

Auftraggeber:
**Hochbauamt der
Stadt Frankfurt**

Carl-Schurz Schule



Energiekonzept zur Gesamtsanierung und Erweiterung

April 2008

Aufgestellt:
**Ing.-Büro ENERGIEART
Giebel & Jung
Bahnhofstraße 73
35390 Gießen**

Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Seite
KURZFASSUNG	
I. Stammdaten des Energie- und Wassereinsatzes	IV
II. Bewertung des Gebäudes und der betriebstechnischen Anlagen mit Maßnahmen	V
II.1 Gebäude (vgl. Abschnitt 3.2)	V
II.2 Wärmeversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.3)	V
II.3 Lüftungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.4)	VI
II.4 Schwimmbadtechnik (vgl. Abschnitt 3.5)	VI
II.5 Sanitärtechnik (vgl. Abschnitt 3.6)	VII
II.6 Beleuchtungs- und Regelungstechnik (vgl. Abschnitt 3.7)	VII
III. Erweiterungsbau in Passivhausbauweise	VIII
 KONZEPTTEIL	
1. Aufgabenstellung und Grundlagen	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Grundlagen	2
2. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs	3
2.1 Strombedarf und -kosten	4
2.1.1 Ermittlung der Stromverbrauchskennwerte	6
2.1.2 Stromverbrauchsstruktur	7
2.2 Brennstoffbedarf und -kosten	10
2.3 Wasserverbrauch und -kosten	14
3. Stammdaten zur Liegenschaft	17
3.1 Allgemeine Objektbeschreibung	17
3.2 Gebäude und Bauteile	17
3.2.1 Gebäudekenndaten	18
3.2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs sowie des Heizwärmebedarfs	19
3.2.3 Wärme- und Heizenergiebedarf nach Sanierungsmaßnahmen 2007	24
3.2.4 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Sanierungsmaßnahmen	25
3.3 Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen	27
3.3.1 Wärmeerzeugungsanlagen	27
3.3.2 Wärmeverteilung	27

3.4	Stammdaten der Lüftungsanlagen	29
3.4.1	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	31
3.5	Stammdaten der Schwimmbadtechnik	33
3.5.1	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	34
3.6	Stammdaten der Sanitärtechnik	35
3.6.1	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	35
3.7	Stammdaten der Beleuchtungs- und Regelungstechnik	36
4.	Energiesparmaßnahmen	38
4.1	Grundlagen und –daten der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	38
4.2	Maßnahmen zum baulichen Wärmeschutz am Bestand (Maßnahme 3.2.I)	39
4.2.1	Nachweis der Energiespareffekte von Wärmeschutzmaßnahmen am Bestand	40
4.3	Optimierung der Lüftungsanlagen	42
4.3.1	Entfeuchtungssysteme für Schwimmhalle (Maßnahme 3.4.I)	42
4.3.2	WRG-System für Lüftungsanlage „Aula“ (Maßnahme 3.4.II)	44
4.4	Optimierung der Beckenwasseraufbereitung (Maßnahme 3.5.I)	46
5.	Erweiterungsbau in Passivhausstandard	49
5.1	Allgemeine Anforderungen	49
5.2	Bauliche Maßnahmen	49
5.3	Technische Maßnahmen	50
5.3.1	Heizung	50
5.3.2	Lüftung	50
5.4	Nachweis des Passivhaus-Standards (PHVPP)	51

Anlagen

KURZFASSUNG MIT MAßNAHMENLISTE**I. Stammdaten des Energie- und Wassereinsatzes**

In der folgenden Abbildung I.1. sind die relevanten Daten im Bezug auf Energie- und Wassereinsatz in der Carl-Schurz-Schule zusammengestellt.

Abb. I.1 Zusammenstellung der relevanten Daten bezüglich Energie- und Wassereinsatz

		Ist (2005-2006)	Soll	Bemerkungen
GEBÄUDEDATEN				
Energiebezugsfläche EBF	in m ²	7.935,6		
Gebäudevolumen	in m ³	28.736		
AV-Verhältnis	in m ⁻¹	0,37		
Personenbelegung	P	600 – 1.000		
Betriebszeit		7.00 – 22.00 Uhr 6 Wo. Pause Sommer		
STROM				
Stromverbrauch CSS	in kWh/a	159.500		
- durch BHKW-Anlage	in kWh/a	130.000		
- durch Netzstrombezug	in kWh/a	29.500		
Stromeinspeisung BHKW	in kWh/a	392.800		
Stromverbrauchskennwert CSS	in kWh/m ² *a	23	15	IMEB 2006 Mittelwert
Stromkosten	in Euro/a	5.760,-		
Stromerlös	in Euro/a	23.800,-		
WÄRME				
Erdgasbezugsmenge (Hu)	in kWh/a	1.971.500		
- für BHKW-Anlage	in kWh/a	1.644.800		
- für Heizkessel	in kWh/a	326.700		
Installierte Wärmeerzeugungsleistung				
- BHKW (2 Module)	In kW	2 x 72		
- Gasheizkessel	In kW	2 x 380		
Heizwärmeverbrauch	in kWh/a	1.771.504		Witterungsbereinigt
Heizwärmeverbrauchskennwert	in kWh/m ² *a	223	150	IMEB 2006 Mittelwert
Erdgaskosten	in Euro/a	118.250,-		
WASSER				
Wasserverbrauch	in m ³ /a	4.668		
Wasserverbrauchskennwert				
- Gymnasium	in l/m ² *a	129	179	IMEB 2006 Mittelwert
- Turnhalle	in l/m ² *a	240	291	IMEB 2006 Mittelwert
- Schwimmhalle	in l/m ² *a	5.979	17.910	IMEB 2006 Mittelwert
Wasserkosten	in Euro/a	17.230,-		
JAHRESGESAMTKOSTEN	in Euro/a	141.240,-		Ohne Einspeisvergütung

II. Bewertung des Gebäudes und der betriebstechnischen Anlagen mit Maßnahmen

II.1 Gebäude (vgl. Abschnitt 3.2)

- Der nach dem Hessischen Leitfaden rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf beträgt unter Berücksichtigung der in 2007 durchgeführten Fenstersanierungsmaßnahmen **1.200,7 MWh**. Der Gesamtwärmebedarf liegt bei rund **635 kW**.
- Der geforderte Grenzwert des spezifischen Heizenergiebedarfs nach Hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude (Verwaltungsgebäude) von 75 kWh/m²*a wird mit 1515 kWh/m²*a um 101 % überschritten, woraus ein relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden kann.

Um die energetische Qualität des Gebäudes zu optimieren und um alterungsbedingte bauliche Mängel zu beseitigen, werden, in Abstimmung mit dem zuständigen Architekturbüro „h4a - Gesert + Randecker + Legner“ aus Stuttgart, die im Folgenden aufgelisteten baulichen Wärmeschutzmaßnahmen im Rahmen der Gesamtsanierung empfohlen (**Maßnahme 3.2.I**). Hierbei waren u.a. die Belange des Denkmalschutzes sowie die Vorgaben der Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2008 der Stadt Frankfurt zu berücksichtigen:

- Bauteil B Dämmung Nordfassade im 1.-3.OG mit einem Wärmedämmverbundsystem
- Sanierung Flachdach Bauteil B und C mit zusätzlicher Wärmedämmung
- Zusätzliche Glasbausteine im Bauteil A Ostfassade der Turnhalle
- Austausch einfachverglaster Fenster gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung für folgende Bereiche:
 - Bauteil A UG Schwimmbad/Tür zum Lichthof Nordseite
 - Bauteil A EG Ausgang Treppe Nord
 - Bauteil B UG Südseite
 - Bauteil B EG Flur
 - Haupttreppenhaus EG – 3.OG West- und Ostseite
 - Bauteil C – UG (Küche) bis 3.OG (Fachklassenräume)

II.2 Wärmeversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.3)

- Kessel und BHKW-Module befinden sich in einem technisch einwandfreiem Zustand. Die hydraulische Einbindung von Wärmeerzeugern und Pufferspeicher (2.500 l) wurde in den vergangenen Jahren mehrfach umgebaut, da es, aufgrund zu hoher Heizwasser-Rücklauftemperaturen, zu einem häufigen Takten der BHKW-Module kam.
- Die Betriebsweise der Anlagen erfolgt größtenteils manuell, d.h. die Kessel werden von Hand weggeschaltet, damit BHKW-Module wärmeseitig ohne Takten laufen können.
- Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen sowie Regel- und Stellorgane sind teilweise korrodiert. Rohr- und Armaturendämmungen sind defekt bzw. fehlen ganz. Dieses System ist energie-

tisch und hydraulisch sanierungsbedürftig. Im Zuge des Umbaus sollten auch die Verteiler und Sammler erneuert werden und jeder Strang mit einer eigenen hocheffizienten drehzahl-geregelten Umwälzpumpe ausgestattet werden.

- In der Aula wurde vor ca. 2 Jahren die Ostfassade mit Fenstern saniert. Im Zuge dieser Maßnahme wurden vor den Fenstern Röhrenradiatoren ohne Strahlungsplatten angebracht. Diese Anordnung der Heizkörper ist nach EnEV nicht zulässig und führt zu erheblichen Wärmeverlusten.

II.3 Lüftungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.4)

Lüftungsanlage Schwimmhalle

Das vorhandene Lüftungsgerät hat das Ende der technischen Nutzungsdauer deutlich überschritten und sollte ersetzt werden. Ein neues kombiniertes Zu- und Abluftgerät für die Schwimmhalle kann allerdings aus Platzgründen im vorhandenen Kellergeschoss von Bauteil A nicht untergebracht werden. Aus diesem Grund muss eine neue Technikzentrale im Untergeschoss für das Lüftungsgerät der Schwimmhalle mit Hochleistungs-WRG gebaut werden. Der Einsatz eines Wärmepumpen-Lüftungsgerätes konnte nicht wirtschaftlich dargestellt werden (**Maßnahme 3.4.I**).

Lüftungsanlage Umkleidebereiche

Die Lüftungsgeräte mit Außenluftheritzer in Schachtbauweise aus den 50ziger Jahren sind technisch, energetisch und hygienisch als nicht weiter verwendbar zu bewerten. Hier sollte ein neues kombiniertes Zu- und Abluftgerät mit Platten-Wärmetauscher installiert werden.

Lüftungsanlage Aula

Die Anlage bzw. die Geräte sind technisch und energetisch als sanierungsbedürftig zu bewerten. Der Einbau eines kombinierten Zu- und Abluftgerätes für die Aula ist aus baulichen Gegebenheiten (Platzprobleme) nicht zu realisieren. Aus diesem Grund sollte ein Zuluftgerät oberhalb der Aula und ein Abluftgerät auf dem Flachdach oder im Bereich des „Gewächshauses“ installiert werden. Zur Wärmerückgewinnung (WRG) könnte ein Kreislaufverbundsystem (KVS) installiert werden. Aufgrund der relativ geringen Betriebszeiten der Lüftungsanlage (1.250 h/a) ist hierfür, gemäß den Leitlinien zum wirtschaftliches Bauen der Stadt Frankfurt, die Wirtschaftlichkeit nachzuweisen (**Maßnahme 3.4.II**).

II.4 Schwimmbadtechnik (vgl. Abschnitt 3.5)

Die fachtechnische Bewertung durch die Planungsgesellschaft Büro Ebener & Partner ergab folgende Punkte:

- Die Beckendurchströmung entspricht nicht den Vorgaben der DIN 19643 (vertikal vom Beckenboden oder horizontal an den Beckenlängsseiten).
- Das Schwallwasser kann, aufgrund der unterdimensionierten Schwallwasserüberläufe nicht vollständig dem Schwallwasserbehälter zugeführt werden. Gleiches gilt für die Reinwasserzuströmöffnungen.
- Absauggitter verfügen mit 0,9 m/s über zu hohe Absauggeschwindigkeit (max. 0,3 m/s).

- Nach DIN 19643 muss das Schwimmbecken, unter Berücksichtigung der Wasserfläche und Nutzungsart, ein Umwälzvolumen von 111 m³/h aufweisen. Bei Auslegung nach DIN 19643 sind Rohrleitungen und Filteranlage unterdimensioniert.
- Installierter Mehrschichtfilter ist geneigt, es zu kommt zu einer ungleichmäßigen Durchströmung des Behälters (erhöhte Keimbelastungsgefahr).

Aus energetischen und wassersparenden Gründen sollte eine Optimierung der Beckenwasseraufbereitungsanlage durch Austausch der Mehrschichtfilteranlage gegen Vakuum-Anschwemmfilter (Maßnahme 3.5.I) erfolgen.

II.5 Sanitärtechnik (vgl. Abschnitt 3.6)

- Ein Großteil der Rohrleitungen und Armaturen sind nicht ausreichend gedämmt. Diese wären nach EnEV mit einer ausreichenden Isolierung nachzurüsten. Da das gesamte Kalt- und Warmwassersystem korrodiert und verschmutzt ist, sollte es aus hygienischen Gründen (u.a. Stichleitungen mit stehendem Wasser, zu geringe Fließgeschwindigkeiten, hohe Auskühlverluste) komplett saniert werden.
- Zirkulationspumpe (Wilo TOP Z 30/7) hat keine zeitliche Unterbrechung außerhalb der Nutzungszeiten. Aufgrund des verzweigten Systems sollte momentan keine Abschaltung erfolgen, da durch die Auskühlung der Zirkulationsleitungen die Gefahr einer Legionellenbildung besteht.
- In den Klassenräumen von Bauteil B sind Waschtische mit Warm- und Kaltwasseranschluss angebracht. Zukünftig sollte für diese Räume ein Kaltwasseranschluss ausreichen.
- Um lange Leitungswege (Gefahr der Auskühlung) und Leitungsverluste zu vermeiden, sind die Fachklassen mit dezentrale elektrische Untertisch WW-Speichern auszustatten.
- Die Urinale sind in wasserloser Ausführung vorzusehen und die Toiletten mit Spartastern auszustatten.

II.6 Beleuchtungs- und Regelungstechnik (vgl. Abschnitt 3.7)

- Die gesamte Beleuchtungsanlage (Leuchten, Kabel, Pritschen, Schalter, Verteilungen, etc.) ist sowohl aus Gründen der Betriebssicherheit als auch aus energetischen Gründen in einem sanierungsbedürftigen Zustand.
- Die installierten Beleuchtungsstärken in den einzelnen Nutzungszonen weichen teilweise deutlich von den Normwerten (u.a. DIN EN 12464) ab. Energieeffiziente Leuchten wie Kompaktleuchtstofflampen oder Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten sind nur punktuell installiert. Ein tageslichtabhängiger Betrieb, z.B. durch dimmbare Leuchten ist nicht vorhanden.
- Da das komplette Beleuchtungssystem demontiert (u.a. ca. 800 Leuchten, 550 St. Schalt- und Steckgeräte, 12.000 m Kabel und Leitungen) und erneuert werden muss, sind bei der

Sanierung des Bestandes sowie beim Erweiterungsbau die Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen der Stadt Frankfurt (2008) einzuhalten.

- Um eine bedarfsgerechte und zeitnahe Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung einzelner Anlagen) zu erreichen und um entsprechende Überwachungs- und Regelfunktionen (Trenderfassung, Datenvisualisierung) durchführen zu können, ist eine moderne, dem Stand der Technik entsprechende busfähige GLT einzubauen.

III. Erweiterungsbau in Passivhausbauweise

Der Erweiterungsneubau wird viergeschossig, vollunterkellert in Stahlbeton/Mauerwerkbauweise errichtet. Die Energiebezugsfläche (Netto-Grundrissfläche) beträgt rund 1.770 m². Folgende bauliche Konstruktionen werden für den geplanten Erweiterungsbau vorgesehen:

- Die Decken werden zum einem in Ortbeton als Hohlkörperdecken (EG-2.OG) und zum anderen als Vollplatten in Ortbeton (UG und 3.OG) ausgeführt.
- Die nichttragenden Wände werden aus Mauerwerk mit hohem Wärmespeichervermögen hergestellt.
- Die Bodenplatte ist 45 cm dick und erhält von unten eine 10 cm druckfeste PS-Wärmedämmung (035) sowie oberhalb der Bodenplatte eine Trittschalldämmung mit zusätzlicher Wärmedämmung von 8 cm Polystyrol (035). Durch diesen Aufbau wird ein u-Wert von 0,19 W/m²*K erreicht.
- Erdberührende Außenwände im UG werden aus Stahlbeton mit bituminöser, außenliegender Abdichtung gegen nichtdrückendes Wasser und einer Wärmedämmung von 16 cm hergestellt. Der u-Wert liegt bei 0,206 W/m²*K.
- Die Außenwände bestehen vornehmlich aus schwerem Mauerwerk, außer im EG, dort werden die tragenden Außenwände in Stahlbeton erstellt. Diese erhalten eine 25 cm starke Wärmedämmung (035) und erreichen einen u-Wert von 0,134 W/m²*K.
- Für die verglasten Fassadenbereiche sind Fenster mit Dreifachverglasung und thermisch hochwertigen Rahmenprofilen vorgesehen. Ein durchschnittlicher u-Wert von 0,76 W/m²*K ist einzuhalten. Die opaken Fassadenelemente sind mit einem u-Wert entsprechend den tragenden Außenwänden (0,134 W/m²*K) einzubauen.
- Die Decke über dem 3. OG (Dach) wird als Vollbetonplatte mit einer Stärke von 22 cm, Dampfsperre und einer 30 cm Hartschaumplatten (035) im Gefälle hergestellt. Der u-Wert liegt bei 0,112 W/m²*K.
- Ein außenliegender Sonnenschutz mit Tageslichtlamellen im 1.-3.OG, Ost- u. Westfassade

Heizung:

Der Erweiterungsbau wird an die vorhandene Wärmeversorgungsanlage des Bestandes angeschlossen. Für die einzelnen Räume werden „kleine“ Heizkörper an den Innenwänden vorgesehen.

Lüftung:

Für den Erweiterungsbau der Carl-Schurz-Schule sind insgesamt 4 Lüftungsanlagen mit zusammen 17.600 m³/h vorgesehen. Dabei wird die Aufteilung der Anlagen nach den Funktionsbereichen gewählt.

Die Lüftungsanlagen, die dem Passivhauskonzept zuzuordnen sind werden jeweils mit einer hocheffektiven WRG mit einem Wärmebereitstellungsgrad von mindestens 80 % ausgestattet.

Der freie Lüftungsquerschnitt beträgt 0,3 m² pro Schüler, Öffnungsflügel werden in den opaken Fassadenelementen sowie im Verglasungsteil der Fenster vorgesehen.

Mit einer kontrollierten Lüftung in den Schulräumen ist eine dauerhaft ausreichende Luftqualität (max. CO₂-Konzentration von 1500 ppm) bei einer Zuluftmenge von 20 m³/h*p (je nach Klassenstufe) technisch zu realisieren.

Nachweis des Passivhaus-Standards (PHVPP)

Die Planung des Erweiterungsbaus bis zum vorliegenden Stand wurde mit dem Passivhaus-Vorprojektierungsprogramm des Passivhaus-Instituts Darmstadt begleitet und energetisch bilanziert. Der rechnerisch ermittelte Heizwärmebedarfs Q_H für den Erweiterungsbau der Carl-Schurz-Schule liegt bei 12,1 kWh/m²*a.

1. Aufgabenstellung und Grundlagen

1.1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der Stadt Frankfurt, Abteilung Hochbau, war im Rahmen der Gesamtsanierung und Erweiterung der Carl-Schurz-Schule (CSS), Holbeinstraße 21, in Frankfurt am Main Sachsenhausen ein projektbegleitendes Energiekonzept zu erstellen.

Auf der Grundlage des vorgegebenen Arbeitsprogramms zum Energiekonzept wurden für die CSS mögliche Energiesparmaßnahmen für die einzelnen Verbrauchssektoren untersucht, die zu einer rationellen Energieverwendung und entsprechender Umweltentlastung beitragen sollen.

Im wesentlichen waren bei der Erstellung des Energiekonzeptes folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

- **Aufnahme des Ist-Zustandes**
 - Ermittlung, Darstellung und Beurteilung der Stammdaten für Gebäude und betriebstechnische Anlagen
 - Ermittlung und Beurteilung des Wärme-, Strom- und Wasserbedarfs
- **Untersuchung des Energieeinsparpotentials**
 - Aufstellung von Maßnahmen zur Einsparung von Verbrauch und Kosten bei Heizenergie, Strom und Wasser, u.a.
 - Nichtinvestive u. organisatorische Maßnahmen,
 - Verbesserung der Wärmedämmung (Auflagen EnEV),
 - Verbesserung oder Ersatz der Regelungstechnik für Lüftung, Pumpen, Beleuchtung
 - Optimierung technischer Anlagen (Hzg., Lüftung, Beleuchtung, Wasser)
 - Optimierung Energielieferverträge
- **Ermittlung und Darstellung der Wirtschaftlichkeit für anstehende Sanierungsmaßnahmen sowie wirtschaftliche Maßnahmen**
 - Berechnung der Energie- und Wassereinsparung
 - Darstellung der Wirtschaftlichkeit auf Basis der Gesamtkostenberechnung
 - Auswirkungen der Energiesparmaßnahmen auf den Primärenergiebedarf, die Schadstoffemissionen sowie die Anschlussleistung
- **Erarbeitung eines baulichen und technischen Konzeptes für die Realisierung des geplanten Anbau in Passivhausbauweise**
 - Passivhaus Vorprojektierung mit Nachweis
 - Konzeptionelle Einbindung des Anbau in die Gesamtmaßnahme

Begleitet wurde die Bearbeitung des Energiekonzeptes von einer Arbeitsgruppe bestehend aus Mitarbeitern des Hochbauamtes sowie den am Projekt beteiligten Planungsbüros.

1.2 Grundlagen

Grundlagen des Energiekonzeptes bilden im wesentlichen:

- Angaben von Mitarbeitern der Carl-Schurz-Schule sowie der Hochbauabteilung der Stadt Frankfurt
- Angaben und Unterlagen der am Projekt beteiligten Ingenieurbüros Ebener & Partner (HLS), Klink & Popp (Elektro), Profil Gastronomie Planung und dem Architekturbüro h4a aus Stuttgart
- Gebäudeaufmaß des Konstruktionsbüros Pape & Partner für die Carl-Schurz-Schule (Stand 18.01.2007)
- Gutachten der AG Pabel & Gräfe vom September 2006 zur Überprüfung der Verkehrssicherheit der Carl-Schurz-Schule
- Monatliche Verbrauchsaufzeichnungen für Strom, Erdgas und Wasser der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt der Stadt Frankfurt von 2002 bis 2006
- Stromlastaufzeichnungen der Mainova AG für 2005-2006
- Ergebnisse von Objektbegehungen und Datenaufnahmen vor Ort

Die Auswertung der Ergebnisse der Stammdatenermittlung sowie die energetischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Berechnungen erfolgten im wesentlichen auf der Basis

- der Neufassung der Energiesparverordnung (EnEV) vom 01.10.2007,
- der VDI-Richtlinie 2067 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“,
- der VDI-Richtlinie 2071 „Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen“,
- der VDI-Richtlinie 2089 „Hallenbäder“,
- der VDI-Richtlinie 3807 „Energieverbrauchskennwerte für Gebäude“,
- der VDI-Richtlinie 3808 „Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen“,
- der VDI-Richtlinie 3814 „Gebäudeleittechnik“,
- der DIN 1946 „Lüftungstechnische Anlagen“,
- der DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“,
- der DIN 4710 „Meteorologische Daten“,
- DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“
- den „Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen“, Hochbauamt der Stadt Frankfurt, 2008,
- die Gesamtkostenberechnung des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt (neueste Fassung),
- dem hessischen Leitfaden „Elektrische Energie im Hochbau“,
- dem hessischen Leitfaden „Heizenergie im Hochbau“,
- sowie Verfahren der Fachliteratur
u.a.: Recknagel, Sprenger, Schramek: „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2003/04“, Oldenbourg Verlag.

Auf zusätzlich verwendete Quellen wird in den entsprechenden Textpassagen verwiesen.

2. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs

In der folgenden Abbildung 2.1. sind die relevanten Daten im Bezug auf Energie- und Wassereinsatz in der Carl-Schurz-Schule zusammengestellt. In den weiteren Abschnitten sind die detaillierten Angaben aufgeführt.

Abb. 2.1 Zusammenstellung der relevanten Daten bezüglich Energie- und Wassereinsatz

		Ist (2005-2006)	Soll	Bemerkungen
GEBÄUDEDATEN				
Energiebezugsfläche EBF	in m ²	7.935,6		
Gebäudevolumen	in m ³	28.736		
A/V-Verhältnis	in m ⁻¹	0,37		
Personenbelegung	P	600 – 1.000		
Betriebszeit		7.00 – 22.00 Uhr 6 Wo. Pause Sommer		
STROM				
Stromverbrauch CSS	in kWh/a	159.500		
- durch BHKW-Anlage	in kWh/a	130.000		
- durch Netzstrombezug	in kWh/a	29.500		
Stromeinspeisung BHKW	in kWh/a	392.800		
Stromverbrauchskennwert CSS	in kWh/m ² *a	23	15	IMEB 2006 Mittelwert
Stromkosten	in Euro/a	5.760,-		
Stromerlös	in Euro/a	23.800,-		
WÄRME				
Erdgasbezugsmenge (Hu)	in kWh/a	1.971.500		
- für BHKW-Anlage	in kWh/a	1.644.800		
- für Heizkessel	in kWh/a	326.700		
Installierte Wärmeerzeugungsleistung				
- BHKW (2 Module)	In kW	2 x 72		
- Gasheizkessel	In kW	2 x 380		
Heizwärmeverbrauch	in kWh/a	1.771.504		Witterungsbereinigt
Heizwärmeverbrauchskennwert	in kWh/m ² *a	223	150	IMEB 2006 Mittelwert
Erdgaskosten	in Euro/a	118.250,-		
WASSER				
Wasserverbrauch	in m ³ /a	4.668		
Wasserverbrauchskennwert				
- Gymnasium	in l/m ² *a	129	179	IMEB 2006 Mittelwert
- Turnhalle	in l/m ² *a	240	291	IMEB 2006 Mittelwert
- Schwimmhalle	in l/m ² *a	5.979	17.910	IMEB 2006 Mittelwert
Wasserkosten	in Euro/a	17.230,-		
JAHRESGESAMTKOSTEN	in Euro/a	141.240,-		Ohne Einspeisvergütung

2.1 Strombedarf und -kosten

Stromversorgung

Die derzeitige Stromversorgung der Carl-Schurz-Schule erfolgt aus dem öffentlichen Stromnetz durch die Mainova AG sowie durch eine Eigenstromversorgung mittels einer BHKW-Anlage mit zwei Modulen. Auf der Niederspannungsseite sind eine Messeinrichtung für den Strombezug (Zähler-Nr 40 089) sowie eine für die Stromeinspeisung (Zähler-Nr 40 089-2) installiert.

