

## Energiekonzept

für  
die Wilhelm-Merton-Schule (WMS)  
und die Franz-Böhm-Schule (FBS)  
neu: **Böhm-Merton-Schule (BMS)**

Eichendorffstr. 67- 69 und 77 - 79  
Frankfurt a.M.



**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**

Oktober 2007

## Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einleitung .....   | 4  |
| 2     | Geschichte und bisherige Maßnahmen.....                                    | 5  |
| 3     | IST- Zustand .....   | 6  |
| 3.1   | Allgemeine Gebäudedaten .....  | 6  |
| 3.2   | Energiebezugsfläche.....   | 7  |
| 3.3   | Bauphysik .....  | 7  |
| 3.3.1 | WMS HG.....  | 7  |
| 3.3.2 | WMS Sporthalle .....   | 8  |
| 3.3.3 | HG FBS.....  | 9  |
| 3.3.4 | HG EB.....   | 11 |
| 3.4   | Anlagentechnik/Haustechnik (HT) .....                                      | 11 |
| 3.4.1 | Raumheizung (H) HG und EB FBS, HG WMS.....                                 | 11 |
| 3.4.2 | Raumheizung (H) WMS Sporthalle.....  | 13 |
| 3.5   | Wasserbereitung WW .....   | 14 |
| 3.5.1 | Wasserbereitung WMS HG und FBS HG .....                                    | 14 |
| 3.5.2 | Wasserbereitung WMS Turnhalle.....   | 14 |
| 3.6   | Lüftungsanlagen (L) .....  | 14 |
| 3.6.1 | Lüftungsanlage WMS HG.....   | 14 |
| 3.6.2 | Lüftungsanlage WMS Sporthalle .....  | 15 |
| 3.6.3 | Lüftungsanlage FBS HG .....  | 16 |
| 3.6.4 | Lüftungsanlage FBS EB.....   | 16 |
| 3.7   | Beleuchtung (B) .....  | 16 |
| 3.7.1 | Beleuchtung WMS HG .....   | 16 |
| 3.7.2 | Beleuchtung Sporthalle WMS.....  | 17 |
| 3.7.3 | Beleuchtung FBS HG .....   | 18 |
| 3.7.4 | Beleuchtung FBS EB.....  | 19 |
| 3.7.5 | Beleuchtung Zusammenfassung .....  | 20 |
| 3.8   | Sonstige elektrische Verbraucher.....                                      | 20 |
| 3.8.1 | Verbraucher WMS HG .....   | 20 |
| 3.8.2 | Verbraucher WMS Sporthalle.....  | 21 |
| 3.8.3 | Verbraucher FBS HG .....   | 22 |
| 3.8.4 | Verbraucher FBS EB.....  | 22 |
| 3.9   | Sanitär/Wasser (S) WMS HG, Sporthalle, FBS HG und EB.....                  | 22 |
| 4     | Energiedaten.....  | 23 |
| 4.1   | Verbräuche .....   | 23 |
| 4.2   | Verträge .....   | 24 |
| 4.2.1 | Stromverträge .....  | 24 |
| 4.2.2 | Gasverträge .....  | 24 |
| 4.2.3 | Wasserverträge.....  | 24 |
| 4.3   | Lastgänge .....  | 24 |
| 4.3.1 | Monatsprofile WMS HG.....  | 24 |
| 4.3.2 | Monatsprofile WMS Sporthalle .....   | 26 |
| 4.3.3 | Monatsprofile FBS HG .....   | 28 |
| 5     | Leistungen und Verbräuche .....  | 30 |
| 5.1   | Ergebnisse der Berechnungen Leistungs- und Verbrauchswerte WMS und FBS ... | 30 |
| 5.2   | Leitfadenberechnung (LEH) .....  | 33 |
| 5.2.1 | Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie WMS HG.....                      | 33 |
| 5.2.2 | Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie WMS Sporthalle .....             | 34 |
| 5.2.3 | Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie FBS HG .....                     | 35 |
| 5.2.4 | Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie FBS EB.....                      | 35 |
| 5.2.5 | Zusammenfassung Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie.....             | 36 |
| 5.3   | Leitfaden LEE.....   | 37 |
| 5.3.1 | Beleuchtung .....  | 37 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.3.2  | Lüftung .....  | 37 |
| 5.3.3  | Pumpen.....  | 38 |
| 6      | Maßnahmen .....  | 41 |
| 6.1    | Übersicht.....   | 41 |
| 6.2    | Verbesserung der Wärmedämmung.....                                     | 43 |
| 6.2.1  | Austausch der Fenster im HG WMS.....                                   | 43 |
| 6.2.2  | Austausch der Fenster in der Sporthalle WMS .....                      | 44 |
| 6.2.3  | Wärmedämmverbundsystem HG WMS.....                                     | 44 |
| 6.2.4  | Wärmedämmverbundsystem Sporthalle WMS .....                            | 44 |
| 6.2.5  | Dachdämmung HG WMS .....   | 45 |
| 6.2.6  | Dachdämmung Sporthalle WMS .....                                       | 45 |
| 6.2.7  | Boden HG WMS.....  | 45 |
| 6.2.8  | Boden Sporthalle WMS .....   | 45 |
| 6.2.9  | Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik WMS HG .....                | 45 |
| 6.2.10 | Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik WMS Sporthalle.....         | 52 |
| 6.3    | Verbesserung der Regelungstechnik/Anlagentechnik.....                  | 58 |
| 6.3.1  | Gebäudeleittechnik .....   | 58 |
| 6.3.2  | Heizungsregelung .....   | 58 |
| 6.3.3  | Bedienung der Regelung.....  | 58 |
| 6.3.4  | Hydraulische Abstimmung der Heizkreise .....                           | 59 |
| 6.4    | Lüftung.....   | 59 |
| 6.4.1  | Lüftung WMS HG .....   | 59 |
| 6.4.2  | Lüftung WMS Sporthalle .....   | 59 |
| 6.4.3  | Lüftung FBS HG.....  | 61 |
| 6.5    | Pumpen.....  | 61 |
| 6.6    | Beleuchtung .....  | 61 |
| 6.6.1  | Beleuchtung WMS Sporthalle.....  | 61 |
| 6.6.2  | Beleuchtung HG FBS .....   | 64 |
| 7      | Gesamtkostenbetrachtung WMS Turnhalle für Bauphysik und Anlagentechnik | 71 |
| 8      | Organisatorisches/Sonstiges .....                                      | 73 |
| 8.1    | Nachrüsten Dämmschalen FBS, WMS und WMS Turn .....                     | 73 |
| 8.2    | Verringerung Stand-By Verluste WMS HG und FBS HG .....                 | 73 |
| 8.3    | Zeitschaltuhren für dezentrale WW-Bereitung .....                      | 73 |
| 8.4    | Abschalten der Pflanzenstrahler WMS HG.....                            | 73 |
| 8.5    | Reduzierung der Leuchten FBS EB.....                                   | 73 |
| 8.6    | Abklemmen Notstromaggregat WMS Turn .....                              | 73 |
| 9      | Zusammenfassung.....   | 74 |

## 1 Einleitung

Wir erhielten vom Magistrat der Stadt Frankfurt Hochbauamt (Amt 65) den Auftrag, ein Energiekonzept für die Wilhelm-Merton Schule sowie die benachbarte Franz-Böhm Schule zu erstellen.

Die Gebäude liegen im Südwesten der Stadt Frankfurt im Stadtteil Dornbusch und beherbergen die Wilhelm-Merton Schule, im folgenden „WMS“ genannt sowie die Franz-Böhm Schule, im folgenden „FBS“ genannt. Neben dem eigentlichen Hauptgebäude verfügt die FBS über ein kleineres Schulgebäude, die WMS verfügt neben dem Hauptgebäude zusätzlich über eine Sporthalle.

Die Wilhelm-Merton-Schule besteht aus einer Berufs- und Fachschule, die Franz-Böhm-Schule gliedert sich in eine Berufs-, Berufsfach- und Fachoberschule auf.

Die Sporthalle wird von den Schulen sowie durch verschiedene Vereine genutzt.

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

Die beiden bisher getrennten Schulen sollen zu einem Schulkomplex zusammengefügt werden (Böhm-Merton-Schule =BMS).

Die Stadt Frankfurt dokumentiert seit 1995 die Verbräuche der öffentlichen Liegenschaften. Für die beiden Schulen liegen die Daten für Strom und Wärme vor.

## **2 Geschichte und bisherige Maßnahmen**

Alle Gebäude werden über Fernwärme aus dem Mainova-Netz versorgt.

Im Jahr 1996 wurde die Fassade des Hauptgebäudes der FBS von Asbest befreit, ebenso wurden neue Fenster und eine Wärmedämmung mit einer Vorhangfassade eingebaut. Im Jahr 2000 erhielt die FBS ein neues Nebengebäude mit Klassenräumen (EB).

Die Sporthalle der WMS erhielt 2005 eine neue Hallenbeleuchtung. Außerdem wurde die Heizungsregelung neu eingestellt.

Im Zuge der Zusammenlegung der beiden Schulen werden die Gebäude teilweise saniert, den aktuellen Brandschutzbestimmungen angepasst sowie ein Energiekonzept aufgestellt.

1996 wurde die Lüftungsanlage in dem Hauptgebäude der WMS saniert und entspricht dem damaligen Stand der Technik.

Aufgrund der Komplexität der Anlagen im Gebäude ist bei allen Sparmaßnahmen die Mitwirkung örtlich kundiger Personen - in der Regel der Hausverwalter Technik – zu empfehlen.

Zukünftig soll auch aus Brandschutzgründen die Sporthalle saniert werden. Durch die Zusammenlegung beider Schulen ist ein Zwischenbau geplant.

### 3 IST- Zustand

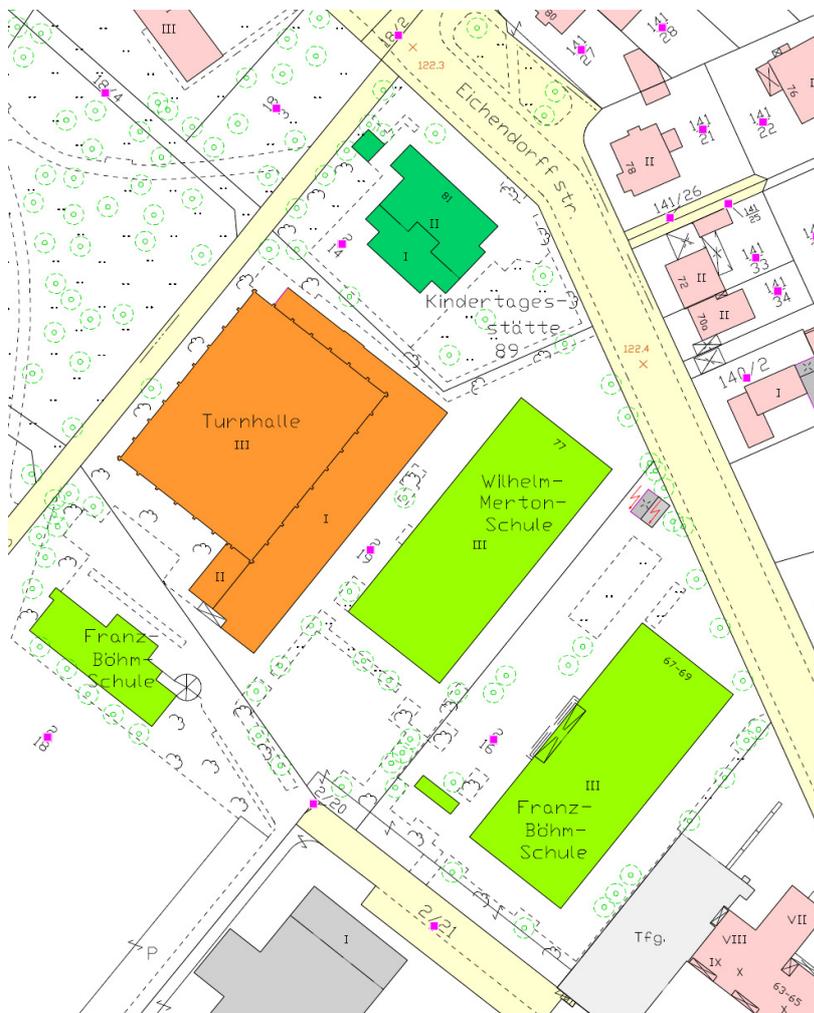
#### 3.1 Allgemeine Gebäudedaten

Das FBS besteht aus einem Hauptgebäude - im folgenden „HG“ genannt - aus dem Jahr 1969 sowie einem Erweiterungsbau - im folgenden „EB“ genannt - aus dem Jahr 2000. Gemäß dem Hessischen Leitfaden für Energiebewusste Gebäudeplanung im Hochbau (LEH) sind einzelne Gebäude getrennt zu untersuchen. Daher wurde der Wärmebedarf für den EB und HG getrennt ermittelt und für die Gesamtbilanz Endenergiezahl „HG“ und „EB“ teilweise wieder gewichtet zusammengefasst, da beide Bauteile an einer gemeinsamen Wärmeversorgung angeschlossen sind. Diese lässt sich seit neuerem aber sinnvoll abgrenzen, da nun Wärmemengenzähler für die einzelnen Gebäudeteile installiert sind.

