Energiekonzept

für
die Helene-Lange-Schule

Breuerwiesenstraße 4
65929 Frankfurt am Main

Im Auftrag des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt

Bearbeiter:

Ingenieurbüro Kitzerow
Dipl.-Ing. Hans-Gerhard Kitzerow
Dipl.-Ing. (FH) Peter Magyar

Mittelstr.10
65550 Limburg-Linter
06431-477337

2008

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4
2 Geschichte und bisherige Maßnahmen 4
3 IST-Zustand 5
3.1 Allgemeine Gebäudedaten 5
3.2 Energiebezugsfläche 5
3.3 Bauphysik 6
3.3.1 Hauptgebäude HLS 6
3.3.2 HG Verwaltungstrakt 7
3.3.3 Aula 8
3.3.4 Sporthalle 8
3.4 Anlagentechnik/Haustechnik (HT) 9
3.4.1 Raumheizung (H) HG, VW, Aula und Sporthalle 9
3.5 Wasserbereitung WW 10
3.6 Warmwasserbereitung 10
3.7 Lüftungsanlagen (L) 11
3.7.1 Lüftungsanlage HG 11
3.7.2 Lüftungsanlage Aula 11
3.7.3 Lüftungsanlage Sporthalle 12
3.8 Beleuchtung (B) 13
3.8.1 Beleuchtung HG 13
3.8.2 Beleuchtung Verwaltungstrakt 13
3.8.3 Beleuchtung Aula 14
3.8.4 Beleuchtung Sporthalle 15
3.8.5 Beleuchtung Zusammenfassung 16
3.9 Sonstige elektrische Verbraucher 16
3.9.1 Verbraucher Küche 16
3.9.2 Verbraucher Arbeitshilfen 16
3.9.3 Verbraucher Zentrale Dienste 17
3.10 Sanitär/Wasser (S) 17
4 Energiedaten 18
4.1 Verbräuche 18
4.2 Vergleich der Kennwerte mit den Klassengrenzen der EnEV 2007 21
4.2.1 Heizenergie 21
4.2.2 Strom 21
4.2.3 Wasser 21
4.3 Verträge 21
4.4 Lastgänge 21
4.4.1 Monatsprofile Strom 21
4.4.2 Monatsprofile Wärme 22
4.4.3 Monatsprofile Wasser 22
5 Leistungen und Verbräuche 24
5.1 Ergebnisse der Berechnungen Leistungs- und Verbrauchswerte 24
5.2 Leitfadenberechnung (LEH) 26
5.2.1 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie HG 26
5.2.2 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie HG mit VW und Aula 27
5.2.3 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie HLS Sporthalle 28
5.2.4 Zusammenfassung Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie 29
5.3 Leitfaden LEE 29
5.3.1 Beleuchtung 29
5.3.2 Lüftung 30
5.3.3 Pumpen 30
6 Maßnahmen 32
6.1 Optimierung der Energielieferverträge 33

6.1.1 Hausverwalterverträge 33
6.2 Verbesserung der Wärmedämmung....33
6.2.1 Austausch der Fenster im HG 33
6.2.2 Austausch der Fenster VW und Aula....34
6.2.3 Austausch der Fenster Sporthalle 34
6.2.4 Wärmedämmverbundsystem HG 34
6.2.5 Wärmedämmverbundsystem VW und Aula 34
6.2.6 Wärmedämmverbundsystem Sporthalle....35
6.2.7 Dachdämmung HG 35
6.2.8 Dachdämmung VW und Aula 35
6.2.9 Dachdämmung Sporthalle....35
6.2.10 Kellerdecke HG 35
6.2.11 Kellerdecke VW und Aula....35
6.2.12 Bodenplatte Sporthalle 36
6.3 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik 36
6.3.1 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik HG Passivhausanforderungen .36
6.3.2 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik HG, VW und Aula mit Passivhauskomponenten 39
6.3.3 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Sporthalle 42
6.4 Verbesserung der Regelungstechnik/Anlagentechnik....46
6.4.1 Gebäudeleittechnik 46
6.4.2 Heizungsverriegelung....46
6.4.3 Hydraulische Abstimmung der Heizkreise 46
6.5 Lüftung 46
6.5.1 Lüftung HG....46
6.5.2 Lüftung Aula....46
6.5.3 Lüftung Sporthalle 46
6.6 Pumpen....47
6.7 Beleuchtung 47
6.7.1 Beleuchtung HG....47
6.7.2 Beleuchtung Verwaltungstrakt....49
6.7.3 Beleuchtung HLS Sporthalle 51
6.7.4 Beleuchtung Aula 54
6.8 Verringerung Stand-by Verluste HG 54
7 Zusammenfassung....55
8 Verzeichnisse....56
8.1 Verzeichnis der Tabellen....56
8.2 Verzeichnis der Diagramme 56
8.3 Verzeichnis der Bilder 56

1 Einleitung

Wir erhielten vom Magistrat der Stadt Frankfurt Hochbauamt (Amt 65) den Auftrag, ein Energiekonzept für die Helene-Lange-Schule (HLS) zu erarbeiten. Der Endbericht spiegelt ein Jahr Untersuchungen wieder.

Die Gebäude liegen im Südwesten der Stadt Frankfurt im Stadtteil Höchst Neben dem eigentlichen Schulgebäude (Hauptgebäude) verfügt die HLS über eine Aula, die als Veranstaltungssaal (VW) genutzt wird. Ein Verwaltungstrakt verbindet das Hauptgebäude mit der Aula. Daneben existiert noch eine kleinere Sporthalle, die separat zu dem anderen Gebäude liegt.

Die Helene-Lange-Schule bildet zusammen mit der Leibnizschule und dem Friedrich-Dessauer-Gymnasium einen Schulverbund. Der Unterricht an der HLS wird in den Klassenstufen 5-10 gegeben.

Die Sporthalle wird von der HLS sowie durch verschiedene Vereine genutzt.

Für die bauliche Unterhaltung des Gebäudes ist das Hochbauamt der Stadt Frankfurt zuständig.

Die Stadt Frankfurt dokumentiert seit 1995 die Verbräuche der öffentlichen Liegenschaften. Für die Helene-Lange-Schule liegen die Daten nur teilweise vor, weil durch die ungünstige Lage der Zählerplätze keine regelmäßige Energiedatenerfassung vorgenommen wurde.

2 Geschichte und bisherige Maßnahmen

Beide Gebäude werden über die gemeinsame Heizzentrale mit Erdgas aus dem Mainova-Netz versorgt.

Im Jahr 2006 und 2007 wurden die Fenster des Hauptgebäudes der HLS auf der Süd-, der Ost- und teilweise der Nordseite gegen neue Fenster mit Wärmeschutzverglasung ausgetauscht. Das Dach der Sporthalle wurde Anfang 2007 saniert.

Die Beleuchtung im Hauptgebäude und im Verwaltungstrakt wurde in den letzten Jahren zum Teil ausgetauscht.
Die Heizungsanlage wurde im Jahr 2003 komplett saniert.

3 IST-Zustand

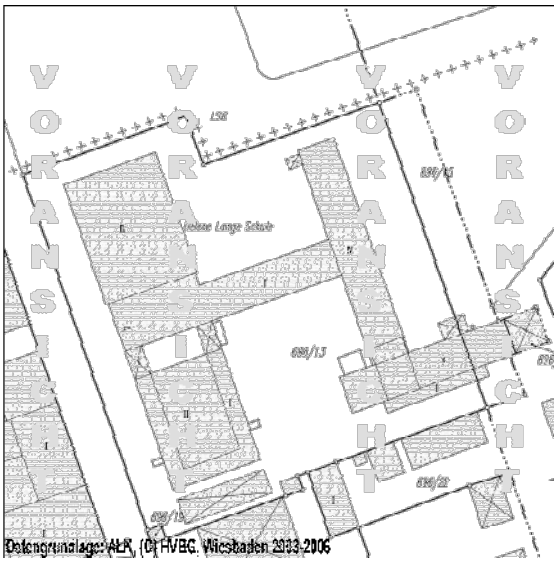
3.1 Allgemeine Gebäudedaten

Das HLS besteht aus einem Hauptgebäude - im folgenden „HG“ genannt - aus dem Jahr 1965, die durch Luftverbund mit dem Verwaltungstrakt und der Aula verbunden ist sowie der Sporthalle ebenfalls aus dem Jahr 1965.
Gemäß dem Hessischen Leitfaden für Energiebewusste Gebäudeplanung im Hochbau (LEH) sind einzelne Gebäude getrennt zu untersuchen. Daher wurde der Wärmebedarf für das HG, zum anderen zusammengefasst für das HG, VW und der Aula sowie einmal für die Sporthalle getrennt ermittelt und für die Gesamtbilanz Endenergiezahl HG, VW, Aula und „Sporthalle“ teilweise wieder gewichtet zusammengefasst, da beide Bauteile an einer gemeinsamen Wärmeversorgung angeschlossen sind. Diese lässt sich nicht sinnvoll abgrenzen, da keine Wärmemengenzähler für die einzelnen Gebäudeteile installiert sind.

Bild 1 gibt einen Überblick, Bild 2 zeigt den Lageplan.

Bild 1 Luftbild HLS

Bild 2 Lageplan



3.2 Energiebezugsfläche

Die Nettogrundfläche und die Energiebezugsfläche (EBF) wurde aus Netto(Innen)maßen aus den Plänen ermittelt.

Das Hauptgebäude der HLS hat eine Nettogrundfläche (inkl. Keller) von:	5.374 m^2
Das Hauptgebäude der HLS inklusive Aula und Verwaltungstrakt hat eine Nettogrundfläche von (ink. Keller):	7.927 m^2
Die Sporthalle der HLS hat eine Nettogrundfläche von:	518 m^2
Alle Gebäude zusammen besitzen eine Nettogrundfläche von:	8.446 m^2
Das Hauptgebäude der HLS hat eine Energiebezugsfläche (ohne Keller) von:	5.137 m^2
Das Hauptgebäude der HLS inklusive Aula und Verwaltungstrakt hat eine Energiebezugsfläche von (ohne Keller):	7.179 m^2
Davon hat der Verwaltungstrakt einen Anteil von:	586 m^2
Die Aula hat einen Anteil von:	1.219 m^2

Die Sporthalle der HLS hat eine Energiebezugsfläche von: 518 m^2

Alle Gebäude zusammen besitzen eine Energiebezugsfläche von: 7.698 m^2

Das Gebäudevolumen

Das Hauptgebäude der HLS hat ein Volumen von: 15.179 m^3
Das Hauptgebäude der HLS inklusive Aula und Verwaltungstrakt hat ein Volumen von: 21.537 m^3
Die Sporthalle der HLS hat ein Volumen von 1.934 m^3

Alle Gebäude zusammen besitzen Volumen von: 23.471 m^3

Die erste Ortsbegehung fand im Zusammenhang mit dem Start up -Termin des Energiegutachtens am 15.03.07 statt. Im Rahmen des Start up -Termins wurden die offensichtlichen Mängel des Gebäudes seitens der Schulleitung und der Hausverwalter zur Kenntnis gegeben.
Insgesamt fanden bis zum Zwischenbericht am 15.02.08 noch 5 weitere Ortstermine statt, um möglichst viele Daten der Gebäude zu erfassen und Betriebszustände bei unterschiedlichen Temperaturen aufzunehmen.

3.3 Bauphysik

3.3.1 Hauptgebäude HLS

Das vierstöckige Gebäude zeigt wie die meisten Gebäude aus den 60-er Jahren fast die gesamte Palette möglicher energetischer Baumängel.

- Wärmebrücken im Bereich der Betondecken und Stützen.
- Wärmebrücken an thermisch nicht entkoppelte Aluminiumrahmen und Anschlüssen (durch Sanierung teilweise inzwischen entschärft)
- Teilweise noch Einfachverglasung an Flurfenstern (Glasbausteine) und Außentüren (ist inzwischen saniert worden)
- Zentimeterbreite Spalte an Außentüren, insbesondere an den unteren Abschlüssen (ist inzwischen saniert worden)

Bild 3 Stahlstütze als Wärmebrücke

Eine weitere Wärmebrücke stellen die Stahlstützen auf der Ostseite dar. Diese sind in Bild 2 dargestellt.

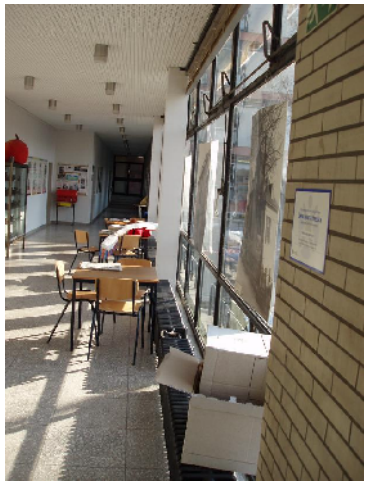
Die Aussenwände bestehen aus Vollsteinen (Mauerwerk), die Oberflächen sowohl der Außen und der Innenwände im Hauptgebäude sind teilweise unverputzt. Die Fassaden sind in dem folgenden Bild 3 und 4 fotographiert.

Bild 4 Außenfassade West HLS HG und Bild 5 Außenfassade Ost HLS HG

3.3.2 HG Verwaltungstrakt

Das einstöckige Gebäude stammt ebenfalls aus dem Jahr 1965. Der Verwaltungstrakt verbindet das eigentliche Schulgebäude und die Aula inkl. Foyer. Die Fassaden sind in dem folgenden Bild 5 und 6 dargestellt.

Bild 6 Außenfassade Nord VW HG und Bild 7 Innenansicht VW



Das Gebäude zeigt wie die meisten Gebäude aus den 60-er Jahren verschiedene energetische Baumängel auf.

- Der gesamte Wärmeschutz entspricht nicht mehr dem Stand der Technik
- Boden und Dach haben eine ungenügende Dämmung

Die Fenster wurden im letzten Jahr ausgetauscht und besitzen einen U_g-Wert von 1,1 W/m^2*K.

3.3.3 Aula

Das Gebäude stammt ebenfalls aus dem Jahr 1965. Die Aula kann durch den Verwaltungstrakt betreten werden und verfügt zusätzlich über einen separaten Eingang. Die Aula soll aus statischen Gründen nicht mehr genutzt werden, allerdings finden trotzdem einzelne Veranstaltungen statt. Die Fassaden zeigt Bild 7.
Die Oberflächen der Wände verfügen über wenig Masse. Das Gebäude ist auf der Ost- und Westseite in Stahlbetonskelettbauweise ausgeführt, die Nord- und Südseite bestehen überwiegend aus Mauerwerk. Die Ostseite der Aula sowie das Foyer im Süden und Norden bestehen noch aus Einfachverglasung.

Bild 8 Außenansicht Ost Aula und Bild 9 Außenansicht West Aula

Das Gebäude zeigt wie die meisten Gebäude aus den 60-er Jahren fast die gesamte Palette möglicher energetischer Baumängel.

- Der gesamte Wärmeschutz entspricht nicht dem Stand der Technik. Kellerdecken und Dach sind unzureichend gedämmt
- Großflächige Einfachverglasungen
- Zentimeterbreite Spalte an Außentüren, insbesondere an den unteren Abschlüssen

Auffällig ist auch die durchgängige Beleuchtung mit klassischen Glühlampen.

3.3.4 Sporthalle

Das Gebäude stammt ebenfalls aus den 60-er Jahren. Das Gebäude ist baulich getrennt von den anderen Gebäuden. Das Dach wurde im Jahr 2007 saniert und neu gedämmt. Die Fassaden zeigen Bild 9 und 10.

Bild 10 Ansicht Sporthalle und Bild 11 Außenansicht West Aula

3.4 Anlagentechnik/Haustechnik (HT)

3.4.1 Raumheizung (H) HG, VW, Aula und Sporthalle

Alle Räume im Hauptgebäude und im Verwaltungstrakt, in der Aula sowie die Nebenräume der Sporthalle werden durch statische Heizkreise versorgt. Die statischen Heizkreise versorgen über eine Außentemperatur geführte Vorlauftemperaturregelung die einzelnen Räume mit Wärme.
In den Klassenräumen der HLS erfolgt die Wärmeübergabe über Konvektoren. Die Heizkörper haben überwiegend ältere Thermostatventile. Da die meisten Ventile nicht entsprechend fein eingedrosselt sind und nicht hydraulisch genau berechnet und abgestimmt wurden, werden meist keine gleichmäßigen Raumtemperaturen erreicht.

Die Heizzentrale befindet sich im Kellergeschoss des Hauptgebäudes des HG. Es sind zwei Heizkessel vorhanden. Diese werden mit Erdgas aus dem Mainova-Netz versorgt. Ein Kessel ist als Brennwertkessel ausgeführt, der andere ist ein konventioneller NT-Kessel. Die Heizungsanlage ist 2003 saniert worden.
Kessel 1 steuert die Turnhalle, Aula, die Verwaltung, Sonderklasse und die Flure/WC. Kessel 2 steuert die Normalklassen und die WW-Bereitung. Die gesamte Leistung beträgt rund 1.000 kW.
Die Warmwasserbereitung wird mittels einen indirekt beheizten 300 Liter-Speicher sichergestellt. (2007 vom Heizraum in die Sporthalle verlegt).

Die Kesseldaten:

Kessel 1:

Hersteller:	Buderus Logano plus SB 615
Baujahr:	2003
Leistung:	467,9 KW
Typ:	Brennwertkessel
Brenner:	Weißhaupt Monarch G5/1-b
Brennerleistungbereich:	160-830 KW

Kessel 2:

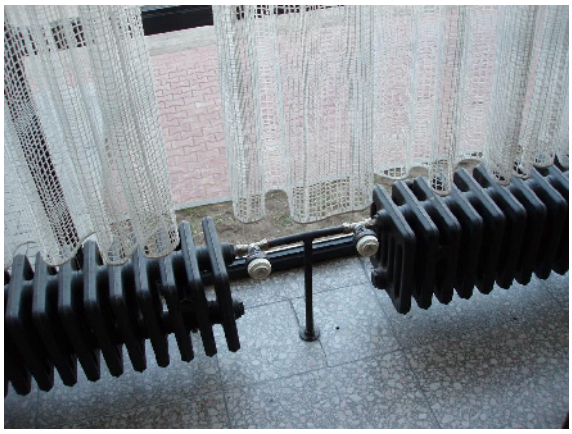
Hersteller:	Buderus Logano SK 625
Baujahr:	2003
Leistung:	411-530 KW

Typ:	Niedertemperaturtkessel
Brenner:	Weißhaupt Monarch
Brennerleistungbereich:	20-1000 KW

Bild 12 Brennwertkessel und Niedertemperatur

Die Sporthalle wird über die Lüftungsanlage beheizt. Ebenso verfügen die Lüftungsanlagen der Sonderklassenräume im HG, der Chemieräume im HG sowie die Aula über ein Heizregister. Alle Nebenräume und Nutzflächen werden durch Heizkörper beheizt. Ausnahmen bilden hiervon die Kriechkeller, welche unbeheizt sind sowie die Technikräume.