Stromverbrauch

Die Eigenstromversorgung in der CSS erfolgt durch 2 BHKW-Module mit jeweils 52 kWel. Die Inbetriebnahme der BHKW-Anlage erfolgte 1993. Im Jahr 2006 wurden die Aggregate erneuert. In Abbildung 2.2 sind die Jahresstrombilanzen der BHKW-Anlage von 2002 bis 2005 zusammengestellt. (Anmerkung: Seit 2004 ist die automatische NT-Stromaufzeichnung des HBA defekt, teilweise konnte für die Folgejahre auf Messdaten der Mainova zurückgegriffen werden)

Abb. 2.2 Jahreswerte der Stromerzeugung durch die BHKW-Anlage von 2002 bis 2005

Jahr	Stromerzeugung Gesamt in kWh/a	Stromlieferung			Eigenstromverbrauch Liegenschaft in kWh/a
		HT in kWh/a	NT in kWh/a	Gesamt In kWh/a	
2002	521.875	151.739	235.900	387.639	134.236
2003	516.276	162.205	233.911	396.116	120.160
2004	551.927	150.114	k.A.	k.A.	k.A.
2005	501.205	151.699	214.017	365.716	135.489

Die gesamte Jahresstromerzeugung durch die BHKW-Anlage lag in den Jahren 2002 bis 2005 bei durchschnittlich **522,82 MWh/a**. Daraus errechnen sich je Modul 5.030 Vollbenutzungsstunden pro Jahr. Von dieser erzeugten Strommenge wurden durchschnittlich jährlich 392,8 MWh (75%) in das Stromnetz der Mainova zurückgespeist und nur rund 130,0 MWh/a in der Liegenschaft verbraucht.

Obwohl durch die BHKW-Anlage weitaus mehr Strom erzeugt wird als in der Liegenschaft verbraucht wird, muss dennoch, vorrangig bedingt durch Ausfallzeiten des BHKW und fehlendem Wärmebedarf in den Sommermonaten, eine durchschnittliche Strommenge von 29,5 MWh/a aus dem Netz der Mainova zugekauft werden (vgl. Abb. 2.3).

Abb. 2.3 Jahreswerte des Netzstrombezugs von 2002 bis 2005

Jahr	HT in kWh/a	NT in kWh/a	Gesamt in kWh/a
2002	16.968	9.494	24.462
2003	17.654	10.811	28.465
2004	12.357	k.A.	k.A.
2005	22.278	13.362	35.640

Es ist zu erkennen, dass der Stromzukauf in den vergangenen Jahren um über 45 % zugenommen hat, obwohl die BHKW - Jahresvollbenutzungsstunden relativ konstant geblieben sind.

Aus den Strombilanzen in Abbildung 2.2 und 2.3 errechnet sich für die CSS der in Abbildung 2.4 aufgeführte Jahresstromverbrauch.

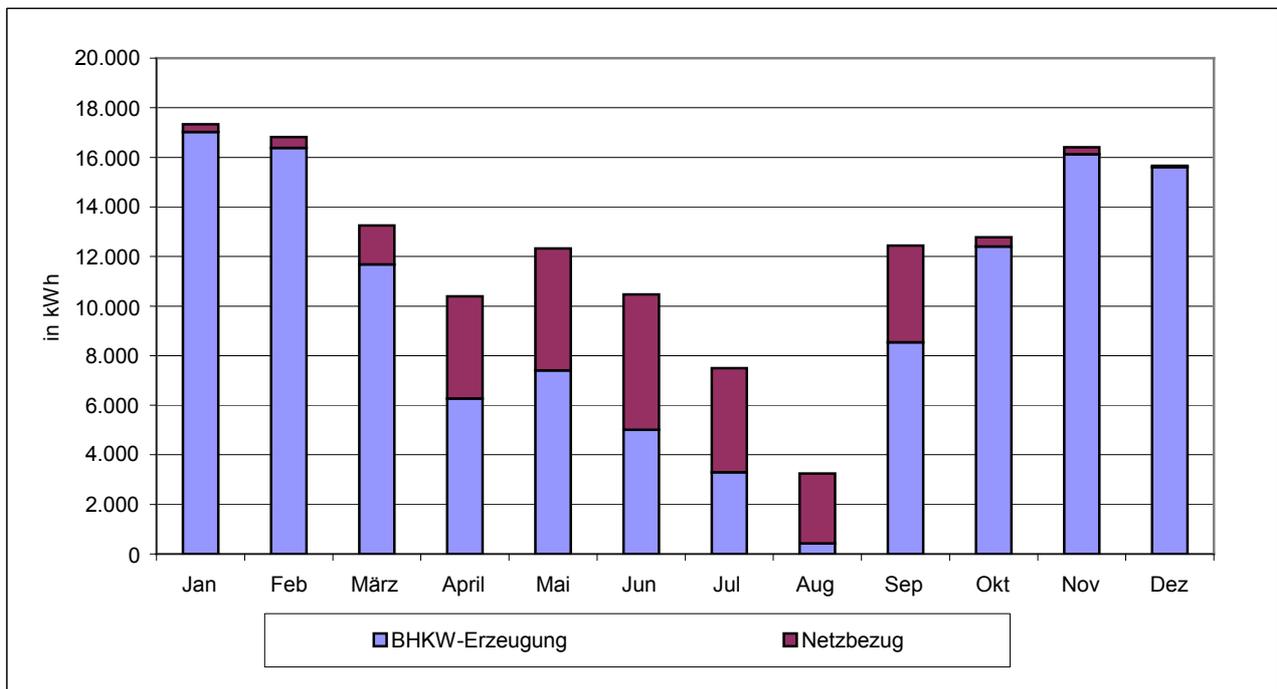
Abb. 2.4 Jahreswerte des Stromverbrauchs in der CSS von 2002 bis 2005

Jahr	Strombezug in kWh/a	Eigenstromerzeugung in kWh/a	Gesamt in kWh/a
2002	24.462	134.236	160.700
2003	28.465	120.160	150.628
2004	k.A.	k.A.	k.A.
2005	35.640	135.489	173.134

Für das Carl-Schurz-Gymnasium errechnet sich ein durchschnittlicher Gesamtstromverbrauch von **161,5 MWh**. Eine eindeutige Tendenz in der Stromverbrauchsentwicklung ist nicht zu erkennen.

In der folgenden Abbildung 2.5 sind die Monatswerte des Stromverbrauchs in der Carl-Schurz-Schule zusammengestellt. Hierbei wurde unterschieden zwischen der BHKW-Stromerzeugung und dem Netzbezug.

Abb. 2.5: Monatliche Verteilung des Stromverbrauchs



Der Gesamtstromverbrauch in der CSS liegt in den Wintermonaten um bis zu 30 % höher als im Sommer. Dies lässt den Rückschluss auf einen entsprechenden Einfluss der Beleuchtungsanlagen und Wärmeversorgungsanlagen (u.a. Heizungspumpen, Brenner) am Winterverbrauch zu. Im Juli / August kann man deutlich den reduzierten Stromverbrauch in Folge der Schließung des Schwimmbades erkennen.

Kosten des Strombezugs

Als Sondervertragskunde erfolgt für die CSS eine Abrechnung der bezogenen Arbeit nach Hoch- und Niedertarifzeiten. Ein Jahresleistungspreis für die bezogenen Stromspitzen wird nicht erhoben, sondern ein jährlicher Grundpreis in Ansatz gebracht.

Spezifische Netto-Strompreise (Mainova: Business Power 1 ohne Leistung)

Arbeitspreis HT-Wirkarbeit	0,1244 €/kWh
Arbeitspreis NT-Wirkarbeit:	0,1244 €/kWh
Grundpreis:	487,50 €/a
Vertragsrabatt:	6 % auf Wirkarbeits- und Grundkosten
Stromsteuer:	0,0205 €/kWh
Zuzüglich MwSt:	19 %

Die Kosten für die zugekaufte Strommenge von 07/2005 – 07/ 2006 in Höhe von 33.444 kWh betragen 5.760,- € inkl. MwSt. Daraus resultiert ein spezifischer Strompreis von Brutto 0,172 € pro kWh.

Erlös für Stromlieferung

Die Einspeisevergütung für den durch die BHKW-Anlage erzeugten Strom ist von Jahr zu Jahr variabel und beläuft sich auf derzeit 7,4 Ct€/kWh. In der folgenden Abbildung 2.6 sind die Jahresgesamtbeträge für die Vergütung des rückgespeisten Stroms zusammengestellt.

Abb. 2.6 Jahreswerte des Stromerlöse 2004 bis 2006

Jahr	Stromvergütung in €/a
2003	16.280,-
2004	20.468,-
2005	27.272,-
2006	23.810,-

Aus den genannten Beträgen errechnet sich eine durchschnittliche Stromvergütung in den letzten drei Jahren von 23.850,- €. Durch die BHKW-Stromerzeugung wird, neben den ökologischen Vorteilen, ein Strombezug im Gegenwert von ca. 22.600,- € pro Jahr vermieden.

2.1.1 Ermittlung des Stromverbrauchskennwerts

Um die Gesamtenergieeffizienz der CSS bewerten zu können, wird im Folgenden der Stromverbrauchskennwert der CSS ermittelt und dargestellt. Nach EnEV ergibt sich der Energieverbrauchskennwert für eine Liegenschaft aus dem Durchschnitt von mindestens drei aufeinander folgenden Abrechnungsperioden. Hierzu werden die in Abb. 2.3 ermittelten Jahresstromverbräuche in der CSS ins Verhältnis zur Energiebezugsfläche von 7.395 m² (vgl. Abschnitt 3.1) gesetzt.

Abb. 2.7 Stromverbrauch und Stromverbrauchskennwerte für 2002-2005

Jahr	Gesamtstromverbrauch in kWh/a	Stromverbrauchskennwert in kWh/m ² *a
2002	160.700	22
2003	150.628	20
2004	k.A.	-
2005	173.134	23

Der durchschnittliche Stromverbrauchskennwert für die Carl-Schurz-Schule beträgt **22 kWh/m²*a**. Um die Energieeffizienz des Gebäudes unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Stromverbrauchskennwertes beurteilen zu können, bedient man sich der in Abbildung 2.8 dargestellten Energieeffizienzklasseneinteilung¹.

Abb. 2.8 Energieeffizienzklassengrenzen Strom für Gymnasien

Untergrenzen der Klassen (kWh/m ² a)							Vergl.Wert (kWh/m ² a)
A	B	C	D	E	F	G	
0	9,8	12	14,3	16,2	21,7	26,2	15,0

Unter Berücksichtigung der Klassengrenzen ist die Carl-Schurz-Schule in Klasse „F“, d.h., die Klasse mit der zweitschlechtesten Energieeffizienz, einzuordnen. Hierbei ist aber als besonderer Faktor zu berücksichtigen, dass in der CSS zusätzlich ein Schwimmbad eingegliedert ist.

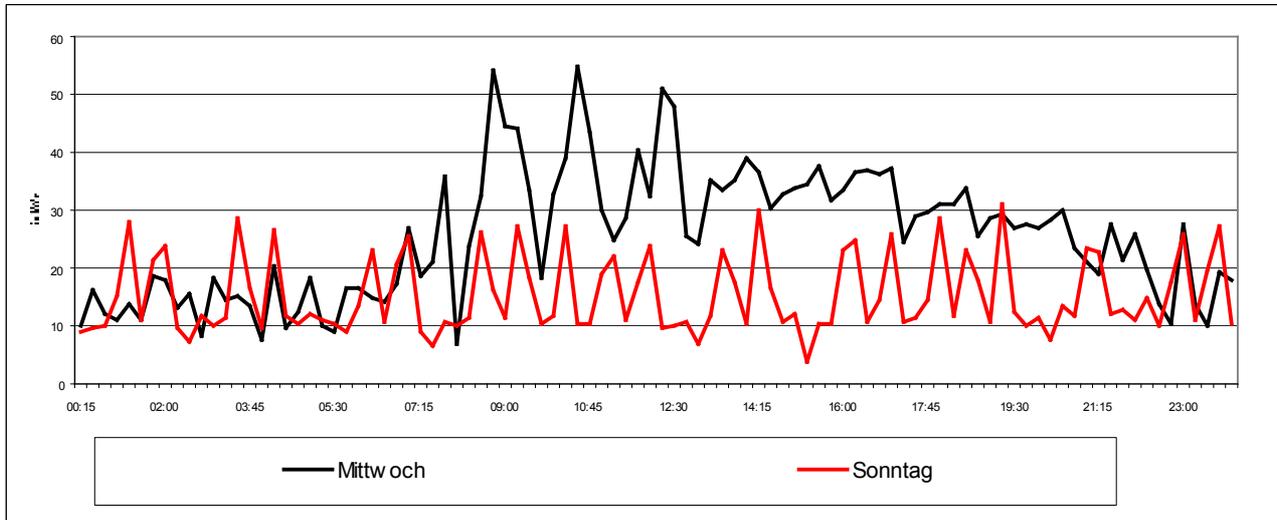
2.1.2 Stromverbrauchsstruktur

Zur Ermittlung der Stromverbrauchsstruktur in der Carl-Schurz-Schule konnte nur auf die schreibende Lastmessungen des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement sowie der Mainova AG zurückgegriffen werden und eine Identifikation anhand entsprechender technischer Dokumentationen durchgeführt werden.

In Abbildung 2.9 ist die Tagesganglinie des Strombedarfs für die CSS an einem Werktag und einem Sonntag im Winter dargestellt.

¹⁾ vgl. Institut für Erhaltung und Modernisierung im Bauwesen (IEMB), 2006

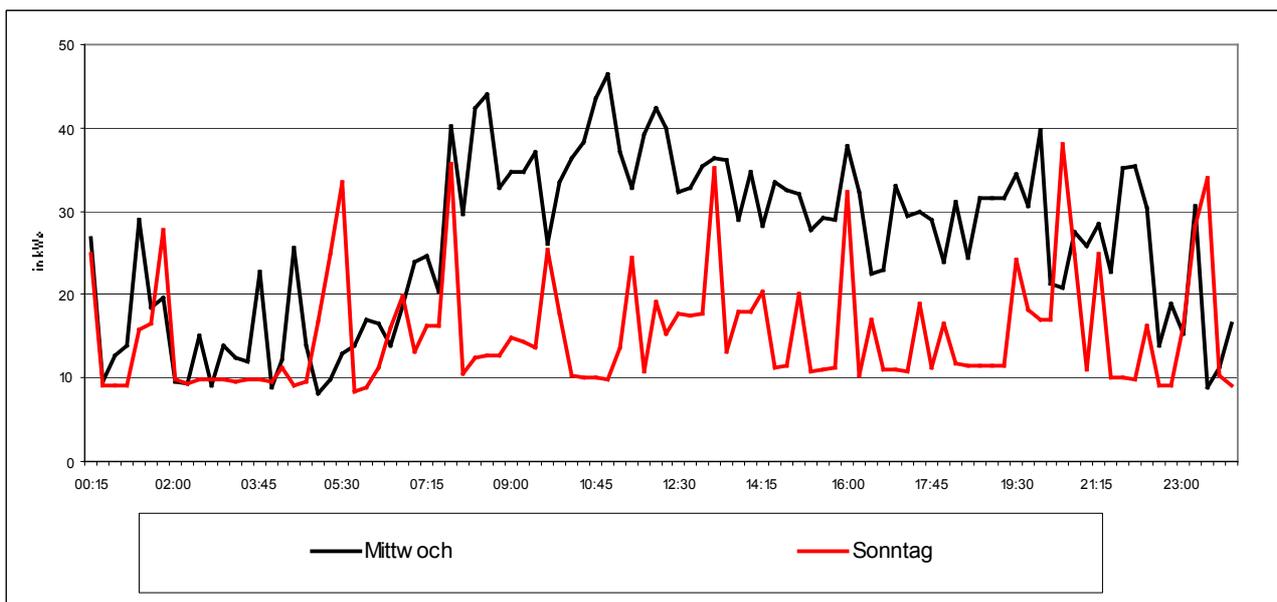
Abb. 2.9 Tagesgang des Strombedarfs für Werktag und Sonntag im Winter (Januar 2005)



Die Stromgrundlast liegt bei ca. 10 kW. Den Hauptanteil an der Grundlast haben vornehmlich die Pumpen, die Lüftungsanlagen und Beleuchtungen, die durchgängig betrieben werden. Mit Beginn des Schulbetriebs (ab 07.00 Uhr) steigen die Strombezugswerte an Werktagen bis auf 55 kW und fallen ab 13.00 Uhr langsam wieder ab. Eindeutige Spitzenwerte liegen in der Vormittagszeit. Im Lastprofil am Wochenende fehlt der zunehmende Strombezug am Tage, die Grundlast liegt ebenfalls bei 10 kW und durch periodisch betriebene Stromverbraucher (u.a. Luftentfeuchter) steigt der Bezug kurzzeitig um ca. 15 kW an.

In Abbildung 2.10 sind die entsprechenden Tagesganglinien des Strombedarfs im Sommer für die CSS dargestellt.

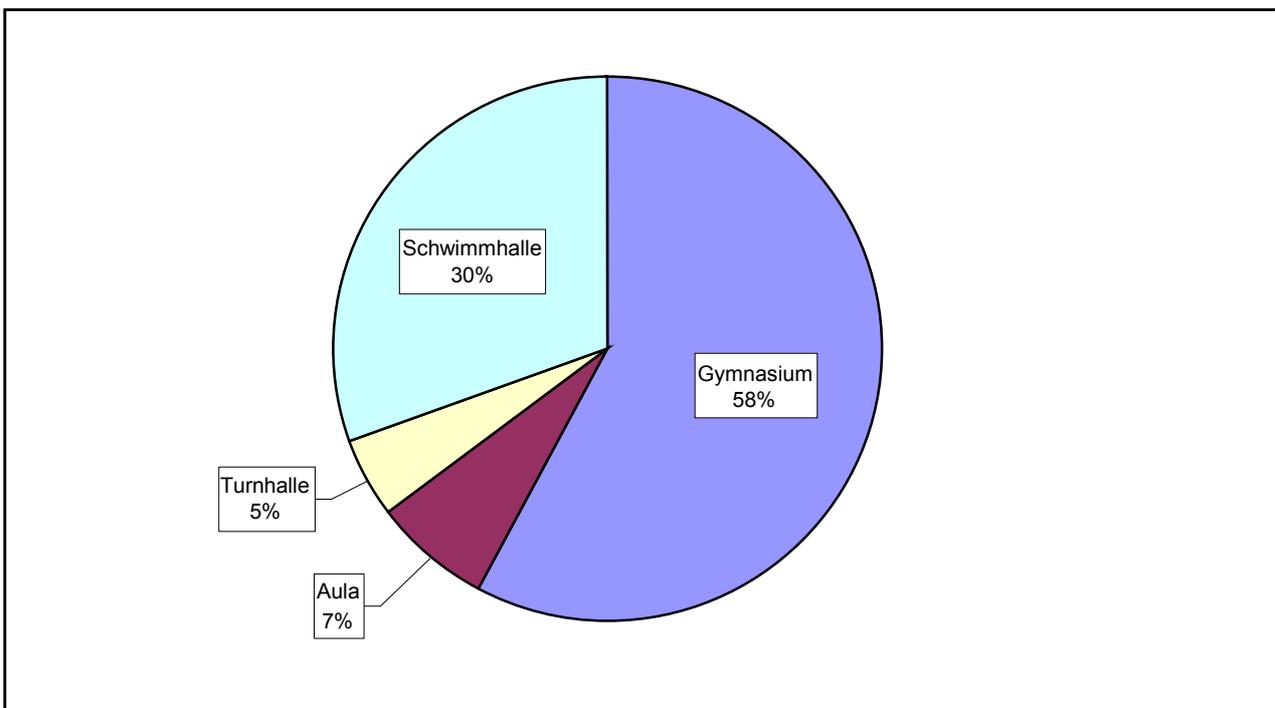
Abb. 2.10 Tagesgang des Strombedarfs Werktag / Sonntag im Sommer (Juni 2005)



Die Tagesganglinien des Strombedarfs der CSS zeigen im Sommer ähnliche Verläufe wie im Winter. Die Stromgrundlast bleibt bei ca. 10 kW, die Lastspitzen liegen allerdings um ca. 10 kW niedriger.

Da für die einzelnen Zonen der Carl-Schurz-Schule keine separaten Stromaufzeichnungen vorlagen, musste bei der Ermittlung der Stromverteilung auf Literaturwerte und Aufnahmen vor Ort zurückgegriffen werden. Die Verteilung des durchschnittlichen Strombedarfs auf die einzelnen Zonen ist in Abbildung 2.11 dargestellt.

Abb. 2.11 Verteilung des Strombedarfs auf die einzelnen Nutzungszonen der CSS



Das Gymnasium hat mit 58 % den höchsten Anteil am Strombedarf der CSS, gefolgt von der Schwimmhalle mit 30 %.

Als Verbrauchsgruppe hat die Beleuchtung mit rund 67 % bzw. 75.600 kWh/a den höchsten Anteil am Strombedarf. Die Lüftungsanlagen und Pumpen haben einen Anteil von ca. 20 %.

2.2 Brennstoffbedarf- und -kosten

Die Erdgasversorgung der Liegenschaft erfolgt durch die Mainova AG für zwei Heizkessel und die BHKW-Anlage. Erfasst werden der Gesamterdgasverbrauch der Liegenschaft (Zähler-Nr. 134) sowie ein Gas-Unterzähler für die beiden BHKW-Module (Zähler-Nr. 80024084).

Das eingesetzte Erdgas für die BHKW-Module ist von der Mineralölsteuer befreit. Hierzu erfolgt am Jahresende eine Rückvergütung der Mineralölsteuer durch das Hauptzollamt.

Die Entwicklung der Erdgasbezugsmengen und -kosten sowie der Mineralölsteuererstattung in den letzten Jahren befindet sich in Abbildung 2.12.

Abb. 2.12 Entwicklung der Erdgasverbrauchs sowie der Erdgaskosten von 2004 bis 2006

Jahr	Erdgasverbrauch GESAMT in kWh _{HU} /a	Erdgasverbrauch Davon für BHKW in kWh _{HU} /a	Erdgasbezugs- kosten in €/a	Spez. Erdgaspreis in Ct€/kWh _{HU}	Mineralölsteuer- Erstattung in €/a
2004	2.145.450	1.866.098	87.270,-	4,07	10.675,-
2005	1.941.000	1.662.069	98.833,-	5,09	k.A.
2006	1.827.931	1.406.241	118.233,-	6,47	8.651,-

Der Gesamterdgasverbrauch für die Carl-Schurz-Schule lag in den vergangenen drei Jahren bei durchschnittlich **1.971,5 MWh_{HU}**, wovon knapp 84 % (1.644,8 MWh_{HU}) für das BHKW benötigt wurden.

Brennstoffkosten

Grundlage für den Erdgasbezug ist der folgende Gaslieferungsvertrag mit der Mainova mit folgenden Preisen:

Netto-Erdgasbezugspreis (Tarif VG, Standard, Gewerbe GM: VG-2)

Arbeitspreis:	4,694 Ct/kWh
Gassteuererstattung	0,68 Pf/kWh
Grundpreis:	7,00 €/kW*Mo
Zuzüglich MwSt:	19 %

Die Kosten für den Erdgasbezug der Carl-Schurz-Schule betragen im Bezugsjahr 2006 rund **118.250,- Euro**. Die spezifischen Kosten lagen bei 6,468 Ct/kWh_{HU} (=5,88 Ct/kWh_{HO}). Als Tendenz lässt sich erkennen, dass der absolute Gesamterdgasbezug um fast 15 % gesunken ist, jedoch die Bezugskosten um 26 % gestiegen sind.

Struktur des Brennstoffverbrauchs

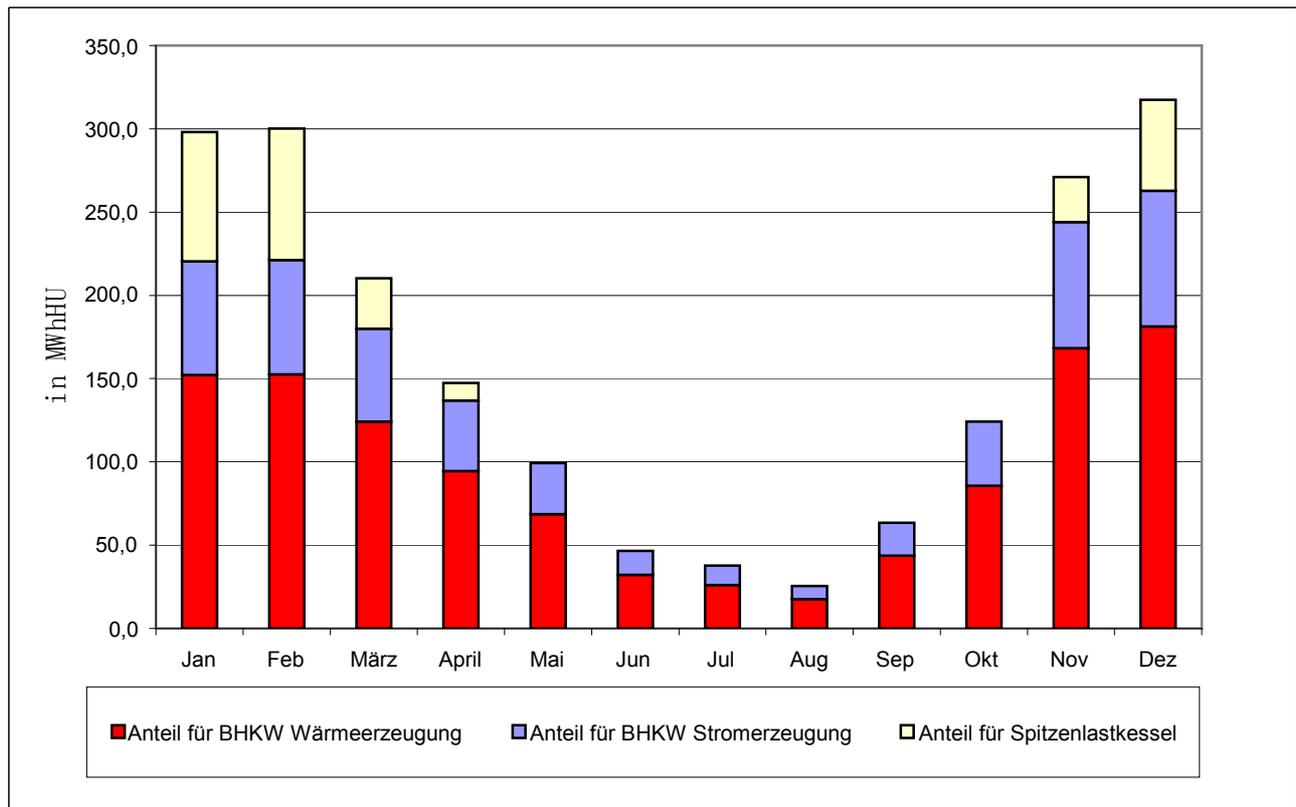
Die Struktur des Brennstoffverbrauchs wird wesentlich von einer witterungsunabhängigen „Grundlast“ (Bedarf für die Trinkwasser- und Schwimmbadwassererwärmung, Verluste des Wärmeverteilsystems) sowie dem witterungsabhängigen Heizwärmebedarf beeinflusst. In der folgenden Abbildung 2.13 ist die monatliche Verteilung des Brennstoffbedarfs für die BHKW-Anlage und Kesselanlage aufgeführt.

Die Jahreswerte unterteilen sich in die Darstellung des Erdgasbezuges für

- den BHKW-Anteil zur Wärmeerzeugung,
- den BHKW-Anteil zur Stromerzeugung und
- den Spitzenlastkessel (Wärme)

Die entsprechenden Verbrauchswerte sind in Anlage A.2.1 zusammengestellt.

Abb.2.13 Verteilung des monatlichen Brennstoffbedarfs in 2005



Die Auswertung der monatlichen Verbrauchswerte zeigt, dass der Anteil der Heizkessel am Gesamterdgasbezug bei rund 14,5 % liegt. Der weitaus größere Anteil des Erdgasbezugs entfällt auf die BHKW-Anlage, wobei sich hierbei 26,5 % für die Stromerzeugung und 59 % für die Wärmeerzeugung ergeben.