Die WMS besteht aus einem Hauptgebäude - im folgenden „HG“ genannt - aus dem Jahr 1974 sowie einer Sporthalle- im folgenden „Turn“ genannt - aus dem Jahr 1982

Der Lageplan 1 gibt einen Überblick.

**Abbildung 1 Lageplan WMS und FBS**



### 3.2 Energiebezugsfläche

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

|   |                      |
|---|----------------------|
| Der Erweiterungsbau der FBS hat eine Energiebezugsfläche von: | 650 m <sup>2</sup>   |
| Das Hauptgebäude der FBS hat eine Energiebezugsfläche von:    | 3.929 m <sup>2</sup> |

|   |                      |
|---|----------------------|
| Die Energiebezugsfläche (EBF) beträgt in der Summe: | 4.579 m <sup>2</sup> |
|---|----------------------|

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

|  |                      |
|--|----------------------|
| Die Sporthalle der WMS hat eine Energiebezugsfläche von:   | 2.470 m <sup>2</sup> |
| Das Hauptgebäude der WMS hat eine Energiebezugsfläche von: | 3.914 m <sup>2</sup> |

|   |                      |
|---|----------------------|
| Die Energiebezugsfläche (EBF) beträgt in der Summe: | 6.384 m <sup>2</sup> |
|---|----------------------|

Das Gebäudevolumen Volumen

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Der Erweiterungsbau der FBS hat ein Volumen von: | 1.853 m <sup>3</sup>  |
| Das Hauptgebäude der FBS hat ein Volumen von:    | 11.198 m <sup>3</sup> |
| Das Volumen V <sub>e</sub> beträgt in der Summe: | 13.051 m <sup>3</sup> |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Die Sporthalle der WMS hat ein Volumen von:      | 6.900 m <sup>3</sup>  |
| Das Hauptgebäude der WMS hat ein Volumen von:    | 11.742 m <sup>3</sup> |
| Das Volumen V <sub>e</sub> beträgt in der Summe: | 18.642 m <sup>3</sup> |

Die erste Ortsbegehung fand im Zusammenhang mit dem Start up -Termin des Energiegutachtens am 27.08.06 statt. Im Rahmen des Start up -Termins wurden die offensichtlichen Mängel des Gebäudes seitens der Schulleitung und der Hausverwalter zur Kenntnis gegeben. Das Protokoll des Start up -Termins ist als Word-Datei im Rahmen der Besprechungen im Bauamt verfügbar.

Insgesamt fanden bis zum Endbericht am 7.09.07 noch 6 weitere Ortstermine statt, um möglichst viele Daten des komplexen Gebäudes zu erfassen und Betriebszustände bei unterschiedlichen Temperaturen aufzunehmen.

Bei der ersten Ortsbegehung konnten bereits einige Mängel festgestellt werden.

### 3.3 Bauphysik

#### 3.3.1 WMS HG

Das Gebäude zeigt wie die meisten Gebäude aus den 70er Jahren fast die gesamte Palette möglicher energetischer Baumängel.

- Wärmebrücken im Bereich der Betondecken und Stützen.
- Wärmebrücken an thermisch nicht entkoppelte Aluminiumrahmen und Anschlüssen.
- Teilweise noch Einfachverglasung an Flurfenstern und Außentüren.
- Zentimeterbreite Spalte an Außentüren, insbesondere an den unteren Abschlüssen.
- Defekte Thermopanscheiben und Dichtungen in den Fenstern.
- Alte Lüftungsklappen an den Fenstern, die nicht dicht schließen.

Die Oberflächen sowohl der Außen und der Innenwände im Hauptgebäude der WMS sind diffusionsdicht ausgeführt und verfügen über wenig Masse. Das Gebäude besteht aus Stahlbetonskelettbauweise mit vorgehängter Fassade aus Waschbetonelementen. Die Fassade ist in dem folgenden Bild 1 gezeigt.

**Bild 1 Außenfassade WMS Hauptgebäude**



### 3.3.2 WMS Sporthalle

Das Gebäude stammt aus dem Jahr 1982. Die Außenfassade besteht aus einer Stahlbetonskelettbauweise mit vorgehängter Fassade aus Betonelementen.

**Bild 2 Sporthalle WMS Draufsicht**

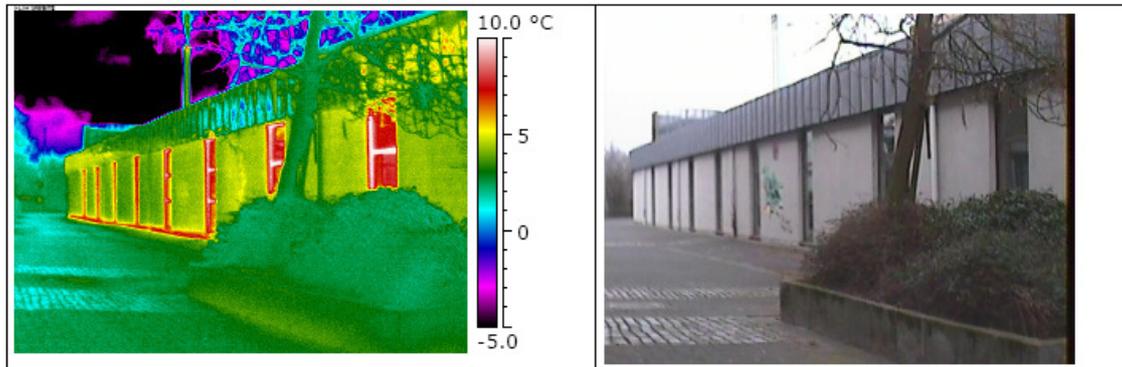


Die bisherigen Erkenntnisse des Energieverbrauches sowie offensichtliche Wärmebrücken führten zu thermographischen Aufnahmen der Gebäudehülle, die am 6.2.2007 durchgeführt wurde. Bei der Thermografie wurden im Wesentlichen folgende Schwachpunkte festgestellt:

- Der gesamte Wärmeschutz entspricht nicht mehr dem Stand der Technik
- An den Gebäudeecken gibt es massive geometrische Wärmebrücken.
- Die statisch tragenden Bauteile (Stahlbeton) stellen dabei die größten konstruktiven Wärmebrücken dar.
- Die Fenster der Türen sind Wärmebrücken.
- Die Lichtkuppeln zeigen Schwachstellen.
- Die Dämmung des Turnhallendaches ist nicht mehr funktionsfähig.

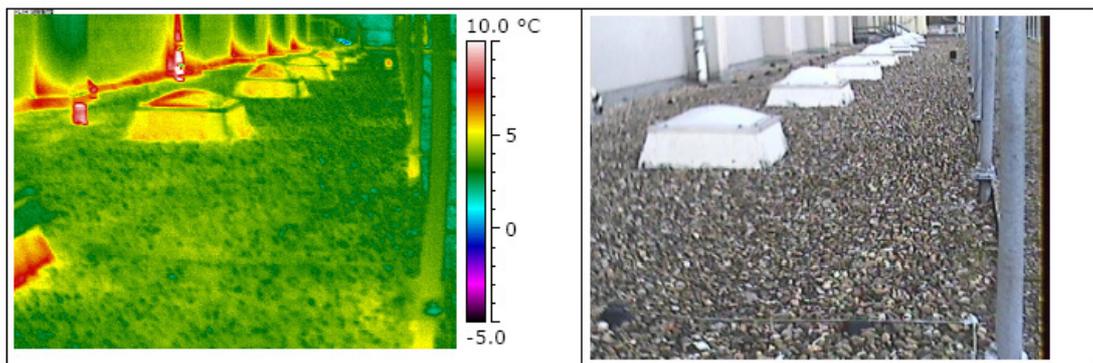
Nachfolgend sind in Abbildung 2 und 3 Aufnahmen aus dem Bericht gezeigt.

**Abbildung 2 Thermographie Ostfassade**



Bauteil: Turnhalle  
Bemerkungen: Undichte Fenster, Mauerwerk sichtbar, Fenster und Türen ungedämmt

**Abbildung 3 Thermographie Dachanschluss Turnhalle**



Bauteil: Turnhalle  
Bemerkungen: Mauerwerk, Sockelbereich, Lichtkuppeln sichtbar, erhebliche Wärmebrücken.

### 3.3.3 HG FBS

Die Oberflächen der Innenwände im Hauptgebäude der WMS sind diffusionsdicht ausgeführt und verfügen über wenig Masse. Stahlbetonskelettbauweise mit vorgehängter Fassade aus gedämmten Plattenelementen. Das Gebäude wurde im Zusammenhang mit der Asbestsanierung wärmeschutztechnisch verbessert. Die Fassade ist in dem folgenden Foto ersichtlich.

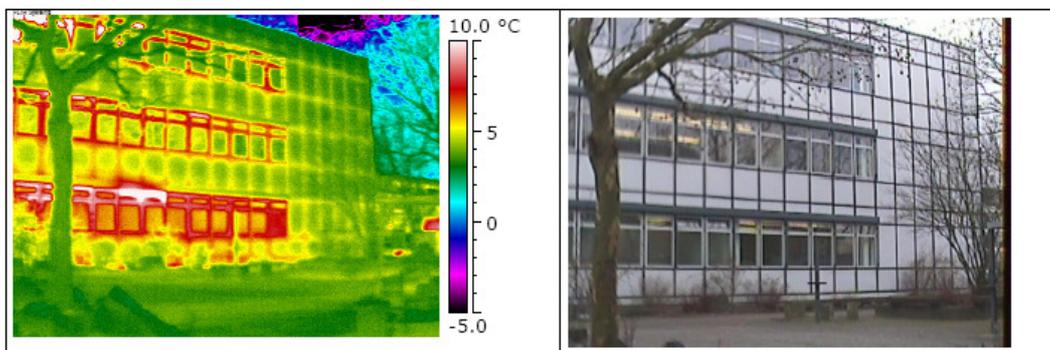
**Bild 3 Ansicht FBS HG**



Auch hier wurden wegen der bisherigen Erkenntnisse aus dem Energieverbrauch am 6.2.2007 thermographischen Aufnahmen der Gebäudehülle durchgeführt. Bei der Thermografie wurden im Wesentlichen folgende Schwachpunkte festgestellt:

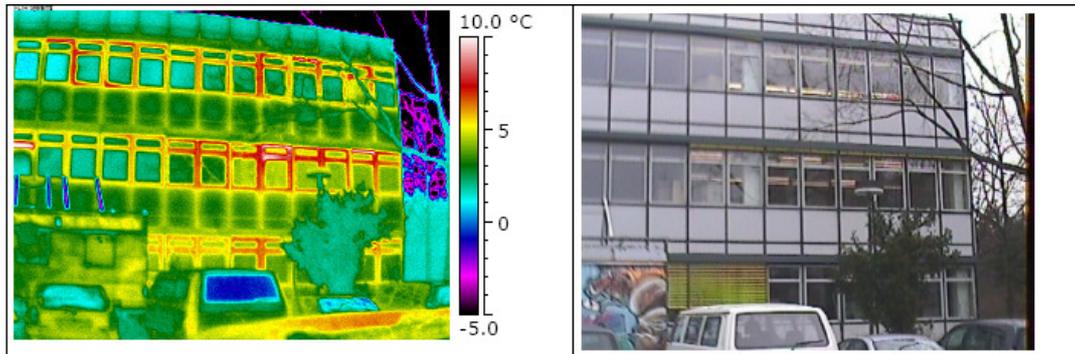
- Der gesamte Wärmeschutz entspricht nicht mehr dem Stand der Technik.
- Die statisch tragenden Bauteile, in denen die Platten der Vorhangfassade aufgehängt sind, stellen die größten Wärmebrücken dar.
- Die Fensterrahmen sind unzureichend gedämmt.

**Abbildung 4 Westfassade HG FBS**



Bauteil: Westfassade, Teilweise Fenster offen  
Bemerkungen: Fensterprofile ungedämmt, Platten der Vorhangfassade undicht und nicht ausreichend gedämmt.

**Abbildung 5 Südfassade HG FBS**



Bauteil: Südfassade  
 Bemerkungen: Sockelbereich ungedämmt, Fensterprofile ungedämmt, Platten der Vorhangsfassade undicht und nicht ausreichend gedämmt

Durch die Thermographie kommen wir zum Schluss, dass eine Sanierung der Fassade als Merkposition für die Zukunft berücksichtigt werden soll.

### 3.3.4 HG EB

Das Gebäude stammt aus dem Jahr 2000. Dementsprechend ist der Wärmeschutz auf dem Standard der Wärmeschutzverordnung 1995. Das Gebäude ist auf dem nächsten Bild zu erkennen.