Bild 13 und Bild 14 Heizkörper HG Bücherei und Heizkörper Flur HG



Viele Heizkörper sind vor Glasflächen angeordnet und verfügen nicht über einen Strahlschutz (Bild 12 und 13)

3.5 Wasserbereitung WW

3.6 Warmwasserbereitung

Die Sporthalle verfügt über einen 300 Liter Boiler, der Sollwert beträgt rund 50 °C. Bei der Begehung betrug die Speichertemperatur 50 °C. Die Boiler werden über die Heizkessel mit einer Ladepumpe (NT-Pumpe: Grundfoß 25-60 B mit einer Leistung von 40-65-90 W) geladen. Die Ladepumpe läuft von ca. 6 Uhr bis 22.00 Uhr.

Die Zirkulationspumpe läuft über eine Zeitschaltuhr (ausgeschaltet 22-6 Uhr).

Eingebaut ist eine Grundfoß 25-60 B mit einer Leistung von 40-65-90 W.

Im Rahmen der Legionellenvorsorge wird durch die Steuerung einmal täglich die Temperatur auf 65°C erhöht und alle Leitungen gespült.

3.7 Lüftungsanlagen (L)

3.7.1 Lüftungsanlage HG

Im Schulgebäude der HLS gibt es Zu- und Abluftanlagen in den Sonderklassen und den Chemieräumen und Abluftanlagen in den Fluren, Foyers und den WC`s. Die Lüftungsanlage ist ohne Wärmerückgewinnung, die Zuluftanlagen verfügen über Heizregister. Die installierte Leistung im Zuluftbereich beträgt zusammen 0,4 kW in der Zuluft und 0,4 kW in der Abluft. Die Betriebsstunden betragen etwa 1000 h. Es wird ein Volumenstrom von rund 1000 m^3/h in der Zuluft gefördert und rund 1000 m^3/h in der Abluft gefördert.
Die Anlage im HG HLS wird gesteuert über eine Siemens DDC-Steuerung (Landis& Staefa PRU 10.64). Die Anlage entspricht noch dem Stand der Technik.

Bild 15 Lüftungsanlage Naturwissenschaftliche Räume HG

3.7.2 Lüftungsanlage Aula

Die Aula verfügt über eine Lüftungsanlage (Zu- und Abluft). Die Lüftungsanlage ist ohne Wärmerückgewinnung, die Zuluftanlage verfügt über ein Heizregister. Die technischen Daten der Anlage sind nicht bekannt, da die Typenschilder der Lüftungsanlage während der Begehung nicht zu finden waren. Aufgrund der Optik des Gerätes sowie den Abmessungen muss davon ausgegangen werden, dass die Anlage noch die Originalanlage aus den 60-er Jahren ist und daher zeitgemäß deutlich überdimensioniert ist.

Die installierte Leistung im Zuluftstrang zur Aula wurden mit 4 kW in Stufe 1 und 7 KW in Stufe 2 abgeschätzt. Die Betriebsstunden betragen etwa 1.000 h in Stufe 1 und 500 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 8.000 m^3/h in der Zuluft gefördert.

Die Betriebsstunden hängen deutlich von der zukünftigen Nutzung der Aula ab. Momentan ist die Aula nach unseren Informationen aus statischen Gründen gesperrt.

3.7.3 Lüftungsanlage Sporthalle

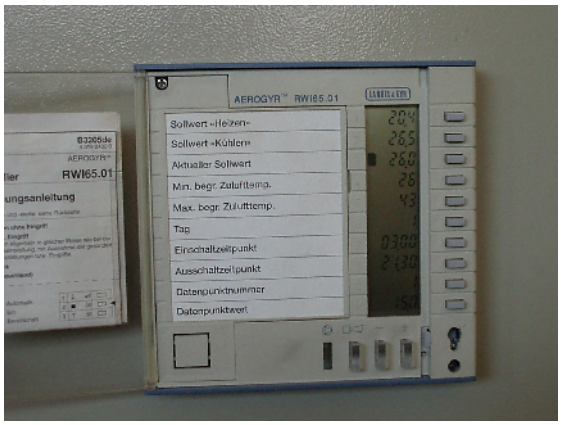
Die Sporthalle verfügt über eine Lüftungsanlage (Zu- und Abluft, Bild 15 und 16). Die Lüftungsanlage ist ohne Wärmerückgewinnung, die Zuluftanlage verfügt über ein Heizregister. Die technischen Daten der Anlage sind nicht bekannt, Typenschilder sind nicht ersichtlich, Unterlagen liegen uns nicht vor.

Die installierte Leistung im Zuluftstrang zur Aula haben wir mit 2 kW in Stufe 1 und 4 KW in Stufe 2 abgeschätzt. Die Betriebsstunden betragen etwa 2.000 h in Stufe 1 und 1.000 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 5.000 m^3/h in der Zuluft gefördert.

Bild 16 und Bild 17 Lüftungsanlage Sporthalle

Geregelt wird die Lüftungsanlage über eine Steuerung von Landis & Gyr (Bild 17). Die Soll-Lufttemperatur beträgt 20°C. Die minimale Zulufttemperatur beträgt 26°C, die maximale Zulufttemperatur 43°C. Die Einschaltzeit ist 3.00 Uhr, die Ausschaltzeit 21.30 Uhr.

Bild 18 Regelung Lüftungsanlage



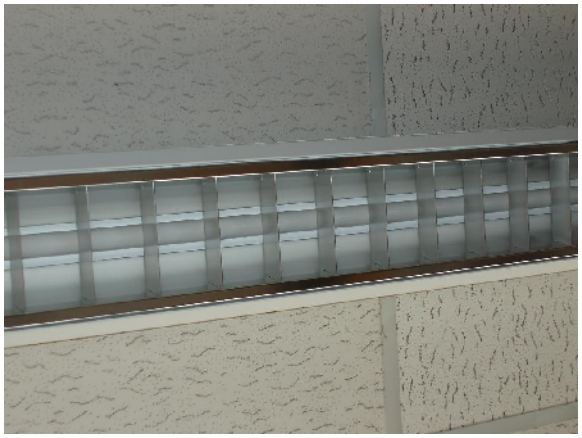
3.8 Beleuchtung (B)

3.8.1 Beleuchtung HG

Die Beleuchtung besteht im Hauptgebäude der HLS gröstenteils aus Anbauleuchten mit verspiegelten Reflektoren und einflammigen Leuchtmitteln. Die Standardbestückung sind Leuchten in Standard Weiß mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) für die eine Verlustleistung von jeweils 13 W anzusetzen ist. Die Länge der Kombilampen beträgt 150 cm. Teilweise sind auch noch ältere Anbauleuchten mit 4 x 18 W in den Klassenräumen vorhanden.

In den Räumen ist überwiegend eine Leuchtenleistung von 10 bis 13 W/m^2 installiert. Die installierte Leistung liegt weit über den heutigen Richtwerten, die bei 300 Lux max. 7,5 W/m^2 vorsehen. Unter den momentanen Randbedingungen ist hier eine unter den angenommenen Randbedingungen wirtschaftlicher Leuchtenaustausch noch nicht möglich (vgl. auch Maßnahmen).

Bild 19 und Bild 20 HLS HG Leuchten



In den Sanitärbereichen sind überwiegend Leuchten mit 1 x 58 W Leuchtstofflampen installiert. Die installierte Leistung liegt hier zwischen rund 6 bis 10 W/m^2.

In den Fluren besteht über eine zentrale Steuerung im Hausmeisterbüro die Möglichkeit die Leuchten abzuschalten. Allerdings erfolgt das spontan, so daß kein Außenlichtanteil berücksichtigt wird. In den Fluren (100 Lux) und Treppenhäusern beträgt die installierte Leistung zwischen 4,4 und 6,2 W/m^2. Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m^2 und als Zielwert 2 W/m^2 angestrebt.

3.8.2 Beleuchtung Verwaltungstrakt

Die Beleuchtung in den Verwaltungsräumen besteht aus Anbauleuchten mit Leuchtmittel a 1 x 58 und 2 x 58 W mit KVG. Teilweise sind auch Leuchten mit 4 x 18 W und KVG installiert. Im Flur sind Leuchtmittel mit Glühlampen a 1 x 60 W installiert.

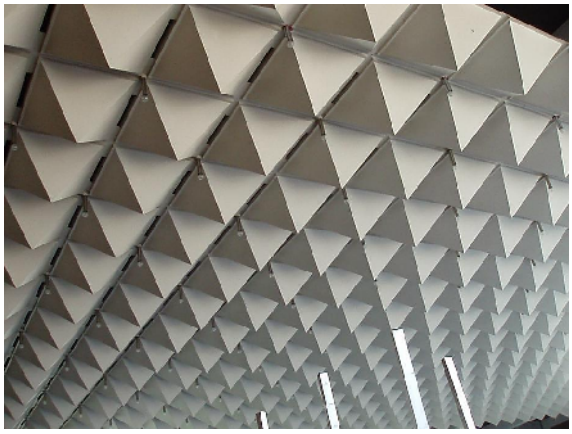
Bild 21 HLS Verwaltung und Bild 22 Sekretaraiat und Flur

In den Räumen ist bedingt durch die unterschiedliche Bestückung eine Leuchtenleistung von 10 bis 19 W/m^2 installiert. In den Sanitärbereichen sind überwiegend Anbauleuchten installiert, die installierte Leistung beträgt ca. 10 W/m^2.
Im Flur werden die Leuchten per Hand eingeschaltet. Der Außenlichtanteil ist mäßig. Die installierte Leistung beträgt ca. 2,7 W/m^2.
Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m^2 und als Zielwert 2 W/m^2 angestrebt.

3.8.3 Beleuchtung Aula

Die Beleuchtung in der Aula besteht aus einzelnen Glühlampen (Bild 22). Es sind insgesamt 195 Lampen a 60 W eingebaut. Die Anordnung besteht aus 26 Reihen mit abwechselnd 7 und 8 Lampen pro Reihe. Die installierte spezifische Leistung beträgt 16,3 W/m^2.

Bild 23 HLS Aula



Die Beleuchtung im Foyer der Aula (Bild 23) besteht aus einzelnen Glühlampen. Es sind insgesamt 90 Lampen a 60 W eingebaut. Die installierte spezifische Leistung beträgt 17,2 W/m^2.

Bild 24 HLS Foyer

.

3.8.4 Beleuchtung Sporthalle

Die Beleuchtung in der Sporthalle besteht aus Einbauleuchten mit Leuchtstofflampen. Es sind insgesamt 80 Lampen in 40 Leuchtmittel a 2 x 58 W mit KVG eingebaut. Die Anordnung besteht in 4 Reihen a 10 Leuchten.

Bild 25 HLS Sporthalle-Leuchten

In den Duschen und Umkleideräumen der Sporthalle sind Leuchten mit 1 x 58 W und 2 x 58 W und KVG bestückt.

In den Umkleideräumen und Nassräumen ist bedingt durch die unterschiedliche Bestückung eine Leuchtenleistung von 7 bis 9 W/m^2 installiert. In den Sanitärbereichen sind überwiegend Anbauleuchten installiert, die installierte Leistung beträgt ca. 18-22 W/m^2.
In den Fluren werden die Leuchten per Hand eingeschaltet. Der Außenlichtanteil ist gering.
In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung ca. 18-20 W/m^2.
Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m^2 und als Zielwert 2 W/m^2 angestrebt.

Bild 26 Leuchte Sporthalle Flur

3.8.5 Beleuchtung Zusammenfassung

Insgesamt sind etwa 1091 Leuchten installiert. Die durchschnittliche spezifische Leistung ist mit rund 15,5 W/m^2 in der Sporthalle und 13,4 W/m^2 in der Aula deutlich zu hoch. Die weiteren spezifischen Leistungen bewegen sich bei etwa 8,5-10 W/m^2. Im Durchschnitt aller Gebäude ist eine spezifische Leistung von knapp 11 W/m^2 installiert. Die Betriebsstunden betragen im Durchschnitt aller Gebäude etwa 500 h. Bedingt durch die Vereinsnutzung in den Abendstunden sind die Betriebsstunden in der Sporthalle am höchsten. Die Daten zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1 Übersicht Leuchten

Beleuchtung Aufteilung

	m^2	W	W/m^2
Sporthalle	519	8023	15,5
Verwaltung	586	4993	8,5
Aula	1914	25684	13,4
Hauptgebäude	5427	53143	9,8

3.9 Sonstige elektrische Verbraucher

3.9.1 Verbraucher Küche

Zum Bereich Küche gehören der Kühlschrank, Mikrowelle sowie die beiden Kaffeemaschinen Die installierte Leistung beträgt 4,2 kW, der jährliche Verbrauch rund 620 kWh.

3.9.2 Verbraucher Arbeitshilfen

Hier sind mehrere Arbeitshilfen (AH) vorhanden wie Server, PC Monitore, PC, Drucker, Kopierer. Insgesamt beträgt die installierte Leistung rund 6,5 kW im Maximum, der jährliche Verbrauch beträgt rund 11650 kWh.

3.9.3 Verbraucher Zentrale Dienste

Unter die Zentrale Dienste (ZD) fallen die Abwasserhebeanlage und die Außenbeleuchtung. Insgesamt beträgt die installierte Leistung rund 1,4 kW im Maximum, der jährliche Verbrauch beträgt rund 3452 kWh.

3.10 Sanitär/Wasser (S)

In den diversen Hauptgebäuden sind mehrere Toilettenanlagen, die überwiegend als bodenstehende Flachspüler ausgestattet sind. Bei den Tiefspülern sind die meisten (Stichprobe) auf 9 l Wassermenge eingestellt.
In der Turnhalle befinden sich ca. 2 WC`s mit zusammen 4 Toilettenanlagen.

Es gibt kein getrenntes Trinkwasser-Brauchwassernetz.

Die diversen Waschbecken verfügen nicht über einstellbare Druckspüler mit mechanischer Zeitabschaltung.

Die 8 Duschen sind überwiegend alte Beckenanlagen ohne Spararmatur und Stoptaste.

4 Energiedaten

4.1 Verbräuche

Für die letzten sechs Abrechnungsperioden von Erdgas sowie der letzen zwei Abrechnungsperioden von Strom und Wasser liegen die Verbrauchswerte bzw. Abrechnungen vor. Es gibt zwei Stromzähler, allerdings ist die Aufteilung der Stränge nicht eindeutig, so dass der Stromverbrauch über beide Zähler zusammengefasst wurde.
.
Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für

Strom 12,9 kWh/m^2*a

Die installierte Leistung
von 113 kW führt zu 967 Benutzungsstunden
(Der Richtwert beträgt 2000h)

Wärme 191 kWh/m^2*a

Die installierte Leistung
von 997 kW führt zu 1617 Benutzungsstunden
(Der Richtwert beträgt 1500- 2000h)

Die Energiedaten zeigen für den Wärmeverbrauch dringenden Handlungs-/Sanierungsbedarf!

Der Wasserverbrauch liegt bei rund 12 l/Pers,d. Auf die Fläche bezogen beträgt der Kennwert rund 105 Liter/m^2*a. Damit liegt dieser Wert unter dem Durchschnitt bei vergleichbaren Gebäuden,
der Mittelwert für Gymnasien beträgt nach ages, Gertec rund 171 Liter/m^2*a.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Verbräuche und Kosten für Strom und Gas, Wasser der Jahre 2002-2007. Deutlich ist in Kosten (Tabelle 2) bereits eine Entlastung durch die begonnenen Wärmeschutzmaßnahmen zu erkennen. Die zeigen auch die Verbräuche in Tabelle 3.

Tabelle 2 Energiekosten 2006-2007

Kosten pro Jahr				
	Strom	Gas	Kanal	Wasser
	Summe	Summe	Summe	Summe
	EUR/a	EUR/a	EUR/a	EUR/a
Mittelwert	15.974	67.793	1.690	2.115
Anteil an EK	18%	77%	2%	2%
2002				
2003				
2004				
2005				
2006	15.200	77.741	1.443	1.805
2007	16.748	57.845	1936	2.426

Diagramm 1 Energiekosten und Verteilung 2006-2007

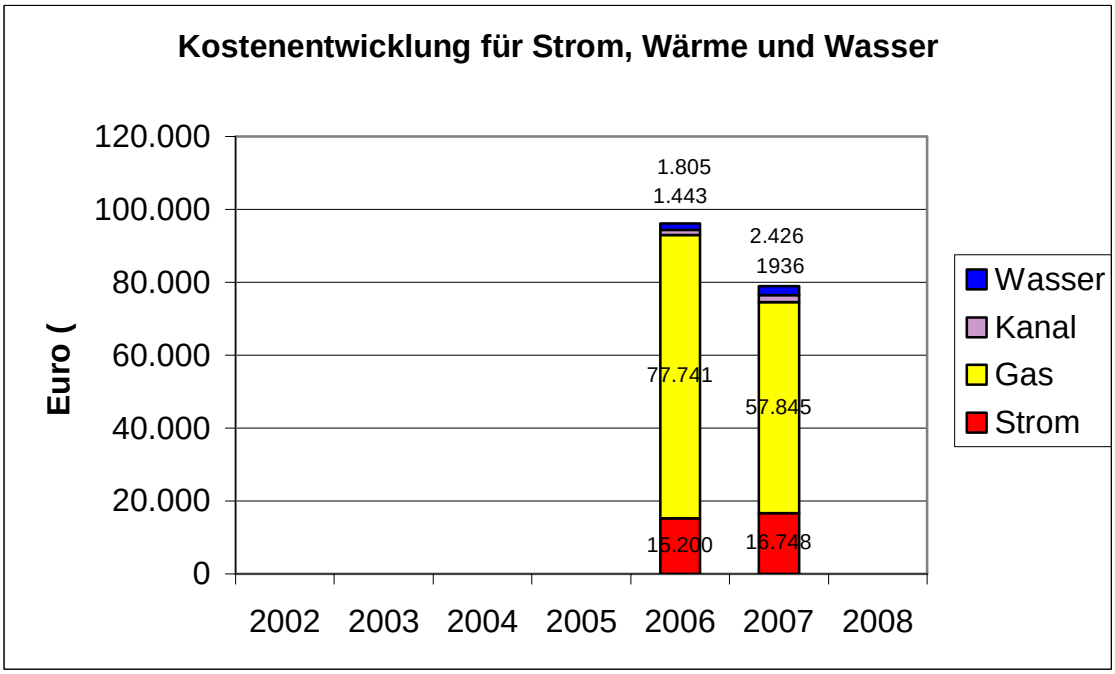


Tabelle 3 Energieverbräuche von 2002-2007

Verbräuche pro Jahr EBF	HT Links	NT Rechts	Leistung Summe	Strom Summe	Gas Summe	Kanal Summe	Wasser Summe
	kWh	kWh	kW	kWh	kWh	m3	m^3
Mittelwert	38.700	70.600	0	109.300	1.612.199	820	893
2002					602.399		
2003					2.052.378		
2004					2.516.908		
2005					1.613.186		
2006	38.700	70.600		109.300	1.731.430	820	893
2007	34.800	80.700		115.500	1.156.894	1.100	1.201

