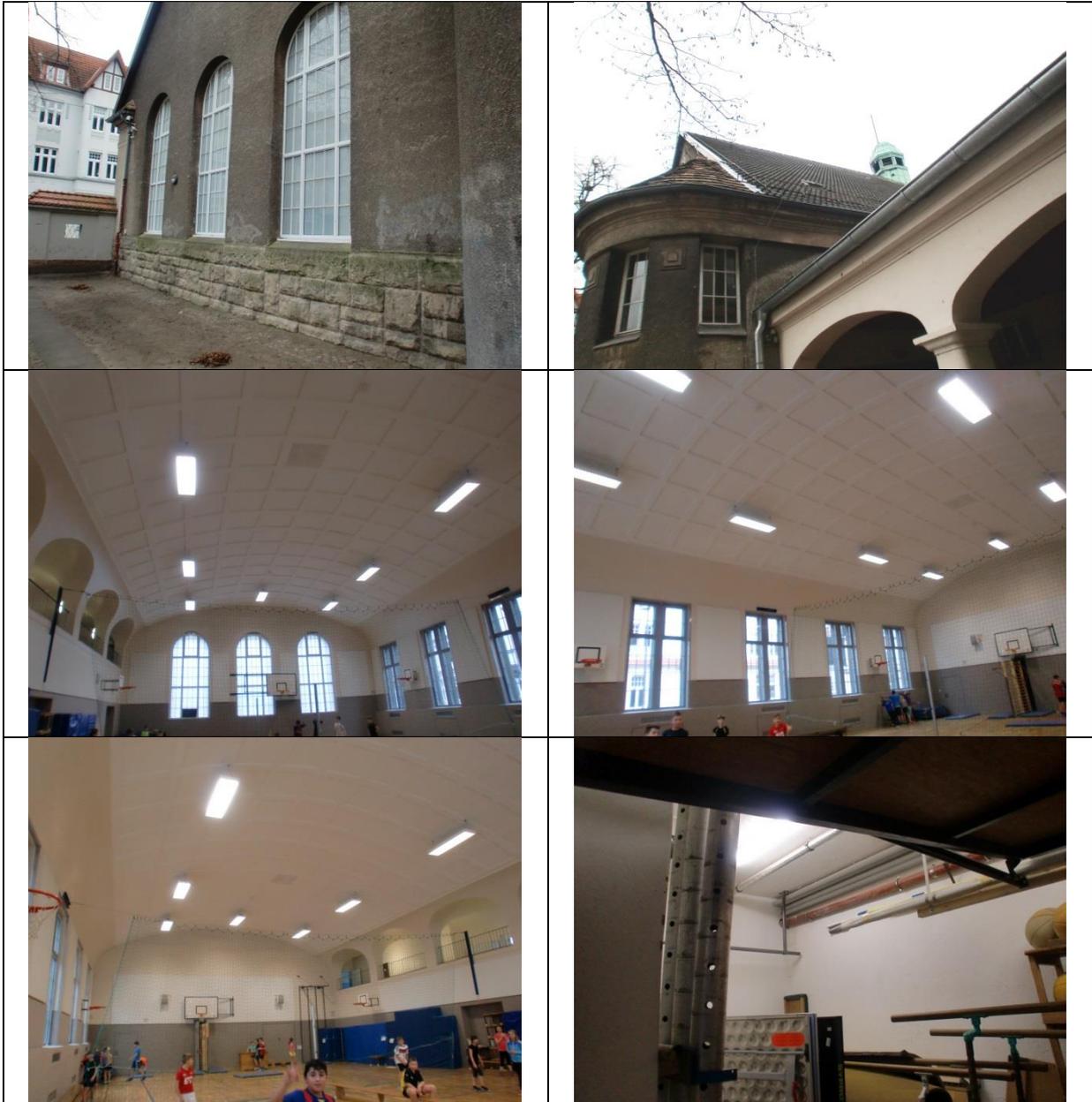


Abbildung 44: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, werden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Decke zu unbeheizten Dachraum	alte abgehängte bogenförmige Deckenkonstruktion; Betonkonstruktion ohne Dämmung ca. $U \approx 2,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	- saniert; keine Dämmung, somit ist Wärmeverlust sehr groß - Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wird erfüllt
Außenwand	Massive Mauerwerkswände ohne Dämmung; innen und Außen verputzt $d \approx 50 \text{ cm}$; $U \approx 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	- saniert - keine Dämmung - Wärmeverlust groß - nur innen Dämmung umsetzbar; Richtwert der EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ($\approx 12\text{-}14 \text{ cm WäDä}$) in der Form aber schwierig umsetzbar
Fenster	2013 Einbau neuer Fenster mit 2-Scheibenisolierverglasung (Aluminium) $U \approx 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Annahme)	- gute Verglasungen - aktueller Richtwert nach EnEV 2014 $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (auch Richtwert der EnEV 2009) Wärmeverlust über Fenster gering
Bodenplatte	Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/ wenig Dämmung) U-Wert wird mit $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- saniert - Kein Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 $U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Tabelle 37: Turnhalle 9 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.7.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 45: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	<p>Fernwärme mit indirekter Wärmeübergabe in Wärmetauscher und Heizkreis für Turnhallenheizung und Warmwasserbereitung</p> <p>Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (Gebläsekonvektoren) in Wandnischen und Fußbodenheizung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Leistung, lange Aufheizzeiten, hohe Druckverluste
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage nicht vorhanden</p> <p>Fensterlüftung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - schlechte Raumlufqualität - hohe Wärmeverluste - keine Wärmerückgewinnung - Volumenstrom unregelt
Beleuchtung	Beleuchtung mit LED Leuchtmitteln	- Überprüfung der erforderlichen Beleuchtungsstärken nötig
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 38: Turnhalle 9 - TGA und Bewertung

3.7.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 9 Erich-Weinert-Schule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		3400				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF$ =:		907				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	496	1,5	1	744	WK
Boden	A_G	489	1,6	0,25	195,6	WK
Decke zu Dachraum	A_D	500	2,1	0,8	840	WK
Fenster	A_F	88	1,3	1	114,4	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	1573		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1894	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		157,3	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F) + A \cdot 0,10$		2051,3	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		135385,8	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	646	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		42636	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,46265	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	28	0,6	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	953	kWh/a
	Südost bis Südwest	23	0,6	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	2113	kWh/a
	Ost und West	45	0,6	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	2373	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	5438	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	19954	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	24122	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	153899	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,76	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	202499	kWh/a
	pro m^2 NGF				223,3	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 39: Bedarfsberechnung TH 9 (eigene Berechnung)

Aus der zuvor dargestellten Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 200.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 907 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 223 kWh/ m^2 a. Der im Baustein 1/Tabelle 5 dargestellte Energieverbrauch

lag im Jahr 2014 bei ca. 129.000 kWh (142 kWh/m²a). Dieser Verbrauchswert ist somit um ca. 35% niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf. Allerdings verfügt die Halle 9 über keinen eigenen Wärmemengenzähler.

Wie in Baustein 1/Tabelle 5 dargestellt, wird der Verbrauch der Turnhalle 9 aus dem Gesamtwärmeverbrauch der Schule und Turnhalle abgeleitet. Diese Berechnung erfolgt anhand der Grundflächen der beiden Gebäude. Der tatsächliche Energieverbrauch kann somit auch deutlich von dem angegebenen Verbrauch abweichen. Ein Vergleich mit dem zuvor ermittelten Wärmebedarf ist somit nicht zielführend.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

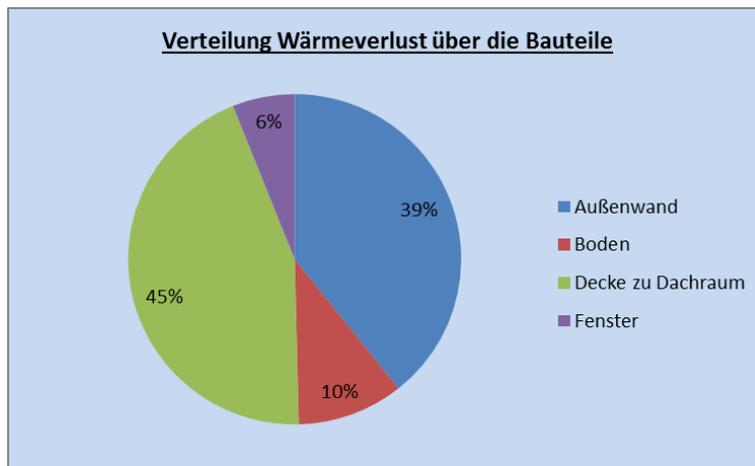


Abbildung 46: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die ungedämmten Außenwände und die Decke über der Sporthalle erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.7.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Innendämmung der Außenwand ca. 6 cm Dämmung (WLG 032) U \approx 0,50 W/m ² K, Dämmung auf EnEV-Standardniveau aus bauphysikalischer Sicht möglicherweise nicht ratsam	70.000 €	ca. 20	ca. 4.900	ca. 2.300€
2 Dämmung der obersten Geschossdecke. 18 – 20 cm	80.000€	ca. 23	ca. 5.700	2.700 €
3 Austausch neuer Fußboden mit Dämmung U = 0,35	70.000 €	ca. 5	ca. 1.200	600 €
4 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	4.800	3.200 €

Tabelle 40: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 9 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser Nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Nachrüstung eigener Wärmemengenzähler

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)
- Einbau Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)

3.8. Turnhalle 12 John-Brinkmann-Schule

Kurzübersicht der Turnhalle John-Brinkman-Schule

Adresse:

19059 Schwerin
Willi-Bredel-Straße 19
Ansprechpartner: Hr. Vorrath

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1969
Nettogrundfläche	799 m ²
Typenbezeichnung	KT 60 L



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	14.864
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	91.332
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- umfassend energetische Sanierung der Gebäudehülle 2013

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Bodenplatte nördlicher Anbau (Sozialtrakt) unsaniert

Sonstige Merkmale:

- direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung
- keine separaten Zähler für Energiebilanzkreise Strom und Wärme

3.8.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 12 der John-Brinkmann-Schule handelt es sich um den Typenbau KT 60 L aus dem Jahr 1969. Bei diesem Bauwerk sind die bogenförmige Dachform (Tonnendach) und die seitlichen Anbauten für den Sozial- und Technikbereich charakteristisch. Im Jahr 2013 erfolgte eine umfassende energetische Sanierung. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

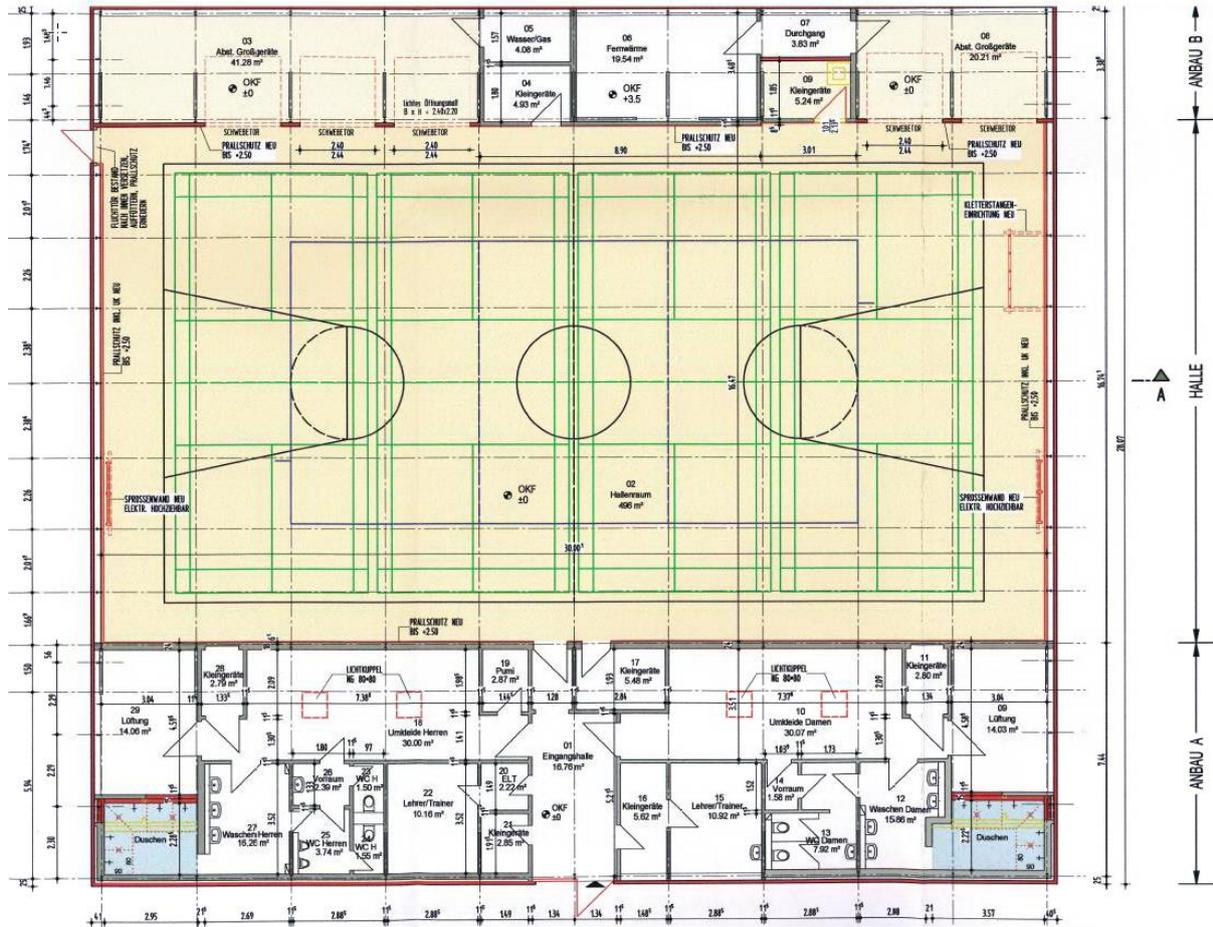


Abbildung 47: Grundriss TH 12 - Typ KT 60L (Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 49: Ansichten TH 3 Sprachheilschule (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

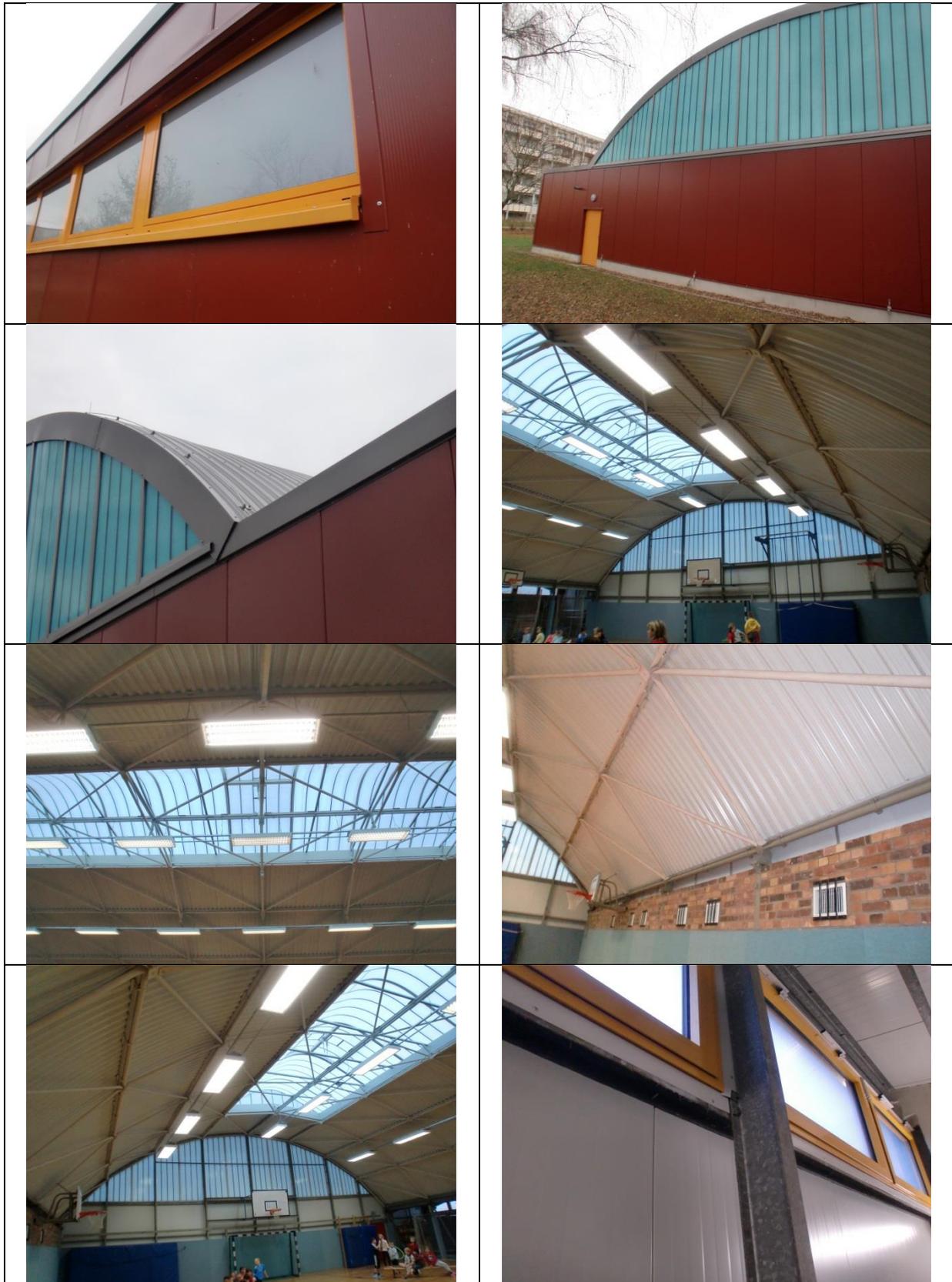
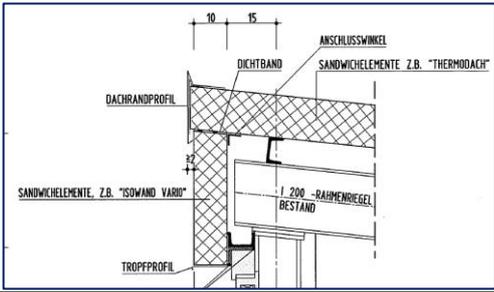
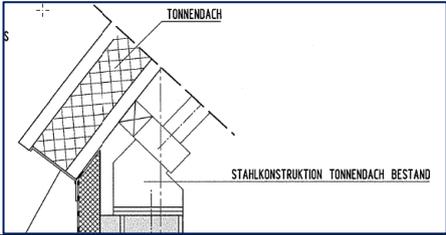
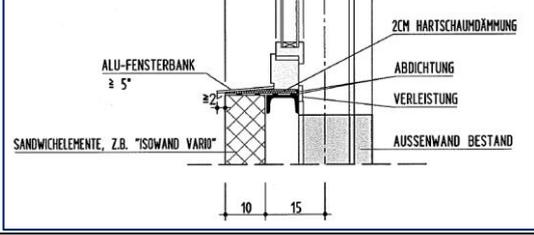


Abbildung 50: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	<p><u>Seitliche Anbauten:</u> Sandwichelemente „TERMODACH“ – ca. 12 cm Dämmung laut Datenblatt $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - saniert - Dämmung sehr gut, geringer Wärmeverlust - Richtwert EnEV 2014 mit $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eingehalten
	<p><u>Hallenbereich:</u> Sandwichelemente vermutlich auch „TERMODACH“ – ca. 12 cm Dämmung laut Datenblatt $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - saniert - Dämmung sehr gut, geringer Wärmeverlust - Richtwert EnEV 2014 mit $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eingehalten
Außenwand	<p>Sandwichelemente „ISOWAND VARIO“ – ca. 12 cm Dämmung laut Datenblatt $U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - saniert - Dämmung sehr gut, geringer Wärmeverlust - Richtwert EnEV 2014 mit $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eingehalten
Fenster	<p><u>Giebelwände Halle</u> Polycarbonat – Lichtfassade nach EnEV; Annahme $U \approx 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$,</p>	<ul style="list-style-type: none"> - saniert - Richtwert EnEV 2014 mit $U = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eingehalten
	<p><u>Dach/ Lichtkuppel Halle</u> Polycarbonat – Lichtfassade nach EnEV; Annahme $U \approx 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	
	<p><u>Seitliche Anbauten:</u> Neue Aluminiumfenster mit 2 Scheibenisolverglasung; U-Wert = $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	

Bodenplatte	<p><u>Halle:</u> Sportboden mit Fussbodenheizung auf Dämmung nach EnEV auf Betonsohle; U-Wert nach EnEV; Annahme $U \approx 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - saniert - Dämmung vorh.; Wärmeverlust gering - Vorgabe EnEV 2014 mit $U= 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eingehalten
	<p><u>Seitlicher Anbau Nord:</u> Sportboden auf Dämmung nach EnEV auf Betonsohle; U-Wert nach EnEV; Annahme $U \approx 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	
	<p><u>Seitlicher Anbau Süd:</u> Bestandsboden; U-Wert wird mit $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾ abgeschätzt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Kein Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 $U= 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Tabelle 41: Turnhalle 12 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.8.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 51: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - Umwälzpumpen überwiegend nicht in Hocheffizienzausführung - Heizleitungen der Heizkreise zu den Lüftungswärmetauschern unter dem Hallenboden mit mutmaßlich höheren Wärmeverlusten
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage Um- und Außenluftgeführt</p> <p>Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert</p>	<ul style="list-style-type: none"> - saniertes Zustand - gute Regelbarkeit - VentilatorMotoren nicht drehzahl geregelt (keine FU) - keine Wärmerückgewinnung - Volumenstrom unregelt, nicht eingemessen
Beleuchtung	Beleuchtung mit LED Leuchtmitteln	<ul style="list-style-type: none"> - Überprüfung der erforderlichen Beleuchtungsstärken nötig
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 42: Turnhalle 12 - TGA und Bewertung

3.8.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 12 John-Brinkmann-Schule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		3360				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		799				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	358	0,21	1	75,18	WK
Boden saniert	A_G	600	0,35	0,2	42	WK
Boden Bestand	A_G	240	0,8	0,2	38,4	WK
Dach	A_D	790	0,2	0,8	126,4	WK
Fenster seitl. Anbauten	A_F	54	1,3	1	70,2	WK
Lichtfassade Halle	A_F	80	1,3	1	104	WK
Lichtband Dach	A_F	141	1,3	1	183,3	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	2263		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	639,48	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A^* 0,05$		113,15	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch			$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A^* 0,10$	752,63	WK
	Q_T - absolut			$66 \cdot H_T$	49673,58	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)	Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$		$0,19 \cdot V_e$	638,4	WK
		Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$		$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut			$66 \cdot H_v$	42134,4	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,67351	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	27	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	765	kWh/a
	Südost bis Südwest	27	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	2067	kWh/a
	Ost und West	80	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	3515	kWh/a
	Dachflächenfenster	141	0,5	$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	8994	kWh/a
				ΣQ_s	15342	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	17578	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	31274	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	60534	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,86	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	70389	kWh/a
		pro m^2 NGF			88,1	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 43: Bedarfsberechnung TH 12 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 70.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 799 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 88 kWh/ m^2 a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 91.000 kWh (114

kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit um ca. 30 % höher als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte an Unsicherheiten in den Baustoffqualitäten oder an möglichen Wärmebrücken des Gebäudes liegen. Zudem wird, wie unter „3.1.3 Erläuterung Bedarfsberechnung:“ dargestellt, der Warmwasserbedarf nicht erfasst. Jedoch handelt es sich hierbei um eine Grundschule, in der die Schüler nach dem Sport vermutlich nicht duschen. Genauere Untersuchungen des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen. Aufgrund der bereits guten bis sehr guten energetischen Qualität der baulichen Hülle wäre diese aus baulicher Sicht derzeit im Vergleich zu anderen Hallen nicht zielführend.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

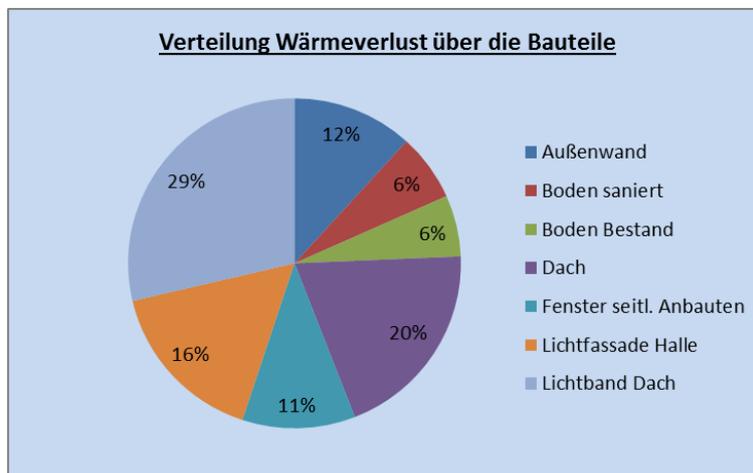


Abbildung 52: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über das Lichtband (29%) und das Dach (31%) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

Bei der zuvor dargestellten Grafik ist ersichtlich, dass es bei der Gebäudehülle der Turnhalle 12 keinen richtigen Ausreißer bei den Transmissionswärmeverlusten gibt. Es zeigt, dass fast alle Bauteile auf einem guten energetischen Stand gegenüber der aktuellen EnEV 2014 und vor allem in Bezug auf den Sanierungsstand der Schweriner Sporthallen sind.

3.8.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung Fußboden im südlichen Anbau (sehr Aufwendig, viele kleine Räume) auf EnEV 2014; (als Einzelmaßnahme eigentlich nicht sinnvoll)	35.000 €	ca. 2,5	ca. 450	ca. 200€
2 Ertüchtigung HL-Anlage	50.000 €	10	1.800	800 €

Tabelle 44: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 12 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau eines Wärmerückgewinnungswärmetauschers in die Lüftungsanlage

3.9. Turnhalle 13 Nils-Holgerson-Schule

Kurzübersicht der Turnhalle Nils-Holgerson-Schule

Adresse:

19059 Schwerin
 Friedrich-Engels-Straße 35
 Ansprechpartner: Hr. Renner

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1975
Nettogrundfläche	1.445 m ²
Typenbezeichnung	SH 24 x 42



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	42.635
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	184.448
Warmwasser (WW)	5.313

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung der Verglasung (Doppelstegplatten) 2011

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Direkte Wärmeübergabestation

3.9.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 13 der Nils-Holgerson-Schule handelt es sich um den Typenbau SH 24 x 42 (Größe Sportbereich 24 x 48 m) aus dem Jahr 1975. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk (Halle) und einem seitlichen Anbau für den Geräte-, Sozial- und Technikbereich. Im Jahr 2011 wurden die Fenster energetisch saniert. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

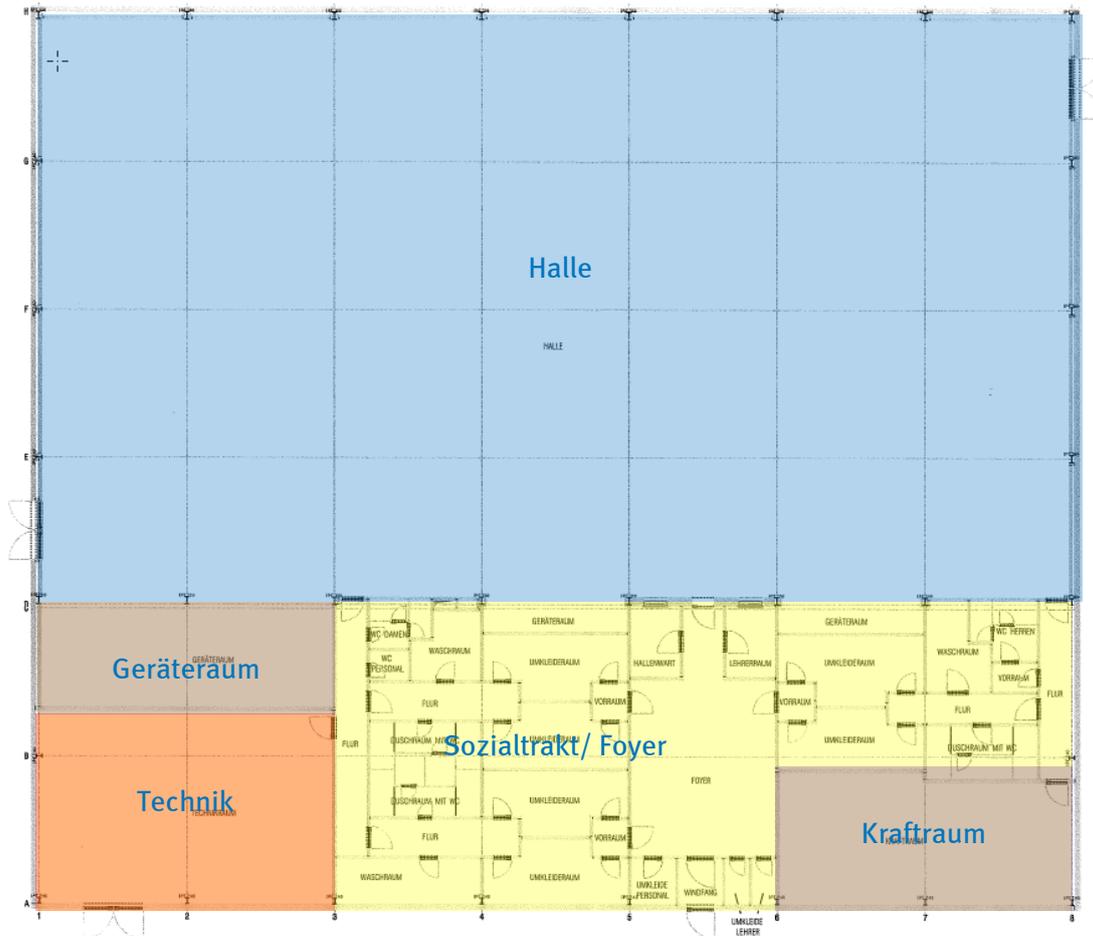


Abbildung 53: Grundriss TH 13 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 56: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, werden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 benutzt. Zudem wurde als Grundlage die Energiebedarfsberechnung der Turnhalle der Astrid-Lindgren-Schule (2012) berücksichtigt.

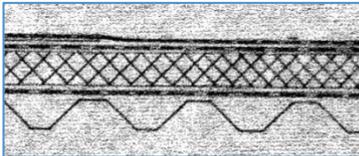
Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Trapezprofilband, mit Dämmung und äußere Bitumenabdichtung, ca. 60 mm Dämmung, U-Wert ca. 0,75 W/(m ² K)  (Abb. ähnlich)	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Dämmung sehr gering somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 -22 cm mit WLG 035 - Richtwert EnEV 2014 U= 0,20 W/(m²K)
Außenwand	Sandwichelemente mit Dämmung ca. 60 mm; Außen und Innen Trapezblech; U-Wert ca. 0,75 W/(m ² K)	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K) (12 - 14 cm Wärmedämmung)
	<u>Restliche Wandbereiche</u> Gasbetonelemente mit d ca. 20 cm (Annahme: $\lambda = 0,205$); U-Wert ca. 0,87 W/(m ² K)	
Fenster	Alle Fenster sind als Polycarbonatplatten ausgeführt (Doppelstegplatte) U= 1,65 W/m ² K (in Anlehnung an TH 15)	<ul style="list-style-type: none"> - 2006 erneuert - Vorgabe EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m²K) nicht eingehalten
Bodenplatte	<u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Keine/ wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,35 W/(m²K)
	<u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	

Tabelle 45: Turnhalle 13 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.9.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 57: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - Wärmetauscher teilweise nicht angeschlossen - Heizleitungen der Heizkreise zu den Lüftungswärmetauschern in teilweise schlechtem Zustand (Stahl korrodiert)
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage um- und außenluftgeführt</p> <p>Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - teilweise unsanierter Zustand - nur Motoren erneuert - Zustand Gebläse und Wärmetauscher unbekannt - Ventilatormotoren drehzahl geregelt (FU) - Kanäle teilweise nicht wärme gedämmt - Luftaustrittsöffnungen querschnittsverengt - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 46: Turnhalle 13 - TGA und Bewertung

3.9.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 13 Nils-Holgerson-Schule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		11000				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF$ =:		1445				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand Giebel Hall	A_{Aw}	443	0,64	1	283,52	WK
Außenwand (restl. Ber.)	A_{Aw}	600	0,87	1	522	WK
Boden	A_G	1500	1	0,25	375	WK
Dach	A_D	1500	0,75	1	1125	WK
Fenster	A_F	250	1,65	1	412,5	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	4293		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	2718,02	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		429,3	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		3147,32	WK
	Q T - absolut		$66 \cdot H_T$		207723,12	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	2090	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q v - absolut		$66 \cdot H_v$		137940	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,39027	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost			$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Südost bis Südwest			$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Ost und West	250	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	10986	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	10986	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	31790	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	40637	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	305026	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,96	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	317736	kWh/a
	pro m^2 NGF				219,9	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 47: Bedarfsberechnung TH 13 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 318.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1445 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 220 kWh/ m^2 a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 184.000 kWh (128

kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit um ca. 40 % niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine akzeptable Auslastung von 82 %. Dennoch könnten sich auch daraus Abweichungen des Wärmeverbrauchs ergeben.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen -prioritäten verwendet werden.

Die Transmissionswärmeverluste sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

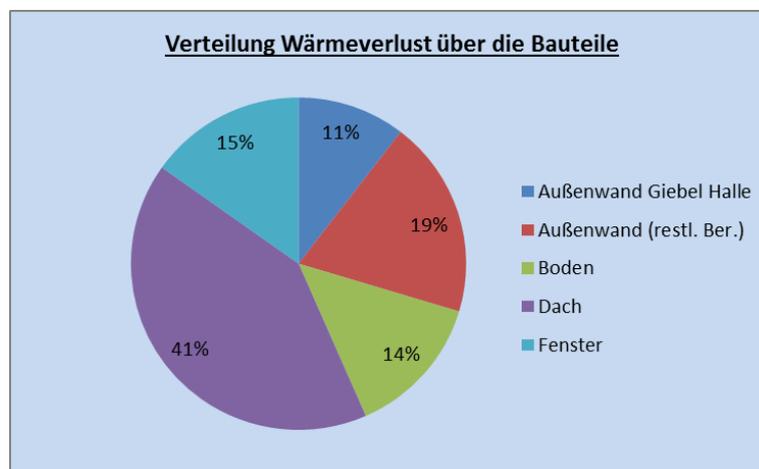


Abbildung 58: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über das Dach (41 %) und die Außenwände (34%) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.9.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwand 14 cm Wädä ($U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$)	150.000 €	ca. 12	ca. 4.200	ca. 2.000 €
2 Dämmung Dach nach EnEV auf $U \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	250.000 €	ca. 18	ca. 5.300	3.000 €
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	180.000 €	ca. 6	ca. 1.800	1.000 €
4 Ertüchtigung HL-Anlage	50.000 €	10	4.000	1.800 €
5 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 48: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 13 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau eines Wärmerückgewinnungswärmetauschers in die Lüftungsanlage

3.10. Turnhalle 14 Bertolt-Brecht-Schule

Kurzübersicht der Turnhalle Bertolt-Brecht-Schule

Adresse:

19061 Schwerin
 Von-Stauffenberg-Straße 67
 Ansprechpartner: Hr. Hüske



Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1975
Nettogrundfläche	1.453 m ²
Typenbezeichnung	SH 24 x 42

Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	44.963
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	156.156
Warmwasser (WW)	-

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung der Verglasung (Doppelstegplatten) 2011
- Dämmung Dach 2015

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Direkte Wärmeübergabestation

3.10.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 14 der Bertolt-Brecht-Schule handelt es sich um den Typenbau SH 24 x 42 (Größe Sportbereich 24 x 48 m) aus dem Jahr 1975. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk (Halle) und einem seitlichen Anbau für den Geräte-, Sozial- und Technikbereich. Im Jahr 2012 und 2015 wurden die Fenster und das Dach energetisch saniert. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

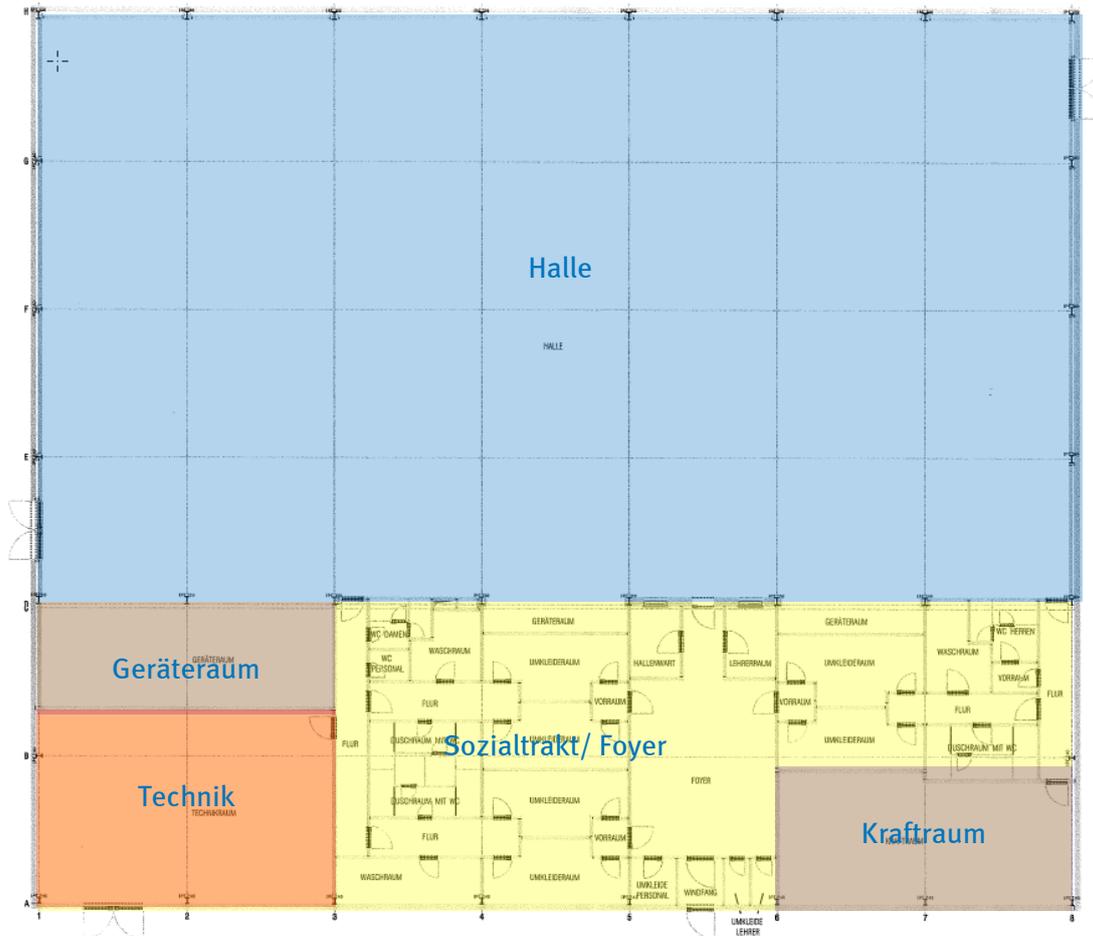


Abbildung 59: Grundriss TH 14 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 61: Ansichten TH 14 Bertolt-Brecht-Schule (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

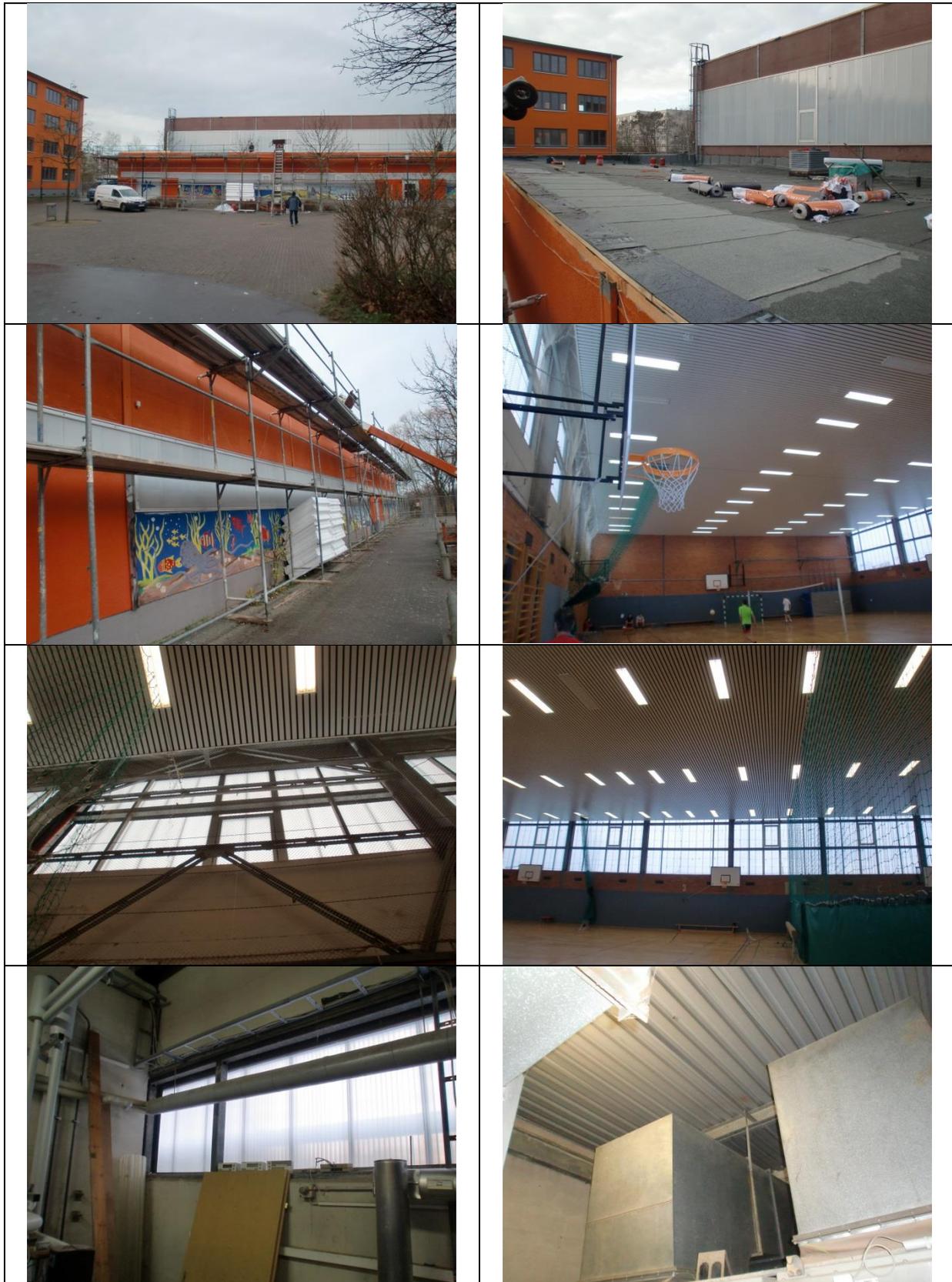


Abbildung 62: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, werden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt. Zudem wurde als Grundlage die Energiebedarfsberechnung der Turnhalle der Astrid-Lindgren-Schule (2012) berücksichtigt.