Ermittlung des Heizwärmeverbrauchskennwert

Um die Gesamtenergieeffizienz der CSS bewerten zu können, wird im Folgenden der Heizenergieverbrauchskennwert der CSS ermittelt und dargestellt. Dabei ist eine entsprechende Witterungsberichtigung der absoluten Verbrauchswerte vorzunehmen.

In Abbildung 2.14 sind die absoluten sowie die witterungsberichtigten Erdgasverbrauchswerte für die Heizwärmeversorgung der Carl-Schurz-Schule der letzten drei Jahre zusammengestellt. Unter Berücksichtigung einer Energiebezugsfläche von 7.935 m² errechnen sich daraus die jährlichen Heizwärmeverbrauchskennwerte für die CSS.

Abb. 2.14 Gaseinsatz und Heizwärmeverbrauchskenwerte für 2004-2006

Jahr	Gaseinsatz für Wärme		Ehgz in kWh _{HU} /m ² *a
	absolut in kWh _{HU} /a	witterungsbereinigt in kWh _{HU} /a	
2004	1.566.959	1.849.012	233
2005	1.425.759	1.739.426	219
2006	1.391.996	1.726.075	218
Durchschnitt	1.461.572	1.771.504	223

Der witterungsbereinigte Heizwärmeverbrauchskenwert für die Carl-Schurz-Schule ist im Zeitraum von 2004 bis 2006 um rund 6,6 % gefallen. Der durchschnittliche Kennwert der vergangenen drei Jahre liegt bei **223 kWh/m²*a**.

Um die Energieeffizienz des Gebäudes unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Heizwärmeverbrauchskenwertes beurteilen zu können, bedient man sich der in Abbildung 2.15 dargestellten Energieeffizienzklasseneinteilung.

Abb. 2.15 Energieeffizienzklassengrenzen für Gymnasien

Untergrenzen der Klassen (kWh/m ² a)							Mittelwert (kWh/m ² a)	Vergl.Wert (kWh/m ² a)
A	B	C	D	E	F	G		
0	91	109	123	145	170	222	150	125

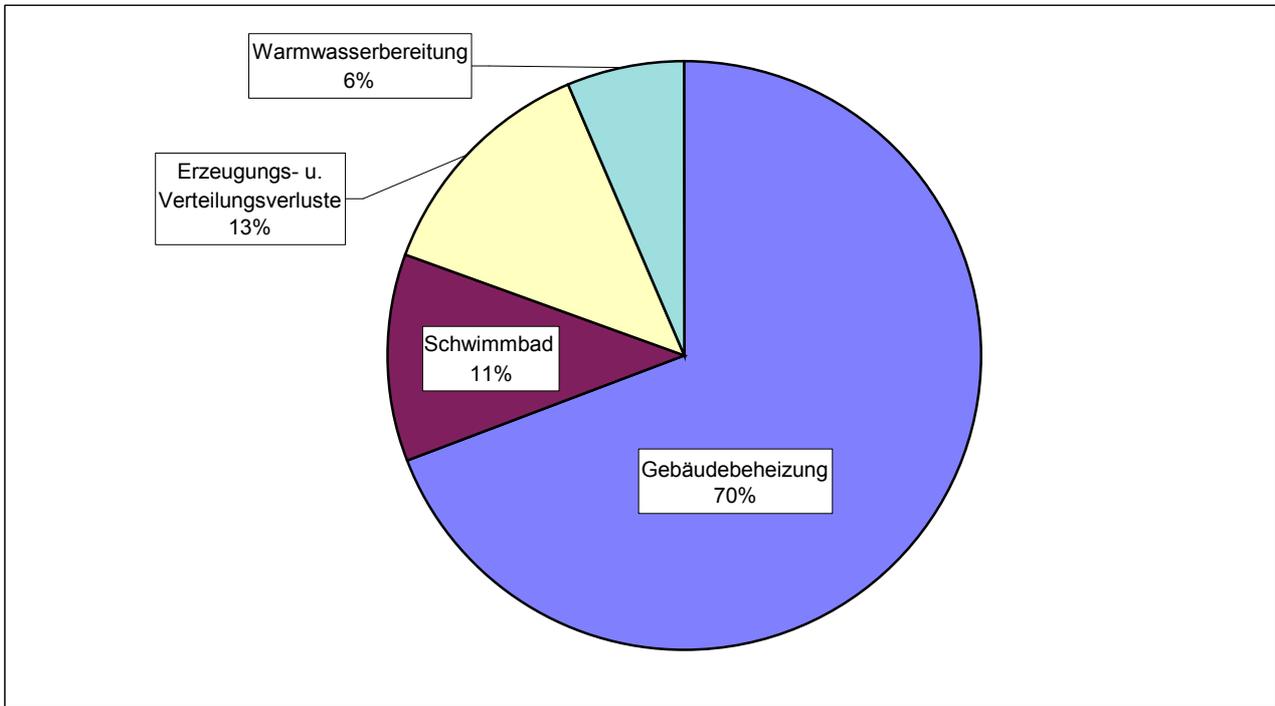
Unter Berücksichtigung der Klassengrenzen ist die Carl-Schurz-Schule in Klasse „**G**“, d.h., die Klasse mit der schlechtesten Energieeffizienz, einzuordnen.

Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Für das Carl-Schurz-Gymnasium wurden für die Wärmeversorgung der Gebäude sowie zur Warmwasserbereitung und Schwimmbadbeheizung witterungsbereinigt durchschnittlich rund 1.771,5 MWh_{HU}/a an Erdgas bezogen. Nach Abzug aller Verluste für Wärmeerzeugung und -verteilung ergibt sich ein Heizenergiebedarf für die Gebäudebeheizung und Trink-Warmwasserbereitung sowie zur Schwimmbadbeheizung von rund **1.501,1 MWh/a**.

In Abbildung 2.16 ist die prozentuale Verteilung des eingesetzten Erdgases für die Wärmeversorgung der CSS dargestellt.

Abb. 2.16 Verteilung des eingesetzten Erdgases für die Wärmeversorgung



Die Gebäudebeheizung von Klassentrakt, Aula, Turnhalle, Schwimmbad und Verwaltung hat mit 70 % den größten Anteil am eingesetzten Erdgas zur Wärmeversorgung. Beim Anteil des Schwimmbades ist zu berücksichtigen, dass sich derzeit hohe Wasserverluste durch Leckagen ergeben. Der hohe Verlustanteil von 13 % ist auf die ungenügende Isolierung der Wärmeverteilungen zurückzuführen.

2.3 Wasserverbrauch und -kosten

Die Carl-Schurz-Schule verfügt über eine Einspeisung mit zwei Einspeisezählern aus dem Trinkwasser-Versorgungsnetz der Mainova AG.

Die Messstelle mit zwei Zählern (Nr. 211 860 und 211 861) befindet sich in der Technikzentrale im Untergeschoss von BT B. Für die CSS ist derzeit der **Aqua-Classic-Trinkwasser** Tarif der Mainova gültig.

Spezifische Netto-Wasserpreise (Aqua Classic)

Wasserpreis	1,88 €/m ³
Zuzüglich MwSt:	7 %
Abwassergebühr:	1,76 €/m ³

Die jährlichen Wasserverbrauchswerte sowie die Bezugskosten für 2004 bis 2006 sind in der folgenden Abbildung 2.17 dargestellt.

Abb. 2.17 Jahreswerte des Wasserbezugs und der Wasserkosten von 2004 - 2006

Jahr	Wasser- Verbrauch in m ³ /a	Wasserkosten			Spez. Wasserpreis in EUR/m ³
		Wasser in EUR	Kanal in EUR	Gesamt in EUR	
2004	5.122	9.030,-	8.860,-	17.890,-	3,49
2005	4.634	8.545,-	8.155,-	16.700,-	3,60
2006	4.668	9.011,-	8.215,-	17.226,-	3,69

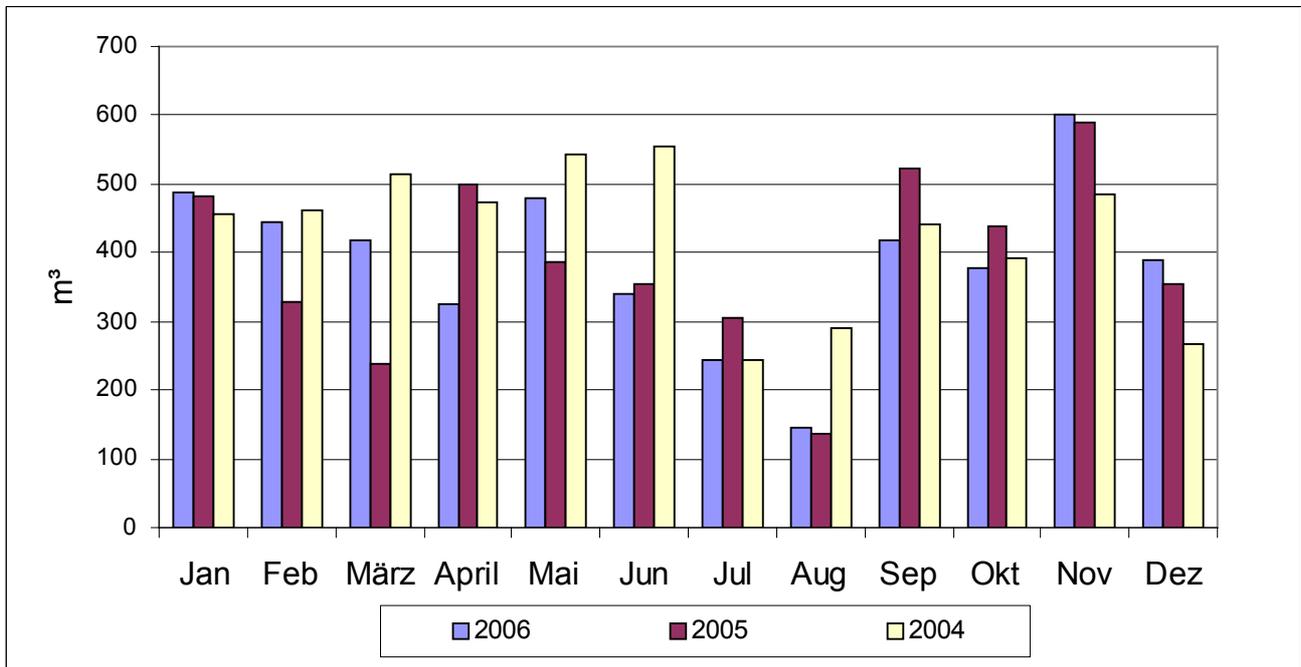
In den Wasserkosten sind 485,- €/a für die Vorhaltung Feuerlöschanlage durch die Mainova enthalten.

Der Wasserbezug ist in den letzten drei Jahren um rund 10 % gefallen. Die spezifischen Bezugskosten sind allerdings von 2004 bis 2006 um ca. 6 % gestiegen. Dies liegt hauptsächlich an den um fast 10 % gestiegenen Wasserpreisen (von 1,67 €/m³ auf 1,83 €/m³).

Wasserbedarfsstruktur

Bei der Ermittlung und Darstellung der Wasserverbrauchsstruktur in der Carl-Schurz-Schule konnte auf die Verbrauchsaufzeichnungen des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement zurückgegriffen werden. In Abbildung 2.18 ist die monatliche Verteilung des Wasserverbrauchs von 2004-2006 dargestellt.

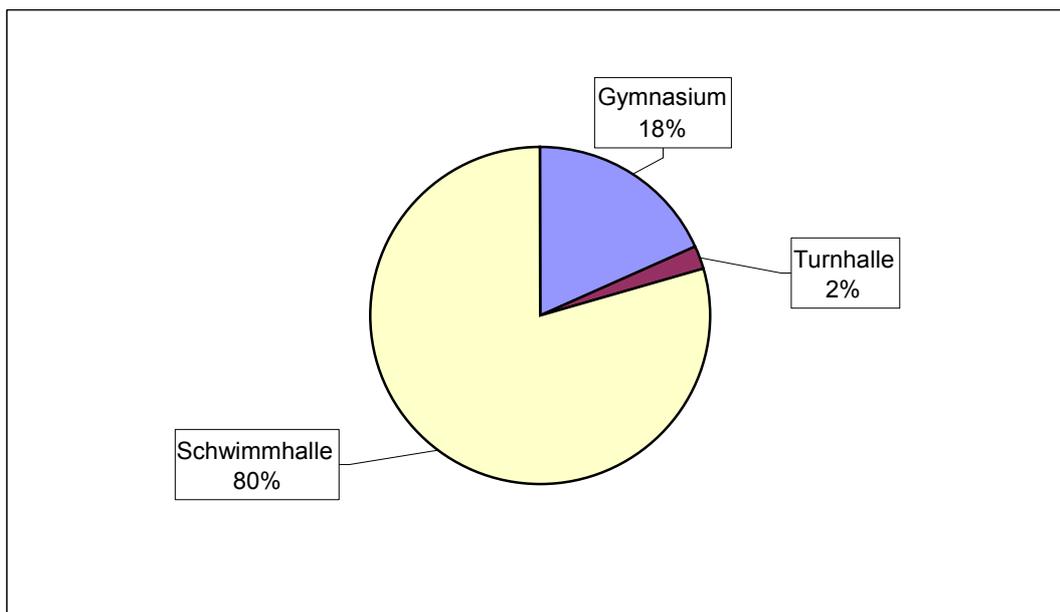
Abb. 2.18 Monatliche Verteilung des Wasserverbrauchs von 2004-2006



Man erkennt deutlich das Absinken der Verbrauchswerte während der Sommerferien. Ansonsten verteilen sich die Wasserverbrauchswerte über das Jahr gesehen relativ gleichmäßig. Extreme Ausreißer an manchen Monaten bzw. Jahren sind nicht zu erkennen.

Da für die einzelnen Bereiche der Carl-Schurz-Schule keine separaten Wasserverbrauchsaufzeichnungen zur Verfügung standen, wurde die Verteilung des Verbrauchs, anhand von Vergleichszahlen ermittelt und in Abbildung 2.19 dargestellt.

Abb. 2.19 Verteilung des Wasserbedarfs auf die einzelnen Nutzungszonen



Der Wasserbedarf in der CSS verteilt sich zu mehr als 80 % auf den Bereich „Schwimmhalle“ und zu insgesamt 20 % auf den Bereich Gymnasium und Turnhalle.

Ermittlung des Wasserverbrauchskennwert

Um den Wasserverbrauch in der Carl-Schurz-Schule beurteilen zu können, bedient man sich der in Abbildung 2.20 dargestellten Wasserklasseneinteilung (IEMB).

Abb. 2.20 Klassengrenzen Wasser für unterschiedliche Bauwerke

Bauwerkszuordnung	Untergrenzen der Klassen							Mittelwert (l/m ² a)
	(l/m ² a)							
	A	B	C	D	E	F	G	
Gymnasien	0	63	122	138	155	203	303	179
Sporthallen	0	82	123	162	142	266	373	291
Schwimmbhallen	0	1.801	8.152	10.921	19.806	25.975	40.750	17.910

Der durchschnittliche Wasserverbrauch in der Carl-Schurz-Schule liegt bei 4.808 m³. Daraus errechnen sich für die einzelnen Bereich der CSS, unter Berücksichtigung der jeweiligen Energiebezugsflächenanteile, folgende Wasserverbrauchskennwerte:

Abb. 2.21 Wasserverbrauch und -kennwerte für die einzelnen Bereiche

Bereich	Wasserverbrauch in m ³ /a	EBF in m ²	Wasserverbrauchskennwert in l/m ² *a	Wasser- klasse
Gymnasium	880,4	6.840,7	129	C
Turnhalle	109,2	455,7	240	B
Schwimmbad	3.818,0	638,6	5.979	B

Die Wasserverbrauchskennwerte der einzelnen Bereiche der CSS liegen allesamt, trotz der Leckagen im Schwimmbad, im „Grünen Bereich“.

3. Stammdaten zur Liegenschaft

3.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Das Gebäude wurde 1955 errichtet (Baugenehmigung von 1954). Das Schulgebäude steht unter Denkmalschutz. Die Carl-Schurz-Schule teilt sich in die folgenden Bereiche auf:

Bauteil A: Aula, Turnhalle und Musikräume, Schwimmbad

Bauteil B: Halle mit Haupttreppe, Verwaltungs-, WC- und Technikräume, Klassenräume, Musik- und Werkräume

Bauteil C: Naturwissenschaftliche Fachräume und WCs, Bibliothek, Lager, Wohnung

Insgesamt lernen am Carl-Schurz-Gymnasium rund 1.000 Schüler. In der folgenden Abbildung 3.1 ist die Verteilung der Bruttogrundrissflächen (BGF) und der Nettogrundrissflächen (NGF) sowie der Raumvolumina im Bestand der CSS zusammengestellt.

Abb. 3.1 Verteilung der Brutto- und Nettogrundrissflächen sowie der Raumvolumina

Geschoss	Gesamtfläche BGF in m ²	Gymnasium NGF in m ²	Aula NGF in m ²	Schwimmhalle NGF in m ²	Turnhalle NGF in m ²	Volumen in m ³
T1	2.352,63	551,84		638,62		4.309,5
T2	78,71					0
00	2.092,42	1.398,07			445,70	6.674,4
01	1.833,86	1.556,95				5.636,2
02	1.836,84	1.119,70	517,99			5.928,5
03	22,95	19,49				70,5
03	1.836,84	1.473,04	101,81			5.700,9
03	135,42	114,97				416,2
G E S A M T	10.189,67	6.234,06	619,80	638,62	445,7	28.736,2

Das Carl-Schurz-Gymnasium verfügt im Bestand derzeit über eine Gesamt-Bruttogrundrissfläche von 10.190 m². Nach EnEv entspricht die Energiebezugsfläche (EBF) der Netto-Grundrissfläche eines Gebäude und diese beträgt in der CSS rund 7.940 m². Das beheizte Raumvolumen liegt bei 28.736 m³.

3.2 Gebäude und Bauteile

Die Carl-Schurz-Schule stammt aus den 1950-er Jahren und ist ein voll unterkellertes, 4-geschossiger Gebäudekomplex in Stahlbeton-Mauerwerk-Mischbauweise mit sehr flach geneigten Pult- und Satteldächern.

1989 wurde an das Erdgeschoss der Turnhalle ein Geräteraum angebaut. 2005 wurden die naturwissenschaftlichen Fachklassenräume modernisiert. Aula, Turnhalle und Schwimmbad liegen übereinander im selben Bauteil.

Bauteil A enthält im KG, EG und 1.OG (Schwimmbad, Turnhalle) zweifeldrige Stockwerkrahmen, im 2.OG und 3.OG im Bereich der Aula einfeldrige Rahmen in Stahlbetonbauweise. Die Windaussteifung erfolgt in Längsrichtung durch 2 Stahlbeton-Wandscheiben. Die Bauteile B und C sind in

Mauerwerksbauweise mit Aussteifung durch teils Stahlbeton-Rahmen, teils Wänden erstellt.

Außenwände: Die Pfeilervorlagen an Bauteil A und der westlichen Fassade von Bauteil B (Sanitärräume) bestehen aus Sichtbeton, die der südlichen und östlichen Fassaden an den Unterrichtsräumen in den Bauteilen B, C und D bestehen aus hellgelben Mauerklinkern.

Die Giebelseiten der Bauteile sowie die Brüstungen in der Südfassade Bauteil B wurde mit Spaltklinkern bekleidet. Als Wandbildner wurden überwiegend TVG Hohl- und Vollsteine eingesetzt. Am nördlichen Nebentreppenhaus im Bauteil A wurden auch Gasbetonsteine verwendet.

Fenster: Die Treppenhäuser und die Turnhalle weisen eine Glasbausteinfassade auf. Die Fenster der Aula (Ostfassade) wurden in 2002 komplett saniert. Es wurden Fenster mit Stahlrahmen und Wärmeschutzverglasung eingebaut. Die übrigen Fenster bestanden bis 2006 aus Holzrahmen mit Einfachverglasung.

Dächer: Alle Dachdecken sind in Stahlbetonbauweise und als Flachdach mit bituminöser Dach-eindeckung gebaut. Die Dächer von Aula und EG-Anbau des Geräteraums bestehen aus Massivbeton; die übrigen Dächer sowie der überwiegende Teil aller Geschossdecken wurde mit Stahlbeton-Rippendecken gefertigt. Das Dach von Bauteil A (Aula) wurde 2002 saniert und es wurde eine Wärmedämmung mit einer Stärke von 10 cm aufgebracht.

Innenwände: Tragende und nichttragende Innenwände wurden überwiegend mit TVG Hohl- und Vollsteinen gemauert. In der Aula wurden Gasbetonstein verwandt.

3.2.1 Gebäudekenndaten

Die Bestandspläne zur Berechnung der Hüllflächen lagen vollständig vor. Die Baubeschreibungen zum Aufbau der Gebäudehüllflächen der einzelnen Bauteile und Baukonstruktionen musste durch Inaugenscheinnahme vor Ort und in Gesprächen mit dem Auftraggeber/Nutzer erfolgen.

Gebäudeflächen und -volumen

Zur Berechnung des Heizenergiebedarfs war die Ermittlung aller Flächen der vollständigen Umhüllung des beheizten Gebäudevolumens notwendig. Im einzelnen wurden folgende Werte ermittelt:

Energiebezugsfläche (EBF): Summe aller Nutzflächen gemäß DIN 277 Teil 2, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist.

Beheiztes Gebäudevolumen: Von der Gebäudehülle eingeschlossenes genutztes und beheiztes Nettoluftvolumen. Es ergibt sich als Produkt aus der EBF und der Raumhöhe

A/V-Verhältnis: Das Verhältnis der errechneten wärmeübertragenden Umfassungsfläche zum beheizten Gebäudevolumen

Außenwand und Dach: Flächen gegen Außenluft oder hinterlüftete Konstruktionen.

Grund: Bodenflächen gegen Erdreich und Flächen gegen unbeheizte Räume im Keller

Außenwand gegen Erdreich: Wandflächen beheizter Räume gegen Erdreich

Angrenzende Bauteile: Fläche gegen Bauteile mit wesentlich niedriger Raumtemperatur (z.B. Treppenhäuser, Lagerräume, etc.)

Auf Basis der o.g. Unterlagen bzw. Angaben sowie Ortsbegehungen wurden die charakteristischen Gebäudekenndaten und Gebäudehüllflächen ermittelt und in Abbildung 3.2 zusammengestellt.

Abb. 3.2: Gebäudekenndaten

Gebäude		Carl-Schurz-Schule
Energiebezugsfläche	in m ²	7.935,6
Beheiztes Gebäudevolumen	in m ³	28.736,2
Summe wärmeübertragende Umfassungsfläche	in m ²	10.635,1
A/V-Verhältnis		0,37
Außenwandfläche	in m ²	2.935,1
Dachfläche	in m ²	2.507,8
Grundfläche	in m ²	2.507,8
Außenwand gegen Erdreich	in m ²	652,8
Fenster-/Fenstertürenflächen		
- Ost	in m ²	523,7
- West	in m ²	340,8
- Nord	in m ²	242,9
- Süd	in m ²	606,2
Glasbaufassade	in m ²	104,3

Gemäß Aufgabenstellung durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt wurden für die Liegenschaft sämtliche erfassten Gebäudedaten in die städtischen Erfassungsblätter für die Gebäudedatenbank übertragen.

Wärmedurchgangskoeffizienten

Die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten (u-Werte) der Gebäudehüllflächen wurde, unter Zugrundelegung der Baubeschreibungen (soweit vorhanden), gemäß den Richtlinien der DIN-EN ISO 6946 (11/96) und DIN EN ISO 10077-1 (11/2000) durchgeführt. Konnte die Zusammensetzung der Bauteile nicht genau ermittelt werden, so wurde auf die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz, die während der Bauerrichtung in Kraft war (DIN 4108 / 1952), zurückgegriffen. Im Anhang 3.1 sind die u-Werte der jeweiligen Gebäudebauteile und dem entsprechenden Flächenanteil zusammengefasst.

3.2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs sowie des Heizwärmebedarfs

Ermittlung des Wärmebedarfs

Unter Zugrundelegen der ermittelten Gebäudehüllflächen bzw. -volumina und den entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizienten (u-Werte) wird für die einzelnen Bauteile bzw. Gebäude überschlagsmäßig der Gesamtwärmebedarf nach der A/V-Methode^{II} ermittelt. Gemäß dieser Methode wird der maximale Wärmebedarf wie folgt berechnet:

^{II} Vgl. Recknagel/Sprenger/Schrameck: Taschenbuch Heizung/Klimatechnik 03/04, Oldenbourg-Verlag, München

Q_N = Normwärmebedarf in Watt
 = $(\sum(u * A * f) \text{Bauteil} + 0,33 * n * V) * dT$
 u = Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil in W/m^2K
 A = Umfassungsfläche Bauteil in m^2
 f = Minderungsfaktor 0,5 bei Bauteilen gegen Erdreich oder unbeheizte/niedriger beheizte Räume
 0,33 = Spez. Wärmekapazität von Luft in Wh/m^3K
 n = Stündlicher Luftwechsel in h^{-1}
 V = Beheiztes Gebäudevolumen in m^3
 dT = Temperaturdifferenz (innen - außen) in K

Bei den Berechnungen wurde für die CSS die nachfolgenden Grunddaten angesetzt:

Durchschnittliche Gebäude-Innentemperatur: 20 °C
 Außentemperatur, L_{Luft} : - 12 °C
 Mindestluftwechsel: 0,6 h^{-1} (bei mechanisch belüfteten Flächen: 0,2 h^{-1})

Abb. 3.3 Ermittlung des Normwärmebedarf

Transmissionswärmebedarf (Q_T)	in kW	543,2
Raumvolumen, freie Lüftung (V_{Rfr})	in m^3	24.549
Raumvolumen, mech. Lüftung (V_{Rmech})	in m^3	4.187
Lüftungswärmebedarf (Q_L)	in kW	164,4
Normwärmebedarf (Q_N)	in kW	707,6
Nutzfläche (A)	in m^2	7.935,6
Spez. Wärmebedarf	in W/m^2	89

Für die Carl-Schurz-Schule Frankfurt errechnet sich ein Gebäudewärmebedarf von rund **710 kW**. Der spezifische Wärmebedarf liegt bei 89 W/m^2 . Das Berechnungsdatenblatt befindet sich in Anhang 3.2.

Aufgrund der Tatsache, dass Aula und Schwimmhalle zusätzlich mechanisch belüftet werden müssen, ergibt sich ein zusätzlicher Wärmebedarf für die Lüftungsanlagen, der wie folgt berechnet werden kann:

Q_{RLT} = Wärmebedarf für RLT-Anlagen in Watt
 = $V_L * 0,33 * (T_{ZU} - T_{AU}) - V_L * 0,33 * f_{WRG} * (T_{AB} - T_{AU})$ in W
 V_L = Luftvolumenstrom m^3/h (ermittelt nach Vorgaben der DIN 1988)
 0,33 = Spez. Wärmekapazität von Luft in Wh/m^3K
 f_{WRG} = Faktor der Wärmerückgewinnung = 1, da keine WRG im Ist-Zustand
 T_{ZU} = Zulufttemperatur in °C
 T_{AU} = Außentemperatur in °C
 T_{AB} = Ablufttemperatur °C

Abb. 3.4 Wärmebedarf für Lüftungsanlagen

Luftvolumenstrom (V_L)	in m^3/h	19.250
WRG-Faktor (f_{WRG})		-
Zulufttemperatur (T_{ZU})	in $^{\circ}C$	24
Außentemperatur (T_{AU})	in $^{\circ}C$	-12
Ablufttemperatur (T_{AB})	in $^{\circ}C$	18
RLT-Wärmebedarf (Q_{RLT})	in kW	228,7

Entsprechend der „AMEV - Richtlinie für die Planung und Ausführung von Heiz- und Wassererwärmungsanlagen in öffentlichen Gebäuden“ wird für die Bestimmung des notwendigen Wärmebedarfs der RLT-Anlagen ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,6 vorgegeben.