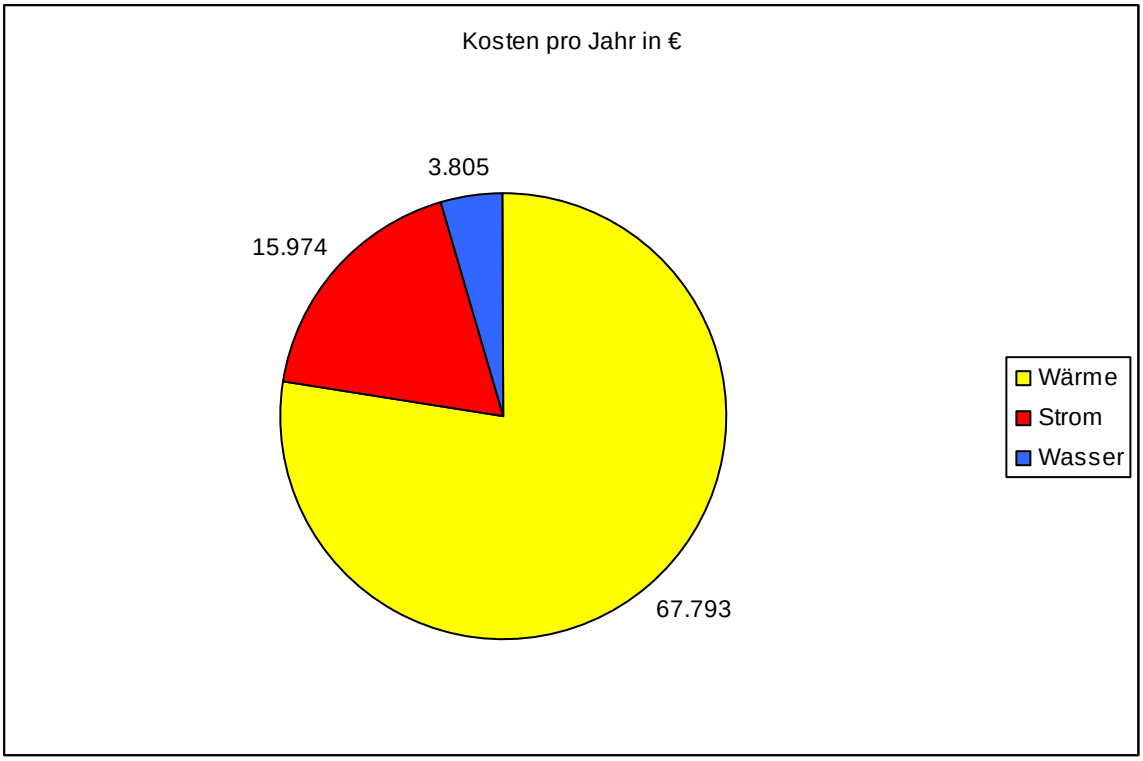
Tabelle 4 Spezifische Energiekosten

spezifische Preise	HT Summe ct/kWh	NT Summe ct/kWh	Leistung Summe EUR/kW,a	Strom Summe ct/kWh	Gas Summe ct/kWh	Kanal Summe EUR/m^3	Wasser Summe EUR/m^3
2006				13,91	4,49	1,76	2,02
2007				14,50	5,00	1,76	2,02

Die spezifischen Kosten für Gas und Strom steigen von 2006 bis 2007 kontinuierlich an. Der Wasserpreis bleibt im Abrechnungszeitraum konstant (Tabelle 4).

Für Energie und Wasser mussten im Mittel rund 87.500 €/a aufgewandt werden. Diagramm 2 zeigt die Kostenaufteilung zwischen den Verbrauchern für Wasser, Gas und Strom als Mittelwert der letzten 2 Jahre.
Der größte Teil davon entfällt auf die Wärme mit rund 67 T€ pro Jahr. Der Strombezug kostet rund 16 T€ pro Jahr. Daran gemessen sind die Wasserkosten mit rund 4 T€ pro Jahr eher untergeordnet.

Diagramm 2 Kostenaufteilung Energie



Die Verbräuche besitzen keine eindeutige Tendenz. Insbesondere der Gasverbrauch 2002 erscheint unplausibel und sollte nochmals überprüft werden (Wert basiert auf Angaben der Stadt Frankfurt). Der Gasverbrauch 2007 ist deutlich geringer als die Verbräuche von 2003-2006. Dies liegt nach bisherigem Kenntnisstand an dem Einbau der neuen Fenster im 2006 und 2007 im Hauptgebäude und des Verwaltungstraktes. Zusätzlich wird die Aula im Regelfall momentan nicht genutzt.

4.2 Vergleich der Kennwerte mit den Klassengrenzen der EnEV 2007

4.2.1 Heizenergie

BZK	Bauwerkszuordnung	Anzahl Werte	Untergrenzen der Klassen (kWh/m²a)							Vergleichswerte EnEV (kWh/m²a)	(kWh/m²a)
			A	B	C	D	E	F	G	<=3.500 m²	>3.500 m²
4140	Gymnasien	206	0	91	109	123	145	170	222	125	125

Die spezifische Verbrauchskennwert für die Heizenergie beträgt im Mittel der letzten 6 Jahre rund 191 kWh/m^2*a. Der Kennwert für die Klassengrenze F für Gymnasium beträgt 170 kWh/m^2*a, d. h., die HLS fällt n die zweitschlechteste Stufe F der Einordnung nach der EnEV 2007 und liegt deutlich über dem Durchschnitt von 125 kWh/m^{2}a.

4.2.2 Strom

BZK	Bauwerkszuordnung	Anzahl Werte	Untergrenzen der Klassen (kWh/m²a)							Vergleichswerte EnEV (kWh/m²a)	(kWh/m²a)
			A	B	C	D	E	F	G	<=3.500 m²	>3.500 m²
4140	Gymnasien	202	0,0	9,8	12,0	14,3	16,2	21,7	26,2	15	15

Die spezifische Verbrauchskennwert für Strom beträgt im Mittel der letzten 2 Jahre rund 12,9 kWh/m^2*a. Der Kennwert für die Klassengrenze C für Gymnasium beträgt 12 kWh/m^2*a, d. h., die SHS fällt in die drittbeste Stufe C der Einordnung nach der EnEV 2007 und unterschreitet auch den Durchschnitt von 15 kWh/m^{2}a.

4.2.3 Wasser

BZK	Bauwerkszuordnung	Anzahl Werte	Untergrenzen der Klassen (l/m²a)							Mittelwert (l/m²a)
			A	B	C	D	E	F	G	
4140	Gymnasien	146	0	63	122	138	155	203	303	179

Die spezifische Verbrauchskennwert für Wasser beträgt im Mittel der letzten 2 Jahre rund 105 Liter/m^2*a. Damit liegt der Kennwert noch in der zweitbesten Klasse B. Der Mittelwert aller Gebäude liegt bei 179 Liter/m^2*a, der Wasserverbrauchskennwert der HLS liegt damit deutlich unter dem Mittelwert.

4.3 Verträge

Es gelten die Rahmenverträge der Stadt Frankfurt.
.

4.4 Lastgänge

4.4.1 Monatsprofile Strom

Monats- bzw. Tagesprofile liegen für die Jahre 2005-2007 vor.
In der Auswertung der Tagesprofile und Monatsprofile für den gesamten Strombereich (Zähler links und rechts) zeigt sich, dass die durchschnittlichen Tagesverbräuche ca. 450 kWh/d in den Wintermonaten betragen. In den Sommermonaten beträgt der durchschnittliche Tagesverbrauch rund 200 kWh, in den jeweiligen Ferienmonaten (z.B. Juli) ist kein expliziter Trend zu erkennen. Dass spricht dafür, dass einige Verbraucher ganzjährig durchlaufen. An den Wochenenden (Samstag und Sonntag fallen die Tageswerte auf im Mittel rund 200 kWh/d in den Wintermonaten und 100 kWh/d in den Sommermonaten ab.

In der Auswertung der Tagesprofile und Monatsprofile für den Stromzähler links zeigt sich, dass die durchschnittlichen Tagesverbräuche ca. 150 kWh/d in den Wintermonaten betragen. In den Sommermonaten beträgt der durchschnittliche Tagesverbrauch rund 75 kWh. In den jeweiligen Ferienmonaten (z.B. Juli) ist kein expliziter Trend zu erkennen, dass spricht dafür, dass einige Verbraucher ganzjährig durchlaufen. An den Wochenenden (Samstag und Sonntag fallen die Tageswerte auf im Mittel rund 130 kWh/d in den Wintermonaten (Januar, Februar und März) ab, wobei ein deutlicher Unterschied besteht zu den niedrigeren Werten in der Periode Oktober-Dezember. In den Sommermonaten beträgt der tägliche Stromverbrauch rund 40 kWh/d an den Wochenenden.
Die relativ geringen Unterschiede im Vergleich der Werktage zu den Wochenenden sprechen dafür, dass dieser Stromzähler die Sporthalle abdeckt.

In der Auswertung der Tagesprofile und Monatsprofile für den Stromzähler rechts zeigt sich, dass die durchschnittlichen Tagesverbräuche ca. 250 kWh/d in den Wintermonaten betragen. In den Sommermonaten beträgt der durchschnittliche Tagesverbrauch rund 125 kWh. In den jeweiligen Ferienmonaten (z.B. Juli) ist kein expliziter Trend zu erkennen, dass spricht dafür, dass einige Verbraucher ganzjährig durchlaufen. An den Wochenenden (Samstag und Sonntag fallen die Tageswerte auf im Mittel rund 100 kWh/d in den Wintermonaten. In den Sommermonaten beträgt der tägliche Stromverbrauch rund 90 kWh/d an den Wochenenden, ein signifikanter Unterschied zu den Wintermonaten ist nicht zu erkennen.

4.4.2 Monatsprofile Wärme

Monats- bzw. Tagesprofile liegen für die Jahre 2005-2007 vor. Die Spitzen Monatsverbräuche werden im Dezember und Januar mit bis zu 311 MWh erreicht, meistens liegen die Spitzenwerte bei rund 250 MWh, wobei 2007 die Verbräuche deutlich reduziert werden konnten.
In den Sommermonaten werden noch rund 10-15 MWh Erdgas verbraucht, hauptsächlich für die Warmwasserbereitung. Hier gibt es erhebliche Optimierungspotentiale hinsichtlich der Steuer- und Regelungstechnik.

Im Mittel werden täglich in den Wintermonaten 8 MWh Wärme verbraucht, im Sommer noch etwa 0,4 MWh. Der Warmwasserverbrauch entspricht demnach rund einem Zwanzigstel des Gesamtwärmeverbrauches.

4.4.3 Monatsprofile Wasser

Bezüglich des Wasserverbrauches liegen für das Jahr 2006-2007 aussagekräftige Monats- bzw. Tagesprofile vor.

Im Mittel liegt der tägliche Wasserverbrauch im Jahr 2003 bei 2,5-3 m^3. In den Wintermonaten liegt der Wasserverbrauch bei rund 3 m^3/d, in den Ferienmonaten Juli und August liegt der Wasserverbrauch noch bei rund 2 m^3/d. Die Werte für 2007 liegen teilweise deutlich höher als die Werte von 2006. Über die Wochentage verteilt liegt der

Wasserverbrauch relativ konstant, d.h. am Wochenende sinkt der Wasserverbrauch auf unter 1 m^3/d.

5 Leistungen und Verbräuche

5.1 Ergebnisse der Berechnungen Leistungs- und Verbrauchswerte

Die vg. Leistungs- und Verbrauchswerte führen zu folgenden spezifischen Kennwerten:

Aus den vorgenannten Leistungsangaben und Daten wurde die Tabelle 5 Leistungen und Verbräuche zusammengestellt.
In einigen Bereichen handelt es sich insbesondere bei den untergeordneten Leistungen um Schätzwerte. Diese können im Rahmen einer Feinanalyse weiter differenziert und präzisiert werden.
Sowohl die Gesamtleistung als auch die Verbräuche treffen die Ergebnisse der Lastgänge und der jährlichen Verbräuche hinreichend genau.

Tabelle 5 Leistungen und Verbräuche Strom

Zentrale Anlage			Leistung installiert W	Leistung spez W/m²	Vollast pro Jahr h/a	Verbrauch pro Jahr kWh/a	Verbrauch spez kWh/m²a	Proz. Anteil am Verbrauch %
Strom			EBF	8.446				
-	**Daten IST Summe**		**120718**	**14,2**			**0**	
	Leistung/Verbrauch berechnet		**120718**			**103.441**	**12**	**100,0%**
	davon:							
HT	- Lüftung	L	12720	1,5	2.494	31.720	4	30,7%
HT	- Beleuchtung	B	91843	10,9	500	45.922	5	44,4%
HT	- Heizung	HH	4099	0,5	2.436	9.987	1	9,7%
HT	- Klima	K	0	0,0		0	0	0,0%
HT	- Diverse Haustechnik	DT	0	0,0		0	0	0,0%
BR	- Küche	ZD	4200	0,5	148	620	0	0,6%
BR	- Zentrale Dienste (Sonst.)	ZD	1406	0,2	2.519	3.542	0	3,4%
BR	- Arbeitsmittel	AH	6450	0,8	1.806	11.650	1	11,3%
HT	- Elektrowärme	HWW	0	0,0		0	0	0,0%

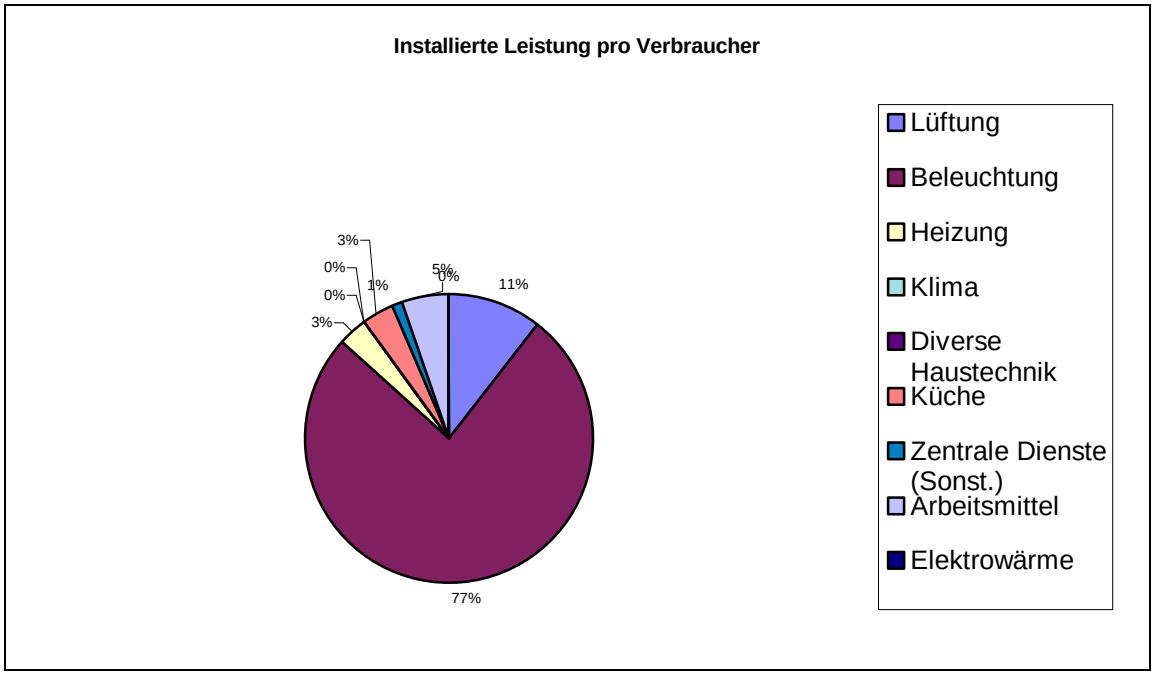
Die Tabelle zeigt die höchsten Leistungen im Bereich der Beleuchtung, auf Platz 2 folgt die installierte Leistung im Bereich der Lüftung in den einzelnen Gebäuden.

Die installierte Leistung beträgt zusammen etwa 120 KW im Maximum.

Der rechnerische Verbrauch beträgt rund 103 MWh/a und liegt damit nahe am realen verbrauch von rund 109 kWh. Der spezifische Verbrauch beträgt rund 12 kWh/m²*a.

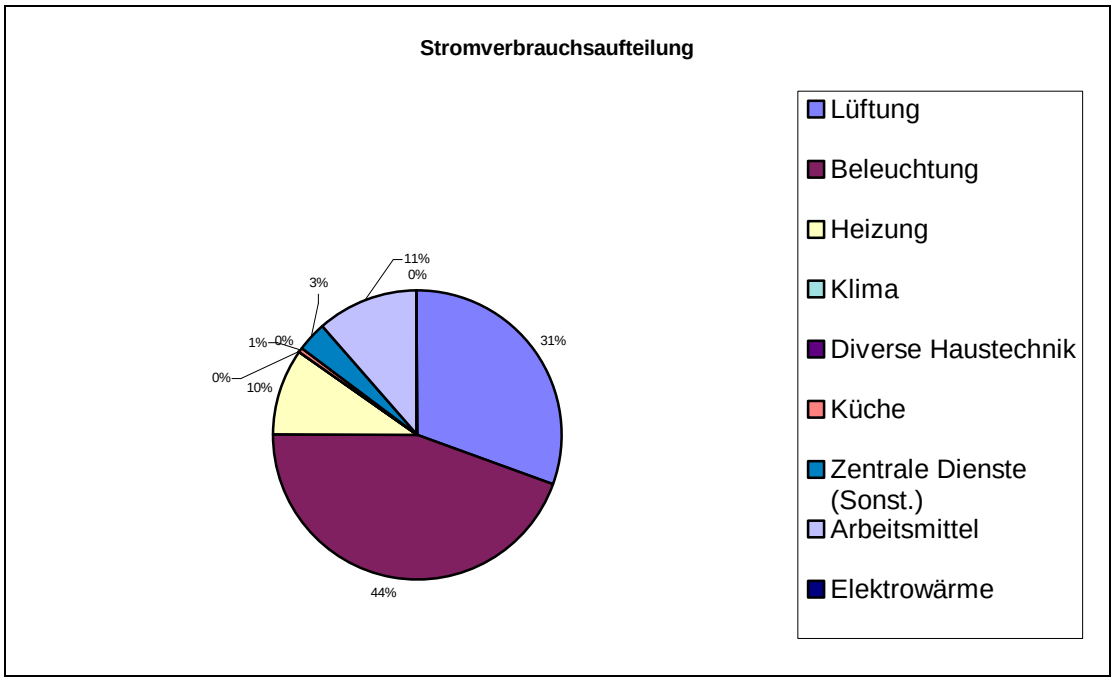
Die Aufteilung des Verbrauchs und der Leistung zeigen die folgenden Diagramme.

Diagramm 3 Installierte Leistung nach Bereichen



Der mit Abstand größte Anteil der installierten Leistung fällt auf die Beleuchtung mit etwa 77%. Die Lüftung hat einen Anteil von rund 11%, die Arbeitsmittel einen Anteil von rund 5%. Die heizungsseitige Hilfsenergie und der Bereich Küche haben jeweils einen Anteil von rund 3%, die zentralen Dienste haben noch einen Anteil von rund 2%.

Diagramm 4 Stromverbrauch nach Bereichen



Beim Stromverbrauch beträgt der Anteil Beleuchtung etwa 44%. Die Lüftung hat einen Anteil von rund 33%, die Arbeitsmittel einen Anteil von rund 11%. Die heizungsseitige Hilfsenergie hat einen Anteil von rund 10%, die zentralen Dienste haben noch einen Anteil von rund 3%, die Küche noch einen Anteil von rund 1%.