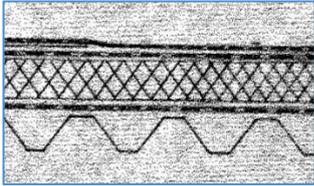
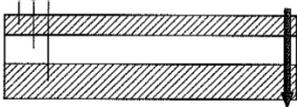
Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾									
Dach	<p><u>Seitliche Anbauten und Halle:</u> Trapezprofilband, 160 mm Dämmung (vermutlich WL 032 – 035) mit äußerer Bitumenabdichtung; U-Wert ca. 0,20 W/(m²K)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ende 2015 saniert - Dämmung sehr gut somit ist Wärmeverlust sehr gering - Richtwert EnEV 2014 U= 0,20 W/(m²K) eingehalten 									
Außenwand	<p><u>Giebelwände Halle:</u> U-Wert ca. 0,64 W/(m²K)</p> <table border="0" style="font-size: small;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">1</td> <td style="padding-right: 10px;">11,50</td> <td>Hochlochziegel 1,6</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>16,50</td> <td>Luftschicht lotrecht 20-500mm</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>20,00</td> <td>GSB-Wandelemente</td> </tr> </table> 	1	11,50	Hochlochziegel 1,6	2	16,50	Luftschicht lotrecht 20-500mm	3	20,00	GSB-Wandelemente	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K) (12 – 14 cm Wärmedämmung)
	1	11,50	Hochlochziegel 1,6								
2	16,50	Luftschicht lotrecht 20-500mm									
3	20,00	GSB-Wandelemente									
<p><u>Restliche Wandbereiche</u> Gasbetonelemente mit d ca. 20 cm (Annahme: λ= 0,205); U-Wert ca. 0,87 W/(m²K)</p>											
Fenster	<p>alle Fenster sind als Polycarbonatplatten ausgeführt (Doppelstegplatte) U= 1,65 W/m²K</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2011 erneuert - Richtwert EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m²K) nicht eingehalten 									
Bodenplatte	<p><u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m²K⁽⁶⁾ abgeschätzt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,35 W/(m²K) 									
	<p><u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m²K⁽⁶⁾ abgeschätzt</p>										

Tabelle 49: Turnhalle 14 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.10.1. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 63: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - Wärmetauscher teilweise nicht angeschlossen - Heizleitungen der Heizkreise zu den Lüftungswärmetauschern in teilweise schlechtem Zustand (Stahl korrodiert)
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage um- und außenluftgeführt</p> <p>Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - teilweise unsanierter Zustand - nur Motoren erneuert - Zustand Gebläse und Wärmetauscher unbekannt - Ventilatormotoren drehzahl geregelt (FU) - Kanäle teilweise nicht wärme gedämmt - Luftaustrittsöffnungen querschnittsverengt - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 50: Turnhalle 14 - TGA und Bewertung

3.10.2. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 14 Bertolt-Brecht-Schule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		11000				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF$ =:		1453				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand Giebel Hall	A_{Aw}	443	0,64	1	283,52	W/K
Außenwand (restl. Ber.)	A_{Aw}	600	0,87	1	522	W/K
Boden	A_G	1500	1	0,25	375	W/K
Dach	A_D	1500	0,2	1	300	W/K
Fenster	A_F	250	1,65	1	412,5	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
	ΣA	4293		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1893,02	W/K
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		429,3	W/K
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F) + A \cdot 0,10$		2322,32	W/K
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		153273,12	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	2090	W/K
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		W/K
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		137940	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,39027	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost			$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Südost bis Südwest			$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Ost und West	250	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	10986	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	10986	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	31966	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	40804	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	250409	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,86	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	291173	kWh/a
	pro m^2 NGF					200,4

Tabelle 51: Bedarfsberechnung TH 14 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 290.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1453 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert

von 200 kWh/m²a (ohne Warmwasser). Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 156.000 kWh (107 kWh/m²a inkl. Warmwasser). Der Verbrauch ist somit um ca. 46 % niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine akzeptable Auslastung von 86 %. Dennoch könnten sich auch daraus Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

Die Transmissionswärmeverluste sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

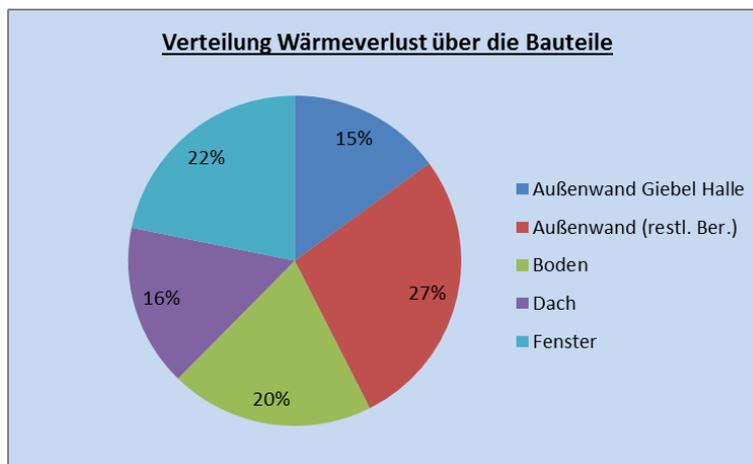


Abbildung 64: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die Außenwände (42 %), die Fenster (22%) und den Boden (20 %) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.10.3. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwand auf EnEV Niveau mind. $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	150.000 €	ca. 14	ca. 3.800	ca. 1.900€
2 Austausch Fußboden mit Dämmung auf $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	180.000 €	ca. 7	ca. 1.900	ca. 1.000 €
3 Ertüchtigung HL-Anlage	50.000 €	10	2.200	1.400 €
4 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 52: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 14 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau eines Wärmerückgewinnungswärmetauschers in die Lüftungsanlage

3.11. Turnhalle 17 Berufsschulförderzentrum West

Kurzübersicht der Turnhalle Berufsschulförderzentrum West

Adresse:

19059 Schwerin
 Johannes-Brahms-Straße 55
 Ansprechpartner: Hr. Bressler

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1970
Nettogrundfläche	687 m ²
Typenbezeichnung	-



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	12.749
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	113.433
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Im Anbau sind teilweise Kunststofffenster vorhanden

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Direkte Wärmeübergabestation

3.11.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 17 des Berufsschulförderzentrums West handelt es sich um ein Bauwerk aus dem Jahr 1970. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk (Halle) und einem seitlichen Anbau für den Geräte-, Sozial- und Technikbereich. Bisher wurden keinen baulichen energetischen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

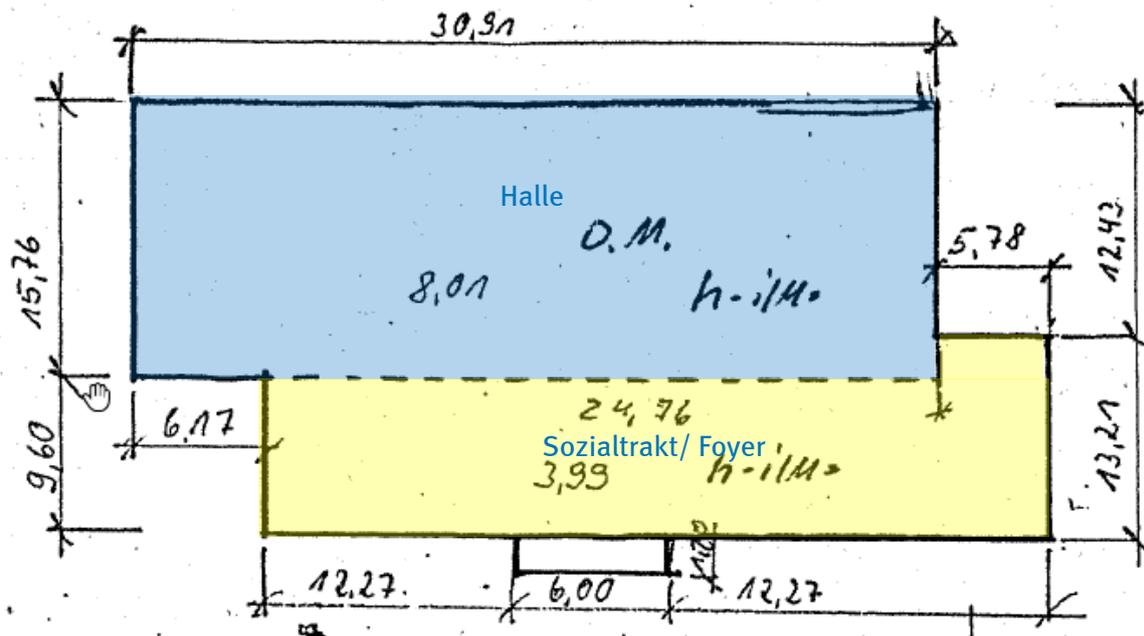


Abbildung 65: Skizze Grundriss TH 17 (Quelle: ZGM)

Schnitt:

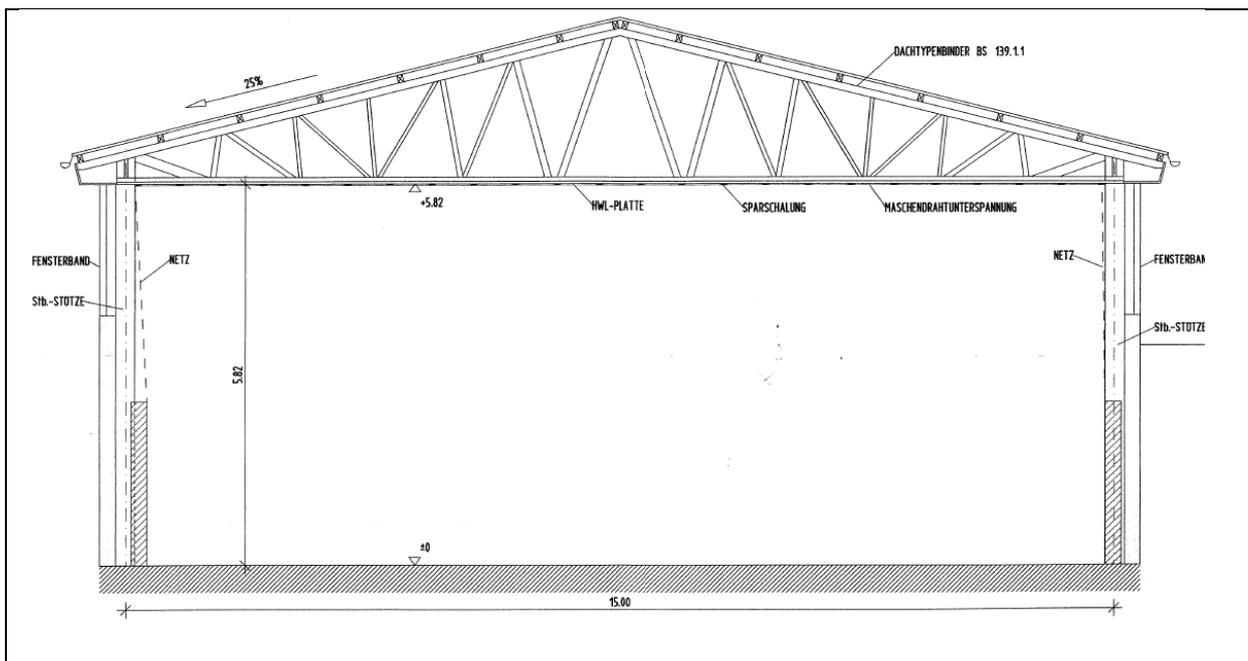


Abbildung 66: Schnitt durch Halle 17

Ansichten:



Abbildung 67: Ansichten TH 17 Berufsschulförderzentrum West (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 68: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	<p><u>Seitliche Anbauten</u> Flachdach mit Bitumenabdeckung und vermutlich geringe Dämmung ; U-Wert ca. 0,80 W/(m²K) ⁽⁶⁾</p> <p><u>Halle:</u> Trapezprofilband (Trapezblech) vermutlich geringer Dämmung U-Wert ca. 0,80 W/(m²K) ⁽⁶⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Dämmung sehr gering somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 -22 cm mit WLG 035 - Richtwert EnEV 2014 U= 0,20 W/(m²K)
Außenwand	Gasbetonelemente mit d ca. 20 cm (Annahme: $\lambda = 0,205$); U-Wert ca. 0,87 W/(m²K)	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K) (12 - 14 cm Wärmedämmung)
Fenster	<p><u>Halle:</u> Glaspaneel (U-Profilglas), 2 x Einscheibenverglasung U\approx 2,8 W/m²K (Annahme) </p>	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m²K) nicht eingehalten -
	<p><u>Anbau:</u> Kunststofffenster mit 2-Scheibenverglasung U\approx 1,5 W/m²K (Annahme)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Richtwert EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m²K) nicht eingehalten
Bodenplatte	<p><u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m²K ⁽⁶⁾ abgeschätzt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Keine/ wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,35 W/(m²K)
	<p><u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m²K ⁽⁶⁾ abgeschätzt</p>	

Tabelle 53: Turnhalle 17 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.11.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)



Abbildung 69: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	<p>direkte Wärmeübergabe in Heizung bzw. Lüftungswärmetauscher und Warmwasserbereitung</p> <p>Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (Gebläsekonvektoren) in Wandnischen</p> <p>Umluft-Wärmetauscher an der Hallenwand</p>	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - geringe Leistung, lange Aufheizzeiten, hohe Druckverluste - Schnellaufheizung möglich, Hinweis auf Leistungsdefizit der stat. Heizflächen - Umwälzpumpen überwiegend nicht in Hocheffizienzausführung
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage nicht vorhanden</p> <p>Fensterlüftung äußerst unpraktikabel</p>	<ul style="list-style-type: none"> - schlechte Raumlufthqualität - hohe Wärmeverluste
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne Präsenzerfassung	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - geringe Tageslichtnutzung
Regelung	Gebäudeautomation nicht installiert	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 54: Turnhalle 17 - TGA und Bewertung

3.11.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 17 Berufsschulförderzentrum West						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		3600				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF$ =:		687				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	518	0,87	1	450,66	WK
Boden Halle	A_G	480	1	0,25	120	WK
Boden Anbau	A_G	305	1	0,25	76,25	WK
Dach	A_D	790	0,8	1	632	WK
Fenster Halle	A_F	120	2,8	1	336	WK
Fenster Anbau	A_F	26	1,5	1	39	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	2239		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1653,91	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		223,9	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		1877,81	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		123935,46	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 h^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	684	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 h^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		45144	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,62194	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	85	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	2410	kWh/a
	Südost bis Südwest	61	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	4669	kWh/a
	Ost und West			$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	7079	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	15114	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	21083	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	147996	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,76	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	194732	kWh/a
	pro m^2 NGF				283,5	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 55: Bedarfsberechnung TH 17 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 194.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 687 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert

von 284 kWh/m²a (ohne Warmwasser). Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 113.000 kWh (165 kWh/m²a inkl. Warmwasser). Der Verbrauch ist somit um ca. 40 % niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine akzeptable Auslastung von 85 %. Dennoch könnten sich auch daraus Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

Die Transmissionswärmeverluste sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

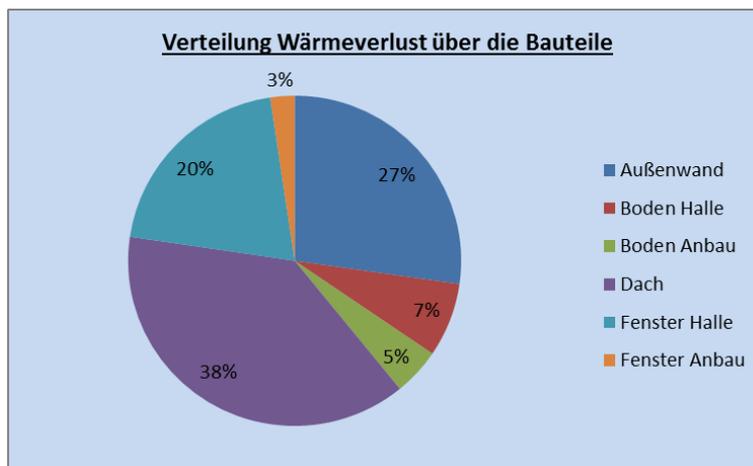


Abbildung 70: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über das Dach (38 %), die Außenwand (27 %) und die Fenster (20 %) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.11.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwand 14 cm WäDä U ≤ 0,28 W/m ² K	75.000 €	ca. 14	ca. 3.000	ca. 1.500€
2 Dämmung Dach nach EnEV auf U= 0,2	135.000€	ca. 21	ca. 4500	2.150 €
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf U ≤ 0,35 W/m ² K	95.000 €	ca. 6	ca. 1.300	600 €
4 Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle auf U ≤ 1,3 W/m ² K	20.000 €	ca. 9	ca. 2.000	900 €
5 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	4.400	2.000 €
6 Ertüchtigung HL-Anlage	20.000 €	10	2.100	1.000 €
7 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 56: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 17 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)
- Einbau Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)

3.13. Turnhalle 22 Altes Fridericianum

Kurzübersicht der Turnhalle Altes Fridericianum

Adresse:

19055 Schwerin
 August-Bebel-Straße 11 - 12
 Ansprechpartner: WGS Schwerin

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1890
Nettogrundfläche	400 m ²
Typenbezeichnung	-



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	11.345
Wärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	66.808 (Heizöl)
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- keine

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte nicht gedämmt

Sonstige Merkmale:

- fossiler Energieträger Heizöl

3.13.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

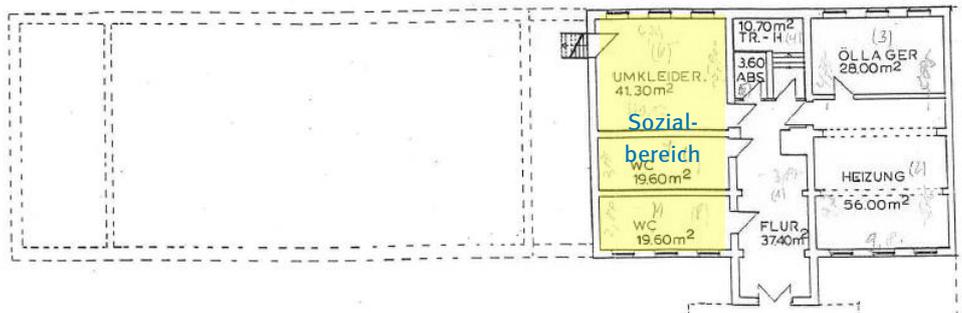
Die der Turnhalle (Nr. 22) in der August-Bebel-Str. 11 („Altes Fritz“) ist ein unter Denkmalschutz stehendes Gebäude und wurde im Jahr 1890 erbaut. Das Gebäude wurde bisher nicht saniert. Alle Sanierungsmaßnahmen müssen in enger Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde erfolgen.

Zudem ist die Energieeinsparverordnung nur begrenzt für denkmalgeschützte Bauwerke anzuwenden. Im §24 Abs. 1 der EnEV 2014 heißt es folgendermaßen: „Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.“

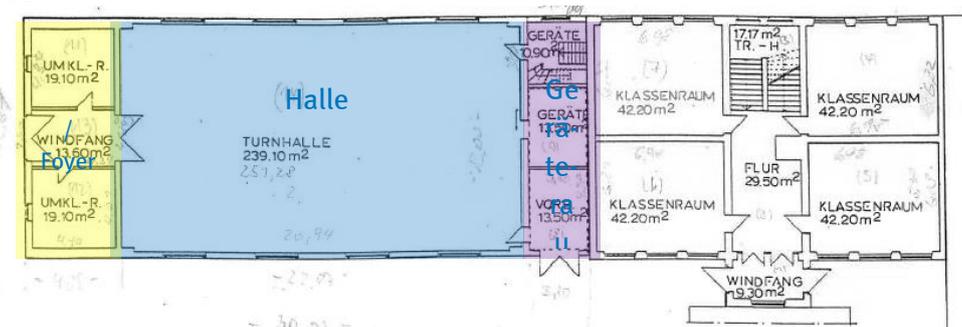
Nachfolgend werden die Schnitte der Turnhalle und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

Kellergeschoss (Nebengebäude mit Sanitär und Heizung):



Erdgeschoss:



Obergeschoss:

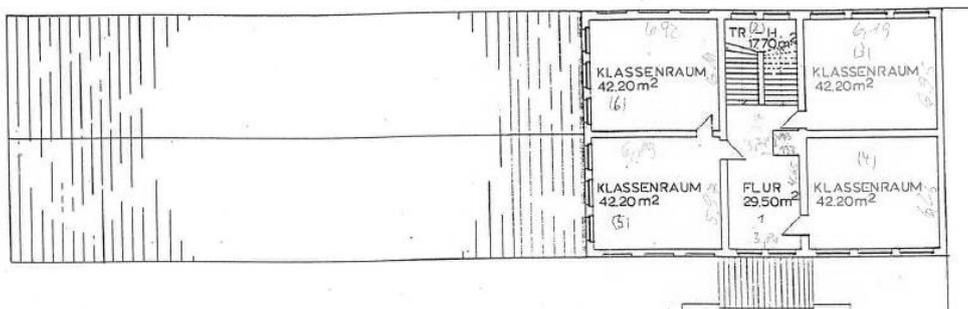


Abbildung 71: Grundriss der Sporthalle und Nebengebäude (Quelle ZGM)

Ansichten:



Abbildung 72: Ansichten TH 22 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 73: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Holzbalkendecke zu unbeheiztem Dachraum mit geringer/ keiner Dämmung $U \approx 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Dämmung gering somit ist Wärmeverlust groß - Dämmung Standard heute ca. 18 -22 cm mit WLG 035 - Richtwert EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ nicht eingehalten
Außenwand	Massive Mauerwerkswände ohne Dämmung; innen und Außen verputzt $d \approx 24 -30 \text{ cm}$; $U \approx 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert saniert - keine Dämmung - Wärmeverlust groß - nur Innendämmung umsetzbar; Richtwert EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ($\approx 12 - 14 \text{ cm WäDä}$) in der Form aber schwierig umsetzbar
Fenster	Einscheibenverglasung in Halle und 2-Scheibenverglasung in Sozialtrakt (nur anteilig genutzt, $U \approx 1,3$); $U_{F,Halle} \approx 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 mit $U = 1,3$ nicht eingehalten
Bodenplatte	<p><u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾ abgeschätzt</p> <p><u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾ abgeschätzt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - keine/ wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 $U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ nicht eingehalten

Tabelle 57: Turnhalle 22 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.13.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung

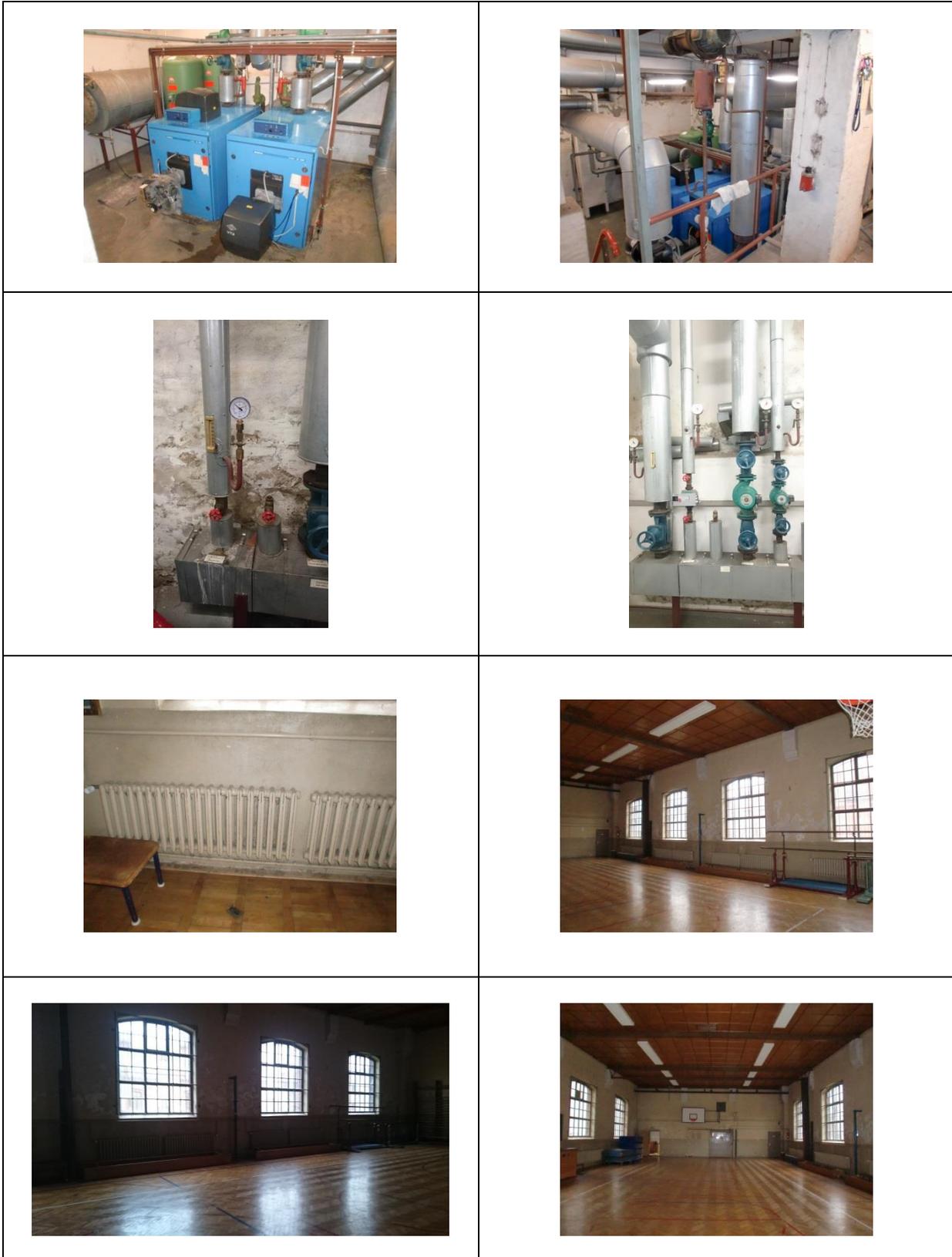


Abbildung 74: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (alte Heizkörper)	- geringe Leistung, lange Aufheizzeiten, hohe Druckverluste
	Heizkessel ohne motorisch betriebene Abgasklappen	- Auskühlung des Kessels bei Stillstand energetisch ungünstig
	Brenner ohne Modulation (einfache Kaskade)	- keine ausreichende Anpassung der Kesselleistung an den wirklichen Bedarf möglich
	Umwälzpumpen (auch Kesselspeisepumpen)	- ineffizient, veraltet
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe außer Betrieb	- ehemaliger Warmwasserspeicher nicht wärmedämmt
Lüftung	Lüftungsanlage nicht vorhanden	- schlechte Raumluftqualität
	Fensterlüftung äußerst unpraktikabel	- hohe Wärmeverluste - Fenstergriffe nicht erreichbar
Beleuchtung	Beleuchtung über HQL Leuchten in Halle	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - keine Beleuchtungsregelung möglich
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	- keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 58: Turnhalle 22 - TGA und Bewertung

3.13.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 22 Altes Fridericianum						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		1600				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		400				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	360	1,8	1	648	W/K
Boden	A_G	398	1	0,25	99,5	W/K
Decke über Halle	A_D	400	1	0,8	320	W/K
Fenster Halle	A_F	54	5,8	1	313,2	W/K
Fenster Sozial	A_F	6	1,3	1	7,8	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
	ΣA	1218		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1388,5	W/K
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		121,8	W/K
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F) + A \cdot 0,10$		1510,3	W/K
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		99679,8	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 h^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	304	W/K
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 h^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		W/K
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		20064	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,76125	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	5	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	142	kWh/a
	Südost bis Südwest	26	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	1990	kWh/a
	Ost und West	29	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	1274	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	ΣQ_s				3406	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	8800	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	11596	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	108148	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,65	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle	$= Q_h / \eta$				166381	kWh/a
	pro m^2 NGF				416,0	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 59: Bedarfsberechnung TH 22 (eigene Berechnung)

Aus der zuvor dargestellten Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 166.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 400 m^2 ergibt sich ein Energie-

bedarfskennwert von 416 kWh/m²a. Der im Baustein 1/Tabelle 5 dargestellte Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 67.000 kWh (167 kWh/m²a). Dieser Verbrauchswert ist somit deutlich niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf. Allerdings verfügt die Halle 22 über keinen eigenen Wärmemengenzähler.

Wie in Baustein 1/Tabelle 5 dargestellt, wird der Verbrauch der Turnhalle 22 aus dem Gesamtwärmeverbrauch des Nebengebäudes und der Turnhalle abgeleitet. Diese Berechnung erfolgt anhand der Grundflächen der beiden Gebäude. Der tatsächliche Energieverbrauch wird somit deutlich von dem angegebenen Verbrauch abweichen. Ein Vergleich mit dem zuvor ermittelten Wärmebedarf ist somit nicht zielführend.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

Die Transmissionswärmeverluste sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

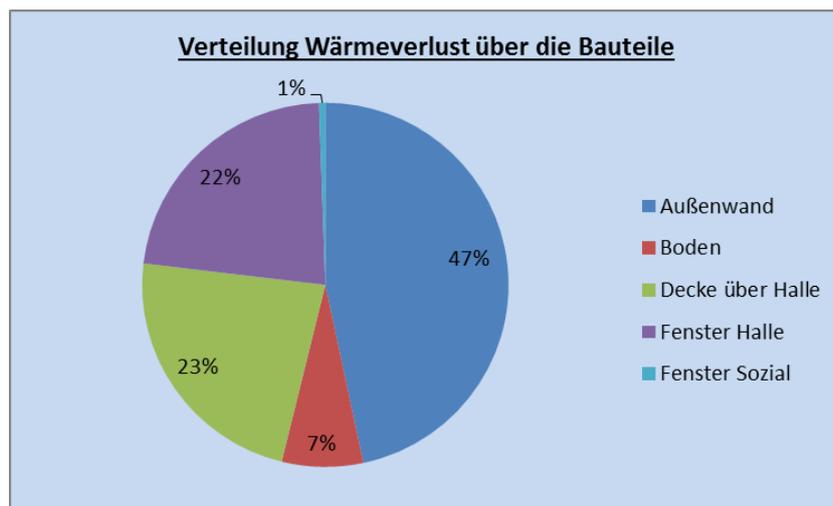


Abbildung 75: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die ungedämmten Außenwände (47 %), die Decke über der Sporthalle (23 %) und die Fenster (22 %) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.13.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwände mit Innendämmung (Bauphysikalisch Prüfen lassen) $U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	60.000 €	ca. 33	ca. 3.000	ca. 1.500€
2 Dämmung Zwischendecke nach EnEV auf $U \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	70.000€	ca. 16	ca. 4500	2.150 €
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	55.000 €	ca. 5	ca. 1.300	600 €
4 Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle auf $U \leq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	50.000 €	ca. 15	ca. 2.000	900 €
5 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	5.200	2.400 €
6 Ertüchtigung HL-Anlage	100.000 €	10	2.600	1.200 €
7 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 60: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 22 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)
- Einbau Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf Fernwärmeversorgung über den Energieversorger

3.14. Turnhalle 23 Perleberger Straße

Kurzübersicht der Turnhalle Perleberger Straße

Adresse:

19063 Schwerin
 Perleberger Straße 18
 Ansprechpartner: Herr Gnass

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1979
Nettogrundfläche	1.449 m ²
Typenbezeichnung	SH 24 x 42



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	77.958
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	350.378
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung der Verglasung im Anbau (Doppelstegplatten)

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung stark beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Direkte Wärmeübergabestation

3.14.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 23 in der Perleberger Straße 18 handelt es sich um den Typenbau SH 24 x 42 (Größe Sportbereich 24 x 48 m) aus dem Jahr 1979. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk (Halle) und einem seitlichen Anbau für den Geräte-, Sozial- und Technikbereich. Die Fenster im Sozialtrakt (Anbau) sind vor einigen Jahren durch Doppelstegplatten ersetzt worden. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

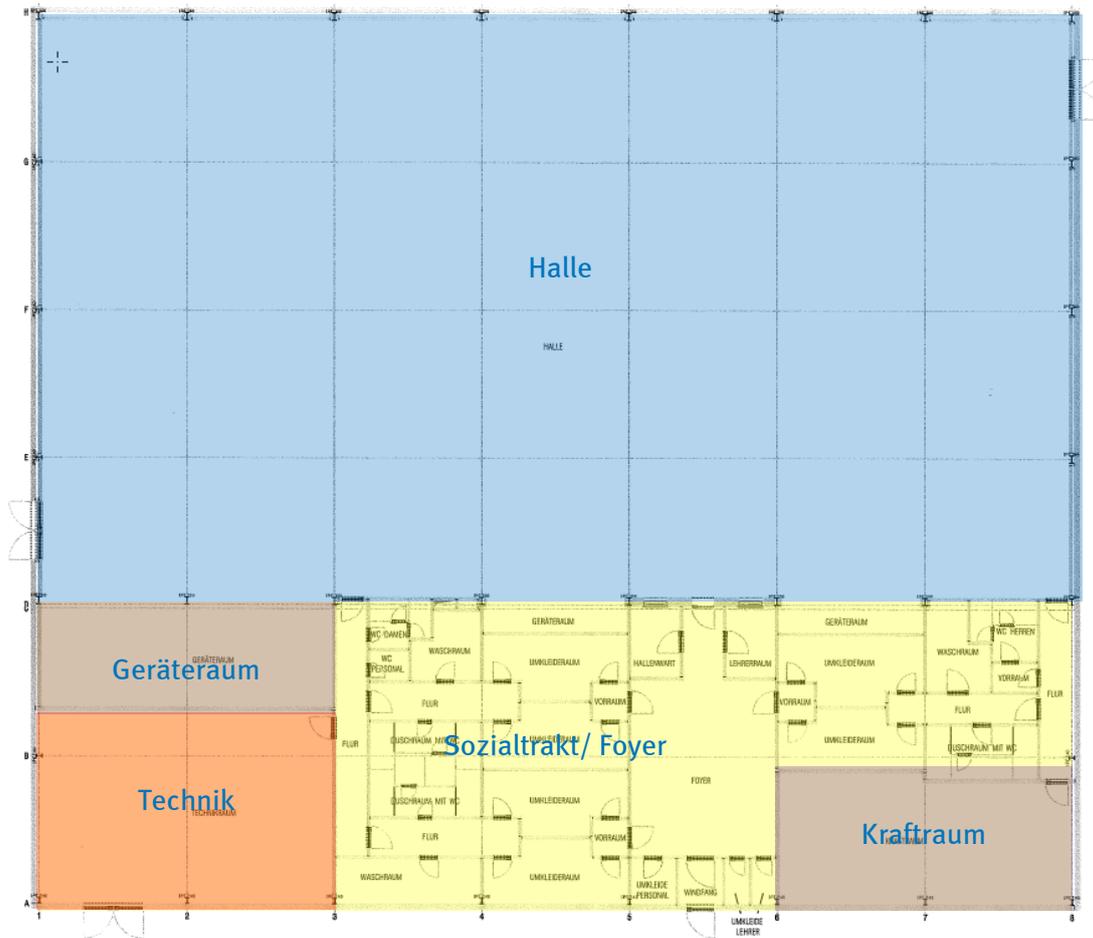


Abbildung 76: Grundriss TH 23 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 78: Ansichten TH 23 Perleberger Straße (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 79: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt. Zudem wurde als Grundlage die Energiebedarfsberechnung der Turnhalle der Astrid-Lindgren-Schule (2012) berücksichtigt.

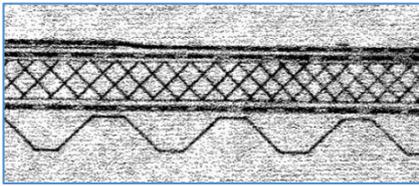
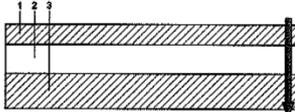
Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Seitliche Anbauten: Trapezprofilband, 60 mm Dämmung und äußere Bitumenabdichtung U-Wert ca. 0,75 W/(m ² K) 	- unsaniert - Dämmung sehr gering somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 -22 cm mit WLG 035 - Richtwert EnEV 2014 U= 0,20 W/(m ² K)
	Hallenbereich: Ähnliche Konstruktion wie seitliche Anbauten	
Außenwand	Giebelwände Halle: U-Wert ca. 0,64 W/(m²K) 1 11,50 Hochlochziegel 1,6 2 16,50 Luftschicht lotrecht 20-500mm 3 20,00 GSB-Wandelemente 	- energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,28 W/(m ² K) (12 - 14 cm Wärmedämmung)
	Restliche Wandbereiche Gasbetonelemente mit d ca. 20 cm (Annahme: λ= 0,205); U-Wert ca. 0,87 W/(m ² K)	
Fenster	Halle: Drahtglas, starke Beschädigungen und undicht U≈ 5,8 W/m ² K ⁽⁶⁾	- energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 mit U= 1,3
	Sozialtrakt: Alle Fenster sind als Polycarbonatplatten ausgeführt (Doppelstegplatte) U= 1,65 W/m ² K	
Bodenplatte	Halle: Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- unsaniert - keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,35 W/(m ² K)
	Sozialtrakt: Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,0 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	

Tabelle 61: Turnhalle 23 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.14.1. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung

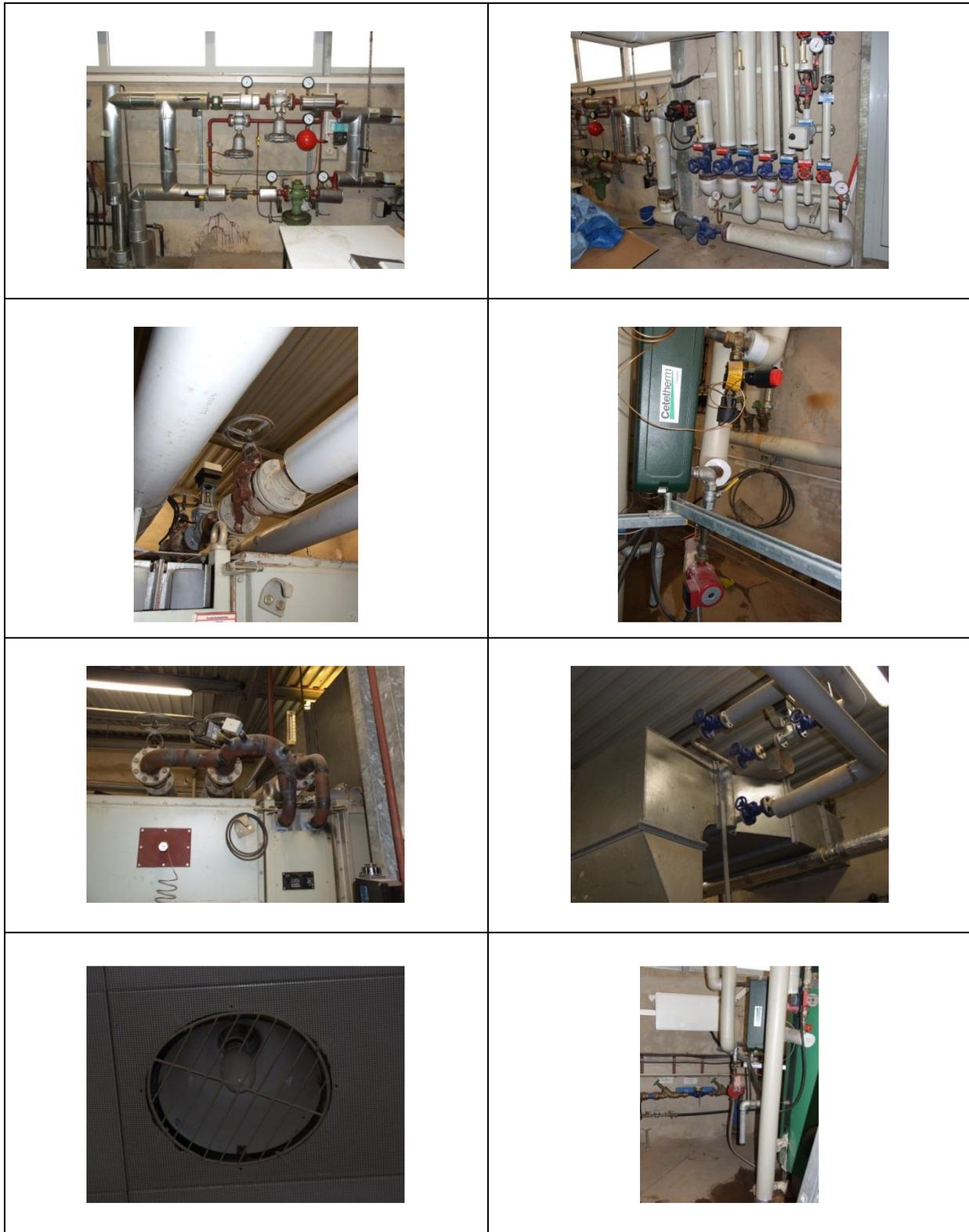


Abbildung 80: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - Wärmetauscher teilweise nicht angeschlossen - Heizleitungen der Heizkreise zu den Lüftungswärmetauschern in teilweise schlechtem Zustand (Stahl korrodiert)
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage Um- und Außenluftgeführt</p> <p>Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - teilweise unsanierter Zustand - nur Motoren erneuert - Zustand Gebläse und Wärmetauscher unbekannt - Ventilatormotoren nicht drehzahl geregelt (FU) - Kanäle teilweise nicht wärme gedämmt - Luftaustrittsöffnungen querschnittsverengt - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 62: Turnhalle 23 - TGA und Bewertung

3.14.2. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 23 Perleberger Str.						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		11000				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		1449				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F_x$	Einheit
Außenwand Giebel Hall	A_{Aw}	443	0,64	1	283,52	WK
Außenwand (restl. Ber.)	A_{Aw}	600	0,87	1	522	WK
Boden	A_G	1500	1	0,25	375	WK
Dach	A_D	1500	0,75	1	1125	WK
Fenster Halle	A_F	231	5,8	1	1339,8	WK
Fenster Anbau	A_F	24	1,65	1	39,6	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	4298		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	3684,92	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		429,8	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		4114,72	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		271571,52	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	2090	WK
	(Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		137940	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,39073	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost			$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Südost bis Südwest			$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Ost und West	250	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	10986	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	10986	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	31878	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	40720	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	368791	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,76	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	485251	kWh/a
		pro m^2 NGF			334,9	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 63: Bedarfsberechnung TH 23 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 485.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1449 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 335 kWh/ m^2 a (ohne Warmwasser). Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei

ca. 350.000 kWh (242 kWh/m²a, inkl. Warmwasser). Der Verbrauch ist somit um ca. 28 % niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine niedrige Auslastung von 72 %. Diese könnte ebenfalls Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

Die Transmissionswärmeverluste sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

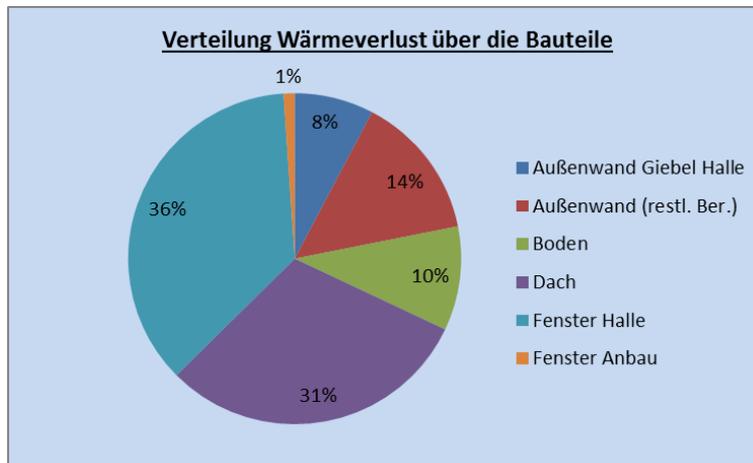


Abbildung 81: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die Fenster (36 %) und das Dach (31 %) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten. Aufgrund der starken Luftdurchlässigkeiten der Fenster ist der anteilige Wärmeverlust wahrscheinlich noch größer.