**Bild 4 FBS EB**



## 3.4 Anlagentechnik/Haustechnik (HT)

### 3.4.1 Raumheizung (H) HG und EB FBS, HG WMS

Die Schulgebäude wurden früher teilweise durch die Lüftung beheizt. Heute werden alle Räume durch statische Heizkreise versorgt. Die statischen Heizkreise versorgen alle Klassenräume über eine Außentemperatur geführte Vorlauftemperaturregelung. In dem HG der WMS verfügen die Räume zusätzlich über Raumregler. Die Heizkörper haben, außer in dem neuen Erweiterungsbau der FBS, keine 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 Schulgebäude der FBS sowie das Hauptgebäude der WMS verfügen über eine gemeinsame Heizzentrale. Die Wärmeübergabe erfolgt über eine eigene Station im Technikgebäude im Hofbereich. Über den Hauptverteiler wird die Wärme auf Unterverteiler in den einzelnen Bauten verteilt. Die Sporthalle verfügt über eine eigene Heizzentrale. Alle Gebäude werden mittels Fernwärme durch die Mainova AG versorgt.

#### Bild 5 Heizzentrale Hof



#### 3.4.1.1 Technische Daten Wärmetauscher

Hersteller:  
Apparate Wärmetechnik  
Nennwärmeleistung  
Gesamtwärmeleistung

Wasserinhalt  
zulässige Vorlauftemperatur  
zulässiger Druck

Sekundärseite  
Wasserinhalt  
zulässige Vorlauftemperatur  
zulässiger Druck

Am 21.12.2006 gegen 14 Uhr wurden die Heizwassertemperaturen aufgenommen. Die betragen

Primärseitig: Vorlauftemperatur 90 °C  
Primärseitig: Rücklauftemperatur 60 °C

Sekundärseite.  
WMS VL 1: 64 °C  
WMS VL 2: 65 °C  
FBS VL 1: 70 °C  
FBS VL 2: 70 °C

Die Rücklauftemperaturen betragen für die WMS und FBS jeweils 40 °C bei 0 °C Außentemperatur.

### 3.4.2 Raumheizung (H) WMS Sporthalle

Die Sporthalle wird über einen separaten Heizkreis mittels einer Fußbodenheizung mit Wärme versorgt. Die Nebenräume sowie der Flur werden über einen zweiten Heizkreis mittels Fußbodenheizung mit Wärme versorgt. Da die meisten Ventile nicht entsprechend fein eingedrosselt sind und nicht hydraulisch genau berechnet und abgestimmt wurden, werden meist keine gleichmäßigen Raumtemperaturen erreicht.

**Bild 6 Heizzentrale WMS Sporthalle**



Bei der Messung der inneren Oberflächentemperaturen am 21.12.2006 wurden in den Fluren und Nebenräumen teilweise deutlich überhöhte Werte gemessen. Die Innenwandoberflächentemperaturen betragen im Flur zwischen Turnhalle und Umkleideräumen 27 °C im Mittel, die Innenwandoberflächentemperaturen in den Umkleideräumen 28 °C im Mittel. Die Fußbodenoberflächentemperaturen betragen 31-32 °C im Mittel sowie die Deckenoberflächentemperaturen 28 °C. Die Lufttemperaturen lagen somit bei ca. 26-27 °C. Diese Werte sind deutlich überhöht, die Soll-Temperaturen liegen bei ca. 20-22 °C für die Umkleideräume sowie 15 °C in den Fluren.

In der Sporthalle betragen die Luft-Temperaturen ca. 23 °C sowie die Innenwandoberflächen 21 °C. Die Außentemperatur betrug bei allen Messungen 8,6 °C.

#### 3.4.2.1 Technische Daten Wärmetauscher

Hersteller:  
Apparate Wärmetechnik  
Nennwärmeleistung  
Gesamtwärmeleistung

Wasserinhalt  
zulässige Vorlauftemperatur  
zulässiger Druck

Sekundärseite  
Wasserinhalt  
zulässige Vorlauftemperatur  
zulässiger Druck

### **3.5 Wasserbereitung WW**

#### **3.5.1 Wasserbereitung WMS HG und FBS HG**

Die Warmwasserbereitung erfolgt in den Schulgebäuden über dezentrale Boiler (5 Liter a 2 kW), die in den Putzräumen installiert sind. Warmwasser wird für Reinigungszwecke benötigt. Es kann mit einem Verbrauch von jeweils 8 000 kWh/a für die einzelnen Gebäude gerechnet werden.

#### **3.5.2 Wasserbereitung WMS Turnhalle**

Die Sporthalle verfügt über einen 500 Liter Boiler, der Sollwert beträgt 44 °C. Das Warmwasser wird auf zwei Kreise verteilt. Die Zirkulationspumpen laufen über eine Zeitschaltuhr und werden nach Bedarf abgeschaltet.

Eingebaut sind jeweils eine Wilo ZP WILO Star Z 25/6 mit drei Stufen von 50-100 W Leistung. Die Pumpen stehen auf Stufe 2.

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

### **3.6 Lüftungsanlagen (L)**

#### **3.6.1 Lüftungsanlage WMS HG**

Im Schulgebäude der WMS gibt es Zuluftanlagen in den Fluren und Foyers 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 0,35 kW und 0,4 kW in der Abluft. Die Betriebsstunden betragen etwa 3000 h. Es wird ein Volumenstrom von rund 1300 m<sup>3</sup>/h in der Zuluft gefördert und rund 1500 m<sup>3</sup>/h in der Abluft gefördert. Das entspricht in etwa einem 0,6 fachen Luftwechsel (vgl. Tabelle 1).

Die Anlage in der WMS (Hauptgebäude) wird gesteuert über eine Honeywell-Steuerung. Die Anlage ist von 1996 und entspricht noch dem Stand der Technik.

**Tabelle 1 Technische Daten Lüftung HG WMS**

**Technische Daten Zuluft, Lüftung (L), Haustechnik (HT)  
WMS**

| Anlage Nr.        | Anlagendaten   | Wirkvolumen für min. h <sup>-1</sup> |                   |
|-------------------|--|--------------------------------------|-------------------|
|                   |  | f                                    | m <sup>3</sup> /h |
| Nr. Anlage        | Luftmenge m <sup>3</sup> /h<br>Druckverlust Pa<br>inst. Leistung Stufe 1 kW<br>Leistung Stufe2/Volllast kW<br>Betriebsstunden Stufe 1 h<br>Stufe2/Volllast kWh/a | -                                    | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Summe</b>      | <b>1.294</b> <b>0,4</b> <b>0,4</b> <b>1050,0</b>   |                                      | <b>647</b>        |
| <b>davon:</b>     |  |                                      | <b>74</b>         |
| EG Foyer links    | 180      0,4      0,4      3000,0      1050,0  | 1                                    | 180               |
| EG Flur mittig    | 36   | 1                                    | 36                |
| EG Flur mittig    | 36   | 1                                    | 36                |
| EG Foyer rechts   | 180  | 1                                    | 180               |
| OG Foyer links    | 180  | 1                                    | 180               |
| OG Flur mittig    | 36   | 1                                    | 36                |
| OG Flur mittig    | 36   | 1                                    | 36                |
| OG Foyer rechts   | 180  | 1                                    | 180               |
| 2.OG Foyer links  | 180  | 1                                    | 180               |
| 2.OG Flur mittig  | 36   | 1                                    | 36                |
| 2.OG Flur mittig  | 36   | 1                                    | 36                |
| 2.OG Foyer rechts | 180  | 1                                    | 180               |

**3.6.2 Lüftungsanlage WMS Sporthalle**

In der Sporthalle der WMS gibt es je eine Lüftungsanlage (Zu- und Abluft) für die Sporthalle sowie die Nebenräume. Die Lüftungsanlage ist ohne Wärmerückgewinnung, die Zuluftanlagen verfügen über Heizregister. Die installierte Leistung im Zuluftstrang zur Halle beträgt 5,5 kW in Stufe 1 und 14 kW in Stufe 2. Die Betriebsstunden betragen etwa 2000 h in Stufe 1 und 1500 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 25000 m<sup>3</sup>/h in der Zuluft gefördert. Die installierte Leistung im Zuluftstrang zu den Nebenräumen beträgt 1,1 kW in Stufe 1 und 4,5 kW in Stufe 2. Die Betriebsstunden betragen etwa 2000 h in Stufe 1 und 1500 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 11000 m<sup>3</sup>/h in der Zuluft gefördert.

Die installierte Leistung im Abluftstrang zur Halle beträgt 2,2 kW in Stufe 1 und 9,2 kW in Stufe 2. Die Betriebsstunden betragen etwa 2000 h in Stufe 1 und 1500 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 25000 m<sup>3</sup>/h in der Abluft gefördert. Die installierte Leistung im Abluftstrang zu den Nebenräumen beträgt 1 kW in Stufe 1 und 3 kW in Stufe 2. Die Betriebsstunden betragen etwa 2000 h in Stufe 1 und 1500 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 11000 m<sup>3</sup>/h in der Abluft gefördert (vgl. [Tabelle](#)).

In der Sporthalle der WMS sind die Lüftungsanlagen ungeregelt und zweistufig

Tabelle 2 Technische Daten Lüftung WMS Sporthalle

**Technische Daten Zuluft, Lüftung (L), Haustechnik (HT)  
WMS**

| Anlage Nr.    | Anlagendaten      |                  |                           |                         |                 |        |                  | Wirkvolumen<br>f für min. h <sup>-1</sup><br><br>- m <sup>3</sup> /h |
|---------------|-------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|--------|------------------|--|
|               | Luft<br>menge     | Druck<br>verlust | inst. Leistung<br>Stufe 1 | Leist. Stufe 2/Volllast | Betriebsstunden |        | Stufe 2/Volllast |  |
| Nr. Anlage    | m <sup>3</sup> /h | Pa               | kW                        | kW                      | h               | h      | kWh/a            |  |
| <b>Summe</b>  | <b>36.950</b>     |                  | <b>6,9</b>                |                         | <b>18,5</b>     |        | <b>41550,0</b>   | <b>36.950</b>  |
| <b>davon:</b> |                   |                  |                           |                         |                 |        |                  | <b>0</b>   |
| Halle         | 25.000            |                  | 5,5                       | 14,0                    | 2000,0          | 1500,0 | 32000,0          | 1 25.000   |
| Nebenräume    | 11.500            |                  | 1,4                       | 4,5                     | 2000,0          | 1500,0 | 9550,0           | 1 11.500   |

### 3.6.3 Lüftungsanlage FBS HG

In dem Hauptgebäude der FBS sind in den WC`s Abluftanlagen installiert. Die installierte Leistung im Abluftstrang beträgt 0,5 kW in Stufe 1 und 0,9 kW in Stufe 2. Die Betriebsstunden betragen etwa 2000 h in Stufe 1 und 2000 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 1500 m<sup>3</sup>/h in der Abluft gefördert. Das entspricht in etwa einem 0,6 fachen Luftwechsel. Die hohen Betriebsstunden kommen daher zustande, da der Ausschalter sehr ungünstig in einem Nebenraum im 2.Stock installiert ist. Daher wird dieser seltener getätigt.

Die Motoren sind nicht drehzahl geregelt über FU gesteuert. In der FBS sind die Anlagen zweistufig. Die Anlagen sind älteren Baujahres und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik.

### 3.6.4 Lüftungsanlage FBS EB

In dem Erweiterungsbau der FBS sind ebenfalls in den WC`S und einigen weiteren Nebenräumen Abluftanlagen installiert. Die installierte Leistung im Abluftstrang beträgt 0,07 kW in Stufe 1 und 0,12 kW in Stufe 2. Die Betriebsstunden betragen etwa 2000 h in Stufe 1 und 1000 h in Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von rund 41 m<sup>3</sup>/h in der Abluft gefördert. Das entspricht in etwa einem 0,6 fachen Luftwechsel.

Die Anlage in dem Erweiterungsbau (Baujahr 2000) entspricht dem Stand der Technik.

## 3.7 Beleuchtung (B)

### 3.7.1 Beleuchtung WMS HG

Die Beleuchtung besteht im Hauptgebäude der WMS überwiegend aus Anbauleuchten mit verspiegelten Reflektoren. 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. Sie sind mit 1 Leuchte 1 x 58 W bestückt. Die Reflektoren sind als weiße Spiegelreflektoren ausgeführt.

In den Räumen ist überwiegend eine Leuchtenleistung von 12 bis 13 W/m<sup>2</sup> installiert.. Die installierte Leistung liegt weit über den heutigen Richtwerten, die bei 300 Lux rund 7,5 W/m<sup>2</sup> vorsehen. Im Gegensatz zum Hauptgebäude der FBS ist hier eine unter den angenommenen Randbedingungen wirtschaftlicher Leuchtaustausch noch nicht möglich.

#### Bild 7 WMS Hauptgebäude Klassenraum-Leuchten



In den Sanitärbereichen sind überwiegend Leuchten mit 1 x 58 W Leuchtstofflampen installiert. Die installierte Leistung liegt hier bei rund 13 W/m<sup>2</sup>.