Für die Heizwärmeversorgung der Carl-Schurz-Schule errechnet sich somit ein Gesamtwärmebedarf von **844,8 kW** (= 707,6 kW + 0,6 * 228,7 kW).

Die BHKW-Module und die beiden Heizkessel verfügen zusammen über eine Wärmeleistung von 979 kW. Berücksichtigt man Heizwärmeverteilungsverluste im Gebäude in Höhe von 5 % so ergibt sich, dass eine akzeptable Überdimensionierung der Wärmeerzeugungsanlage in der CSS von 10 % besteht.

Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Als Instrument zur planerischen Bearbeitung eines verbesserten Wärmeschutzes steht der Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (1996) des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit zur Verfügung. Diese Leitfaden basiert auf der bewährten Norm des schweizerischen Ingenieur und Architekten Vereins (SIA 380/1 - Energie im Hochbau“). Für öffentliche Bauvorhaben in Hessen war das Verfahren als Wärmeschutznachweis nach geltender Wärmeschutzverordnung im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren zugelassen.

Ein Gebäude lässt sich als ein dynamisches System beschreiben, das durch unterschiedliche Wärmeströme definiert ist. Dies sind einerseits die Wärmeverluste durch die Außenfläche des Gebäudes (Transmission) und durch den Austausch von Innen- gegen Außenluft (Lüftung), andererseits die Wärmegewinne durch die solare Einstrahlung und durch die Wärmeabgabe von Personen und Geräten. Hinzu kommt der Wärmestrom, der dem Gebäude über die Heizanlage zugeführt wird, um die Innentemperatur auf dem gewünschten Niveau zu halten. Dieser wird als **Nutzheizenergiebedarf** bezeichnet.

Um den ermittelten Wert für den Nutzheizenergiebedarf nutzerunabhängig und somit vergleichbar zu machen, sind dem Berechnungsverfahren Standardwerte für die Nutzung der Gebäude vorgegeben. Durch die Ermittlung der **Heizenergiekennzahl** wird darüber hinaus ein Wert eingeführt, der ein Maß für die „thermische Güte“ eines Gebäudes darstellt. Des weiteren steht durch die Ermittlung der Energiebilanz ein Instrument zur Verfügung, mit dem der Wärmeschutz des Gebäudes ökonomisch optimiert werden kann.

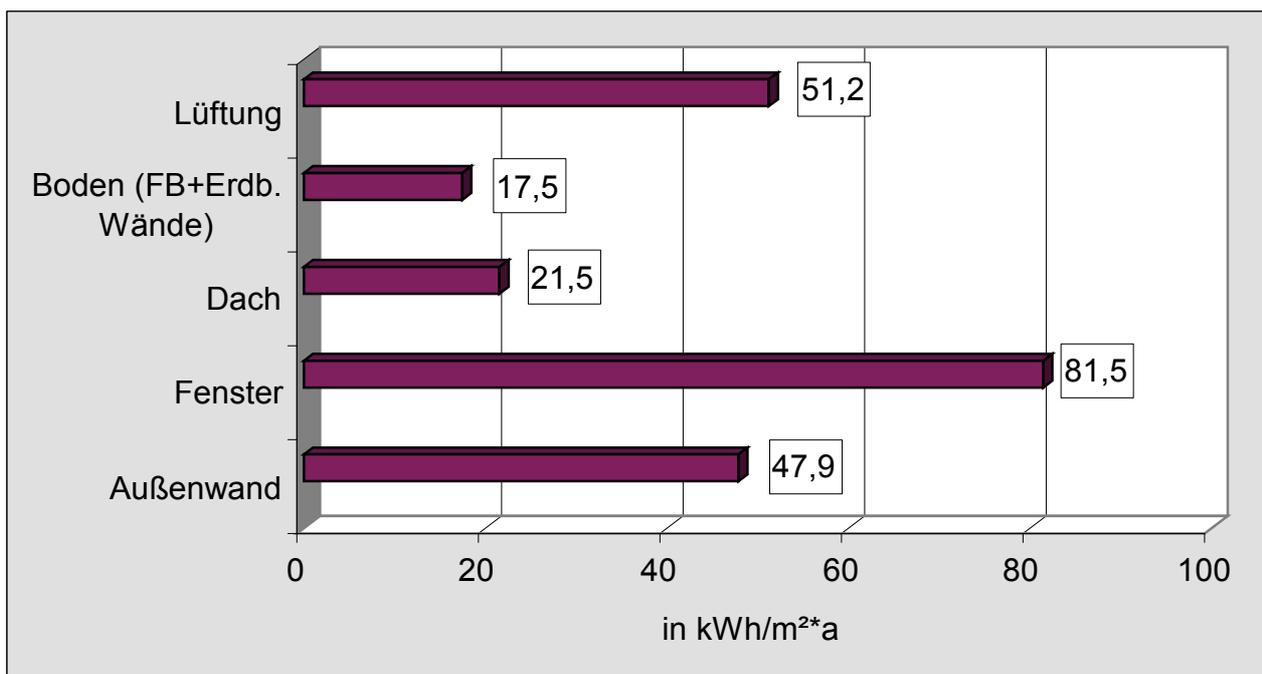
Für das Carl-Schurz-Gymnasium wurde, entsprechend dem beschriebenen Berechnungsgang des Leitfadens „Energiebewusste Gebäudeplanung“, der Heizenergiebedarf ermittelt. Die Berechnungen und die Ergebnisse sind im Anhang 3.3 dargestellt. Nachfolgend sind die relevanten Daten der CSS zusammengefasst und erläutert.

Transmissions- und Lüftungswärmeverluste

Der Transmissionswärmebedarf wird berechnet aus den Wärmeverlusten von Wand, Dach, Fenster und Boden an die Außenluft, an das Erdreich bzw. an unbeheizte Räume. Die Lüftungswärmeverluste berechnen sich aus dem Außenluftwechsel, dem beheizten Gebäudevolumen sowie der Außen- und Raumlufttemperatur.

In der folgenden Abbildung 3.5 sind die spezifischen Transmissions- und Lüftungswärmeverluste pro Quadratmeter Energiebezugsfläche der Carl-Schurz-Schule aufgeführt.

Abb. 3.5 Verteilung der spezifischen Wärmeverluste



Die nach dem hessischen Leitfaden berechneten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste betragen für die CSS rund 1.742 MWh/a, woran die Lüftungswärmeverluste einen Anteil von rund 23 % haben. Bei den Transmissionswärmeverlusten liegt der höchste Anteil bei den Fensterflächen (48 %) und den Außenwandflächen (28 %), während Dach- und Bodenflächen zusammen nur einen Anteil von rund 23 % haben.

Wärmegewinne

Bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs werden folgende Wärmegewinne berücksichtigt:

Freie Wärme aus Sonnenstrahlung durch Fenster: Wird berechnet aus der Fenstergröße, der Art des Fensters (Energiedurchlassgrad) und der Orientierung mit der entsprechenden Globalstrahlung.

Freie Wärme aus Elektroanlagen: Wird aus dem für Raumheizung verwertbaren Teil des Elektrizitätsverbrauchs für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen der während der Heizperiode innerhalb des beheizten Gebäudevolumens abgegeben wird, bestimmt. Zu berücksichtigen ist, dass der Elektrizitätsbedarf der Zuluftanlagen als Wärmegewinn (Abwärme der Ventilatoren) während der Heizzeit genutzt werden kann.

Freie Wärme von Personen: Wird mit der Wärmeabgabe (abhängig von der Tätigkeit) sowie der Anwesenheitszeit während der Heizzeit berechnet.

Wärmebedarf für Brauchwassererwärmung: Wirkt als negative innere Wärmequelle, da Kaltwasser auf Raumtemperatur aufgeheizt werden muss.

Für die Carl-Schurz-Schule errechnen sich jährliche Wärmegewinne in Höhe von rund 393 MWh. Die Solargewinne haben daran einen Anteil von rund 52 %.

HEIZWÄRMEBEDARF

Der Heizwärmebedarf ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf für Transmission und Lüftung abzüglich der Wärmegewinne. Die Werte für die CSS sind in Abbildung 3.6 zusammengestellt.

Abb. 3.6 Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs und des Energiekennwert Heizung

Transmissions- / Lüftungswärmeverluste	Q_V	1.742,4	MWh/a
Nutzbare Wärmegewinne	Q_G	392,9	MWh/a
Heizwärmebedarf	$Q_H = Q_V - Q_G$	1.349,4	MWh/a
Energiekennwert Heizwärme	Q_H/EBF	170,4	(kWh/m ² a)
Grenzwert		75	(kWh/m ² a)
Grenzwertüberschreitung		127	(%)
Grenzwert erfüllt		Nein	

Die Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs nach dem Hessischen Nachweisverfahren zeigt eine Grenzwertüberschreitung von 127 % gegenüber einem Gebäude, das nach energetischen Optimierungsgesichtspunkten errichtet wurde. Die genannte Grenzwertüberschreitung zeigt ein relevantes Einsparungspotential, welches durch die Optimierung der Hauptverbrauchsbereiche Fenster- und Außenwand sowie der Lüftungsanlagen realisiert werden könnte.

3.2.3 Wärme- und Heizenergiebedarf nach Sanierungsmaßnahmen 2007

Während der Bearbeitung des Energiekonzeptes und vor Beginn der eigentlichen Sanierungsmaßnahme wurden im Jahr 2007, vornehmlich aus Gründen der Bauerhaltung, die folgenden Maßnahmen durchgeführt, die bereits zu einer Reduzierung von Wärmebedarf und Heizenergiebedarf der CSS führen werden.

- Osterferien 2007: Austausch von 56 St. Holzfenster mit Einfachverglasung auf der Südseite des Klassentrakts (BT B) durch Fenster mit Holzrahmen und Wärmeschutzverglasung sowie Einbau eines außenliegenden Sonnenschutzes.
- Sommerferien 2007: Austausch von 38 St. Holzfenster mit Einfachverglasung auf der Westfassade von BT A (EG – 3. OG) durch Fenster mit Stahlrahmen (Vorgabe Denkmalschutz) und Wärmeschutzverglasung.

Der für Herbstferien 2007 geplante Austausch von 18 St. Holzfenster mit Einfachverglasung auf der West- und Ostseite der Fachklassen (BT C) durch Fenster mit Alurahmen und Wärmeschutzverglasung konnte, aufgrund einer Insolvenz nicht durchgeführt

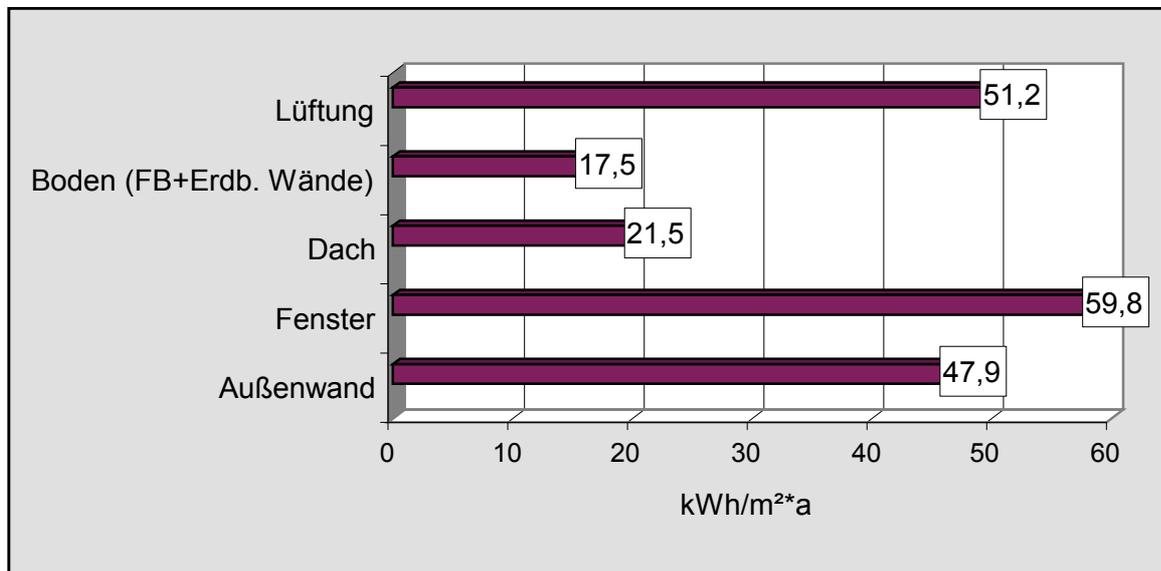
In der Abbildung 3.7 sind die zu erwartenden Wärme- und Heizenergiebedarfswerte nach der Durchführung der o.g. Sanierungsmaßnahmen in 2007 im Vergleich zum Istzustand (Ende 2006) zusammengestellt.

Abb. 3.7 Gegenüberstellung von Wärme- und Heizenergiebedarf vor und nach den Sanierungsmaßnahmen in 2007

	Gebäude- Wärmebedarf in kW	Heizenergie- Bedarf in kWh/a	Energiekennwert Heizwärme in kWh/m ² *a
Vor Sanierung Ende 2006	707,6	1.349.415	170,0
Nach Sanierung Ende 2007	636,0	1.200.725	151,3
Reduzierung	71,6	148.690	
	10,1 %	11,0 %	

Durch die in 2007 durchgeführten Fenster-Sanierungsmaßnahmen reduziert sich der Gebäudewärmebedarf der CSS um rund 10 % und der Heizenergiebedarf um 11 %. Der Energiekennwert Heizwärme von 75 kWh/m²*a wird aber mit 151 kWh/m²*a immer noch um 100 % überschritten. Durch diese Maßnahmen werden sich die jährliche Erdgaskosten nach derzeitigen Preisstand um ca. **12.200,- €** reduzieren. Die Verteilung der spezifischen Verluste ist in Abbildung 3.8 dargestellt.

Abb. 3.8 Verteilung der spezifischen Wärmeverluste nach Sanierungen in 2007



3.2.4 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Sanierungsmaßnahmen

Der derzeitige Wärmeschutz und der Heizenergiebedarf der Carl-Schurz-Schule Frankfurt kann wie folgt bewertet werden:

- Der nach dem Hüllflächenverfahren rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf beträgt **1.349,4 MWh**. Der Gesamtwärmebedarf liegt bei rund **845 kW**.
- Nach den Sanierungsmaßnahmen in 2007 reduziert sich der Wärmebedarf um 10 % auf 636 kW und der Heizenergiebedarf um 11 % auf 1.200,7 MWh/a.
- Der geforderte Grenzwert des spezifischen Heizenergiebedarfs nach Hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude (Schulen) von 75 kWh/m²*a wird auch nach den Sanierungsmaßnahmen in 2007 mit 151 kWh/m²*a nicht erreicht. Aus den ermittelten Werten kann somit ein noch bestehendes relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden, das vornehmlich durch die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste realisiert werden könnte.

Um die energetische Qualität des Gebäudes zu optimieren und um alterungsbedingte bauliche Mängel zu beseitigen, werden, in Abstimmung mit dem zuständigen Architekturbüro „h4a - Gesert + Randecker + Legner“ aus Stuttgart, die im Folgenden aufgelisteten baulichen Wärmeschutzmaßnahmen im Rahmen der Gesamtsanierung empfohlen (**Maßnahme 3.2.1**). Hierbei waren u.a. die Belange des Denkmalschutzes sowie die Vorgaben der Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2008 der Stadt Frankfurt zu berücksichtigen:

- Bauteil B Dämmung Nordfassade im 1.-3.OG mit einem Wärmedämmverbundsystem
- Sanierung Flachdach Bauteil B und C mit zusätzlicher Wärmedämmung
- Zusätzliche Glasbausteine im Bauteil A Ostfassade der Turnhalle

- Austausch einfachverglaster Fenster gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung für folgende Bereiche:
 - Bauteil A UG Schwimmbad/Tür zum Lichthof Nordseite
 - Bauteil A EG Ausgang Treppe Nord
 - Bauteil B UG Südseite
 - Bauteil B EG Flur
 - Haupttreppenhaus EG – 3.OG West- und Ostseite
 - Bauteil C – UG (Küche) bis 3.OG (Fachklassenräume)

3.3 Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen

3.3.1 Wärmeerzeugungsanlagen

Die Strom- und Wärmeversorgung der Carl-Schurz-Schule erfolgt fast vollständig über ein Erdgas-Blockheizkraftwerk (BHKW), welches aus 2 Modulen, die je eine elektrische Leistung von 52 kW und eine thermische Leistung von 97 kW besitzen, besteht.

Es wird insgesamt deutlich mehr Strom erzeugt als in der Einrichtung selbst verbraucht wird, der überschüssige Strom wird gegen eine Vergütung in das Netz der Mainova eingespeist. Die bei der Stromerzeugung als „Abfallprodukt“ anfallende Wärme deckt einen Großteil des Wärmebedarfs der CSS. Die BHKW-Anlage wurde 1993 errichtet und 2006 komplett erneuert.

Neben dem BHKW stehen noch zwei Gasheizkessel zur Verfügung. Diese haben eine Wärmeleistung von je 380 kW und dienen zur Spitzenlastabdeckung. Die Kessel wurden 2003 in Betrieb genommen. Zur Feuerung wird Erdgas eingesetzt, welches von der Mainnova bezogen wird.

BHKW- und Heizkessel sind in der Heizzentrale der Carl-Schurz-Schule installiert. Diese befindet sich im Untergeschoss des Altbaus. Die Heizkessel und die BHKW-Module befinden sich in einem guten Zustand.

Im Anhang A.3.4 ist das Wärmeerzeugungsschema der Heizzentrale dargestellt.

Bewertung

- Kessel und BHKW-Module befinden sich in einem technisch einwandfreiem Zustand. Die hydraulische Einbindung von Wärmeerzeugern und Pufferspeicher (2.500 l) wurde in den vergangenen Jahren mehrfach umgebaut, da es, aufgrund zu hoher Heizwasser-Rücklauftemperaturen, zu einem häufigen Takten der BHKW-Module kam.
- Die Betriebsweise der Anlagen erfolgt größtenteils manuell, d.h. die Kessel werden von Hand weggeschaltet, damit BHKW-Module wärmeseitig ohne Takten laufen können.
- Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen sowie Regel- und Stellorgane sind teilweise korrodiert. Rohr- und Armaturendämmungen sind defekt bzw. fehlen ganz.

Aus den genannten Gründen ist es zu empfehlen, im Zuge der Sanierungsmaßnahmen, ab den Wärmeerzeugungseinrichtungen bis zu den vorhandenen Verteilern/Sammlern das Heizungssystem neu aufzubauen.

3.3.2 Wärmeverteilung

Durch die vier geregelten Primärpumpen (Fabr. Grundfos UPE 65-120 F, $V = 32 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 5 \text{ mWS}$, $P_e = 0,8 \text{ kW}$) wird derzeit die Heizwasserversorgung der meisten Verbrauchergruppen an den beiden Verteilern realisiert. Da die Pumpenleistung für einzelne Stränge (z.B. Lüftung Chemie, Fußboden-Hzg.) nicht ausreichte, wurden nachträglich einzelne Verteilerpumpen nachgerüstet.

Dieses System ist energetisch und hydraulisch sanierungsbedürftig. Im Zuge des Umbaus sollten auch die Verteiler und Sammler erneuert werden und jeder Strang mit einer eigenen hocheffizien-

ten drehzahlgeregelten Umwälzpumpe ausgestattet werden.

Bewertung: Rohrleitungen, Isolierung, Armaturen und Heizflächen haben das Ende der technischen Nutzungsdauer deutlich überschritten und sollten im Rahmen der Gesamtsanierung erneuert werden.

In der Aula wurde vor ca. 2 Jahren die Ostfassade mit Fenstern saniert. Im Zuge dieser Maßnahme wurden vor den Fenstern Röhrenradiatoren ohne Strahlungsplatten angebracht. Diese Anordnung der Heizkörper ist nach EnEV nicht zulässig und führt zu erheblichen Wärmeverlusten.

3.4 Stammdaten der Lüftungsanlagen

Die Carl-Schurz-Schule verfügt über mehrere separate Lüftungsgeräte ohne Wärmerückgewinnungssystem, die mit Ausnahme der Lüftungsanlage für die Naturwissenschaftlichen Bereiche im Bauteil C noch aus der Erbauungszeit (1956) stammen. Im folgenden werden die Lüftungsanlagen kurz beschrieben und, so weit bekannt bzw. vorhanden, die entsprechenden technischen Daten dargestellt.

Lüftungsanlagen Schwimmbad

Für das Schwimmbad ist ein Zentralgerät mit Heizregister in einem „Nischenbereich“ im Kellergeschoss von Bauteil A installiert. Über manuelle Klappenverstellung kann ein Umluftanteil grob eingestellt werden. Zur Schwimmhallenentfeuchtung sind derzeit drei einzelne Umluftentfeuchtungsgeräte in der Schwimmhalle installiert. Technische Angaben liegen nicht vor, die Luftmenge liegt bei ca. 6.800 m³/h^{III)}. Die Nebenräume verfügen über zwei Außenluftgeräte mit Heizregistern in Schachtbauweise.

Abb. 3.9 Lüftungsgerät Schwimmhalle



Lüftungsgerät Schwimmhalle Nebenräume



^{III)} (Öffnung 1,0 x 1,0 m mit Lüftungsgitter, bei einer Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s)

Lüftung Turnhalle



Abb. 3.10 Lüftungsgerät Turnhalle

Die Turnhalle wird derzeit ausschließlich über in drei Nischen installierten Außenluftgeräte (ca. 3.000 m³/h) mit Heizregister (47,7 kW je Gerät) beheizt. Das Abluftgerät, welches mit der Aulafortluft verbunden ist, sitzt im Technikbereich oberhalb der Bühne. Technische Unterlagen/Angaben liegen nicht vor. Die Regelung erfolgt manuell durch die Hausmeister.

Lüftungsanlage Aula

Die Aula verfügt als Maximalbelegung über 819 bestuhlte Plätze. Zur Grundbeheizung sind vor den Fenstern entsprechende Röhrenradiatoren installiert.

Die Aula verfügt über ein Zuluft- und zwei separate Abluftgeräte die manuell ein- und ausgeschaltet werden.

Das Zuluftgerät wurde 1956 eingebaut und verfügt über eine errechnete Luftleistung von 8.100 m³/h und befindet sich in der Technikzentrale oberhalb der Bühne. Das Einblasen der Zuluft erfolgt oberhalb der Bühne mittels fünf Luftauslässen (40 x 50 cm).

Die Absaugung erfolgt unterhalb der Bühne sowie oberhalb der Empore. Das Emporen-Abluftgerät wurde 1979 im Glashaus Bauteil B installiert und verfügt über eine Luftmenge von ca. 4.200 m³/h bei einer elektrischen Leistungsaufnahme des Ventilators von 2,2 kW. Technische Angaben zum Abluftgerät Bühne, welches aus dem Jahr 1956 stammt, liegen nicht vor. Unter Berücksichtigung der Kanalquerschnitte bzw. der Absaugöffnung kann eine Abluftmenge von 4.100 m³/h angesetzt werden. Die Lüftungsanlage wird nicht durchgängig betrieben, sondern manuell nach Bedarf für Abendveranstaltungen (18.00 Uhr – 23.00, ca. 3 x pro Monat) und Orchesterproben (08.00 Uhr – 16.00 Uhr, Mai bis September) eingeschaltet. Die jährliche Betriebszeit liegt bei rund 1.250 h/a.

Lüftungsanlage Naturwissenschaften

Vier Fachklassenräume (301-304) wurden nachträglich mit Abluft (3.000 m³/h) für die Laborabzüge ausgestattet. Die Abluftventilatoren sitzen auf dem Flachdach, das Zuluftgerät in der Zwischendecke des WC-Bereichs im 3.OG. Die Regelung erfolgt in Abhängigkeit vom Betrieb der Digistoren mittels Volumenstromreglern.

Lüftung Klassentrakt

Derzeit sind für die einzelnen Klassenräume geschossweise getrennte „Kaminzüge (Fabr. Plewa 14/14 cm)“ vom EG bis über Dach eingebaut. Diese sollten ursprünglich eine freie Schachtströmung für die Klassenräume ermöglichen. Allerdings wurden die Luftöffnungen mittlerweile geschlossen, so dass keine Lüftung in den Klassenräumen nach Süden im Bauteil B vorhanden ist.

3.4.1 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Auf der Basis, der im Energiekonzept ermittelten Daten, können die RLT-Anlagen in der Carl-Schurz-Schule hinsichtlich ihres Zustandes und ihrer Konzeption wie folgt bewertet werden:

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass, außer im Text erwähnte Geräte (Naturwissenschaften), sämtliche installierten Lüftungsgeräte auf dem Jahr 1956 (!) stammen und technisch abgängig und hygienisch als äußerst unzureichend zu bewerten sind.

Lüftungsanlage Schwimmhalle

Das vorhandene Lüftungsgerät hat das Ende der technischen Nutzungsdauer deutlich überschritten und sollte ersetzt werden. Ein neues kombiniertes Zu- und Abluftgerät für die Schwimmhalle kann allerdings aus Platzgründen im vorhandenen Kellergeschoss von Bauteil A nicht untergebracht werden. Aus diesem Grund muss eine neue Technikzentrale im Untergeschoss für das Lüftungsgerät der Schwimmhalle mit Hochleistungs-WRG gebaut werden.

Zu prüfen ist, ob der Einsatz eines Wärmepumpen-Lüftungsgerätes sich wirtschaftlich darstellen lässt (**Maßnahme 3.4.I**).

Lüftungsanlage Umkleidebereiche

Die Lüftungsgeräte mit Außenluftheritzer in Schachtbausweise aus den 50ziger Jahren sind technisch, energetisch und hygienisch als nicht weiter verwendbar zu bewerten. Hier sollte ein neues kombiniertes Zu- und Abluftgerät mit Platten-Wärmetauscher installiert werden.

Lüftungsanlage Aula

Die Anlage bzw. die Geräte sind technisch und energetisch als sanierungsbedürftig zu bewerten. Der Einbau eines kombinierten Zu- und Abluftgerätes für die Aula ist aus baulichen Gegebenheiten (Platzprobleme) nicht zu realisieren. Aus diesem Grund sollte ein Zuluftgerät oberhalb der Aula und ein Abluftgerät auf dem Flachdach oder im Bereich des „Gewächshauses“ installiert werden. Zur Wärmerückgewinnung (WRG) könnte ein Kreislaufverbundsystem (KVS) installiert werden.

Aufgrund der relativ geringen Betriebszeiten der Lüftungsanlage (1.250 h/a) ist hierfür, gemäß den Leitlinien zum wirtschaftliches Bauen der Stadt Frankfurt, die Wirtschaftlichkeit nachzuweisen (**Maßnahme 3.4.II**).

Lüftung Turnhalle

Die Lüftungsgeräte sind dringend sanierungsbedürftig einzustufen. Da die Turnhalle über offenbare Fenster verfügt und eine Schnellaufheizung, aufgrund der regelmäßigen Belegung nicht notwendig ist, kann auf eine Sanierung der Lüftungsanlage verzichtet werden.