3.14.3. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwand 14 cm WäDä (U _≤ 0,28 W/m ² K)	150.000 €	ca. 9	ca. 6.000	ca. 2.800€
2 Dämmung Dach nach EnEV auf U _≤ 0,2 W/m ² K	250.000€	ca. 15	ca. 10.000	4.700 €
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf U _≤ 0,35 W/m ² K	180.000 €	ca. 4	ca. 4.000	1.300 €
4 Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle auf U _≤ 1,3 W/m ² K	45.000	ca. 19	ca. 13.400	5.900€
5 Ertüchtigung HL-Anlage	50.000 €	10	6.200	2.900 €
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 64: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 23 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau eines Wärmerückgewinnungswärmetauschers in die Lüftungsanlage

3.15. Turnhalle 24 Meitner Straße

Kurzübersicht der Turnhalle Meitner Straße

Adresse:

19063 Schwerin
Lise-Meitner Straße 3
Ansprechpartner: Hr. Framke



Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1982
Nettogrundfläche	1.188 m ²
Typenbezeichnung	SH 18 x 36

Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	45.964
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	209.126
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- keine

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Indirekte Wärmeübergabestation mit sehr geringer Leistung

Ansichten:



Abbildung 84: Ansichten TH 24 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 85: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

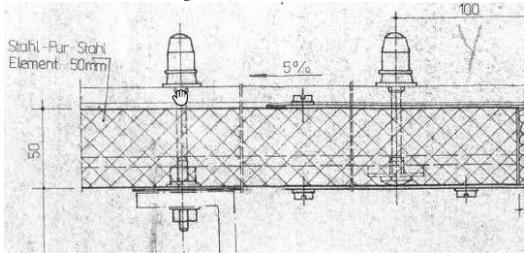
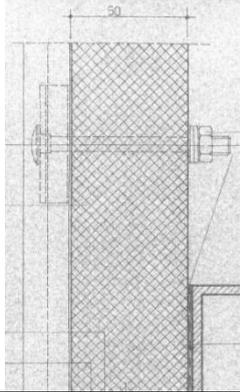
Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Sandwichelemente mit 50 mm Dämmung U-Wert ca. 0,85 W/(m²K) 	- unsaniert - Dämmung gering somit ist Wärmeverlust groß - Dämmung Standard heute ca. 18 - 22 cm mit WLG 035 - Richtwert EnEV 2014 U= 0,20 W/(m²K) nicht eingehalten
Außenwand	 Sandwichelemente mit 50 mm Dämmung (Stahl – PUR – Stahl) U-Wert ca. 0,85 W/(m²K)	- Energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K) (12 – 14 cm Wärmedämmung) nicht eingehalten
Fenster	Halle: Drahtglas, teilweise Beschädigungen und undicht U≈ 5,8 W/m²K Anbau: Holzfenster mit Kunststoffverkleidung mit Zweischeibenverglasung und tlw. Drahtglas U≈ 2,9 W/m²K/ 5,8 W/m²K	- teilweise Beschädigungen der Glaselemente, Fensterscharniere ausgebrochen und Fenster undicht - Richtwert EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m²K) nicht eingehalten
Bodenplatte	Halle: Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/ wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m²K ⁽⁶⁾ abgeschätzt Sozialtrakt: Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m²K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- unsaniert - Keine/ wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,35 W/(m²K) nicht eingehalten

Tabelle 65: Turnhalle 24 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.15.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung

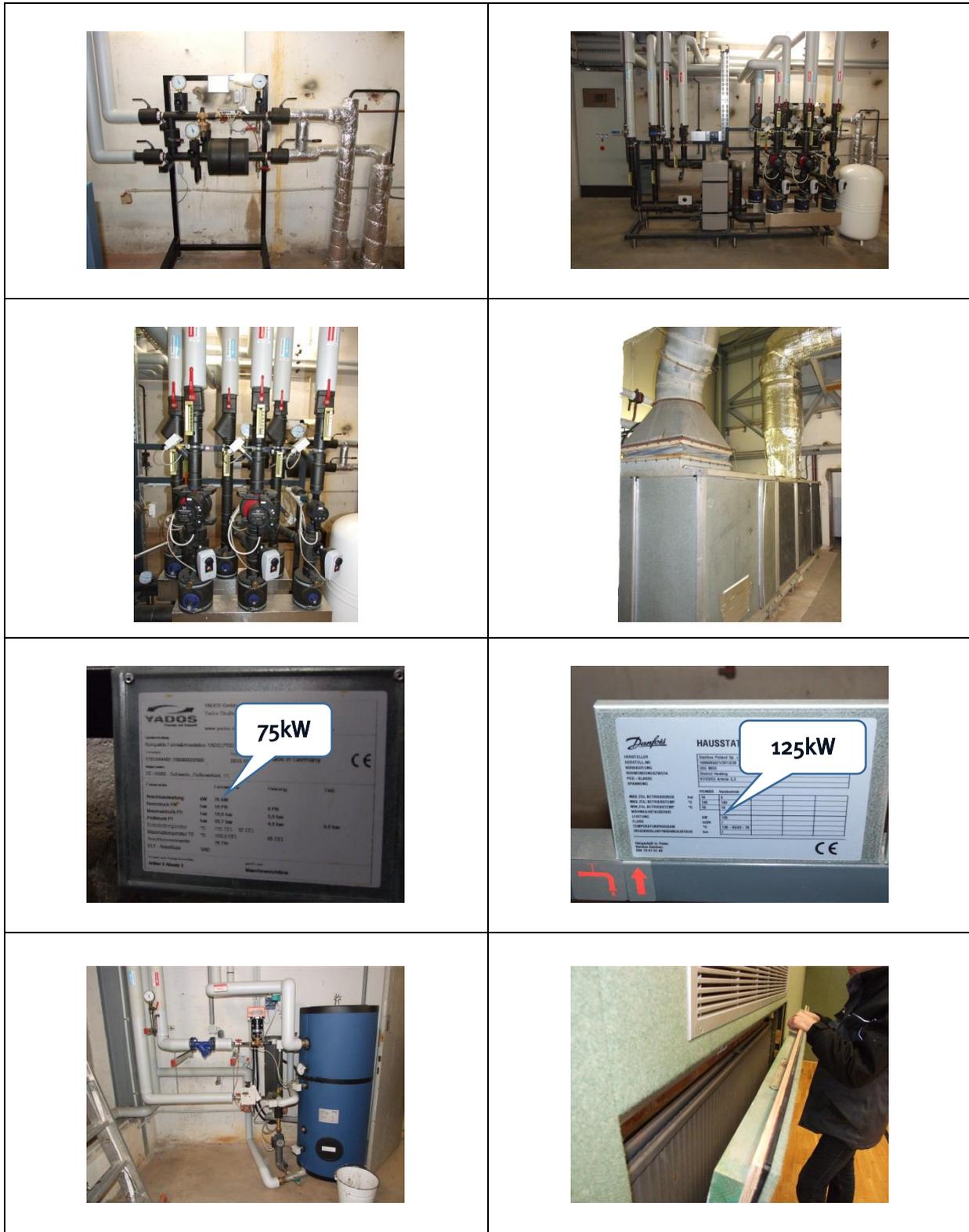


Abbildung 86: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	Indirekte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung Wärmeübertragung über Lüftung und statische Heizflächen	- Primärseitiges Leistungsdefizit von 50 kW - Wärmeübertragungsanlage hat deutlich höhere Kapazität
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	- hohe Bereitschaftsverluste
Lüftung	Lüftungsanlage Um- und Außenluftgeführt Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtgesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)	- teilweise unsanierter Zustand - nur Motoren erneuert - Zustand Gebläse und Wärmetauscher unbekannt - Ventilatormotoren nicht drehzahl geregelt (FU) - Kanäle teilweise nicht wärme gedämmt - Luftaustrittsöffnungen querschnitts verengt - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	- keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 66: Turnhalle 24 - TGA und Bewertung

3.15.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)							
Objekt: TH 24 Lise-Meitner-Straße							
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		8200					
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		1188					
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F_x$	Einheit	
Außenwand	A_{Aw}	1000	0,85	1	850	WK	
Boden	A_G	1238	0,8	0,25	247,6	WK	
Dach	A_D	1238	0,85	1	1052,3	WK	
Fenster Halle/ Gymnastik	A_F	334	5,8	1	1937,2	WK	
Fenster Anbau	A_F	26	2,9	1	75,4	WK	
					0	WK	
					0	WK	
					0	WK	
					0	WK	
	ΣA	3836		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	4162,5	WK	
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		383,6	WK	
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		4546,1	WK	
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		300042,6	kWh/a	
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	1558	WK	
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK	
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		102828	kWh/a	
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,46780	m^{-1}	
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung			
	Nordwest-Nordost	205	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	5812	kWh/a	
	Südost bis Südwest	26	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	1990	kWh/a	
	Ost und West	14	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	615	kWh/a	
	Dachflächenfenster				$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	8417	kWh/a	
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	26136	kWh/a	
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	32825	kWh/a	
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	370045	kWh/a	
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,76		
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle					$= Q_h / \eta$	486902	kWh/a
	pro m^2 NGF					409,8	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 67: Bedarfsberechnung TH 24 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 487.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1188 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert

von 410 kWh/m²a (ohne Warmwasser). Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 (siehe Tabelle 5 aus Baustein 1) bei ca. 210.000 kWh (176 kWh/m²a, inkl. Warmwasser). Der Verbrauch ist somit deutlich niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine niedrige Auslastung von 79 %. Diese könnte ebenfalls Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

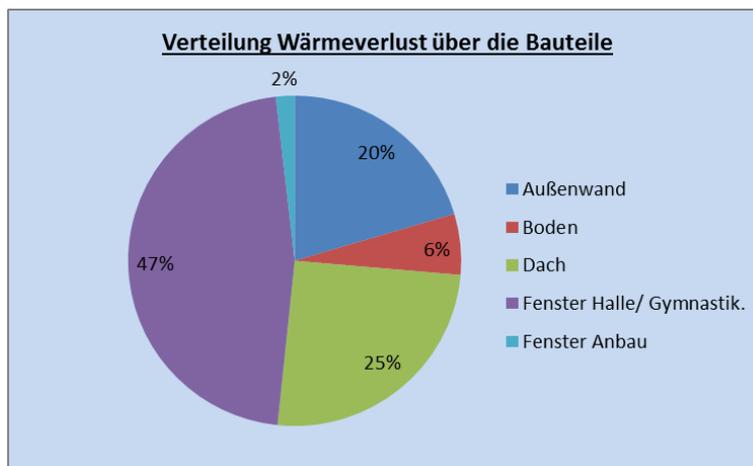


Abbildung 87: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die Fenster der Halle (47 %), das Dach (25%) und die Außenwand (20 %) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.15.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung, mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014, ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Neue Fassadenbekleidung/ Sandwich-Elemente auf U = 0,28	170.000 €	ca. 10	ca. 4.000	ca. 1.900€
2 Dämmung Dach nach EnEV auf U= 0,2	210.000€	ca. 15	ca. 6.000	2.800 €
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf U= 0,35	130.000 €	ca. 3	ca. 1.200	600 €
4 Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle und Fenster in Anbau auf U = 1,3 W/m ² K	65.000 €	ca. 28	ca. 11.000	5.200 €
5 Ertüchtigung HL-Anlage	20.000 €	10	4.000	1.900 €
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 68: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 24 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die Bauliche Hülle und die Technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders Schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau eines Wärmerückgewinnungswärmetauschers in die Lüftungsanlage

3.16. Turnhalle 25 Hegelstraße

Kurzübersicht der Turnhalle Hegelstraße

Adresse:

19063 Schwerin
 Hegelstraße 10
 Ansprechpartner: Hr. Gnass

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1985
Nettogrundfläche	662 m ²
Typenbezeichnung	SH 15 x 30 LM



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	10.064
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	104.270
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Im Anbau sind teilweise Kunststofffenster vorhanden

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Keine Lüftungsanlage

Schnitt:

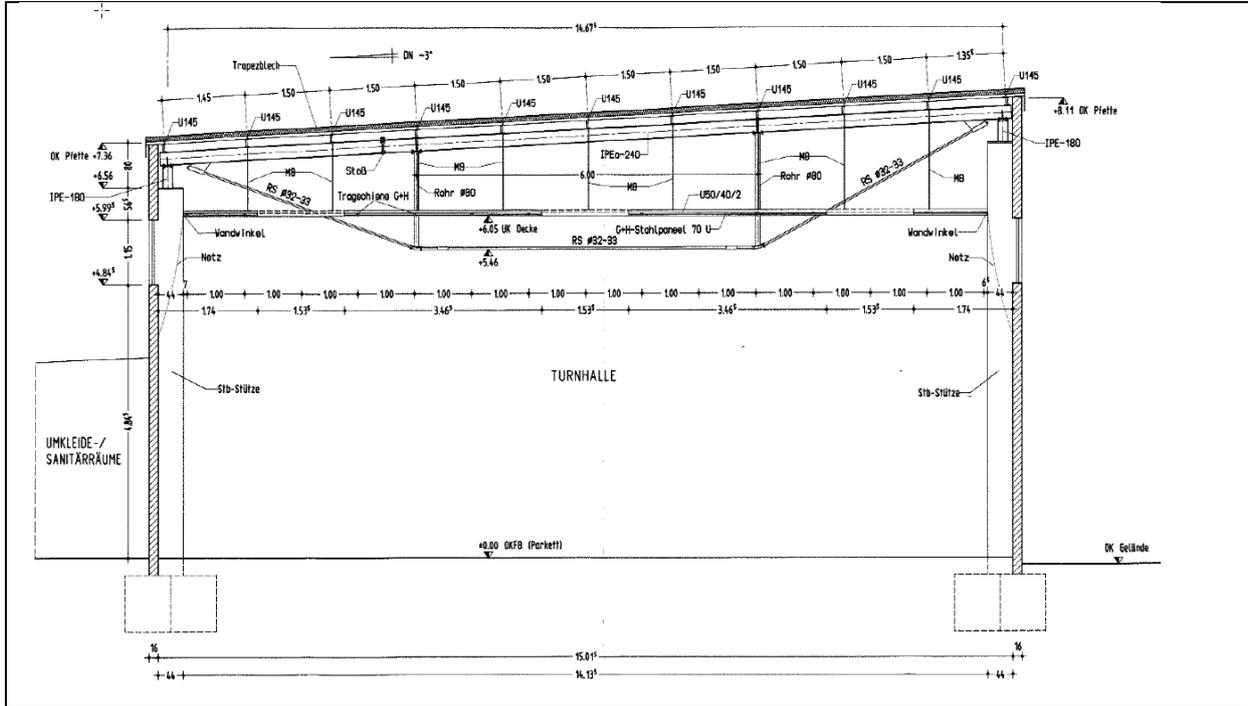


Abbildung 89: Schnitt durch Halle 25 - Typ SH 15x30 LM

Ansichten:



Abbildung 90: Ansichten TH 25 Hegelstraße (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 91: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

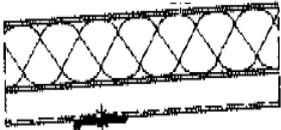
Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Sandwichelemente mit 80 mm Dämmung U-Wert ca. 0,6 W/(m ² K) 	- unsaniert - Dämmung gering, somit ist Wärmeverlust groß - Dämmung Standard heute ca. 18 - 22 cm mit WLG 035 - Richtwert EnEV 2014 U= 0,20 W/(m ² K) nicht eingehalten
Außenwand	Gasbetonelemente mit d = 16 cm (Annahme: λ= 0,205); U-Wert ca. 1,05 W/(m ² K)	- energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,28 W/(m ² K) (12 – 14 cm Wärmedämmung) nicht eingehalten
Fenster	<u>Halle:</u> Drahtglas U≈ 5,8 W/m ² K	- unsaniert - Wärmeverlust groß - Richtwert EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m ² K) nicht eingehalten
	<u>Anbau:</u> Kunststofffenster mit 2-Scheibenisolierverglasung Einbau 2007 U≈ 1,3 W/m ² K (Annahme)	- saniert - Richtwert EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m ² K) eingehalten
Bodenplatte	<u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,6 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- unsaniert - keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Richtwert EnEV 2014 U= 0,35 W/(m ² K) nicht eingehalten
	<u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	

Tabelle 69: Turnhalle 25 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.16.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 92: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	indirekte Wärmeübergabe in Heizung und Warmwasserbereitung Wärmeübergabe über Gebläsekonvektoren in Wandnischen	- Station in einwandfreiem Zustand - Leistung deutlich höher als vorhanden
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	- hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	Lüftungsanlage nicht vorhanden Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)	- schlechte Raumluftqualität - hohe Wärmeverluste - Fenstergriffe nicht erreichbar - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	- keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 70: Turnhalle 25 - TGA und Bewertung

3.16.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 25 Hegelstraße						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		4460				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		662				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F_x$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	744	1,05	1	781,2	WK
Boden Halle	A_G	460	0,8	0,25	92	WK
Boden Anbau	A_G	291	0,8	0,25	58,2	WK
Dach	A_D	751	0,85	1	638,35	WK
Fenster Halle	A_F	70	5,8	1	406	WK
Fenster Anbau	A_F	30	1,3	1	39	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	2346		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	2014,75	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		234,6	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		2249,35	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		148457,1	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 h^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	847,4	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 h^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		55928,4	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,52601	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	35	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	992	kWh/a
	Südost bis Südwest	65	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	4975	kWh/a
	Ost und West			$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	5968	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	14564	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	19505	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	184880	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,86	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	214977	kWh/a
	pro m^2 NGF				324,7	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 71: Bedarfsberechnung TH 25 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 215.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 662 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert

von 324 kWh/m²a (ohne Warmwasser). Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 (siehe Tabelle 5 aus Baustein 1) bei ca. 105.000 kWh (157 kWh/m²a, inkl. Warmwasser). Der Verbrauch ist somit deutlich niedriger als der vereinfacht berechnete Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine sehr niedrige Auslastung von 62 % (2. niedrigste Auslastung aller Hallen). Diese könnte ebenfalls Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

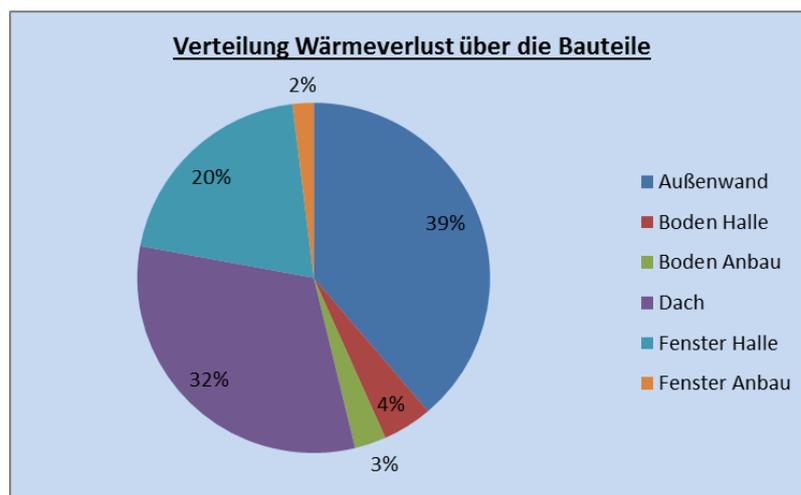


Abbildung 93: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die Außenwände (39 %) und das Dach (32%) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.16.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Dämmung der Außenwand 14 cm WäDä U ≤ 0,28 W/m ² K	105.000 €	ca. 20	ca. 4.000	ca. 1.900€
2 Dämmung Dach nach EnEV auf U ≤ 0,2 W/m ² K	128.000€	ca. 18	ca. 3.600	1.700 €
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf U ≤ 0,35 W/m ² K	90.000 €	ca. 4	ca. 800	400 €
4 Sanierung Lichtband Halle mit Doppelstegplatten in Halle auf U ≤ 1,3 W/m ² K	12.000 €	ca. 12	ca. 2.400	1150 €
5 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	4.000	1.900 €
6 Ertüchtigung HL-Anlage	10.000 €	5	900	450 €
7 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 72: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 25 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)
- Einbau einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger

3.17. Turnhalle 26 Hamburger Allee 122 (Judo Halle)

Kurzübersicht der Turnhalle Hamburger Allee

Adresse:

19063 Schwerin
 Hamburger Allee 122
 Ansprechpartner: Hr. Kraus

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1981
Nettogrundfläche	748 m ²
Typenbezeichnung	SH 15 x 30 LM



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	13.020
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	138.715
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- keine

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Wärmeübergabestation vollkommen veraltet
- Lüftungsanlage nicht vorhanden

3.17.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 26 in der Hamburger Allee handelt es sich um den Typenbau SH 15 x 30 LM (Größe Sportbereich 15 x 30 m) aus dem Jahr 1981. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk (Halle) und einem seitlichen Anbau für den Geräte-, Sozial- und Technikbereich. Bisher wurden keine energetischen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

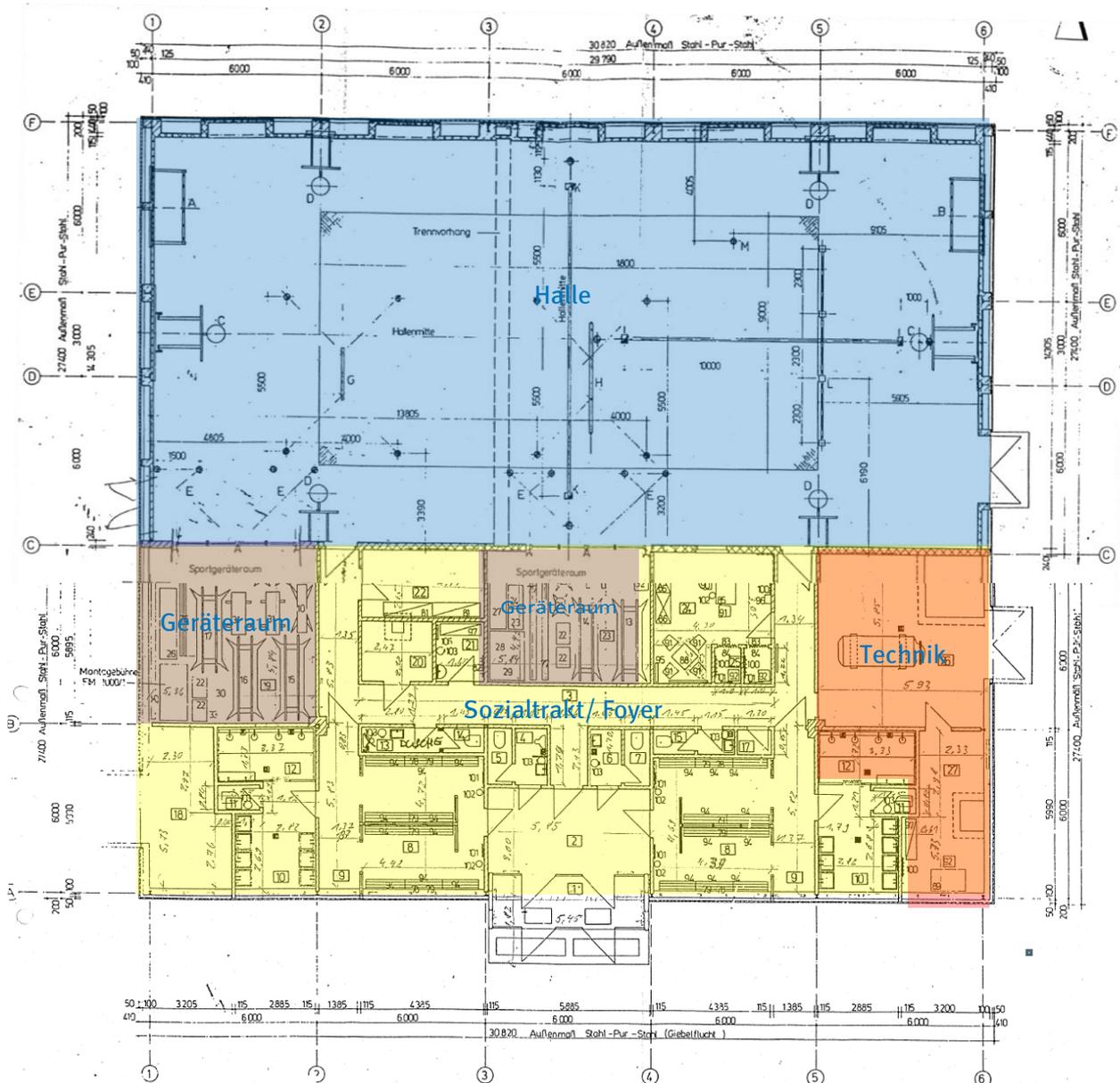


Abbildung 94: Grundriss TH 26 - Typ SH 15 x 30 LM (Quelle: ZGM)

Schnitt:

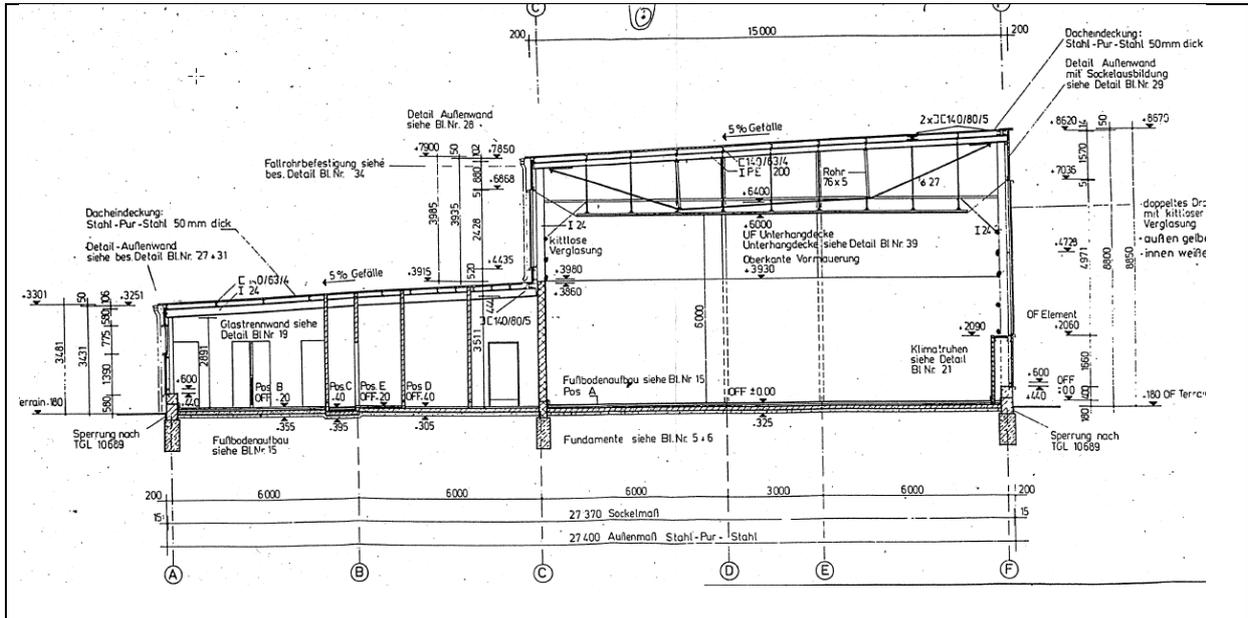


Abbildung 95: Schnitt durch Halle 26 - Typ SH 15x30 LM

Ansichten:



Abbildung 96: Ansichten TH 26 Hamburger Allee 122 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 97: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zu Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

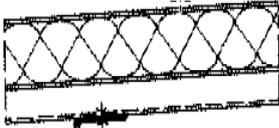
Bauteil	Beschreibung ⁽⁵⁾	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Sandwichelemente mit 50 mm Dämmung U-Wert ca. 0,85 W/(m²K) 	- unsaniert - Dämmung gering somit ist Wärmeverlust groß - Dämmung Standard heute ca. 18 - 22 cm mit WLG 035 - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,20 W/(m²K)
Außenwand	Sandwichelemente mit 50 mm Dämmung (Stahl – PUR – Stahl) U-Wert ca. 0,85 W/(m²K)	- energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K) (12 – 14 cm Wärmedämmung) -
Fenster	<u>Halle:</u> Drahtglas, starke Beschädigungen und undicht U≈ 5,8 W/m²K <u>Anbau:</u> Kunststofffenster mit Einscheibenverglasung, tlw. Drahtglas U≈ 5,8 W/m²K	- teilweise Beschädigungen der Glaselemente, Fensterscharniere ausgebrochen und Fenster undicht - Vorgabe EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m²K) nicht eingehalten -
Bodenplatte	<u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m²K ⁽⁶⁾ abgeschätzt <u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m²K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- unsaniert - keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,35 W/(m²K)

Tabelle 73: Turnhalle 26 - Bauliche Hülle und Bewertung

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	<p>direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung</p> <p>Wärmeübergabe über Gebläsekonvektoren in Wandnischen</p> <p>Wärmeübergabestation und Umwälzpumpen überdimensioniert und veraltet</p>	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - Heizleitungen der Heizkreise zu den Lüftungswärmetauschern in teilweise schlechtem Zustand (Stahl korrodiert) - warmgehende Rohrleitungen zu den Wärmeübertragern teilweise sehr schlecht wärmegeämmt
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage nicht vorhanden</p> <p>Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - schlechte Raumluftqualität - hohe Wärmeverluste - Fenstergriffe nicht erreichbar - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 74: Turnhalle 26 - TGA und Bewertung

3.17.2. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 26 Hamburger Allee 122						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		3800				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		748				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	600	0,85	1	510	WK
Boden	A_G	840	0,8	0,25	168	WK
Dach	A_D	840	0,85	1	714	WK
Fenster	A_F	240	5,8	1	1392	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	2520		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	2784	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		252	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F) + A \cdot 0,10$		3036	WK
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		200376	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	722	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		47652	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,66316	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost			$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Südost bis Südwest			$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Ost und West	240	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	10546	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	10546	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	16456	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	25652	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	222376	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,86	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	258577	kWh/a
	pro m^2 NGF				345,7	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 75: Bedarfsberechnung TH 26 (eigene Berechnung)

Aus der vereinfachten Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 259.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 748 m^2 ergibt sich ein Energiebe-

darfskennwert von 345 kWh/m²a. Der tatsächliche Energieverbrauch (siehe Tabelle 5 aus Baustein 1) lag im Jahr 2014 bei ca. 139.000 kWh (185 kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit deutlich niedriger als der vereinfacht berechnete Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine sehr niedrige Auslastung von 58 % (niedrigste Auslastung aller Hallen). Diese könnte ebenfalls Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

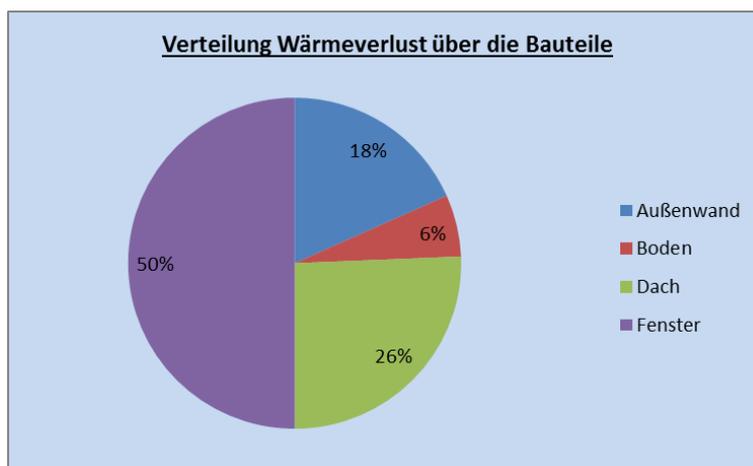


Abbildung 99: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die Fenster (50 %) und das Dach (26 %) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.17.3. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme		Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
			Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1	Neue Fassadenbekleidung/ Sandwich-Elemente auf $U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	150.000 €	ca. 11	ca. 2.900	ca. 1.400€
2	Dämmung Dach nach EnEV auf $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	210.000€	ca. 14	ca.3.700	1.800 €
3	Austausch Fußboden mit Dämmung auf $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	150.000 €	ca. 3	ca. 1.000	400 €
4	Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle auf $U \leq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	72.000 €	ca. 33	8.700	4.100 €
5	Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	5.600	2.200 €
6	Ertüchtigung HL-Anlage	10.000 €	10	2.800	1.100 €
7	Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 76: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 26 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)
- Einbau einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger

3.18. Turnhalle 27 Gutenbergschule

Kurzübersicht der Turnhalle Gutenbergschule

Adresse:

19053 Schwerin
 Ziolkowskistraße 16 a
 Ansprechpartner: Hr. Framke

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1982
Nettogrundfläche	758 m ²
Typenbezeichnung	SH 15 x 30 LM



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	5.175
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	132.506
Warmwasser (WW)	9.690

Bisherige energetische Sanierungen:

- keine

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Lüftungsanlage nicht vorhanden

3.18.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 27 der Gutenberg-Schule handelt es sich um den Typenbau SH 15 x 30 LM (Größe Sportbereich 15 x 30 m) aus dem Jahr 1982. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk (Halle) und einem seitlichen Anbau für den Geräte-, Sozial- und Technikbereich. Bisher wurden keine energetischen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

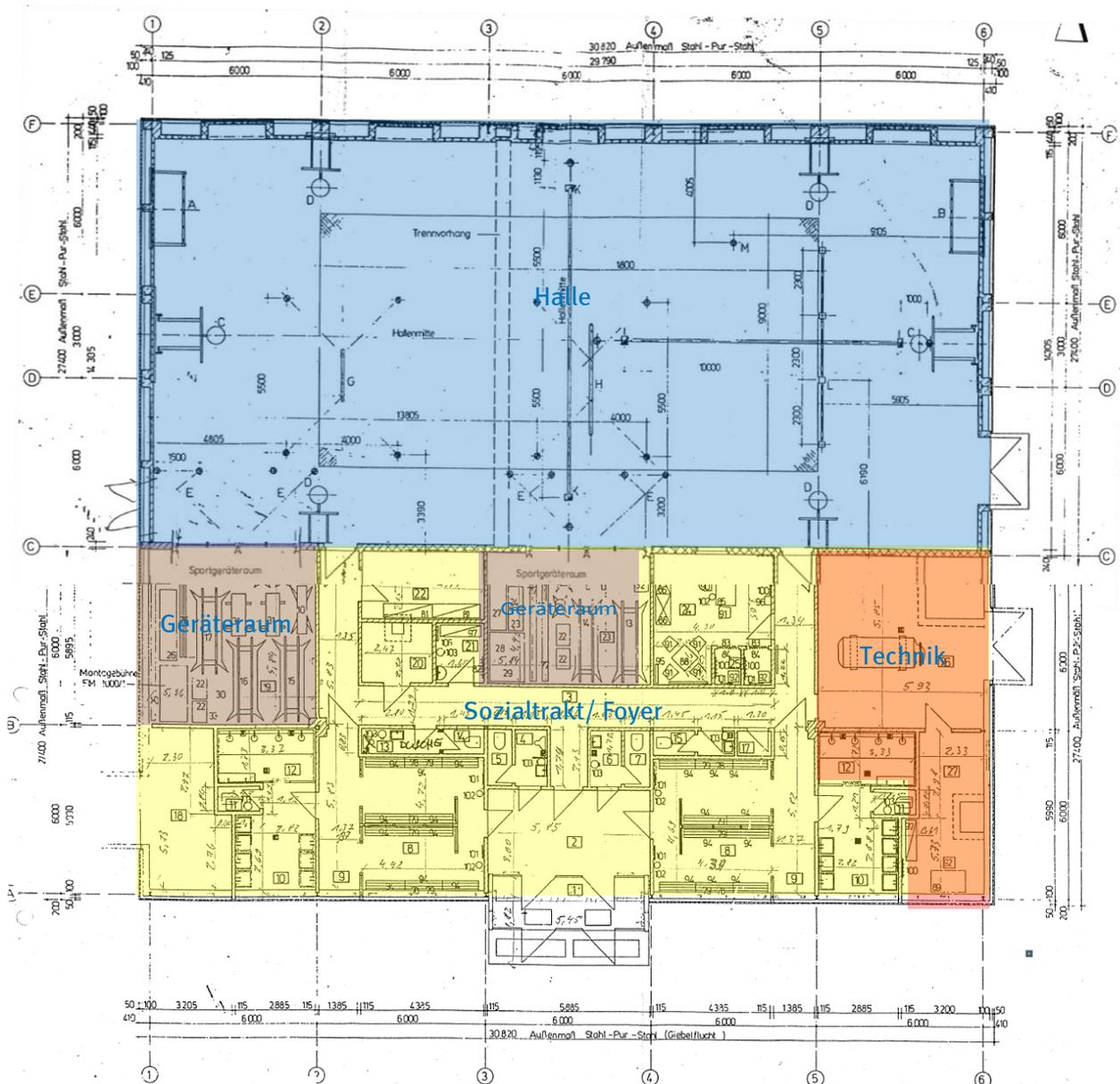


Abbildung 100: Grundriss TH 27 - Typ SH 15 x 30 LM (Quelle: ZGM)

Schnitt:

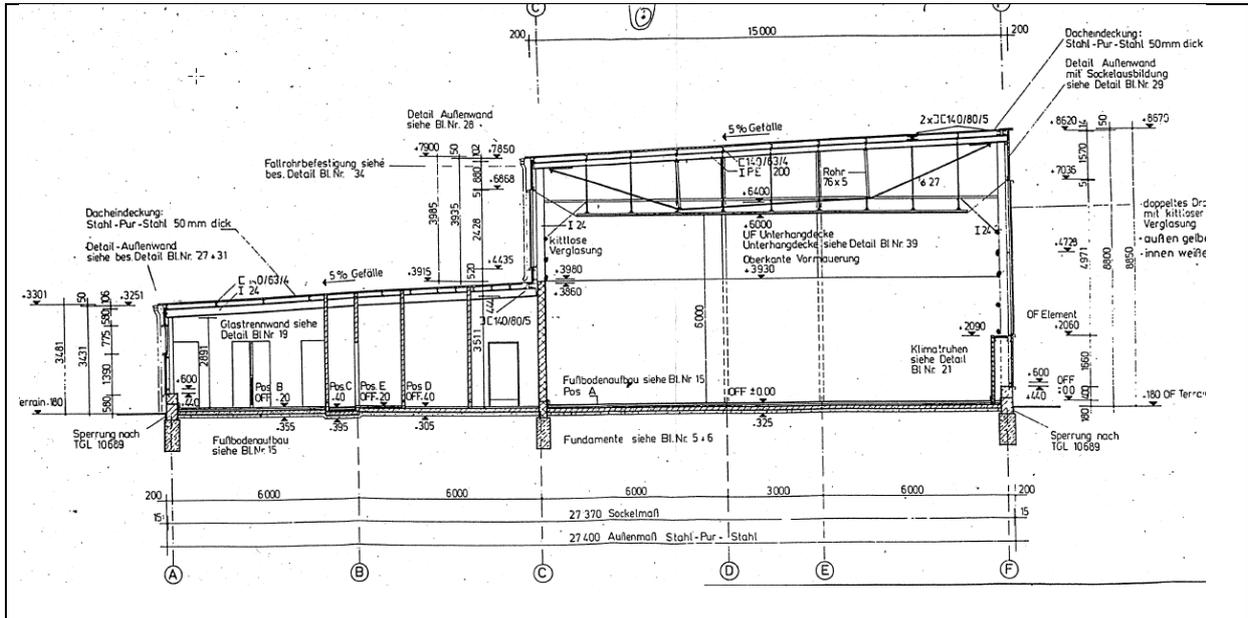


Abbildung 101: Schnitt durch Halle 27 - Typ SH 15x30 LM

Ansichten:



Abbildung 102: Ansichten TH 27 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

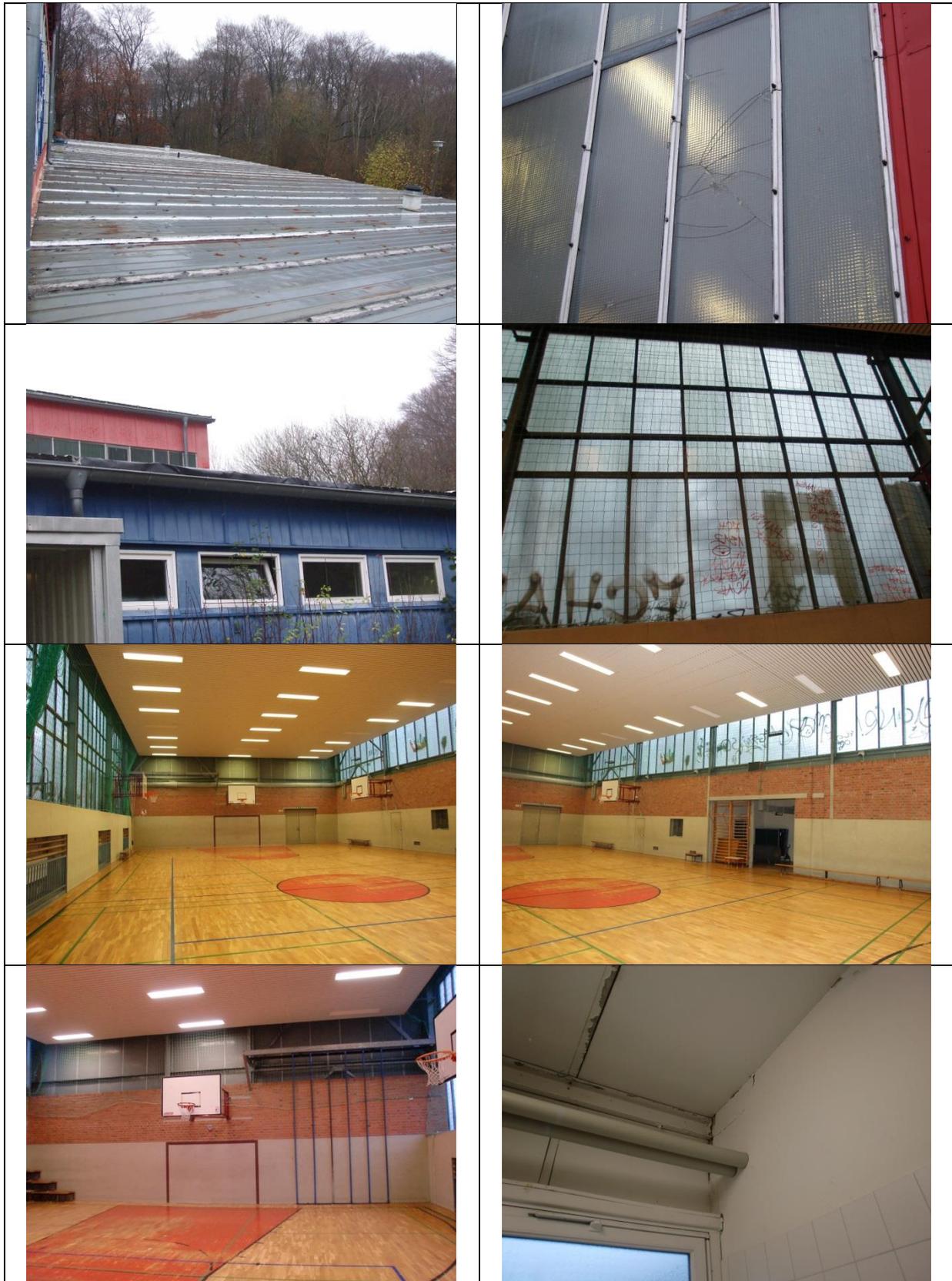


Abbildung 103: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zu Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

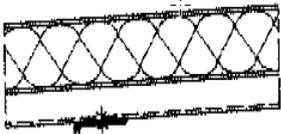
Bauteil	Beschreibung ⁽⁵⁾	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Sandwichelemente mit 50 mm Dämmung (Stahl – PUR – Stahl) U-Wert ca. 0,85 W/(m ² K) 	- unsaniert - Dämmung gering somit ist Wärmeverlust groß - Dämmung Standard heute ca. 18 - 22 cm mit WLG 035 - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,20 W/(m ² K)
Außenwand	Sandwichelemente mit 50 mm Dämmung (Stahl – PUR – Stahl) U-Wert ca. 0,85 W/(m ² K)	- energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,28 W/(m ² K) (12 – 14 cm Wärmedämmung)
Fenster	<u>Halle:</u> Drahtglas, starke Beschädigungen und undicht U≈ 5,8 W/m ² K <u>Anbau:</u> Kunststofffenster mit Einscheibenverglasung, tlw. Drahtglas U≈ 5,8 W/m ² K	- teilweise Beschädigungen der Glaselemente, Fensterscharniere ausgebrochen und Fenster undicht - Vorgabe EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m ² K) nicht eingehalten -
Bodenplatte	<u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt <u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- unsaniert - Keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,35 W/(m ² K)

Tabelle 77: Turnhalle 27 - Bauliche Hülle und Bewertung

3.18.2. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 104: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	Indirekte Wärmeübergabe in Heizung und Warmwasserbereitung Wärmeübergabe über statische Heizflächen in Wandnischen	- Station in einwandfreiem Zustand - Leistung deutlich höher als vorhanden
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	- hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C (abgeschaltet?)
Lüftung	Lüftungsanlage nicht vorhanden Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)	- schlechte Raumluftqualität - hohe Wärmeverluste - Fenstergriffe nicht erreichbar - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	- keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 78: Turnhalle 27 - TGA und Bewertung

3.18.3. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 27 Gutenbergschule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		3800				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		758				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	600	0,85	1	510	WK
Boden	A_G	840	0,8	0,25	168	WK
Dach	A_D	840	0,85	1	714	WK
Fenster	A_F	240	5,8	1	1392	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
					0	WK
	ΣA	2520		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	2784	WK
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		252	WK
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		3036	WK
	Q_T - absolut				$66 \cdot H_T$	200376 kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 h^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	722	WK
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 h^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK
	Q_v - absolut				$66 \cdot H_v$	47652 kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,66316	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	144	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	4082	kWh/a
	Südost bis Südwest	96	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	7348	kWh/a
	Ost und West			$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
				ΣQ_s	11431	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	16676	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	26701	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	221327	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,86	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	257357	kWh/a
	pro m^2 NGF				339,5	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 79: Bedarfsberechnung TH 27 (eigene Berechnung)

Aus der vereinfachten Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 231.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 758 m^2 ergibt sich ein Energiebe-

darfskennwert von 305 kWh/m²a. Der tatsächliche Energieverbrauch (siehe Tabelle 5 aus Baustein 1) lag im Jahr 2014 bei ca. 132.500 kWh (175 kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit deutlich niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine niedrige Auslastung von 75 %. Diese könnte ebenfalls Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

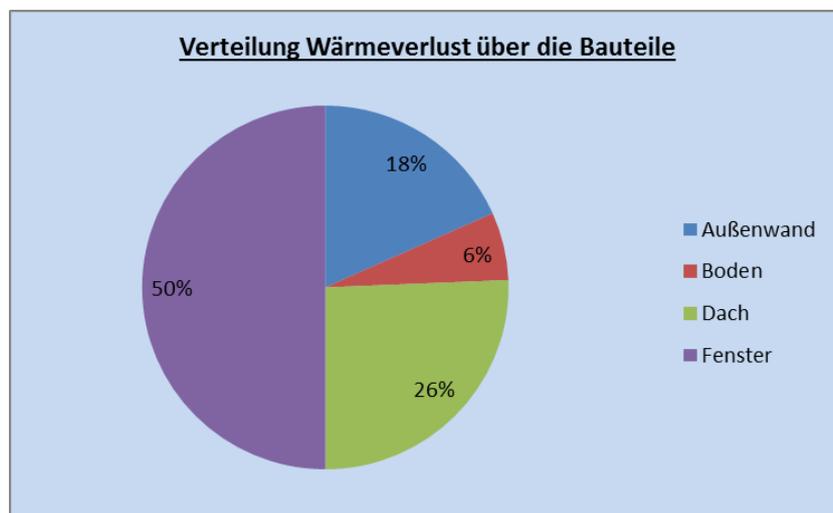


Abbildung 105: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die Fenster (50%) und das Dach (26%) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

3.18.4. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen		
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]
1 Neue Fassadenbekleidung/ Sandwich-Elemente auf $U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	150.000 €	ca. 10	ca. 2.500	ca. 1.200€
2 Dämmung Dach nach EnEV auf $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	210.000€	ca. 14	ca. 3.500	ca. 1.700 €
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	150.000 €	ca. 3	ca. 800	ca. 350 €
4 Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle auf $U \leq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	72.000 €	ca. 33	ca. 8.300	ca. 3.900 €
5 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	5.000	2.400 €
6 Ertüchtigung HL-Anlage	10.000 €	10	2.500	1.200 €
7 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%

Tabelle 80: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 27 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)
- Einbau einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger

3.19. Alternative Lösungen zur Energiebedarfsdeckung

Als alternative Lösungen zur Energiebedarfsdeckung können nur Lösungen in Betracht gezogen werden, welche sowohl einen größeren Beitrag zum Klimaschutz als auch eine Kosteneinsparung insgesamt ermöglichen. Hierdurch fallen sicherlich realisierbare Lösungen für eine Energieeinsparung „um jeden Preis“ aus Gründen der Nachhaltigkeit und der insgesamt entstehenden Kosten heraus.

Zur Deckung des emissionsrelevanten Energiebedarfes können vor dem Hintergrund der bestehenden Versorgungsqualität also nur Lösungen mit insgesamt deutlich höherem Beitrag zum Klimaschutz und gleichzeitiger Senkung der langfristigen Gesamtkosten favorisiert werden.