5.2 Leitfadenberechnung (LEH)

Die Leitfadenberechnung wurde für alle Bauteile einzeln durchgeführt.

Die angenommenen k-Werte (u-Werte) wurden aus dem Gebäudewandaufbau berechnet bzw. abgeschätzt, so dass sie für den Bestand als hinreichend genau angenommen werden können.
Dort wo die Abweichung vom DIN-Rechenwert nicht zu groß war, wurde der DIN-Wert eingestellt.

Die Schulgebäude fallen in die Gebäudekategorie III. Nach Leitfaden ist ein Grenzwert von 75 KWh/m^{2}a und ein Zielwert von 50 kWh/m^{2}a anzustreben.

Durch den 8-stündigen Betrieb ergibt sich nach Leitfaden ein mittlerer Luftwechsel von 0,5 h-1.

Die tatsächlichen Bedingungen sind durch die teilweisen undichten Fenster wahrscheinlich schlechter, aber mit der Methodik des Leitfadens nicht genau zu erfassen. Allerdings sind inzwischen auch einige neue Fenster eingebaut, so dass der Luftwechsel hierdurch auch wieder sinkt.

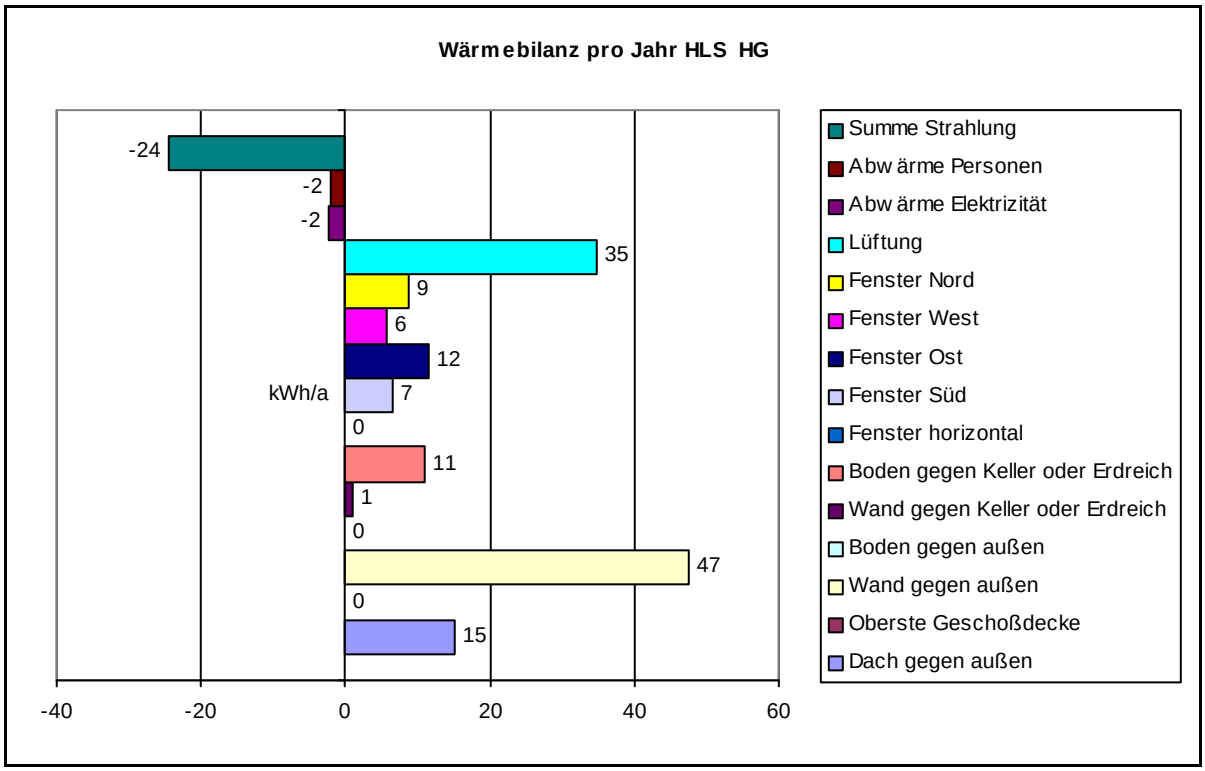
Abschließend wurde mit den vorgenommenen Werten die Heizzahl ermittelt. Für einige Daten mussten anhand der Pläne plausible Abschätzungen vorgenommen werden, da z.B. für Zirkulationsleitungen keine Bestandspläne zum herausmessen vorlagen.

Die Heizwärmebedarfsrechnung für die drei Gebäudeteile ergeben spezifische Werte, die im folgenden Abschnitt zu erkennen sind. Wir haben die Gebäude so getrennt, dass einmal das Hauptgebäude einzeln betrachtet wird, das dieses den größten Anteil an der Gesamtfläche besitzt. Allerdings besteht zwischen dem Hauptgebäude und dem Verwaltungstrakt ein Luftverbund, da hier eine einfache Glastür existiert, lässt sich die getrennte Berechnung rechtfertigen. Der Verwaltungstrakt und die Aula lassen sich nicht vernünftig trennen. Deshalb wird in einer weiteren Berechnung das Hauptgebäude, der Verwaltungstrakt und die Aula zusammengefasst.
Die Sporthalle ist ein separates Gebäude. Deshalb wurde die Sporthalle auch separat betrachtet bzw. berechnet, auch wenn die Heizversorgung über den gemeinsamen Heizkeller im Hauptgebäude erfolgt.

5.2.1 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie HG

Der Heizwärmebedarf beträgt 116,4 kWh/m^2*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 124 kWh/m^2*a. Der relativ niedrige Wert erklärt sich durch den Austausch der meisten Fenster. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 333 KW. Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Diagramm 5 Wärmebilanz HG



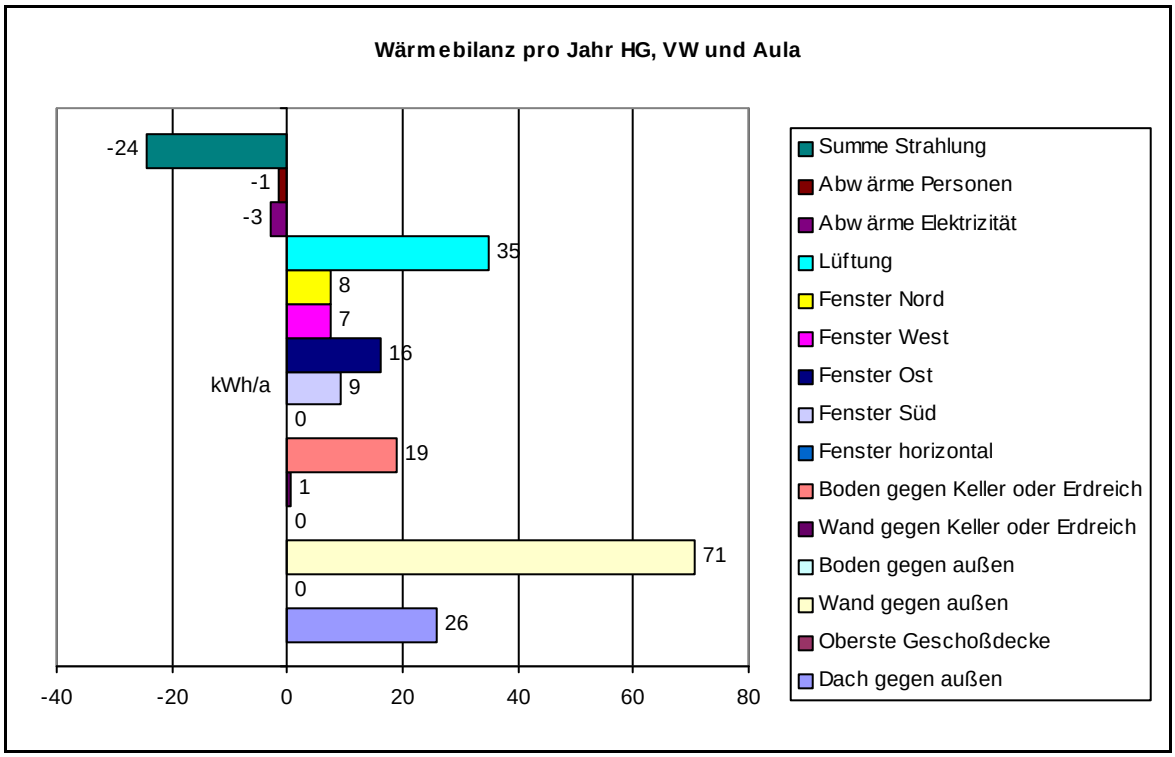
Wie die Abbildung zeigt, sind die Wärmeverluste im Diagramm 5 vor allem durch die Aussenwände und durch die Lüftungsverluste bestimmt. Auch die Verluste über das Dach haben einen großen Anteil.
Die solaren Gewinne sind durch die gr0ßzügige Verglasung relativ hoch.

5.2.2 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie HG mit VW und Aula

Der Heizwärmebedarf beträgt 166 kWh/m^2*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 178 kWh/m^2*a. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 625 KW. Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Wie Diagramm 6 zeigt, sind die Wärmeverluste durch die Aussenwände und durch die Lüftungsverluste bestimmt. Auch die Verluste über das Dach haben einen großen Anteil.

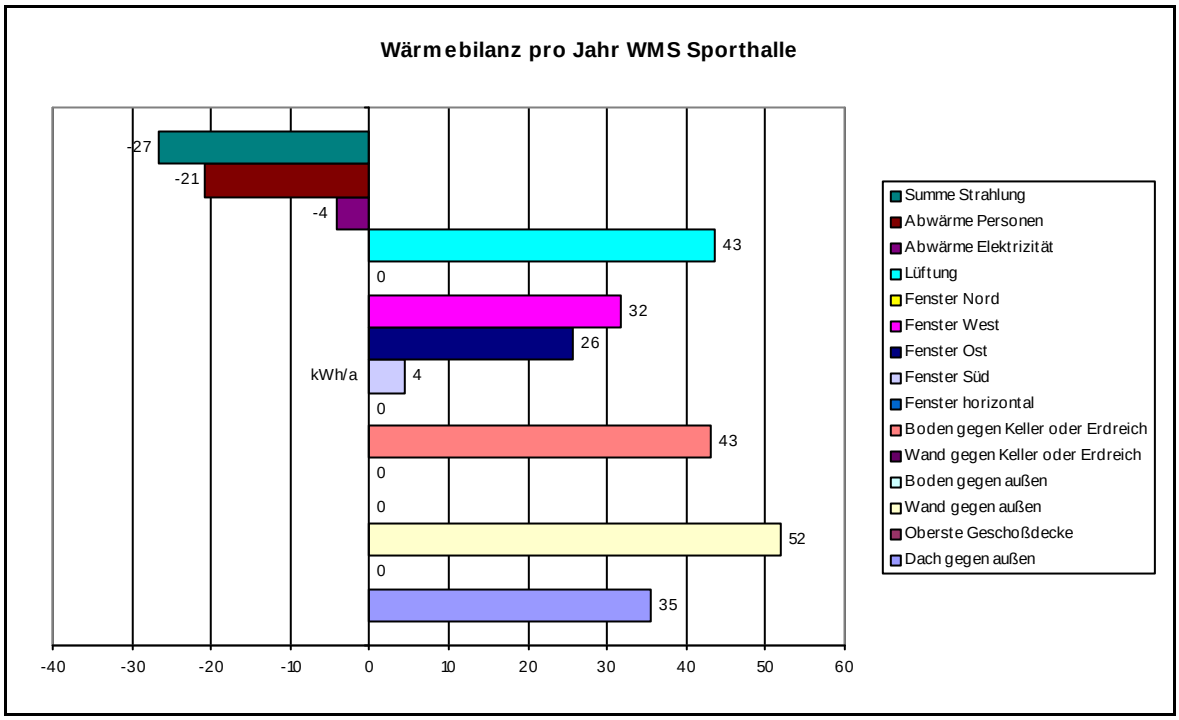
Diagramm 6 Wärmebilanz HG mit VW und Aula



5.2.3 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie HLS Sporthalle

Der Heizwärmebedarf beträgt 186 kWh/m^2*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 202 kWh/m^2*a. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 57 KW. Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Diagramm 7 Wärmebilanz HLS Sporthalle

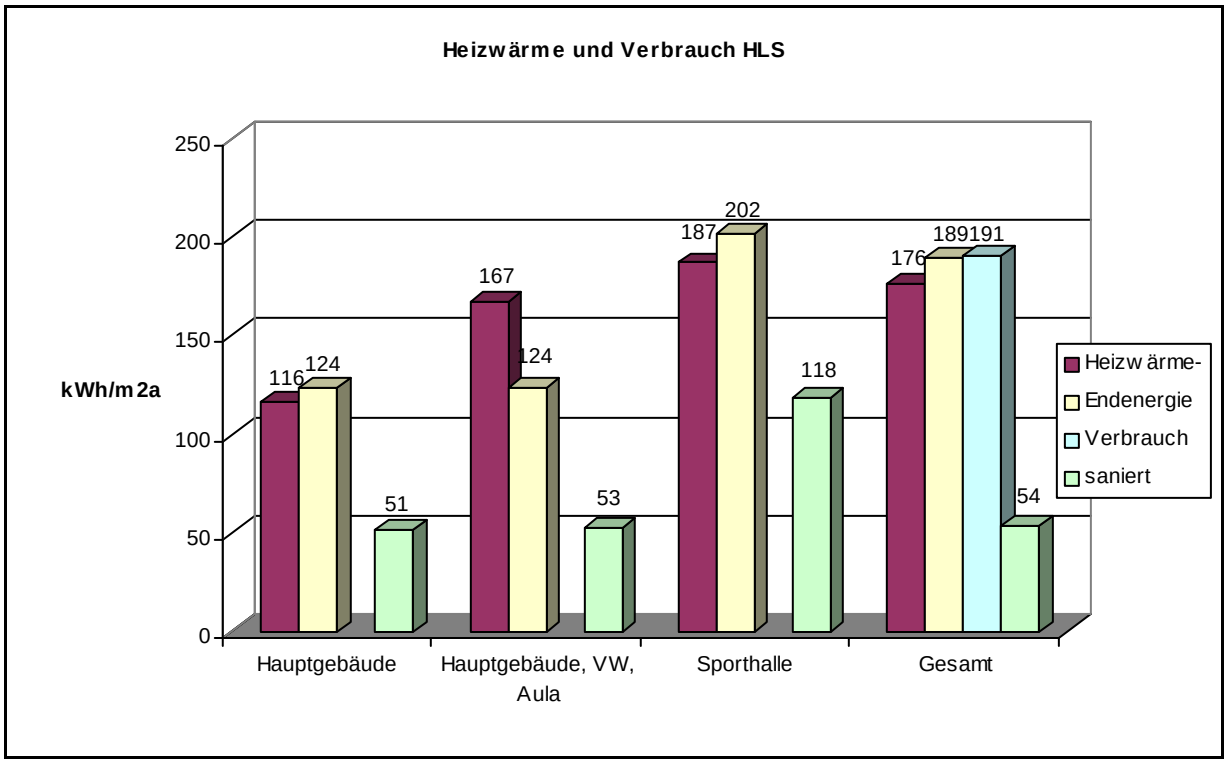


Wie Diagramm 7 zeigt, sind die Wärmeverluste im direkten Vergleich vor allem durch die Aussenwände und durch die Lüftungsverluste bestimmt. Auch die Verluste gegen Erdreich haben einen großen Anteil.

5.2.4 Zusammenfassung Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie

Die berechneten Endenergiekennwerte und die tatsächlichen Verbräuche sind in dem folgenden Diagramm abgebildet.
Die berechneten Verbräuche liegen sehr nahe an den tatsächlichen Verbräuchen.

Diagramm 8 Heizwärme- und Endenergiekennzahlen



Die Grenz- (75 kWh/ m^2a) werden bei einer Sanierung weit überschritten, den Zielwert von (50 kWh/m2a) für den Heizwärmebedarf wird zusammengefasst beinahe erreicht. Der Heizwärmebedarf nach der Sanierung ist bei der Sporthalle noch recht hoch, dies liegt daran, dass aus wirtschaftlichen Gründen die Dämmung des Bodens bei unserer Betrachtung nicht berücksichtigt wurde.
Der Energieverbrauch ist rechnerisch am höchsten in der Turnhalle.

5.3 Leitfaden LEE

5.3.1 Beleuchtung

Um die Effektivität der bestehenden Lampen und Leuchtensysteme zu beurteilen, wurde die Leitfadenberechnung gemäß LEE für den Bestand und für eine mögliche Sanierung durchgeführt.
Nach den technischen Standards des HBA haben Klassenräume 300 Lux. Die neue AMEV Bel-Bildschirme 2002 weisen darauf hin, dass sogar für CAD Arbeitsplätze 500 Lux nicht überschritten werden sollen. Daher ist auf jeden Fall die energiesparende Variante mit 300 Lux vorzuziehen.

Die Ergebnisse sind in den Tabellenblättern in der Anlage zusammengefasst. Aufgrund der spezifischen Kennzahlen und des Alters der Beleuchtung fällt die Beleuchtung in der Sporthalle mit 15,5 W/m^2 und der Aula mit 13,4 W/m^2 besonders auf.

5.3.2 Lüftung

Da nur ein Teil der Gebäudeteile belüftet werden sowie teilweise nur Abluftanlagen in den Fachräumen und WC`s installiert sind, betragen die spezifischen Leistungen insgesamt dementsprechend auch nur rund 1,5 W/m^2 EBF. In der Sporthalle sowie die Aula ist die spezifische Leistung dagegen deutlich höher. Aus diesem Grund wird auch eine Erneuerung der Lüftungsanlagen in der Sporthalle und der Aula vorgeschlagen (vgl. Kapitel 6.5.1-6.5.2).

5.3.3 Pumpen

5.3.3.1 HG

Im der Helene Lange-Schule sind folgende Pumpen installiert.

Tabelle 6 Pumpenübersicht

Art	Ziel	T °C	Pumpe Typ	.	Leistung in Watt Min	Mittel	Max	St	Verbräuche Stand	h	kWh/a
	Summe				956	4099	7060		4099		9987
VL	Kesselpumpe				0	210		16	210	*3200*	672
RL					0	0	0		0		0
Bauteil 1											
VL	Lüftung Sonderklasse		UPE 32-120F		22	183,5	345	12	183,5	2400	440
VL	Vorlauf WW-Bereiter		UPS 25-60		45	65	90	12	65	2400	156
VL	Lüftung Aula		UPE 65-120F		80	615	1150	12	615	2400	1476
VL	Lüftung Chemie		UPE 32-120F		22	183,5	345	12	183,5	2400	440
VL	Lüftung Turnhalle		UPE 32-120F		22	183,5	345	12	183,5	2400	440
VL	Turnhalle		UPE 50-120F		65	427,5	790	12	427,5	2400	1026
VL	Aula		UPE 50-120F		65	427,5	790	12	427,5	2400	1026
VL	Verwaltung		UPS 120F		320	340	380	12	340	2400	816
VL	Sonderklassen		UPE 50-120F		65	427,5	790	12	427,5	2400	1026
VL	Flure/WC		UPE 50-120F		65	427,5	790	12	427,5	2400	1026
VL	Normalklasse		UPE 50-120F		65	427,5	790	12	427,5	2400	1026
Warmwasser Boiler											
VL	WW Zirk		UPS 25-60B		45	67,5	90	12	67,5	2400	162
VL	WW Lade		UPS 25-60B		45	67,5	90	12	67,5	2400	162
Lüftung											
VL	Chemie Übung Demonstration		WILO Star RS 25/4		30	46	65		46	2000	92

Im Mittel sind rund 4,1 KW installiert, der Verbrauch beträgt rund 10.000 kWh/a.