In den Fluren besteht über eine zentrale Steuerung im Hausmeisterbüro die Möglichkeit die Leuchten abzuschalten. Allerdings wird so kein Außenlichtanteil berücksichtigt. In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung ca. 6-7 W/m<sup>2</sup>. Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m<sup>2</sup> und als Zielwert 2 W/m<sup>2</sup> angestrebt. Im Gegensatz zu den Sanitär- und einigen weiteren Nebenräumen ist die installierte Leistung dem Einbaujahr (ca.1996) angemessen.

### 3.7.2 Beleuchtung Sporthalle WMS

Die Beleuchtung in der Sporthalle besteht aus Spiegelrasterleuchten mit Dreiband-Leuchtstofflampen sowie Schutzgitter. Es sind insgesamt 252 Lampen in 126 Leuchtmittel a 2 x 58 W mit EVG eingebaut.

Die Tribüne besitzt 1-flamige Aufbauleuchten gleicher Bauart. Insgesamt 27 Leuchten.

Die Verschaltung ist jeweils so konzipiert, das jeweils pro Lichtband eine in Reihe liegende Leuchte oder beide in Reihe liegenden Leuchten geschaltet werden können (Trainings- und Wettkampfbetrieb). Die dritte Stufe ist für die Tribüne vorbehalten. Bei einer Beleuchtungsstärke von 400 Lux sind 9,5 W/m<sup>2</sup> installiert.

**Bild 8 WMS Sporthalle-Leuchten**

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

In den Räumen ist bedingt durch die unterschiedliche Bestückung eine Leuchtenleistung von 8 bis 25 W/m<sup>2</sup> installiert. Da die Duschen und Umkleieräume seltener genutzt werden als die Sporthalle und immer alle gemeinsam eingeschaltet werden müssen ist ein bedarfsorientiertes Beleuchtungskonzept sinnvoll. Um die Beleuchtung nur während der tatsächlichen Benutzung zu gebrauchen empfehlen wir den Einbau von Bewegungsmeldern (opto/akustisch). Dadurch lassen sich die Betriebszeiten auf weniger als 1000 Betriebsstunden vermindern. Ein Austausch der Leuchten erscheint hier auf den ersten Blick nicht sinnvoll, da die bestehenden Leuchten teilweise einflammig, eher knapp ausgelegt sind (teilweise nur 100 Lux) und durch die Raumgeometrie zum Ausleuchten aller Zonen mehrere kleinere Leuchten erforderlich wären. Der Austausch sollte daher im Reparaturfall erfolgen.

Bei den Bewegungsmeldern wird zusätzlich eine akustische Variante untersucht, da es sich teilweise um Nassräume (ggf. keine oder unzureichende Detektion beim Duschen mit Wassertemperaturen auf Körpertemperaturniveau) handelt, die zudem häufig von Behinderten genutzt werden.

In den Fluren werden die Leuchten per Hand eingeschaltet. Allerdings wird so kein Außenlichtanteil berücksichtigt. In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung ca. 12-15 W/m<sup>2</sup>.

### 3.7.3 Beleuchtung FBS HG

Die Beleuchtung besteht im Hauptgebäude der FBS überwiegend aus Anbauleuchten ohne verspiegelte Reflektoren mit mäßiger Reflektoranstellung. 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. Sie sind mit 2 Leuchtmittel a 58 W bestückt. Die Reflektoren sind als weiße Steil- und Flachreflektoren ausgeführt (inzwischen teilweise stark verschmutzt) und nach unten offen.

### Bild 9 FBS HG Klassenraum-Leuchten



Da kein Deckenspiegel vorlag, wurden alle Leuchten neu erfasst und in beiliegendem Raumplan aufgenommen. In den Räumen ist überwiegend eine Leuchtenleistung von 20 bis 25 W/m<sup>2</sup> installiert. Einige wenige Räume haben einflammige Leuchten neueren Baujahres. Mit rund 20 -25 W/m<sup>2</sup> liegt die installierte Leistung weit über den heutigen Richtwerten, die bei 300 lx rund 7,5 W/m<sup>2</sup> vorsehen

Die Tabelle kann auch dazu dienen, systematisch die Beleuchtungsstärken der einzelnen Räume aufzunehmen. Sporadische Messungen in einigen Bereichen zeigten Werte bis zu 700 Lux.

In den Sanitärbereichen sind überwiegend Leuchten mit 1 x 58 W Leuchtstofflampen installiert. Die installierte Leistung liegt hier bei rund 14 W/m<sup>2</sup>.

In den Fluren besteht über eine zentrale Steuerung im Hausmeisterbüro die Möglichkeit die Leuchten abzuschalten. Allerdings wird so kein Außenlichtanteil berücksichtigt. In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung zwischen 12 und 20 W/m<sup>2</sup>. Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m<sup>2</sup> und als Zielwert 2 W/m<sup>2</sup> angestrebt.

#### 3.7.4 Beleuchtung FBS EB

Die Beleuchtung besteht im Erweiterungsbau der FBS überwiegend aus Einbauleuchten mit verspiegelten Reflektoren. Die Standardbestückung sind Leuchten in Standard Weiß mit verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) für die eine Verlustleistung von jeweils 5 W anzusetzen ist.

Die Länge der Kombilampen beträgt 150 cm. Sie sind mit 1 Leuchte 1 x 58 W bestückt. Die Reflektoren sind als weiße Spiegelreflektoren ausgeführt.

In den Räumen ist überwiegend eine Leuchtenleistung von 9,5 W/m<sup>2</sup> installiert.. Die installierte Leistung liegt über den heutigen Richtwerten, die bei 300 lx rund 7,5 W/m<sup>2</sup> vorsehen. Im Gegensatz zum Hauptgebäude der FBS ist hier eine unter den angenommenen Randbedingungen wirtschaftlicher Leuchtaustausch nicht möglich.

**Bild 10 FBS EB Klassenraum-Leuchten**



In den Sanitärbereichen sind überwiegend Opalleuchten mit 1 x 15 W ESL installiert. Die installierte Leistung liegt hier bei rund 4-9 W/m<sup>2</sup>.

In den Fluren werden die Leuchten per Hand eingeschaltet. Allerdings wird so kein Außenlichtanteil berücksichtigt. In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung ca. 8 W/m<sup>2</sup>.

### 3.7.5 Beleuchtung Zusammenfassung

Insgesamt sind etwa 1600 Leuchten installiert. Die durchschnittliche spezifische Leistung ist mit rund 18 W/m<sup>2</sup> in dem Hauptgebäude der FBS deutlich zu hoch. Die weiteren spezifischen Leistungen bewegen sich bei etwa 10-12 W/m<sup>2</sup>. Im Durchschnitt aller Gebäude ist eine spezifische Leistung von 13 W/m<sup>2</sup> installiert. Die Betriebsstunden betragen im Durchschnitt aller Gebäude etwa 700 h, bedingt durch die Vereinsnutzung in den Abendstunden sind die Betriebsstunden in der Sporthalle am höchsten.

**Tabelle 3 Übersicht Leuchten FBS und WMS**

| Gebäude | Bauteil         | Fläche         | Leuchten    | Gesamtleistung | spez. Leistung   | Bh         | Verbrauch     |
|---------|-----------------|----------------|-------------|----------------|------------------|------------|---------------|
|         |                 | m <sup>2</sup> | Stk         | W              | W/m <sup>2</sup> | h          | kWh/a         |
|         |                 | <b>10964</b>   | <b>1593</b> | <b>147495</b>  | <b>13</b>        | <b>703</b> | <b>103697</b> |
| WMS     | Hauptgebäude    | 3914           | 579         | 41109          | 11               | 654        | 26874         |
| WMS     | Sporthalle      | 2470           | 255         | 28635          | 12               | 900        | 25786         |
| FBS     | Hauptgebäude    | 3929           | 651         | 71355          | 18               | 662        | 47254         |
| FBS     | Erweiterungsbau | 650            | 108         | 6396           | 10               | 592        | 3784          |

## 3.8 Sonstige elektrische Verbraucher

### 3.8.1 Verbraucher WMS HG

Hier sind mehrere Arbeitshilfen (AH) vorhanden wie Server, PC Monitore, PC, Drucker, Kopierer.

Unter die Zentrale Dienste (ZD) fallen der Server, die Kühlung für den Server sowie die Telefonzentrale.

Zum Bereich Küche gehören der Kühlschrank, Kühltruhe sowie die Kaffeemaschine. Die Küchengeräte sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 4 Verbraucher und installierte Leistung in der Küche bzw. Küchenutensilien**

| Verbraucher       | Anzahl | kW  | Leistung kW | Betriebsstunden h | Verbrauch kWh/a | Einzelleistung Bemerkungen |
|-------------------|--------|-----|-------------|-------------------|-----------------|----------------------------|
| Summe             | 3      |     | 1,5         |                   | 3000            |                            |
| Verbraucher       | Anzahl | kW  | Leistung kW | Betriebsstunden h | Verbrauch kWh/a | Einzelleistung Bemerkungen |
| Summe             | 3      |     | 1,5         |                   | 3000            |                            |
| Kaffeemaschine    | 1      | 1   | 1           | 500               | 500             |                            |
| Tiefkühlfach      | 1      | 0,3 | 0,3         | 5000              | 1500            |                            |
| Kühlschränke hoch | 1      | 0,2 | 0,2         | 5000              | 1000            |                            |

Zusammengefasst beträgt der Verbrauch rund 3 000 kWh/a.

### 3.8.2 Verbraucher WMS Sporthalle

Hier fallen unter den Bereich sonstige elektrische Verbraucher die batteriebetriebene Notbeleuchtungsanlage und das Notstromaggregat für die Notstromversorgung. Der Strombedarf für die Notbeleuchtungsanlage beträgt rund 500 kWh/a, das Notstromaggregat (Daimler Benz Motor) verbraucht im Stand - By etwa 800 kWh/a.

### 3.8.3 Verbraucher FBS HG

Hier sind mehrere Arbeitshilfen (AH) vorhanden wie Server, PC Monitore, PC, Drucker, Kopierer sowie 4 Blumenleuchten.

Unter die Zentrale Dienste (ZD) fallen der Server sowie die Telefonzentrale.

Zum Bereich Küche gehören der Kühlschrank, Kühltruhe, die Kaffeemaschine sowie die Mikrowellen. Die Küchengeräte sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 5 Verbraucher und installierte Leistung in der Küche bzw. Küchenutensilien**

| Verbraucher | Anzahl | kW | Leistung kW | Betriebsstunden h | Verbrauch kWh/a | Einzelleistung Bemerkungen |
|-------------|--------|----|-------------|-------------------|-----------------|----------------------------|
| Summe       | 8      |    | 4,1         |                   | 5800            |                            |

| Verbraucher       | Anzahl | kW  | Leistung kW | Betriebsstunden h | Verbrauch kWh/a | Einzelleistung Bemerkungen |
|-------------------|--------|-----|-------------|-------------------|-----------------|----------------------------|
| Summe             | 8      |     | 4,1         |                   | 5800            |                            |
| Mikrowelle        | 2      | 0,5 | 1           | 500               | 500             |                            |
| Kaffeemaschine    | 1      | 2   | 2           | 300               | 600             |                            |
| Kühlschränke hoch | 3      | 0,2 | 0,6         | 5000              | 3000            |                            |
| Kaffeewarmhalter  | 1      | 0,2 | 0,2         | 1000              | 200             |                            |
| Kühltruhe         | 1      | 0,3 | 0,3         | 5000              | 1500            |                            |

Zusammengefasst beträgt der Verbrauch rund 5 800 kWh/a.

### 3.8.4 Verbraucher FBS EB

Im EB der FBS sind keine weiteren Verbraucher vorhanden.

### 3.9 Sanitär/Wasser (S) WMS HG, Sporthalle, FBS HG und EB

In den beiden Hauptgebäuden sind 8 (WMS) bzw. 9 (FBS) WC's mit zusammen 51 Toilettenanlagen, die überwiegend als bodenstehende Flachspüler ausgestattet sind. Im Reparaturfall werden diese gegen Tiefspüler ausgetauscht. Bei den Tiefspülern sind die meisten (Stichprobe) auf 6 - 6,5 l Wassermenge (Standard Spülkästen für 9 l) eingestellt. Die Flachspüler sind teilweise auf 7, in der Regel auf 8-9 l eingestellt, eine weitere Verringerung ist bei Flachspülern problematisch.

In der Turnhalle befinden sich ca. 10 WC's mit zusammen 14 Toilettenanlagen.

Im Erweiterungsbau der FBS sind 2 WC's mit 8 Toilettenanlagen vorhanden.

Es gibt kein getrenntes Trinkwasser-Brauchwassernetz.

Die insgesamt 70 Waschbecken verfügen nicht über einstellbare Druckspüler mit mechanischer Zeitabschaltung.

Die 12 Duschen sind teilweise alte Beckenanlagen oder erneuert mit Spararmatur und Stoptaste.

## 4 Energiedaten

### 4.1 Verbräuche

In den beiden Schulen sind die Verbrauchsdaten für Fernwärme nicht plausibel. Zur Zeit werden die Zählerstände durch uns nachrecherchiert bzw. werden sporadisch die Zählerstände abgelesen.