Kumulierter Energieverbrauch verschiedener Energieträger und Energieversorgungen					
Ergebnisse berechnet mit GEMIS Version 4.93 (Sommer 2014)					
Energieart	Prozeß ¹⁾	Kumulierter Energieverbrauch [kWh _{Prim} /kWh _{End}]			Treibhausgase CO ₂ -Äquivalent [g/kWh _{End}]
		Gesamt	nicht regenerativer Anteil	regenerativer Anteil ³⁾	
Brennstoffe ²⁾	Heizöl EL	1,16	1,15	0,00	313
	Erdgas H	1,13	1,13	0,00	241
	Flüssiggas	1,10	1,10	0,00	261
	Steinkohle	1,06	1,06	0,00	427
	Braunkohle	1,21	1,20	0,01	449
	Holzhackschnitzel	1,05	0,03	1,01	14
	Brennholz	1,01	0,01	1,00	11
	Holz-Pellets	1,08	0,06	1,02	18
Fernwärme Mix	Deutschland (gemäß Gemis)	1,32	1,08	0,24	295
Nahwärme Mix	Beispielnetz mit 74 WE	0,98	0,98	0,00	216
Solarwärme am Gebäude	Flachkollektor	1,04	0,03	1,00	13
	Vakuumröhrenkollektor	1,05	0,05	1,00	18
Strom	Strom-mix	2,67	2,12	0,55	617
	PV-Strom (amorph)	1,29	0,27	1,03	83
	PV-Strom (monokristallin)	1,53	0,47	1,05	129
	PV-Strom (multikristallin)	1,25	0,23	1,02	62
	Wind (Park Mittelwert 2010)	1,03	0,03	1,00	10

¹⁾ Vorgelagerte Kette für Endenergie bis Übergabe im Gebäude, inkl. Materialaufwand für Wärme-/Stromerzeuger und ohne Hilfsenergie im Haus

²⁾ Bezugsgröße: unterer Heizwert H_u

³⁾ Der regenerative Anteil beinhaltet auch sekundäre Ressourcen, z. B. Restholz und Müll

IWU, 17.12.14

Der Primärenergiefaktor der Stadtwerke Schwerin für Fernwärme beträgt aufgrund des Einsatzes erneuerbarer Energieträger $f_p = 0,62$ (zertifizierter Wert der SW SN; siehe 3.1.4.).

Die Fernwärme der Stadtwerke Schwerin wird mit einem CO₂-Äquivalent von 190,8 g CO₂/kWh (Quelle: SWS; siehe 2.3.3.) bereitgestellt.

Aus der vorstehenden Tabelle geht hervor, dass sowohl biogene Brennstoffe als auch Solarenergie niedrigere CO₂-Äquivalente bieten.

Da die Turnhallen alle im Stadtgebiet liegen und mehrheitlich bereits einen Fernwärmeanschluss besitzen, scheidet die dezentrale Nutzung biogener Brennstoffe zur Wärmeerzeugung einer Turnhalle als unrealistisch aus. Daher wird hier nur die Solarenergienutzung betrachtet.

3.19.1. Solarenergienutzung - Fotovoltaik

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2017 in seiner noch nicht endgültig bestätigten Fassung enthält sehr komplexe Regelungen zur Vergütung von Solarstrom, u. a. die Teilnahme an einem Ausschreibungsverfahren ab 750 kW_p oder gestaffelte Vergütungssätze je nach Leistung von 10 – 100 kW_p für verschiedene Anlagentypen.

Bei realistischer Betrachtung lässt sich unter Berücksichtigung der Hallendachflächen für eine installierbare Leistung von 10 – 100 kW_p nach derzeitigem Kenntnisstand eine Vergütung für eingespeisten Solarstrom in Höhe von ca. 12 Cent/kWh annehmen. Bei einem Ertrag von 900 kWh/kW_p folgt hieraus bei Kosten von derzeit 1.500 EUR/kW_p eine Rohamortisation von ca. 14 Jahren. Werden die Kosten für Finanzierung, Wartung, Betrieb und Instandhaltung hinzugezogen ergeben sich selbst bei konservativer Rechnung und Berücksichtigung etwaiger Fördermittel Realamortisationen aus Einspeisung von 16 – 20 Jahren. Da der Strom hierbei eingespeist wird, muss trotzdem die komplette für die Halle benötigte Strommenge gekauft werden. Es kommt unter dem Strich zu keiner klimafreundlichen Verbesserung.

Bei einer Eigenverbrauchslösung könnte hingegen annähernd die doppelte "Vergütung"= Fremdbezugskostenvermeidung angenommen werden, da die Höhe des vermiedenen Fremdbezugspreises bei derzeit 0,2495 EUR/kWh liegt. Hieran sind allerdings zur Erlangung der Eigenverbrauchsanerkennung die Forderung der Gleichzeitigkeit der Erzeugung und des Verbrauches geknüpft. Da der Bedarf an Elektroenergie zu Zeiten der Haupteinstrahlung fraglich ist, dürfte die wirtschaftliche Auslegung einer solaren Eigenstromdeckung für Turnhallen äußerst schwierig werden. Dennoch könnte hier durch einen Fachplaner eine objektbezogene Untersuchung erstellt werden.

Erschwerend hinzu kommt der in der vorliegenden Untersuchung des ZGM „Solaranlagen auf Dächern kommunaler Gebäude“ zum Ausdruck gebrachte Unsicherheitsfaktor der fehlenden Aussagen zur Tragfähigkeit von Dachtragwerken insbesondere auf den alten Turnhallendächern. Dieser Umstand mündet in seiner Beseitigung entweder in der Hinfälligkeit der Machbarkeit oder in einer erheblichen Kostensteigerung der Projektkosten und damit dem Verlust der Wirtschaftlichkeit.

Zur Klärung dieser Fragen bedarf es im Bedarfsfall einer detaillierten Fachplanung.

3.19.2. Solarenergienutzung - Solarthermie

Die Nutzung der Sonne zur Warmwasserbereitung stellt ebenfalls dieselben Anforderungen an die Tragfähigkeit der Dächer. Darüber hinaus kann bei einem Warmwasser-Energieverbrauch von 7.000 kWh -10.000 kWh und einer optimistischen solaren Deckung von 60 % eine Einsparung von ca. 5.000 kWh oder etwa 500 EUR/a erzielt werden. Die Anlage, die das schafft, kostet fertig aufs Dach gebaut 8.000 EUR bis 10.000 EUR, also ist eine Rohamortisation von 20 Jahren ersichtlich. Werden wiederum die Kosten für Finanzierung, Wartung, Betrieb und Instandhaltung hinzugezogen ergeben sich selbst bei konservativer Rechnung und Berücksichtigung etwaiger Fördermittel Realamortisationen von 25 – 30 Jahren. Dies übersteigt die Absehbarkeit der Nutzung und die Vorhersagbarkeit der Kosten- und Bedarfsentwicklung bei Weitem, wenngleich die Warmwassererzeugung durch klimafreundliche Sonnenenergienutzung möglich wäre.

3.19.3. Andere Alternativen mit klimafreundlicher Wärmeerzeugung

- Brauchwasser-Wärmepumpe:

Die Erzeugung des Warmwasserbedarfes durch Abwärme mittels Abluftwärmepumpen zur Brauchwasserbereitung ist grundsätzlich möglich. Bei 10.000 kWh Wärmebedarf entstehen 300 EUR Kostenersparnis und ca. 774 kg CO₂-Einsparung je Halle. Demgegenüber muss mit Kosten in Höhe von ca. 5.000 EUR für die baulichen Maßnahmen zuzüglich Demontage Altanlagen gerechnet werden.

- Erdgas BHKW:

Die Errichtung eines erdgasbetriebenen BHKW zur Wärme und Stromerzeugung kann bei wärmegeführtem Betrieb im Grundlastbetrieb aus Erdgas sowohl Wärme als auch Strom für den Eigenverbrauch erzeugen. Legt man das CO₂-Äquivalent des Erdgases und den elektrischen Wirkungsgrad eines Klein-BHKWs von 30 % zugrunde, ergibt die Strombilanz eine um 110 g CO₂ günstigere CO₂-Emission je kWh. Da die Anlage jedoch nach dem KWKG wärmegeführt gefahren werden sollte, lässt die mit 160 g CO₂ höhere, deutlich schlechtere CO₂-Bilanz der Wärmeerzeugung gegenüber dem Fernwärmebezug keine Gesamtverbesserung der Klimabilanz zu.

4. Feinanalyse (Baustein 3)

4.1. Vorgehensweise

4.1.1. Grundlagenermittlung

Von Dezember 2015 bis Ende Januar 2016 wurden die ausgewählten 5 Liegenschaften der Landeshauptstadt Schwerin von 2 Fachplanern begangen. Während der ca. zwei- bis dreistündigen Besuche wurden nach einer zuvor entwickelten und vorbereiteten Checkliste Eckdaten der Bauphysik, der Heizungsanlagen, der Beleuchtung und anderer größerer Stromverbraucher erfasst. Zudem erfolgte eine umfangreiche Fotodokumentation.

Im Bereich Haustechnik wurden folgende Anlagen der Liegenschaften überprüft:

- Heizanlage mit Kessel, Brenner, Heizkreisen, Pumpen, Regelung und Warmwasserbereitung
- Heizkörper und Thermostatventile
- Elektroverteilung
- Lüftung
- Sanitäre Anlagen
- Beleuchtung
- Sonstige Stromverbraucher

Neben der reinen Datenaufnahme wurden auch die jeweiligen Hausmeister der Objekte zum technischen Zustand und Sanierungen der Hallen befragt. Außerdem wurden angetroffene Hallennutzer zum Thema Behaglichkeit in den Hallen befragt.

In Verbindung mit den vom Zentralen Gebäudemanagement der Landeshauptstadt Schwerin (ZGM) bereitgestellten sonstigen Liegenschaftsdaten (Anschrift, Flächen; Grundrisse, Verbrauchsdaten, Klimadaten) steht damit eine gute Datengrundlage für die Konzepterstellung zur Verfügung. Um die vorliegenden Daten weiter zu verifizieren, wurden zudem die Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin der verschiedenen Sporthallen nach weiteren Grundrissen, Schnitten oder Angaben zu Bauteilaufbauten durchsucht.

Ergänzt um Liegenschaftsdaten wie Flächen und Verbräuche können auf der Grundlage dieser Daten Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen und die damit verbundenen Einsparpotentiale grob abgeschätzt werden.

Folgende Sporthallen wurden im Baustein 3 betrachtet:

Sporthallen Übersicht Baustein 3			
Nr.	Objektbezeichnung	Straße	Baujahr
10	TH Fritz-Reuter-Schule	Von-Thünen-Straße 9	1936
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	Tallinner Straße 6	1976
18	TH Berufliche Schule Bautechnik	Friesenstraße 29a	1970
19	TH Berufliche Schule Technik	Gadebuscher Straße 153	1971
20	TH Siemens-Schule	Ratzeburger Straße 44	1975

Tabelle 81: Übersicht der Hallen im Baustein 3

Die Vorgehensweise erfolgte analog der im Baustein 2. Allerdings wurde zusätzlich der Energieverbrauch der 5 betrachteten Hallen in verschiedenen Intervallen erfasst. Die Erfassung erfolgte durch das Zentrale Gebäudemanagement der Landeshauptstadt Schwerin.

Zur genaueren Abschätzung der verschiedenen Einflüsse auf den Energieverbrauch soll im Rahmen der Erarbeitung des Klimaschutzteilkonzeptes eine Verbrauchserfassung für Strom und Wärme erfolgen. Die jeweiligen Messintervalle sollen laut dem Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten in Anlehnung an die Empfehlungen des deutschen Städtebundes erfolgen. Die Intervalle sind bei der Wärme von der Leistung der jeweiligen Wärmeversorgungsanlage und beim Strom vom jährlichen Stromverbrauch abhängig.

4.1.2. Aufbau von Baustein 3 (Feinanalyse)

Der Baustein 3 ist in Anlehnung an die Anforderungen des Merkblatts für die Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten und die Angebotsaufforderung des ZGM Schwerin gegliedert und beinhaltet folgende Bestandteile:

1. Geometrie, Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle
 - a. Steckbrief mit den wichtigsten Angaben zur energetischen Qualität der Hallen; Einteilung der baulichen Hülle Kategorie:
 -  unsaniert/deutliche Abweichung ggü. Richtwert für U-Wert der EnEV 2014
 -  tlw. saniert/mittlere Abweichung ggü. Richtwert für U-Wert der EnEV 2014
 -  saniert/Richtwert für U-Wert der EnEV 2014 eingehalten
 - b. Grundrisse und Gebäudeschnitte
 - c. Fotodokumentation der baulichen Hülle
 - d. Bauteilbeschreibung/-bewertung (im Vergleich mit Richtwerte des Referenzgebäudes der EnEV 2014)
 - Festlegung von den vorhandenen Bauteilaufbauten und U-Werte durch Recherche der Bestandsunterlagen in Verbindung mit den Erkenntnissen vor Ort
 - Wenn keine Daten verfügbar, wurden diese mittels Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07.April 2015 festgelegt
 - Bewertung der Bauteile im Vergleich mit Richtwert des Referenzgebäudes der aktuellen Energieeinsparverordnung von 2014 (EnEV 2014)
2. Beschreibung der Wärmebrücken
 - a. Darstellung der vor Ort gefundenen Wärmebrücken und
 - b. Bewertung

3. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausstattung
 - a. Fotodokumentation
 - b. Beschreibung/Bewertung der TGA (siehe auch 3.1.4)
4. Wärmebedarfsberechnung
 - a. siehe Punkt 3.1.3
5. Verbrauchsmessung (Energiebilanz)
 - a. Auf Grundlage der vom ZGM Schwerin bereitgestellten Ablesewerte werden der Strom- und Wärmeverbrauch über verschiedene zeitliche Intervalle (nach Bedarf) dargestellt und bewertet.
6. Sanierungsvarianten/-maßnahmen
 - a. Maßnahmen auf Grundlage der Erkenntnisse vor Ort
 - b. der jeweiligen Einsparung auf Grundlage des jeweiligen Einsparpotenzials aus der Bedarfsberechnung in Verbindung mit den tatsächlichen Verbräuchen und Energiekosten aus Baustein 1
 - c. Investitionskosten: anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten; Kostenansätze mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM).

4.2. Turnhalle 10 Fritz-Reuter-Schule (Denkmal)

Kurzübersicht der Turnhalle Fritz-Reuter-Schule

Adresse:

19053 Schwerin
 Von-Thünen-Straße 9
 Ansprechpartner: Hr. Christoffer

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1936
Nettogrundfläche	384 m ²
Typenbezeichnung	-



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	5.695
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	84.154
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- keine

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Heizungsanlage Fernwärme auf neuestem Stand
- keine zentrale Warmwasserbereitung

4.2.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Die Turnhalle (Nr. 10) der Fritz-Reuter-Schule ist ein unter Denkmalschutz stehendes Gebäude und wurde im Jahr 1936 errichtet. Die Turnhalle ist ein Anbau an das Schulgebäude (Vorderhaus). Energetische Sanierungsmaßnahmen wurden bisher nicht durchgeführt. Aufgrund der besonderen Gebäudesituation müssen alle Sanierungsmaßnahmen in enger Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde erfolgen.

Zudem ist die Energieeinsparverordnung nur begrenzt für denkmalgeschützte Bauwerke anzuwenden. Im §24 Abs. 1 der EnEV 2014 heißt es folgendermaßen: „Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.“

Nachfolgend werden die Schnitte der Turnhalle und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

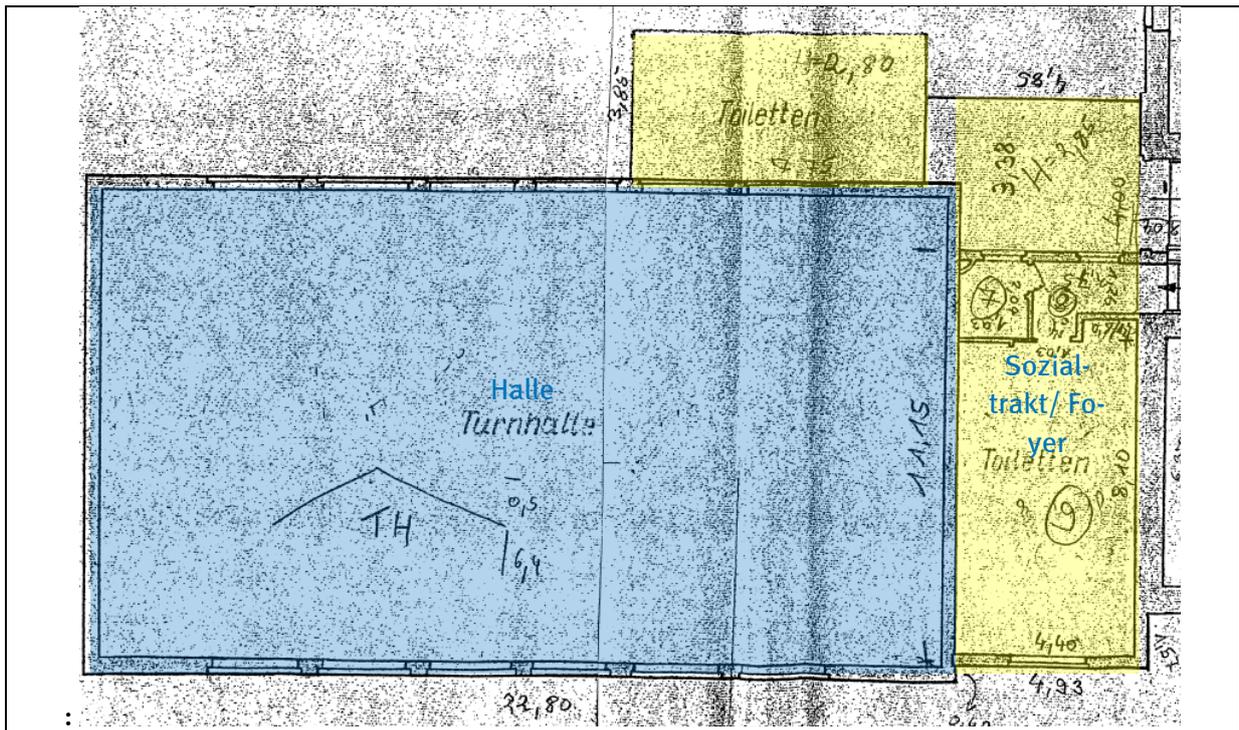


Abbildung 106: Grundriss/ Skizze TH 10 -(Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 107: Ansichten TH 10 Fritz-Reuter Schule (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 108: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Flachdach mit Bitumenabdeckung, vermutlich mit keiner/geringer Dämmung U-Wert ca. 2,1 W/(m ² K) ⁽⁷⁾	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - Dämmung keine/gering somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 -22 cm mit WLG 035 - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,20 W/(m²K)
Außenwand	massive Mauerwerkswände ohne Dämmung; Innen verputzt d≈ 50 cm ; U ≈ 1,5 W/m ² K ⁽⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,28 W/(m²K) (12 - 14 cm Wärmedämmung)
Fenster	Holzverbundfenster mit 2-Scheibenverglasung U≈ 2,9 W/m ² K; ⁽⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m²K) nicht eingehalten
Bodenplatte	Halle: Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,6 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	<ul style="list-style-type: none"> - unsaniert - keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,35 W/(m²K)
	Sozialtrakt: Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,6 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	

Tabelle 82: Turnhalle 10 - Bauliche Hülle und Bewertung

4.2.2. Beschreibung der Wärmebrücken

Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes sollen zudem die Wärmebrücken der einzelnen Turnhallen betrachtet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die auffälligsten Fehlstellen in der thermischen Gebäudehülle dargestellt.

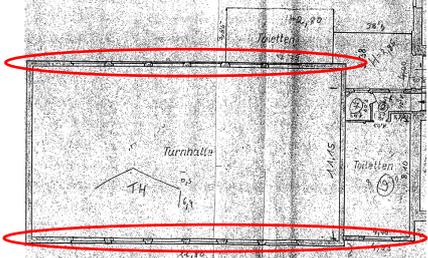
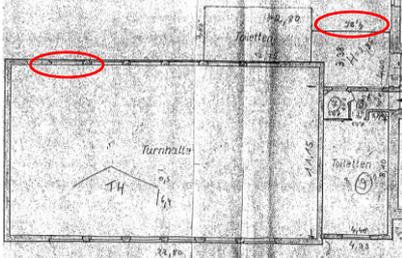
Wärmebrücke	Beschreibung
<p>Undichtheiten an den Fenstern:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - aufgrund der Konstruktion von Holzverbundfenster weisen diese i.d.R. große Luftdurchlässigkeiten auf (Lüftungswärmeverluste) - warme Luft kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste möglich 
<p>Undichtheiten an Türen:</p> 	<p>Holztüren in Halle sind teilweise luftdurchlässig (Lüftungswärmeverluste). Die Fehlstelle in der Fassade hat sich durch Korrosion der stark vergrößert.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärme kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste 
<p>Weitere Wärmebrücken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeecken • Fensterlaibungen • Dachanschluss 	<p>Aufgrund der ungedämmten Bauteile kann eine Vielzahl von möglichen Wärmebrücken benannt werden. Die Gebäudehülle befindet sich generell in einem energetisch unsanierten (schlechten) Zustand und somit ist der Einfluss dieser Wärmebrücken vergleichsweise gering.</p>

Tabelle 83: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 10 (eigene Darstellung)

Als Schwachstellen können zum einen der allgemeine Wärmeverlust über die Gebäudehülle und zum anderen die Luftdichtheit der Fenster benannt werden. Neben den Problemen mit der Luftdichtheit gibt es teilweise Probleme mit der Beschichtung der Fenster. Bei einigen Holzfenstern ist in Teilbereichen keine Beschichtung mehr vorhanden und das Holz ist ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Somit ist eine zeitnahe und deutliche Verschlechterung dieser Bauteile erwarten.

4.2.3. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 109: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	indirekte Wärmeübergabe in Heizung ohne Warmwasserbereitung Wärmeübergabe über statische Heizflächen an der Hallendecke bzw. Wandluftherhitzer	- Station in einwandfreiem Zustand - Leistung deutlich höher als vorhanden - Strahlungswärme durch wasserführende Deckenstrahlplatten - Luftherhitzer zur Schnellaufheizung
Warmwasser	dezentral	- hohe Nebenkosten, schlechte Klimabilanz (el. Strom) - geringe Investkosten, hohe Verfügbarkeit, geringe Bereitstellungskosten
Lüftung	Lüftungsanlage nicht vorhanden	- schlechte Raumlufqualität - hohe Wärmeverluste - Fenstergriffe nicht erreichbar - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	- keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise

Tabelle 84: Turnhalle 10 - TGA und Bewertung

4.2.4. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 10 Fritz-Reuter-Schule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		2610				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		384				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A_x U_x F_x$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	410	1,5	1	615	W/K
Boden	A_G	489	1,6	0,25	195,6	W/K
Dach	A_G	489	2,1	1	1026,9	W/K
Fenster	A_D	52	2,9	1	150,8	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
	ΣA	1440		$\Sigma A^*U^*F_x$	1988,3	W/K
g	Wärmebrückenzuschlag		$A^*0,1$		144	W/K
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A_x U_x F_x) + A^*0,10$		2132,3	W/K
	Q_T - absolut		66^*H_T		140731,8	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch		Luftdichtheit $n_{50} > 3 h^{-1}$	$0,19^*V_e$	495,9	W/K
	(Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} < 3 h^{-1}$	$0,163^*V_e$		W/K
	Q_v - absolut		66^*H_v		32729,4	kWh/a
Hüllflächenfaktor			A/V_e		0,55172	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost			$100^*0,567^*g^*A$	0	kWh/a
	Südost bis Südwest			$270^*0,567^*g^*A$	0	kWh/a
	Ost und West	52	0,5	$155^*0,567^*g^*A$	2285	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225^*0,567^*g^*A$	0	kWh/a
			ΣQ_s		2285	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22^*A_N$	8448	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95^*(Q_s + Q_i)$	10196	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	163265	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,86	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle			$= Q_h / h$		189843	kWh/a
	pro m^2 NGF				494,4	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 85: Bedarfsberechnung TH 10(eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 190.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 384 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert

von 494 kWh/m²a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 84.000 kWh (220 kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit deutlich niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften älterer Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine niedrige Auslastung von 76 %. Diese könnten ebenfalls Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich, die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

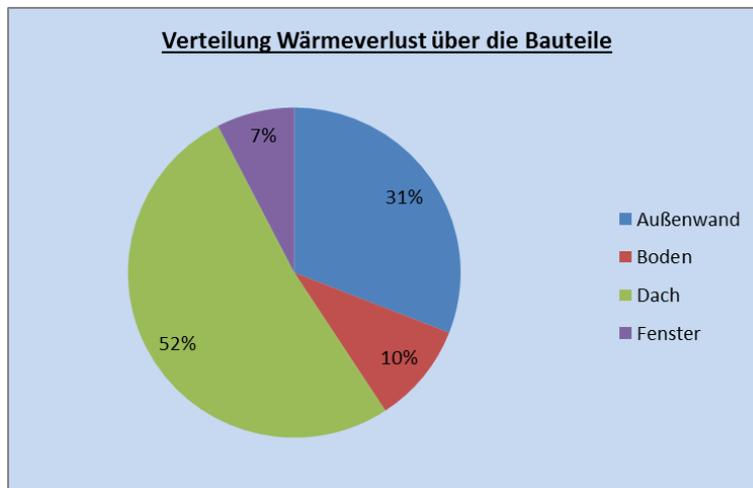


Abbildung 110: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über das Dach (52 %) und die Außenwände (31%) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

4.2.5. Energiebilanz (Verbrauchsmessung)

Zur genaueren Abschätzung der verschiedenen Einflüsse auf den Energieverbrauch wurde im Rahmen der Erarbeitung des Klimaschutzteilkonzeptes eine Verbrauchserfassung für Strom und Wärme durchgeführt. Die jeweiligen Messintervalle sollten laut dem Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten in Anlehnung an die Empfehlungen des deutschen Städtebundes erfolgen. Die Intervalle sind bei der Wärme von der Leistung der jeweiligen Wärmeversorgungsanlage und beim Strom vom jährlichen Stromverbrauch abhängig.

Folgende Ableseintervalle ergeben sich für die Turnhalle 10 der Fritz-Reuter-Schule:

- Wärme – monatliche Ablesung
- Strom – monatliche Ablesung

Die Erfassung des Verbrauchs ist im Rahmen der Konzepterarbeitung nur für einen Zeitraum von 4 Wochen (Wärme) erfolgt. Eine hallenspezifische Erfassung des Stromverbrauchs ist aufgrund fehlender Unterzähler nicht möglich. Im Anschluss an das Konzept sollte ein separater Zähler installiert werden und die Verbrauchserfassung dauerhaft durchgeführt werden. Nur so können konkrete Aussagen über die verschiedenen Einflussfaktoren des Energieverbrauchs lokalisiert werden. Die Datenerfassung ist durch das Zentrale Gebäudemanagement (ZGM) der Landeshauptstadt erfolgt.

Verbrauchsmessung Strom:

- Keine Werte verfügbar, kein eigener Stromzähler

Verbrauchsmessung Wärme:

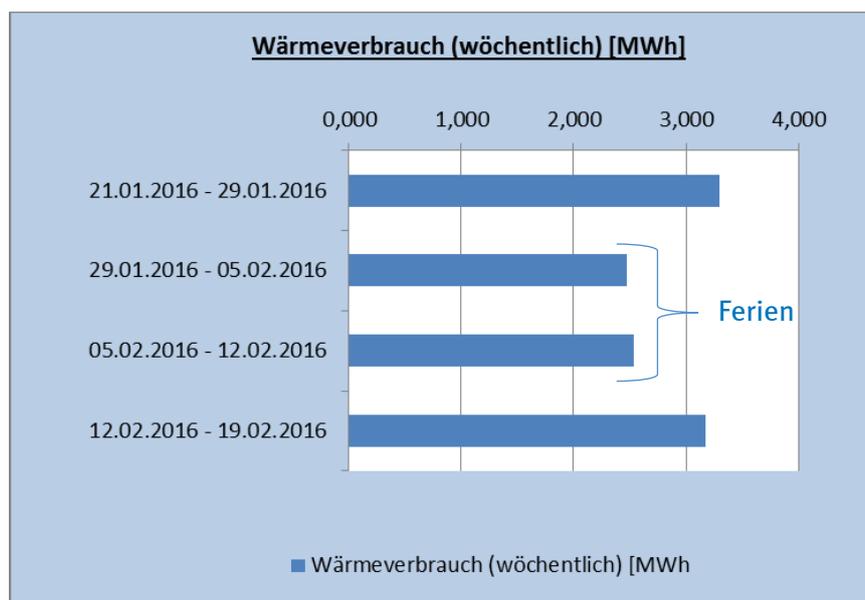


Abbildung 111: Wärmeverbrauch TH 10 vom 21.01. – 19.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)

Außentemperaturen 10.01 – 28.02:

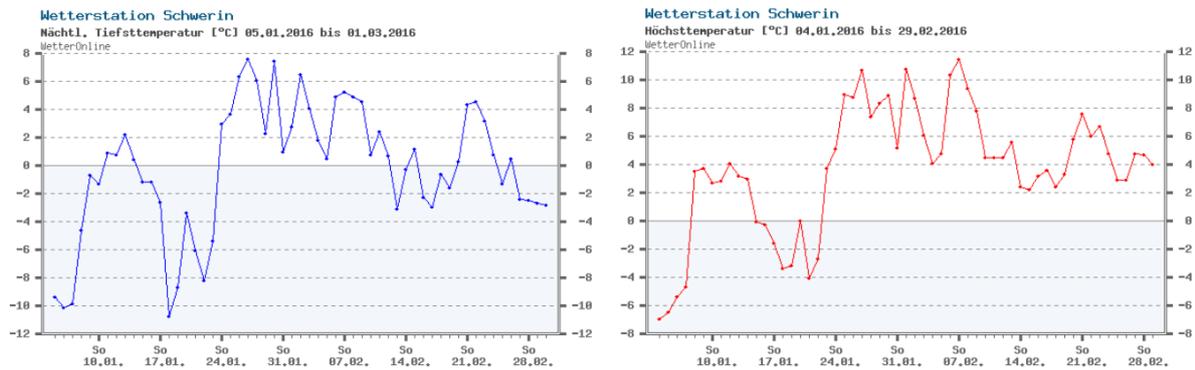


Abbildung 112: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de⁷)

Die Verbrauchsentwicklung lässt sich gut anhand der vorhandenen Außentemperaturen in dem Betrachtungszeitraum nachvollziehen. In der Woche 1 vom 21.01. 29.01. waren die Temperaturen teilweise unter 0 °C und teilweise über 0 °C (kälteste Woche) und der Wärmeverbrauch war mit 3,3 MWh am höchsten. In der darauffolgenden Woche sind die Temperaturen dann permanent im Plusbereich geblieben und der Verbrauch hat sich auf 2,5 MWh reduziert. Anschließend sind die Temperaturen wieder gefallen und der Verbrauch stieg dementsprechend. Ein Einfluss der Ferien auf den Wärmeverbrauch lässt sich nicht bzw. kaum erkennen (01.02. – 05.02.).

Genauere und detailliertere Aussagen sind nur bei einer täglichen und dauerhaften Verbrauchserfassung möglich.

Gesamtenergie- und CO₂-Bilanz des Jahres 2014

Im nachfolgendem Diagramm wird der Energieverbrauch für Wärme und Strom und die sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen gegenübergestellt. Die Werte basieren auf den Ergebnissen der Basisdatenbewertung des Baustein 1. Der Energieverbrauch für Wärme basiert dabei auf dem Ablesewert eines separaten Zählers, wobei der Stromverbrauch aus dem Gesamtverbrauch der Schule und Turnhalle abgeleitet wurde.

In der nachfolgenden Abbildung zeigt sich, dass aufgrund des schlechteren CO₂-Äquivalentes der elektrischen Energie (341 g CO₂/kWh, Quelle SWS) im Vergleich gegenüber der Fernwärme (191 g CO₂/kWh; Quelle SWS) der Anteil leicht von 6 % auf 11 % steigt. Allerdings ist der Stromverbrauch wie oben beschrieben nicht hallenspezifisch. Wie in Baustein 1 ersichtlich ist, ist der Stromverbrauch von Turnhallen mit eigenem Zähler deutlich höher. Der Anteil an den Gesamtemissionen wäre somit auch deutlich größer als dargestellt. Genaue Werte sind aber nur über einen eigenen Unterzähler möglich.

7

http://www.wetteronline.de/wetterdaten/schwerin?pcid=pc_rueckblick_data&gid=10162&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=10162&month=02&year=2016&period=8¶id=TXLD (18.07.16)

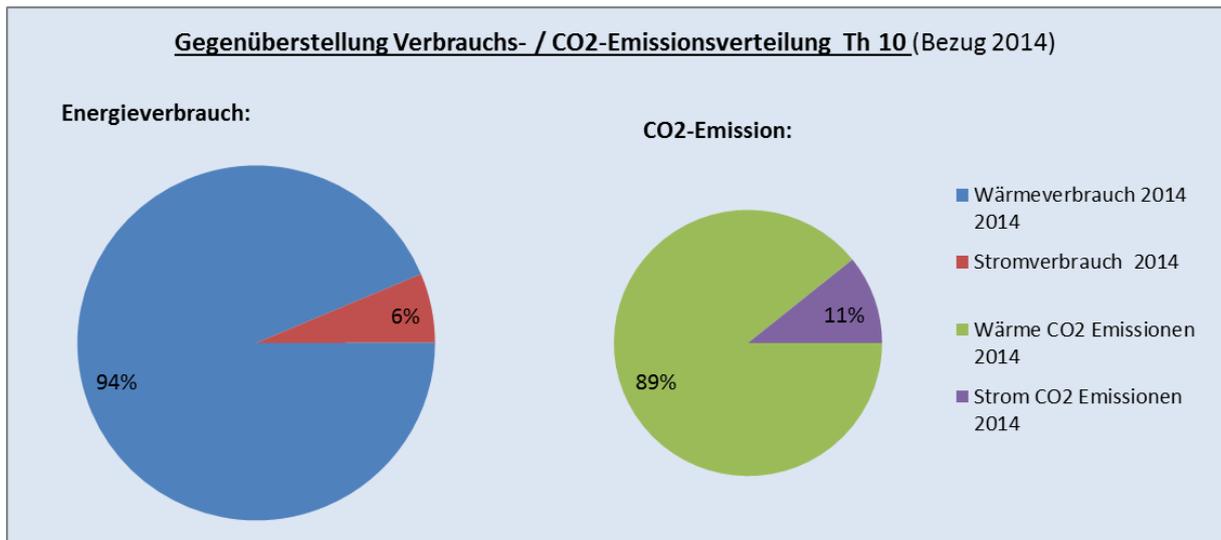


Abbildung 113: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO₂-Emissionsverteilung (eigene Darstellung)

4.2.6. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen			Amortisationszeit [Jahre]
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]	
1 Dämmung der Außenwände mit Innendämmung (Bauphysikalisch Prüfen lassen) auf U= 0,28 W/m ² K	60.000 €	ca. 20	ca. 3.200	ca. 1.500€	40
2 Dämmung Flachdach auf mindestens U= 0,20 W/m ² K	85.000€	ca. 35	ca. 5.600	2.700 €	32
3 Austausch Hallenboden mit Dämmung auf U= 0,35 W/m ² K	60.000 €	ca. 10	ca. 1.600	750 €	> 50
4 Einbau neuer Fenster auf U = 1,3 W/m ² K (Abstimmung mit Denkmalschutz notwendig)	21.000	ca. 4	ca. 650	300 €	> 50
5 Einbau Lüftungsanlage	50.000 €	20	3.200	1.500 €	> 30
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%	n.a.

Tabelle 86: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 10 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)
- Einbau einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger

4.3. Turnhalle 15 Astrid-Lindgren-Schule

Kurzübersicht der Turnhalle Astrid-Lindgren-Schule

Adresse:

19063 Schwerin
Talliner Straße 6
Ansprechpartner: Hr. Klein



Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1976
Nettogrundfläche	1.451 m ²
Typenbezeichnung	SH 24 x 42

Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	44.963
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	186.888
Warmwasser (WW)	7.920

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung der Verglasung (Doppelstegplatten) 2006
- energetische Sanierung Sportfußboden 2006
- Dämmung Dach 2013

energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Außenwände unzureichend gedämmt
- Bodenplatte im Sozialtrakt (Anbau) unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- veraltete Lüftungsanlage
- Unhygienische Warmwasserbereitung

4.3.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 15 der Astrid-Lindgren-Schule handelt es sich um den Typenbau SH 24 x 42 (Größe Sportbereich 24 x 48 m) aus dem Jahr 1976. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk (Halle) und einem seitlichen Anbau für den Geräte-, Sozial- und Technikbereich. Bisher wurden das Dach, die Fenster und die Bodenplatte energetisch saniert. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundriss:

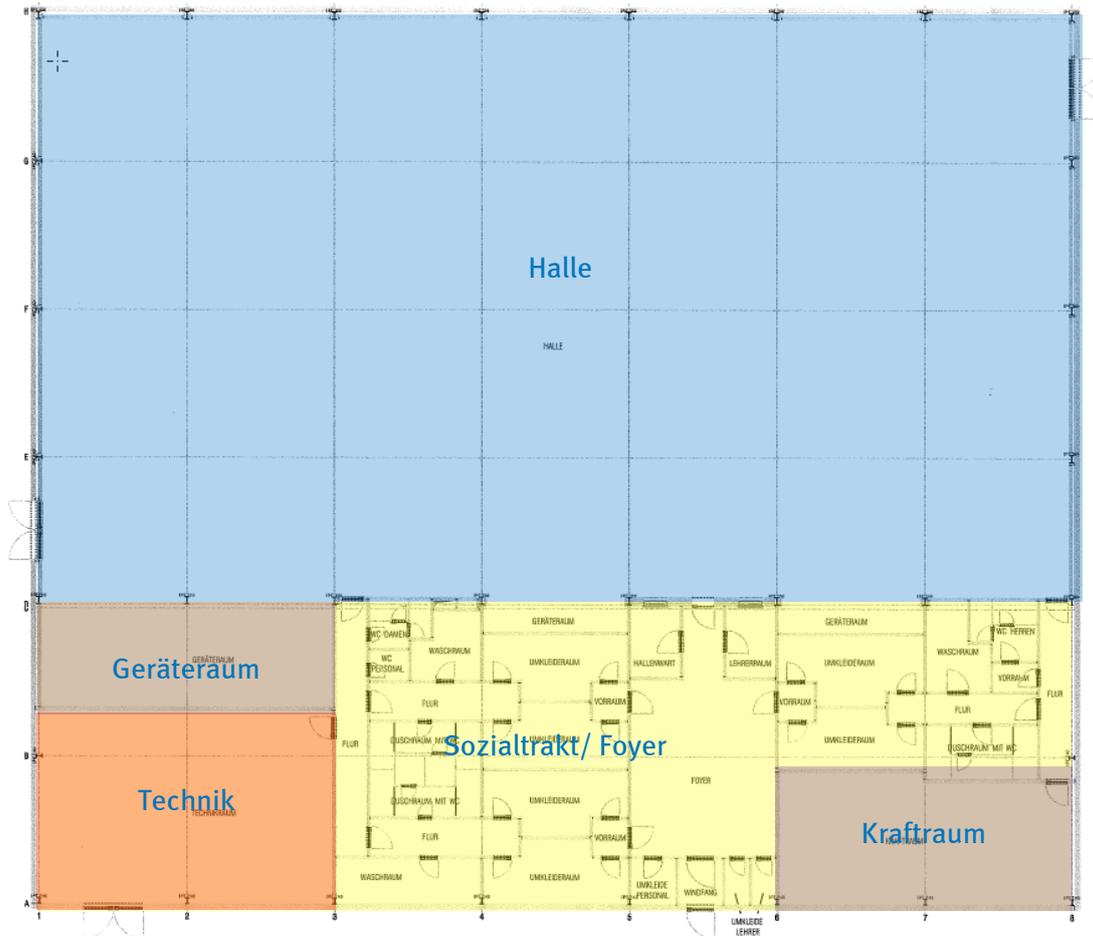


Abbildung 114: Grundriss TH 15 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 116: Ansichten TH 15 Astrid-Lindgren-Schule (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

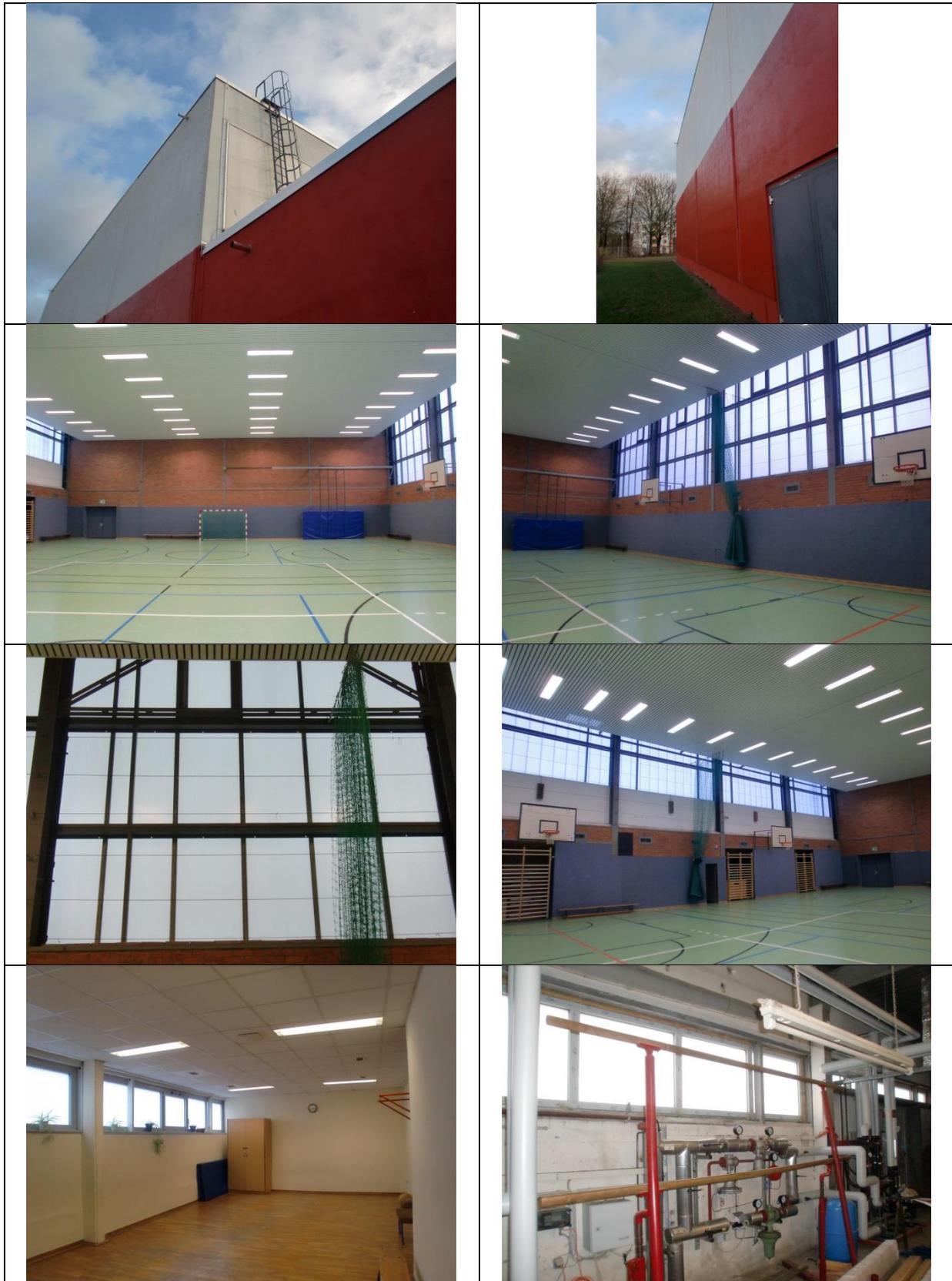
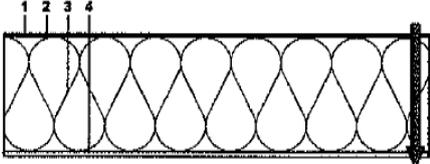
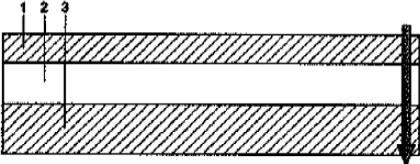
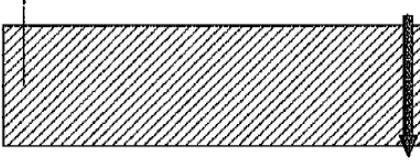


Abbildung 117: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt. Zudem wurde als Grundlage die Energiebedarfsberechnung der Turnhalle der Astrid-Lindgren-Schule (2012) berücksichtigt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾															
Dach	<p>seitliche Anbauten und Halle: Trapezprofilband, 200 mm Dämmung und äußere Bitumenabdichtung $U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ⁽⁶⁾</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht Nr.</th> <th>Dicke [cm]</th> <th>Baustoff</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,30</td> <td>Stahl</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,15</td> <td>Bitumendachbahn DIN EN 13707 (V 13)</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>20,00</td> <td>Polystyrol-Hartschaum 035</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,85</td> <td>Bitumendachbahn DIN EN 13707 (V 13)</td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff	1	0,30	Stahl	2	0,15	Bitumendachbahn DIN EN 13707 (V 13)	3	20,00	Polystyrol-Hartschaum 035	4	0,85	Bitumendachbahn DIN EN 13707 (V 13)	<ul style="list-style-type: none"> - Ende 2015 saniert - Dämmung sehr gut somit ist Wärmeverlust sehr gering - Vorgabe EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eingehalten
Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff															
1	0,30	Stahl															
2	0,15	Bitumendachbahn DIN EN 13707 (V 13)															
3	20,00	Polystyrol-Hartschaum 035															
4	0,85	Bitumendachbahn DIN EN 13707 (V 13)															
Außenwand	<p>Giebelwände Halle: U-Wert ca. $0,64 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht Nr.</th> <th>Dicke [cm]</th> <th>Baustoff</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>11,50</td> <td>Hochlochziegel 1,6</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>16,50</td> <td>Luftschicht lotrecht 20-500mm</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>20,00</td> <td>GSB-Wandelemente</td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff	1	11,50	Hochlochziegel 1,6	2	16,50	Luftschicht lotrecht 20-500mm	3	20,00	GSB-Wandelemente	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (12 – 14 cm Wärmedämmung) 			
	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff														
1	11,50	Hochlochziegel 1,6															
2	16,50	Luftschicht lotrecht 20-500mm															
3	20,00	GSB-Wandelemente															
<p>Restliche Wandbereiche Gasbetonelemente mit ca. 20 cm (Annahme: $\lambda = 0,205$); U-Wert ca. $0,87 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht Nr.</th> <th>Dicke [cm]</th> <th>Baustoff</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>20,00</td> <td>GSB-Wandelemente</td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff	1	20,00	GSB-Wandelemente											
Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff															
1	20,00	GSB-Wandelemente															
Fenster	<p>Alle Fenster sind als Polycarbonatplatten ausgeführt (Doppelstegplatte) $U = 1,65 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2006 erneuert - Vorgabe EnEV 2014 mit $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht eingehalten 															

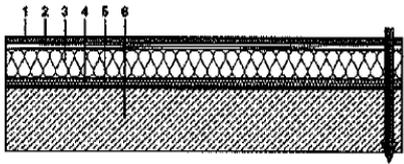
Bodenplatte	<p>Halle: U-Wert wird mit $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}^{(6)}$ abgeschätzt</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht Nr.</th> <th>Dicke [cm]</th> <th>Baustoff</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1,40</td> <td>Sportboden Duolastic 60 ME (Polysport)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1,50</td> <td>Sperholz DIN 68 705/2-4 1000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>7,00</td> <td>Polystyrol-Hartschaum 035</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2,00</td> <td>MEHA Sport Ausgleichsschüttung</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,50</td> <td>Bitumenbahnen</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>15,00</td> <td>Beton armiert 1% Stahl</td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff	1	1,40	Sportboden Duolastic 60 ME (Polysport)	2	1,50	Sperholz DIN 68 705/2-4 1000	3	7,00	Polystyrol-Hartschaum 035	4	2,00	MEHA Sport Ausgleichsschüttung	5	0,50	Bitumenbahnen	6	15,00	Beton armiert 1% Stahl	<ul style="list-style-type: none"> - 2006 energetisch saniert - Wärmeverlust gering - Vorgabe EnEV 2014 $U= 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eingehalten
	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff																				
1	1,40	Sportboden Duolastic 60 ME (Polysport)																					
2	1,50	Sperholz DIN 68 705/2-4 1000																					
3	7,00	Polystyrol-Hartschaum 035																					
4	2,00	MEHA Sport Ausgleichsschüttung																					
5	0,50	Bitumenbahnen																					
6	15,00	Beton armiert 1% Stahl																					
<p>Sozialtrakt: Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}^{(6)}$ abgeschätzt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch unsaniert - Wärmeverlust groß - Vorgabe EnEV 2014 $U= 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ 																						

Tabelle 87: Turnhalle 15 - Bauliche Hülle und Bewertung

4.3.2. Beschreibung der Wärmebrücken

Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes sollen zudem die Wärmebrücken der einzelnen Turnhallen betrachtet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die auffälligsten Fehlstellen in der thermischen Gebäudehülle dargestellt.