Die installierte Pumpenleistung ist gemessen an der beheizten Fläche 0,48 mit W/m^2 hoch. Zu erwarten wären 0,2 W/m^2.
Da es sich um elektronische Pumpen handelt und der Austausch erst 2003 erfolgte ist eine Sanierung noch nicht angezeigt.

6 Maßnahmen

Die Tabelle 7 zeigt die im folgenden erläuterten Maßnahmen auf einen Blick.

Tabelle 7 Maßnahmenübersicht

		Beschreibung Maßnahme	Verbrauch pro Jahr kWh Bestand	Cash pro Jahr EUR	Einsparung pro Jahr kWh	Investition EUR	ROI Jahre a
Summe			0	-58.000	-927.000	1.576.000	
davon		Organisation		-6.000	-91.000	2.000	0,3
		Verträge		0	0	0	
		Anlagentechnik		-3.000	-22.000	54.000	18,0
		Bauphysik		-49.000	-814.000	1.520.000	31,0
Verträge							
V	HLS	Stromverträge	109.000				
V	HLS	Gasverträge	1.612.000				
V	HLS	Wasserverträge	900				
V	HLS	Hausverwalterverträge EBN	1.721.000	-6.000	-86.000		
B	HLS	Dachdämmung HG	78.000	-4.000	-65.000	150.000	37,5
B	HLS	Wärmedämmung Aussenwand HG	243.000	-13.000	-215.000	247.000	19,0
B	HLS	Fenstertausch HG	169.000	-1.000	-14.000	38.000	38,0
B	HLS	Fenstertausch Lüftungsverluste HG	0	0	0	0	
B	HLS	Dämmung Kellerdecke HG	57.000	-3.000	-51.000	37.000	12,3
W	HLS	Sonstige Baukosten und Mwst HG	0	0	0	90.000	
B	HLS	Dachdämmung VW und Aula	109.000	-5.000	-90.000	209.000	41,8
B	HLS	Wärmedämmung Aussenwand VW und Aula	263.000	-14.000	-232.000	267.000	19,1
B	HLS	Fenstertausch VW und Aula	122.000	-4.000	-67.000	92.000	23,0
B	HLS	Fenstertausch Lüftungsverluste VW und Aula	0	0	0	0	
B	HLS	Dämmung Kellerdecke VW und Aula	80.000	-2.000	-31.000	46.000	23,0
W	HLS	Sonstige Baukosten und Mwst VW und Aula	0	0	0	117.000	
B	HLS	Aussenwanddämmung Sport	30.000	-1.000	-24.000	54.000	54,0
B	HLS	Fenstertausch Sport	32.000	-1.000	-23.000	56.000	56,0
B	HLS	Fenstertausch Lüftungsverluste Sport	0	0	0	0	
W	HLS	Sonstige Baukosten und Mwst Sport	0	0	0	114.000	
LH	Sport	Lüftungswärmeverluste Reduzierung	0	0	0	0	
LS	Sport	Lüftungsaustausch Stromreduzierung	0	0	0	0	
HS	Alle	Heizungsverriegelung	81.000	-1.000	-8.000	0	
BE	Sport	Leuchtentausch Sporthalle	6.000	-1.000	-3.000	12.000	12,0
BE	HG	Leuchtentausch HG	16.000	-1.000	-8.000	31.000	31,0
BE	VW	Leuchtentausch Verwaltungstrakt	5.000	0	-3.000	8.000	
B	Aula	Strahlschutz Heizkörper Aula	8.000	0	-4.000	0	
LH	Aula	Lüftungswärmeverluste Reduzierung	0	0	0	0	
LS	Aula	Lüftungsaustausch Stromreduzierung	0	0	0	0	
BE	HLS	ESL Aula	5.000	-1.000	-4.000	2.000	2,0
S	Alle	Stand-by Vemeidung Elektrogeräte	12.000	0	-1.000	0	
W	Alle	Spülkasten auf 6 l	280	0	0	2.000	

Bereits durch organisatorische Maßnahmen lassen sich rund 90000 kWh/a einsparen.
Da die Heizungsanlage bereits saniert ist und nur wenig Lüftungsanlagen installiert sind liegt das Einsparpotential im wesentlichen in der Ertüchtigung der Beleuchtung und Ertüchtigung der Lüftungsanlagen. Hierdurch können 20.000 kWh/a eingespart werden.
Größtes Einsparpotential bietet die Weiterführung der bauphysikalischen Sanierung, die mit den Fenstern begonnen wurde. Hierdurch kann der Wärmeverbrauch fast halbiert werden.

Als Einzelpotentiale liegen die möglichen Einsparmaßnahmen unter denen die im Rahmen eines abgestimmten Gesamtkonzepts möglich wären. Bei der Betrachtung der Einzelmaßnahmen wurde ein Energieträger in seiner Auswirkung betrachtet, um eine grobe Abschätzung des Effekts der Maßnahme zu erhalten (Kapitel 6.2.1-6.2.12). In den Vollkostenrechnungen sind dann jeweils alle Energieträger berücksichtigt.

6.1 Optimierung der Energielieferverträge

6.1.1 Hausverwalterverträge

Der Hausverwalter wird momentan nicht über das Frankfurter EBN-Modell honoriert. Dies sollte in Zukunft erfolgen. Damit ist eine Einsparung von mindestens 5% des Energieverbrauchs möglich. Dies sind rund 86.000 kWh/a oder 6.000.- €.

6.2 Verbesserung der Wärmedämmung

Für alle Maßnahmen im Bereich der Wärmedämmung wurden die Bauteilwerte des Hochbauamts (HBA), angepasst an die Kriterien für Passivhauskomponenten, gerechnet. Grundlage hierfür ist der Magistratsbeschluß der Stadt Franfurt, dass alle Gebäude der Stadt Frankfurt im Passivhausstandard auszurüsten bzw. zu sanieren sind.

Für die Berechnung der Einsparung wurden die u-(k) Werte und für die Fenster auch die g-Werte in die Leitfadenberechnung Heizwärme übernommen und die Differenz der Transmissionsverluste als Einsparpotential angenommen. Die tatsächliche Einsparung dürfte höher sein, weil die positiven Effekte der höheren Oberflächentemperaturen und die daraus resultierenden niedrigeren Raumtemperaturen noch nicht berücksichtigt sind.

Untersucht wurden Maßnahmen an allen vier Gebäudeteilen der HLS.

Alle Maßnahmen wurden mit Kosten gemäß den Tabellen 7,9 und 11 auf S. 34-40 hinterlegt, so dass für jede Einzelmaßnahme eine Abschätzung des ROI möglich ist. Alle Einzelkalkulationen wurden dann im Rahmen der Vollkostenrechnung gemäß HBA in der Gesamtbetrachtung als Bauphysikalische Maßnahme berücksichtigt.
Es wurde jeweils eine Variante im Verhältnis zum Ist-Zustand gerechnet. Variante 1 ist der Ist-Zustand. Variante 2 ist ein Dämmpaket mit Einhaltung der U-Werte nach den Passivhauskriterien.

6.2.1 Austausch der Fenster im HG

Die Fensterfläche des HG der HLS eine Fensterfläche von rund 1600 m^2. Der größte Anteil der Fenster wurde im Frühjahr und Sommer 2007 ausgetauscht, der U_g-Wert der Verglasung betrug 1,1 W/m^2*K. Auf der Nordseite des gibt es noch einen Teil älterer Isolierverglasung, diese Fensterflächen sollten zukünftig noch ausgetauscht werden.

Bei Austausch der restlichen Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 169.000 kWh/a nochmals auf rund 155.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 14.000 kWh/a oder rund 1.000 €/a.
Außerdem gibt es Energieeinsparungen im Bereich der Lüftung. Diese sind nicht quantifizierbar, da die Fugenbeiwerte (a-Werte) der Fenster im Bestand nicht bekannt sind.
Der Austausch der restlichen Fenster führt zu Gesamtkosten von 38.000 €. Damit beträgt das ROI rund 38 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

6.2.2 Austausch der Fenster VW und Aula

Die Fensterfläche im VW und der Aula beträgt rund 550 m^2. Die Fenster im Verwaltungstrakt sind schon vor einigen Jahren ausgetauscht worden. Die größte Einsparung gibt es bei dem Austausch der Verglasung der Ostseite der Aula. Hierbei handelt es sich um eine Fläche von rund 170 m^2, die noch aus Einfachverglasung besteht.
Bei Austausch der Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 122.000 kWh/a auf rund 55.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 67.000 kWh/a oder rund 4.000 €/a.
Außerdem gibt es Energieeinsparungen im Bereich der Lüftung. Diese sind nicht quantifizierbar, da die Fugenbeiwerte (a-Werte) der Fenster im Bestand nicht bekannt sind.
Der Austausch aller Fenster führt zu Gesamtkosten von 92.000 €. Damit beträgt das ROI rund 23 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

6.2.3 Austausch der Fenster Sporthalle

Die Fensterfläche in der Sporthalle beträgt rund 168 m^2. Bei Austausch der Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 32.000 kWh/a auf rund 9.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 23.000 kWh/a oder rund 1.000 €/a.
Außerdem gibt es Energieeinsparungen im Bereich der Lüftung. Diese sind nicht quantifizierbar, da die Fugenbeiwerte (a-Werte) der Fenster im Bestand nicht bekannt sind.
Der Austausch aller Fenster führt zu Gesamtkosten von 56.000 €. Damit beträgt das ROI rund 56 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

6.2.4 Wärmedämmverbundsystem HG

Bei den Außenwänden im HG handelt es sich um eine Gesamtfläche von 2.700 m^2. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 244.000 kWh/a auf rund 29.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 215.000 kWh/a oder rund 13.000 €/a. Die Kosten für die Investition betragen 247.000 €. Das ROI berechnet sich damit zu 19 Jahren.

6.2.5 Wärmedämmverbundsystem VW und Aula

Bei den Außenwänden des VW und der Aula handelt es sich um eine Gesamtfläche von 2.900 m^2. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 263.000 kWh/a auf rund 31.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 232.000 kWh/a oder rund 14.000 €/a. Die Kosten für die Investition betragen 267.000 €. Das ROI berechnet sich damit zu 19 Jahren.
Die Kosten für den Verwaltungstrakt betragen rund 61.000 €, die Kosten für die Aula betragen rund 206.000 €.

6.2.6 Wärmedämmverbundsystem Sporthalle

Bei den Außenwänden der Sporthalle der HLS handelt es sich um eine Gesamtfläche von 600 m^2. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 30.000 kWh auf 6.000 kWh bei Das entspricht einer Einsparung von rund 24.000 kWh/a oder 1.000 €/a. Die Kosten für die Investition betragen rund 54.000 €. Das ROI berechnet sich damit zu 54 Jahren.

6.2.7 Dachdämmung HG

Das Dach des HG hat eine Fläche von 1.200 m^2
Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 78.000 kWh auf 13.000. Das entspricht einer Einsparung von rund 65.000 kWh/a oder 4.000 €/a.
Die Kosten für die Dachdämmung liegen bei ca. 150.000 € und rechnet sich nach rund 38 Jahren.

6.2.8 Dachdämmung VW und Aula

Das Dach des VW und der Aula hat eine Fläche von1.700 m^2
Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 109.000 kWh auf 19.000. Das entspricht einer Einsparung von rund 90.000 kWh/a oder 5.000 €/a.
Die Kosten für die Dachdämmung liegen bei ca. 209.000 € und rechnet sich nach rund 42 Jahren.
Die Kosten für den Verwaltungstrakt betragen rund 61.000 €, die Kosten für die Aula betragen rund 148.000 €.

6.2.9 Dachdämmung Sporthalle

Das Dach wurde im Jahr 2007 gedämmt.

6.2.10 Kellerdecke HG

Die Kellerräume sind bis auf das Schüler-Cafe momentan unbeheizt bzw. werden als Lageräume genutzt. Aus diesem Grund schlagen wir die Dämmung der Unterseite der Kellerdecke vor, wenn abzusehen ist, dass die Nutzung der Kellerräume sich nicht ändert.
Bei der Kellerdecke handelt es sich um eine Fläche von rund 1.200 m^2. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 57.000 kWh auf rund 6.000. Das entspricht einer Einsparung von rund 51.000 kWh/a oder 3.000 €/a.
Die Kosten für die Kellerdeckendämmung liegen bei ca. 37.000 € und rechnet sich nach rund 13 Jahren.

6.2.11 Kellerdecke VW und Aula

Die Kellerräume sind in der Aula überwiegend ungenutzt. Aus diesem Grund schlagen wir die Dämmung der Unterseite der Kellerdecke vor, wenn abzusehen ist, dass die Nutzung der Kellerräume sich nicht ändert. Der VW ist nur mit einem krichkeller unterkellert, hier ist eine Dämmung nur mit einem nicht vertretbaren Aufwand möglich.
Bei der Kellerdecke, die gedämmt werden kann, handelt es sich um eine Fläche von rund 900 m^2. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 80.000 kWh auf rund 49.000. Das entspricht einer Einsparung von rund 31.000 kWh/a oder 2.000 €/a.
Die Kosten für die Kellerdeckendämmung liegen bei ca. 46.000 € und rechnet sich nach rund 23 Jahren.

Die Kosten für den Verwaltungstrakt betragen rund 13.000 €, die Kosten für die Aula betragen rund 33.000 €.

6.2.12 Bodenplatte Sporthalle

Die Sanierung der Bodenplatte inklusive einer Dämmung ist durch die zahlreichen Nebenarbeiten (Änderung aller Türhöhen usw.) zu aufwendig und wurde hier nicht weiter untersucht. Allerdings ist die Sockelleiste der Bodenplatte ungedämmt und damit eine Wärmebrücke. Aus diesem Grund sollte die Außendämmung bis unter die Bodenplatte gezogen werden (ggf. als Perimeterdämmung).

6.3 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik

6.3.1 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik HG Passivhausanforderungen

Bei dieser Variante wurden die U-Wert Anforderungen nach den Passivhauskriterien zugrundegelegt. Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 6.2.1. – 6.2.12 jeweils für die beiden Gebäude in einem Paket zusammengefasst. Die Kostenschätzung ist mit Ausschreibungswerten aus den Daten des Hochbauamts und aktuellen Ausschreibungsergebnissen durchgeführt.
Die Kapitalisierung wurde für einen Zeitraum von 25 Jahren vorgenommen.
Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle 9zusammengefasst.
Die Investitionskosten betragen bei Betrachtung des HG rund 562.000 € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2006. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegen teilweise noch unter diesen Werten.
Die Maßnahmen amortisieren sich unter den angenommenen Randbedingungen nach rund 23 Jahren.

Tabelle 8 Investitionskosten Wärmeschutz HG

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichn.	**Helene Lange Schule**				A2 KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	**HG**				A4 Str-Nr.	
A7	Variante 2	**Dämmung Passivhauskriterien**					
A8	Bezugsfläche (NGF)	5.173	m²		A9 Personenzahl	100	P
B.	**Kosten nach DIN276**	(Fassung Juni 1993)		**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	(alle Kosten netto)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
100	**Grundstück**			0	0		
200	**Herrichten und Erschließen**			0	0		
300	**Bauwerk -**	**Menge**	**sp. Preis**	**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	Baukonstruktion	(m³)	(€/m³)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Boden gegen Keller/Erde	1.237	30	37.106	7	1,0%	371
	Boden gegen außen	0	0	0	0	1,0%	0
330	Außenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Wand gegen außen	2.657	93	247.071	48	1,0%	2.471
	Wand gegen Keller/Erde	105	0	0	0	1,0%	0
	Außenfenster und -türen	1.569	24	37.976	7	1,5%	570
		0	0	0	0	0,0%	0
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	39	0	0	0	1,0%	0
	Innentüren und Fenster	0	0	0	0	1,5%	0
350	Decken	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	oberste Geschoßdecke	0	0	0	0	1,0%	0
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	1,0%	0
360	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Dach gegen außen	1.237	121	149.660	29	1,0%	1.497
		0	0	0	0	0,0%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			0	0	0,0%	0
300	**Summe Baukonstruktion**			**471.812**	**91**	**1,0%**	**4.908**
400	**Bauwerk-**			**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	Technische Anlagen			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			0	0	1,5%	0
420	Wärmeversorgungsanlagen			0	0	3,0%	0
430	Lufttechnische Anlagen			0	0	3,5%	0
440	Starkstromanlagen			0	0	1,5%	0
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	3,5%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			0	0	1,5%	0
400	**Summe Technische Anlagen**			**0**	**0**	**1,5%**	**0**
500	**Außenanlagen**			0	0	3,0%	0
600	**Ausstattung und Kunstwerke**			0	0	1,5%	0
700	**Baunebenkosten**			0	0		
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0		
C.	**Summe Investition u. Wartung**		Netto	**471.812**	**91**	**1,0%**	**4.908**
C2	Mehrwertsteuer		19%	89.644	17		933
C3			**Brutto**	**561.457**	**109**	**1,0%**	**5.841**