Wasserverbräuche wurden nicht erfasst, so dass hier keine Aussage getroffen werden kann.

Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für die FBS von

Strom Hauptgebäude 26 kWh/m<sup>2</sup>a

Strom Erweiterungsbau 11,5 kWh/m<sup>2</sup>a

Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für die WMS von

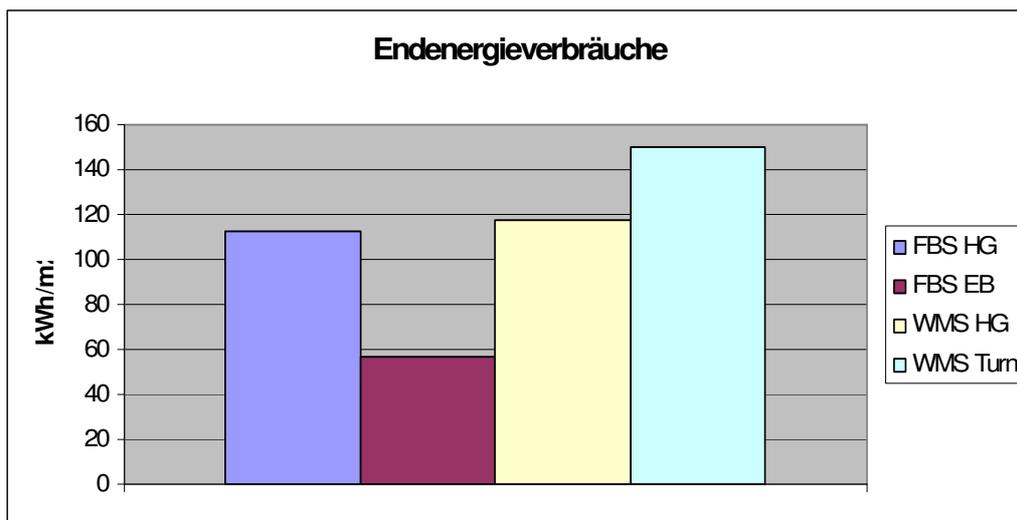
Strom Hauptgebäude 29 kWh/m<sup>2</sup>a

Strom Turnhalle 30 kWh/m<sup>2</sup>a

Der Wasserverbrauch ist noch unbekannt. Geschätzt werden kann aber ca. 10-20 l/Pers, für Schulen und Verwaltungsgebäude.

Alle Gebäude werden mit Fernwärme versorgt, die Werte in der folgenden Graphik sind abgeleitete, d.h. teilweise vorliegende und teilweise geschätzte Wert aus den vorliegenden Abrechnungen und Daten.

**Tabelle 6 Endenergieverbräuche Fernwärme (abgeschätzt)**



## **4.2 Verträge**

### **4.2.1 Stromverträge**

### **4.2.2 Gasverträge**

### **4.2.3 Wasserverträge**

## **4.3 Lastgänge**

### **4.3.1 Monatsprofile WMS HG**

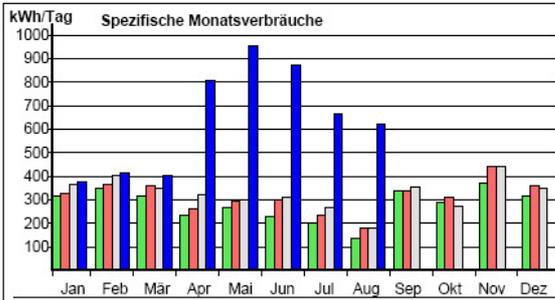
In der Auswertung der Tagesprofile und Monatsprofile zeigt sich, dass die Spitzenwerte mit ca. 400-500 kWh/d jeweils von November bis März erreicht werden. Ebenfalls mit durchschnittlich 650 kWh/d auffallend hoch sind die Februarwerte. In den Ferienzeiten (August) werden noch ca. 150 kWh/d verbraucht. Dies deutet auf zumindest teilweise durchlaufende Lüftungsanlagen und sonstige Verbraucher hin. Der Verbrauch in den Ferien stimmt überein mit dem Samstags- und Sonntagsverbrauch mit im Winter etwa 200 kWh/d und im Sommer ca. 150 kWh/d. Auffallend ist die Verdoppelung (!) des Verbrauches seit April 2006. Hier muss im Hinblick auf Umwelt- und Kostengesichtspunkten dringend eine Ursachenanalyse stattfinden. Möglicherweise ist der Messwandlerzähler nach einem Zählerwechsel nicht richtig geändert worden.

0.1201



**Strom - Monatsprofile**

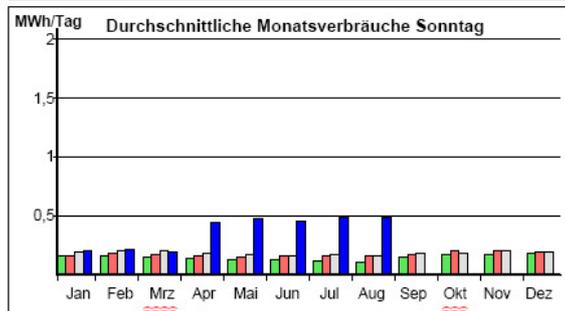
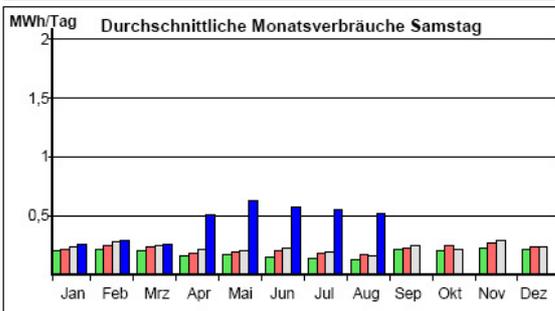
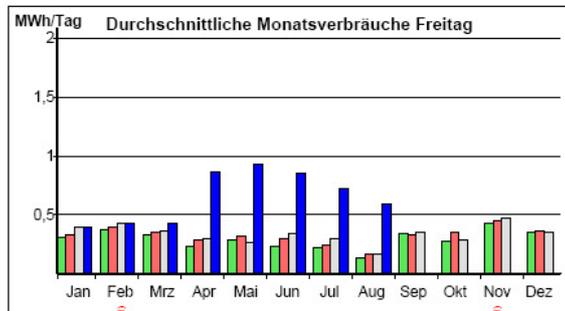
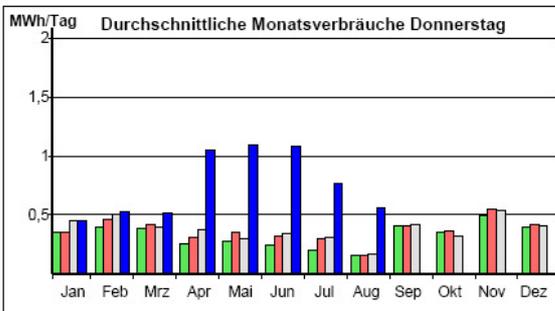
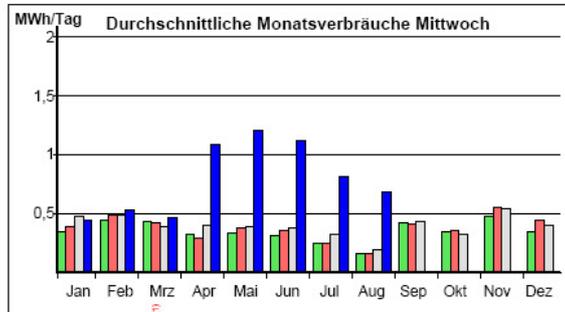
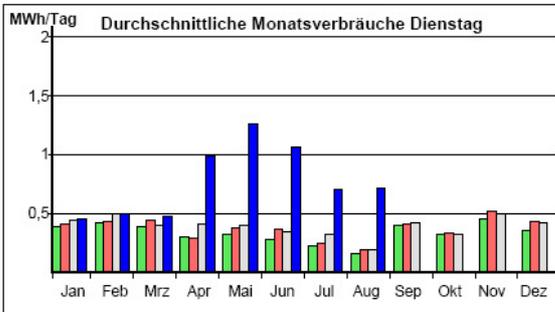
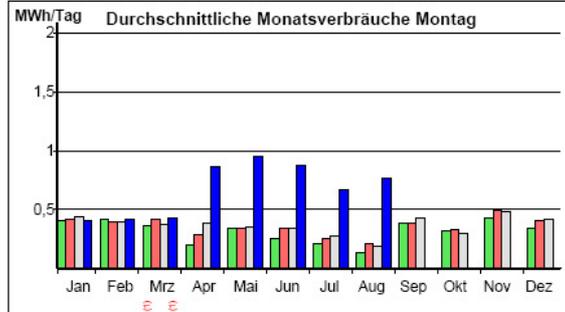
Eichendorffstraße 77, Wilhelm-Merton-Schule, E1 Strom Schule (20255)  
 Zeitraum von Januar 2003 bis August 2006



Hinweis: Spezifische Monatsverbräuche berücksichtigen zur besseren Vergleichbarkeit der Monatsverbräuche die unterschiedliche Anzahl der Tage sowie der Wochentage je Monat.

**Absolute Monatsverbräuche in MWh**

|      | Jan         | Feb          | Mrz         | Apr         | Mai         | Jun         | Jul         | Aug         | Sep         | Okt        | Nov         | Dez         |
|------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 2003 | 5,7<br>(1)  | 9,8<br>(1)   | 9,7<br>(5)  | 7,1<br>(1)  | 8,3<br>(1)  | 6,8<br>(1)  | 6,2<br>(1)  | 4,3<br>(1)  | 10,1<br>(1) | 8,9<br>(5) | 11,1<br>(1) | 9,7<br>(2)  |
| 2004 | 10,1<br>(2) | 10,6<br>(10) | 11,1<br>(1) | 7,8<br>(1)  | 9,2<br>(1)  | 8,9<br>(1)  | 7,2<br>(1)  | 5,5<br>(1)  | 10,2<br>(1) | 9,5<br>(5) | 13,2<br>(2) | 11,2<br>(1) |
| 2005 | 11,4<br>(3) | 11,2<br>(4)  | 10,7<br>(4) | 9,6<br>(1)  | 9,3<br>(1)  | 8,2<br>(1)  | 8,2<br>(1)  | 5,5<br>(1)  | 10,7<br>(1) | 8,5<br>(5) | 13,2<br>(1) | 10,8<br>(1) |
| 2006 | 11,6<br>(5) | 11,6<br>(5)  | 12,4<br>(5) | 24,3<br>(1) | 29,6<br>(1) | 26,1<br>(1) | 20,6<br>(1) | 18,9<br>(1) |             |            |             |             |



2003 2004 2005 2006

Objekt: Wilhelm-Merton-Schule  
 Zählerplatz-ID: 5488 Erstellt: 01.09.2006



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J. Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

#### 4.3.2 Monatsprofile WMS Sporthalle

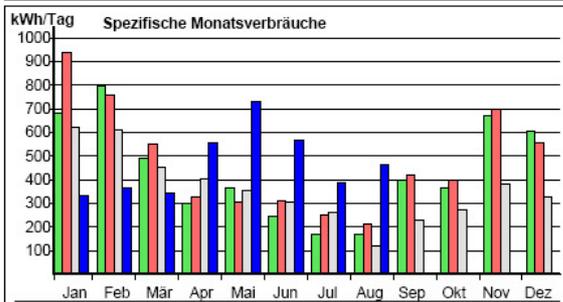
In der Auswertung der Tagesprofile und Monatsprofile zeigt sich, dass die Spitzenwerte mit ca. 700 kWh/d jeweils in den Monaten November, Januar und Februar erreicht werden. Im Sommer 2005 wurde die Beleuchtung in der Turnhalle modernisiert sowie die Regelung der Lüftungsanlage optimiert. Dadurch sank der Verbrauch um etwa ein 1/3 ab. In den Ferienzeiten (August) werden noch ca. 150 kWh/d verbraucht. Dies deutet auf zumindest teilweise durchlaufende Lüftungsanlagen und sonstige Verbraucher hin. Allerdings findet auch ein abgestufter Trainingsbetrieb im August statt. Der Verbrauch in den Ferien stimmt überein mit dem Samstags- und Sonntagsverbrauch mit im Winter etwa 600 kWh/d und im Sommer ca. 200 kWh/d. Auffallend ist die Verdoppelung (!) des Verbrauches seit April 2006. Hier muss im Hinblick auf Umwelt- und Kostengesichtspunkten dringend eine Ursachenanalyse stattfinden. Auffallend ist die parallele Verdopplung des Stromverbrauches in dem Hauptgebäude der WMS und der Sporthalle.