Ein Großteil der Außenbauteile der Turnhalle 15 befindet sich schon in einem guten energetischen Zustand. Die bisher durchgeführten Sanierungen der Verglasung durch Doppelstegplatten, der Erneuerung des Sportbodens und der Dachdämmung haben den Einfluss der Wärmebrücken schon nachhaltig reduziert. Dennoch lassen sich gerade im ungedämmten Außenwandbereich noch Wärmebrücken vermuten.

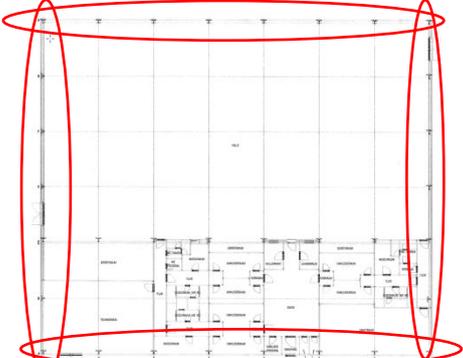
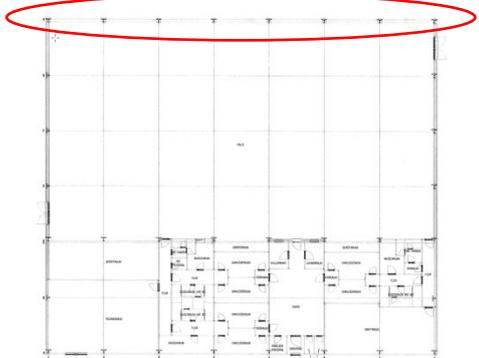
Wärmebrücke	Beschreibung
<p>Plattenstöße:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Plattenstöße sind nicht gedämmt - Wärme kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste 
<p>Kalte Fallrohre im Gebäude</p> 	<p>Die Entwässerung des Daches erfolgt teilweise über ungedämmte Rohrleitungen mitten durch die Turnhalle. Der kalte Regen läuft in den Rohren ab und entzieht dem Raum große Mengen Wärme.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärme kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste 

Tabelle 88: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 15 (eigene Darstellung)

Als Schwachstelle kann die gesamte Außenwand der Halle genannt werden. Die anderen Außenbauteile wurden bisher schon saniert und der Wärmeverlust konzentriert sich überwiegend auf die Außenwand. Zudem gibt es konstruktive Wärmebrücken, wie zum Beispiel die kalten Fallroh-

re in der Turnhalle, durch die ebenfalls große Mengen Wärme verloren gehen. Um genauere Aussagen zu den Wärmbrücken treffen zu können, empfiehlt sich eine thermografische Untersuchung des Gebäudes im Winter. Auf Grundlage dieser Feststellungen können Wärmebrücken genau lokalisiert und die bisherigen Sanierungen überprüft werden.

4.3.3. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 118: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	direkte Wärmeübergabe in Wärmetauscher der Lüftungsanlage bzw. Heizung und Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> - energetisch günstig ohne Wärmetauscherübertragungsverluste - riskant bei Leckagen - Wärmetauscher teilweise nicht angeschlossen - Heizleitungen der Heizkreise zu den Lüftungswärmetauschern in teilweise schlechtem Zustand (Stahl korrodiert)
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 40°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage um- und außenluftgeführt</p> <p>Abluftanlage Sozialtrakt über Dach feuchtegesteuert (Funktion nicht nachvollziehbar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - teilweise unsanierter Zustand - nur Motoren erneuert - Zustand Gebläse und Wärmetauscher unbekannt - Ventilatormotoren drehzahl geregelt (FU) - Kanäle teilweise nicht wärme gedämmt - Luftaustrittsöffnungen querschnittsverengt - keine Wärmerückgewinnung
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne EVSG	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung
Regelung	Gebäudeautomation installiert (Kieback & Peter)	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbraucherfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 89: Turnhalle 15 - TGA und Bewertung

4.3.4. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)							
Objekt: TH 15 Astrid-Lindgren-Schule							
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		11000					
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF$ =:		1451					
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F$	Einheit	
Außenwand Giebel Hall	A_{Aw}	443	0,64	1	283,52	WK	
Außenwand (restl. Ber.)	A_{Aw}	600	0,87	1	522	WK	
Boden Halle	A_G	1000	0,35	0,25	87,5	WK	
Boden Anbau	A_D	500	1	0,25	125	WK	
Dach	A_D	1500	0,17	1	255	WK	
Fenster Halle	A_F	231	1,65	1	381,15	WK	
Fenster Anbau	A_F	34	1,65	1	56,1	WK	
					0	WK	
					0	WK	
	ΣA	4308		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1710,27	WK	
g	Wärmebrückenzuschlag		$A^* 0,05$		215,4	WK	
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A^* 0,10$		1925,67	WK	
	Q_T - absolut		66 * H_T		127094,22	kWh/a	
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 h^{-1}$	0,19 * V_e	2090	WK	
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 h^{-1}$	0,163 * V_e		WK	
	Q_v - absolut		66 * H_v		137940	kWh/a	
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,39164	m^{-1}	
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung			
	Nordwest-Nordost	115	0,5	$100 * 0,567 * g * A$	3260	kWh/a	
	Südost bis Südwest	149	0,5	$270 * 0,567 * g * A$	11405	kWh/a	
	Ost und West			$155 * 0,567 * g * A$	0	kWh/a	
	Dachflächenfenster			$225 * 0,567 * g * A$	0	kWh/a	
				ΣQ_s	14665	kWh/a	
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 * A_N$	31922	kWh/a	
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 * (Q_s + Q_i)$	44258	kWh/a	
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	220776	kWh/a	
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,96		
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle					$= Q_h / \eta$	229975	kWh/a
	pro m^2 NGF					158,5	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 90: Bedarfsberechnung TH 15 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 220.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche von 1451 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 158 kWh/ m^2 a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 187.000 kWh (129

kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit um ca. 18 % niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf. Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf ist verhältnismäßig gering.

Der Unterschied könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine hohe Auslastung von 94 %. Dennoch könnten sich auch daraus kleinere Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Allerdings können auch die Berechnungen nach DIN 18599 deutliche Abweichungen zum Istzustand aufweisen. Für die Turnhalle der Astrid-Lindgren-Schule liegt eine Berechnung nach DIN 18599 aus dem Jahr 2012 vor. Diese weist einen Jahresheizwärmebedarf von ca. 540.000 kWh auf und liegt somit deutlich über den tatsächlichen Verbrauch.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

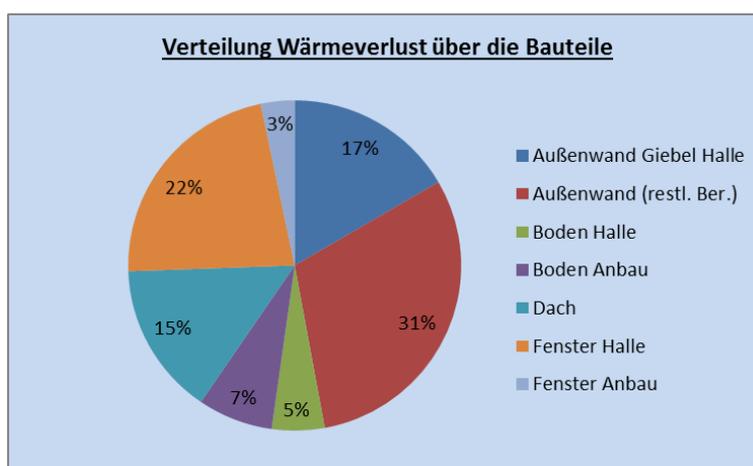


Abbildung 119: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über die ungedämmte Außenwand (31 %) erfolgen. Somit lässt eine Sanierungsmaßnahme bei diesem Bauteil die größte energetische Einsparung erwarten.

4.3.5. Energiebilanz (Verbrauchsmessung)

Zur genaueren Abschätzung der verschiedenen Einflüsse auf den Energieverbrauch soll im Rahmen der Erarbeitung des Klimaschutzteilkonzeptes eine Verbrauchserfassung für Strom und Wärme erfolgen. Die jeweiligen Messintervalle sollen laut dem Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten in Anlehnung an die Empfehlungen des deutschen Städtebundes erfolgen. Die Intervalle sind bei der Wärme von der Leistung der jeweiligen Wärmeversorgungsanlage und beim Strom vom jährlichen Stromverbrauch abhängig.

Folgende Ableseintervalle ergeben sich für die Turnhalle der Astrid-Lindgren-Schule:

- Wärme – monatliche Ablesung
- Strom – tägliche Ablesung

Die Erfassung des Energieverbrauchs ist im Rahmen der Konzepterarbeitung nur für einen Zeitraum von 3 Monaten erfolgt (Wärme und Strom). Zudem liegen nur Monatsverbräuche vor. Die Verbrauchserfassung sollte im Anschluss des Konzeptes jedoch dauerhaft durchgeführt werden. Nur so können konkrete Aussagen über die verschiedenen Einflussfaktoren des Energieverbrauchs lokalisiert werden. Die Datenerfassung ist durch das Zentrale Gebäudemanagement (ZGM) der Landeshauptstadt erfolgt.

Verbrauchsmessung Strom:

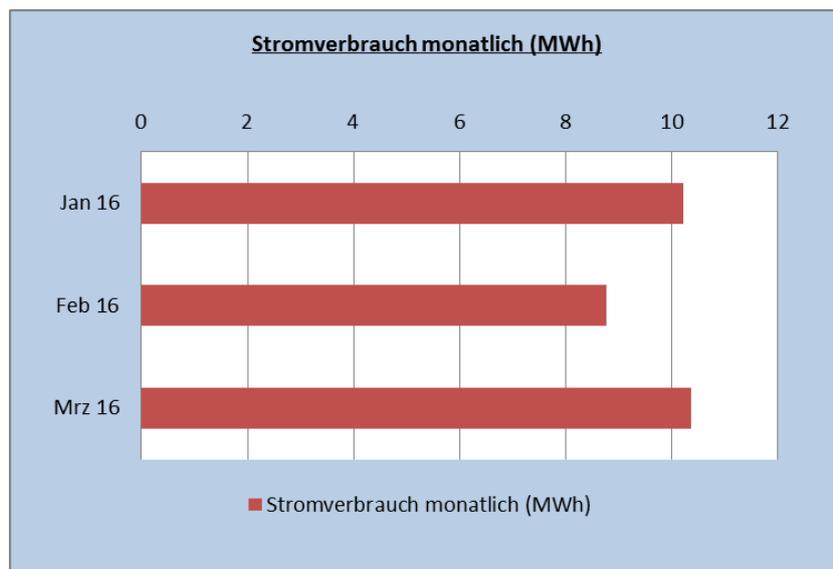


Abbildung 120: Stromverbrauch TH 15 – Januar bis März 2016 (Daten ZGM, eigene Darstellung)

Beim Stromverbrauch der Turnhalle 15 fällt auf, dass der monatliche Verbrauch relativ konstant ist. Die Verringerung des Verbrauchs im Februar ist wahrscheinlich auf die Ferienwoche Anfang Februar und auf den kürzeren Monat zurückzuführen. Genauere Aussagen sind nur mit deutlich kürzeren Messintervallen möglich.

Eine Hochrechnung auf einen vergleichbaren Jahresverbrauch ist nur auf Grundlage des betrachteten Zeitraums nicht möglich.

Verbrauchsmessung Wärme:

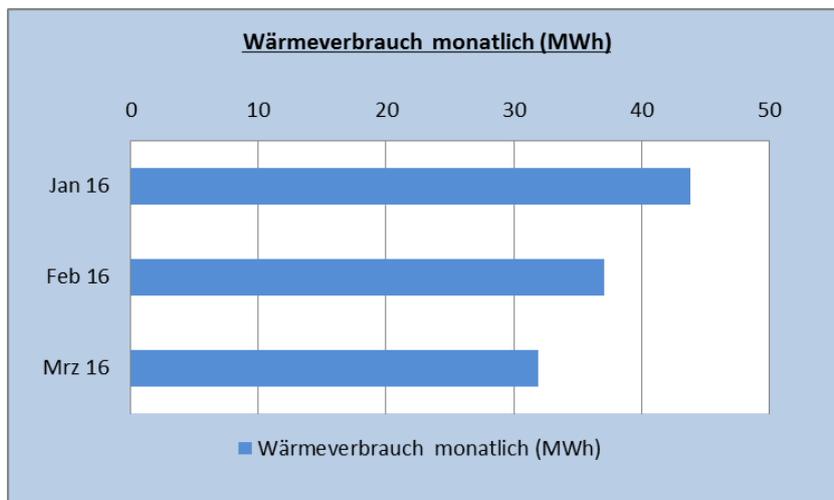


Abbildung 121: Wärmeverbrauch TH 15 - Januar bis März 2016 (Daten ZGM, eigene Darstellung)

Außentemperaturen Januar - März 2016:

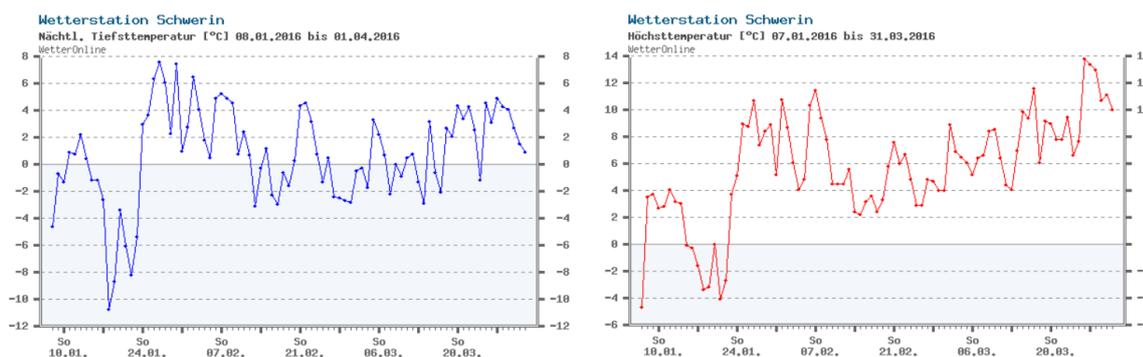


Abbildung 122: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾)

Die Verbrauchsentwicklung lässt sich gut anhand der vorhandenen Außentemperaturen in dem Betrachtungszeitraum nachvollziehen. Im Januar waren die Temperaturen fast permanent unter 0°C (kältester Monat) und der Wärmeverbrauch war mit ca. 44 MWh am höchsten. Im darauffolgendem Monat sind die Temperaturen etwas angestiegen und der Verbrauch hat sich auf 37 MWh verringert. Anschließend sind die Temperaturen weiter gestiegen und der Verbrauch reduzierte sich dementsprechend auf ca. 32 MWh. Ein Einfluss der Ferien auf den Wärmeverbrauch lässt sich nicht nachweisen (01.02. – 05.02.).

Genauere Aussagen sind nur mit deutlich kürzeren Messintervallen möglich.

Eine Hochrechnung auf einen vergleichbaren Jahresverbrauch ist nur auf Grundlage des betrachteten Zeitraums nicht möglich.

Gesamtenergie- und CO₂-Bilanz des Jahres 2014

Im nachfolgendem Diagramm wird der Energieverbrauch für Wärme und Strom und die sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen gegenübergestellt. Die Werte basieren auf den Ergebnissen der Basisdatenbewertung des Baustein 1. Der Energieverbrauch für Wärme und Strom basiert dabei auf dem Ablesewert eines separaten Zählers.

In der nachfolgenden Abbildung zeigt sich, dass aufgrund des schlechteren CO₂-Äquivalentes der elektrischen Energie (341 g CO₂/kWh; Quelle SWS) im Vergleich gegenüber der Fernwärme (191 g CO₂/kWh; Quelle SWS) der Anteil deutlich von 37 % auf 51 % steigt. Bei dieser Turnhalle wurde der Stromverbrauch hallenspezifisch ermittelt. Der Anteil an dem Gesamtenergieverbrauch ist größer und somit verändert sich auch die Verteilung bei den CO₂-Emissionen deutlich.

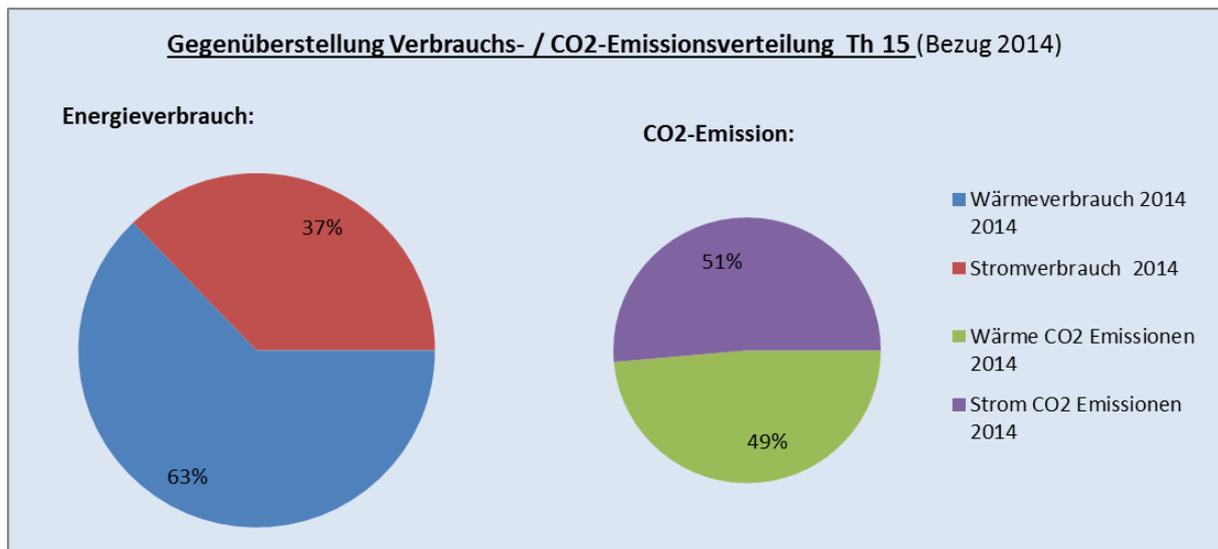


Abbildung 123: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO₂-Emissionsverteilung (eigene Darstellung)

4.3.6. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten, die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen			Amortisationszeit [Jahre]
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]	
1 Dämmung der Außenwand 14 cm Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	150.000 €	ca. 16	ca. 5.700	ca. 2.700€	> 50
2 Austausch Fußboden im Anbau mit Dämmung auf U= 0,35	60.000 €	ca. 3	ca. 1.100	500 €	> 50
3 Ertüchtigung HL-Anlage	50.000 €	10	3.500	1.650 €	> 30
4 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%	n.a.

Tabelle 91: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 15 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau eines Wärmerückgewinnungswärmetauschers in die Lüftungsanlage

4.4. Turnhalle 18 Berufliche Schule für Bautechnik

Kurzübersicht der Turnhalle Berufliche Schule Bautechnik

Adresse:

19059 Schwerin
 Friesenstraße 29 a
 Ansprechpartner: Hr. Vorrath

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1970
Nettogrundfläche	1.272 m ²
Typenbezeichnung	-



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	20.489
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	212.395
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung Hallenverglasung
- Dämmung Hallensockel ca. 60 cm

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Bodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Fenster im seilt. Anbau: schlechter energetischer Zustand und luftdurchlässig (Lüftungswärmeverlust), Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

- Außenluftherhitzer zur Schnellaufheizung

Ansichten:



Abbildung 126: Ansichten TH 18 (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle



Abbildung 127: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, werden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾						
Dach/Decke	<u>Halle:</u> vermutlich Decke über Halle als thermische Hüllfläche mit geringer Dämmung $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ⁽⁶⁾	- saniert - Dämmung sehr gering somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 - 22 cm mit WLG 035 Vorgabe EnEV 2014 $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$						
	<u>Seitliche Anbauten</u> Flachdach mit Bitumenabdeckung und vermutlich geringe Dämmung ; U-Wert ca. $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ⁽⁶⁾							
Außenwand	Gasbetonelemente mit d ca. 20 cm (Annahme: $\lambda = 0,205$) ; U-Wert ca. $0,87 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Schicht Nr.</th> <th>Dicke [cm]</th> <th>Baustoff</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">20,00</td> <td>GSB-Wandelemente</td> </tr> </tbody> </table>	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff	1	20,00	GSB-Wandelemente	- energetisch saniert - Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (12 – 14 cm Wärmedämmung)
	Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff					
1	20,00	GSB-Wandelemente						
<u>Sockelbereich der Halle</u> Umlaufend mit Dämmung versehen d ca. 8 cm U-Wert ca. $0,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$								
Fenster	<u>Halle</u> Fenster sind als Polycarbonatplatten ausgeführt (Doppelstegplatte) $U = 1,65 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$	- saniert - Vorgabe EnEV 2014 mit $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht eingehalten -						
	<u>Anbau:</u> Holzverbundfenster mit 2-Scheibenverglasung $U \approx 2,9 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾	- saniert - Vorgabe EnEV 2014 mit $U = 1,3$ -						
Bodenplatte	<u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit $1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- saniert - keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 $U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$						
	<u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit $1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ⁽⁶⁾ abgeschätzt							

Tabelle 92: Turnhalle 18 - Bauliche Hülle und Bewertung

4.4.2. Beschreibung der Wärmebrücken

Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes sollen zudem die Wärmebrücken der einzelnen Turnhallen betrachtet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die auffälligsten Fehlstellen in der thermischen Gebäudehülle dargestellt.

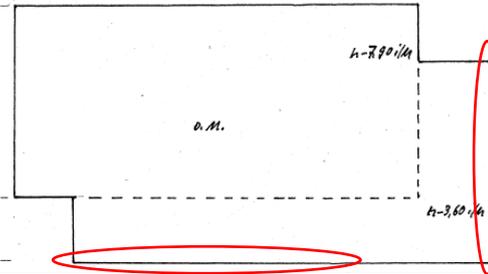
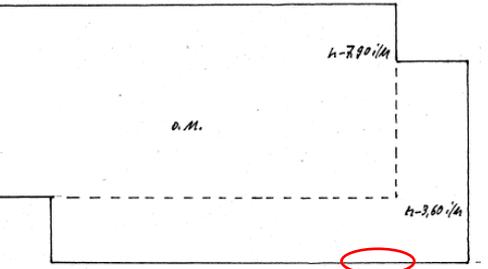
Wärmebrücke	Beschreibung
<p>Undichtheiten an den Fenstern:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - aufgrund der Konstruktion von Holzverbundfenster weisen diese große ungewollte Luftdurchlässigkeiten (Lüftungswärmeverluste) auf - tlw. sind Fenster verformt und lassen sich nicht richtig schließen - warme Luft kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste möglich 
<p>Undichtheiten an Türen:</p> 	<p>Eingangstür ist stark undicht. Es ist umlaufend keine Türdichtung vorhanden.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärme kann ungehindert abfließen - Großer Lüftungswärmeverlust 
<p>Weitere Wärmebrücken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeecken • Fensterlaibungen • Dachanschluss 	<p>Aufgrund der ungedämmten Bauteile kann eine Vielzahl von möglichen Wärmebrücken benannt werden. Die Gebäudehülle befindet sich generell in einem energetisch unsanierten (schlechten) Zustand und somit ist der Einfluss dieser Wärmebrücken vergleichsweise gering.</p>

Tabelle 93: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 18 (eigene Darstellung)

Als Schwachstellen können zum einen der allgemeine Wärmeverlust über die Gebäudehülle und zum anderen die Luftdichtheit der Fenster und Türen benannt werden. Neben den Problemen mit der Luftdichtheit gibt es teilweise Probleme mit der Beschichtung der Fenster. Bei einigen Holzfenstern ist in Teilbereichen keine Beschichtung mehr vorhanden und das Holz ist ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Somit lässt sich eine zeitnahe und deutliche Verschlechterung dieser Bauteile erwarten.

4.4.3. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 128: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	<p>indirekte Wärmeübergabe in Heizung bzw. Lüftungswärmetauscher und Warmwasserbereitung</p> <p>Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (Konvektoren) in Wandnischen</p> <p>Außenluft-Wärmetauscher (Lufterhitzer) an der Hallenwand</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stand der Technik, Station mit Wärmetauschern für Heizung und Warmwasser - geringe Leistung, lange Aufheizzeiten, hohe Druckverluste - Schnellaufheizung möglich, Hinweis auf Leistungsdefizit der stat. Heizflächen - Umwälzpumpen überwiegend nicht in Hocheffizienzausführung
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	<p>Lüftungsanlage nicht vorhanden</p> <p>Fensterlüftung äußerst unpraktikabel</p>	<ul style="list-style-type: none"> - schlechte Raumlufthqualität - hohe Wärmeverluste
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne Präsenzerfassung	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - geringe Tageslichtnutzung
Regelung	Gebäudeautomation (GLT Kieback&Peter) installiert	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 94: Turnhalle 18 - TGA und Bewertung

4.4.4. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)							
Objekt: TH 18 Berufsschule Bautechnik							
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		8200					
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		1272					
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F_x$	Einheit	
Außenwand	A_{Aw}	620	0,87	1	539,4	WK	
Sockel Halle	A_{Aw}	44	0,36	1	15,84	WK	
Boden Halle/ Anbau	A_G	1380	1	0,25	345	WK	
Dach Halle	A_D	927	0,8	1	741,6	WK	
Dach Anbau	A_D	453	1,3	1	588,9	WK	
Fenster Halle	A_F	300	1,65	1	495	WK	
Fenster Anbau	A_F	30	2,9	1	87	WK	
					0	WK	
					0	WK	
	ΣA	3754		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	2812,74	WK	
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		375,4	WK	
Transmissions- wärmeverlust	H T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		3188,14	WK	
	Q T - absolut		$66 \cdot H_T$		210417,24	kWh/a	
Lüftungswärme- verlust	H v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	1558	WK	
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		WK	
	Q v - absolut				$66 \cdot H_v$	102828	kWh/a
Hüllflächenfaktor				A / V_e	0,45780	m^{-1}	
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung			
	Nordwest-Nordost	135	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	3827	kWh/a	
	Südost bis Südwest	158	0,5	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	12094	kWh/a	
	Ost und West	10	0,5	$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	439	kWh/a	
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a	
				ΣQ_s	16361	kWh/a	
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	27984	kWh/a	
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	42128	kWh/a	
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	271118	kWh/a	
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,76		
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle					$= Q_h / \eta$	356734	kWh/a
	pro m^2 NGF					280,5	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 95: Bedarfsberechnung TH 18 (eigene Berechnung)

Aus der vereinfachten Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 357.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1272 m^2 ergibt sich ein Energiebe-

darfskennwert von 280 kWh/m²a. Der tatsächliche Energieverbrauch (siehe Tabelle 5 aus Baustein 1) lag im Jahr 2014 bei ca. 212.000 kWh (167 kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit um ca. 40% niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine akzeptable Auslastung von 89 %. Dennoch könnten sich auch daraus Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

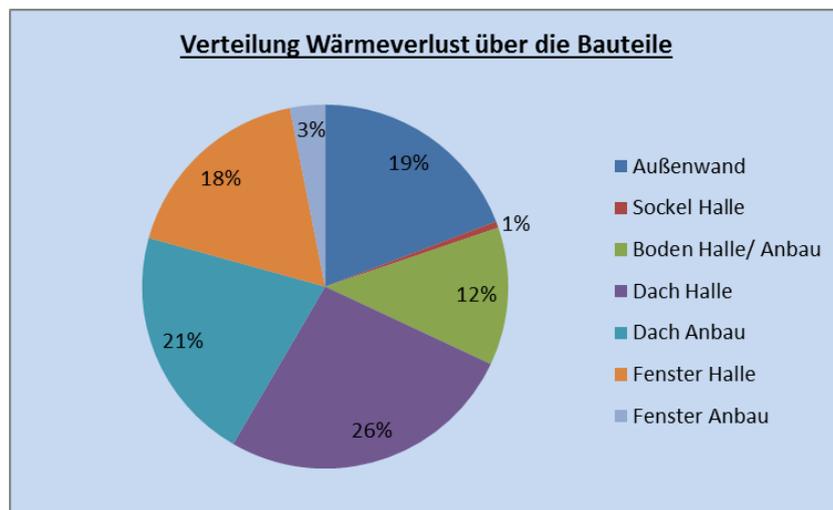


Abbildung 129: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Aus der vereinfachten Wärmebedarfsberechnung kann man neben dem Bedarf auch eine Tendenz der Bauteile mit den größten Einsparpotenzialen ableiten. Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über das Dach (47 %) und die Außenwände zustande kommen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

4.4.5. Energiebilanz (Verbrauchsmessung)

Zur genaueren Abschätzung der verschiedenen Einflüsse auf den Energieverbrauch wurde im Rahmen der Erarbeitung des Klimaschutzteilkonzeptes eine Verbrauchserfassung für Strom und Wärme durchgeführt. Die jeweiligen Messintervalle sollten laut dem Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten in Anlehnung an die Empfehlungen des deutschen Städtebundes erfolgen. Die Intervalle sind bei der Wärme von der Leistung der jeweiligen Wärmeversorgungsanlage und beim Strom vom jährlichen Stromverbrauch abhängig.

Folgende Ableseintervalle werden für die Turnhalle der BS Bautechnik empfohlen:

- Wärme – monatliche Ablesung
- Strom – wöchentliche Ablesung

Die Erfassung des Verbrauchs ist im Rahmen der Konzepterarbeitung nur für einen Zeitraum von 3 Wochen beim Strom und 3 Monaten bei der Wärme erfolgt. Diese sollte im Anschluss an das Konzept jedoch dauerhaft durchgeführt werden. Nur so können konkrete Aussagen über die verschiedenen Einflussfaktoren des Energieverbrauchs lokalisiert werden. Die Datenerfassung ist durch das Zentrale Gebäudemanagement (ZGM) der Landeshauptstadt erfolgt.

Verbrauchsmessung Strom:

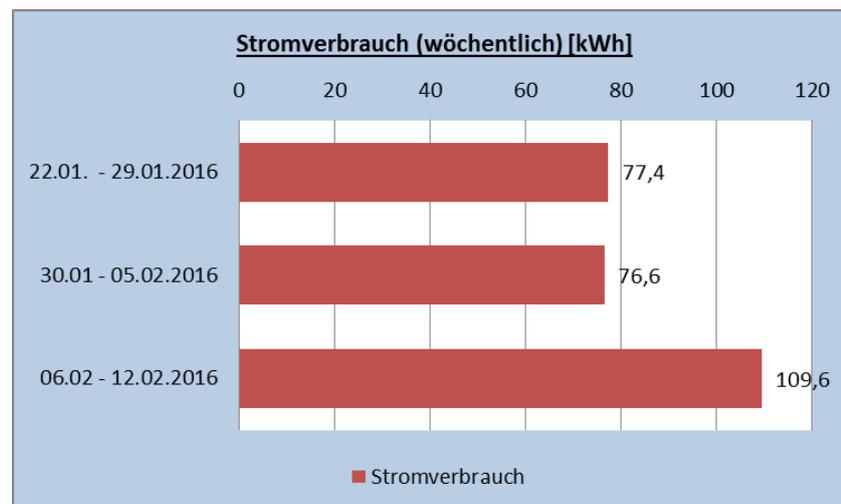


Abbildung 130: Stromverbrauch TH 18 – 22.01. bis 12.02.2016
(Daten ZGM, eigene Darstellung)

Beim Stromverbrauch der Turnhalle 18 fällt auf, dass der wöchentliche Verbrauch in den ersten beiden Wochen relativ konstant ist. Die Steigerung in der 3. Woche ist wahrscheinlich auf eine erhöhte Hallennutzung in der 2. Ferienwoche (Winterferien) zurückzuführen. Genauere Aussagen sind nur mit deutlich kürzeren Messintervallen und über eine Erfassung eines längeren Zeitraums möglich.

Eine Hochrechnung auf einen vergleichbaren Jahresverbrauch ist nur auf Grundlage des betrachteten Zeitraums nicht möglich.

Verbrauchsmessung Wärme:

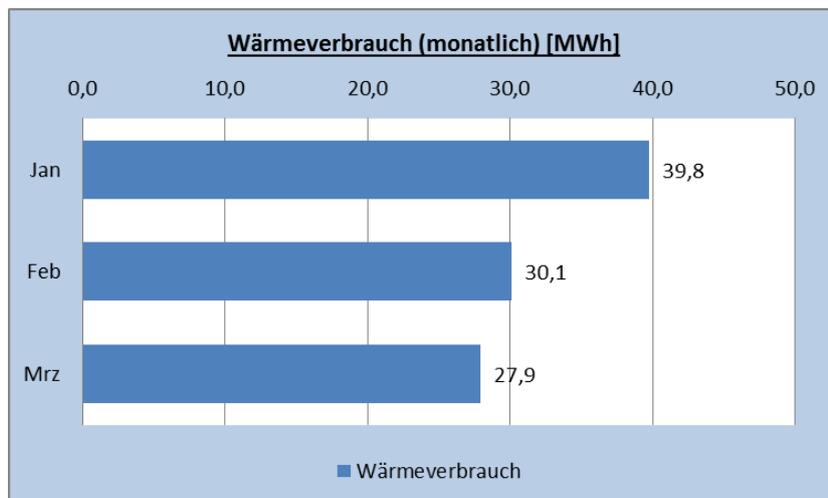


Abbildung 131: Wärmeverbrauch TH 18 - Januar bis März 2016
(Daten ZGM, eigene Darstellung)

Außentemperaturen Januar – März 2016:

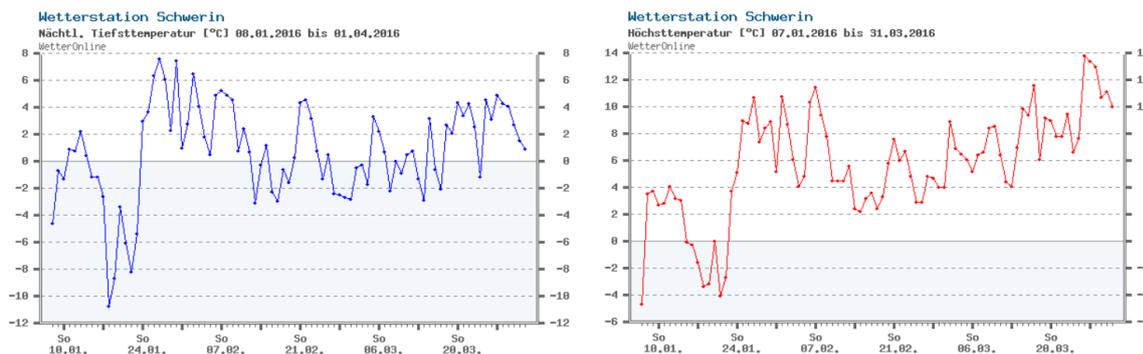


Abbildung 132: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾)

Die Verbrauchsentwicklung lässt sich gut anhand der vorhandenen Außentemperaturen in dem Betrachtungszeitraum nachvollziehen. Im Januar waren die Temperaturen fast permanent unter 0°C (kältester Monat) und der Wärmeverbrauch war mit ca. 40 MWh am höchsten. Im darauffolgendem Monat sind die Temperaturen etwas angestiegen und der Verbrauch hat sich auf 30 MWh verringert. Anschließend sind die Temperaturen weiter gestiegen und der Verbrauch reduzierte sich dementsprechend auf ca. 28 MWh. Ein Einfluss der Ferien auf den Wärmeverbrauch lässt sich nicht nachweisen (01.02. – 12.02.).

Genauere Aussagen sind nur mit deutlich kürzeren Messintervallen möglich. Eine Hochrechnung auf einen vergleichbaren Jahresverbrauch ist nur auf Grundlage des betrachteten Zeitraums nicht möglich.

Gesamtenergie- und CO₂-Bilanz des Jahres 2014

Im nachfolgendem Diagramm wird der Energieverbrauch für Wärme und Strom den sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen gegenüberstellt. Die Werte basieren auf den Ergebnissen der Basisdatenbewertung des Baustein 1. Der Energieverbrauch für Wärme basiert dabei auf dem Ablese-

wert eines separaten Zählers, wobei der Stromverbrauch aus dem Gesamtverbrauch der Schule und Turnhalle abgeleitet wurde.

In der nachfolgenden Abbildung zeigt sich, dass aufgrund des schlechteren CO₂-Äquivalentes der elektrischen Energie (341 g CO₂/kWh) im Vergleich gegenüber der Fernwärme (191 g CO₂/kWh) der Anteil leicht von 9 % auf 15 % steigt. Allerdings ist der Stromverbrauch wie oben beschrieben nicht hallenspezifisch. Wie in Baustein 1 ersichtlich ist, ist der Stromverbrauch von Turnhallen mit eigenem Zähler deutlich höher. Der Anteil an den Gesamtemissionen wäre somit auch deutlich größer als dargestellt. Genaue Werte sind aber nur über einen eigenen Unterzähler möglich.

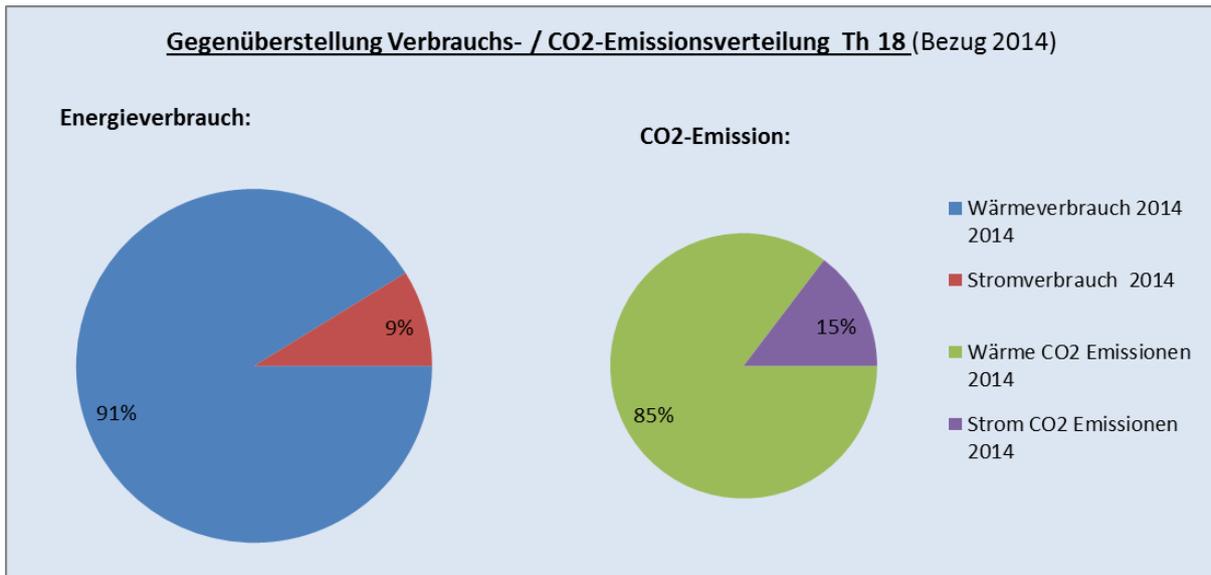


Abbildung 133: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO₂-Emissionsverteilung (eigene Darstellung)

4.4.6. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitions- kosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen			Amor- tisi- onszeit [Jahre]
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebs- kosten [€/Jahr]	
1 Dämmung der Außenwand mit bspw. 14 cm Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf mindestens U= 0,28	90.000 €	ca. 11	ca. 4.500	2.100€	43
2 Dämmung Dach auf mindestens U= 0,20 W/m ² K	250.000 €	ca. 25	ca. 10.000	4.700 €	> 50
3 Austausch Fußboden mit Dämmung auf U= 0,35 W/m ² K	170.000 €	ca. 6	ca. 2.400	1.150 €	> 50
4 Einbau neuer Fenster im Anbau auf U = 1,3 W/m ² K	12.000 €	ca. 1,5	ca. 600	300 €	40
5 Einbau Lüftungsanlage mit WRG	40.000 €	10	4.300	2.000 €	20
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%	n.a.