Zur Beheizung werden ballwurfsichere Deckenstrahlplatten eingesetzt. Durch diese Maßnahme können die notwendige Wärmeleistung verringert und die Investitionskosten reduziert werden.

Lüftung Klassentrakt

Aufgrund der geschlossenen Lüftungsschlitze in der Klassenräumen ist eine natürliche Durchlüftung nicht mehr gegeben. Aufgrund der Lage in südlicher Richtung kam es in den vergangenen Jahren zu erheblichen Übertemperaturen in den Klassenräumen, die dazu führten, dass die Schulleitung den Unterricht einstellen musste.

Daraufhin wurde im Frühjahr 2007 die Südfassade der Klassenräume mit neuen Fenstern mit Wärmeschutzverglasung sowie einem außenliegendem Sonnenschutz (Flachlamellen aus Aluminium mit elektrischen Antrieben) versehen. Messungen im Sommer 2007 brachten keine verwertbaren Ergebnisse, da die Außentemperaturen sowie die Sonneneinstrahlung unterdurchschnittlich blieben.

Der nach EnEV geforderte Nachweis eines sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 wurde beispielhaft für einen Klassenraum im 2.OG nach der Fenstersanierung durchgeführt. Die Berechnungsgänge sind in Anhang 3.5 aufgeführt.

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass der sommerliche Wärmeschutz nach DIN 4108-2 nach dem Einbau des zusätzlichen Sonnenschutzes erfüllt wird, jedoch der zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} nur 4 % über dem vorhandenen Sonneneintragskennwert S liegt. Dieser Unterschied ist zu gering, als dass hier mit Sicherheit eine Überhitzung der Klassenräume zukünftig ausgeschlossen werden kann.

Wird eine erhöhte Nachtlüftung mit einem Luftwechsel von mehr als $1,5 \text{ h}^{-1}$ während der zweiten Nachthälfte vorgesehen, dann liegt der S_{zul} um 55 % über dem vorhandenen Sonneneintragswertes, d.h., eine Überhitzung der Klassenräume kann im Normalfall ausgeschlossen werden.

Eine maschinelle Nachtkühlung für die Klassenräume kann vorgesehen werden, indem man

- die vorhandenen Abluftschächte wieder nutzbar macht,
- auf ausreichende Speichermassen in Klassenräumen achten,
- an den Schachtenden auf dem Dach entsprechende Ablüfter vorsieht
- sowie die Oberlichter der Fenster mit elektrischen Öffnern nachrüstet.

Die Investition für Motoren und Klappen sowie Anschluss an die vorhandene GLT liegen bei ca. 5.000,- €. Die Kosten für die 20 St. Abluftventilatoren liegen bei ca.15.000,- €, so dass sich eine Gesamtinvestition für die maschinelle Nachtlüftung der Klassenräume BT Südseite von 20.000,- € errechnet.

3.5 Stammdaten der Schwimmbadtechnik

Im Untergeschoss von Bauteil A der Carl-Schurz-Schule befindet sich ein 1955 errichtetes Schwimmbad. Die technischen Anlagen des Schwimmbades wurden 1992 saniert. Da das Schwimmbecken zu Therapiezwecken genutzt wird, liegt die Beckenwassertemperatur bei 30°C und die Lufttemperatur bei 31-32°C.

Nutzungszeiten: Ganzjährig außer Sommerferien
Schulbetrieb: Werktags von 08.00 – 16.00 Uhr
Vereinsbetrieb: Werktags von 18.00 – 21.00 Uhr

Das Schwimmbecken verfügt über eine Beckenwasserfläche von 118 m² und einen Wassergehalt von 110 m³ (Wassertiefe zwischen 0,90 – 1,15 m). Eine Abdeckung des Beckenwassers ist nicht vorhanden.

Das Schwimmbecken verfügt mit einem Mehrschichtfilter (D = 2,00 m, H = 2,00 m) und einen Überlaufsammelbehälter (9 m³). Die Beckenwasseraufbereitung arbeitet nach dem Verfahren *Flocculation – Filtration – Chlorung*. Die Umwälzleistung liegt bei max. 75 m³/h.

Die Zuströmung und Absaugung erfolgt in Längsrichtung. Das Schwallwasser wird über eine sogenannte tiefliegende „Wiesbadener Rinne“ dem Schwallwasserbehälter zugeführt.

In der Frischwasserzuleitung ist ein Wasserzähler eingebaut. Die Anlage wird 5 x pro Woche rückgespült, wobei eine Wassermenge von 8-10 m³ Wasser pro Spülgang benötigt wird.

In Abbildung 3.11 sind die installierten Pumpen und Gebläse zur Beckenwasserumwälzung und zur Wasseraufbereitung in der CSS zusammengestellt.

Abb. 3.11 Stammdaten der Badwasserpumpen und Spülluftgebläse

Bezeichnung / Versorgung	Hersteller/Typ	Volumenstrom In m ³ /h	Förderhöhe in mWS	Leistungsaufnahme In kW
Schwallwasserpumpe	Speck	25	13,5	4,0
Beckenwasserumwälzpumpe	Herborner	50	13,5	3,0
Messwasserpumpe				0,75
Spülluftgebläse		Luft = 188		5,5

Die Beckenbeheizung erfolgt mittels einem Rohrbündel-Wärmetauscher (Fabr. Viessmann) mit einer Wärmeübertragungsleistung von 120 kW. Die Heizwasser-Rücklauftemperatur ist mittels Temperaturbegrenzer auf 40°C voreingestellt.

3.5.1 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Nach Mitteilungen und Verbrauchsaufzeichnungen des technischen Personals ergeben sich für die Beckenwassernachspeisung an Wochenenden außerhalb der Betriebszeiten (Freitag Nachmittag bis Montag morgen) eine Wassermenge von 20 m³. Durch Verdunstung gehen in diesem Zeitraum nur rund 700 Liter verloren. Die Ursache (Leckage) für diese erheblichen Wasserverluste konnte bisher nicht gefunden werden. Zusätzlich wird die Filteranlage derzeit jeden Tag rückgespült, so dass von einer jährlichen Frischwassernachspeisemenge von 3.800 m³ ausgegangen werden kann.

Die o.g. Zustände führen zwar grundsätzlich zu einer guten Wasserqualität verursachen aber einen völlig überhöhten Energie- und Wasserverbrauch. Aus diesem Grund wird in **Maßnahme 3.5.I** eine Optimierungsmaßnahme für die Beckenwasseraufbereitungsanlage untersucht.

Die fachtechnische Bewertung durch die Planungsgesellschaft Büro Ebener & Partner ergab folgende Punkte:

- Die Beckendurchströmung entspricht nicht den Vorgaben der DIN 19643 (vertikal vom Beckenboden oder horizontal an den Beckenlängsseiten).
- Das Schwallwasser kann, aufgrund der unterdimensionierten Schwallwasserüberläufe nicht vollständig dem Schwallwasserbehälter zugeführt werden. Gleiches gilt für die Reinwasserzuströmöffnungen.
- Absauggitter verfügen mit 0,9 m/s über zu hohe Absauggeschwindigkeit (max. 0,3 m/s).
- Nach DIN 19643 muss das Schwimmbecken, unter Berücksichtigung der Wasserfläche und Nutzungsart, ein Umwälzvolumen von 111 m³/h aufweisen. Bei Auslegung nach DIN 19643 sind Rohrleitungen und Filteranlage unterdimensioniert.
- Installierter Mehrschichtfilter ist geeignet, es zu kommt zu einer ungleichmäßigen Durchströmung des Behälters (erhöhte Keimbelastungsgefahr).

Aus den o.g. Gründen sollte eine Gesamtsanierung der Schwimmbadanlage (Becken und Technik) erfolgen.

Aus energetischen und wassersparenden Gründen sollte eine **Optimierung der Beckenwasseraufbereitungsanlage durch Austausch der Mehrschichtfilteranlage gegen Vakuum-Anschwemmfilter (Maßnahme 3.5.I)** erfolgen.

Vakuum-Anschwemmfilter weisen gegenüber den installierten Systemen deutliche Vorteile beim Wasser- und Stromverbrauch auf. Bei diesem System wird das Beckenwasser nicht durch den Behälter „gedrückt“ sondern „drucklos“ offenen Filterbehältern zugeführt. In diesen Behältern sorgen Pumpen für einen Unterdruck, der eine gleichmäßige Durchströmung der Filter gewährleistet. Gegenüber einer Mehrschichtfilteranlage benötigt das System eine deutlich verminderte Pumpenleistung. Zusätzlich kann die Anlage außerhalb der Nutzungszeit in einem abgesenkten Betrieb gefahren werden. Aufgrund des hohen Effektes bei der Filterung lässt die DIN 19643 bei einer Anschwemmfilteranlage zu, dass pro Badnutzer nur 15 l Frischwasser statt sonst 30 l nachgespeist werden müssen. Zudem wird das System nicht rückgespült, sondern gereinigt. Dabei wird nur eine geringe Wassermenge benötigt.

3.6 Stammdaten der Sanitärtechnik

In der Carl-Schurz-Schule ist eine zentrale Anlagen zur Warmwasserbereitung mit zwei 2.000 Liter Speichern aus dem Jahr 1977 in der Technikzentrale installiert. Einer davon wird seit längerer Zeit nicht mehr benötigt und wurde entsprechend abgeschiebert. In der Kaltwasserzulaufleitung ist ein Kaltwasserzähler mit Impulsausgang eingebaut, der jedoch nicht auf die Verbrauchsdatenerfassung des HBA aufgeschaltet ist.

Folgende Wasserverbrauchseinrichtungen sind im Carl-Schurz-Gymnasium derzeit eingebaut.

Abb. 3.12 Stammdaten der Wasserverbrauchseinrichtungen

Bereich	Objekt	Anzahl	Spezif. Verbrauch pro Vorgang in l
Bauteil A	Waschtisch	28	3
	davon mit elektr. Untertisch-Speicher	3	
	Toilette	6	9
	Urinal, Druckspüler	2	4
	Duschen	17	4
Bauteil B	Waschtisch	40	3
	davon mit elektr. Untertisch-Speicher	25	
	Toilette	10	9
	Urinal, Druckspüler	2	4
	Duschen	1	4
Bauteil C	Waschtisch	21	3
	davon mit elektr. Untertisch-Speicher	12	
	Toilette	30	9
	Duschen	1	4

3.6.1 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

- Ein Großteil der Rohrleitungen und Armaturen sind nicht ausreichend gedämmt. Diese wären nach EnEV mit einer ausreichenden Isolierung nachzurüsten. Da das gesamte Kalt- und Warmwassersystem korrodiert und verschmutzt ist, sollte es aus hygienischen Gründen (u.a. Stichleitungen mit stehendem Wasser, zu geringe Fließgeschwindigkeiten, hohe Auskühlverluste) komplett saniert werden.
- Zirkulationspumpe (Wilco TOP Z 30/7) hat keine zeitliche Unterbrechung außerhalb der Nutzungszeiten. Aufgrund des verzweigten Systems sollte momentan keine Abschaltung erfolgen, da durch die Auskühlung der Zirkulationsleitungen die Gefahr einer Legionellenbildung besteht.
- In den Klassenräumen von Bauteil B sind Waschtische mit Warm- und Kaltwasseranschluss angebracht. Zukünftig sollte für diese Räume ein Kaltwasseranschluss ausreichen.
- Um lange Leitungswege (Gefahr der Auskühlung) und Leitungsverluste zu vermeiden, sind die Fachklassen mit dezentrale elektrische Untertisch WW-Speichern auszustatten.
- Die Urinale sind in wasserloser Ausführung vorzusehen und die Toiletten mit Spartastern auszustatten.

3.7 Stammdaten der Beleuchtungs- und Regelungstechnik

3.7.1 Beleuchtungstechnik

Die gesamte Beleuchtungsanlage (Leuchten, Kabel, Pritschen, Schalter, Verteilungen, etc.) ist sowohl aus Gründen der Betriebssicherheit als auch aus energetischen Gründen in einem sanierungsbedürftigen Zustand.

Die installierten Beleuchtungsstärken in den einzelnen Nutzungszonen weichen teilweise deutlich von den Normwerten (u.a. DIN EN 12464) ab. Energieeffiziente Leuchten wie Kompaktleuchtstofflampen oder Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten sind nur punktuell installiert. Ein tageslichtabhängiger Betrieb, z.B. durch dimmbare Leuchten ist nicht vorhanden.

Bewertung des Ist-Zustandes und mögliche Energiesparmaßnahmen

Da das komplette Beleuchtungssystem der CSS aus den o.g. Gründen demontiert (u.a. ca. 800 Leuchten, 550 St. Schalt- und Steckgeräte, 12.000 m Kabel und Leitungen) und erneuert werden muss, sind bei der Sanierung des Bestandes sowie beim Erweiterungsbau die Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen der Stadt Frankfurt (2008) einzuhalten. Hier sind detailliert die Vorgaben zur Minimierung der Investitionen und der Folgekosten für Beleuchtungsanlagen in Klassenräumen und den übrigen Bereichen aufgeführt. U.a. gelten:

- Erforderliche Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12464 für die einzelnen Räume darf nicht überschritten werden und ist rechnerisch nachzuweisen.
- Grenzwerte des LEE ($2,5 \text{ W/m}^2 \cdot 100 \text{ lx}$) sind einzuhalten, die Zielwerte ($2,0 \text{ W/m}^2 \cdot 100 \text{ lx}$) anzustreben.
- Lichtausbeute der Lampen soll inkl. Vorschaltgeräte mindestens 50 lm/W betragen.
- Elektronische Vorschaltgeräte sind bei Leuchten mit einer Beleuchtungsdauer von mehr als 300 h/a einzusetzen.
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad mindestens 80% .
- In Klassenräume ist Beleuchtung in Reihe schaltbar auszulegen.
- Größere Leuchtengruppen mit Präsenzmelder vorsehen, Flure und Treppenhäuser mit Zeitrelais oder Präsenzmelder
- Bei neuen Klassenräumen ist eine zentrale Beleuchtungsabschaltung nach jeder Unterrichtsstunde vorzusehen.

Aufgrund von Erfahrungswerten aus vergleichbaren Objekten kann der Strombedarf für die Beleuchtung bei der geplanten Gesamtanierung um bis zu 70% reduziert werden. Dies entspricht in der CSS einem Stromeinsparpotential von knapp 56.000 kWh pro Jahr.

3.7.2 Regelungstechnik

Eine zentrale Steuerungs- und Regelungstechnik ist in der Carl-Schurz-Schule nicht vorhanden. Lediglich die Wärmeerzeuger werden automatisch zu- und abgeschaltet. Die Lüftungsanlagen werden manuell bzw. temperaturgesteuert geschaltet, Überwachungsmöglichkeiten bzw. Störmeldungen sind nur Vor-Ort zu erkennen.

Bewertung des Ist-Zustandes und mögliche Energiesparmaßnahmen

Um eine bedarfsgerechte und zeitnahe Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung einzelner Anlagen) zu erreichen und um entsprechende Überwachungs- und Regelfunktionen (Trenderfassung, Datenvisualisierung) durchführen zu können, ist eine moderne, dem Stand der Technik entsprechende busfähige GLT einzubauen. Vorteile einer GLT sind

- Überwachung der Ist- und Sollwerte
- Realisierung komplizierter Zeitschaltpläne
- Zyklisches Schalten bzw. gleitendes Einschalten von Heizungs-, Lüftungs- und Elektroanlagen sowie der Schwimmbadtechnik
- Energieoptimierter Betrieb der Wärme- und Stromversorgung.

Folgende Komponenten sind für die Carl-Schurz-Schule vorzusehen:

- Regelung der Wärmeerzeugungs- und Lüftungsanlagen
- Einzelraumregelung für Klassenräume im Klassentrakt (Bauteil B) sowie im Fachklassenbereich (Bauteil C). In den Klassenräumen des neuen Anbaus ist dies, aufgrund des geringen Heizenergiebedarfs, nicht sinnvoll.
- Zonenregelungen für die Flur/WC-Bereiche
- Neue DDC-Unterstationen mit übergeordneter GLT. Die Automationsebene erhält eine herstellerunabhängige Schnittstelle (BACnet).
- Als Managementebene ist vor Ort ein herstellerunabhängiges Prozess-Visualisierungssystem (PVS) mit einer Wonderware-Software als Leitzentrale vorzusehen. Parallel dazu besteht die Möglichkeit, wie bei anderen städtischen Liegenschaften, die Managementebene auf eine übergeordnete Leitwarte im Bereich des Hochbauamtes zu legen.

4. Energiesparmaßnahmen

4.1 Grundlagen und -daten der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfolgen auf der Grundlage der „Gesamtkostenberechnung“ des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement.

Diese Gesamtkosten setzen sich aus den **Kapitalkosten**, den **Betriebskosten** und den **Umweltfolgekosten** zusammen. Zur Charakterisierung des Gebäudes sind darüber hinaus wesentliche Kenngrößen mit aufgeführt, die die Grundlage für die Gesamtkostenermittlung bilden.

Nach dem Verfahren wird für jede Maßnahme die Kosteneinsparung bzw. Kostenerhöhung gegenüber dem Ist-Zustand errechnet.

Bestandteile der Gesamtkostenberechnung sind:

- **Kapitalkosten**, die sich aus den Investitionskosten unter Berücksichtigung von Kapitalzinsen und Preissteigerung, bezogen auf die rechnerische Nutzungszeit bzw. eine gewählte Betrachtungszeit nach dem Verfahren der nachträglichen Annuität errechnen. Zusätzlich wird der Instandhaltungsaufwand berücksichtigt. Die Investitionssummen für die untersuchten energiesparenden Maßnahmen wurden Firmenangaben entnommen sowie aus spezifischen Kostenwerten aus Vergleichsprojekten sowie Ausschreibungsergebnissen errechnet.

Für die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden von der Stadt Frankfurt ein einheitlicher Kapitalzinssatz von 3,25 %, eine Energiepreissteigerung von 5 % und eine sonstige Preissteigerung von 3 % vorgegeben.

$$K_k = \text{Kapitalkosten in €/a}$$
$$= I * a$$

I = **Brutto-Investitionskosten** in € (ermittelt nach Firmenangaben, Ergebnissen von Vergleichsausschreibungen, etc.). Die Baunebenkosten wurden pauschal mit 15 % veranschlagt.

a = Annuitätsrate in 1/a (ermittelt aus p = Kapitalzins und erwarteter Anlagennutzungszeit in Jahren)

Sollten für einzelne energiesparende Maßnahmen Fördermittel in Form von Investitionszuschüssen oder zinsverbilligten Darlehen in Anspruch genommen werden können, so ist in den entsprechenden Abschnitten ein Vermerk auf das Förderprogramm enthalten und in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt.

- **Betriebskosten**, die zum einen die verbrauchsgebundenen Kosten, d.h., die Heiz-, Strom und Wasserkosten enthalten. Die **Ökosteuer**, die ab dem 01.04.1999 auf die Energieträger Erdgas und Strom erhoben wird, ist berücksichtigt. Des weiteren werden die Kosten für die Wartung und Instandhaltung sowie Bedienung und Betreuung von technischen Anlagen einbezogen.

Zur Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten wurden die in Abschnitt 2 aufgeführten Energie- und Wasserpreise (Stand Januar 2007) angesetzt.

Wenn man die Summe der heutigen Betriebskosten mit dem Mittelwertfaktor multipliziert, erhält man die mittleren Betriebskosten über den Betrachtungszeitraum. Dieser ist abhängig von Kapitalzins, Preissteigerung und Betrachtungszeitraum für die untersuchte Maßnahme.

- **Umweltfolgekosten**, wobei das Hochbauamt der Stadt Frankfurt hierfür 50 € pro Tonne CO₂ und 1 €/m³ Wasser ansetzt.

Auf der Basis der Bestandsaufnahme wurden energie- und kostensparende Maßnahmen untersucht und bewertet, die sich auf den baulichen Wärmeschutz sowie eine Optimierung der Lüftungsanlagen und Beckenwasseraufbereitung bezogen.

4.2 Maßnahmen zum baulichen Wärmeschutz am Bestand (Maßnahme 3.2.I)

Die in den Abschnitten 3.2.2 und 3.2.3 dargestellten Berechnungen des Jahresheizwärmebedarfs und des Heizenergiekennwertes haben gezeigt, dass die Gebäudesubstanz der Carl-Schurz-Schule ein erhebliches Optimierungspotential hinsichtlich des baulichen Wärmeschutzes aufweist, obwohl am Gebäudebestand in der Vergangenheit schon einzelne Wärmeschutzmaßnahmen vorgenommen wurden.

Der im Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (1996) des Landes Hessen vorgegebene Kennwert für ein neu zu errichtendes Gebäude von $75 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ wird auch nach den vorweggenommenen Sanierungsmaßnahmen um 100 % überschritten (vgl. Abschnitt 3.2.4).

Nachfolgend werden bauliche Optimierungsmaßnahmen beschrieben, die im Rahmen der Gesamtsanierung der Carl-Schurz-Schule umgesetzt werden können und die Belange des Denkmalschutzes berücksichtigen. Grundlage für die baulichen Optimierungsmaßnahmen bilden die Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2008 der Stadt Frankfurt, die als Mindeststandard eine dreißig Prozent bessere Energieeffizienz als die EnEV verlangt.

Dämmung der Außenwände

Über die Außenwände werden die anteilig zweithöchsten Wärmeverluste der Gebäudehülle verursacht. Allerdings müssen bei der Sanierung der Außenfassade die Belange des Denkmalschutzes berücksichtigt werden. Aus diesem Grund können nur folgende Maßnahmen realisiert werden:

- a) **Wärmedämmverbundsystem für die Nordfassade von Bauteil B im 1.-3.Obergeschoss:**
Hierbei werden dämmende Schaumstoffplatten im Verbund auf die Außenwand geklebt oder geschraubt. Den äußeren Abschluss bildet eine 2 cm Putzschicht. Durch diese Methode werden Wärmebrücken und Undichtigkeiten der Gebäudehülle eliminiert und aufgrund eines günstigen Temperaturverlaufs im Wandaufbau treten keine bauphysikalischen Probleme auf. Insbesondere im Zusammenhang mit Wandkonstruktionen mit hoher Speichermasse (Natursteine, Vollziegel) ergeben sich günstige Auswirkungen auf den Verlauf der Raumtemperaturen. Aus Gründen des Denkmalschutzes dürfen nur 7 cm Dämmung (022) aufgebracht werden. Die zu dämmende Fläche beträgt rund 630 m^2 . Der u-Wert des Bauteils verbessert sich auf $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, was zwar die Vorgaben der EnEV für u-Werte von Außenwänden von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ erfüllt, jedoch nicht ganz die Vorgabe der Leitlinien mit $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht.

Fensteroptimierung durch Wärmeschutzverglasung

Rund 800 m^2 Fenster der Carl-Schurz-Schule wurden bis Ende 2007 im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen mit Wärmeschutzverglasung ausgestattet.

Im Rahmen der Gesamtsanierung empfiehlt es sich, die einfachverglasten Fenster (ca. 700 m²) gegen Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und einem u_g -Wert von 1,0 W/m²K sowie gut gedämmten Rahmenprofilen auszutauschen.

Folgende Bereiche sind dies:

- Bauteil A UG Schwimmbad/Tür zum Lichthof Nordseite
- Bauteil A EG Ausgang Treppe Nord
- Bauteil B EG Flur
- Haupttreppenhaus EG – 3.OG West- und Ostseite
- Bauteil C – UG (Küche) bis 3.OG (Fachklassenräume)

Zusätzlich sollte die durchgehende einfachverglaste Fensterfront im Kellergeschoss der Südfassade im Bauteil B gegen 3-fach Wärmeschutzverglasung mit einem u_g -Wert von 0,9 W/m²K ausgetauscht werden.

Wärmedämmung Flachdach Bauteil B und C

Im Rahmen der notwendigen baulichen Sanierung der Flachdächer von Bauteil B und C ist eine Wärmedämmung vorzusehen, die über die Forderungen der EnEV nach einem u -Wert von 0,25 W/m²*K hinausgeht, um eine deutliche Reduzierung der Wärmeverluste über Dach zu erreichen. Um die Forderungen der Leitlinien mit einem u -Wert Dach von kleiner gleich 0,15 W/m²K einhalten zu können, muss eine Hartschaumplatte (WLG 024) mit Dämmstärke von 18 cm aufgebracht werden. Der u -Wert für die 2.180 m² Dachfläche verbessert sich dann von 0,99 W/m²*a auf 0,13 W/m²*a.

4.2.1 Nachweis der Energiespareffekte von Wärmeschutzmaßnahmen am Bestand

Gemäß den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen der Stadt Frankfurt wurden für die dargestellten baulichen Sanierungsmaßnahmen der jeweilige Heizenergiebedarf unter Berücksichtigung

- a) der Mindestanforderungen an die Bauteile nach EnEV
- b) der Mindestanforderungen entsprechend Leitlinien, also Heizenergiebedarf EnEV minus 30 % gemäß Gesamtkostenberechnung berechnet.

Hierbei wurde bei den Berechnungen die CSS in die Nutzungszonen „Schule“ und „Turnhalle“ eingeteilt, da hierbei von unterschiedlichen durchschnittlichen Raumtemperaturen ausgegangen werden kann.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.1 gegenübergestellt und die entsprechenden Berechnungsblätter im Anhang A.4.1 zusammengestellt.

Abb. 4.1 Gegenüberstellung Heizwärmebedarf nach der baulichen Sanierung des Bestands unter Berücksichtigung unterschiedlicher Dämmstandards

	Heizwärme- Bedarf in kWh/a	Energiekenn- Heizwärme in kWh/m ² *a
Sanierung nach EnEV	974.260	132,3
Sanierung nach Leitlinien FFM (EnEV-30%)	673.070	91,4
Reduzierung	301.190	
	30,9 %	

Durch die Umsetzung der geplanten baulichen Wärmeschutzmaßnahmen im Rahmen der Gesamtsanierung der Carl-Schurz-Schule in Frankfurt nach den Leitlinien der Stadt Frankfurt reduziert sich der Heizwärmebedarf um rund 31 %.

Die Realisierung der baulichen Wärmeschutzmaßnahmen sollte demnach aus notwendigen Bau-erhaltungsgründen sowie aus energetischer Sicht erfolgen.

Durch die baulichen Wärmeschutzmaßnahmen reduzieren sich die jährlichen Brennstoffkosten, bei derzeitigem Preisniveau, um rund 20.000,- €.