0.1202



**Strom - Monatsprofile**

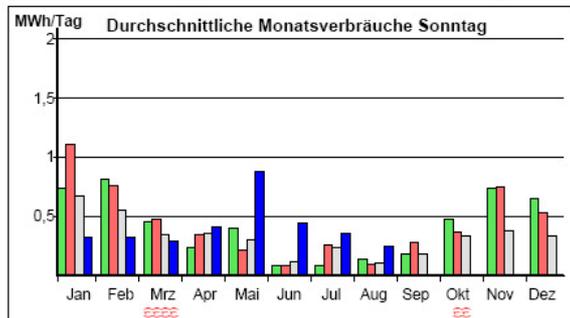
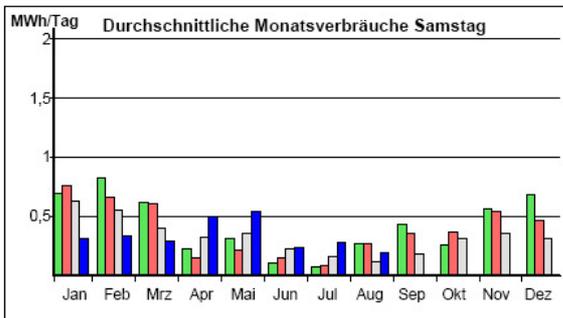
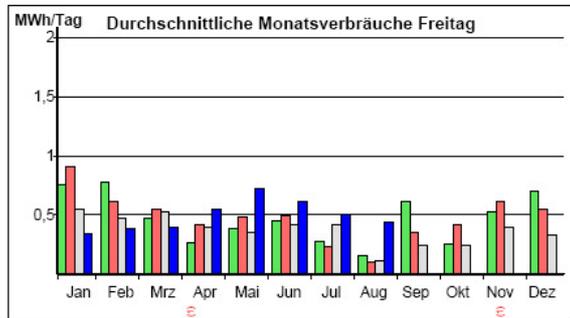
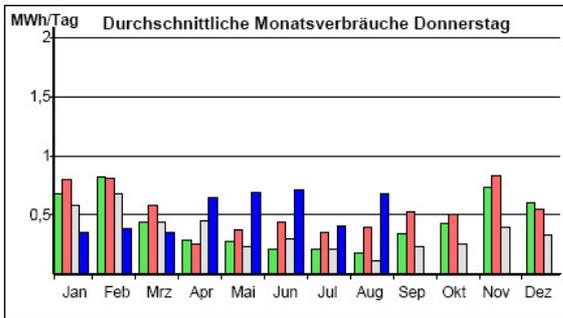
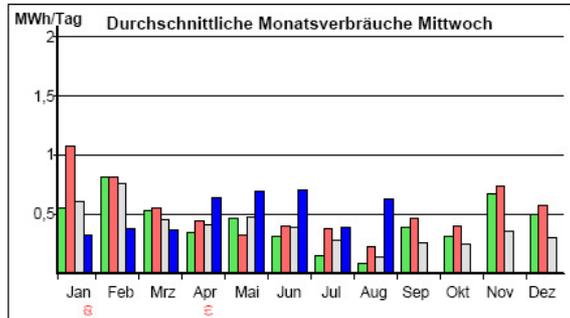
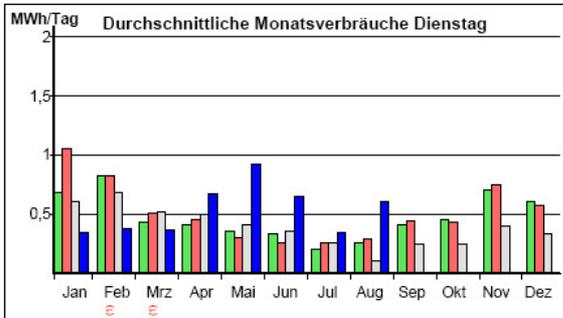
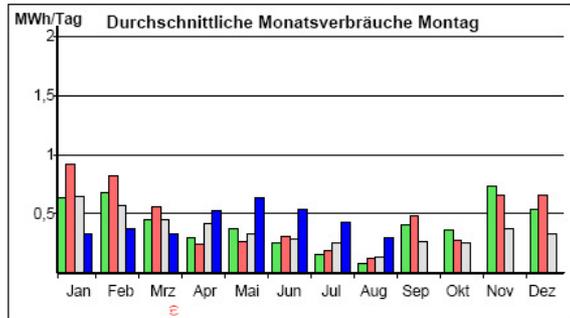
Eichendorffstraße 77, Wilhelm-Merton-Schule, E1 Strom Sporthalle (101079)  
Zeitraum von Januar 2003 bis August 2006



Hinweis: Spezifische Monatsverbräuche berücksichtigen zur besseren Vergleichbarkeit der Monatsverbräuche die unterschiedliche Anzahl der Tage sowie der Wochentage je Monat.

**Absolute Monatsverbräuche in MWh**

|      | Jan  | Feb  | März | Apr  | Mai  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Okt  | Nov  | Dez  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2003 | 21,0 | 22,3 | 15,1 | 9,0  | 11,2 | 7,3  | 5,3  | 5,3  | 11,9 | 11,2 | 20,1 | 18,8 |
| 2004 | 25,0 | 22,0 | 16,9 | 9,8  | 9,4  | 9,2  | 7,7  | 6,5  | 12,7 | 12,2 | 21,0 | 17,3 |
| 2005 | 15,2 | 17,1 | 14,0 | 12,1 | 10,9 | 9,1  | 8,1  | 3,7  | 6,9  | 8,5  | 11,4 | 10,1 |
| 2006 | 10,3 | 10,2 | 10,7 | 16,7 | 22,6 | 17,0 | 11,9 | 13,9 |      |      |      |      |



2003 2004 2005 2006

Objekt: Wilhelm-Merton-Schule  
Zählerplatz-ID: 5471 Erstellt: 01.09.2008



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J.-Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Ein Messwandlertzähler mit Kabelfernauslesung ist in der Turnhalle vorhanden. Das Gerät ist im folgenden Bild abgebildet.

**Bild 11 Messwandlerzähler Turnhalle**



Die Lastspitzen sind wie folgt (Datenaufnahme am 4.9.2006)

$P_{Max}$ : 29,88 KW (am 30.8.2006 um 11.00 Uhr)

$P_{Max}$ : 42,22 KW (am 25.8.2006 um 21.00 Uhr)

Die aktuell vorhandene Leistung wurde gegen 11 Uhr mit 8 KW gemessen, ein Drittel der Hallenbeleuchtung und Teile der Flure und Umkleideräume waren beleuchtet.

Die Lastspitzen sind wie folgt (Datenaufnahme am 21.12.2006)

$P_{Max}$ : 48 KW (am 21.12.2006 um 06.15 Uhr)

$P_{Max}$ : 49,8 KW (am 11.12.2006 um 06.15 Uhr)

Diese Zahlen passen mit der Datenaufnahme zusammen, die bei der Beleuchtung 28,6 KW und bei der Lüftung 30,7 KW ausweist und damit die Spitzen recht gut darstellt.

### 4.3.3 Monatsprofile FBS HG

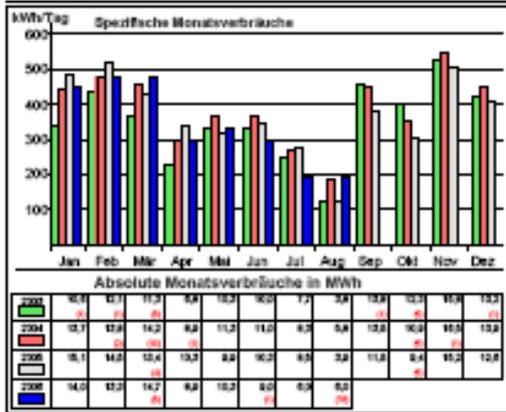
In der Auswertung der Tagesprofile und Monatsprofile zeigt sich, dass die Spitzen mit ca. 700 kWh/d jeweils im November sind. Ebenfalls mit durchschnittlich 650 kWh/d auffallend hoch sind die Februarwerte. In den Ferienzeiten werden noch ca. 150 kWh/d verbraucht. Dies deutet auf zumindest teilweise durchlaufende Lüftungsanlagen und sonstige Verbraucher hin. Der Verbrauch in den Ferien stimmt überein mit dem Samstags- und Sonntagsverbrauch mit im Winter etwa 200 kWh/d und im Sommer ca. 100 kWh/d.

0.1201

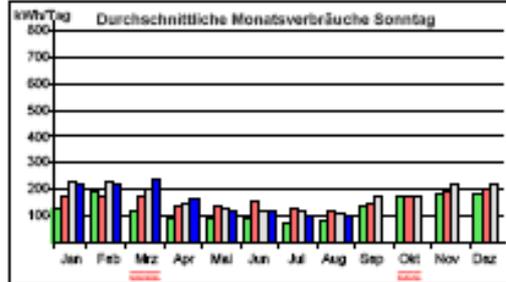
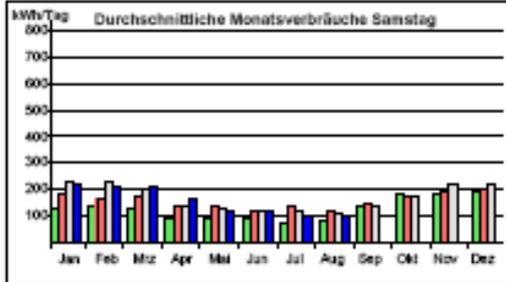
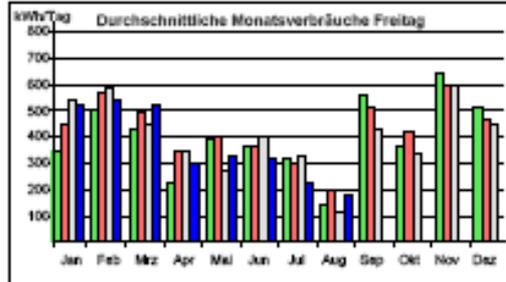
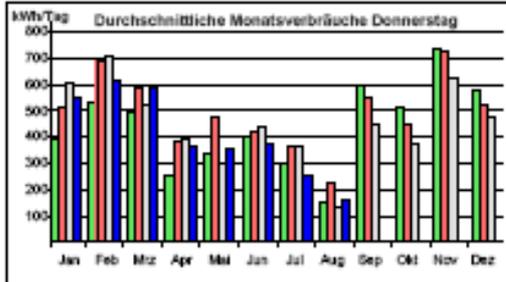
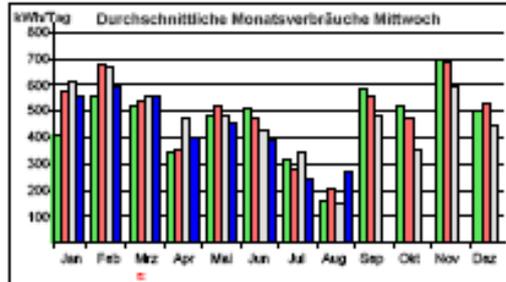
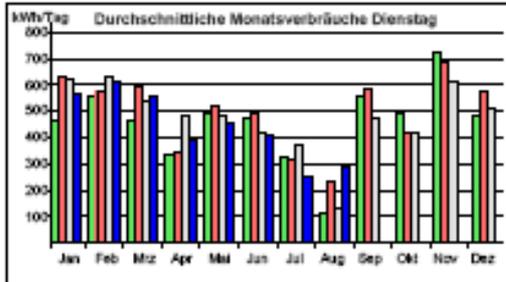
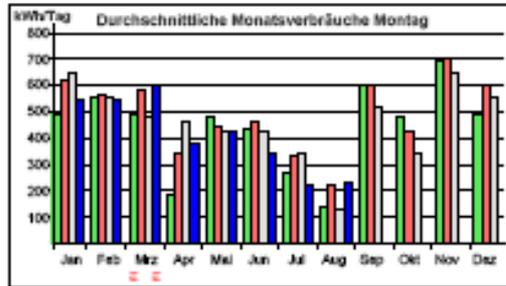


**Strom - Monatsprofile**

Eichendorffstraße 67, Franz-Böhm-Schule, E1 Strom Schule (100969,0)  
Zeitraum von Januar 2003 bis August 2006



Hinweis: Spezifische Monatsverbräuche berücksichtigen zur besseren Vergleichbarkeit der Monatsverbräuche die unterschiedliche Anzahl der Tage sowie der Wochentage je Monat.