Tabelle 96: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 18 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

4.5. Turnhalle 19 Berufliche Schule Technik

Kurzübersicht der Turnhalle Berufliche Schule Technik

Adresse:

19059 Schwerin
Gadebuscher Straße 153
Ansprechpartner: Hr. Meier

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1971
Nettogrundfläche	1.904 m ²
Typenbezeichnung	GT 75 L



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	130.800
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	269.124
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Keine

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Bodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Hallenverglasung teilweise beschädigt und undicht, Wärmeverlust sehr hoch
- Dach, Außenwände und Bodenplatte unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

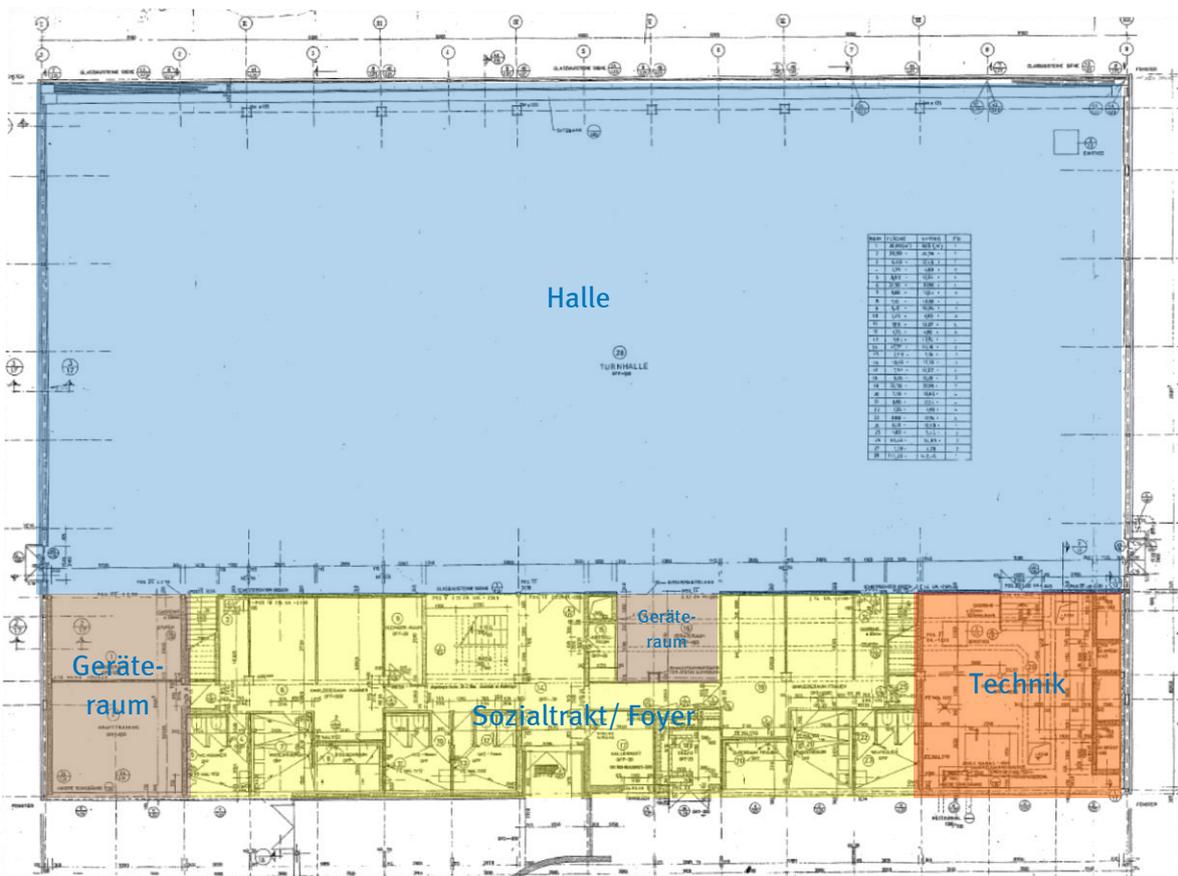
- zwei getrennte Lüftungsanlagen für Halle und Sozialtrakt

4.5.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 19 der Berufsschule für Technik handelt es sich um den Typenbau GT 75 L aus dem Jahr 1971. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk in dem sich die Halle und seitlich, auf 2 Etagen, die Geräte-, Sozial- und Technikbereiche befinden. Bisher wurden keine energetischen Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundrisse:

Erdgeschoss:



Obergeschoss:

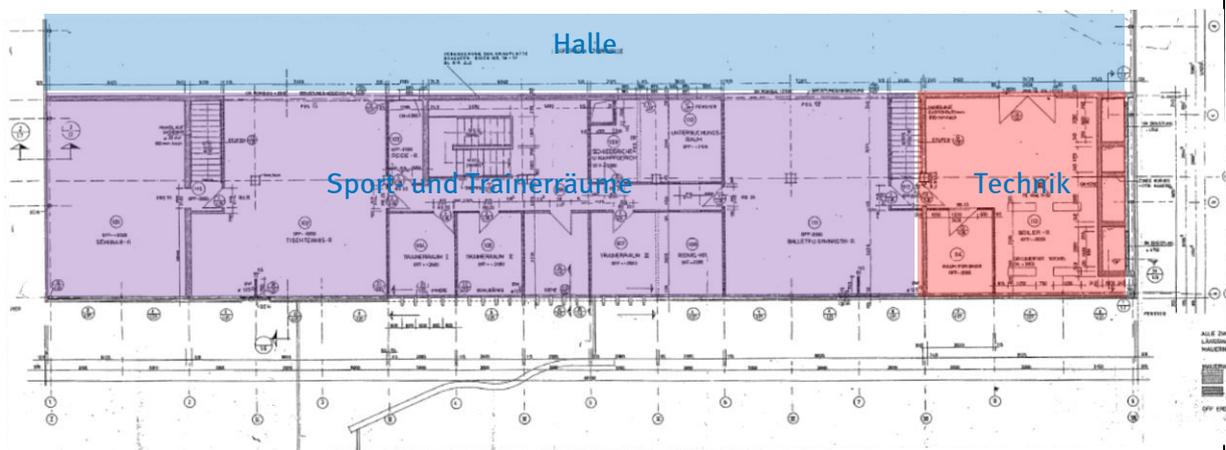


Abbildung 134: Grundriss TH 19 - Typ GT 75 L (Quelle: ZGM)

Schnitt durch Fassade (Glassfassade) und Schnitt durch Halle:

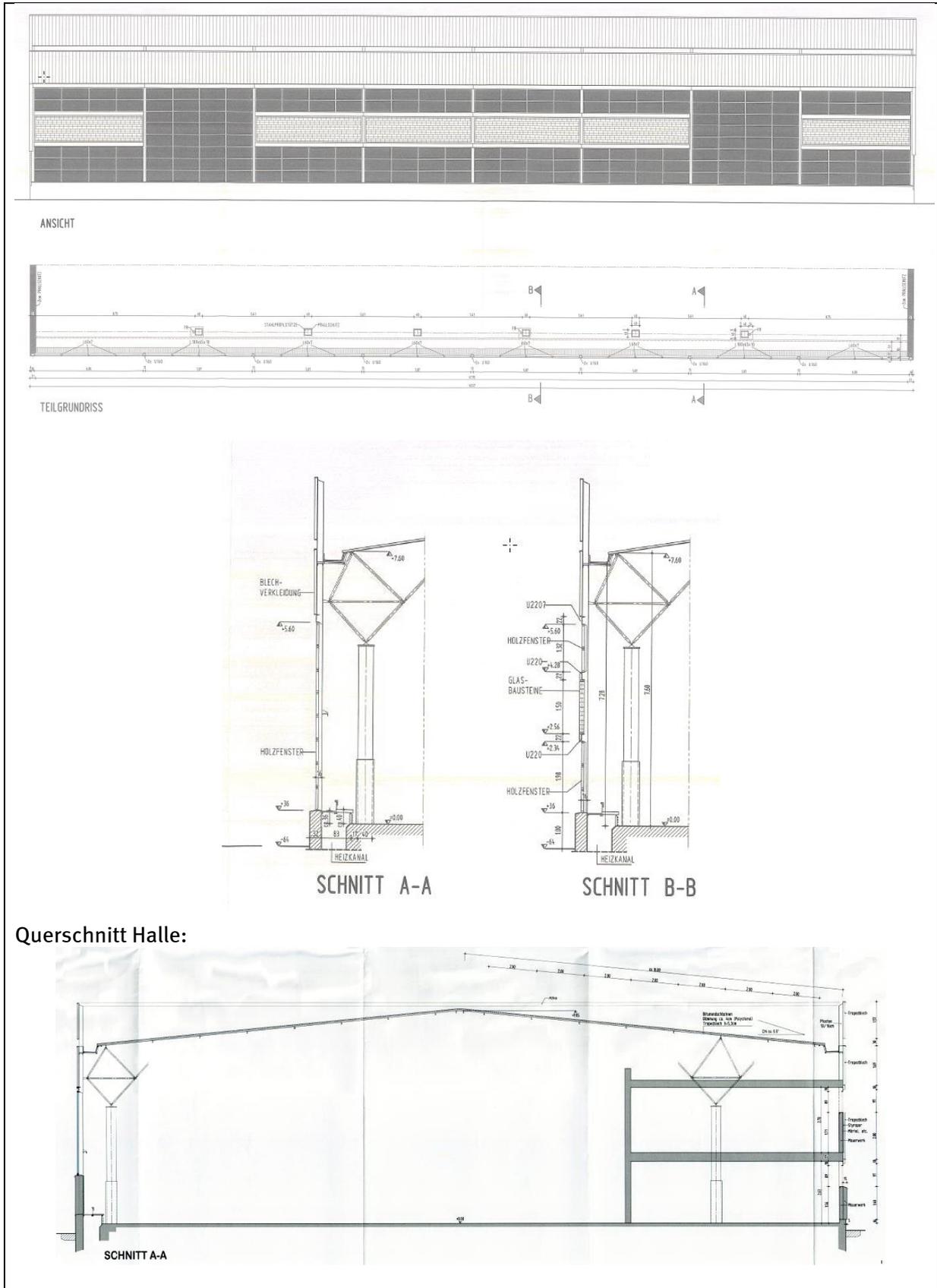


Abbildung 135: Schnitt durch Fassade Halle 19 - Typ GT 75 L

Ansichten:



Abbildung 136: Ansichten TH 19 BS Technik (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

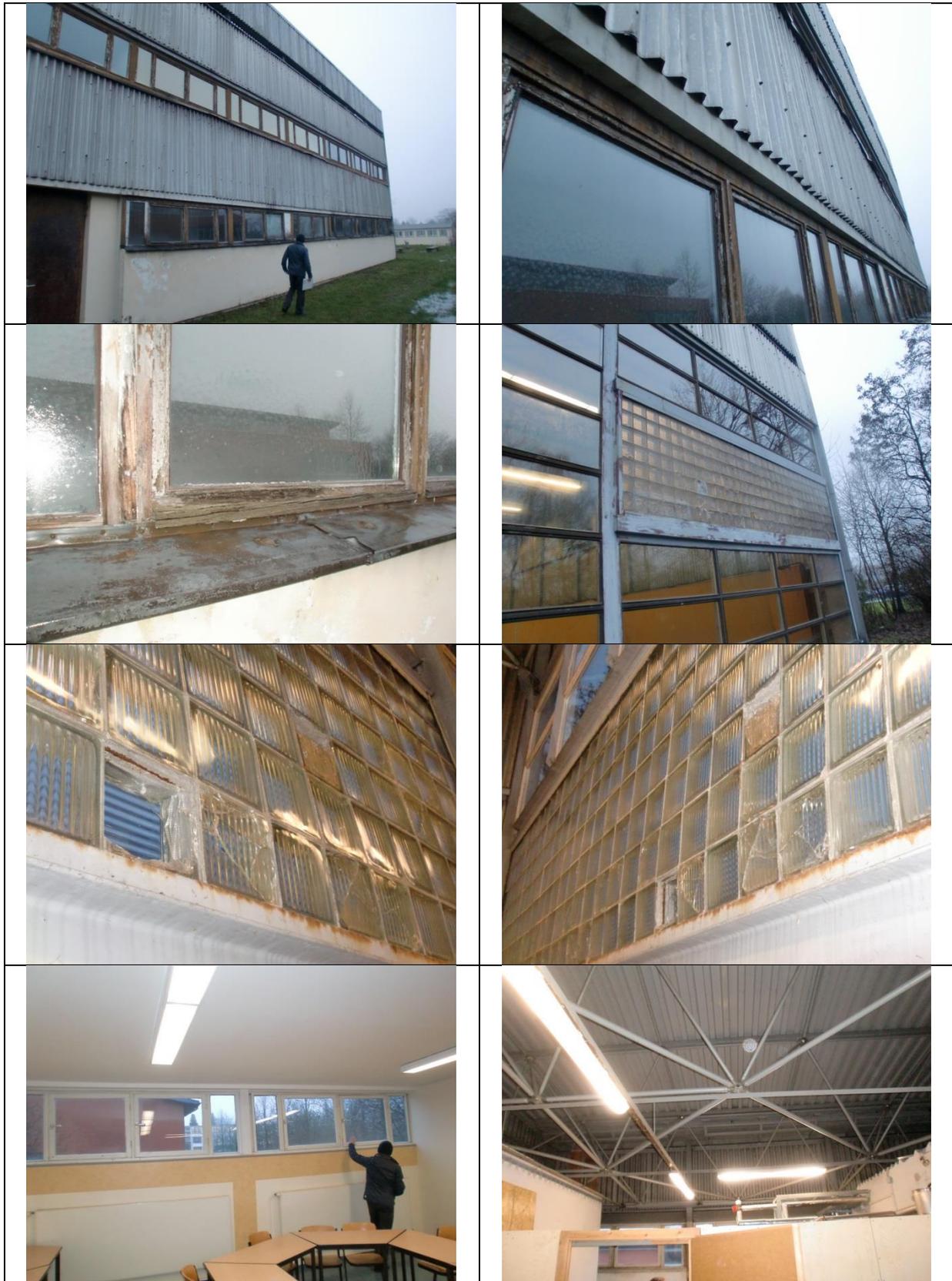


Abbildung 137: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWi des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

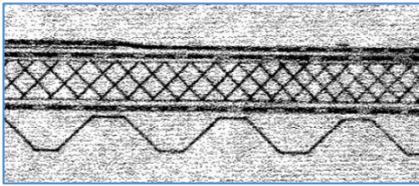
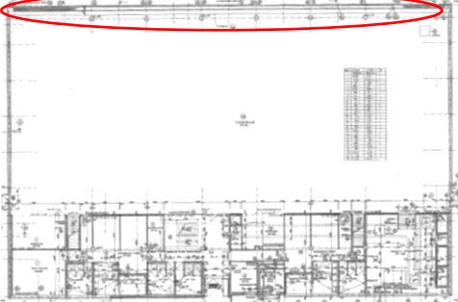
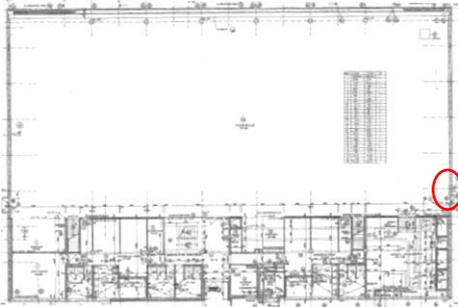
Bauteil	Beschreibung	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Trapezprofilband, 40 mm Dämmung und äußere Bitumenabdichtung U-Wert ca. 1,0 W/(m ² K) 	- unsaniert - Dämmung gering somit ist Wärmeverlust sehr groß - Dämmung Standard heute ca. 18 - 22 cm mit WLG 035 - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,20 W/(m ² K)
Außenwand	<u>Hallenbereich</u> Sandwichelemente mit 40 mm Dämmung (Annahme) Aufbau: Außen Blech – Kerndämmung – Innen Blech U-Wert ca. 1,0 W/(m ² K) <u>Bereich Sozialtrakt/ Trainerräume</u> Mauerwerkswand Innen (d = 24 cm); oben mit außenliegender Verkleidung mit Sandwichelement; U-Wert ca. 0,9 W/(m ² K)	- energetisch unsaniert - Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,28 W/(m ² K) (12 – 14 cm Wärmedämmung)
Fenster	Überwiegend Holzfenster mit 2-Scheibenverglasung U _w ≈ 2,9 W/m ² K; Teilweise aber auch Glasbausteine U _w ≈ 3,5 W/m ² K,	- starke Beschädigungen der Glaselemente (vor allem die Glasbausteine), und Fenster undicht - Vorgabe EnEV 2014 mit U= 1,3 W/(m ² K) nicht eingehalten
Bodenplatte	<u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,8 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- unsaniert - keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,35 W/(m ² K)
	<u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,2 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	

Tabelle 97: Turnhalle 19 - Bauliche Hülle und Bewertung

4.5.2. Beschreibung der Wärmebrücken

Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes sollen zudem die Wärmebrücken der einzelnen Turnhallen betrachtet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die auffälligsten Fehlstellen in der thermischen Gebäudehülle dargestellt.

Wärmebrücke	Beschreibung
<p>Undichtheiten in Glasfassade:</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr starke Beschädigungen der Glasbausteine - ca. die Hälfte aller Steine defekt - Wärme kann ungehindert abfließen - sehr große Wärmeverluste 
<p>Undichtheiten in Blechfassade</p>  	<p>In diesem Bereich ist eine offene Stelle in der Fassade zu erkennen. Die Fehlstelle in der Fassade hat sich durch Korrosion der stark vergrößert. Der Bereich ist wahrscheinlich auch vorher schon eine konstruktive Schwachstelle gewesen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärme kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste 

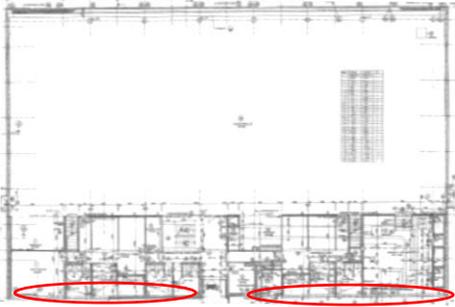
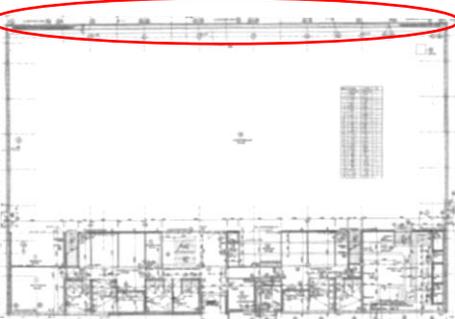
<p><u>Beschädigung an Fensterrahmen (Holz):</u></p> 	<p>Die Fensterrahmen auf der südlichen Hallenseite weisen eine starke Verwitterung auf. Teilweise sind die Profile der Rahmen stark beschädigt.</p> <ul style="list-style-type: none"> - größere Wärmeverluste durch geringere Bauteilquerschnitte - Wärmeverlust durch mögliche Luftdurchlässigkeiten (Lüftungswärmeverlust) 
<p><u>Kalte Fallrohre im Gebäude</u></p> 	<p>Die Entwässerung des Daches erfolgt über ungedämmte Rohrleitungen mitten durch die Turnhalle. Der kalte Regen läuft in den Rohren ab und entzieht dem Raum große Mengen Wärme.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärme kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste 

Tabelle 98: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 19 (eigene Darstellung)

Als besondere Schwachstelle wurde die Luftdichtheit festgestellt. Diesbezüglich gibt es vor allem in der Glasfassade der Turnhalle erhebliche Mängel und zum Teil starke Beschädigungen. Neben den Problemen mit der Luftdichtheit gibt es aber auch große Probleme mit der Verwitterung bzw. Korrosion von Bauteilen. Bei allen Holzfenstern ist mittlerweile keine Beschichtung mehr vorhanden und sie sind ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Somit lässt sich eine zeitnahe und deutliche Verschlechterung dieser Bauteile erwarten. Zudem gibt es konstruktive Wärmebrücken, wie zum Beispiel die kalten Fallrohre in der Turnhalle, durch die ebenfalls große Mengen Wärme verloren gehen.

4.5.3. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 138: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	indirekte Wärmeübergabe in Heizung bzw. Lüftungswärmetauscher und Warmwasserbereitung Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (Konvektoren) und Lüftungsanlage separate Lüftungsanlage für Sozialtrakt	- Stand der Technik, Station mit Wärmetauschern für Heizung und Warmwasser - keine Wärmerückgewinnung für Hallenlüftung - Umwälzpumpen überwiegend nicht in Hocheffizienzausführung
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	- hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	zwei getrennte Lüftungsanlagen für Halle und Sozialtrakt ohne Wärmerückgewinnung	- keine Vorwärmung der Zuluft durch Abluft
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne Präsenzerfassung	- hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - geringe Tageslichtnutzung
Regelung	Gebäudeautomation (GLT Kieback&Peter) installiert	- keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 99: Turnhalle 19 - TGA und Bewertung

4.5.4. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6/EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 19 Berufsschule Technik						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		13000				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		1904				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A \times U \times F_x$	Einheit
Außenwand	A_{Aw}	940	1	1	940	W/K
Boden Halle	A_{vG}	1257	0,8	0,25	251,4	W/K
Boden Sozialtrakt	A_{vG}	343	1,2	0,25	102,9	W/K
Dach	A_D	1600	1	1	1600	W/K
Fenster	A_F	270	2,9	1	783	W/K
Glasbausteine	A_F	72	3,5	1	252	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
					0	W/K
	ΣA	4482		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	3929,3	W/K
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,1$		448,2	W/K
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + A \cdot 0,10$		4377,5	W/K
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		288915	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	2470	W/K
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		W/K
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		163020	kWh/a
Hüllflächenfaktor			A / V_e		0,34477	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	256	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	7258	kWh/a
	Südst bis Südwest	86	0,6	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	7899	kWh/a
	Ost und West			$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
			ΣQ_s		15157	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	41888	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	54193	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	397742	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,76	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	523345	kWh/a
	pro m^2 NGF				274,9	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 100: Bedarfsberechnung TH 19 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 523.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1900 m^2 ergibt sich ein Energiebedarfskennwert

von 275 kWh/m²a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 270.000 kWh (141 kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit deutlich niedriger als der vereinfacht ermittelte Energiebedarf.

Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten zu DDR-Zeiten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine sehr hohe Auslastung von 95 % (höchste Auslastung aller Hallen). Dennoch könnten sich auch daraus kleine Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):

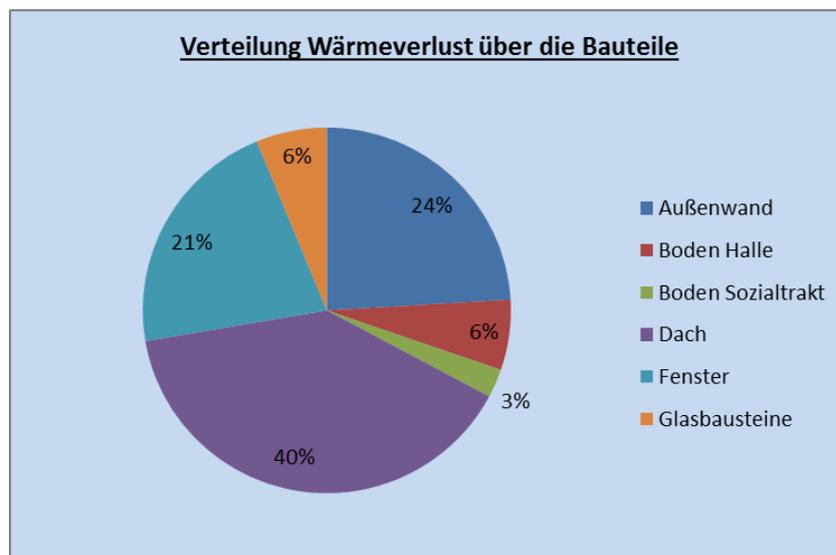


Abbildung 139: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die größten Wärmeverluste über das Dach (40 %), die Fenster (27 %) und die Außenwände (24 %) erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

4.5.5. Energiebilanz (Verbrauchsmessung)

Zur genaueren Abschätzung der verschiedenen Einflüsse auf den Energieverbrauch soll im Rahmen der Erarbeitung des Klimaschutzteilkonzeptes eine Verbrauchserfassung für Strom und Wärme erfolgen. Die jeweiligen Messintervalle sollen laut dem Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten in Anlehnung an die Empfehlungen des deutschen Städtebundes erfolgen. Die Intervalle sind bei der Wärme von der Leistung der jeweiligen Wärmeversorgungsanlage und beim Strom vom jährlichen Stromverbrauch abhängig.

Folgende Ableseintervalle ergeben sich für die Turnhalle 19 der Berufsschule für Technik:

- Wärme – monatliche Ablesung
- Strom – tägliche Ablesung

Die Erfassung der Verbräuche ist im Rahmen der Konzepterarbeitung nur für einen Zeitraum von 6 Wochen erfolgt. Diese sollte im Anschluss an das Konzept jedoch dauerhaft durchgeführt werden. Nur so können konkrete Aussagen über die verschiedenen Einflussfaktoren des Energieverbrauchs lokalisiert werden. Die Datenerfassung ist durch das Zentrale Gebäudemanagement (ZGM) der Landeshauptstadt erfolgt.

Verbrauchsmessung Strom:

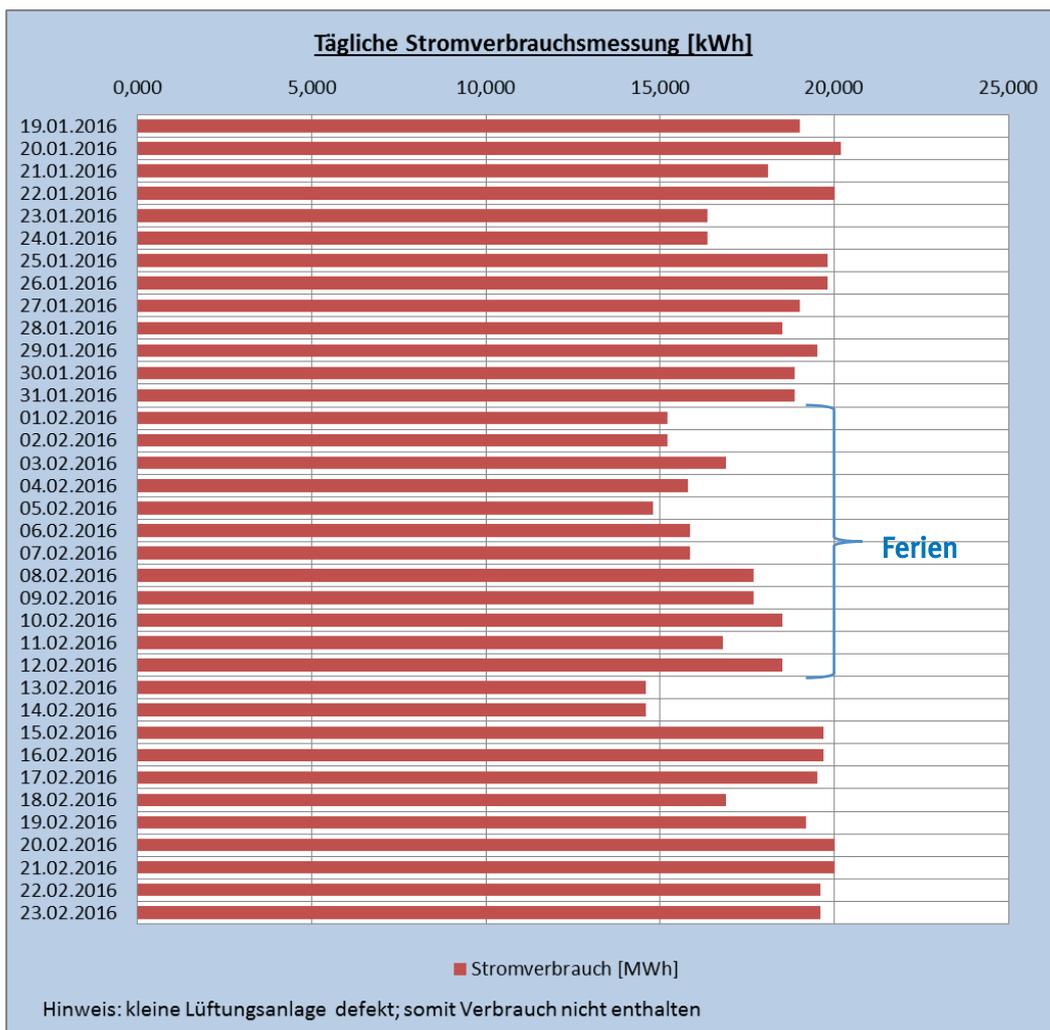


Abbildung 140: Stromverbrauch TH 19 – 19.01. – 23.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)

Beim Stromverbrauch der Turnhalle 19 fällt auf, dass der tägliche Verbrauch relativ konstant ist. Der hohe Verbrauch jeweils an den Montagen liegt daran, dass die Ablesung nur an den Wochentagen erfolgt ist. Genauere Aussagen zu möglichen Verbrauchseffekten am Wochenende sind somit nicht möglich. Die Hallen waren bis auf die Wochen vom 01.02.16 – 05.02.16 und 08.02 – 12.02. von der Berufsschule genutzt. An den Tagen 30.01., 14.02. und 20.02. (nur Wochenende) erfolge eine Vermietung an externe Vereine.

In den Ferienwochen bleibt der Verbrauch verhältnismäßig hoch. Man könnte daraus schließen, dass der Stromverbrauch der Anlagentechnik (Heizen) einen großen Anteil am Stromverbrauch der Hallen hat.

Eine Hochrechnung auf einen vergleichbaren Jahresverbrauch ist nur auf Grundlage des betrachteten Zeitraums nicht möglich.

Verbrauchsmessung Wärme:

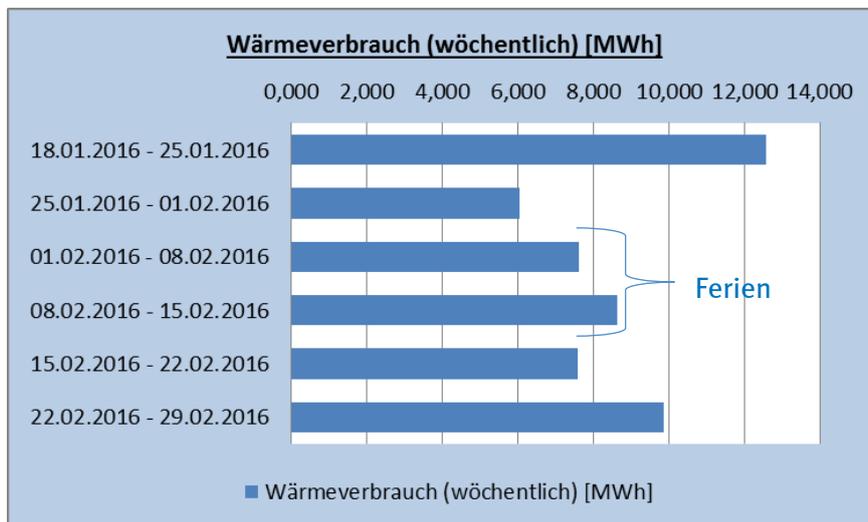


Abbildung 141: Wärmeverbrauch TH 19 vom 18.01. – 29.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)

Außentemperaturen 10.01 – 28.02:

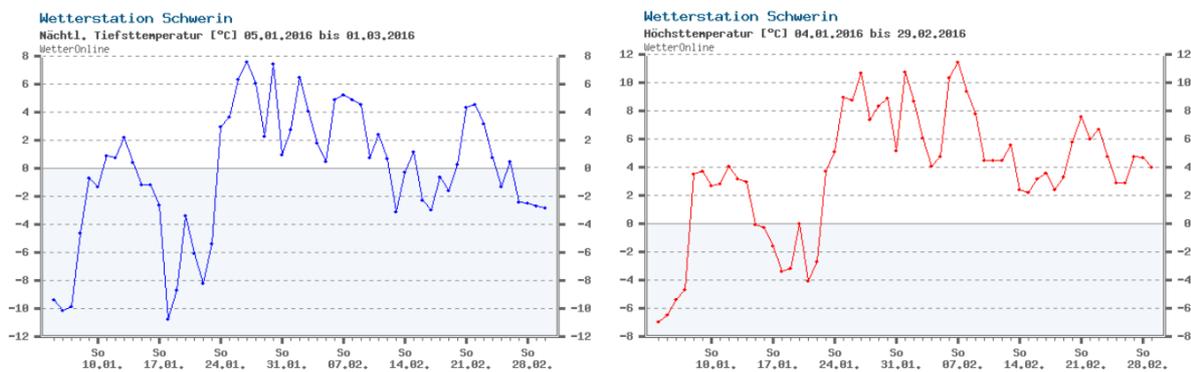


Abbildung 142: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾)

Die Verbrauchsentwicklung lässt sich gut anhand der vorhandenen Außentemperaturen in dem Betrachtungszeitraum nachvollziehen. In der Woche 1 vom 18.01. - 25.01. waren die Temperaturen fast permanent unter 0°C (kälteste Woche) und der Wärmeverbrauch war mit 12 MWh am höchsten. In der darauffolgenden Woche sind die Temperaturen dann deutlich in den Plusbereich angestiegen und der Verbrauch hat sich nahezu halbiert (6 MWh). Anschließend sind die Temperaturen wieder gefallen und der Verbrauch stieg dementsprechend. Ein Einfluss der Ferien auf den Wärmeverbrauch lässt sich nicht erkennen (01.02. – 12.02.).

Gesamtenergie- und CO₂-Bilanz des Jahres 2014

Im nachfolgendem Diagramm wird der Energieverbrauch für Wärme und Strom und die sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen gegenübergestellt. Die Werte basieren auf den Ergebnissen der Basisdatenbewertung des Baustein 1. Der Energieverbrauch für Wärme und Strom basiert dabei auf dem Ablesewert eines separaten Zählers.

In der nachfolgenden Abbildung zeigt sich, dass aufgrund des schlechteren CO₂-Äquivalentes der elektrischen Energie (341 g CO₂/kWh; Quelle SWS) im Vergleich gegenüber der Fernwärme (191 g CO₂/kWh; Quelle SWS) der Anteil deutlich von 33 % auf 46 % steigt. Bei dieser Turnhalle wurde der Stromverbrauch hallenspezifisch ermittelt. Der Anteil an den Gesamtenergieverbrauch ist größer und somit verändert sich auch die Verteilung bei den CO₂-Emissionen deutlich.

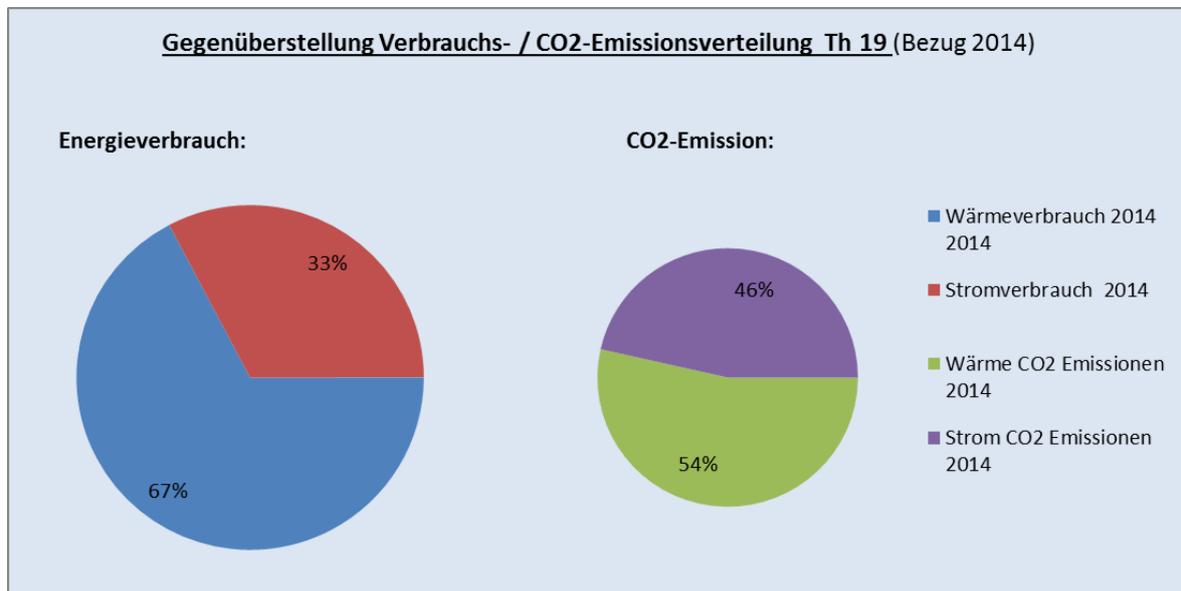


Abbildung 143: Gegenüberstellung Verbrauchs-/CO₂-Emissionsverteilung (eigene Darstellung)

4.5.6. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen			Amortisationszeit [Jahre]
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]	
1 Austausch der Fassadenelemente durch Sandwichelemente auf mindestens U= 0,28 W/m ² K	150.000 €	ca. 11	ca. 5.700	ca. 2.700€	> 50
2 Austausch Dachelemente durch Sandwichelemente auf mindestens U= 0,20 W/m ² K	270.000€	ca. 20	ca. 10.300	4.800 €	> 50
3 Austausch Hallenboden mit Dämmung auf U= 0,35 W/m ² K	190.000 €	ca. 4	ca.2.000	1.000 €	> 50
4 Einbau Doppelstegplatten in Halle und neue Fenster in Sozialbereich neu auf U = 1,3 W/m ² K	80.000 €	ca. 11	ca. 5.700	2.700 €	30
5 Einbau Wärmerückgewinnung Lüftung	40.000 €	10	5.500	2.500 €	16
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%	n.a.

Tabelle 101: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 19 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger

4.6. Turnhalle 20 Siemens-Schule

Kurzübersicht der Turnhalle Siemens-Schule

Adresse:

19057 Schwerin
 Ratzeburger Straße 44
 Ansprechpartner: Hr. Bremer

Allgemeine Stützpunktdaten

Eigentumsverhältnis	LHSN
Baujahr Gebäude	1975
Nettogrundfläche	1.839 m ²
Typenbezeichnung	GT 75 L



Verbrauchswerte 2014 in kWh/a

Strom	51.300
Fernwärme inkl. WW (witterungsbereinigt)	211.483
Warmwasser (WW)	-

Bisherige energetische Sanierungen:

- Sanierung der Verglasung (Doppelstegplatten, neue Fenster) 2012
- Dämmung Außenwand an Längsseiten ca. 2014 (außer 2,4 m Sockelbereich Straßenseite)
- Dämmung Dach 2014

Energetischer Zustand

Gebäudehülle	
Wandaufbau	●
Fußbodenaufbau	●
Dachausführung	●
Fenster	●
Heizungssystem	
Wärmeerzeugung	●
Wärmeverteilung	●
Lüftungsanlage	●
Elektr. Energie	
Beleuchtung	●

Energetische Schwachstellen des Stützpunktes:

- Sockelbereich an Außenwand am Straßenseite (ca. 2,4 m) und Giebelwände ohne Dämmung
- Bodenplatte im Sozialtrakt (Anbau) unzureichend gedämmt

Sonstige Merkmale:

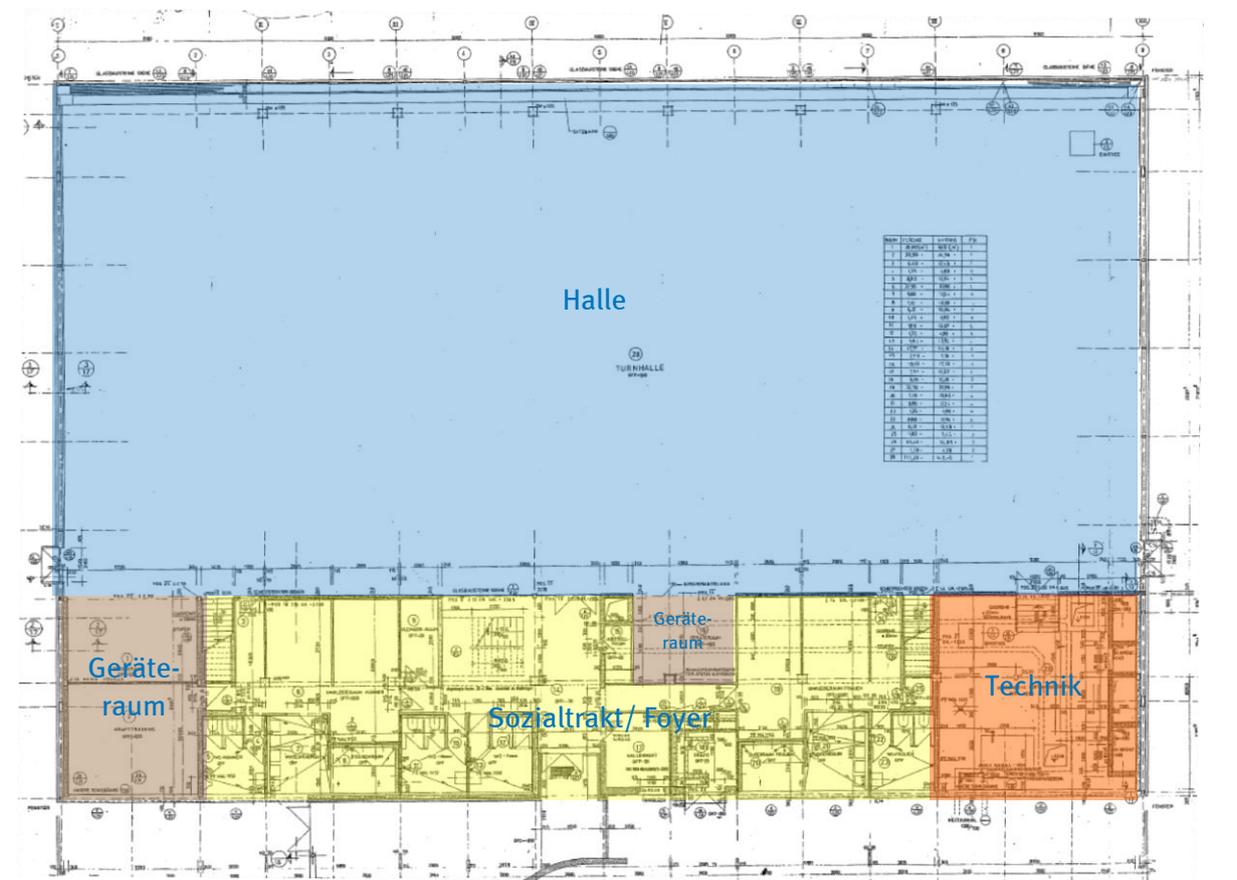
- Lüftungsanlage mit Frequenzumrichter
- Warmwassertemperatur hygienisch ausreichend

4.6.1. Gebäudegeometrie und Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

Bei der Turnhalle 20 der Turnhalle der Siemensschule handelt es sich um den Typenbau GT 75 L aus dem Jahr 1975. Dieser Hallentyp besteht aus einem Hauptbauwerk in dem sich die Halle und seitlich, auf 2 Etagen, die Geräte-, Sozial- und Technikbereiche befinden. Nachfolgend werden die Grundrisse und Gebäudeansichten dargestellt:

Grundrisse:

Erdgeschoss:



Obergeschoss:

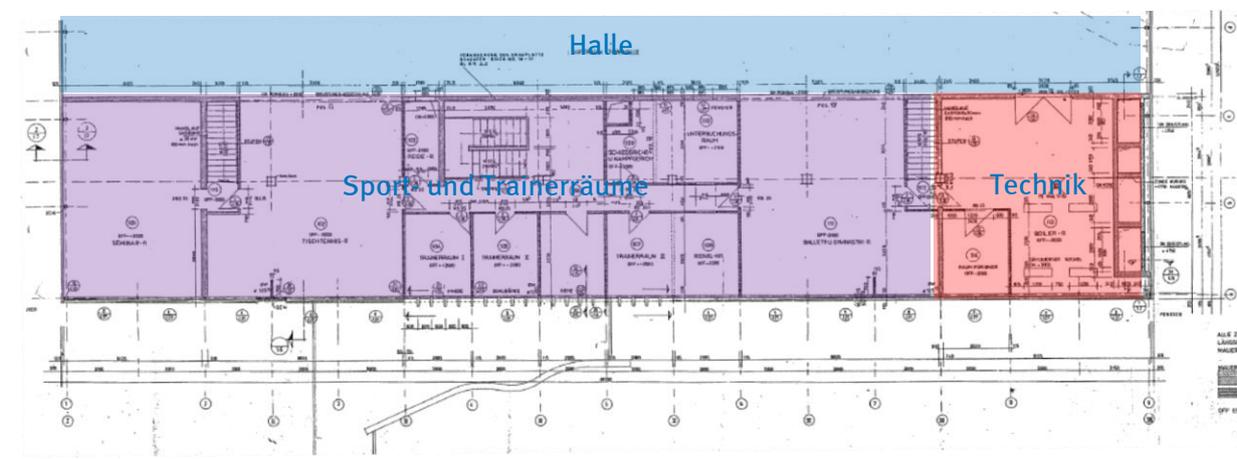


Abbildung 144: Grundriss TH 20 - Typ GT 75 L (Quelle: ZGM)

Ansichten:



Abbildung 146: Ansichten TH 20 Siemensschule (Quelle: eigene Bilder)

Beschreibung und Bewertung der Gebäudehülle

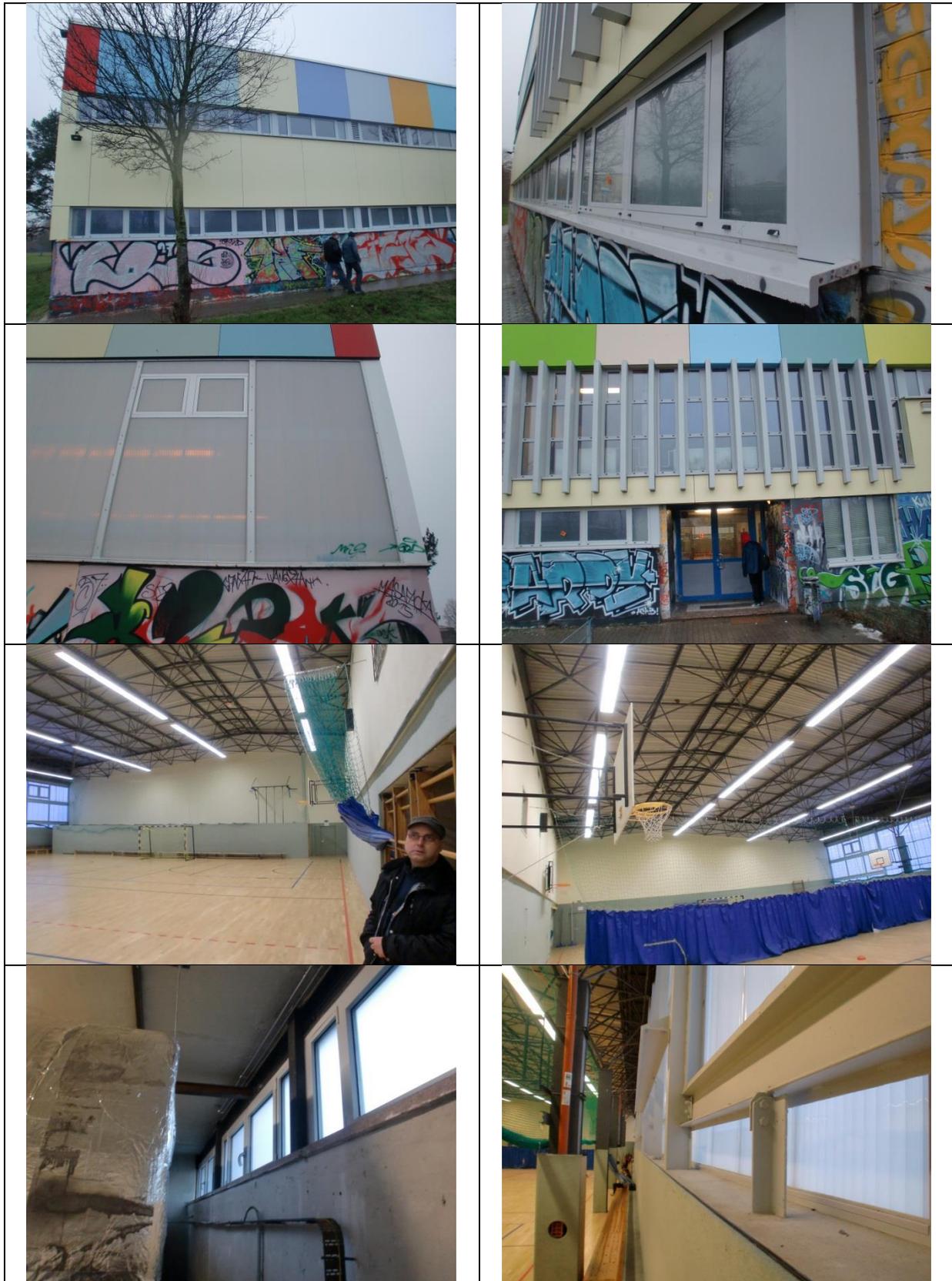


Abbildung 147: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilaufbauten der einzelnen Bauteile benannt. Zur Ermittlung der Bauteilaufbauten wurden die vorhandenen Bestandsunterlagen des Zentralen Gebäudemanagements Schwerin geprüft. Zusätzlich dazu wurden die Bauteile vor Ort erfasst. Wenn die Bauteilaufbauten mittels dieser Herangehensweise nicht bestimmt werden konnten, wurden Bauteilkataloge unter Berücksichtigung der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ des BMUB und BMWI des Bundes vom 07. April 2015 genutzt.