Tabelle 9 Vollkostenrechnung Dämmung HG

1. Gesamtkosten

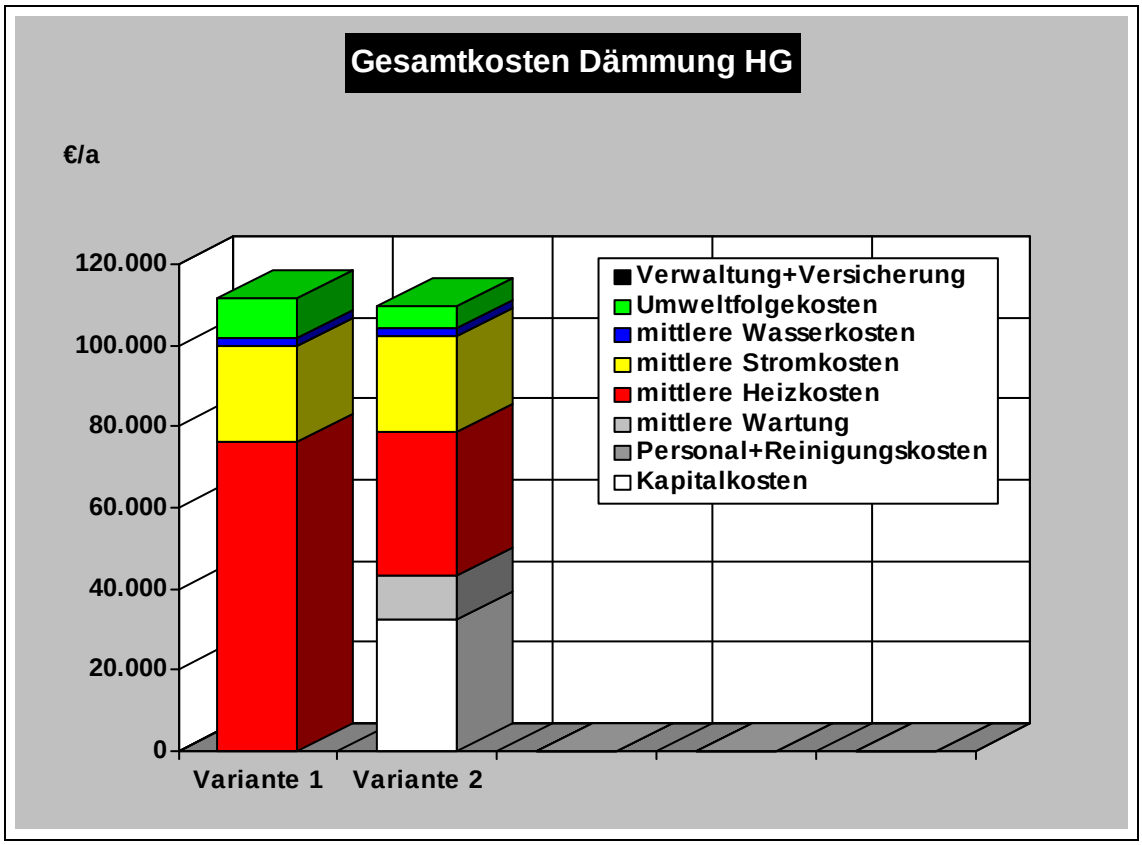
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Helene Lange Schule**				A2 KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	**HG**				A4 Str.-Nr.	
A5	Straße					A6 Haus-Nr.	
A7	Betrachtungszeitraum	25	a	A8	Währung	€	
A9	Kapitalzins*	3,1%		A10	Annuitätsfaktor	0,058	
A11	Preissteigerung	5%		A12	Mittelwertfaktor	1,86	
B.	**Varianten**	**Bezeichnung**					
B0	**Variante 1**	**Ist-Zustand**					
B1	**Variante 2**	**Dämmung Passivhauskriterien**					
C.	**Kenngrößen**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
C1	Bezugsfläche (NGF)	5.173	5.173				m²
C2	Personenzahl	100	100				P
C3	spez. Heizwärmebedarf	116	51				kWh/m²a
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	95%	95%				%
C5	spez. Strombezug	8	8				kWh/m²a
C6	spez. CO2-Emissionen	36	19				kg/m²a
C7	spez. Trinkwasserbezug	2,85	2,85				m³/P a
D.	**Kapitalkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
D1	Investitionskosten (DIN 276)	0	561.457				€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	561.457				€
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**32.604**				€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**6**				€/m²a
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
E1	Personal+Reinigungskosten						€/a
E2	Wartung+Instandhaltung	0	5.841				€/a
E3	Heizkosten	41.116	18.957				€/a
E4	Stromkosten	12.787	12.787				€/a
E5	Wasserkosten	1.076	1.076				€/a
E6	Verwaltung+Versicherung						€/a
E7	**heutige Betriebskosten**	**54.979**	**38.661**				€/a
E8	**mittl. Betriebskosten**	**102.080**	**71.782**				€/a
E9	**spez. Betriebskosten**	**20**	**14**				€/m²a
F.	**Umweltfolgekosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	9.245	5.007				€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	285	285				€/a
F3	**Umweltfolgekosten**	**9.530**	**5.292**				€/a
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	**2**	**1**				€/m²a
G.	**Gesamtkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
G1	**Gesamtkosten**	**111.610**	**109.678**				€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**22**	**21**				€/m²a
G2	**Amortisationszeit (Basis: Variante 1)**		**23,0**				a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

* aktuelle Kreditzinsen unter: http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.pdf

Diagramm 9 Gesamtkosten Dämmung HG



6.3.2 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik HG, VW und Aula mit Passivhauskomponenten

Bei dieser Variante wurden die u-Wert Anforderungen nach den Passivhauskriterien zugrundegelegt.
Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 6.2.1. – 6.2.12 jeweils für drei Gebäudeteile (HG, VW und Aula) in einem Paket nach dem Zwischengespräch zusammengefasst.

Die Kostenschätzung ist mit Ausschreibungswerten aus den Daten des Hochbauamts und aktuellen Ausschreibungsergebnissen durchgeführt.
Die Kapitalisierung wurde für einen Zeitraum von 25 Jahren vorgenommen.
Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle 9 zusammengefasst.

Die Investitionskosten betragen beim HG, VW und der Aula rund 1.300.000 € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2006.
Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegen teilweise noch unter diesen Werten.

Die Maßnahmen amortisieren sich unter den angenommenen Randbedingungen nach rund 24 Jahren (Tabelle 10).

Die Vollkosten sind niedriger als im Bestand (Diagramm 10)

Tabelle 10 Investitionskosten Wärmeschutz HG, VW und Aula

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichn.	**Helene Lange Schule**				A2 KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	**mit VW und Aula**				A4 Str-Nr.	
A7	Variante 2	**Dämmung Passivhauskomponenten**					
A8	Bezugsfläche (NGF)	7.179	m²		A9 Personenzahl	100	P
B.	**Kosten nach DIN276**	(Fassung Juni 1993)		**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	(alle Kosten netto)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
100	**Grundstück**			0	0		
200	**Herrichten und Erschließen**			0	0		
300	**Bauwerk -**	**Menge**	**sp. Preis**	**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	Baukonstruktion	(m³)	(€/m³)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Boden gegen Keller/Erde	2.964	28	82.982	12	1,0%	830
	Boden gegen außen	0	0	0	0	1,0%	0
330	Außenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Wand gegen außen	5.524	93	513.738	72	1,0%	5.137
	Wand gegen Keller/Erde	105	0	0	0	1,0%	0
	Außenfenster und -türen	2.131	61	129.966	18	1,5%	1.949
		0	0	0	0	0,0%	0
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	39	0	0	0	1,0%	0
	Innentüren und Fenster	0	0	0	0	1,5%	0
350	Decken	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	oberste Geschoßdecke	0	0	0	0	1,0%	0
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	1,0%	0
360	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Dach gegen außen	2.964	121	358.600	50	1,0%	3.586
		0	0	0	0	0,0%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			0	0	0,0%	0
300	**Summe Baukonstruktion**			**1.085.285**	**151**	**1,1%**	**11.503**
400	**Bauwerk-**			**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	Technische Anlagen			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			0	0	1,5%	0
420	Wärmeversorgungsanlagen			0	0	3,0%	0
430	Lufttechnische Anlagen			0	0	3,5%	0
440	Starkstromanlagen			0	0	1,5%	0
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	3,5%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			0	0	1,5%	0
400	**Summe Technische Anlagen**			**0**	**0**	**1,5%**	**0**
500	**Außenanlagen**			0	0	3,0%	0
600	**Ausstattung und Kunstwerke**			0	0	1,5%	0
700	**Baunebenkosten**			0	0		
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0		
C.	**Summe Investition u. Wartung**		netto	**1.085.285**	**151**	**1,1%**	**11.503**
C2	Mehrwertsteuer		19%	206.204	29		2.186
C3			**brutto**	**1.291.489**	**180**	**1,1%**	**13.688**

Tabelle 11 Vollkostenberechnung Dämmung HG, VW und Aula

1. Gesamtkosten

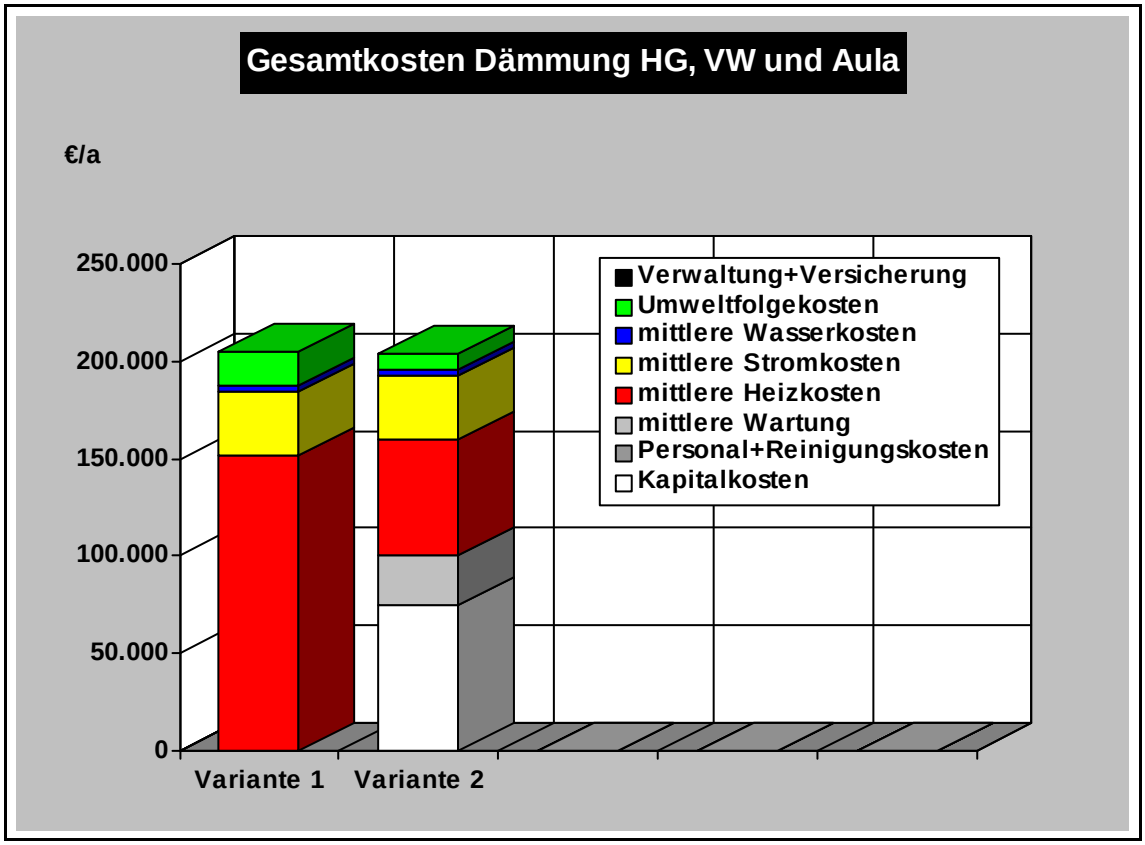
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Helene Lange Schule**			A2 KStB.		
A3	Gebäudebezeichnung	**HG mit VW und Aula**			A4 Str.-Nr.		
A5	Straße				A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	25	a	A8 Währung	€		
A9	Kapitalzins*	3,1%		A10 Annuitätsfaktor	0,058		
A11	Preissteigerung	5%		A12 Mittelwertfaktor	1,86		
B.	**Varianten**	**Bezeichnung**					
B0	**Variante 1**	**Ist-Zustand**					
B1	**Variante 2**	**Dämmung Passivhauskomponenten**					
C.	**Kenngrößen**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
C1	Bezugsfläche (NGF)	7.179	7.179				m²
C2	Personenzahl	100	100				P
C3	spez. Heizwärmebedarf	167	61				kWh/m²a
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	96%	95%				%
C5	spez. Strombezug	8	8				kWh/m²a
C6	spez. CO2-Emissionen	49	22				kg/m²a
C7	spez. Trinkwasserbezug	4,29	4,29				m³/P a
D.	**Kapitalkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
D1	Investitionskosten (DIN 276)	0	1.291.489				€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	1.291.489				€
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**74.996**				€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**10**				€/m²a
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
E1	Personal+Reinigungskosten						€/a
E2	Wartung+Instandhaltung	0	13.688				€/a
E3	Heizkosten	81.683	31.928				€/a
E4	Stromkosten	17.695	17.695				€/a
E5	Wasserkosten	1.619	1.619				€/a
E6	Verwaltung+Versicherung						€/a
E7	**heutige Betriebskosten**	**100.997**	**64.930**				€/a
E8	**mittl. Betriebskosten**	**187.523**	**120.557**				€/a
E9	**spez. Betriebskosten**	**26**	**17**				€/m²a
F.	**Umweltfolgekosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	17.516	7.993				€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	429	429				€/a
F3	**Umweltfolgekosten**	**17.945**	**8.422**				€/a
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	**2**	**1**				€/m²a
G.	**Gesamtkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
G1	**Gesamtkosten**	**205.467**	**203.975**				€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**29**	**28**				€/m²a
G2	**Amortisationszeit (Basis: Variante 1)**		**24,3**				a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

* aktuelle Kreditzinsen unter: http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.pdf

Diagramm 10 Gesamtkosten Dämmung HG, VW und Aula



6.3.3 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Sporthalle

Auch bei dieser Variante wurden die u-Wert Anforderungen nach den Passivhauskriterien zugrundegelegt.
Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 6.2.1. – 6.2.12 für die Sporthalle in einem Paket zusammengefasst. Die Kostenschätzung ist mit Ausschreibungswerten aus den Daten des Hochbauamts und aktuellen Ausschreibungsergebnissen durchgeführt.
Die Kapitalisierung wurde für einen Zeitraum von 25 Jahren vorgenommen.
Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle 11 zusammengefasst.
Die Investitionskosten betragen bei der Sporthalle rund 130.000 € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2006. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegen teilweise noch unter diesen Werten.
Die Maßnahmen amortisieren sich unter den angenommenen Randbedingungen nicht ohne Berücksichtigung der Einsparungen von Lüftungsverlusten und den möglichen Einsparungen von Stromeinsparungen durch eine Sanierung der Lüftungsanlage (Tabelle 12).

Tabelle 12 Investitionskosten Wärmeschutz Sporthalle

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichn.	**Helene Lange Schule**				A2 KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	**Sporthalle**				A4 Str-Nr.	
A7	Variante 2	**Dämmung Passivhauskomponenten**					
A8	Bezugsfläche (NGF)	518	m²		A9 Personenzahl	25	P
B.	**Kosten nach DIN276**	(Fassung Juni 1993)		**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	(alle Kosten netto)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
100	**Grundstück**			0	0		
200	**Herrichten und Erschließen**			0	0		
300	**Bauwerk -**	**Menge**	**sp. Preis**	**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	Baukonstruktion	(m³)	(€/m³)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Boden gegen Keller/Erde	812	0	0	0	1,0%	0
	Boden gegen außen	0	0	0	0	1,0%	0
330	Außenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Wand gegen außen	579	93	53.802	104	1,0%	538
	Wand gegen Keller/Erde	0	0	0	0	1,0%	0
	Außenfenster und -türen	168	330	55.506	107	1,5%	833
		0	0	0	0	0,0%	0
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	0	0	0	0	1,0%	0
	Innentüren und Fenster	0	0	0	0	1,5%	0
350	Decken	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	oberste Geschoßdecke	0	0	0	0	1,0%	0
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	1,0%	0
360	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Dach gegen außen	812	0	0	0	1,0%	0
		0	0	0	0	0,0%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			0	0	0,0%	0
300	**Summe Baukonstruktion**			**109.308**	**211**	**1,3%**	**1.371**
400	**Bauwerk-**			**Investition**	**Invest./NGF**	**Wartung**	**Wartung**
	Technische Anlagen			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			0	0	1,5%	0
420	Wärmeversorgungsanlagen			0	0	3,0%	0
430	Lufttechnische Anlagen			0	0	3,5%	0
440	Starkstromanlagen			0	0	1,5%	0
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	3,5%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			0	0	1,5%	0
400	**Summe Technische Anlagen**			**0**	**0**	**1,5%**	**0**
500	**Außenanlagen**			0	0	3,0%	0
600	**Ausstattung und Kunstwerke**			0	0	1,5%	0
700	**Baunebenkosten**			0	0		
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0		
C.	**Summe Investition u. Wartung**		netto	**109.308**	**211**	**1,3%**	**1.371**
C2	Mehrwertsteuer		19%	20.769	40		260
C3			**brutto**	**130.077**	**251**	**1,3%**	**1.631**

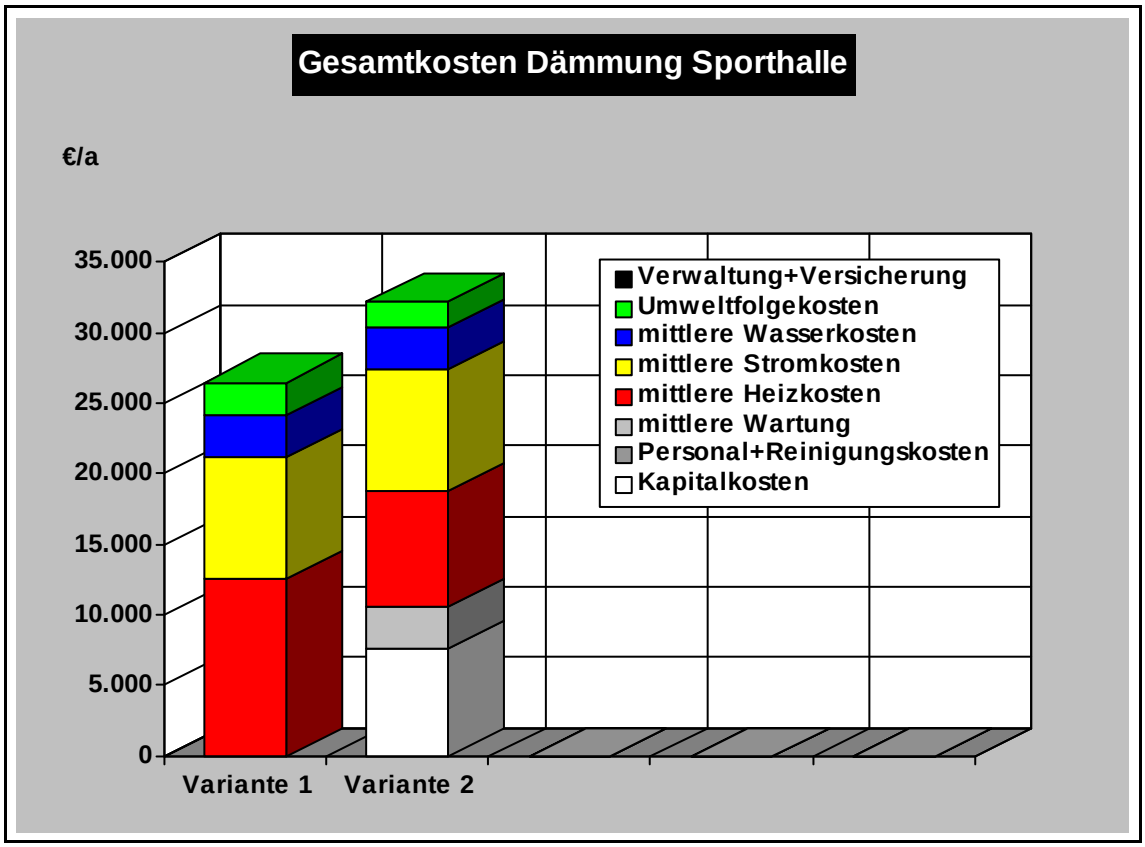
Tabelle 13 Vollkostenberechnung Dämmung Sporthalle

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Helene Lange Schule**				A2 KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	**Sporthalle**				A4 Str.-Nr.	
A5	Straße					A6 Haus-Nr.	
A7	Betrachtungszeitraum	25	a	A8	Währung	€	
A9	Kapitalzins*	3,1%		A10	Annuitätsfaktor	0,058	
A11	Preissteigerung	5%		A12	Mittelwertfaktor	1,86	
B.	**Varianten**	**Bezeichnung**					
B0	**Variante 1**	**Ist-Zustand**					
B1	**Variante 2**	**Dämmung Passivhauskomponenten**					
B2	**Variante 3**						
B3	**Variante 4**						
B4	**Variante 5**						
C.	**Kenngrößen**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	
C1	Bezugsfläche (NGF)	518	518				m²
C2	Personenzahl	25	25				P
C3	spez. Heizwärmebedarf	187	118				kWh/m²a
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	95%	95%				%
C5	spez. Strombezug	37	37				kWh/m²a
C6	spez. CO2-Emissionen	74	57				kg/m²a
C7	spez. Trinkwasserbezug	16,83	16,83				m³/P a
D.	**Kapitalkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
D1	Investitionskosten (DIN 276)	0	130.077				€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	130.077				€
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**7.554**				€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**15**				€/m²a
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
E1	Personal+Reinigungskosten						€/a
E2	Wartung+Instandhaltung	0	1.631				€/a
E3	Heizkosten	6.734	4.388				€/a
E4	Stromkosten	4.685	4.685				€/a
E5	Wasserkosten	1.588	1.588				€/a
E6	Verwaltung+Versicherung						€/a
E7	**heutige Betriebskosten**	**13.006**	**12.292**				€/a
E8	**mittl. Betriebskosten**	**24.149**	**22.823**				€/a
E9	**spez. Betriebskosten**	**47**	**44**				€/m²a
F.	**Umweltfolgekosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	1.912	1.464				€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	421	421				€/a
F3	**Umweltfolgekosten**	**2.333**	**1.885**				€/a
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	**5**	**4**				€/m²a
G.	**Gesamtkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**				
G1	**Gesamtkosten**	**26.482**	**32.261**				€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**51**	**62**				€/m²a
G2	**Amortisationszeit (Basis: Variante 1)**		**#ZAHL!**				a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

* aktuelle Kreditzinsen unter: http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.pdf

Diagramm 11 Gesamtkosten Dämmung Sporthalle



6.4 Verbesserung der Regelungstechnik/Anlagentechnik

6.4.1 Gebäudeleittechnik

Prinzipiell wäre wegen der übergreifenden Einflüsse in den Gebäuden zwischen Lüftungen und Heizungsanlagen sowie den Lichtsystemen der Einsatz einer GLT zu befürworten. Diese ermöglicht es alle haustechnischen Anlagen zentral zu überwachen, zu steuern und zu regeln. Es lassen sich komplexe Zeitpläne realisieren, die Anlagen gleitend einschalten und energieoptimiert betreiben. Hierfür ist ein separates Konzept zu entwickeln und im Rahmen der Umbaumaßnahmen zu verwirklichen.