■ 2003   
 ■ 2004   
 ■ 2005   
 ■ 2006

Objekt: Franz-Böhm-Schule  
Zählplatz-ID: 5536    Erstellt: 01.09.2006

Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J. Ziegler, Tel. 45742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

## 5 Leistungen und Verbräuche

### 5.1 Ergebnisse der Berechnungen Leistungs- und Verbrauchswerte WMS und FBS

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

Aus den vorgenannten Leistungsangaben und Daten wurde die Tabelle 7 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 7 Leistungen und Verbräuche Strom**

| Nr. | Zentrale Anlage                | Leistung installiert<br>W | Leistung spez<br>W/m <sup>2</sup> | Vollast pro Jahr<br>h/a | Verbrauch pro Jahr<br>kWh/a | Verbrauch spez<br>kWh/m <sup>2</sup> a | Proz. Anteil am Verbrauch<br>% |
|-----|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------|
|     | <b>Strom</b>                   | EBF                       | 10.963                            |                         |                             |  |                                |
|     | - Daten IST Summe              | 212050                    | 19342,0                           |                         |                             | 0                                      |                                |
|     | Leistung/Verbrauch berechnet   | 212050                    |                                   |                         | 301.363                     | 27                                     | 100,0%                         |
|     | <b>davon:</b>                  |                           |                                   |                         |                             |  |                                |
|     | HT - Lüftung FBS HG L          | 900                       | 0,1                               | 3.111                   | 2.800                       | 0                                      | 0,9%                           |
|     | HT Lüftung FBS EB L            | 240                       | 0,0                               | 2.167                   | 520                         | 0                                      | 0,2%                           |
|     | HT Lüftung WMS HG L            | 742                       | 0,1                               | 3.000                   | 2.226                       | 0                                      | 0,7%                           |
|     | HT Lüftung FBS Turn L          | 30700                     | 2,8                               | 2.158                   | 66.250                      | 6                                      | 22,0%                          |
|     | HT - Beleuchtung FBS HG B      | 76325                     | 7,0                               | 655                     | 49.995                      | 5                                      | 16,6%                          |
|     | HT - Beleuchtung FBS EB B      | 6396                      | 0,6                               | 592                     | 3.784                       | 0                                      | 1,3%                           |
|     | HT - Beleuchtung WMS HG B      | 41109                     | 3,7                               | 654                     | 26.874                      | 2                                      | 8,9%                           |
|     | HT - Beleuchtung WMS Turn B    | 28635                     | 2,6                               | 1.141                   | 32.679                      | 3                                      | 10,8%                          |
|     | HT - Heizung FBS HG HH         | 550                       | 0,1                               | 5.000                   | 2.750                       | 0                                      | 0,9%                           |
|     | HT - Heizung FBS EB HH         | 75                        | 0,0                               | 5.000                   | 375                         | 0                                      | 0,1%                           |
|     | HT - Heizung WMS HG HH         | 1338                      | 0,1                               | 4.353                   | 5.823                       | 1                                      | 1,9%                           |
|     | HT - Heizung WMS Turn HH       | 3070                      | 0,3                               | 4.321                   | 13.265                      | 1                                      | 4,4%                           |
|     | BR - Küche FBS HG ZD           | 4100                      | 0,4                               | 1.415                   | 5.800                       | 1                                      | 1,9%                           |
|     | BR - Küche WMS HG ZD           | 1500                      | 0,1                               | 2.000                   | 3.000                       | 0                                      | 1,0%                           |
|     | BR - Zentr. Dienste FBS HG ZD  | 400                       | 0,0                               | 8.760                   | 3.504                       | 0                                      | 1,2%                           |
|     | BR Zentr. Dienste FBS EB ZD    | 0                         | 0,0                               |                         | 0                           | 0                                      | 0,0%                           |
|     | BR Zentr. Dienste WMS HG ZD    | 1470                      | 0,1                               | 6.654                   | 9.782                       | 1                                      | 3,2%                           |
|     | BR Zentr. Dienste WMS Turn ZD  | 0                         | 0,0                               |                         | 2.190                       | 0                                      | 0,7%                           |
|     | BR - Arbeitsmittel FBS HG AH   | 14500                     | 1,3                               | 2.101                   | 30.467                      | 3                                      | 10,1%                          |
|     | BR - Arbeitsmittel FBS EB AH   | 0                         | 0,0                               |                         | 0                           | 0                                      | 0,0%                           |
|     | BR - Arbeitsmittel WMS HG AH   | 24580                     | 2,2                               | 1.273                   | 31.281                      | 3                                      | 10,4%                          |
|     | BR - Arbeitsmittel WMS Turn AH | 0                         | 0,0                               |                         | 0                           | 0                                      | 0,0%                           |
|     | HT - Elektrowärme FBS HG HWW   | 6000                      | 0,5                               | 1.333                   | 8.000                       | 1                                      | 2,7%                           |
|     | HT - Elektrowärme FBS EB HWW   | 4000                      | 0,4                               | 201                     | 802                         | 0                                      | 0,3%                           |
|     | HT - Elektrowärme WMS HG HWW   | 4000                      | 0,4                               | 2.000                   | 8.000                       | 1                                      | 2,7%                           |
|     | HT - Elektrowärme WMS Turn HWW | 0                         | 0,0                               |                         | 0                           | 0                                      | 0,0%                           |

Die Tabelle zeigt deutlich die höchsten Leistungen im Bereich der Beleuchtung, der Arbeitsmittel und dann folgend der Lüftung in den einzelnen Gebäude.

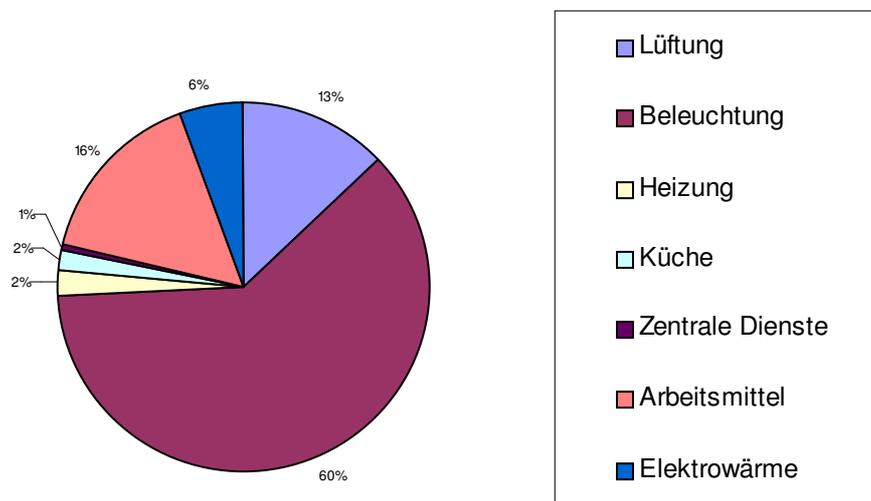
Die installierte Leistung in allen vier Gebäuden beträgt zusammen etwa 212 KW, im Mittel sind rund 19 W/m<sup>2</sup> installiert

Bedingt durch die hohe Anzahl der Betriebsstunden der Lüftung und der Beleuchtung beträgt der Verbrauch rund 300 MWh/a. Der spezifische Verbrauch beträgt rund 27 kWh.

Die Aufteilung des Verbrauchs und der Leistung zeigen die folgenden Tortendiagramme

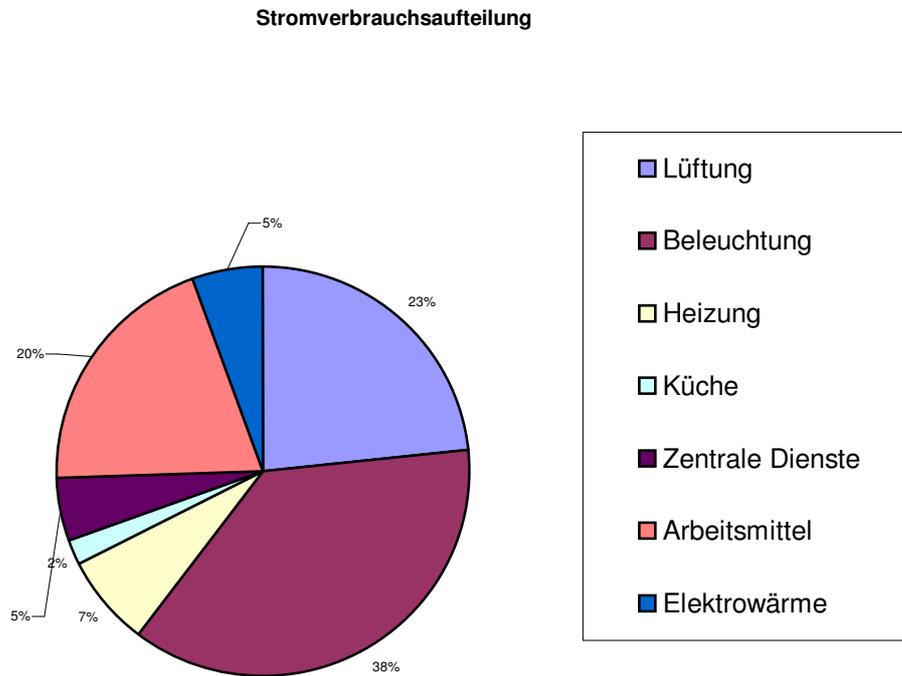
### Abbildung 6 Installierte Leistung nach Bereichen

Installierte Leistung pro Verbraucher



Der mit Abstand größte Anteil fällt auf die Beleuchtung mit etwa 60%. Die Lüftung und die Arbeitsmittel haben jeweils einen Anteil von rund 15%.

Abbildung 7 Stromverbrauch nach Bereichen



Beim Stromverbrauch beträgt der Anteil der Beleuchtung 37%, der Anteil der Lüftung und der Arbeitsmittel beträgt jeweils rund 21%.

## 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<sup>2</sup>a und ein Zielwert von 50 kWh/m<sup>2</sup>a anzustreben.

Da die Gebäude im Luftwechsel teilweise über 0,6 h<sup>-1</sup> liegt kann auch die Gebäudekategorie V angewandt werden.

Nach Leitfaden ist ein Grenzwert von 85 kWh/m<sup>2</sup>a und ein Zielwert von 60 kWh/m<sup>2</sup>a anzustreben.

Nach Leitfaden ist ein Luftwechsel von 0,6 h<sup>-1</sup> anzunehmen. Dieser wird gerade erreicht, wenn der Luftwechsel im Ruhezustand nicht über 0,2 h<sup>-1</sup> liegt. Der Luftwechsel im Betrieb der Lüftungsanlagen liegt knapp über 1,3 h<sup>-1</sup>. Durch den 8-stündigen Betrieb ergibt sich dann ein mittlerer Luftwechsel von 0,6 h<sup>-1</sup>.

Die tatsächlichen Bedingungen sind durch die insbesondere im Hauptgebäude der WMS undichten Fenster wahrscheinlich schlechter, aber mit der Methodik des Leitfadens nicht genau zu erfassen.

Da die Berechnungen über dem tatsächlichen Heizwärmeverbrauch liegen, ist zu vermuten, dass die Gebäudetemperaturen in der Regel nicht erreicht werden.

Die tatsächlichen Bedingungen sind noch schlechter, aber mit der Methodik des Leitfadens allein nicht genau zu erfassen.

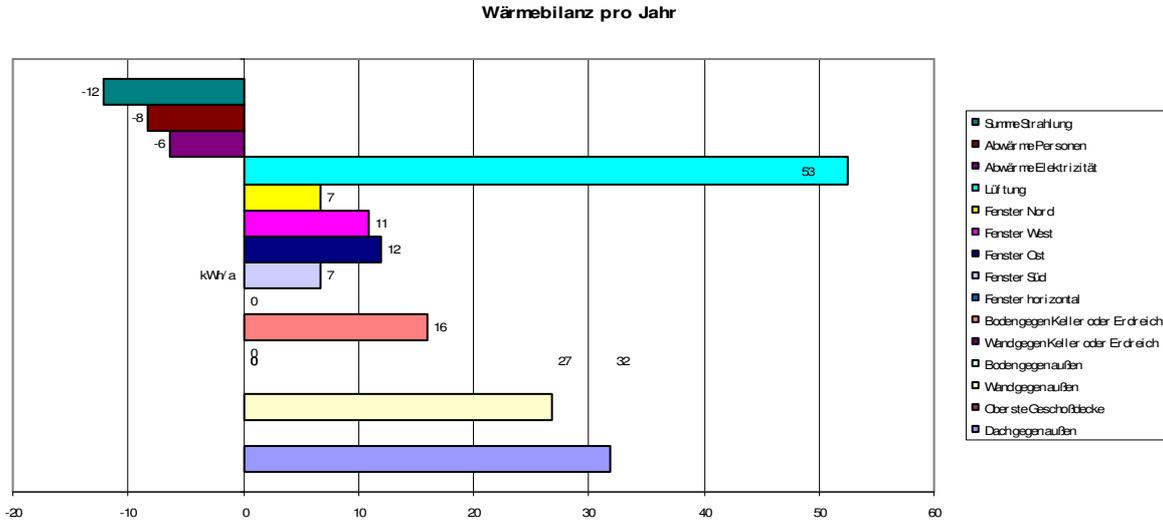
Abschließend wurde mit den vorgenommenen Werten die Heizzahl ermittelt. Für einige Daten mussten anhand der Pläne plausible Abschätzungen vorgenommen werden, da z.B. für Zirkulationsleitungen keine Bestandspläne zum Herausmessen vorlagen.

Die Heizwärmebedarfsrechnung für die vier Gebäude ergeben spezifische Werte, im folgenden Abschnitt zu erkennen sind.