Bauteil	Beschreibung ⁽⁵⁾	Bewertung ⁽⁵⁾
Dach	Trapezprofilband bestand, 2014 oberseitig mit Dämmung versehen, Annahme U-Wert ca. 0,2 W/(m ² K) (Richtwert EnEV 2009)	- 2014 saniert - Wärmeverlust gering - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,20 W/(m ² K) eingehalten
Außenwand	<u>Längswände</u> unten: auf der Sozialtraktseite ist Bestandsmauerwerkswand vorh., ca. 2,4 m hoher Sockelbereich (d ca. 30 cm) U-Wert ca. 1,4 W/(m ² K) ⁽⁶⁾ ; auf der Hallenseite: ca. 2,4m hohe neue Porenbetonwand ($\lambda=0,07$; $U \leq 0,24$ W/m ² K) oben: Mauerwerk mit zusätzlicher Wärmedämmung und Verkleidung aus Eternitplatten, (Annahme $U \leq 0,28$ W/m ² K) <u>Giebelwände</u> Unten: Bestands-Mauerwerkswand, ca. 2,4 m hoher Sockelbereich (d ca. 30 cm) U-Wert ca. 1,4 W/(m ² K) ⁽⁶⁾ ; Oben: MW (d ca. 24 cm) mit außenliegender Blechverkleidung mit ca. 4 cm Polystyrolämmung; U-Wert ca. 1,0 W/(m ² K)	- teilweise Energetisch saniert - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,28 W/(m ² K) (12 – 14 cm Wärmedämmung) teilweise eingehalten
Fenster	Fenster in der Halle sind als Doppelstegplatten ausgeführt (Polycarbonat), auch Fenster im Sozialtrakt erneuert; $U \leq 1,3$ W/m ² K	- 2014 erneuert - Vorgabe EnEV 2014 mit $U= 1,3$ W/(m ² K) eingehalten
Bodenplatte	<u>Halle:</u> Sportboden auf vermutlich Bodenplatte (ohne/wenig Dämmung) U-Wert wird mit 0,6 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt <u>Sozialtrakt:</u> Zementestrich auf Bodenplatte, wenig Dämmung) U-Wert wird mit 1,2 W/m ² K ⁽⁶⁾ abgeschätzt	- unsaniert - keine/wenig Dämmung vorh.; Wärmeverlust sehr groß - Vorgabe EnEV 2014 U= 0,35 W/(m ² K)

Tabelle 102: Turnhalle 20 - Bauliche Hülle und Bewertung

4.6.2. Beschreibung der Wärmebrücken

Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes sollen zudem die Wärmebrücken der einzelnen Turnhallen betrachtet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die auffälligsten Fehlstellen in der thermischen Gebäudehülle dargestellt.

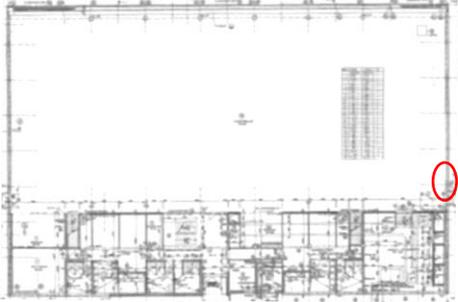
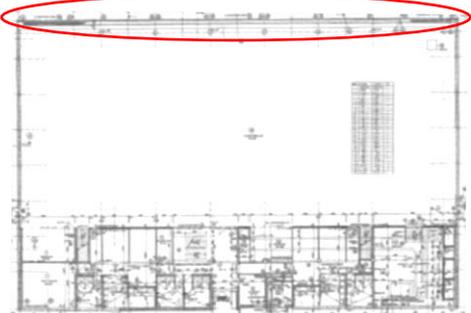
Wärmebrücke	Beschreibung
<p><u>Undichtheiten an Türen:</u></p> 	<p>Eingangstür ist stark luftdurlässig (Lüftungswärmeverluste); schließt schlecht und steht teilweise offen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärme kann ungehindert abfließen - großer Lüftungswärmeverlust 
<p><u>Kalte Fallrohre im Gebäude</u></p> 	<p>Die Entwässerung des Daches erfolgt über ungedämmte Rohrleitungen mitten durch die Turnhalle. Der kalte Regen läuft in den Rohren ab und entzieht dem Raum große Mengen Wärme.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärme kann ungehindert abfließen - große Wärmeverluste 
<p><u>Weitere Wärmebrücken</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeecken • Fensterlaibungen • Dachanschluss 	<p>An den ungedämmten Bauteilen können eine Vielzahl von möglichen Wärmebrücken benannt werden. Die Gebäudehülle befindet teilweise noch in einem energetisch unsanierten (schlechten) Zustand.</p>

Tabelle 103: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 20 (eigene Darstellung)

4.6.3. Beschreibung und Bewertung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

Beschreibung und Bewertung der Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung



Abbildung 148: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)

Bauteil	Beschreibung	Bewertung
Heizung	<p>indirekte Wärmeübergabe in Heizung bzw. Lüftungswärmetauscher und Warmwasserbereitung</p> <p>Wärmeübertragung erfolgt über statische Heizflächen (Konvektoren) und Lüftungsanlage</p> <p>separate Lüftungsanlage für Sozialtrakt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stand der Technik, Station mit Wärmetauschern für Heizung und Warmwasser - keine Wärmerückgewinnung für Hallenlüftung - Umwälzpumpen überwiegend nicht in Hocheffizienzausführung
Warmwasser	Speicherladeschaltung mit Dreiwegeventil und Plattenwärmetauscher und separater Ladepumpe	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Bereitschaftsverluste - nicht ausreichende Temperatur am Tag der Begehung unter 65°C
Lüftung	zwei getrennte Lüftungsanlagen für Halle und Sozialtrakt ohne Wärmerückgewinnung	- keine Vorwärmung der Zuluft durch Abluft
Beleuchtung	Beleuchtung Leuchtstoffröhren ohne Präsenzerfassung	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Energieverbrauch, keine Präsenzschtaltung - geringe Tageslichtnutzung
Regelung	Gebäudeautomation (GLT Kieback&Peter) installiert	<ul style="list-style-type: none"> - keine Einzelverbrauchserfassung für Stromkreise, Heizkreise - Regelungseinstellungen und hydraulischer Abgleich dringend erforderlich

Tabelle 104: Turnhalle 20 - TGA und Bewertung

4.6.4. Bedarfsberechnung in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014

Vereinfachtes Nachweisverfahren für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Vereinfachtes Verfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 / EnEV 2014)						
Objekt: TH 20 Siemensschule						
Beheiztes Gebäudevolumen V_e :		13000				
Gebäudenutzfläche $A_N \approx NGF =$:		1839				
Bauteile	Bezeichnung	Fläche A m^2	Wärmedurchgangs- koeffizient U $W/(m^2K)$	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärmeverlust $H_T = A_x \times U \times F$	Einheit
Längswand oben, Sozialtrakt	A_{Aw}	182	0,24	1	43,68	W/K
Längswand unten, Sozialtrakt	A_{Aw}	74	1,4	1	103,6	W/K
Längswand Halle	A_{Aw}	200	0,28	1	56	W/K
Gieblwand oben	A_{Aw}	410	1	1	410	W/K
Gieblwand unten	A_{Aw}	130	1,4	1	182	W/K
Boden Halle	A_G	1257	0,6	0,25	188,55	W/K
Boden Sozialtrakt	A_G	343	1,2	0,25	102,9	W/K
Dach	A_D	1600	0,2	1	320	W/K
Fenster	A_F	288	1,3	1	374,4	W/K
					0	W/K
	ΣA	4484		$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$	1781,13	W/K
g	Wärmebrückenzuschlag		$A \cdot 0,05$		224,2	W/K
Transmissions- wärmeverlust	H_T - spezifisch		$\Sigma (A_x U_x F) + A \cdot 0,10$		2005,33	W/K
	Q_T - absolut		$66 \cdot H_T$		132351,78	kWh/a
Lüftungswärme- verlust	H_v - spezifisch (Formel Wählen)		Luftdichtheit $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$	$0,19 \cdot V_e$	2470	W/K
			Luftdichtheit $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	$0,163 \cdot V_e$		W/K
	Q_v - absolut		$66 \cdot H_v$		163020	kWh/a
Hüllflächenfaktor			A / V_e		0,34492	m^{-1}
Solare Wärme- gewinne Q_s	Orientierung	Fläche A (m^2)	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Faktor für die Zustrahlung		
	Nordwest-Nordost	178	0,5	$100 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	5046	kWh/a
	Südost bis Südwest	110	0,6	$270 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	10104	kWh/a
	Ost und West			$155 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
	Dachflächenfenster			$225 \cdot 0,567 \cdot g \cdot A$	0	kWh/a
			ΣQ_s		15150	kWh/a
Interne Wärme- gewinne Q_i	absolut			$Q_i = 22 \cdot A_N$	40458	kWh/a
Nutzbare Gesamtenergie Q_g	absolut			$Q_g = 0,95 \cdot (Q_s + Q_i)$	52828	kWh/a
Jahresheiz- wärmebedarf	absolut			$Q_h = Q_T + Q_v - Q_g$	242544	kWh/a
Jahresnutzungsgrad nach 3.1				η	0,96	
Jahresheiz- energiebedarf der Turnhalle				$= Q_h / \eta$	252650	kWh/a
	pro m^2 NGF				137,4	kWh/(m^2 NGF a)

Tabelle 105: Bedarfsberechnung TH 20 (eigene Berechnung)

Aus der Wärmebedarfsberechnung ergibt sich ein Jahresheizenergiebedarf für Wärme von ca. 253.000 kWh. Bezogen auf die Nutzfläche vom 1839 m² ergibt sich ein Energiebedarfskennwert von 137 kWh/m²a. Der tatsächliche Energieverbrauch lag im Jahr 2014 bei ca. 211.000 kWh (115 kWh/m²a). Der Verbrauch ist somit um ca. 14 % niedriger als der vereinfacht ermittelter Energiebedarf. Die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem Bedarf ist verhältnismäßig gering.

Der Unterschied könnte daran liegen, dass die vorhandenen Bauteile energetisch besser sind als bekannt bzw. als angenommen. Auch die von der Anlagentechnik bereitgestellte Wärmeleistung könnte zu gering sein, um die Halle ausreichend zu erwärmen. Zudem könnten die großen Abweichungen aus Unsicherheiten beziehungsweise aus Annahmen beim Berechnungsansatz resultieren. Die Wärmedämmeigenschaften der Bauteile könnten aufgrund von verschiedensten Baustoffqualitäten deutlich von den getroffenen Annahmen abweichen. Nicht dokumentierte Sanierungen an der Halle können ebenfalls eine Abweichung begründen. Somit sind Rückschlüsse aus dem Vergleich des vorhandenen Energieverbrauchs und des ermittelten Energiebedarfs kaum möglich. Genauere Werte des Energiebedarfs können nur über eine detaillierte Berechnung nach der DIN 18599 erfolgen.

Die betrachtete Turnhalle hat, wie in Baustein 1 dargestellt (Tabelle 3), eine akzeptable Auslastung von 85 %. Dennoch könnten sich auch daraus Abweichungen des Wärmeverbrauchs begründen.

Auf Grundlage der vereinfachten Bedarfsberechnung ist es möglich die Verteilung der Wärmeverluste über die Einzelbauteile (Transmissionswärmeverluste) darzustellen. Trotz der großen Abweichung zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und dem errechneten Bedarf kann diese Verteilung dennoch als Grundlage für weitere Sanierungsplanungen/-prioritäten verwendet werden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Wärmeverluste über die Bauteile ersichtlich (Transmissionswärmeverluste):



Abbildung 149: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass die großen Wärmeverluste über die ungedämmten Giebel-/Längswände und den Boden erfolgen. Somit lassen Sanierungsmaßnahmen bei diesen Bauteilen die größten energetischen Einsparungen erwarten.

4.6.5. Energiebilanz (Verbrauchsmessung)

Zur genaueren Abschätzung der verschiedenen Einflüsse auf den Energieverbrauch wurde im Rahmen der Erarbeitung des Klimaschutzteilkonzeptes eine Verbrauchserfassung für Strom und Wärme durchgeführt. Die jeweiligen Messintervalle sollten laut dem Merkblatt zur Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten in Anlehnung an die Empfehlungen des deutschen Städtebundes erfolgen. Die Intervalle sind bei der Wärme von der Leistung der jeweiligen Wärmeversorgungsanlage und beim Strom vom jährlichen Stromverbrauch abhängig.

Folgende Ableseintervalle ergeben sich für die Turnhalle 20 der Siemenschule:

- Wärme – monatliche Ablesung
- Strom – tägliche Ablesung

Die Erfassung der Verbräuche ist im Rahmen der Konzepterarbeitung nur für einen Zeitraum von 6 Wochen erfolgt. Diese sollte im Anschluss an das Konzept jedoch dauerhaft durchgeführt werden. Nur so können konkrete Aussagen über die verschiedenen Einflussfaktoren des Energieverbrauchs lokalisiert werden. Die Datenerfassung ist durch das Zentrale Gebäudemanagement (ZGM) der Landeshauptstadt erfolgt.

Verbrauchsmessung Strom:

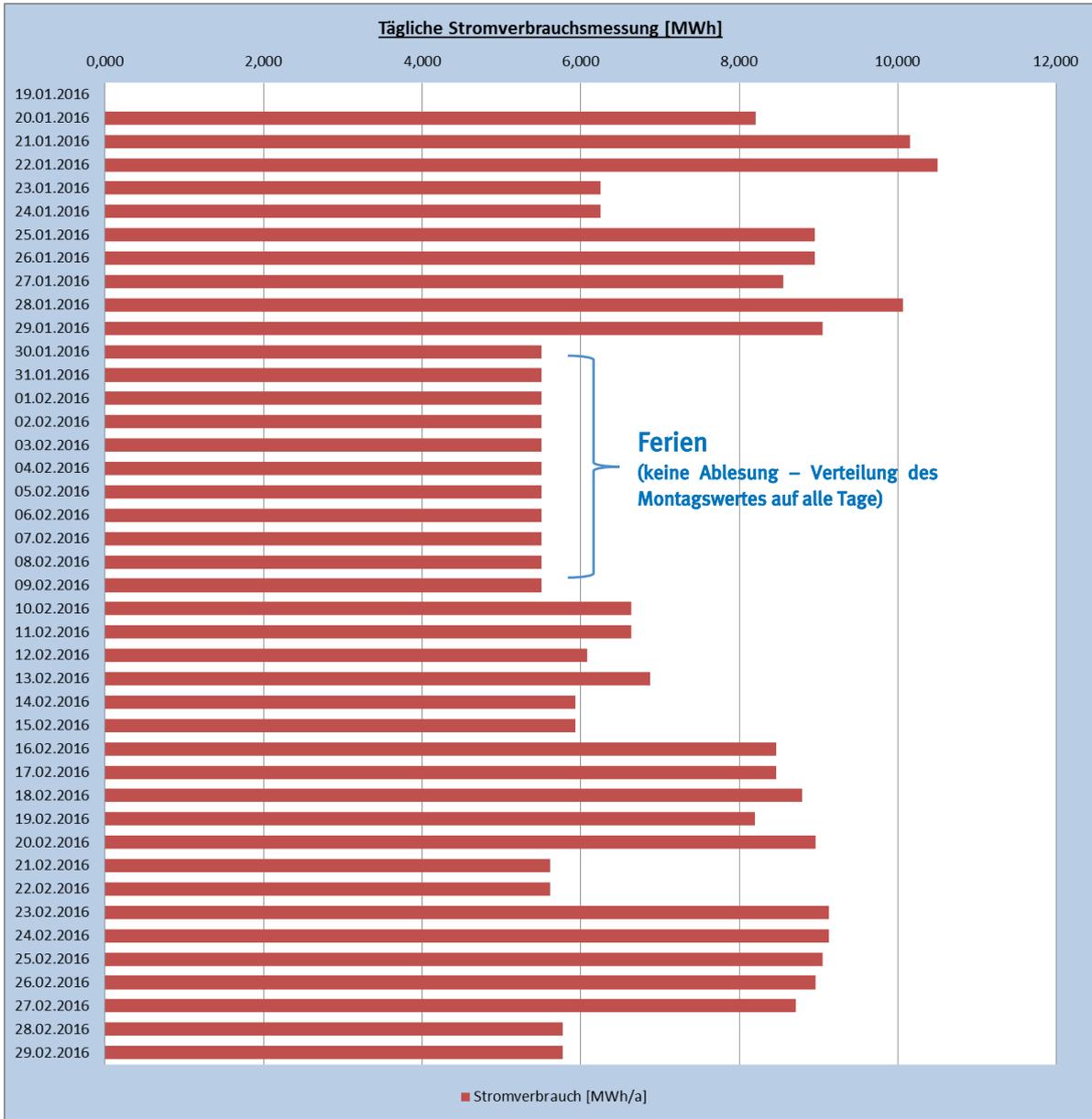


Abbildung 150: Stromverbrauch TH 20 – 19.01. – 23.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)

Beim Stromverbrauch der Turnhalle 20 fällt auf, dass der tägliche Verbrauch in der Woche relativ konstant ist. Eine Verbrauchsablesung an den Wochenenden und in der Ferienwoche erfolgte nicht (Ableseung dann am Montag). Die jeweiligen Ablesewerte vom Montag wurden in gleichen Teilen auf Samstag und Sonntag bzw. auf den Ferienzeitraum verteilt. Dennoch lässt sich ein verminderter Verbrauch in diesen Zeiträumen erkennen. Dieser liegt bei ca. 30 % unter dem durchschnittlichen Verbrauch an den Wochentagen. Genauere Aussagen zu möglichen Verbrauchseffekten am Wochenende und in den Ferien sind auf Grundlage dieser Werte leider nicht möglich.

Es lässt sich jedoch erkennen, dass der durchschnittliche Verbrauch an den Tagen mit verminderter Nutzung (Wochenende und Ferien) verhältnismäßig hoch ist. Man könnte daraus schlussfolgern, dass der Stromverbrauch der Anlagentechnik (Heizen) einen großen Anteil am Stromverbrauch der Hallen hat.

Eine Hochrechnung auf einen vergleichbaren Jahresverbrauch ist nur auf Grundlage des betrachteten Zeitraums nicht möglich.

Verbrauchsmessung Wärme:

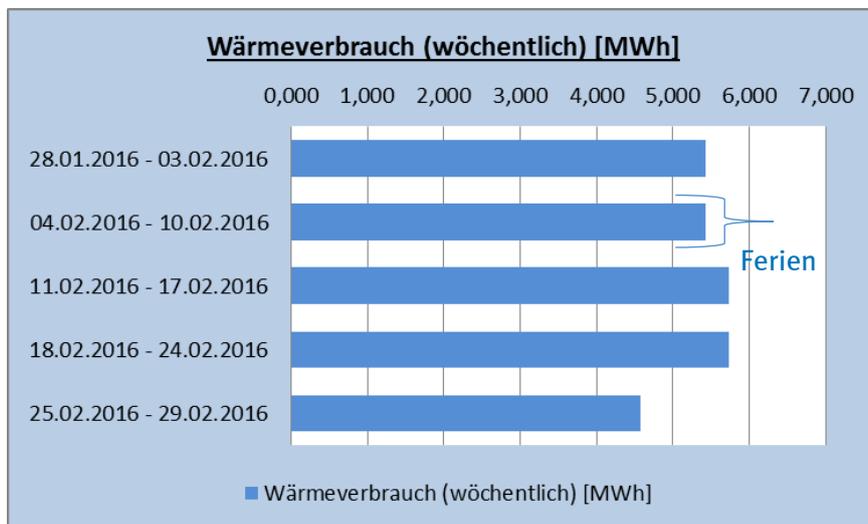


Abbildung 151: Wärmeverbrauch TH 19 vom 18.01. – 29.02.16
(Daten ZGM, eigene Darstellung)

Eine Verbrauchsablesung in der Ferienwoche (01.02. – 05.02.) erfolgte nicht. Um diesbezüglich dennoch eine Aussage treffen zu können, wurde der Verbrauch vom Ablesewert 10.02.16 (erster Ablesewert nach den Ferien) in gleichen Teilen auf die Zeiträume 28.01. – 03.02. und 04.02. – 10.02. verteilt. Somit lässt sich ein leicht geringerer Verbrauch gegenüber den nachfolgenden Wochen darstellen. Eine genaue Aussage zur Ursache dieser Verringerung kann nicht erfolgen. Allerdings könnte diese auf die geringeren Außentemperaturen im Zeitraum 11.02. – 24.02. zurückzuführen sein.

Außentemperaturen 10.01 – 28.02:

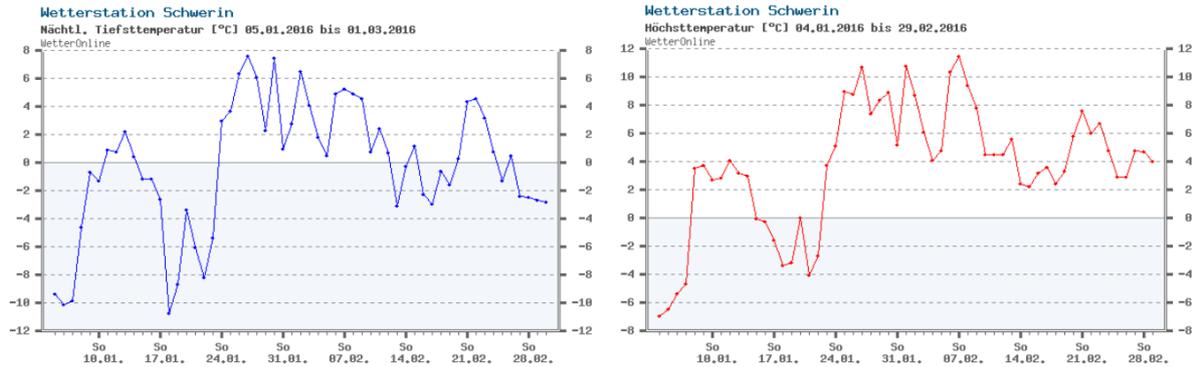


Abbildung 152: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾)

Genauere und detailliertere Aussagen sind nur bei einer täglichen und dauerhaften Verbrauchserfassung möglich.

Gesamtenergie- und CO₂-Bilanz des Jahres 2014

Im nachfolgendem Diagramm wird der Energieverbrauch für Wärme und Strom und die sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen gegenübergestellt. Die Werte basieren auf den Ergebnissen der Basisdatenbewertung des Baustein 1. Der Energieverbrauch für Wärme und Strom basiert dabei auf dem Ablesewert eines separaten Zählers.

In der nachfolgenden Abbildung zeigt sich, dass aufgrund des schlechteren CO₂-Äquivalentes der elektrischen Energie (341 g CO₂/kWh; Quelle SWS) im Vergleich gegenüber der Fernwärme (191 g CO₂/kWh; Quelle SWS) der Anteil deutlich von 20 % auf 30 % steigt. Bei dieser Turnhalle wurde der Stromverbrauch hallenspezifisch ermittelt. Der Anteil an den Gesamtenergieverbrauch ist größer und somit verändert sich auch die Verteilung bei den CO₂-Emissionen deutlich.

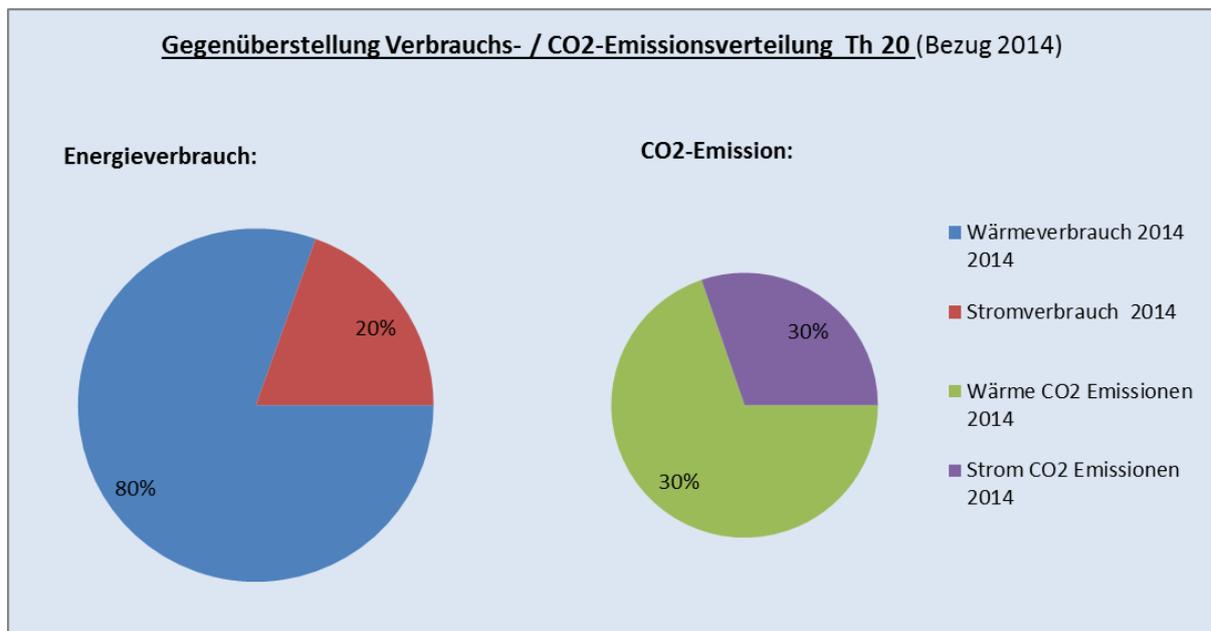


Abbildung 153: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO₂-Emissionsverteilung (eigene Darstellung)

4.6.6. Sanierungsvarianten

Die Investitionskosten werden anhand von Baukostentabellen und Erfahrungswerten ermittelt. Die Kostenansätze wurden zudem durch den Abgleich mit verschiedenen Sanierungskosten einiger Sporthallen verifiziert (Quelle ZGM). Sie beinhalten jeweils die Demontage der alten Bausubstanz und die Herstellung der beschriebenen Maßnahme.

Die jeweilige Energieeinsparung wird durch Anpassung der zuvor dargestellten Energiebedarfsberechnung mit einem U-Wert in Anlehnung an die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 ermittelt. Aus der prozentualen Einsparung werden dann in Bezug zu den tatsächlichen Verbrauchswerten die CO₂- und Betriebskosteneinsparungen ermittelt.

Maßnahme	Investitionskosten [€ inkl. MwSt.]	Einsparungen			Amortisationszeit [Jahre]
		Energie [%]	CO ₂ [kg/ Jahr]	Betriebskosten [€/Jahr]	
1 Austausch der Fassadenelemente durch Sandwichelemente auf mindestens U= 0,28 W/m ² K	150.000 €	ca. 11	ca. 5.700	ca. 2.700€	> 50
2 Austausch Dachelemente durch Sandwichelemente auf mindestens U= 0,20 W/m ² K	270.000€	ca. 20	ca. 10.300	4.800 €	> 50
3 Austausch Hallenboden mit Dämmung auf U= 0,35 W/m ² K	190.000 €	ca. 4	ca.2.000	1.000 €	> 50
4 Einbau Doppelstegplatten in Halle und neue Fenster in Sozialbereich neu auf U = 1,3 W/m ² K	80.000 €	ca. 11	ca. 5.700	2.700 €	30
5 Einbau Wärmerückgewinnung Lüftung	40.000 €	10	5.500	2.500 €	16
6 Ersatz Beleuchtung durch LED	20.000 €	60	60%	60%	n.a.

Tabelle 106: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 20 (eigene Tabelle)

Kurzfristige Maßnahmen:

- Nutzungspotenziale der Hallen besser nutzen, Auslastungsoptimierung
- Sanierungskonzept für die bauliche Hülle und die technische Gebäudeausstattung
- Nutzerverhalten beeinflussen - Schulung der Hausmeister und Aufklärung für Schüler und Lehrer
- Überprüfung und Neujustierung der Anlageneinstellungen – hydraulischer Abgleich, Warmwassertemperatur

Mittelfristige Maßnahmen:

- Sanierung besonders schlechter Bauteile als Einzelmaßnahme
- Vertragsverhandlungen mit den Stadtwerken (Vertragsoptimierung)
- Trennung und Zählerausstattung der verbrauchsintensiven Energieverbrauchskreise mit Anschluss an die Zählerfernauslesung (GLT)

Langfristige Maßnahmen:

- Umsetzung des Sanierungskonzeptes – Gesamtoptimierung des Bauwerks (Dach, Fenster, Boden, Außenwände, TGA)
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger
- Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Energieträgerumstellung auf erneuerbare Energien entweder durch eigene Anlagen oder über den Energieversorger

5. Prioritäten und Maßnahmenreihenfolge (Baustein 2 und 3)

In der nachfolgenden Tabelle sind die CO₂-Einsparpotenziale der Sanierungsvarianten in Baustein 2 und 3 untersuchten Hallen dargestellt. Die Reihenfolge beruht dabei auf Grundlage der Summe aller Einzeleinsparungen der verschiedenen Sanierungsvarianten der Hallen (der Größe nach absteigend). Die CO₂-Einsparpotenziale der Maßnahmen an der baulichen Hülle und der technischen Gebäudeausstattung werden separat ausgewiesen.

Es ist ersichtlich, dass die Turnhalle 23 Perleberger Straße und die Turnhalle 19 BS Technik die größten CO₂-Einsparpotenziale haben. Aber auch die Turnhallen 24, 27, 18 und 6 weisen mögliche Einsparungen von jährlich über 20 Tonnen CO₂ auf. Würden alle Maßnahmen umgesetzt werden wären allein Einsparungen von ca. 339 Tonnen CO₂ möglich.

Sporthalle (sortiert nach Größe der mögl. CO ₂ -Einsparungen)		Maßnahmenbeschreibung	pot. CO ₂ -Einsparung [kg/ Jahr]
1	TH 23 Perleberger Straße	- Dämmung der Außenwand, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung, Einbau Fenster mit Doppelstegplatten	36.800
		- Ertüchtigung HL-Anlage	6.200
2	TH 19 Berufsschule Technik	- Austausch der Fassadenelemente und Dachelemente durch Sandwechelemente, Austausch Hallenboden mit Dämmung, Einbau Doppelstegplatten in Halle und neue Fenster	23.700
		- Einbau Wärmerückgewinnung Lüftung	5.500
3	TH 24 Meitner Straße	- neue Fassadenbekleidung, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung, Einbau Fenster mit Doppelstegplatten	22.200
		- Ertüchtigung HL-Anlage	4.000
4	TH 27 Gutenbergschule	- neue Fassadenbekleidung, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung, Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle	15.100
		- Einbau Lüftungsanlage	2.500
		- Ertüchtigung HL-Anlage	5.000
5	TH 18 Schule für Bautechnik	- Dämmung der Außenwand, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung, Einbau neuer Fenster mit Anbau	17.500
		- Einbau Lüftungsanlage mit WRG	4.300
6	TH 6 Berufliche Schule und Soziales	- Dämmung der Außenwand+ obersten Geschossdecken; Austausch Fußboden+ Glasbausteine	18.600
		- Ertüchtigung HL-Anlage	2.700
7	TH 26 Hamburger Allee 122 (Judo Halle)	- neue Fassadenbekleidung, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung, Einbau Fenster mit Doppelstegplatten in Halle	16.300
		- Ertüchtigung HL-Anlage	2.800
8	TH 17 Berufsschulförderzentrum West	- Dämmung der Außenwand, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung, Einbau Fenster mit Doppelstegplatten	10.800
		- Einbau Lüftungsanlage	2.100
		- Ertüchtigung HL-Anlage	4.200
9	TH 25 Hegelstraße	- Dämmung der Außenwand, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung, Sanierung Lichtband Halle mit Doppelstegplatten	10.800
		- Einbau Lüftungsanlage	4.000
		- Ertüchtigung HL-Anlage	900

10	TH 13 Nils Holgerson Schule	- Dämmung der Außenwand, Dämmung Dach, Austausch Fußboden mit Dämmung - Ertüchtigung HL-Anlage	11.300 4.000
11	TH 9 Erich Weinert Schule (Denkmal)	- Innendämmung der Außenwand, Dämmung der obersten Geschossdecke, Austausch neuer Fußboden mit Dämmung - Einbau Lüftungsanlage	11.800 3.200
12	TH 10 Fritz-Reuter-Schule	- Dämmung der Außenwände mit Innendämmung, Dämmung Flachdach, Austausch Hallenborden mit Dämmung, Einbau neuer Fenster - Einbau Lüftungsanlage	11.050 3.200
13	TH 3 Sprachheilschule	- Fassaden, Dach, Hallenboden - Ertüchtigung HL-Anlage	11.600 2.400
14	TH 5 Heinrich-Heine Schule	- Innendämmung der Außenwand, Kellerdämmung - Fernwärmeanschluss - Einbau Lüftungsanlage	8.000 1.800 3.200
15	TH 20 Siemensschule	- Dämmung Giebelwände und der ungedämmten Wand des Sozialtraktes, Austausch Hallenboden mit Dämmung - Einbau Wärmerückgewinnung Lüftung	7.760 4.000
16	TH 22 Altes Fridericianum	- Dämmung der Außenwände mit Innendämmung im unteren Bereich - Einbau Lüftungsanlage - Ertüchtigung HL-Anlage	3.000 5.200 2.600
17	TH 15 Astrid-Lindgren-Schule	- Dämmung der Außenwand, Austausch Fußboden mit Dämmung - Ertüchtigung HL-Anlage	6.800 3.500
18	TH 8 Friedensschule	- Dämmung der Außenwände mit Innendämmung im unteren Bereich - Einbau Lüftungsanlage - Ertüchtigung HL-Anlage	3.000 1.700 3.400
19	TH 14 Bertolt-Brecht-Schule	- Dämmung der Außenwand, Austausch Fußboden mit Dämmung - Ertüchtigung HL-Anlage	5.700 2.200
20	TH 12 John Brinkmann-Schule	- Dämmung Fußboden - Ertüchtigung HL-Anlage	450 1.800
		Summe potenzielle CO₂-Einsparung	339 t/ a

Tabelle 107: Hallensanierung/ Maßnahmenreihenfolge nach Pot. CO₂-Einsparung
(eigene Darstellung)

6. Finanzierungsmöglichkeiten

6.1. Aktionsplan Klimaschutz MV

Das Land Mecklenburg-Vorpommern realisiert die Unterstützung nach dieser Richtlinie unter Nutzung von Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).

Wer wird gefördert?

Zuwendungsempfänger, sofern sie nicht wirtschaftlich tätig sind, können sein:

- Körperschaften und Anstalten öffentlichen Rechts (z. B. Kommunen, Kirchen)
- Vereine, Verbände und Stiftungen

Was wird gefördert?

Investive Maßnahmen, die der direkten oder indirekten Einsparung von Treibhausgasen dienen. Dazu zählen insbesondere:

- Investive Maßnahmen zur Energieeinsparung und zur Verbesserung der Energieeffizienz, die über den gesetzlichen Standard hinausgehen
- Investive Maßnahmen zum Einsatz regenerativer Energien zur Wärmenutzung
- Infrastrukturmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien
- Investive Maßnahmen zum Einsatz alternativer nichtfossiler Kraftstoffe und Antriebe;
- Innovative Projekte zur Nutzung von Energieeffizienzpotenzialen und erneuerbaren Energien
- Vorplanungsstudien zur Vorbereitung von investiven Maßnahmen; Studien zum Aufbau lokaler, regenerativer Energieversorgungsstrukturen; Energiemanagementuntersuchungen Planungsleistungen investiver Maßnahmen

Zuwendungsfähig sind Ausgaben, soweit sie zur Durchführung des Vorhabens erforderlich sind. Nähere Details entnehmen Sie bitte der Klimaschutzförderrichtlinie Kommunen.

Zuwendungsvoraussetzungen:

Zuwendungen werden gewährt unter der Voraussetzung, dass

- das Projekt in M-V durchgeführt wird,
- die zuwendungsfähigen Ausgaben mindestens 20.000 EUR betragen,
- sich der Projektstandort im Eigentum des Antragstellers befindet beziehungsweise dieser eine Nutzungsberechtigung entsprechend der Zweckbindungsfrist für den Standort nachweisen kann
- das Projekt sachlich, technologisch und bautechnisch unter Beachtung des Grundsatzes der Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit geplant ist,
- die für die Durchführung des Projektes erforderlichen Genehmigungen vorliegen,
- die Gesamtfinanzierung des Projektes einschließlich der Finanzierung der Folgekosten gesichert ist,
- mit dem Vorhaben nicht vor Bewilligung der Zuwendung oder vor Genehmigung des vorzeitigen Vorhabenbeginns begonnen wird,
- die Amortisationszeit des Projektes fünf Jahre überschreitet.

Die Zweckbindungsfrist beträgt mindestens 5 Jahre.

Wie wird gefördert?

Die Zuwendung wird als Anteilfinanzierung der zuwendungsfähigen Ausgaben als nicht rückzahlbarer Zuschuss gewährt. Die Höhe der Anteilfinanzierung beträgt in der Regel bis zu 50 %, im Ausnahmefall kann einmalig ein maßnahmespezifischer Bonus gewährt werden. Details zu den Förderhöhen werden über ein separates Förderhöhenmerkblatt des Ministeriums für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung veröffentlicht.

Der Antragsteller hat seine Bemühungen um Förderung durch andere Stellen nachzuweisen.

Wie ist das Antragsverfahren?

Schriftliche Anträge sind formgebunden vor Vorhabensbeginn, d. h. vor Abschluss jeglicher Lieferungs- und Leistungsverträge im Landesförderinstitut einzureichen. Planungsleistungen gelten nicht als Beginn.

Ein Rechtsanspruch des Antragstellers auf Gewährung der Zuwendung besteht nicht. Das Land entscheidet nach pflichtgemäßem Ermessen im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel.

Im Rahmen der Förderung aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sind besondere Regelungen zur Auftragsvergabe und zur Publizität zu beachten.

Merkmale Klimaschutz-Förderrichtlinie nicht wirtschaftlich tätige Organisationen
Stand 18.02.2016

Die Zuwendung wird im Wege der Anteilfinanzierung der zuwendungsfähigen Ausgaben gewährt und im Zuwendungsbescheid auf einen Höchstbetrag begrenzt. Die Ermittlung des Zuschusses erfolgt auf der Basis von Bruttoinvestitionskosten einschl. MwSt.
Die Projekte können **nicht** mit anderen Strukturfondsmitteln kombiniert werden (ELER; LEADER; ESF).

Fördertatbestand	Grundförderung
Energieeffizienz über gesetzl. Standard	50 %
Abwärmenutzung	50 %
LED-Beleuchtung	50 %
Nahwärmnetz	50 %
Biomasse-Heizung	50 %
Wärme/Kältespeicher	50 %
Elektromobilität, Infrastruktur	50 %
Solarthermie	50 %
oberflächennahe Geothermie, sofern Öko-Strom verwendet wird	50 %
oberflächennahe Geothermie	40 %

Folgender **Bonus** kann gewährt werden:
maßnahmespezifischer Bonus (einmalig): 10 %

- für besondere Innovationen oder
- für Projekte mit erheblich verbesserter Ressourceneffizienz oder
- für Projekte mit besonderem Multiplikatoreffekt, Demonstrationscharakter oder Öffentlichkeitswirksamkeit.

Eine entsprechende Begründung (z.B. Berechnungen, Vergleiche, Grafiken) ist den Antragsunterlagen beizufügen.

Zur Information wird der aktuelle Stand der Förderpraxis ebenfalls veröffentlicht: Bei Straßenbeleuchtungsfördermaßnahmen, bei denen satzungsgemäß Anliegerbeiträge zu erheben sind, ist nur der um die Fördermittel reduzierte beitragsfähige Investitionsaufwand nach der gemeindlichen Satzung auf die Anliegergrundstücke zu verteilen.

- Bei der Beschaffung von Elektrofahrzeugen sind grundsätzlich die **Ausgaben im Verhältnis zu Fahrzeugen mit herkömmlicher Antriebsversion** förderfähig.

Abbildung 154: Merkblatt Klimaschutz-Förderrichtlinie Kommunen (Quelle: LFI)

6.2. KMU – Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzrichtlinie

Seit Sommer 2008 fördert das Bundesumweltministerium auf Basis der Kommunalrichtlinie ("Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative") Klimaschutzprojekte in Kommunen.

Diesbezüglich werden infolge der Sanierung der technischen Anlagen und der Gebäuden von Schulen und Kindertagesstätten, Jugendfreizeiteinrichtungen sowie Sportstätten und Schwimmhalle besonders hohe Potenziale direkter Energieeinsparung und die nachhaltige Reduktion von Treibhausgasemissionen erwartet. Um diese Potenziale kurzfristig zu erschließen, wird für die genannten Einrichtungen bzw. ihre Träger im Rahmen der Klimaschutzrichtlinie eine besondere Förderung für ausgewählte investive Klimaschutzmaßnahmen gewährt.

Antragsberechtigt sind Kommunen und Zusammenschlüsse, die zu 100 Prozent aus Kommunen gebildet werden sowie öffentliche, gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Kindertagesstätten, Schulen und Jugendfreizeiteinrichtungen bzw. deren Träger.

Kommunen, die nicht über ausreichende Eigenmittel verfügen, können unter bestimmten Voraussetzungen eine erhöhte Förderquote (bis zu 52 %) erhalten. Die Bedingungen dazu sind dem „Merkblatt Klimaschutzinvestitionen in Kindertagesstätten, Schulen, Jugendfreizeiteinrichtungen, Sportstätten und Schwimmhallen“ dargestellt.

Zudem können mehrere Förderschwerpunkte innerhalb eines Projektes gefördert werden. Die Anträge investiver Maßnahmen gleicher Förderquoten können dabei zu einem Antrag zusammengefasst werden.

Weitere Informationen zu dem Förderprogramm können direkt beim „Projektträger Jülich“ (www.ptj.de) oder beim „Service & Kompetenz Zentrum - Kommunalen Klimaschutz!“ (www.Klimaschutz.de) abgerufen werden.

Auf der nachfolgenden Seite werden die verschiedenen Förderbereiche und die dazugehörige Förderquote dargestellt.

Förderbereich (Nr. aus Merkblatt)		Beschreibung	Förderquote
1	Sanierung der Außenbeleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> - Einbau LED-Beleuchtungstechnik - Installation einer tageslicht-abhängigen Regelungs- und Steuerungstechnik - zonenweise Zu- und Abschaltung von Leuchten in Abhängigkeit von den Soll-Beleuchtungsstärken 	30 %
2	Sanierung und Nachrüstung von Raumluftechnischen Geräten	<ul style="list-style-type: none"> - Sanierung und Austausch ineffizienter raumluftechnischer Geräte - Ausgaben für die Anschaffung der RLT-Geräte sowie für die dazugehörige Steuerungstechnik - Montage, Demontage und fachgerechte Entsorgung 	35 %
3	Sanierung der Innenbeleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> - Einbau LED-Beleuchtungstechnik - zonenweise Zu- und Abschaltung von Leuchten in Abhängigkeit von den Soll-Beleuchtungsstärken - Installation einer Zeitsteuerung in Fluren und Treppenhäusern + Eingangsbewegungsmelder in Umkleiden oder anderen Nebenräumen 	40 %
4	Sanierung der Hallenbeleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> - Einbau kompletter hocheffizienter LED-Beleuchtungstechnik in Verbindung mit einer nutzungsgerechten Leistungsregelung und/oder Präsenzsteuerung - zonenweise Zu- und Abschaltung von Leuchten in Abhängigkeit von den Soll-Beleuchtungsstärken 	40 %
5	Austausch alter Pumpen durch Hocheffizienzpumpen	<ul style="list-style-type: none"> - Optimierung der Wärmeverteilung im Heizungssystem - Austausch der Zirkulationspumpe gegen eine Hocheffizienzpumpe 	40 %
6	Dämmung von Heizkörpernischen	<ul style="list-style-type: none"> - nachträgliche Dämmung von Heizkörpernischen zur Reduzierung der Wärmeverluste durch die Nischenaußenwand 	40 %
7	Ersatz ineffizienter zentraler Warmwasserbereitungsanlagen gegen effiziente Warmwasserbereitung	Stilllegung sowie der Rückbau ineffizienter zentraler Warmwasserbereitungssysteme mit großen Verteilnetzen und hohen Verlusten Sanierung alter ineffizienter zentraler Warmwasserbereitungsanlagen unter Berücksichtigung notwendiger Anpassungsmaßnahmen an den tatsächlichen Warmwasserbedarf	40 %
8	Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung aus Grauwasser bei Sportstätten	Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung aus Grauwasser bei Schwimmhallen und Sporthallen Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus dem Duschwasser und bei Schwimmhallen aus dem Wasser der Filtrerrückspülung	40 %
9	Einbau einer Gebäudeleittechnik/ Gebäudeautomation	erstmaliger Einbau von Komponenten zur Realisierung eines technischen Energiemanagementsystems mit dem Ziel der Energieeinsparung durch eine effiziente Betriebsweise des Gebäudes	40 %

 Tabelle 108: Zusammenfassung der Förderschwerpunkte aus der KMU/Merkblatt⁸
⁸ <https://www.ptj.de/klimaschutzinitiative-kommunen/klimaschutzinvestitionen>

6.3. Städtebaufördermittel (Liste mit Hallen in Fördergebieten)

Eine weitere Finanzierungsmöglichkeit für die Sanierung einer Sporthalle ergibt sich über die Städtebauförderung. Sporthallen zählen zu den Gemeinbedarfs- und Folgeeinrichtungen, die gemäß Punkt F.4.3 der Förderrichtlinie zur Städtebauförderung grundsätzlich förderfähig sind. Auf dieser Grundlage sind bei Bestandsgebäuden bis zu 75 % der Kosten förderfähig. Voraussetzung für eine Förderung im Rahmen der Städtebauförderung ist, dass die betreffende Sporthalle in einem Fördergebiet liegt. Um in einem solchen Fall eine Förderung zu erhalten, ist es erforderlich, dass die geplante Turnhallensanierung in die Prioritätenliste der jeweiligen Gesamtmaßnahme aufgenommen ist. Wenn die Prioritätenliste seitens des Landes bestätigt ist und die Finanzierung gesichert ist, hat der erforderliche F.4.3 Antrag Aussicht auf Erfolg.