4.3. Optimierung der Lüftungsanlagen

4.3.1 Lüftung und Entfeuchtung „Schwimmbad“ (Maßnahme 3.4.I)

In Hallenbädern nimmt die Luft durch Verdunstung von der Wasseroberfläche Wasserdampf auf, wodurch die relative Luftfeuchte auf unangenehm hohe und schädliche Werte ansteigt. Für die Reduzierung dieser Raumluftfeuchte können bei kleineren Hallenbädern bis ca. 300 m² Beckenfläche folgende Entfeuchtungssysteme eingesetzt werden:

a) Lüftungsanlage mit variabler Zufuhr erwärmter Außenluft und Abfuhr. Um die Wärmeverluste zu reduzieren wird ein WRG-System eingesetzt. Für das Schwimmbad in der Carl-Schurz-Schule ist nach der Gesamtsanierung davon auszugehen, dass der benötigte Wärmebedarf für die Beheizung der Halle (35 kW) durch die Fußbodenheizung realisiert werden kann, so dass durch die Lüftungsanlage nur die notwendige Luftmenge für die Entfeuchtung erwärmt und eingeblasen werden muss. Der max. Anteil der Außenluftmenge an der Zuluft liegt im Tagbetrieb bei 30 % und außerhalb der Betriebszeiten bei max. 10 %.

b) Bei Verwendung einer Wärmepumpe wird die Abluftenthalpie im Umluftbetrieb zurückgewonnen und zwar in der Weise, dass die Abluft auf etwa 15° C - 18°C abgekühlt und gleichzeitig entfeuchtet wird. Der WP-Verflüssiger gibt die aufgenommene Wärme, vermehrt um die Wärme der Verdichterarbeit, an die Zuluft ab. Dabei hat die Zuluft eine höhere Temperatur als vor dem Kühler, denn sie enthält außer der Antriebsenergie für den Verdichter auch die gesamte Wärme, die dem Wasser und der Luft entzogen worden ist. Überschüssige Wärme kann zur Erwärmung des Becken- oder Duschwassers genutzt werden.

Zur Erneuerung der Hallenluft muss tagsüber ein Teil vorgewärmter Außenluft (mind. 20 m³/p*h) eingeblasen werden, nachts kann die Anlage im Umluftbetrieb gefahren werden.

Energiebilanz für die Lüftungs- und Entfeuchtungssysteme „Schwimmbad“

Bei den Berechnungen muss der Tagbetrieb mit bewegtem Wasser (höhere Verdunstung) und einem Nachtbetrieb mit ruhendem Wasser berücksichtigt werden. Grundlage bildet die Berechnung der Entfeuchtungsmengen für die beiden untersuchten Systeme nach VDI 2089 „Hallenbäder“ (vgl. Anlage 4.2).

In der folgenden Abbildung 4.2 sind die Energiebilanzen für beide Systeme unter Berücksichtigung der Betriebszustände (Tag- und Nachtbetrieb) zusammengestellt.

Abb. 4.2 Energiebilanz der untersuchten Entfeuchtungssysteme

		Außenluft	Wärmepumpe
Heizwärmebedarf			
- Tagbetrieb	in kWh/a	29.540	-16.500
- Nachtbetrieb	in kWh/a	36.850	22.320
Gesamt	in kWh/a	66.390	5.820
Strombedarf			
Tagbetrieb	in kWh/a		27.610
Nachtbetrieb	in kWh/a		12.190
Gesamt	in kWh/a		39.800

Beim Außenluftsystem liegt der Heizwärmebedarf um rund 60.000 kWh/a höher als beim WP-System, jedoch liegt der Strombedarf beim WP-System bei fast 40.000 kWh/a.

Investitionskosten

Die Investitionskosten für das Lüftungsgerät mit WRG liegen bei brutto 20.000,- € und für das WP-Gerät bei 40.300,- €.

Jahreskosten

In der Abbildung 4.3 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die beiden Entfeuchtungssysteme für die Schwimmhalle dargestellt. (Berechnungsblatt s. Anlage A 4.3)

Abb. 4.3 Gesamtkostenberechnung Lüftungsanlage „Schwimmhalle“ mit und ohne WRG

Maßnahme		Entfeuchtung mit Außenluft	Entfeuchtung mit WP
Investitionskosten	in €	20.000,-	40.300,-
Kapitalkosten	in €/a	1.705,-	3.430,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	500,-	1.010,-
Stromkosten	in €/a		6.510,-
Brennstoffkosten	in €/a	2.305,-	-365,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	2.805,-	7.155,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	4.115,-	10.495,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	370,-	1.295,-
Gesamtkosten	in €/a	6.190,-	15.220,-

Die Jahresgesamtkosten für das Entfeuchtungssystem mit Wärmepumpe liegen um rund 9.000,- € höher als die Gesamtkosten für das Außenluftsystem. Aus diesem Grund wird der Einbau eines Lüftungsgerätes mit variablen Außenluftmengen und hocheffektiver Wärmerückgewinnung für die Schwimmhalle empfohlen.

4.3.2 WRG-System für Lüftungsanlage „Aula“ (Maßnahme 3.4.II)

Im Rahmen der Gesamtsanierung wird für die Aula, gemäß Versammlungsstättenverordnung, eine Lüftungsanlage vorgesehen. Aus energetischen Gründen ist es sinnvoll, das Lüftungsgerät mit einem Wärmerückgewinnungssystem auszustatten. Da Zu- und Abluftgerät räumlich getrennt voneinander aufgestellt werden müssen, kann nur ein Kreislaufverbundsystem eingesetzt werden.

Rekuperative WRG (Kreislaufverbundsystem): Im Außen- und Fortluftstrom wird jeweils ein Wärmetauscher zur Wärmeübertragung von Luft an Wasser angeordnet. Die Tauscher werden durch ein Rohrnetz mit Umwälzpumpe und Regelung verbunden. Als Wärmeträger dient ein Glykol/Wasser-Gemisch, das die aus der Fortluft entnommene Wärme an die angesaugte Außenluft überträgt. Der Rückgewinnungsgrad von effizienten KVS-Systemen liegt bei 55-65 %. Die Außenluft wird von -12°C auf ca. $+5^{\circ}\text{C}$ erwärmt.

Die technischen Daten der Lüftungsanlage (mit WRG) sind in Abbildung 4.4 zusammengestellt.

Abb. 4.4 Technische Daten der Lüftungsanlage „Aula“

		Zuluft- gerät	Abluft- gerät
Luftmenge	in m ³ /h	14.750	14.750
Luftgeschwindigkeit Im Gerätequerschnitt	in m/s	2,03	2,03
Heizleistung Luftherhitzer	in kW	109,2	-
Heizleistung KVS-Erhitzer/Kühler	in kW	83,6	83,6
Ventilatorleistung	in kW	5,03	5,32

Da die Lüftungsanlage in der Aula nur für Veranstaltungen und Orchesterproben sowie in den Sommermonaten genutzt wird, liegt die Jahresbetriebszeit der Lüftungsanlage bei 1.250 Stunden. Aus diesem Grund muss, gemäß den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen der Stadt Frankfurt, die Wirtschaftlichkeit des WRG-Systems nachgewiesen werden.

Energieeinsparung durch das WRG-System

Für das beschriebene Lüftungssystem „Aula“ wurde gemäß VDI-Richtlinie 2071 „Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen“, unter Berücksichtigung von spezifischen Tagesganglinien der Außenlufttemperaturen für Frankfurt sowie der Anlagennutzungszeiten, die Energieverbrauchswerte für die Lüftungsanlage mit und ohne KVS-System ermittelt und in Abbildung 4.5 dargestellt.

Um gegebenenfalls einen KfW-Kommunalkredit in Anspruch nehmen zu können, muss das KVS-System eine Rückwärmezahl von mindestens 60 % aufweisen.

Abb. 4.5 Energieverbrauchswerte der Lüftungsanlage „Aula“ mit und ohne WRG

		RLT-Anlage Aula Ohne WRG	RLT-Anlage Aula Mit WRG	Einsparung durch WRG
Heizenergiebedarf	in kWh/a	38.000	17.100	20.900
Zusätzlicher Strombedarf für Ventilator und WRG-Pumpen	in kWh/a		1.630	-1.630

Durch das Kreislaufverbundsystem kann der jährliche Heizenergiebedarf für die Lüftungsanlage „Aula“ um rund 21.000 kWh (45 %) gesenkt werden. Allerdings ergibt sich ein Strommehrverbrauch von 1.630 kWh/a durch die erhöhte Ventilatorleistung (höhere Druckverluste der Anlage durch Wärmetauscher) sowie dem Pumpenstrom für das KVS-System.

Investitionskosten

Die Investitionskosten für das zusätzliche Kreislaufverbundsystem der RLT-Anlage „Aula“ (Wärmetauscher, Pumpen, Armaturen, Rohrleitungen, Dämmung und Regelung) belaufen sich auf Brutto 10.600,- €.

Jahreskosten

In der Abbildung 4.6 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die Lüftungsanlage „Aula“ ohne und mit WRG dargestellt. (Berechnungsblatt s. Anlage A 4.4)

Abb. 4.6 Gesamtkostenberechnung Lüftungsanlage „Aula“ mit und ohne WRG

Maßnahme		RLT-Anlage „Aula“ Ohne WRG	RLT-Anlage „Aula“ Mit WRG
Zusätzliche Investitionskosten für WRG	in €		10.600,-
Kapitalkosten	in €/a		905,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a		265,-
Stromkosten	in €/a		265,-
Brennstoffkosten	in €/a	2.375,-	1.070,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	2.375,-	1.600,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	3.485,-	2.350,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	380,-	225,-
Gesamtkosten	in €/a	3.865,-	3.480,-
Amortisationszeit			
Basis RLT-Anlage ohne WRG	in a		9,7

Die zusätzlichen Investitionskosten für den Einbau eines Kreislaufverbundsystems zur Wärmerückgewinnung in der Lüftungsanlage „Aula“ kann durch die Einsparung an Betriebskosten in knapp 10 Jahren amortisiert werden. Diese Optimierungsmaßnahme ist aus Gründen der Energieeinsparung sowie aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen.

4.4. Optimierung der Beckenwasseraufbereitung (Maßnahme 3.5.I)

Deutliche Vorteile beim Wasser- und Stromverbrauch gegenüber einer Mehrschichtfilteranlage ergeben sich durch den Einsatz von Vakuum-Anschwemmfiltern. Gegenüber einer Mehrschichtfilteranlage benötigt das System eine deutlich verminderte Pumpenleistung. Zusätzlich kann die Anlage außerhalb der Nutzungszeit in einem abgesenkten Betrieb gefahren werden. Aufgrund des hohen Effektes bei der Filterung lässt die DIN 19643 bei einer Anschwemmfilteranlage zu, dass pro Badenutzer nur 15 l Frischwasser nachgespeist werden müssen. Zudem wird das System nicht rückgespült, sondern gereinigt. Dabei wird nur eine geringe Wassermenge benötigt.

Des Weiteren kann bei der Nutzung einer Vakuum-Anschwemmfilteranlage die Chlorung nicht wie derzeit mit Nachspeisewasser sondern mit Reinwasser erfolgen.

Da zukünftig die Auflage einer Entsorgung der Aktivkohle als Sondermüll als möglich erscheint, wird in der Wirtschaftlichkeitsbewertung eine zusätzliche Variante unter Berücksichtigung der entsprechenden Investitionen und Betriebskosten berücksichtigt.

In der folgenden Abbildung 4.7 sind die Strom-, Wärme- und Wasserbilanzen für eine Mehrschichtfilteranlage und eine Vakuum-Anschwemmfilter zusammengestellt.

Abb. 4.7 Strom-, Heiz- und Wasserbilanz der untersuchten Beckenwasseraufbereitungssysteme

		Variante 1	Variante 2
System		Mehrschichtfilteranlage	Vakuum-Anschwemmfilter
Pumpenstrombilanz			
Pumpenleistung			
Reinwasserpumpen	in kW	0	2,82
Rohwasserpumpen	in kW	7,9	1,77
Stromverbrauch	in kWh/a	43.110	19.305
Wasserbilanz			
Besucherzahl	in P/a	27.000	
Besucherbelastung	in P/h	20	
Austauschwasser spezifisch	in l/P	30	15
Summe	in m³/a	2.208	1.104
Heizwärmebilanz			
Heizwärme Frischwasser	in kWh/a	50.230	25.170
Einsparung			
Strom	in kWh/a		23.805
Wasser	in m ³ /a		1.104
Heizwärme	in kWh/a		25.060
Strom	in Euro/a		3.895,-
Wasser	in Euro/a		3.890,-
Erdgas	in kWh/a		1.570,-
Gesamt	in Euro/a		9.355,-

Durch den Einbau einer Vakuum-Anschwemmfilteranlage könnten im Schwimmbad der Carl-Schurz-Schule etwa 24.000 kWh Pumpenstrom und 25.000 kWh Heizwärme gegenüber einer Mehrschicht-Filteranlage eingespart werden. Der Wasserbrauch würde um etwa 1.100 m³/a gesenkt. Daraus errechnet sich bei derzeitigem Preisniveau eine jährliche Energie- und Wasserkosteneinsparung von rund 9.350,- Euro.

Investitionskosten

Für die beschriebene Vakuum-Anschwemmfilteranlage ist von Brutto-Investitionskosten in Höhe von 129.100,- Euro auszugehen. Bei einer Entsorgung der Aktivkohle als Sondermüll muss ein zusätzliches Absetzbecken vorgesehen werden. Die Kosten hierfür liegen bei 5.500,- €. Dem stehen Kosten für die Mehrschichtfilteranlage in Höhe von 66.650,- € gegenüber.

Betriebskosten

Der Verbrauch von Flockungsmitteln, Algenmitteln sowie die zunehmende Anwendung von Aktivkohle bei Sandfilteranlagen ist erfahrungsgemäß dem Verbrauch von Filterhilfsstoffen bei Vakuum-Adsorptions-Filteranlagen gleichzusetzen.

Der Chlor- und ph-Mittelverbrauch ist nicht objektiv vergleichbar, da verschiedene Faktoren, welche teilweise auch standortbedingt sind, Einfluss nehmen.^{IV}

Entsorgung der Aktivkohle als Sondermüll:

Für vorgenannte Vakuum-Anschwemmfilteranlage fallen jährlich ca. 400 kg Aktivkohle an. Die Kosten für die Entsorgung wurden von den Frankfurter-Entsorgungs-Betrieben (FES) wie folgt genannt:

Spezif. Preis Sondermüllentsorgung:	500,- €/Tonne
Miete für Sammelbehälter (800 l)	15,- €/Monat
Transportpauschale:	60,- €
Annahmepauschale HIM:	42,- €/Transport

Bei einem Fassungsvermögen von 800 Litern pro Gefahrgutsammelbehälter ergeben sich 2 Transporte pro Jahr. Unter Berücksichtigung der o.g. Preise sowie der anfallenden Aktivkohlemenge errechnen sich daraus jährliche Entsorgungskosten in Höhe von **560,- EUR**.

Jahreskosten

In der Abbildung 4.8 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Beckenwasseraufbereitungsanlage im Schwimmbad der Carl-Schurz-Schule aufgeführt (Berechnungsblatt s. Anlage A 4.5).

^{IV} Einzelne Betreiber von Vakuum- Adsorptionsfilteranlagen bestätigen, dass z.B. durch Vorrichtungen in derselben (Oberflächenabskimmerung von Fett und Haaren) eine Einsparung von ca. 20 % des Bedarfes gegenüber geschlossenen Filtersystemen gegeben ist.

Abb. 4.8 Gesamtkostenberechnung Optimierung der Beckenwasseraufbereitungsanlage

Maßnahme		Mehrschicht- filteranlage	Anschwemm- Filteranlage	Anschwemmfilter mit Aktivkohleentsorgung
Investitionskosten	in €	66.640,-	129.115,-	134.615,-
Kapitalkosten	in €/a	5.685,-	11.010,-	11.480,-
Mittlere Betriebskosten				
Betriebsmittel	in €/a	6.670,-	6.670,-	6.670,-
Personal+Reinigung	in €/a		1.575,-	2.365,-
Instandhaltung/Wartung	in €/a	1.000,-	1.935,-	2.020,-
Stromkosten	in €/a	7.050,-	3.160,-	3.160,-
Wasserkosten	in €/a	7.800,-	3.900,-	3.900,-
Entsorgungskosten	in €/a			560,-
Brennstoffkosten	in €/a	3.140,-	1.570,-	1.570,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	20.090,-	13.240,-	14.675,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	29.480,-	19.430,-	21.530,-
Umweltfolgekosten				
CO ₂ -Emissionen	in €/a	1.970,-	910,-	910,-
Trinkwasser	in €/a	2.160,-	1.080,-	1.080,-
Gesamtkosten	in €/a	39.290,-	32.430,-	35.000,-
Amortisationszeit				
Basis Mehrschichtfilter	in a		5,7	7,7

Für den Einbau einer Vakuum-Anschwemmfilteranlage ergäbe sich gegenüber einer Mehrschichtfilteranlage eine Amortisationszeit von 5,7 Jahren. Diese Optimierungsmaßnahme ist aus Gründen der Energie- und Wassereinsparung sowie aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen. Auch bei Berücksichtigung der möglichen Kosten für die Sondermüllentsorgung der Aktivkohle ergibt sich eine Amortisationszeit, die immer noch deutlich unter 10 Jahren liegt.

5. Erweiterungsbau in Passivhausstandard

5.1 Allgemeine Anforderungen

Entsprechend den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen der Stadt Frankfurt wird der notwendige Erweiterungsbau für die Carl-Schurz-Schule in Passivhaus-Standard errichtet.

Aus Erfahrungen von bereits realisierten Passivhaus-Schulen kann abgeleitet werden, dass die folgenden typischen Passivhauskriterien auch für den geplanten Erweiterungsbau einzuhalten sind:

- Günstiges Verhältnis zwischen Umschließungsflächen und Gebäudevolumen (A/V unter $0,4 \text{ m}^{-1}$)
- sehr gute Wärmedämmung,
- weitgehende Wärmebrückenfreiheit,
- Luftdichtigkeit (n_{50} -Werte im Bereich von $0,3 \text{ h}^{-1}$),
- Passivhaus-Fensterqualität ($u_w < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- Lüftungsanlage ($20 \text{ m}^3/\text{p}\cdot\text{h}$) mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung aus der Abluft (Wärmebereitstellungsgrad 80 %),
- Sommerlicher Wärmeschutz mit temporärem außenliegenden Sonnenschutz und ausreichender Nachtlüftung (mind. $2,0 \text{ h}^{-1}$) sowie
- hohe innere Wärmekapazität..

5.2 Bauliche Maßnahmen

Der Erweiterungsneubau wird viergeschossig, vollunterkellert in Stahlbeton/Mauerwerkbauweise errichtet. Die Energiebezugsfläche (Netto-Grundrissfläche) beträgt rund 1.770 m^2 . Folgende bauliche Konstruktionen werden für den geplanten Erweiterungsbau vorgesehen:

- Die Decken werden zum einem in Ortbeton als Hohlkörperdecken (EG-2.OG) und zum anderen als Vollplatten in Ortbeton (UG und 3.OG) ausgeführt.
- Die nichttragenden Wände werden aus Mauerwerk mit hohem Wärmespeichervermögen hergestellt.
- Die Bodenplatte ist 45 cm dick und erhält von unten eine 10 cm druckfeste PS-Wärmedämmung (035) sowie oberhalb der Bodenplatte eine Trittschalldämmung mit zusätzlicher Wärmedämmung von 8 cm Polystyrol (035). Durch diesen Aufbau wird ein u -Wert von $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht.
- Erdberührende Außenwände im UG werden aus Stahlbeton mit bituminöser, außenliegender Abdichtung gegen nichtdrückendes Wasser und einer Wärmedämmung von 16 cm hergestellt. Der u -Wert liegt bei $0,206 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Die Außenwände bestehen vornehmlich aus schwerem Mauerwerk, außer im EG, dort werden die tragenden Außenwände in Stahlbeton erstellt. Diese erhalten eine 25 cm starke Wärmedämmung (035) und erreichen einen u -Wert von $0,134 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Für die verglasten Fassadenbereiche sind Fenster mit Dreifachverglasung und thermisch

hochwertigen Rahmenprofilen vorgesehen. Ein durchschnittlicher u-Wert von $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist einzuhalten. Die opaken Fassadenelemente sind mit einem u-Wert entsprechend den tragenden Außenwänden ($0,134 \text{ W/m}^2\text{K}$) einzubauen.

- Die Decke über dem 3. OG (Dach) wird als Vollbetonplatte mit einer Stärke von 22 cm, Dampfsperre und einer 30 cm Hartschaumplatten (035) im Gefälle hergestellt. Der u-Wert liegt bei $0,112 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Ein außenliegender Sonnenschutz mit Tageslichtlamellen im 1.-3.OG, Ost- und Westfassade

Ohne Nachtlüftung mit 2-fachem Luftwechsel und ohne außenliegendem Sonnenschutz der Fenster sind, außer für Räume mit Nordfensterfassade, komfortable Sommerbedingungen bei Hitzeperioden am vorliegenden Standort, weder bei Passiv- noch bei konventionell gebauten Schulen, erreichbar (vgl. Abschnitt 3.4.1). Entsprechende Berechnungen für ausgewählte Räume des Erweiterungsbaus nach DIN 4108-T2 „Sommerlicher Wärmeschutz“ bestätigten diese Aussage.

5.3 Technische Maßnahmen

5.3.1 Heizung

Der Erweiterungsbau wird an die vorhandene Wärmeversorgungsanlage des Bestandes angeschlossen. Der notwendige Restheizwärmebedarf für den Anbau von rund 18 kW kann durch die installierten Wärmeerzeuger gedeckt werden, da eine erhebliche Reduzierung des Wärmebedarfs durch die baulichen Sanierungsmaßnahmen am Bestand von mehr 270 kW erreicht wird (vgl. Abschnitt 3.2.2 und 4.2.1). Für die einzelnen Räume werden „kleine“ Heizkörper an den Innenwänden vorgesehen.

5.3.2 Lüftung

Für den Erweiterungsbau der Carl-Schurz-Schule sind insgesamt 4 Lüftungsanlagen mit zusammen $17.600 \text{ m}^3/\text{h}$ vorgesehen. Dabei wird die Aufteilung der Anlagen nach den Funktionsbereichen gewählt.

- Anlage Mensa + Ausgabe: $3.500 \text{ m}^3/\text{h}$
- Anlage Klassenräume: $7.500 \text{ m}^3/\text{h}$
- Anlage Zuluft Küche: $6.600 \text{ m}^3/\text{h}$
- Anlage Abluft Küche: $6.600 \text{ m}^3/\text{h}$

Die Lüftungsanlagen „Klassenräume“ und „Mensa/Ausgabe“ sind dem Passivhauskonzept zuzuordnen und werden jeweils mit einer hocheffektiven WRG mit einem Wärmebereitstellungsgrad von mindestens 80 % ausgestattet.

Der freie Lüftungsquerschnitt beträgt $0,3 \text{ m}^2$ pro Schüler, Öffnungsflügel werden in den opaken Fassadenelementen sowie im Verglasungsteil der Fenster vorgesehen.

Mit einer kontrollierten Lüftung in den Schulräumen ist eine dauerhaft ausreichende Luftqualität (max. CO_2 -Konzentration von 1500 ppm) bei einer Zuluftmenge von $20 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{p}$ (je nach Klassen-

stufe) technisch zu realisieren.

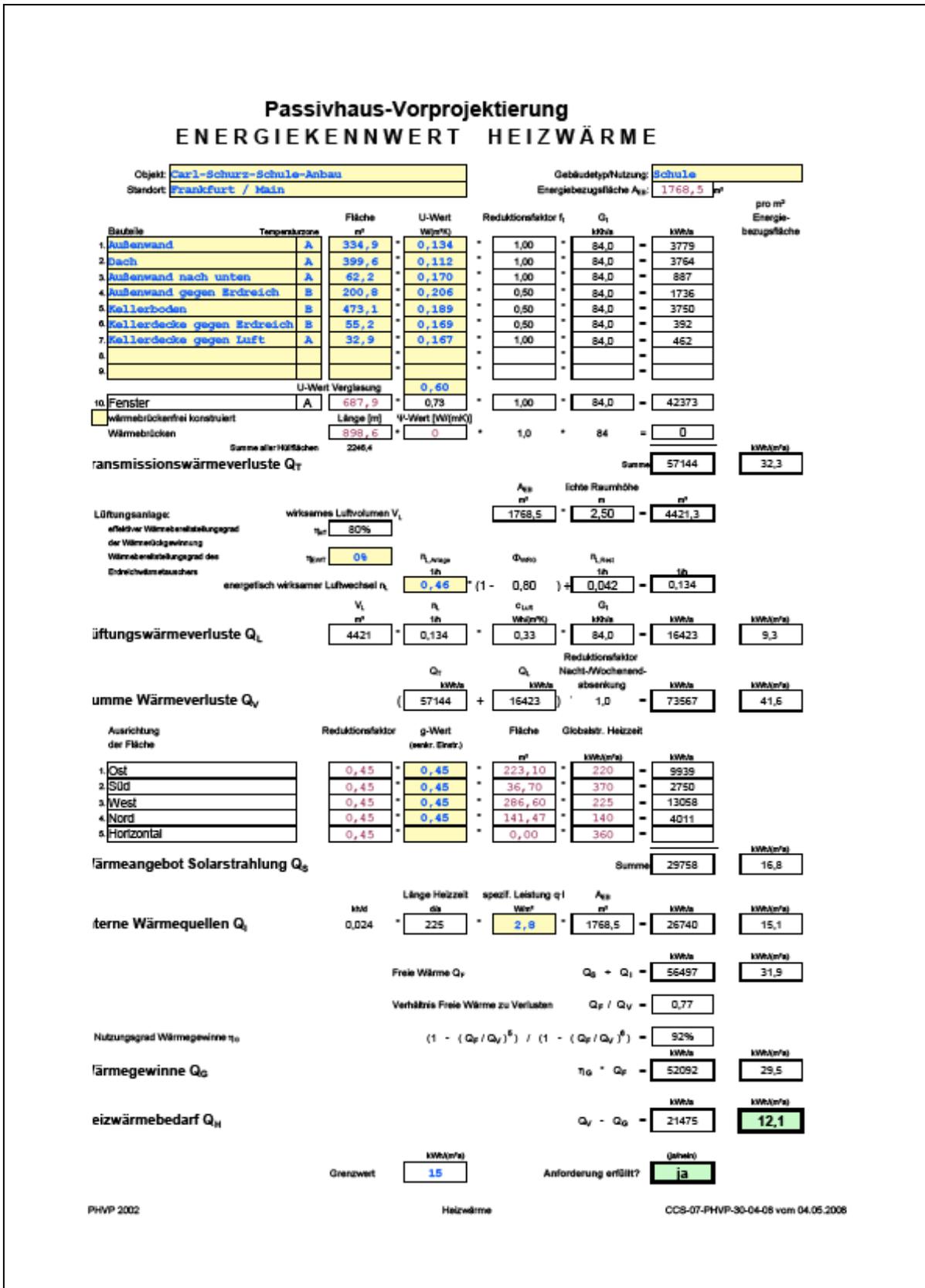
Mit der effektiven Wärmerückgewinnung, der Wärmeabgabe der Luftförderung und der Nacherwärmung im Kanalnetz treten damit Zulufttemperaturen unter 15°C nicht auf.

5.4 Nachweis des Passivhaus-Standards (PHVPP)

Die Planung des Erweiterungsbaus bis zum vorliegenden Stand wurde mit dem Passivhaus-Vorprojektierungsprogramm des Passivhaus-Instituts Darmstadt begleitet und energetisch bilanziert.

Der Hauptaugenmerk bestand darin, dass die Planungsgruppe Hinweise auf die notwendigen Anforderungen zum Erreichen des geforderten maximalen Heizwärmebedarfs von 15 kWh/m²*a erhielt. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs Q_H für den Erweiterungsbau der Carl-Schurz-Schule ist in der folgenden Abbildung 5.1 dargestellt.