6.4.2 Heizungsverriegelung

Noch nicht berechnet, da unklar, welche Steuerungen welche Heizung ansteuern.
.

6.4.3 Hydraulische Abstimmung der Heizkreise

Die mangelnde hydraulische Abstimmung der Heizkörper kann zur Unterversorgung von Heizkörpern führen. Wichtig ist die Eindrosselung der Stränge und Ventile.

6.5 Lüftung

Hauptproblem der Lüftung sind die teilweise durchlaufenden Betriebszeiten ohne Teillastbetrieb. Dadurch wird in der Aula und bei der Sporthalle HLS unnötig Strom und Wärme verbraucht.

6.5.1 Lüftung HG

Im HG der HLS sollten die Laufzeiten an die tatsächliche Nutzungszeiten angepasst. Die Anlagen sind neueren Baujahres und verfügen über eine Steuerung nach Stand der Technik. Aus diesem Grund schlagen wir die Einweisung des Hausmeisters in die Bedienung vor, dies kann im Rahmen der Hausmeisterverträge erfolgen.

6.5.2 Lüftung Aula

Die Lüftungsanlage ist technisch veraltet und überdimensioniert. Die Betriebszeiten sind momentan durch die Nichtnutzung der Aula sehr gering, allerdings kann sich dies bei Wiedernutzung der Aula auch ändern. Ein Einsparungspotential ist aus wirtschaftlicher Sicht deutlich zu erkennen. Die Investition hängt deutlich von der weiteren Nutzung der Aula ab, deshalb wurde im Rahmen des Energiekonzeptes auf eine Variantenberechnung verzichtet.

6.5.3 Lüftung Sporthalle

Der Austausch der Lüftungsanlagen für die Turnhalle sowie die Nebenräume wurde von uns bisher noch nicht untersucht. Weder die technischen Daten noch das Alter der Anlage sind uns bekannt. Eine CO_2-geführte Betriebsweise wird noch von uns geprüft.

6.6 Pumpen

Die Pumpen sind überwiegend überdimensioniert, allerdings nicht so deutlich wie in vergleichbaren Gebäuden. Ein Teil der Pumpen könnte manuell zumindest in der Übergangszeit vom Hausverwalter eine Stufe heruntergestellt werden.

6.7 Beleuchtung

6.7.1 Beleuchtung HG

Die überwiegende Anzahl der Beleuchtung in den Klassen- und Fachräumen des HG wurde in den 90-er Jahren ausgetauscht. Diese sind zwar etwas überdimensioniert, allerdings ist ein Austausch hier noch nicht wirtschaftlich. Die Beleuchtung sollte daher nur in den Klassen- und Fachräumen ausgetauscht werden, die über noch ältere Beleuchtung verfügen. Überwiegend handelt es sich hierbei um 4 x 18 W Anbauleuchten mit KVG.

Die Berechnung wurde auch für eine 3-Bandenleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) durchgeführt. Die Auslegung erfolgte auf 300 Lux. In den Klassenräumen werden nach erster überschlägiger Berechnung einflammige Leuchten a 1 x 54 W mit EVG vorgeschlagen. Sinnvoll anzuordnen sind in den kleineren Klassenräumen 2 Reihen je 2 Leuchten und je eine ggf 2 Leuchte(n) als Tafelbeleuchtung. In den größeren Klassenräumen werden 2 Reihen je 3 Leuchten und je eine ggf. (2) Leuchte(n) als Tafelbeleuchtung vorgeschlagen. Die Leuchten werden etwas abgependelt, um den Indirektanteil zu erhöhen.

Die Beleuchtung in den Fluren kann nur zentral für den ganzen Bereich geschalten werden. Deshalb brennt die Beleuchtung auch häufig in den Nichtnutzungszeiten, ebenso kann kein Tageslichtanteil berücksichtigt werden.
Aus diesem Grund wird in den Fluren eine Tageslichtabschaltung in Kombination außenlichtabhängiger Beleuchtungssteuerung und Bewegungsmelder untersucht.

Bei angenommenen Vollbetriebsstunden von rund 620 h /Jahr, verringern sich die mittleren Stromkosten im sanierten Bereich von rund 2.700 €/a auf rund 1.120 €/a bei dann rund 590 h/Jahr.
Die installierte Leistung sinkt von rund 10 W/m^2 auf im Mittel rund 4 W/m^2.
Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten ausgegangen:
Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) sowie teilweise Leuchten mit EVG und Tageslichtsperre (LS) im Mittel von rund 152 €.

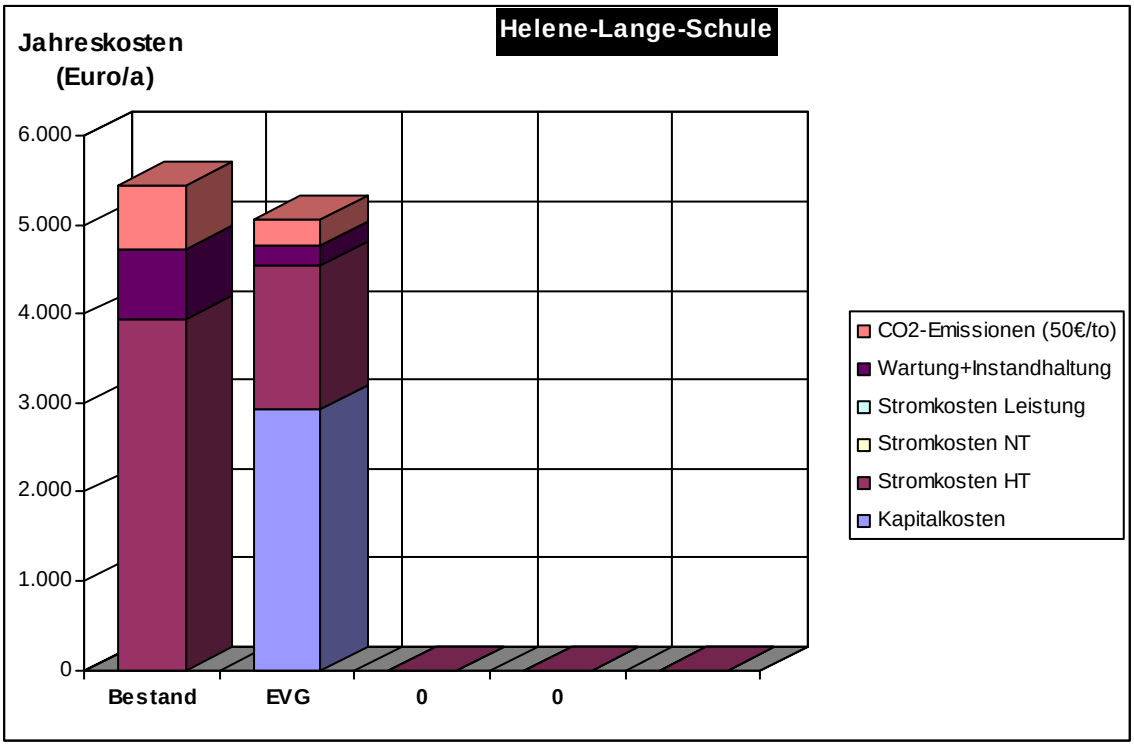
Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in der folgenden Tabelle 14 dargelegt.

Die Vollkosten sinken um rund 10% (Diagramm 12). Bei noch stärkeren Energiepreisteigerungen als 5 % verringert sich die Amortisationszeit wesntlich unter 10 Jahre.

Tabelle 14 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung HG

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Helene-Lange-Schule**				A2 Unterab.	
A3	Gebäudebereich	**Leuchtenaustausch Klassen- und Fachräume, Flur**				A4 Str-Nr.	
A7	Betrachtungszeitraum	**15**	a				
A8	Kapitalzins	4,5%		A9	Annuitätsfaktor	0,093	
A10	Preissteigerung Energie	5%		A11	Mittelwertfaktor	1,45	
B.	**Varianten**	**Kürzel**	**Bezeichnung**				
B0	Variante 0	**Bestand**	Anbauleuchten KVG				
B1	Variante 1	**EVG**	Anbau Spiegel-Rasterleuchten EVG				
B2	Variante 2		plus teilweise EVG LS				
C.	**Kenngrößen**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
C1	Beleuchtete Fläche	2.510	2.510				m²
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	300	300				lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	300	300				lux
C4	Nutzungsdauer HT	620	592				h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0				h/a
C6	Anzahl der Leuchten	217	201				Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	117	55				W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	10	4				W/m²
C9	Investition pro Leuchte	0	156				€/Leuchte
C10	Strompreis HT	0,172	0,172				€/kWh
C11	Strompreis NT	0,145	0,145				€/kWh
C12	Leistungspreis	0	0				€/kWha
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	50%	50%				%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	16.000				h
C15	Kosten für Lampenwechsel	30	20				€/Leuchte
D.	**Kapitalkosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
D1	**Investitionskosten**	**0**	**31.442**				€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	31.442	0			€
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**2.928**				€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**1**				€/m²a
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
E1	Stromkosten HT	2.714	1.120				€/a
E2	Stromkosten NT	0	0				€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0				€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	538	147				€/a
E5	**heutige Betriebskosten**	**3.252**	**1.267**				€/a
E6	**mittl. Betriebskosten**	**4.721**	**1.839**				
E7	**spez. Betriebskosten**	**1**	**1**				€/m²a
F.	**Umweltfolgekosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
F1	CO2-Emissionen (50€/to)	725	299				€/a
F2	**Umweltfolgekosten**	**725**	**299**				€/a
F3	**spez. Umweltfolgekost.**	**0**	**0**				€/m²a
G.	**Gesamtkosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
G1	**Gesamtkosten**	**5.445**	**5.066**	**0**	**0**	**0**	€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**2**	**2**				€/m²a
	Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		**12,7**				

Diagramm 12 Vollkostenbetrachtung Beleuchtung HG



6.7.2 Beleuchtung Verwaltungstrakt

Die überwiegende Anzahl der Beleuchtung in den Räumen des Verwaltungstraktes besteht noch aus alten überdimensionierten Leuchten überwiegend mit 4 x 18 W mit KVG.
Die Berechnung wurde auch für eine 3-Bandenleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) durchgeführt. Die Auslegung erfolgte auf 300 Lux. In einzelnen Räumen werden nach erster überschlägiger Berechnung einflammige Leuchten a 1 x 49 W sowie zweiflammige Leuchten a 2 x 49 W mit EVG vorgeschlagen. Im Treppenbereich sowie den WC`s werden Leuchten mit 1 x 18 W mit EVG vorgeschlagen. Im Flurbereich werden die Glühlamppen durch kompakte Energiesparlampen ersetzt.

Bei angenommenen Vollbetriebsstunden von rund 950 h /Jahr, verringern sich die mittleren Stromkosten im Verwaltungstrakt von rund 820 €/a auf rund 340 €/a
Die installierte Leistung sinkt von rund 9 W/m^2 auf im Mittel 4 W/m^2. Die berechneten Daten finden sich im folgenden Abschnitt.

Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten ausgegangen:
Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) im Mittel von rund 176 €.

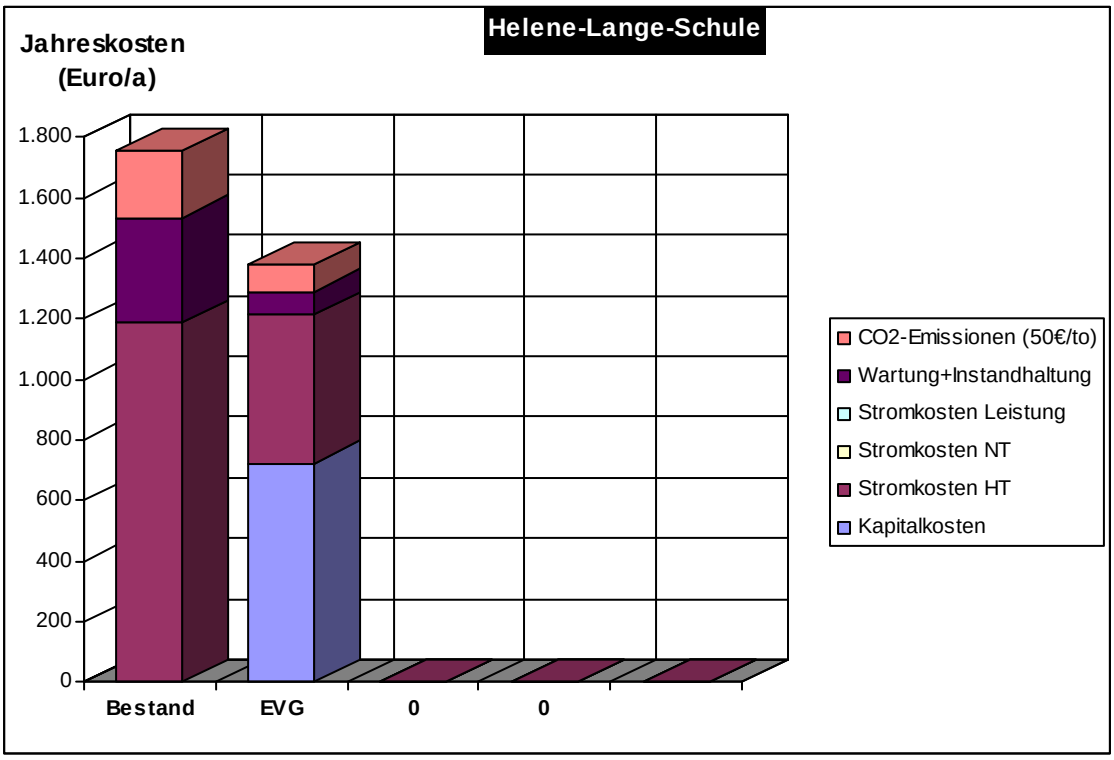
Die Maßnahme amortisiert sich nach rund 9 Jahren.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in der folgenden Tabelle 15 dargelegt.

Tabelle 15 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung VW

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Helene-Lange-Schule**				A2 Unterab.	
A3	Gebäudebereich	**LeuchtenaustauschVerwaltungstrakt**				A4 Str-Nr.	
A7	Betrachtungszeitraum	**15**	a				
A8	Kapitalzins	4,5%		A9	Annuitätsfaktor	0,093	
A10	Preissteigerung Energie	5%		A11	Mittelwertfaktor	1,45	
B.	**Varianten**	**Kürzel**	**Bezeichnung**				
B0	Variante 0	**Bestand**	Anbauleuchten KVG				
B1	Variante 1	**EVG**	Anbau Spiegel-Rasterleuchten EVG				
C.	**Kenngrößen**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
C1	Beleuchtete Fläche	586	586				m²
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	200	200				lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	300	300				lux
C4	Nutzungsdauer HT	950	950				h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0				h/a
C6	Anzahl der Leuchten	63	44				Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	79	47				W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	9	4				W/m²
C9	Investition pro Leuchte	0	176				€/Leuchte
C10	Strompreis HT	0,172	0,172				€/kWh
C11	Strompreis NT	0,145	0,145				€/kWh
C12	Leistungspreis	0	0				€/kWha
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	50%	50%				%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	16.000				h
C15	Kosten für Lampenwechsel	30	20				€/Leuchte
D.	**Kapitalkosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
D1	**Investitionskosten**	**0**	**7.745**				€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	7.745	0			€
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**721**				€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**1**				€/m²a
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
E1	Stromkosten HT	817	339				€/a
E2	Stromkosten NT	0	0				€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0				€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	239	52				€/a
E5	**heutige Betriebskosten**	**1.056**	**391**				€/a
E6	**mittl. Betriebskosten**	**1.533**	**567**				
E7	**spez. Betriebskosten**	**2**	**1**				€/m²a
F.	**Umweltfolgekosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
F1	CO2-Emissionen (50€/to)	218	91				€/a
F2	**Umweltfolgekosten**	**218**	**91**				€/a
F3	**spez. Umweltfolgekost.**	**0**	**0**				€/m²a
G.	**Gesamtkosten**	**Bestand**	**EVG**	**0**	**0**		
G1	**Gesamtkosten**	**1.752**	**1.379**				€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**3**	**2**				€/m²a
	Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		**8,7**				

Tabelle 16 Vollkostenbetrachtung Beleuchtung VW



6.7.3 Beleuchtung HLS Sporthalle

In den Umkleideräumen sowie den WC`s ist bedingt durch die unterschiedliche Bestückung eine Leuchtenleistung von 8 bis 25 W/m^2 installiert. Da die Duschen und Umkleideräume seltener genutzt werden als die Sporthalle, aber in der Regel alle gemeinsam eingeschaltet werden, ist ein bedarforientiertes Beleuchtungskonzept sinnvoll. Dies gilt auch für die Sporthalle. Bei den Begehungen wurde festgestellt, dass die Beleuchtung in der Sporthalle auch in Leerzeiten oftmals in Betrieb ist, dies gilt auch für die Flure.
Um die Beleuchtung nur während der tatsächlichen Benutzung zu gebrauchen empfehlen wir den Einbau von Bewegungsmeldern (opto/akustisch). Dadurch lassen sich die Betriebszeiten von rund 800 auf rund 400 Betriebsstunden reduzieren.