In der jüngeren Vergangenheit hat das Wirtschaftsministerium auch Zuschüsse für Gemeinbedarfs- und Folgeeinrichtungen gewährt, wenn sie außerhalb des Fördergebietes gelegen waren, aber eine Funktion für ein Fördergebiet erfüllt haben.

Vor diesem Hintergrund bestehen durchaus Chancen, eine Förderung auch für Maßnahmen zu erhalten, die außerhalb des Fördergebietes liegen, sofern der Nachweis möglich ist, dass die geplanten Maßnahmen dem jeweiligen Fördergebiet zu Gute kommen.

Sporthallen in Fördergebieten			
Nr.	Objektbezeichnung	Straße	Baujahr
3	TH Sprachheilschule	Andrej-Sacharow-Straße 75	1978
5	TH Heinrich-Heine-Schule	Werderstraße 83	1927
8	TH Friedensschule	Friedensstraße 14	1887
9	TH Erich-Weinert-Schule	Rudolf-Breitscheid-Straße 23	1912
13	TH Nils-Holgersson-Schule	Friedrich-Engels-Straße 35	1975
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	Von-Stauffenberg-Straße 67	1975
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	Tallinner Straße 6	1976
22	TH Altes Fridericianum	August-Bebel-Str. 11-12	1890
23	TH Perleberger	Perleberger Straße 18	1979
24	TH Meitnerstr.	Lise-Meitner-Straße 3	1982
25	TH Hegelstraße	Hegelstraße 10	1985
26	TH Hamburger Allee 122	Hamburger Allee 122	1981
27	TH Gutenbergschule (Ziolkowskistr. 16a)	Ziolkowskistraße 16 a	1982
30	TH Mecklenburgische Schule für Körperbehinderte	Ratzeburger Str.	1998

Tabelle 109: Liste der Turnhallen in Fördergebieten

7. Schlussbetrachtung

Im Ergebnis der Untersuchungen im Rahmen des Klimaschutz-Management (Baustein 1; alle 25 Sporthallen betrachtet; siehe Punkt 2) ist festzustellen, dass ein Großteil der betrachteten Turnhallen einen großen bis sehr großen Wärmeverbrauch und Stromverbrauch aufweist. Die Tabelle 7 und die Tabelle 12 (Baustein 1) zeigen, dass sich daraus enorme CO₂-Emissionen ergeben. Die betrachteten Sporthallen der Landeshauptstadt Schwerin verursachten 2014 unter Verwendung der CO₂-Äquivalente der Stadtwerke Schwerin CO₂-Emissionen in Höhe von ca. 790 Tonnen CO₂-Äquivalent für Wärme und ca. 316 Tonnen CO₂-Äquivalent für Strom.

In der nachfolgenden Tabelle sind die CO₂-Emissionen aller in Baustein 1 betrachteten Turnhallen für die Jahre 2012 -2014 ersichtlich:

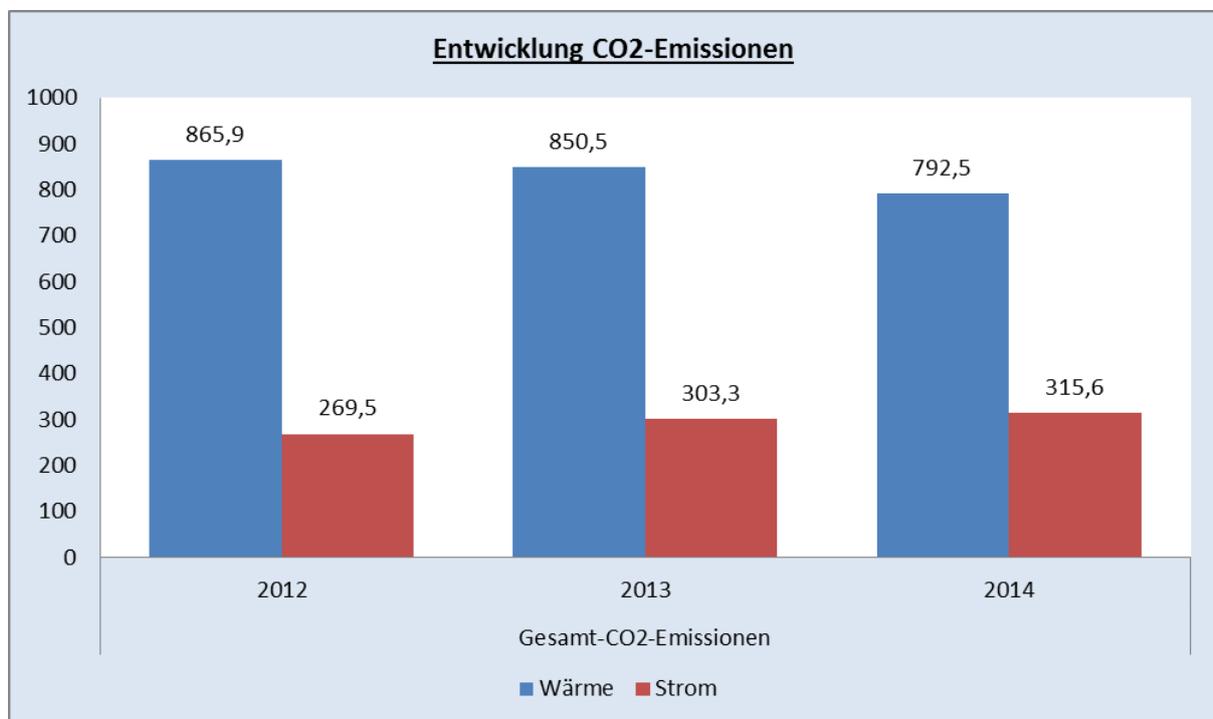


Abbildung 155: Entwicklung CO₂-Emissionen aus Baustein 1 (eigene Darstellung)

Bei dieser Abbildung fällt auf, dass die CO₂-Emissionen des Wärmeverbrauchs leicht rückläufig (ca. -8% ggü. 2012) und die des Stromverbrauchs leicht gestiegen (ca. +16% ggü. 2012) sind.

Insgesamt sind somit die CO₂-Emissionen im Betrachtungszeitraum leicht um 2,5 % gesunken. Die Gründe für diese Entwicklung lassen sich im Rahmen dieser Betrachtung aber nur schwer erfassen. Sie können sich einerseits aus baulichen Sanierungen einzelner Hallen, andererseits aber auch Erhöhungen der Hallenauslastung ergeben.

Beim theoretischen Vergleich der vorhandenen Strom- und Wärmeverbrauchskennwerte mit Vergleichswerten der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ ergeben sich zudem enorme CO₂-Minderungspotenziale. Dabei berechnet sich die Einsparung aus der Differenz des tatsächlichen Verbrauchs zum Vergleichswert (genaue Erläuterung unter 2.3.4 und 2.3.7). Bilanziell ergeben

sich daraus CO₂-Einsparungen von ca. 190 Tonnen beim Wärmeverbrauch und ca. 95 Tonnen beim Stromverbrauch.

Im Ergebnis der Begehungen vor Ort und der Untersuchungen der Bestandunterlagen der Turnhallen im Rahmen der Gebäudebewertung (Baustein 2; 15 Turnhallen betrachtet; siehe Punkt 3) und der Feinanalyse (Baustein 3; 5 Sporthallen betrachtet; siehe Punkt 4) ist festzustellen, dass sich die meisten Sporthallen in einem schlechten bis sehr schlechten energetischen Zustand befinden. Das bezieht sich sowohl auf die Gebäudehülle als auch auf die technische Gebäudeausstattung.

In der nachfolgenden Abbildung ist die energetische Qualität der Sporthallen dargestellt (Reihenfolge: sortiert nach Baustein 2 und 3). Wie schon in der jeweiligen Vorgehensweise der Bausteine 2 und 3 dargestellt, bedeutet rot – Schlecht/ unsaniert, gelb – Mittel/ teilweise saniert und grün – Gut/ saniert.

Übersicht - energetische Qualität der Bauteile/ TGA aller Hallen									
Sporthallen Übersicht Baustein 2									
Nr.	Objektbezeichnung	bauliche Hülle				TGA			
		Wand	Boden	Dach	Fenster	Wärme- erzeuger	Wärme- verteilung	Lüftung	Beleucht- ung
3	TH Sprachheilschule	rot	rot	rot	grün	gelb	gelb	gelb	rot
5	TH Heinrich-Heine-Schule	rot	gelb	grün	grün	gelb	grün	rot	rot
6	TH BS GS-G	rot	rot	rot	gelb	gelb	gelb	gelb	rot
8	TH Friedensschule	gelb	grün	grün	grün	gelb	grün	grün	rot
9	TH Erich-Weinert-Schule	rot	rot	rot	grün	gelb	gelb	rot	grün
12	TH John-Brinckman-Schule	grün	gelb	grün	grün	gelb	gelb	gelb	grün
13	TH Nils-Holgersson-Schule	rot	rot	rot	grün	grün	grün	gelb	rot
14	TH Bertholt-Brecht-Schule	rot	rot	grün	grün	gelb	gelb	gelb	rot
17	TH Berufsschulförderz. West	rot	rot	rot	rot	gelb	gelb	rot	rot
22	TH Altes Fridericianum	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
23	TH Perleberger	rot	rot	rot	rot	grün	grün	gelb	rot
24	TH Meitnerstr.	rot	rot	rot	rot	gelb	gelb	gelb	rot
25	TH Hegelstraße	rot	rot	rot	rot	gelb	gelb	rot	rot
26	TH Hamburger Allee 122	rot	rot	rot	rot	rot	gelb	rot	rot
27	TH Gutenbergschule	rot	rot	rot	rot	grün	grün	rot	rot
Sporthallen Übersicht Baustein 3									
10	TH Fritz-Reuter-Schule	rot	rot	rot	rot	grün	grün	rot	rot
15	TH Astrid-Lindgren-Schule	rot	gelb	grün	grün	grün	grün	gelb	rot
18	TH BS Bautechnik	rot	rot	rot	gelb	grün	grün	gelb	rot
19	TH BS Technik	rot	rot	rot	rot	grün	grün	grün	rot
20	TH Siemens-Schule	gelb	rot	grün	grün	grün	grün	gelb	rot

Tabelle 110: Übersicht - energetische Qualität der Bauteile/TGA aller Hallen (eigene Darstellung)

Diese Tabelle macht deutlich, dass der energetische Sanierungsbedarf bei den betrachteten Sporthallen enorm ist. Lediglich zwei Turnhallen (TH 8 und 12) befinden sich sowohl baulich als

auch bei der Anlagentechnik in einem nahezu durchgängig guten Zustand. Gerade im Bereich der Gebäudehülle gibt es bei allen Sporthallen ein erhebliches Optimierungspotenzial.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Summe der Wärmeverluste über die bauliche Hülle (Transmissionswärmeverluste) für alle Hallen, ergibt sich folgende Verteilung:

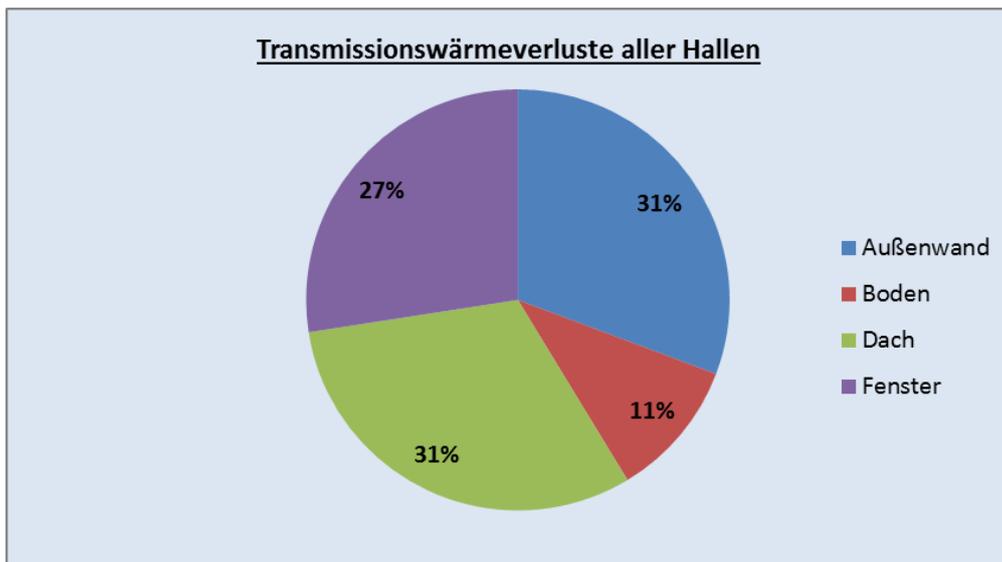


Abbildung 156: Verteilung der Transmissionswärmeverluste aller Hallen (eigene Darstellung)

Es zeigt sich, dass die Transmissionswärmeverluste der Turnhallen der Landeshauptstadt Schwerin ungefähr zu gleichen Teilen über die Außenwand, das Dach/Decke und die Fenster erfolgen. Die Fenster, die flächenmäßig kleinsten Bauteile, weisen somit wahrscheinlich die größten Potenziale auf. Der Anteil des Wärmeverlustes über den Boden, ist im Vergleich zu den anderen Bauteilen, mit 11 % verhältnismäßig gering. Das liegt aber nicht daran, dass die Hallenböden häufiger saniert oder energetisch besser sind. Vielmehr liegt die Ursache dafür darin, dass der Wärmeverlust an den Randbereichen höher ist als in der Hallenmitte ist. Der Wärmeverlust ist hier nicht wie bei den anderen Bauteilen gegen Außenluft verhältnismäßig homogen über die Fläche verteilt, sondern in den Hallenrandbereichen sehr groß ist und zur Hallenmitte stark abnehmend. Dieser Einfluss wurde in der Bedarfsberechnung über einen Korrekturfaktor berücksichtigt.

Um eine Reihenfolge für die Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen zu erhalten, wurden die potenziellen CO₂-Einsparungen der Größe (je Halle) nach aus der Summe aus potenzieller baulicher und technischer Einsparung sortiert. Diese sind getrennt nach Sanierung der baulichen Hülle und der technischen Anlage in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Wie schon unter Punkt 5 dargestellt ist die Turnhalle Perleberger Straße die Turnhalle die die größten Einsparpotenziale aufweist.

Sporthalle (sortiert nach Größe der mögl. CO ₂ -Einsparungen)		pot. CO ₂ -Einsparung
		[kg/ Jahr]
1	TH23 Perleberger Straße	43000
2	TH19 Berufsschule Technik	29200
3	TH24 Meitner Straße	26200
4	TH27 Gutenbergschule	22600
5	TH18 Schule für Bautechnik	21800
6	TH6 Berufliche Schule und Soziales	21300
7	TH26 Hamburger Allee 122 (Judo Halle)	19100
8	TH17 Berufsschulförderzentrum West	17100
9	TH25 Hegelstraße	15700
10	TH13 Nils Holgerson Schule	15300
11	TH9 Erich Weinert Schule (Denkmal)	15000
12	TH10 Fritz-Reuter-Schule	14250
13	TH3 Sprachheilschule	14000
14	TH5 Heinrich-Heine Schule	13000
15	TH20 Siemensschule	11760
16	TH22 Altes Fridericianum	10800
17	TH15 Astrid-Lindgren-Schule	10300
18	TH8 Friedensschule	8100
19	TH14 Bertolt-Brecht-Schule	7900
20	TH12 John Brinkmann-Schule	2250
		339 t/ a

Tabelle 111: Maßnahmenreihenfolge der Turnhallen in Baustein 2 und 3 (eigene Darstellung)

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist eine Sanierung der Turnhallen sicherlich nur bis auf ein Niveau der aktuellen EnEV 2014 sinnvoll. Die restlichen CO₂-Einsparungen wären dann über einen kompletten Energieträgerwechsel auf erneuerbare Energien erreichbar. Dies kann beispielsweise über Einzellösungen je Halle oder über eine Gesamtumstellung des Fernwärmenetzes erreicht werden. Hierunter sind Maßnahmen seitens des Energieversorgers zur Senkung des CO₂-Äquivalents der bezogenen Energiearten Wärme und Strom, wie z.B. Nutzung von Geothermie, Bioenergie und Sonnenenergie zu verstehen.

Die oben dargestellte Tabelle stellt lediglich theoretisch errechnete Werte dar, die noch durch exakte Sanierungslösungen und die daraus resultierenden Einsparungen unterlegt werden müssen. Diese Phase müsste im Anschluss der Konzeptbearbeitung erfolgen.

Wenn man die Summe aller Einsparungen den tatsächlichen CO₂-Emissionen gegenüberstellt fällt auf, dass rechnerisch die CO₂-Emissionen, durch die hallenspezifischen Maßnahmen um 30 % reduziert werden könnten.

Hierbei ist zu beachten, dass die Einsparung durch Umsetzung der Maßnahmen statisch angesetzt wurde und nicht, wie in der Praxis naheliegend, dynamisch in Wechselwirkung der Umsetzungsmaßnahmen zueinander.

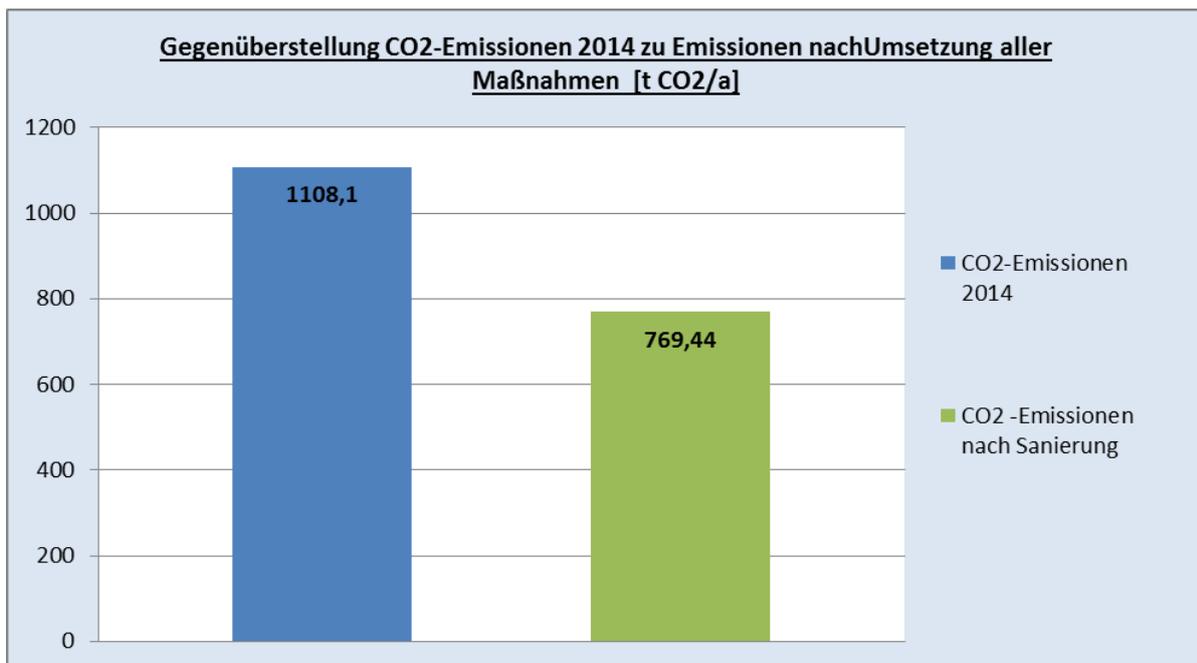


Abbildung 157: Gegenüberstellung CO₂-Emissionen nach Umsetzung aller Maßnahmen
(eigene Darstellung)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Einfluss auf den Klimaschutz durch die Sporthallen Schwerins hauptsächlich durch die Beeinflussung des Energieverbrauchs geltend gemacht werden kann, da zum Klimaschutz die Vermeidung emissionsrelevanter Energieverbräuche maßgeblich sind. Dabei wird der Energieverbrauch nachhaltig von 3 Dingen beeinflusst:

- Betrieb der Sporthalle
- Baulicher Zustand im Hinblick auf Wärmeverluste
- Effizienz des Energieeinsatzes im Hinblick auf die Nutzung, z.B. Beleuchtung, Lüftung, Heizung

Die allgemeine Reihenfolge der Einflussfaktoren, aus dem Maß der Beeinflussung des Energieverbrauches, folgt analog zur vorstehenden Aufzählung.

Die Erreichbarkeit des maximalen Klimaschutzbeitrages folgt aus der finanziellen Machbarkeit. Hierzu wäre es denkbar, ein Ranking der möglichen Maßnahmen auf der Basis einer gebildeten Kennzahl „Euro/ kgCO₂-Einsparung“ zu bilden, welche sich allgemein als CO₂-Vermeidungskosten bezeichnen lassen. Hierin sollte sich mit überwiegendem Anteil der Aufwand zur Energieeinsparung widerspiegeln und ein Großteil der entstehenden Kosten durch die Einsparung refinanzieren lassen. Da sich jedoch die Kosten für Maßnahmen zur CO₂-Einsparung durch die Energieeinsparung nicht vollständig refinanzieren lassen, bedarf es einer politischen Entscheidung über den Stellenwert und die Prioritätensetzung der nicht rentierlichen Maßnahmen.

Zur genauen Bestimmung der Kosten und der zu erwartenden Effekte ist im Vorhabensfall eine detaillierte Fachplanung erforderlich. Auch nichtinvestive Maßnahmen wie Ergebnisse von Liefervertragsverhandlungen oder die Optimierung von Hallennutzungsplänen können entsprechend indiziert als „CO₂-Vermeidungsmassnahmen“ aufgefasst werden. Grundsätzlich ist zur Feststellung der Wirksamkeit der beabsichtigten Maßnahmen eine Kontrollmöglichkeit erforderlich. Hierzu ist im Rahmen des Energiemanagements eine detaillierte Erfassung und Auswertung der klimarelevanten Verbräuche zu etablieren. Dies kann über den Ausbau der Zählerstruktur im Rahmen der Ertüchtigung der Gebäudeleittechnik erfolgen.

Aus finanzieller Sicht sind die CO₂-Vermeidungskosten im Kontext mit Sanierungskosten, Energieeinsparungseffekten und dem Gewinn an Lebensqualität zu sehen.

Aus der Sicht des Klimaschutzes sind Sporthallen mit geringen Wärmeverlusten, niedrigen Stromverbräuchen und umweltfreundlich erzeugter und effizient genutzter Wärmeversorgung anzustreben. Den Weg hierzu bilden die in diesem Konzept dargestellten Maßnahmen, die Beteiligung des Energieversorgers und die adäquate Sportstättenplanung. Grundsätzlich sollte die Belegungsplanung/ Auslastung der energetisch günstigen Hallen erhöht werden und die Benutzung bzw. energieintensive Versorgung der energetisch besonders schlechten Hallen z.B. in den Wintermonaten reduziert werden.

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der im Konzept betrachteten Sporthallen	5
Tabelle 2: Übersicht der im Baustein 1 betrachteten Sporthallen	10
Tabelle 3: Hallenauslastung von Montag bis Sonntag (Quelle: eigene Darstellung)	12
Tabelle 4: Klimafaktoren vom Deutschen Wetterdienst	13
Tabelle 5: Übersicht Wärmeverbrauch Turnhallen (Datengrundlage ZGM)	14
Tabelle 6: Übersicht verwendeter CO ₂ -Äquivalente	16
Tabelle 7: Energiekennwerte für Wärme und Gesamt-CO ₂ -Emissionen (Quelle: Eigene Darstellung)	17
Tabelle 8: Energiepreise der einzelnen Wärmeerzeuger (Quelle: ZGM und Stadt Schwerin).....	18
Tabelle 9: Darstellung der potenziellen Energie-, Kosten- und CO ₂ -Einsparungen (Quelle: Eigene Darstellung)	19
Tabelle 10: Energieverbrauch elektrische Energie 2012 – 2014 (Quelle: Daten ZGM Schwerin, eigene Darstellung).....	21
Tabelle 11: Übersicht verwendeter CO ₂ -Äquivalente	22
Tabelle 12: Energiekennwerte für Wärme und Gesamt-CO ₂ -Emissionen (Quelle: Eigene Darstellung)	23
Tabelle 13: Gegenüberstellung Hallenauslastung/ Energiekennwert Strom (Quelle: Eigene Darstellung)	24
Tabelle 14: Energiepreise der einzelnen Wärmeerzeuger (Quelle: ZGM)	25
Tabelle 15: Darstellung Potenzieller Einsparungen ggü. 2014 (eigene Darstellung)	26
Tabelle 16: Übersicht der Hallen im Baustein 2	35
Tabelle 17: Berechnung der typischen Anlagenaufwandszahlen (eigene Darstellung)	41
Tabelle 18: Beispielwerte nach Raumtypen für Nutzenergie, Aufwandszahl und Endenergie	43
Tabelle 19: Berechnungsbeispiel Beispielturnhalle Leuchtstoff/ LED	44
Tabelle 20: Flächenbezogener Stromaufwand für die Verteilung von Heizwärme in kWh/(m ² a).	48
Tabelle 21: Turnhalle 3 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	62
Tabelle 22: Turnhalle 3 - TGA und Bewertung.....	64
Tabelle 23: Berechnung des Heizwärmebedarfs TH 3 (Eigene Berechnung)	65
Tabelle 24: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 3 (eigene Tabelle)	67
Tabelle 25: Turnhalle 5 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	74
Tabelle 26: Turnhalle 5 - TGA und Bewertung.....	76
Tabelle 27: Bedarfsberechnung TH 5 (eigene Berechnung)	77
Tabelle 28: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 5 (eigene Tabelle)	79
Tabelle 29: Turnhalle 6 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	84
Tabelle 30: Turnhalle 6 - TGA und Bewertung.....	86
Tabelle 31: Bedarfsberechnung TH 6 (eigene Berechnung)	87
Tabelle 32: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 6 (eigene Tabelle)	89
Tabelle 33: Turnhalle 8 - Bauliche Hülle und Bewertung	95
Tabelle 34: Turnhalle 8 - TGA und Bewertung.....	97
Tabelle 35: Bedarfsberechnung TH 8 (eigene Berechnung)	98
Tabelle 36: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 8 (eigene Tabelle)	100
Tabelle 37: Turnhalle 9 - Bauliche Hülle und Bewertung	105
Tabelle 38: Turnhalle 9 - TGA und Bewertung.....	107
Tabelle 39: Bedarfsberechnung TH 9 (eigene Berechnung).....	108
Tabelle 40: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 9 (eigene Tabelle)	110

Tabelle 41: Turnhalle 12 - Bauliche Hülle und Bewertung	117
Tabelle 42: Turnhalle 12 - TGA und Bewertung	119
Tabelle 43: Bedarfsberechnung TH 12 (eigene Berechnung)	120
Tabelle 44: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 12 (eigene Tabelle).....	122
Tabelle 45: Turnhalle 13 - Bauliche Hülle und Bewertung	127
Tabelle 46: Turnhalle 13 - TGA und Bewertung	129
Tabelle 47: Bedarfsberechnung TH 13 (eigene Berechnung).....	130
Tabelle 48: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 13 (eigene Tabelle).....	132
Tabelle 49: Turnhalle 14 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	138
Tabelle 50: Turnhalle 14 - TGA und Bewertung	140
Tabelle 51: Bedarfsberechnung TH 14 (eigene Berechnung).....	141
Tabelle 52: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 14 (eigene Tabelle)	143
Tabelle 53: Turnhalle 17 - Bauliche Hülle und Bewertung	148
Tabelle 54: Turnhalle 17 - TGA und Bewertung.....	150
Tabelle 55: Bedarfsberechnung TH 17 (eigene Berechnung)	151
Tabelle 56: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 17 (eigene Tabelle)	153
Tabelle 57: Turnhalle 22 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	158
Tabelle 58: Turnhalle 22 - TGA und Bewertung	160
Tabelle 59: Bedarfsberechnung TH 22 (eigene Berechnung)	161
Tabelle 60: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 22 (eigene Tabelle)	163
Tabelle 61: Turnhalle 23 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	169
Tabelle 62: Turnhalle 23 - TGA und Bewertung	171
Tabelle 63: Bedarfsberechnung TH 23 (eigene Berechnung)	172
Tabelle 64: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 23 (eigene Tabelle)	174
Tabelle 65: Turnhalle 24 - Bauliche Hülle und Bewertung	179
Tabelle 66: Turnhalle 24 - TGA und Bewertung.....	181
Tabelle 67: Bedarfsberechnung TH 24 (eigene Berechnung)	182
Tabelle 68: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 24 (eigene Tabelle)	184
Tabelle 69: Turnhalle 25 - Bauliche Hülle und Bewertung	189
Tabelle 70: Turnhalle 25 - TGA und Bewertung	191
Tabelle 71: Bedarfsberechnung TH 25 (eigene Berechnung).....	192
Tabelle 72: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 25 (eigene Tabelle).....	194
Tabelle 73: Turnhalle 26 - Bauliche Hülle und Bewertung	199
Tabelle 74: Turnhalle 26 - TGA und Bewertung	201
Tabelle 75: Bedarfsberechnung TH 26 (eigene Berechnung)	202
Tabelle 76: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 26 (eigene Tabelle).....	204
Tabelle 77: Turnhalle 27 - Bauliche Hülle und Bewertung	209
Tabelle 78: Turnhalle 27 - TGA und Bewertung	211
Tabelle 79: Bedarfsberechnung TH 27 (eigene Berechnung)	212
Tabelle 80: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 27 (eigene Tabelle)	214
Tabelle 81: Übersicht der Hallen im Baustein 3	218
Tabelle 82: Turnhalle 10 - Bauliche Hülle und Bewertung	225
Tabelle 83: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 10 (eigene Darstellung)	226
Tabelle 84: Turnhalle 10 - TGA und Bewertung	228
Tabelle 85: Bedarfsberechnung TH 10(eigene Berechnung)	229
Tabelle 86: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 10 (eigene Tabelle).....	233
Tabelle 87: Turnhalle 15 - Bauliche Hülle und Bewertung	241

Tabelle 88: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 15 (eigene Darstellung)	242
Tabelle 89: Turnhalle 15 - TGA und Bewertung	245
Tabelle 90: Bedarfsberechnung TH 15 (eigene Berechnung)	246
Tabelle 91: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 15 (eigene Tabelle)	250
Tabelle 92: Turnhalle 18 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	256
Tabelle 93: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 18 (eigene Darstellung)	257
Tabelle 94: Turnhalle 18 - TGA und Bewertung	259
Tabelle 95: Bedarfsberechnung TH 18 (eigene Berechnung)	260
Tabelle 96: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 18 (eigene Tabelle).....	265
Tabelle 97: Turnhalle 19 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	271
Tabelle 98: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 19 (eigene Darstellung)	273
Tabelle 99: Turnhalle 19 - TGA und Bewertung	275
Tabelle 100: Bedarfsberechnung TH 19 (eigene Berechnung).....	276
Tabelle 101: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 19 (eigene Tabelle).....	281
Tabelle 102: Turnhalle 20 - Bauliche Hülle und Bewertung.....	287
Tabelle 103: Beschreibung Wärmebrücken Turnhalle 20 (eigene Darstellung)	288
Tabelle 104: Turnhalle 20 - TGA und Bewertung	290
Tabelle 105: Bedarfsberechnung TH 20 (eigene Berechnung)	291
Tabelle 106: Sanierungsvarianten und Einsparungen TH 20 (eigene Tabelle).....	297
Tabelle 107: Hallensanierung/ Maßnahmenreihenfolge nach Pot. CO ₂ -Einsparung (eigene Darstellung)	299
Tabelle 108: Zusammenfassung der Förderschwerpunkte aus der KMU/Merkblatt	304
Tabelle 109: Liste der Turnhallen in Fördergebieten	305
Tabelle 110: Übersicht - energetische Qualität der Bauteile/TGA aller Hallen (eigene Darstellung)	307
Tabelle 111: Maßnahmenreihenfolge der Turnhallen in Baustein 2 und 3 (eigene Darstellung)..	309

9. Fußnotenverzeichnis

- 1) Quelle: Gemis Datenbank 4.94; <http://www.iinas.org/gemis-download-de.html>; Stand März 2015
- 2) Quelle: Zentrales Gebäudemanagement der Stadt Schwerin und bei Halle 22 von WGS Schwerin
- 3) Quelle: CO₂ für Bundesstrom-Mix 2014: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen>; 15. April 2015
- 4) Quelle: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, Anlage 2 Tab. 2.1; 7. April 2015
- 5) Vergleichswerte der EnEV in Anlehnung an das Referenzgebäude nach Anlage 2 Tabelle 1 EnEV 2014
- 6) aus der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand des BMUB und BMWi des Bundes vom 07. April 2016
- 7) <https://www.ptj.de/klimaschutzinitiative-kommunen/klimaschutzinvestitionen>, Stand August 2016

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Organisationskonzept (Eigene Darstellung)	6
Abbildung 2: Controlling und Klimaschutzmanagement – Kreislauf (Quelle: ifeu. In: Difu (2011): Klimaschutz in Kommunen. Praxisleitfaden. Berlin.)	8
Abbildung 3: Gesamtenergieverbrauch nach Wärmeerzeugungsanlagen (Quelle: Eigene Abbildung)	15
Abbildung 4: Zusammenhang der Beeinflussung des Gesamtenergieverbrauches	42
Abbildung 5: Berechnungsweg der Aufwandszahl Beleuchtung (Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP)	42
Abbildung 6: Definition der mittleren Beleuchtungsstärke	43
Abbildung 7: Belastungsprofil einer Heizungsanlage	47
Abbildung 8: Vergleich zweier ungeregelter Umwälzpumpen UPC 40-120 und UPS 40-120 F mit geregelten der UPE Serie 2000 und dessen Nachfolger Grundfos MAGNA UPE 40-120 F.	48
Abbildung 9: Wirkungsgrade nach Baualter (Quelle: www.topmotors.ch).....	49
Abbildung 10: Wirkungsgrade bei Nennleistung (Quelle: www.topmotors.ch)	50
Abbildung 11: Typenschild eines Elektromotors (Quelle: www.topmotors.ch)	50
Abbildung 12: Bestimmung der Effizienz (Quelle: www.topmotors.ch)	51
Abbildung 13: Wirkungsgrade nach Effizienzklasse (Quelle: www.topmotors.ch).....	52
Abbildung 14: Prozesskette (Quelle: www.topmotors.ch)	52
Abbildung 15: Unterschied im Wirkungsgrad mit FU (Quelle: www.topmotors.ch)	53
Abbildung 16: Unterschied im Wirkungsgrad mit FU (Quelle: www.topmotors.ch).....	53
Abbildung 17: Grundriss TH 3 - Typ KT 6oL (Quelle: ZGM).....	57

Abbildung 18: Schnitt durch Halle 3 - Typ KT 60 L.....	58
Abbildung 19: Ansichten TH 3 Sprachheilschule (Quelle: eigene Bilder).....	58
Abbildung 20: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	59
Abbildung 21: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	63
Abbildung 22: Verteilung der Energieverluste über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	66
Abbildung 23: Grundriss TH 5 - (Quelle: ZGM).....	70
Abbildung 24: Schnitt durch TH 5 (Quelle: ZGM).....	70
Abbildung 25: Ansichten TH 5 Heinrich-Heine-Schule (Quelle: eigene Bilder).....	71
Abbildung 26: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	72
Abbildung 27: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	75
Abbildung 28: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	78
Abbildung 29: Schemagrundrisse der Turnhalle 6 (Quelle: ZGM).....	81
Abbildung 30: Ansichten TH 6 (Quelle: eigene Bilder).....	82
Abbildung 31: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	83
Abbildung 32: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	85
Abbildung 33: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	88
Abbildung 34: Grundriss TH Friedensschule (Quelle ZGM).....	91
Abbildung 35: Querschnitte der Turnhalle 8 (Quelle: ZGM).....	92
Abbildung 36: Querschnitte der Sozialtrakt der Turnhalle 8 Friedensschule (Quelle ZGM).....	93
Abbildung 37: Ansichten TH 8 (Quelle: eigene Bilder).....	93
Abbildung 38: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	94
Abbildung 39: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	96
Abbildung 40: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	99
Abbildung 41: Grundriss Erdgeschoss TH 9 Erich-Weinert-Schule (Quelle ZGM).....	102
Abbildung 42: Querschnitte der Turnhalle (Quelle: ZGM).....	103
Abbildung 43: Ansichten TH 9 (Quelle: eigene Bilder).....	103
Abbildung 44: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	104
Abbildung 45: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	106
Abbildung 46: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	109
Abbildung 47: Grundriss TH 12 - Typ KT 60L (Quelle: ZGM).....	112
Abbildung 48: Schnitt durch Halle 12 - Typ KT 60 L.....	113
Abbildung 49: Ansichten TH 3 Sprachheilschule (Quelle: eigene Bilder).....	114
Abbildung 50: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	115
Abbildung 51: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	118
Abbildung 52: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	121
Abbildung 53: Grundriss TH 13 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM).....	124
Abbildung 54: Schnitt durch Halle 13 - Typ SH 24x42.....	125
Abbildung 55: Ansichten TH 13 Nils-Holgerson-Schule (Quelle: eigene Bilder).....	125
Abbildung 56: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	126
Abbildung 57: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	128
Abbildung 58: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	131
Abbildung 59: Grundriss TH 14 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM).....	134
Abbildung 60: Schnitt durch Halle 14 - Typ SH 24x42.....	135
Abbildung 61: Ansichten TH 14 Bertolt-Brecht-Schule (Quelle: eigene Bilder).....	136
Abbildung 62: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	137
Abbildung 63: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	139
Abbildung 64: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	142

Abbildung 65: Skizze Grundriss TH 17 (Quelle: ZGM)	145
Abbildung 66: Schnitt durch Halle 17	145
Abbildung 67: Ansichten TH 17 Berufsschulförderzentrum West (Quelle: eigene Bilder)	146
Abbildung 68: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	147
Abbildung 69: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	149
Abbildung 70: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)	152
Abbildung 71: Grundriss der Sporthalle und Nebengebäude (Quelle ZGM)	155
Abbildung 72: Ansichten TH 22 (Quelle: eigene Bilder).....	156
Abbildung 73: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	157
Abbildung 74: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	159
Abbildung 75: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)	162
Abbildung 76: Grundriss TH 23 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM)	165
Abbildung 77: Schnitt durch Halle 23 - Typ SH 24x42	166
Abbildung 78: Ansichten TH 23 Perleberger Straße (Quelle: eigene Bilder).....	167
Abbildung 79: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	168
Abbildung 80: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	170
Abbildung 81: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)	173
Abbildung 82: Grundriss TH 24 - Typ SH 18 x 36 (Quelle: ZGM)	176
Abbildung 83: Schnitt durch Halle 24 - Typ SH 18x36	176
Abbildung 84: Ansichten TH 24 (Quelle: eigene Bilder)	177
Abbildung 85: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	178
Abbildung 86: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	180
Abbildung 87: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)	183
Abbildung 88: Grundriss TH 25 - Typ SH 15 x 30 (Quelle: ZGM).....	186
Abbildung 89: Schnitt durch Halle 25 - Typ SH 15x30 LM	187
Abbildung 90: Ansichten TH 25 Hegelstraße (Quelle: eigene Bilder).....	187
Abbildung 91: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	188
Abbildung 92: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	190
Abbildung 93: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)	193
Abbildung 94: Grundriss TH 26 - Typ SH 15 x 30 LM (Quelle: ZGM).....	196
Abbildung 95: Schnitt durch Halle 26 - Typ SH 15x30 LM	197
Abbildung 96: Ansichten TH 26 Hamburger Allee 122 (Quelle: eigene Bilder)	197
Abbildung 97: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	198
Abbildung 98: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	200
Abbildung 99: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung)	203
Abbildung 100: Grundriss TH 27 - Typ SH 15 x 30 LM (Quelle: ZGM)	206
Abbildung 101: Schnitt durch Halle 27 - Typ SH 15x30 LM	207
Abbildung 102: Ansichten TH 27 (Quelle: eigene Bilder)	207
Abbildung 103: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	208
Abbildung 104: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	210
Abbildung 105: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	213
Abbildung 106: Grundriss/ Skizze TH 10 -(Quelle: ZGM)	222
Abbildung 107: Ansichten TH 10 Fritz-Reuter Schule (Quelle: eigene Bilder)	223
Abbildung 108: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	224
Abbildung 109: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	227
Abbildung 110: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	230

Abbildung 111: Wärmeverbrauch TH 10 vom 21.01. – 19.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)	231
Abbildung 112: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de).....	232
Abbildung 113: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO ₂ -Emissionsverteilung (eigene Darstellung)	233
Abbildung 114: Grundriss TH 15 - Typ SH 24 x 42 (Quelle: ZGM).....	236
Abbildung 115: Schnitt durch Halle 15 - Typ SH 24x42	237
Abbildung 116: Ansichten TH 15 Astrid-Lindgren-Schule (Quelle: eigene Bilder).....	238
Abbildung 117: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	239
Abbildung 118: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	244
Abbildung 119: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	247
Abbildung 120: Stromverbrauch TH 15 – Januar bis März 2016 (Daten ZGM, eigene Darstellung)	248
Abbildung 121: Wärmeverbrauch TH 15 - Januar bis März 2016 (Daten ZGM, eigene Darstellung)	249
Abbildung 122: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾).....	249
Abbildung 123: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO ₂ -Emissionsverteilung (eigene Darstellung)	250
Abbildung 124: Skizze Grundriss TH 18 (Quelle: ZGM)	253
Abbildung 125: Schnitt durch Halle 18 - (Quelle: ZGM)	253
Abbildung 126: Ansichten TH 18 (Quelle: eigene Bilder)	254
Abbildung 127: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	255
Abbildung 128: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder).....	258
Abbildung 129: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	261
Abbildung 130: Stromverbrauch TH 18 – 22.01. bis 12.02.2016 (Daten ZGM, eigene Darstellung)	262
Abbildung 131: Wärmeverbrauch TH 18 - Januar bis März 2016 (Daten ZGM, eigene Darstellung)	263
Abbildung 132: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾).....	263
Abbildung 133: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO ₂ -Emissionsverteilung (eigene Darstellung)	264
Abbildung 134: Grundriss TH 19 - Typ GT 75 L (Quelle: ZGM).....	267
Abbildung 135: Schnitt durch Fassade Halle 19 - Typ GT 75 L.....	268
Abbildung 136: Ansichten TH 19 BS Technik (Quelle: eigene Bilder)	269
Abbildung 137: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	270
Abbildung 138: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	274
Abbildung 139: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....	277
Abbildung 140: Stromverbrauch TH 19 – 19.01. – 23.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)....	278
Abbildung 141: Wärmeverbrauch TH 19 vom 18.01. – 29.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)	279
Abbildung 142: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾).....	279
Abbildung 143: Gegenüberstellung Verbrauchs-/CO ₂ -Emissionsverteilung (eigene Darstellung)	280
Abbildung 144: Grundriss TH 20 - Typ GT 75 L (Quelle: ZGM)	283
Abbildung 145: Schnitt durch Fassade Halle 20 - Typ GT 75 L	284
Abbildung 146: Ansichten TH 20 Siemensschule (Quelle: eigene Bilder)	285
Abbildung 147: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)	286

Abbildung 148: Bilder verschiedener Bauteile (Quelle: eigene Bilder)289

Abbildung 149: Verteilung des Energieverlustes über die Bauteile (Eigene Darstellung).....292

Abbildung 150: Stromverbrauch TH 20 – 19.01. – 23.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung) ...294

Abbildung 151: Wärmeverbrauch TH 19 vom 18.01. – 29.02.16 (Daten ZGM, eigene Darstellung)
..... 295

Abbildung 152: Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum (Quelle: Wetteronline.de ⁽⁷⁾).....296

Abbildung 153: Gegenüberstellung Verbrauchs- / CO₂-Emissionsverteilung (eigene Darstellung)
.....296

Abbildung 154: Merkblatt Klimaschutz-Förderrichtlinie Kommunen (Quelle: LFI)..... 302

Abbildung 155: Entwicklung CO₂-Emissionen aus Baustein 1 (eigene Darstellung)306

Abbildung 156: Verteilung der Transmissionswärmeverluste aller Hallen (eigene Darstellung).308

Abbildung 157: Gegenüberstellung CO₂-Emissionen nach Umsetzung aller Maßnahmen (eigene
Darstellung) 310