Abb. 5.1 Energiebilanz des Erweiterungsbaus



Anlagenverzeichnis

- A.2.1 Monatliche Verteilung des Brennstoffbedarfs in 2005
- A.3.1 Zusammenstellung der u-Werte und der Flächen der Bauteile im Bestand
- A.3.2 Berechnung des Wärmebedarfs nach dem Hüllflächenverfahren - Bestand
- A.3.3 Berechnung des Heizenergiebedarfs - Bestand
- A.3.4 Wärmerzeugungsschema
- A.3.5 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für Klassenraum Bestand Südseite
- A.4.1 Berechnung Heizwärmebedarf Sanierung Bestand EnEV und EnEV – 30 %
- A.4.2 Berechnung der Verdunstungsmengen im Schwimmbad
- A.4.3 Gesamtkostenberechnung für die Entfeuchtungssysteme "Schwimmbad"
- A.4.4 Gesamtkostenberechnung für WRG-System Lüftungsanlage „Aula“
- A.4.5 Gesamtkostenberechnung für Beckenwasseraufbereitungsanlage

Anlage A.2.1 Monatliche Verteilung des Brennstoffverbrauchs in 2005

	Anteil für BHKW Wärmeerzeugung	Anteil für BHKW Stromerzeugung	Anteil für Spitzenlastkessel
Jan	152,1	68,4	77,6
Feb	152,6	68,6	79,0
März	124,2	55,8	30,2
April	94,4	42,4	10,5
Mai	68,5	30,8	0,0
Jun	32,1	14,4	0,0
Jul	26,1	11,7	0,0
Aug	17,6	7,9	0,0
Sep	43,7	19,7	0,0
Okt	85,6	38,5	0,0
Nov	168,4	75,6	27,0
Dez	181,3	81,5	54,6
Anteil an Gesamt	59,1%	26,5%	14,4%

Anlage A.3.1 Zusammenstellung der u-Werte und der Flächen der Bauteile im Bestand

		Fläche (m ²)	k/keq-Wert (W/m ² K)
Außenwand	AW 2 - geputzt	1.815,5	1,55
	AW 3 - gefliest	736,8	1,57
	AW 4 - Betonstützen	94,1	2,57
	AW 5 - Heizkörpernischen	400,2	1,81
Fenster / Tür	AF- EV	1.576,8	4,9
	AF-WSchV	136,8	1,3
	Glasbausteine	140,5	2,14
	Oberlichter	65,9	3,2
Dach	DA1 - Flachdach BT A	327,7	0,23
	DA2 - Flachdach BT B+C	2.180,1	0,99
Grund	FB 1 - Kellerfußboden	2.507,8	1,06
Erdberührende Wand	AW 1 - erdberührend	652,8	1,47

Anlage A.3.2 Berechnung des Wärmebedarfs mittels Hüllflächenverfahren - Bestand

Gebäudeeigentümer	Stadt Frankfurt					
Objekt	Carl-Schurz-Schule					
Variante/Maßnahme	Ist-Zustand					
Transmissionswärmebedarf						
		Fläche (m ²)	u-Wert (W/m ² K)	T _i (°C)	T _a (°C)	Q _T (W)
Außenwand	AW 2 - geputzt	1.815,5	1,55	20	-12	90.237
	AW 3 - gefliest	736,8	1,57	20	-12	37.118
	AW 4 - Betonstützen	94,1	2,57	20	-12	7.742
	AW 5 - Heizkörpernischen	400,2	1,81	20	-12	23.204
Fenster / Tür	AF- EV	1.582,8	4,9	20	-12	248.148
	AF-WschV	136,8	1,3	20	-12	5.692
	Glasbausteine	140,5	2,14	20	-12	9.639
	Oberlichter	65,9	3,2	20	-12	6.751
Dach	DA1 - Flachdach BT A	327,7	0,23	20	-6	1.960
	DA2 - Flachdach BT B+C	2.180,1	0,99	20	-6	55.926
Grund	FB 1 - Kellerfußboden	2.507,8	1,06	20	4	42.354
Erdberührende Wand	AW 1 - erdberührend	652,8	1,47	20	4	15.359
Summe	Nutzfläche	7.935,6				
Transmissions- Wärmeverluste Q_T						543.277
Lüftungswärmebedarf						
	β (1/h)	V _L (m ³)	c (Wh/m ³ K)	T _i (°C)	T _a (°C)	Q _L (W)
Q _L (mechanisch belüftete Bereiche)	0,20	4.187	0,33	20	-12	8.843
Q _L (nicht mechanisch belüftete Bereiche)	0,60	24.549	0,33	20	-12	155.544
Lüftungswärmeverluste Q_L						164.387
Gesamtwärmebedarf Q_{ges}					707.614	(W)

Anlage A.3.3a Berechnung des Heizenergiebedarfs - Bestand

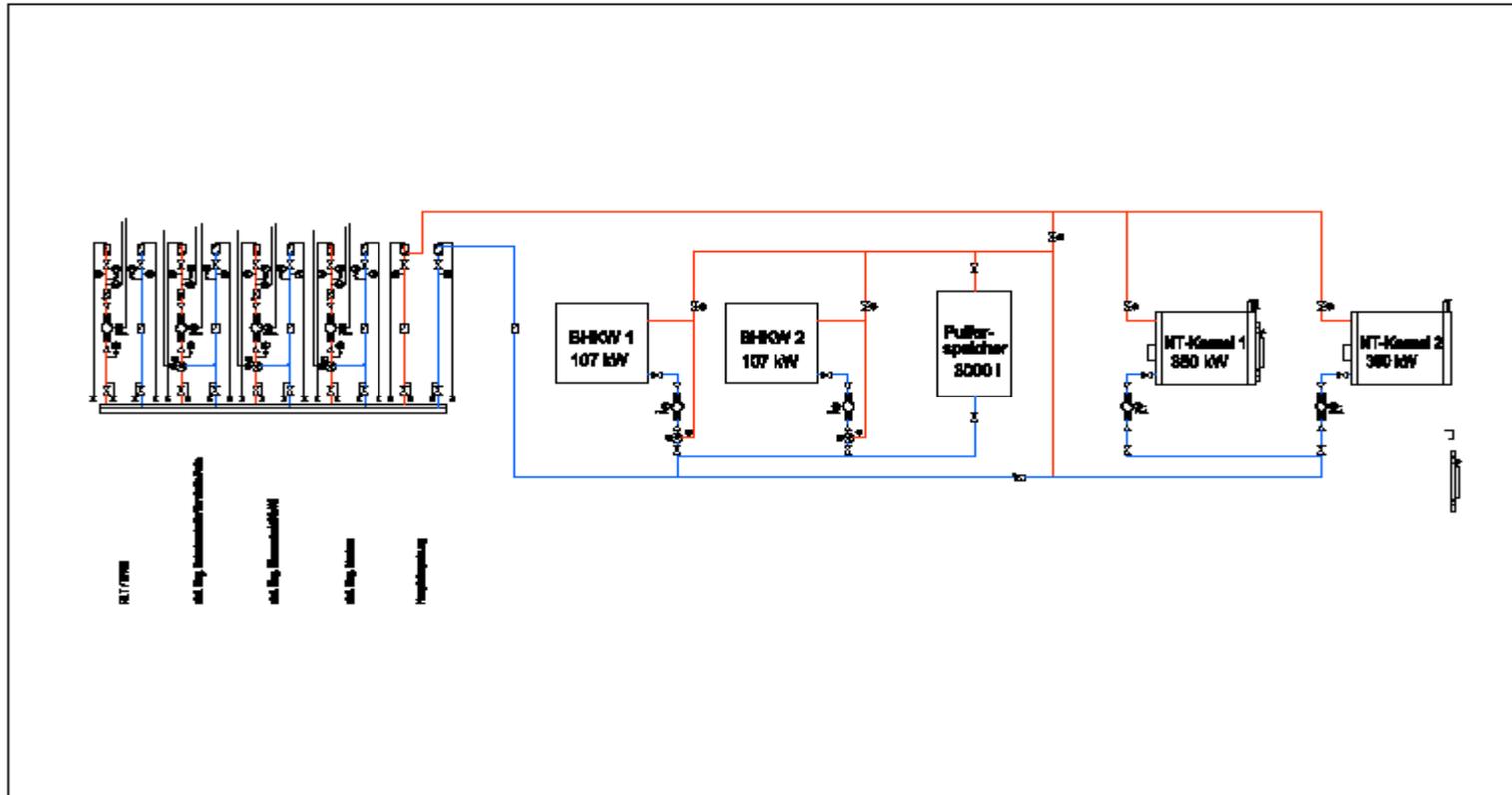
Gebäudeeigentümer	Stadt Frankfurt					
Objekt	Carl-Schurz-Schule					
Variante/Maßnahme	IST-ZUSTAND					
Energiebezugsfläche	EBF	7.935,6	m ²			
davon mechanisch belüftete Fläche		4.186,9	m ²			
Personenbelegung		1.000	P			
Durchschnittliche Raumhöhe	H	3,62	m			
Luftvolumen (=EBF * Raumhöhe)	V	28.736	m ³			
Luftwechselrate unbelüftete Räume	ß	0,5				
Luftwechselrate mechanisch belüftete Räume	ß	0,9				
Grenzwert		75	kWh/m ² a			
Transmissionswärmeverluste		Fläche in m ²	u-Wert in W/m ² K	Gt in kKh/a	Verluste in kWh/a in %	
Außenwand	AW 2 - geputzt	1.815,48	1,55	77	216.568	16,2%
	AW 3 - gefliest	736,83	1,57	77	89.083	6,7%
	AW 4 - Betonstützen	94,13	2,57	77	18.582	1,4%
	AW 5 - Heizkörpernischen	400,20	1,81	77	55.690	4,2%
Fenster	AF - EV	1.576,81	4,90	77	593.386	44,4%
	AF - WschV	136,84	1,30	77	13.662	1,0%
	Glasbausteine	140,46	2,14	77	23.134	1,7%
	Oberlichter	65,93	3,20	77	16.203	1,2%
Dach	DA1 - Flachdach BT A	327,69	0,23	77	5.790	0,4%
	DA2 - Flachdach BT B+C	2.180,13	0,99	77	165.196	12,4%
Fußboden	FB 1 - Kellerfußboden	2.507,82	1,06	38	101.649	7,6%
Erdberührende Wände	AW 1 - erdberührend	652,76	1,47	38	36.862	2,8%
Summe Transmissionswärmeverluste QT					1.335.804	(kWh/a)
Lüftungswärmeverluste QL	ß	V	c	Gt		
	(1/h)	(m ³)	(Wh/m ³ K)	(kKh/a)		
Unbelüftete Fläche	0,5	24.549	0,33	77	311.089	(kWh/a)
Mechanisch belüftete Fläche	0,9	4.187	0,33	77	95.502	(kWh/a)
Summe Lüftungswärmeverluste QL					406.590	(kWh/a)
Summe Verluste					1.742.394	(kWh/a)
QV=QT+QL						

Anlage A.3.3b Berechnung des Heizenergiebedarfs - Bestand

Wärmegewinne

	r	Fensterfläche (m ²)	g-Wert	Strahlung (kWh/m ² a)	Gewinne (kWh/a)	
horizontal	0,57	65,9	0,81	331	10.041	
Nord EV	0,57	242,9	0,81	121	13.521	
West EV	0,57	340,8	0,81	217	34.026	
Ost EV	0,57	386,9	0,81	212	37.737	
Süd EV	0,57	606,2	0,81	353	98.457	
Nord WschV	0,57	0,0			0	
West WschV	0,57	0,0			0	
Ost WschV	0,57	136,8	0,62	212	10.216	
Süd WschV	0,57	0,0			0	(kWh/a)
Summe Solargewinne QS					203.996	(kWh/a)
Freie Wärme Elektrizität	QE				127.575	(kWh/a)
Freie Wärme Personen	QP				167.400	(kWh/a)
Wärmebedarf Brauchwassererwärmung	Qwa				75.050	(kWh/a)
Summe Innere Wärmegewinne	QI=QE+QP-Qwa				219.925	(kWh/a)
Summe Freie Wärme	QF=QS+QI				423.921	x
Gewinnfaktor Freie Wärme	x=1-0,3*QF/QV				0,927	(kWh/a)
Wärmegewinne	QG=x*QF				392.979	
						(kWh/a)
Heizwärmebedarf	QH=QV-QG				1.349.415	
						(kWh/m ² a)
Energiekennwert Heizwärme	QH/EBF				170,0	(kWh/m ² a)
Grenzwert					75	
Grenzwertüberschreitung					127	(%)
Grenzwert erfüllt	nein					

Anlage A.3.4 Wärmeerzeugungsschema



Anlage A.3.5 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes Klassenraum Bestand Südseite

Nachweis sommerlicher Wärmeschutz nach DIN 4108-2: 2003-04			
Objekt	BV, Bauherr:	Carl-Schurz-Schule , Altbau 2.OG Klassenzimmer Südseite	
	Straße, PLZ, Ort:	Frankfurt/Main	
1	1. Lagebeschreibung des betrachteten Raums:		
2	Geschoss:	3. Obergeschoss	
3	Raumart / Raumnummer:	Klassenzimmer 308 Südseite	
4	2. Sonneneintragskennwert		
5	2.1 vorhandener Sonneneintragskennwert S		
6	2.1.1 Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche		
7	Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{a)}	$A_W =$	18,76 [m ²]
8	Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{b)}	$A_G =$	57,55 [m ²]
9	Summe der wärmeübertragenden Dach- und Deckenfläche ^{c)}	$A_D =$	0,00 [m ²]
10	2.1.2 Fassaden- und Verglasungswerte		
11	Fassade 1: Wandfläche: ^{a)}		7,40 [m ²]
12	Fensterfläche: ^{a)}		18,76 [m ²]
13	Orientierung:		Süd [-]
14	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)		90° [-]
15	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe	$g =$	0,60 [-]
16	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{d,e,f,g)}		
17	Außenlegend: drehbare Lamellen, hinterlüftet	$F_{s0} =$	0,25 [-]
18	Fassade 2: Wandfläche: ^{a)}		0,00 [m ²]
19	Fensterfläche: ^{a)}		0,00 [m ²]
20	Orientierung:		[-]
21	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)		[-]
22	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe	$g =$	0,00 [-]
23	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{d,e,f,g)}		
24	Ohne Sonnenschutzvorrichtung	$F_{s0} =$	1,00 [-]
25	Fassade 3: Wandfläche: ^{a)}		0,00 [m ²]
26	Fensterfläche: ^{a)}		0,00 [m ²]
27	Orientierung:		[-]
28	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)		[-]
29	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe	$g =$	0,00 [-]
30	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{d,e,f,g)}		
31	Ohne Sonnenschutzvorrichtung	$F_{s0} =$	1,00 [-]
32	2.1.3 g-Wert der Verglasung einschließlich Sonnenschutz		
33	$g_{\text{total,mittel}}$	$g_{\text{total,mittel}} =$	0,150 [-]
34	2.1.4 Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S		
35	$S = \sum (A_{Wj} \cdot g_{\text{total,j}}) / A_G$	vorh. S =	0,049
<p>a) Es gelten die Maße der lichten Rohbauöffnung. b) Die Netto-Grundfläche A_G wird aus den lichten Innenraumabmessungen berechnet. Bei großen Räumen ist die anzusetzende Raumtiefe zu begrenzen. Die größtmögliche Raumtiefe muss kleiner als die dreifache lichte Raumhöhe sein. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden mit Fenstern ergibt sich keine Begrenzung der anzusetzenden Raumtiefe, wenn deren lichter Abstand kleiner oder gleich der sechsfachen lichten Raumhöhe ist. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden, bei denen die lichten Abstände der Außenwände mehr als das Sechsfache der lichten Höhe betragen, muss der Nachweis für die beiden Fassaden unter Berücksichtigung der zugehörigen Netto-Grundflächen A_G getrennt geführt werden. c) A_D ist die wärmeübertragende Dach- oder Deckenfläche nach oben und/oder unten gegen Außenluft, Erdreich und unbeheizte Keller- und Dachräume (Ermittlung mit Außenmaßen!). d) Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge sind keine Sonnenschutzvorrichtung. e) Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15% gilt als gering. f) Für Vordächer, Loggien und Markisen, sowie freistehende Lamellen muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Es sind die Anforderungen an den Abdeckwinkel einzuhalten (vgl. Hinweise auf der rechten Seite im Programm). g) Für innen und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen, da sich erheblich günstigere Werte ergeben können. Ohne Nachweis ist der ungünstigere Wert zu verwenden.</p>			

36	2.2 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}		
37	2.2.1 Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x		
38	Gebäudelage, Bauart, Fensterneigung und Orientierung	anteiliger Wert S_x	
39	Klimaregion: (vgl. Registerblatt "Erläuterung" und "Klimaregion")		
40	<input checked="" type="checkbox"/> Gebäude in Klimaregion A	+ 0,040	0,015
40	<input checked="" type="checkbox"/> Gebäude in Klimaregion B	+ 0,030	
40	<input checked="" type="checkbox"/> Gebäude in Klimaregion C	+ 0,015	
41	Bauart: ^{h),i)} detaillierter Nachweis (Berechnung liegt bei), oder Einstufung pauschal "Leichte Bauart"		
42	<input checked="" type="checkbox"/> Detaillierte Berechnung für mittlere Bauart (siehe Berechnung C-wirk)		82,9 [Wh/(m²K)]
42	<input checked="" type="checkbox"/> Leichte Bauart $C_{wtk} / A_G < 50$ Wh/(m²K) bzw. ohne Nachweis ^{h)}	+0,06 f_{gew}	0,036
42	<input checked="" type="checkbox"/> Mittlere Bauart $50 \leq C_{wtk}/A_G \leq 130$ Wh/(m²K) mit Nachweis ^{h)}	+0,10 f_{gew}	
42	<input checked="" type="checkbox"/> Schwere Bauart $C_{wtk} / A_G > 130$ Wh/(m²K) mit Nachweis ^{h)} bzw. reine KS-Konstruktion ⁱ⁾	+0,115 f_{gew}	
42	<input type="checkbox"/> Erhöhte Nachlüftung während der zweiten Nachthälfte mit $n > 1,5$ [1/h] ^{k)}		
42	bei leichter und mittlerer Bauart	+ 0,02	0,000
42	bei schwerer Bauart	+ 0,03	
43	<input type="checkbox"/> Sonnenschutzverglasung mit $g < 0,4$ ^{l)}	+ 0,03	0,000
44	Fensterneigung: ^{m)} $0^\circ \leq$ Neigung $\alpha \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)	$f_{neig} = 0,00$	- 0,12 f_{neig} 0,000
45	Orientierung: ^{m)} Nordwest- über Nord- bis Nordost-orientierte Fenster mit einer Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha > 60^\circ$ und Fenster die dauernd durch das Gebäude selbst verschattet werden.	$f_{nord} = 0,00$	+ 0,10 f_{nord} 0,000
46	2.2.2 Berechnung des zulässigen Höchstwertes S_{zul}		
47	$S_{zul} = \sum S_x =$	0,015 + 0,036 + 0,000 + 0,000 + 0,000 + 0,000 = $S_{zul} =$	0,051
48	3. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes		
49	Der Nachweis an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht wenn gilt: vorh. S = 0,049 \leq 0,051 = S_{zul}		
50	Anforderung: ^{p)}	erfüllt	
<p>h) Für den genauen Nachweis kann die wirksame Speicherfähigkeit C_{wtk} nach DIN 4108-6 ermittelt werden (vgl. Arbeitsblatt C-wirk).</p> <p>i) Für Wohngebäude kann bei Ausführung der Außen- und Innenwände mit KS-Mauerwerk der Rohdichteklasse $\geq 1,8$, sowie Stahlbetondecken (ohne Innenseitige wärmetechnische Bekleidung) immer pauschal schwere Bauart angesetzt werden.</p> <p>j) Der Faktor f_{gew} zur Berücksichtigung der auf die Netto-Grundfläche A_G bezogenen Außenflächen wird vom Programm wie folgt berechnet: $f_{gew} = (A_{Wf} + 0,3 A_{Wd} + 0,1 A_G) / A_G$ Dabei bedeutet: A_{Wf}: die Fensterfläche einschließlich möglicher Dachfenster nach Zelle 7; A_{Wd}: die Fläche der Außenwände (Außenmaß); A_G: die Trennfläche von Dächern oder Decken gegen Außenluft nach oben oder unten sowie Decken und Wände gegen unbeheizte Keller- oder Dachräume und Wände gegen Erdreich (Außenmaß); A_G: die Netto-Grundfläche nach Zelle 8.</p> <p>k) Bei Ein- und Zweifamilienwohngebäuden kann in der Regel von einer erhöhten Nachlüftung ausgegangen werden.</p> <p>l) Als gleichwertig gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, die die diffuse Strahlung permanent reduziert und für die gilt: $g_{red} < 0,4$.</p> <p>m) Bei der Berechnung von f_{neig} gilt: $f_{neig} = A_{W,neig} / A_G$ $A_{W,neig}$: Fläche der Fenster des Raumes mit Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha < 60^\circ$ ermittelt über das lichte Rohbaumaß A_G: die Netto-Grundfläche nach Zelle 8.</p> <p>n) Der Faktor zur Berücksichtigung nordorientierter Fenster wird wie folgt bestimmt: $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ $A_{W,nord}$: Fläche aller nordorientierten oder dauerhaft verschatteten Fenster gemäß der Definition nach Zelle 48 $A_{W,gesamt}$: die Gesamtfensterfläche nach Zelle 7.</p> <p>p) Ein Nachweis ist nicht erforderlich, falls der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{AG} folgende Werte nicht überschreitet: - Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen $60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ und Orientierung der Fenster von Nord-West über Süd bis Nord-Ost: $f_{AG} < 10\%$ bzw. bei allen anderen Nordorientierungen: $f_{AG} < 15\%$ - Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen von 0° bis 60° und alle Orientierungen: $f_{AG} < 7\%$</p>			

Anlage A.4.1a Heizwärmebedarf Schule – Dämmstandard EnEV

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Carl-Schurz-Schule			A2 KStB.	0	
A3	Gebäudebezeichnung	Gymnasium			A4 Str-Nr.		
A5	Straße	Holbeinstraße			A6 Haus-Nr.	21	
A7	Variante 1	EnEV					
A8	Energiebezugsfläche	7.014	m ²	A9 Raumtemperatur	19°C		
A10	Länge der Heizperiode	219	d/a*	A11 Gradtagszahl	3.159 Kd/a*		
E. Transmission							
		Fläche x	U-Wert x	AL-Faktor x	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust
		(m ²)	(W/m ² K)	(-)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
E1	Bodenplatte	2.508	0,93	0,5	75,8	88.748	12,7
E2	Boden gegen außen	0		1,0	75,8	0	0,0
E3.1	Wand gegen außen - verputzt	1.636	1,55	1,0	75,8	192.623	27,5
E3.2	Wand gegen außen - gefliest	617	1,57	1,0	75,8	73.639	10,5
E3.3	Wand gegen außen - Betonstützen	64	2,48	1,0	75,8	11.942	1,7
E3.4	Wand gegen außen - HK-Nischen	400	1,81	1,0	75,8	54.976	7,8
E4	Wand gegen Keller/Erde	653	1,52	0,5	75,8	37.573	5,4
E5	oberste Geschoßdecke	0		0,8	75,8	0	0,0
E6.1	Dach gegen außen - BTA	328	0,35	1,0	75,8	8.601	1,2
E6.2	Dach gegen außen - BT B+C	2.180	0,25	1,0	75,8	41.740	6,0
E7	Fenster horizontal	66	1,70	1,0	75,8	8.494	1,2
E8.1	Fenster Süd - Neu	72	1,70	1,0	75,8	9.280	1,3
E8.2	Fenster Süd - Saniert 2007	534	1,10	1,0	75,8	44.534	6,3
E9.1	Fenster Ost - Neu	156	1,70	1,0	75,8	20.106	2,9
E9.2	Fenster Ost - Saniert 2007	277	1,10	1,0	75,8	23.101	3,3
E10	Fenster West - Neu	341	1,70	1,0	75,8	43.925	6,3
E11	Fenster Nord - Neu	243	1,70	1,0	75,8	31.307	4,5
E14	Summe Transmission	10.073	m²			690.589	98,5
F. Lüftung							
		Volumen x	Luftw. x	sp. Wärme	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust
		(m ³)	(1/h)	(Wh/m ³ K)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
F1	Lüftung	25.391	0,8	0,33	75,8	508.220	72,5
G1	Bruttonutzwärmebedarf = Summe Transmission + Lüftung					1.198.809	170,9
G2	Wärmebedarf nach DIN 4701					506	kW
H. Freie Wärme							
		Fläche	Stromv. x	Faktor fe x	HT/365	= Gewinn	sp. Gewinn
		(m ²)	(kWh/m ² a)	(-)	(a/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H1	Abwärme Elektrizität	7.014	21,8	0,7	0,60	64.082	9,1
		Personen x	Wärmea. x	Aufenthalt x	HTx0,001	= Gewinn	sp. Gewinn
		(P)	(W/P)	(h/d)	(d/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H2	Abwärme Personen	1.000	85	6	0,22	111.690	15,9
Solare Einstrahlung							
		Fläche x	g-Wert x	f _r x f _b x	Globalstrahl.	= Gewinn	sp. Gewinn
		(m ²)	(-)	(-)	(kWh/m ² a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H4	durch horiz. Fenster	66	0,60	0,57	331	7.460	1,1
H5	durch Süd-Fenster	606	0,60	0,57	353	73.160	10,4
H6	durch Ost-Fenster	433	0,60	0,57	212	31.394	4,5
H7	durch West-Fenster	341	0,60	0,57	217	25.292	3,6
H8	durch Nord-Fenster	243	0,60	0,57	121	10.052	1,4
H9	Summe Strahlung	1.689	m²			147.358	21,0
H10	Freie Wärme = Abwärme Elektrizität + Personen + Strahlung					323.130	46,1
		1 -	(0,3 x	Freie Wärme	Bruttonutz.) =	Gewinnfaktor	
H12	Gewinnfaktor	1 -	(0,3 x	323.130	1.198.809	0,92	
Wärmegewinn							
		Freie W. x			Gewinnfak. =	Gewinn	sp. Gewinn
H13	Wärmegewinn	323.130			0,92	297.000	42,3
I. Heizwärmebedarf							
		Brutton.-		Wärmegew.=	Bedarf	sp. Bedarf	
I1	Heizwärmebedarf	1.198.809		297.000	901.809	128,6	
K1	Grenzwert Heizwärmebedarf						75,0
K2	Grenzwert erreicht?						nein