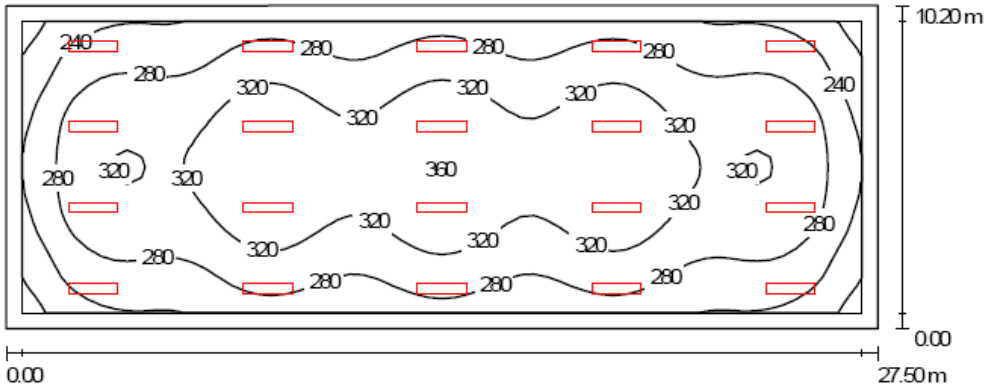
Bei den Bewegungsmeldern wird teilweise eine akustische Variante vorgeschlagen, da in den Nassräumen keine oder eine unzureichende Detektion beim Duschen mit Wassertemperaturen auf Körpertemperaturniveau) vorhanden sind.

Die Anzahl der Leuchten könnte nach einer ersten überschlägigen Berechnung von rund 70 Leuchten durch eine Sanierung auf ca. 48 Leuchten gesenkt werden.

Ein Beispiel der Lichtverteilung für die Sporthalle findet sich im Abbildung1. Die Auslegung erfolgte auf 200 Lux, da in der Halle keine Wettkämpfe stattfinden.

Abbildung 1 Lichtverteilung Sporthalle

Turnhalle / Einblattausgabe



Raumhöhe: 6.000 m, Montagehöhe: 6.000 m, Wartungsfaktor: 0.80 — Werte in Lux, Maßstab 1:197

Fläche	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1
Nutzebene	/	296	184	362	0.62
Boden	20	278	159	347	0.57
Decke	70	66	54	90	0.83
Wände (4)	50	149	64	350	/

Nutzebene:
Höhe: 0.400 m
Raster: 64 x 32 Punkte
Randzone: 0.500 m

UGR	Längs-	Quer	zur Leuchtenachse
Linke Wand	18	18	
Untere Wand	17	17	
(CIE, SHR = 0.25.)			

Leuchten-Stückliste

Nr.	Stück	Bezeichnung (Korrekturfaktor)	Φ [lm]	P [W]
1	20	KANDEM Leuchten SE21 2x58 EINBAU RASTER WEISS (1.000)	10400	134.0
		Gesamt:	208000	2680.0

Spezifischer Anschlußwert: 9.55 W/m² = 3.23 W/m²/100 lx (Grundfläche: 280.50 m²)

Die mittlere spezifische Leistung sinkt von rund 15 W/m^2 auf rund 6 W/m^2 nach der Sanierung. Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten im Durchschnitt ausgegangen:

Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG)	145 €
Leuchten mit EVG und Tageslichtsperre (LS)	245 €

Die Kosten basieren auf Ausschreibungsergebnisse und Abrechnungen im Zuge des Beleuchtungsaustausches von 7 Schulen und zwei Sporthallen im Rahmen des stadtinternen Contractings im Jahre 2006 in Frankfurt. Die Kosten verstehen sich als Bruttokosten inkl. der Planungskosten.

Bei angenommenen Betriebsstunden von 800 /Jahr, verringern sich die Stromkosten von rund 1.100 €/a auf rund 465 €/a in Variante 1 und rund 230 €/a in Variante 2 (bei 400 Betriebsstunden).

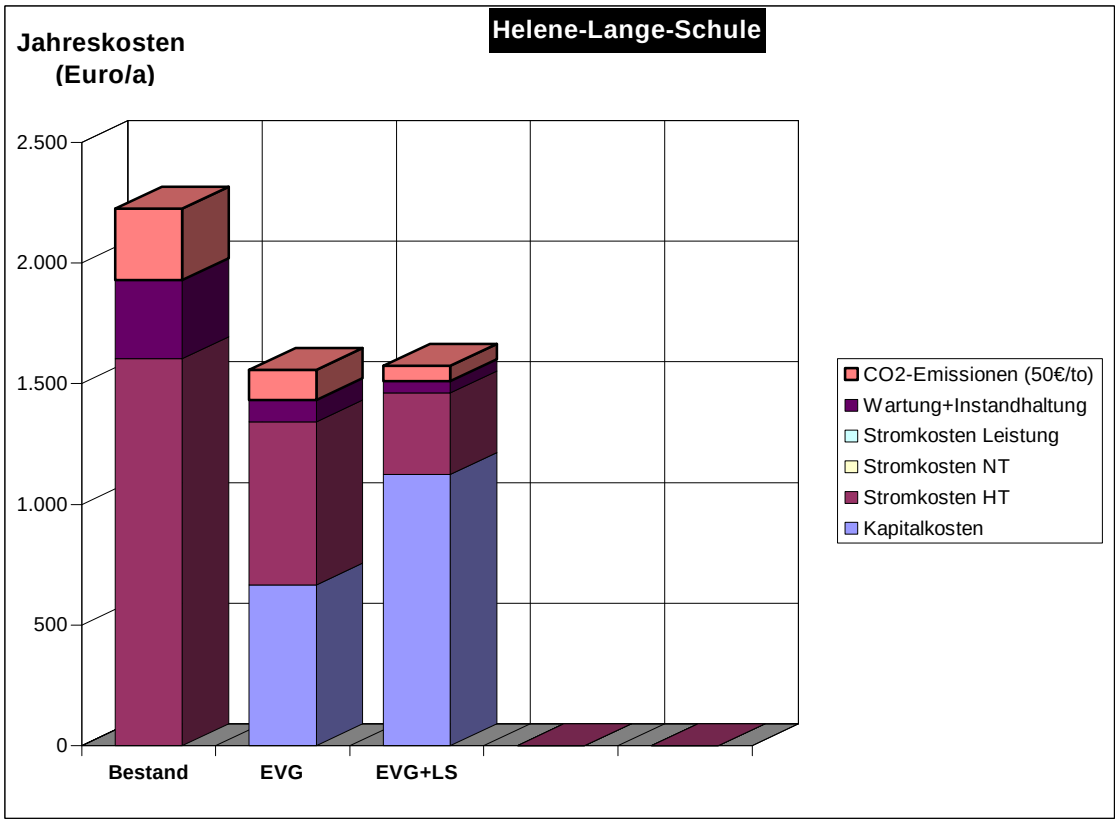
Variante 1 amortisiert sich nach rund 6 Jahren, Variante 2 nach rund 8 Jahren. Die Betriebszeiten der recht häufig durchbrennenden Beleuchtung konnten nur abgeschätzt werden. Die tatsächlichen Betriebszeiten zwischen dem Ist-Zustand bzw. Variante 1 und im Verhältnis dazu von Variante 2 könnten noch deutlicher wie angenommen abweichen. Aus diesem Grund schlagen wir auch die Durchführung von Variante 2 vor, auch wenn nach erster Berechnung Variante 1 sich schneller amortisiert.

.
Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in der folgenden Tabelle 17 dargelegt.

Tabelle 17 Wirtschaftlichkeitsberechnung Leuchtensanierung Sporthalle

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Helene-Lange-Schule**				A2 Unterab.	
A3	Gebäudebereich	**Leuchtenaustausch Sporthalle**				A4 Str-Nr.	
A7	Betrachtungszeitraum	**15**	a				
A8	Kapitalzins	4,5%		A9	Annuitätsfaktor	0,093	
A10	Preissteigerung Energie	5%		A11	Mittelwertfaktor	1,45	
B.	**Varianten**	**Kürzel**	**Bezeichnung**				
B0	Variante 0	**Bestand**	Anbauleuchten KVG				
B1	Variante 1	**EVG**	Anbau Spiegel-Rasterleuchten EVG				
B2	Variante 2	**EVG+LS**	plus Tageslichtsteuerung				
C.	**Kenngrößen**	**Bestand**	**EVG**	**EVG+LS**			
C1	Beleuchtete Fläche	519	519	519			m²
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	200	200	200			lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	400	200	200			lux
C4	Nutzungsdauer HT	800	800	400			h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0	0			h/a
C6	Anzahl der Leuchten	70	48	48			Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	115	70	70			W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	15	6	6			W/m²
C9	Investition pro Leuchte	0	149	251			€/Leuchte
C10	Strompreis HT	0,172	0,172	0,172			€/kWh
C11	Strompreis NT	0,145	0,145	0,145			€/kWh
C12	Leistungspreis	0	0	0			€/kWha
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	50%	50%	50%			%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	12.000	16.500			h
C15	Kosten für Lampenwechsel	30	20	30			€/Leuchte
D.	**Kapitalkosten**	**Bestand**	**EVG**	**EVG+LS**			
D1	**Investitionskosten**	**0**	**7.163**	**12.071**			€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	7.163	12.071			€
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**667**	**1.124**			€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**1**				€/m²a
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Bestand**	**EVG**	**EVG+LS**			
E1	Stromkosten HT	1.106	465	232			€/a
E2	Stromkosten NT	0	0	0			€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0			€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	224	63	35			€/a
E5	**heutige Betriebskosten**	**1.330**	**528**	**267**			€/a
E6	**mittl. Betriebskosten**	**1.930**	**766**	**388**			
E7	**spez. Betriebskosten**	**3**	**1**	**1**			€/m²a
F.	**Umweltfolgekosten**	**Bestand**	**EVG**	**EVG+LS**	**0**		
F1	CO2-Emissionen (50€/to)	295	124	62			€/a
F2	**Umweltfolgekosten**	**295**	**124**	**62**			€/a
F3	**spez. Umweltfolgekost.**	**1**	**0**	**0**			€/m²a
G.	**Gesamtkosten**	**Bestand**	**EVG**	**EVG+LS**	**0**		
G1	**Gesamtkosten**	**2.225**	**1.557**	**1.574**			€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**4**	**3**	**3**			€/m²a
	Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		**6,3**	**8,3**			

Diagramm 13 Vollkostenbetrachtung Leuchtentausch Sporthalle



6.7.4 Beleuchtung Aula

In dem Foyer sind 90 Glühlampen a 60 W, in der Aula 195 Glühlampen a 60 W und im Bühnenbereich 20 Glühlampen a 60 W installiert. Bei rund 300 Betriebsstunden werden durch den Austausch gegen kompakte Energiesparlampen rund 4.000 kWh/a pro Jahr oder rund 1.000 €/a eingespart. Die Investitionssumme beträgt rund 2.000 €. Der ROI liegt bei 3,6 Jahren.

6.8 Verringerung Stand-by Verluste HG

Durch die hohe Anzahl an Verbrauchern, insbesondere zahlreiche Computer und Monitore (rund 35 im HG) sowie mehrere Computer im Sekretariat und Lehrerzimmer, ist das Einsparpotential bezüglich der Stand-by Verluste recht hoch. Insgesamt könnten in allen Gebäuden zusammen rund 100 €/a bzw. 580 kWh/a eingespart werden, der investive Anteil beträgt rund 50 € für schaltbare Steckerleisten. das konsequente Vermeiden von Stand-by Verlusten der Computer und Monitore. Der Austausch der Monitore gegen energieeffiziente Flachbildschirme sollte als Merkposition beachtet werden. Der Verbrauch von jeweils rund 4.200 kWh/a allein durch die Monitore bedingt, lässt sich beim Einsatz durch Flachbildschirme in etwa halbieren.

7 Zusammenfassung

Die Helene Lange Schule (HLS) besteht aus Aula, Hauptgebäude, Verwaltungstrakt und Turnhalle mit einer Energiebezugsfläche von insgesamt **8.500 m²**.

Auffällig hoch sind bei der Helene Lange Schule (HLS) nur die Kennwerte für Wärme mit rund 190 kWh/m²a bei einem Verbrauch von 1600 MWh/a. Dies entspricht im Vergleich mit dem Energiepaß Frankfurt für Gymnasien der Klasse **F**.
Dies ist im wesentlichen auf den fehlenden Wärmeschutz des Bauteilstandards 1965 zurückzuführen. Die Heizungsanlage wurde bereits 2003 saniert.

Die spezifische Verbrauchskennwert für Strom beträgt rund 13 kWh/m²*a bei einem Verbrauch von 110 MWh. Der Kennwert für die Klassengrenze **C** für Gymnasium beträgt 12 kWh/m²*a, d. h., die SHS fällt in die drittbeste Stufe C der Einordnung nach der EnEV 2007 und unterschreitet auch den Durchschnitt von 15 kWh/m²a.

Die spezifische Verbrauchskennwert für Wasser beträgt rund 105 Liter/m²*a. Damit liegt der Kennwert noch in der zweitbesten Klasse **B**. Der Mittelwert aller Gebäude liegt bei 179 Liter/m²*a, der Wasserverbrauchskennwert der HLS liegt damit deutlich unter dem Mittelwert.

Die Einsparmaßnahmen liegen daher neben der Bauphysik in vielen kleinen Maßnahmen. Erwartungsgemäß haben die organisatorischen Maßnahmen hier den schnellsten Erfolg und auch den kürzesten ROI, weil hier außer Weiterbildung, Hinweise und konsequente Anwendung wenig Investitionen getätigt werden müssen. Hier kann das Hausverwalterbeteiligungsmodell (EBN) der Stadt Frankfurt zusätzlich fördernd wirken. Bereits mit der konsequenten Umsetzung der organisatorischen Maßnahmen lassen sich rund 90.000 kWh oder 6.000 €/a einsparen.

Da die Heizungsanlage bereits saniert wurde und der Stromverbrauch mit 12 kWh/m²a auch nicht übermäßig hoch ist sind die Einsparpotentiale geringer als bei vergleichbaren Objekten. Hier sind Einzelmaßnahmen im Bereich der Beleuchtung sowie der Lüftungsanlagen sinnvoll. Insgesamt führen alle maschinellen Maßnahmen zu einem Einsparpotential von rund 22.000 kWh oder 3.000 €/a. Bei einer Investitionssume von rund 55.000.- liegt die Amortisationszeit bei ca. 10 Jahren, je nach angenommener Energiepreisteigerung.

Durch die weitere Verbesserung der Bauphysik (Passivhausstandard) lassen sich rund 800.000 kWh oder 49.000 €/a sparen. Dies erfordert Investitionen von rund 1.520.000 €. Diese Einsparungen machen sich nach rund 32 a bezahlt.
Dies ist im Bereich der Bauphysik ein mittelfristiger Zeitrahmen, mögliche Vergünstigungen durch Förderprogramme sind hier nicht eingerechnet.

Durch die Einsparungen im Bereich Wärmeschutz von rund 800.000 kWh sinkt der Kennwert auf 105 kWh/m²a.

Bei einer Gesamtinvestition von rund 1,6 Mio. € reduzieren sich die Energiekosten um rund 60.000 €/a, die Energieverbräuche um rund 900.000 kWh/a.

Die Kosten für den Bereich Aula betragen davon rund 500.000 €. Sollte die Aula nicht berücksichtigt werden (über die weitere Nutzung ist noch nicht entschieden), beträgt die Gesamtinvestitionssumme im Bereich Bauphysik noch rund 1.000.000 €.

Linter, den 31.3.08

8 Verzeichnisse

8.1 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Übersicht Leuchten 16
Tabelle 2 Energiekosten 2006-2007 18
Tabelle 3 Energieverbräuche von 2002-2007 19
Tabelle 4 Spezifische Energiekosten 19
Tabelle 5 Leistungen und Verbräuche Strom 24
Tabelle 6 Pumpenübersicht 30
Tabelle 7 Maßnahmenübersicht 32
Tabelle 8 Investitionskosten Wärmeschutz HG 37
Tabelle 9 Vollkostenrechnung Dämmung HG 38
Tabelle 10 Investitionskosten Wärmeschutz HG, VW und Aula 40
Tabelle 11 Vollkostenberechnung Dämmung HG, VW und Aula 41
Tabelle 12 Investitionskosten Wärmeschutz Sporthalle 43
Tabelle 13 Vollkostenberechnung Dämmung Sporthalle 44
Tabelle 14 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung HG 48
Tabelle 15 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung VW 50
Tabelle 16 Vollkostenbetrachtung Beleuchtung VW 51
Tabelle 17 Wirtschaftlichkeitsberechnung Leuchtensanierung Sporthalle 53

8.2 Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 1 Energiekosten und Verteilung 2006-2007 19
Diagramm 2 Kostenaufteilung Energie 20
Diagramm 3 Installierte Leistung nach Bereichen 25
Diagramm 4 Stromverbrauch nach Bereichen 25
Diagramm 5 Wärmebilanz HG 27
Diagramm 6 Wärmebilanz HG mit VW und Aula 27
Diagramm 7 Wärmebilanz HLS Sporthalle 28
Diagramm 8 Heizwärme- und Endenergiekennzahlen 29
Diagramm 9 Gesamtkosten Dämmung HG 39
Diagramm 10 Gesamtkosten Dämmung HG, VW und Aula 42
Diagramm 11 Gesamtkosten Dämmung Sporthalle 45
Diagramm 12 Vollkostenbetrachtung Beleuchtung HG 49
Diagramm 13 Vollkostenbetrachtung Leuchtentausch Sporthalle 54

8.3 Verzeichnis der Bilder

Bild 1 Luftbild HLS Bild 2 Lageplan 5
Bild 3 Stahlstütze als Wärmebrücke 6
Bild 4 Außenfassade West HLS HG und Bild 5 Außenfassade Ost HLS HG 7
Bild 6 Außenfassade Nord VW HG und Bild 7 Innenansicht VW 7
Bild 8 Außenansicht Ost Aula und Bild 9 Außenansicht West Aula 8
Bild 10 Ansicht Sporthalle und Bild 11 Außenansicht West Aula 9
Bild 12 Brennwertkessel und Niedertemperatur 10
Bild 13 und Bild 14 Heizkörper HG Bücherei und Heizkörper Flur HG 10
Bild 15 Lüftungsanlage Naturwissenschaftliche Räume HG 11
Bild 16 und Bild 17 Lüftungsanlage Sporthalle 12
Bild 18 Regelung Lüftungsanlage 12
Bild 19 und Bild 20 HLS HG Leuchten 13

Bild 21 HLS Verwaltung und Bild 22 Sekretaraiat und Flur 14
Bild 23 HLS Aula 14
Bild 24 HLS Foyer 15
Bild 25 HLS Sporthalle-Leuchten 15
Bild 26 Leuchte Sporthalle Flur 16