Anlage A.4.1b Heizwärmebedarf Turnhalle – Dämmstandard EnEV

A. Allgemeine Daten								
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Carl-Schurz-Schule				A2 KStB.	0	
A3	Gebäudebezeichnung	Gymnasium Turnhalle				A4 Str-Nr.		
A5	Straße	Holbeinstraße				A6 Haus-Nr.	21	
A7	Variante 1	EnEV						
A8	Energiebezugsfläche	350	m ²	A9 Raumtemperatur	18°C			
A10	Länge der Heizperiode	219	d/a*	A11 Gradtagszahl	2.940 Kd/a*			
E. Transmission								
		Fläche x	U-Wert x	AL-Faktor x	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust	
		(m ²)	(W/m ² K)	(-)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)	
E1	Bodenplatte	0	0,93	0,5	70,6	0	0,0	
E2	Boden gegen außen	0		1,0	70,6	0	0,0	
E3.1	Wand gegen außen - verputzt	180	1,55	1,0	70,6	19.706	56,3	
E3.2	Wand gegen außen - gefliest	39	1,57	1,0	70,6	4.299	12,3	
E3.3	Wand gegen außen - Betonstützen	31	2,48	1,0	70,6	5.353	15,3	
E3.4	Wand gegen außen - HK-Nischen	0	1,81	1,0	70,6	0	0,0	
E4	Wand gegen Keller/Erde	0	1,52	0,5	70,6	0	0,0	
E5	oberste Geschoßdecke	0		0,8	70,6	0	0,0	
E6.1	Dach gegen außen - BTA	0	0,35	1,0	70,6	0	0,0	
E6.2	Dach gegen außen - BT B+C	0	0,25	1,0	70,6	0	0,0	
E7	Fenster horizontal	0	1,70	1,0	70,6	0	0,0	
E8	Fenster Süd	0	1,70	1,0	70,6	0	0,0	
E9.1	Fenster Ost	28	1,70	1,0	70,6	3.371	9,6	
E9.1	Fenster Ost - Glasbausteine	104	1,80	1,0	70,6	13.209	37,8	
E10	Fenster West	0	1,70	1,0	70,6	0	0,0	
E11	Fenster Nord	0	1,70	1,0	70,6	0	0,0	
E14	Summe Transmission	381	m²			45.937	131,3	
F. Lüftung								
		Volumen x	Luftw. x	sp. Wärme	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust	
		(m ³)	(1/h)	(Wh/m ³ K)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)	
F1	Lüftung	2.543	0,8	0,33	70,6	47.371	135,4	
G1	Bruttonutzwärmebedarf = Summe Transmission + Lüftung					93.308	266,7	
G2	Wärmebedarf nach DIN 4701			42	kW			
H. Freie Wärme								
		Fläche	Stromv. x	Faktor fe x	HT/365	= Gewinn	sp.Gewinn	
		(m ²)	(kWh/m ² a)	(-)	(a/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)	
H1	Abwärme Elektrizität	350	14,0	0,7	0,60	2.057	5,9	
		Personen x	Wärmea. x	Aufenthalt x	HTx0,001	= Gewinn	sp.Gewinn	
		(P)	(W/P)	(h/d)	(d/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)	
H2	Abwärme Personen	50	100	10	0,22	10.950	31,3	
Solare Einstrahlung								
		Fläche x	g-Wert x	f _r x f _b x	Globalstrahl.	= Gewinn	sp.Gewinn	
		(m ²)	(-)	(-)	(kWh/m ² a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)	
H4	durch horiz. Fenster	0	0,60	0,57	331	0	0,0	
H5	durch Süd-Fenster	0	0,60	0,57	353	0	0,0	
H6.1	durch Ost-Fenster	28	0,60	0,57	212	2.037	5,8	
H6.1	durch Ost-Fenster - Glasbausteine	104	0,60	0,57	213	7.576	21,7	
H7	durch West-Fenster	0	0,60	0,57	217	0	0,0	
H8	durch Nord-Fenster	0	0,60	0,57	121	0	0,0	
H9	Summe Strahlung	132	m²			9.613	27,5	
H10	Freie Wärme = Abwärme Elektrizität + Personen + Strahlung					22.620	64,7	
		1 -	(0,3 x	Freie Wärme	Bruttonutz.) =	Gewinnfaktor		
H12	Gewinnfaktor	1 -	(0,3 x	22.620	93.308	0,93		
Wärmegewinn								
		Freie W. x			Gewinnfak. =	Gewinn	sp.Gewinn	
H13	Wärmegewinn	22.620			0,93	20.975	60,0	
I. Heizwärmebedarf								
		Brutton.-		Wärmegew.=	Bedarf	sp. Bedarf		
I1	Heizwärmebedarf	93.308		20.975	72.333	206,8		
K1	Grenzwert Heizwärmebedarf						75,0	
K2	Grenzwert erreicht?						nein	

Anlage A.4.1c Heizwärmebedarf Schule – Dämmstandard EnEV-30%

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Carl-Schurz-Schule				A2 KStB.	0
A3	Gebäudebezeichnung	Gymnasium				A4 Str-Nr.	
A5	Straße	Holbeinstraße				A6 Haus-Nr.	21
A7	Variante 2	EnEV - 30%					
A8	Energiebezugsfläche	7.014	m ²	A9 Raumtemperatur	19	°C	
A10	Länge der Heizperiode	219	d/a*	A11 Gradtagszahl	3.159	Kd/a*	
E. Transmission		Fläche x	U-Wert x	AL-Faktor x	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust
		(m ²)	(W/m ² K)	(-)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
E1	Bodenplatte	2.508	0,93	0,5	75,8	88.748	12,7
E3.1	Wand gegen außen - verputzt	1.008	1,55	1,0	75,8	118.645	16,9
E.3.1.1	Wand gegen außen - verputzt -Saniert	628	0,26	1,0	75,8	12.450	1,8
E3.2	Wand gegen außen - gefliest	617	1,57	1,0	75,8	73.639	10,5
E3.3	Wand gegen außen - Betonstützen	64	2,48	1,0	75,8	11.942	1,7
E3.4	Wand gegen außen - HK-Nischen	400	1,81	1,0	75,8	54.976	7,8
E4	Wand gegen Keller/Erde	653	1,52	1,0	75,8	75.147	10,7
E6.1	Dach gegen außen - BTA	328	0,35	1,0	75,8	8.601	1,2
E6.2	Dach gegen außen - BT B+C	2.180	0,13	1,0	75,8	20.953	3,0
E7	Fenster horizontal	66	1,10	1,0	75,8	5.496	0,8
E8.1	Fenster Süd - Neu	72	0,90	1,0	75,8	4.913	0,7
E8.2	Fenster Süd - Saniert 2007	534	1,10	1,0	75,8	44.534	6,3
E9.1	Fenster Ost - Neu	156	1,10	1,0	75,8	13.010	1,9
E9.2	Fenster Ost - Saniert 2007	277	1,10	1,0	75,8	23.101	3,3
E10	Fenster West - Neu	341	1,10	1,0	75,8	28.422	4,1
E11	Fenster Nord -Neu	243	1,10	1,0	75,8	20.257	2,9
E14	Summe Transmission	10.073	m²			604.834	86,2
F. Lüftung		Volumen x	Luftw. x	sp. Wärme	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust
		(m ³)	(1/h)	(Wh/m ³ K)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
F1	Lüftung	25.391	0,6	0,33	75,8	362.107	51,6
G1	Bruttonutzwärmebedarf = Summe Transmission + Lüftung					966.941	137,9
G2	Wärmebedarf nach DIN 4701		408	kW			
H. Freie Wärme		Fläche	Stromv. x	Faktor fe x	HT/365	= Gewinn	sp.Gewinn
		(m ²)	(kWh/m ² a)	(-)	(a/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H1	Abwärme Elektrizität	7.014	21,8	0,7	0,60	64.082	9,1
		Personen x	Wärmea. x	Aufenthalt x	HTx0,001	= Gewinn	sp.Gewinn
		(P)	(W/P)	(h/d)	(d/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H2	Abwärme Personen	1.000	85	6	0,22	111.690	15,9
Solare Einstrahlung		Fläche x	g-Wert x	f _r x f _b x	Globalstrahl.	= Gewinn	sp.Gewinn
		(m ²)	(-)	(-)	(kWh/m ² a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H4	durch horiz. Fenster	66	0,62	0,57	331	7.709	1,1
H5.1	durch Süd-Fenster 3-fach WschhV	72	0,55	0,57	353	7.968	1,1
H5.2	durch Süd-Fenster	534	0,62	0,57	353	66.617	9,5
H6	durch Ost-Fenster	433	0,62	0,57	212	32.441	4,6
H7	durch West-Fenster	341	0,62	0,57	217	26.135	3,7
H8	durch Nord-Fenster	243	0,62	0,57	121	10.387	1,5
H9	Summe Strahlung	1.689	m²			151.256	21,6
H10	Freie Wärme = Abwärme Elektrizität + Personen + Strahlung					327.027	46,6
		1 -	(0,3 x	Freie Wärme / Bruttonutz.) = Gewinnfaktor			
H12	Gewinnfaktor	1 -	(0,3 x	327.027	966.941	0,90	
Wärmegewinn				Freie W. x	Gewinnfak. =	Gewinn	sp.Gewinn
H13	Wärmegewinn			327.027	0,90	293.846	41,9
I. Heizwärmebedarf				Brutton.-	Wärmegew.=	Bedarf	sp. Bedarf
I1	Heizwärmebedarf			966.941	293.846	673.095	96,0
K1	Grenzwert Heizwärmebedarf					75,0	
K2	Grenzwert erreicht?					nein	

Anlage A.4.1d Heizwärmebedarf Turnhalle – Dämmstandard EnEV-30%

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Carl-Schurz-Schule			A2 KStB.	0	
A3	Gebäudebezeichnung	Gymnasium Turnhalle			A4 Str-Nr.		
A5	Straße	Holbeinstraße			A6 Haus-Nr.	21	
A7	Variante 1	EnEV - 30%					
A8	Energiebezugsfläche	350m ²	A9 Raumtemperatur	18°C			
A10	Länge der Heizperiode	219d/a*	A11 Gradtagszahl	2.940Kd/a*			
E. Transmission							
		Fläche x	U-Wert x	AL-Faktor x	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust
		(m ²)	(W/m ² K)	(-)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
E1	Bodenplatte	0	0,93	0,5	70,6	0	0,0
E3.1	Wand gegen außen - verputzt	180	1,55	1,0	70,6	19.706	56,3
E3.2	Wand gegen außen - gefliest	39	1,57	1,0	70,6	4.299	12,3
E3.3	Wand gegen außen - Betonstützen	31	2,48	1,0	70,6	5.353	15,3
E3.4	Wand gegen außen - HK-Nischen	0	1,81	1,0	70,6	0	0,0
E4	Wand gegen Keller/Erde	0	1,52	0,5	70,6	0	0,0
E5	oberste Geschoßdecke	0		0,8	70,6	0	0,0
E6.1	Dach gegen außen - BTA	0	0,35	1,0	70,6	0	0,0
E6.2	Dach gegen außen - BT B+C	0	0,25	1,0	70,6	0	0,0
E7	Fenster horizontal	0	0,00	1,0	70,6	0	0,0
E8	Fenster Süd	0	1,10	1,0	70,6	0	0,0
E9.1	Fenster Ost	28	1,10	1,0	70,6	2.181	6,2
E9.1	Fenster Ost - Glasbausteine	104	1,80	1,0	70,6	13.209	37,8
E10	Fenster West	0	1,10	1,0	70,6	0	0,0
E11	Fenster Nord	0	1,10	1,0	70,6	0	0,0
E14	Summe Transmission	381 m ²				44.747	127,9
F. Lüftung							
		Volumen x	Luftw. x	sp. Wärme	GTZx0,024	= Verlust	sp. Verlust
		(m ³)	(1/h)	(Wh/m ³ K)	(kKh/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
F1	Lüftung	2.543	0,6	0,33	70,6	33.752	96,5
G1	Bruttonutzwärmebedarf = Summe Transmission + Lüftung					78.500	224,4
G2	Wärmebedarf nach DIN 4701					36kW	
H. Freie Wärme							
		Fläche	Stromv. x	Faktor fe x	HT/365	= Gewinn	sp.Gewinn
		(m ²)	(kWh/m ² a)	(-)	(a/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H1	Abwärme Elektrizität	350	14,0	0,7	0,60	2.057	5,9
		Personen x	Wärmea. x	Aufenthalt x	HTx0,001	= Gewinn	sp.Gewinn
		(P)	(W/P)	(h/d)	(d/a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H2	Abwärme Personen	50	100	10	0,22	10.950	31,3
Solare Einstrahlung							
		Fläche x	g-Wert x	f _r x f _b x	Globalstrahl.	= Gewinn	sp.Gewinn
		(m ²)	(-)	(-)	(kWh/m ² a*)	(kWh/a*)	(kWh/m ² a*)
H4	durch horiz. Fenster	0	0,62	0,57	331	0	0,0
H5	durch Süd-Fenster	0	0,62	0,57	353	0	0,0
H6.1	durch Ost-Fenster	28	0,62	0,57	212	2.105	6,0
H6.1	durch Ost-Fenster - Glasbausteine	104	0,60	0,57	213	7.576	21,7
H7	durch West-Fenster	0	0,62	0,57	217	0	0,0
H8	durch Nord-Fenster	0	0,62	0,57	121	0	0,0
H9	Summe Strahlung	132 m ²				9.681	27,7
H10	Freie Wärme = Abwärme Elektrizität + Personen + Strahlung					22.688	64,9
H12	Gewinnfaktor	1 - (0,3 x	Freie Wärme /	Bruttonutz.) = Gewinnfaktor			
		1 - (0,3 x	22.688	78.500	0,91		
Wärmegewinn							
H13	Wärmegewinn			Freie W. x	Gewinnfak. =	Gewinn	sp.Gewinn
				22.688	0,91	20.721	59,2
I. Heizwärmebedarf							
I1	Heizwärmebedarf			Brutton.-	Wärmegew.=	Bedarf	sp. Bedarf
				78.500	20.721	57.779	165,2
K1	Grenzwert Heizwärmebedarf						75,0
K2	Grenzwert erreicht?						nein

Anlage A.4.2 Berechnung der Verdunstungsmengen in der Schwimmhalle Verdunstungsmenge nach VDI 2089 (Auslegungsfall) bei Entfeuchtung

1.1 mit Außenluft

A		Beckenwassertemperatur	in °C	30
B		Dampfdruck bei BWTemp.	in Pa	424,10
C		Rumlufttemperatur	in °C	32
D		Relative Rumluftfeuchte, max	in %	64
E	= B * D	Teildruck Wasserdampf in der Rumluft	in Pa	304,19
F		Wassergehalt der Rumluft, max	in g/kg	14,3
G		Wassergehalt der Zuluft, max	in g/kg	9,0
H		Dichte der Zuluft	kg/m ³	1,2
I		Beckenwasseroberfläche	in m ²	118
J		Raumfläche	in m ²	639
K		Raumhöhe	in m	3
L	= J * K	Raumvolumen	in m ³	2.109
M.1		Wasserübergangskoeffizient, Badbetrieb	in m/h	40
M.2		Wasserübergangskoeffizient, Ruhebetrieb	in m/h	7
N		Spezifische Gaskonstante	in J/kgK	461,52
O	= ((A+C)/2)	Arithmetisches Mittel TW + TR	in K	31
P.1	= ((M.1/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Badebetrieb	in kg/h	39,6
P.2	= ((M.2/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Ruhebetrieb	in kg/h	6,9
Q.1		Maximale Außenluftmenge Badebetrieb	in m ³ /h	6.220
Q.2		Maximale Außenluftmenge Ruhebetrieb	in m ³ /h	1.088

Verdunstungsmenge nach VDI 2089 (Betriebsfall) bei Entfeuchtung

1.2 tzung mit Außenluft

A		Beckenwassertemperatur	in °C
B		Dampfdruck bei BWTemp.	in Pa
C		Rumlufttemperatur	in °C
D		Relative Rumluftfeuchte, Durchschnitt	in %
E	= B * D	Teildruck Wasserdampf in der Rumluft	in Pa
F		Wassergehalt der Rumluft, max	in g/kg
G		Wassergehalt der Zuluft, max	in g/kg
H		Dichte der Zuluft	kg/m ³
I		Beckenwasseroberfläche	in m ²
J		Raumfläche	in m ²
K		Raumhöhe	in m
L	= J * K	Raumvolumen	in m ³
M.1		Wasserübergangskoeffizient Badbetrieb	in m/h
M.2		Wasserübergangskoeffizient Ruhebetrieb	in m/h
N		Spezifische Gaskonstante	in J/kgK
O	= ((A+C)/2)	Arithmetisches Mittel TW + TR	in K
P.1	= ((M.1/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Badebetrieb	in kg/h
P.2	= ((M.2/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Ruhebetrieb	in kg/h
R.1		Jahresbetriebsstunden Badebetrieb	in h/a
R.2		Jahresbetriebsstunden Ruhebetrieb	in h/a
S.1	= P.1 * R.1	Jahresverdunstungsmenge Badebetrieb	in kg/a
S.2	= P.2 * R.2	Jahresverdunstungsmenge Ruhebetrieb	in kg/a
S.3	= S.1 + S.2	Jahresverdunstungsmenge, gesamt	in kg/a

1.2 Verdunstungsmenge nach VDI 2089 (Betriebsfall) bei Entfeuchtung

A		Beckenwassertemperatur	in °C	30
B		Dampfdruck bei BWTemp.	in Pa	424,10
C		Rumlufttemperatur	in °C	32
D		Relative Raumluftfeuchte, max	in %	55
E	= B * D	Teildruck Wasserdampf in der Raumluft	in Pa	233,26
F		Wassergehalt der Raumluft, max	in g/kg	14,3
G		Wassergehalt der Zuluft, max	in g/kg	9,0
H		Dichte der Zuluft	kg/m ³	1,2
I		Beckenwasseroberfläche	in m ²	118
J		Raumfläche	in m ²	639
K		Raumhöhe	in m	3
L	= J * K	Raumvolumen	in m ³	2.109
M.1		Wasserübergangskoeffizient, Badbetrieb	in m/h	40
M.2		Wasserübergangskoeffizient, Ruhebetrieb	in m/h	7
N		Spezifische Gaskonstante	in J/kgK	461,52
O	= ((A+C)/2)	Arithmetisches Mittel TW + TR	in K	31
P.1	= ((M.1/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Badebetrieb	in kg/h	63,0
P.2	= ((M.2/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Ruhebetrieb	in kg/h	11,0
Q.1		Maximale Außenluftmenge Badebetrieb	in m ³ /h	9.900
Q.2		Maximale Außenluftmenge Ruhebetrieb	in m ³ /h	1.732

Verdunstungsmenge nach VDI 2089 (Betriebsfall) bei Entfeuchtung mit

1.2 Außenluft

A		Beckenwassertemperatur	in °C	30
B		Dampfdruck bei BWTemp.	in Pa	424,10
C		Rumlufttemperatur	in °C	32
D		Relative Raumluftfeuchte, Durch-	in %	55
E	= B * D	Teildruck Wasserdampf in der Raum-	in Pa	233,26
F		Wassergehalt der Raumluft, max	in g/kg	14,3
G		Wassergehalt der Zuluft, max	in g/kg	9,0
H		Dichte der Zuluft	kg/m ³	1,2
I		Beckenwasseroberfläche	in m ²	118
J		Raumfläche	in m ²	639
K		Raumhöhe	in m	3
L	= J * K	Raumvolumen	in m ³	2.109
M.1		Wasserübergangskoeffizient Badbe-	in m/h	40
M.2		Wasserübergangskoeffizient Ruhebe-	in m/h	7
N		Spezifische Gaskonstante	in J/kgK	461,52
O	= ((A+C)/2)	Arithmetisches Mittel TW + TR	in K	31
P.1	= ((M.1/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Bade-	in kg/h	63,0
P.2	= ((M.2/(N*O))*(B-E)*I	Spez. Verdunstungsmenge, Ruhe-	in kg/h	11,0
R.1		Jahresbetriebsstunden Badebetrieb	in h/a	3.588
R.2		Jahresbetriebsstunden Ruhebetrieb	in h/a	5.172
S.1	= P.1 * R.1	Jahresverdunstungsmenge Badebe-	in kg/a	225.904
S.2	= P.2 * R.2	Jahresverdunstungsmenge Ruhebe-	in kg/a	56.986
S.3	= S.1 + S.2	Jahresverdunstungsmenge, ge-	in kg/a	282.889

Anlage A.4.3 Gesamtkostenberechnung für Entfeuchtungssysteme „Schwimmhalle“

1. Gesamtkosten							
A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	Carl-Schurz-Schule			A2	Unterab.	
A3	Gebäudebezeichnung	Aula			A4	Str.-Nr.	
A5	Straße	Holbeinstraße			A6	Haus-Nr.	21
A7	Betrachtungszeitraum	15	a	A8	Währung	€	
A9	Kapitalzins	3,3%		A10	Annuitätsfaktor	0,09	
A11	Preissteigerung	5%		A12	Mittelwertfaktor	1,47	
B. Varianten							
		Bezeichnung					
B0	Variante 1	RLT-Anlage Schwimmbad - Variabl. Außenluftvolumenstrom					
B1	Variante 2	RLT-Anlage Schwimmbad - Wärmepumpensystem					
C. Kenngrößen							
		Variante 1	Variante 2				
C1	Bezugsfläche (Becken)	118	118			m ²	
C2	Personenzahl	44	44			P	
C3	spez. Heizwärmebedarf	312,2	-49,4			kWh/m ² a	
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	0%	0%			%	
C5	spez. Strombezug	0,00	337,29			kWh/m ² a	
C6	spez. CO ₂ -Emissionen	62,45	219,48			kg/m ² a	
D. Kapitalkosten							
		Variante 1	Variante 2				
D1	Investitionskosten (DIN 2700)	20.000	40.300			€	
D2	Zuschüsse/Erlöse		0			€	
D3	Eigenkapitaleinsatz	20.000	40.300			€	
D4	Kapitalkosten	1.706	3.437			€/a	
D5	spez. Kapitalkosten	14	29,13			€/m ² a	
E. mittl. Betriebskosten							
		Variante 1	Variante 2				
E1	Personal+Reinigungskosten	0	0			€/a	
E2	Wartung+Instandhaltung	500	1.008			€/a	
E3	Betriebsmittel	0	0			€/a	
E4	Stromkosten	0	6.509			€/a	
E6	Erdgaskosten	2.303	-364			€/a	
E7	heutige Betriebskosten	2.803	7.152			€/a	
E8	mittl. Betriebskosten	4.112	10.495			€/a	
E9	spez. Betriebskosten	34,85	88,94			€/m ² a	
F. Umweltfolgekosten							
		Variante 1	Variante 2				
F1	CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	368	1.295			€/a	
F2	Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0			€/a	
F3	Umweltfolgekosten	368	1.295			€/a	
F4	spez. Umweltfolgekost.	3	11			€/m ² a	
G. Gesamtkosten							
		Variante 1	Variante 2				
G1	Gesamtkosten	6.187	15.227			€/a	
G2	spez. Gesamtkosten	52,4	129,0			€/m ² a	
G2	Amortisationszeit (Basis: Variante 1)					a	
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)							

Anlage A.4.4 Gesamtkostenberechnung für WRG-System Lüftungsanlage „Aula“

1. Gesamtkosten						
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement						
A. Allgemeine Daten						
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Carl-Schurz-Schule				A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Aula				A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Holbeinstraße				A6 Haus-Nr.	2
A7 Betrachtungszeitraum	1 a	A8 Währung				
A9 Kapitalzins	3,3%	A10 Annuitätsfaktor			0,0	
A1 Preissteigerung	5%	A12 Mittelwertfaktor			1,4	
B. Varianten						
Bezeichnung						
B0 Variante 1	Lüftungsanlage Aula ohne WRG					
B1 Variante 2	Lüftungsanlage Aula mit WRG					
C. Kenngrößen						
	Variante 1	Variante 2				
C1 Bezugsfläche (Becken)	7.395	7.395				m ²
C2 Personenzahl	730	730				P
C3 spez. Heizwärmebedarf	5,1	2,3				kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	0%	0%				%
C5 spez. Strombezug	0,00	0,22				kWh/m ² a
C6 spez. CO2-Emissionen	1,03	0,61				kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug	0,00	0,00				m ³ /P a
D. Kapitalkosten						
	Variante 1	Variante 2				
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	10.600				€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0				€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	10.600				€
D4 Kapitalkosten	0	904				€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,12				€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten						
	Variante 1	Variante 2				
E1 Personal+Reinigungskosten	0	0				€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	0	265				€/a
E3 Betriebsmittel	0	0				€/a
E4 Stromkosten	0	266				€/a
E5 Wasserkosten	0	0				€/a
E6 Erdgaskosten	2.375	1.068				€/a
E7 heutige Betriebskosten	2.375	1.599				€/a
E8 mittl. Betriebskosten	3.485	2.347				€/a
E9 spez. Betriebskosten	0,47	0,32				€/m ² a
F. Umweltfolgekosten						
	Variante 1	Variante 2				
F1 CO2-Emissionen (50 €/to)	380	226				€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0				€/a
F3 Umweltfolgekosten	380	226				€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.		0				€/m ² a
G. Gesamtkosten						
	Variante 1	Variante 2				
G1 Gesamtkosten	3.865	3.477				€/a
G2 spez. Gesamtkosten	0,5	0,5				€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		9,7				a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)						

Anlage A.4.5 Gesamtkostenberechnung für Beckenwasseraufbereitungsanlage

1. Gesamtkosten							
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement							
A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	Carl-Schurz-Schule			A2	Unterab.	
A3	Gebäudebezeichnung	Schwimmhalle			A4	Str.-Nr.	
A5	Straße	Holbeinstraße			A6	Haus-Nr.	21
A7	Betrachtungszeitraum	15	a	A8	Währung	€	
A9	Kapitalzins	3,3%		A10	Annuitätsfaktor	0,09	
A11	Preissteigerung	5%		A12	Mittelwertfaktor	1,47	
B. Varianten	Bezeichnung						
B0	Istzustand	Sanierung Mehrschichtfilteranlage					
B1	Variante 1	Sanierung Vakkum-Anschwemmfilteranlage					
B2	Variante 2	Wie Var. 1 jedoch mit Sondermüllkosten für Aktivkohleentsorg.					
C. Kenngrößen		Istzustand	Variante 1	Variante 2			
C1	Bezugsfläche (Becken)	116	116	116		m ²	
C2	Personenzahl	27.600	27.600	27.600		P	
C3	spez. Heizwärmebedarf	433	217	217		kWh/m ²	
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	0%	0%	0%		%	
C5	spez. Strombezug	371,64	166,42	166,42		kWh/m ²	
C6	spez. CO2-Emissionen	339,34	156,48	156,48		kg/m ² a	
C7	spez. Trinkwasserbezug	0,08	0,04	0,04		m ³ /P a	
D. Kapitalkosten		Istzustand	Variante 1	Variante 2			
D1	Investitionskosten (DIN)	66.640	129.115	134.615		€	
D2	Zuschüsse/Erlöse		0	0		€	
D3	Eigenkapitaleinsatz	66.640	129.115	134.615		€	
D4	Kapitalkosten	5.684	11.012	11.481		€/a	
D5	spez. Kapitalkosten	49	94,93	98,98		€/m ² a	
E. mittl. Betriebskosten		Istzustand	Variante 1	Variante 2			
E1	Personal+Reinigungskosten	0	1.575	2.363		€/a	
E2	Wartung+Instandhaltung	1.000	1.937	2.019		€/a	
E3	Betriebsmittel	1.102	1.102	1.102		€/a	
E4	Stromkosten	7.051	3.157	3.157		€/a	
E5	Wasserkosten	7.798	3.899	3.899		€/a	
E5a	Entsorgungskosten			563		€/a	
E6	Erdgaskosten	3.140	1.570	1.570		€/a	
E7	heutige Betriebskosten	20.090	13.240	14.673		€/a	
E8	mittl. Betriebskosten	29.479	19.428	21.530		€/a	
E9	spez. Betriebskosten	254,13	167,48	185,60		€/m ² a	
F. Umweltfolgekosten		Istzustand	Variante 1	Variante 2			
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	1.968	908	908		€/a	
F2	Trinkwasser (1 €/m ³)	2.160	1.080	1.080		€/a	
F3	Umweltfolgekosten	4.128	1.988	1.988		€/a	
F4	spez. Umweltfolgekost.	36	17	17		€/m ² a	
G. Gesamtkosten		Istzustand	Variante 1	Variante 2			
G1	Gesamtkosten	39.290	32.427	34.999		€/a	
G2	spez. Gesamtkosten	338,7	279,5	301,7		€/m ² a	
G2	Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		5,7	7,7		a	
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)							