### 5.2.1 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie WMS HG

Der Heizwärmebedarf beträgt 138 kWh/m<sup>2</sup>\*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 154 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 254 KW. Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 8 Wärmebilanz WMS HG

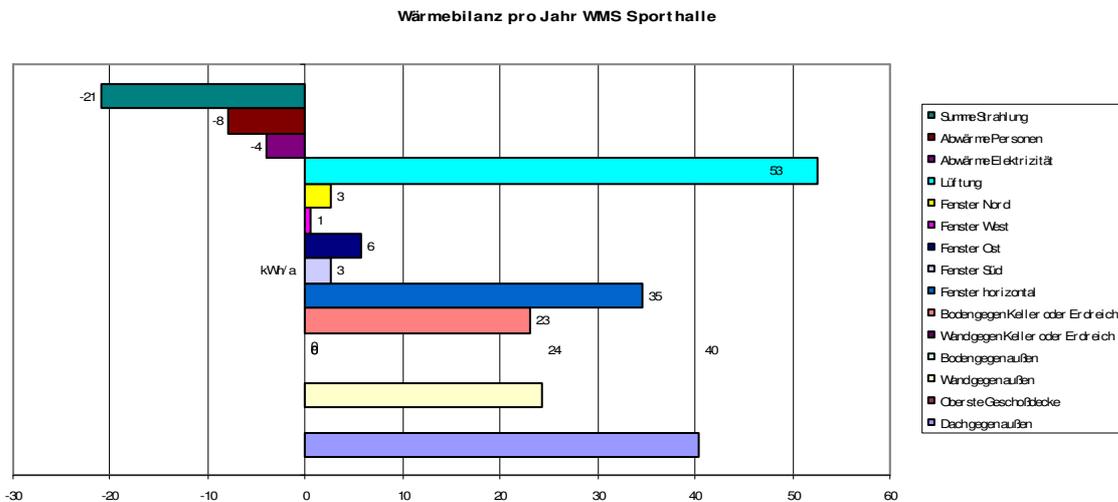


Wie die Abbildung zeigt, sind die Wärmeverluste im direkten Vergleich der einzelnen Posen vor allem durch Lüftungsverluste bestimmt. Auch die Verluste über das Dach, die Fenster und die Außenwand haben einen großen Anteil.

### 5.2.2 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie WMS Sporthalle

Der Heizwärmebedarf beträgt 155 kWh/m<sup>2</sup>\*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 167 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 163 KW. Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 9 Wärmebilanz WMS Sporthalle

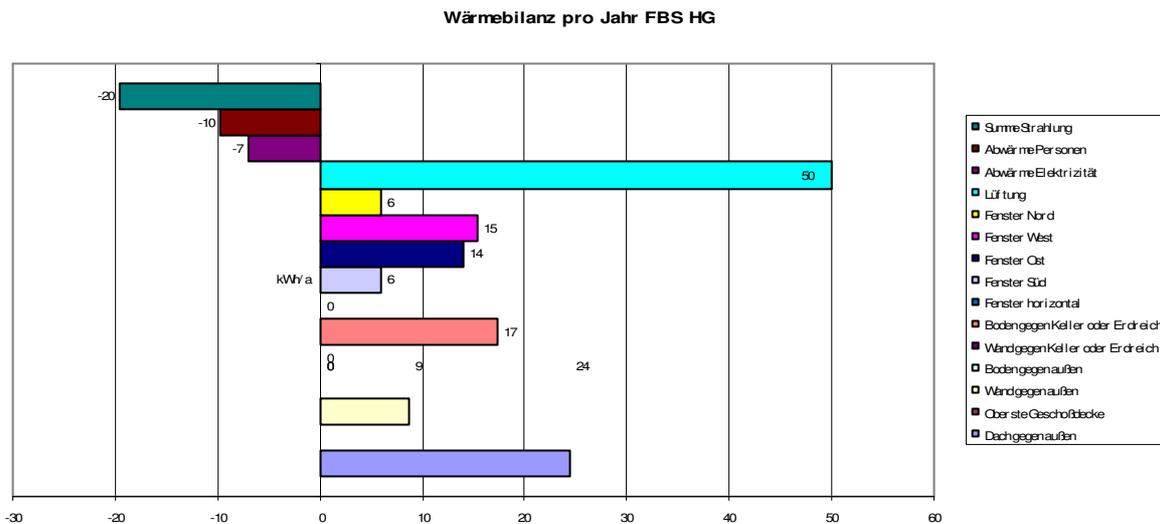


Wie die Abbildung zeigt, sind die Wärmeverluste im direkten Vergleich der einzelnen Posen vor allem durch Lüftungsverluste bestimmt. Auch die Verluste über das Dach und die horizontalen Dachfenster haben einen großen Anteil.

### 5.2.3 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie FBS HG

Der Heizwärmebedarf beträgt 108 kWh/m<sup>2</sup>\*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 116 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 203 KW. Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 10 Wärmebilanz FBS HG

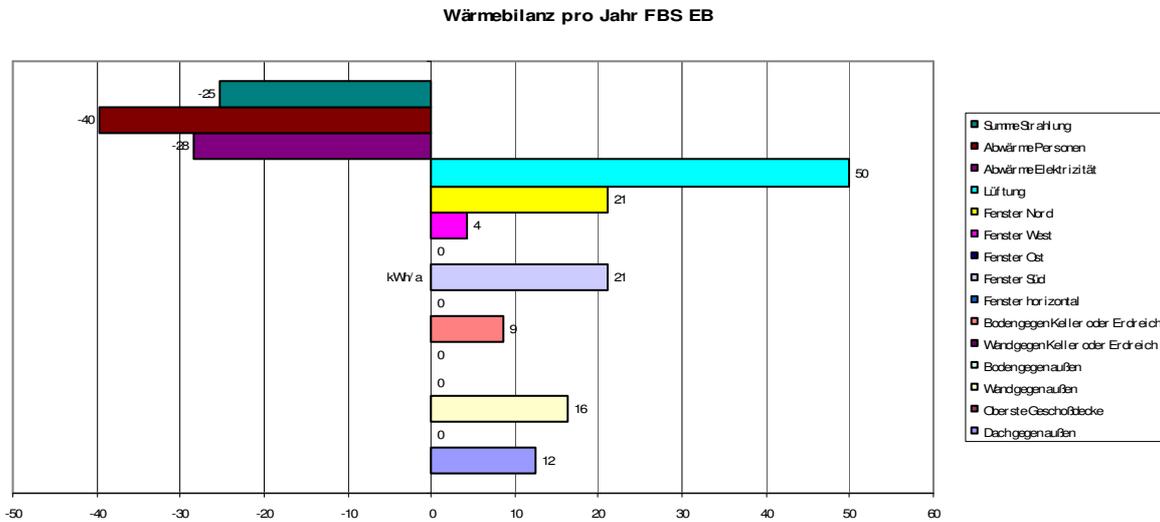


Wie die Abbildung zeigt, sind die Wärmeverluste im direkten Vergleich der einzelnen Posen vor allem durch Lüftungsverluste bestimmt. Auch die Verluste über das Dach und die Fenster haben einen großen Anteil.

### 5.2.4 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie FBS EB

Der Heizwärmebedarf beträgt 60 kWh/m<sup>2</sup>\*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 70 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 34 KW. Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 11 Wärmebilanz FBS

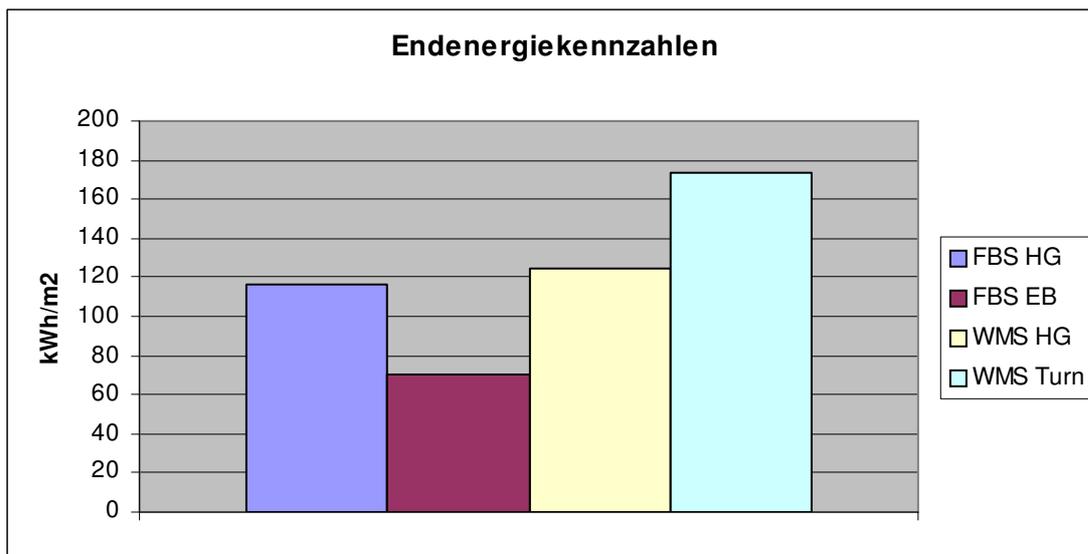


Wie die Abbildung zeigt, sind die Wärmeverluste im direkten Vergleich der einzelnen Posen vor allem durch Lüftungsverluste bestimmt. Auch die Verluste über die Außenwand und die Süd- bzw. Nord-Fenster haben einen großen Anteil.

### 5.2.5 Zusammenfassung Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie

Die Heizwärmebedarfswerte aller Gebäude sind in dem folgenden Diagramm abgebildet.

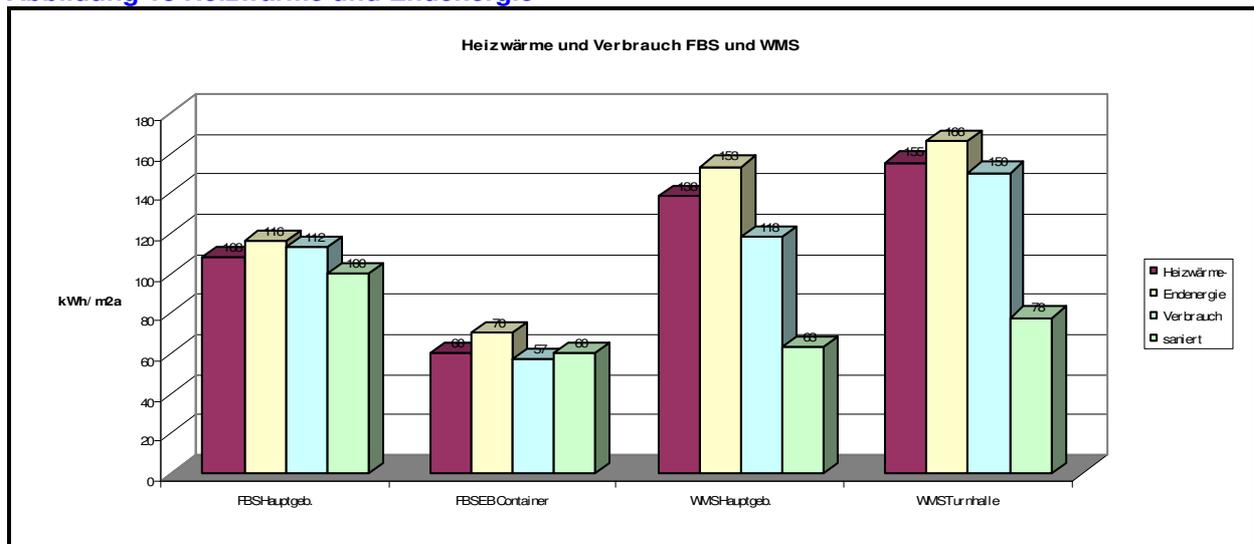
Abbildung 12 Heizwärmebedarfskennzahlen



Die Grenz- (75 kWh/m²a) und Zielwerte (50 kWh/m²a) für den Heizwärmebedarf werden somit nur für den neuen Erweiterungsbau der FBS erreicht.

Die berechneten Endenergiekennwerte und die tatsächlichen Verbräuche sind in dem folgenden Diagramm abgebildet.

Abbildung 13 Heizwärme und Endenergie



Die berechneten Werte liegen recht nahe an den Ist-Werten.

Der Energieverbrauch ist rechnerisch am höchsten mit 170 kWh/m<sup>2</sup>a in der Turnhalle, gefolgt vom Hauptgebäude der WMS mit 125 kWh/m<sup>2</sup>a. Die FBS liegt für ein saniertes Gebäude hoch. (vgl. auch 3.3.1)

Die berechneten Verbräuche sind etwas höher als die tatsächlichen Verbräuche. Dies liegt insbesondere an den niedrigeren Temperaturen in vielen Räumen (da die 20°C selten erreicht werden).

## 5.3 Leitfaden LEE

### 5.3.1 Beleuchtung

Um die Effektivität der bestehenden Lampen und Leuchtensysteme zu beurteilen, wurde die Leitfadenermittlung gemäß LEE für den Bestand und für eine mögliche Sanierung durchgeführt.

Dies wurde unter Zuhilfenahme des Rechenblattes Gesamt WI mit Sp vorgenommen. Hierfür wurde ein Pilotraum im 2.OG (Klassenraum 206) ausgesucht und mit einer Normbeleuchtungsstärke von 300 Lux gerechnet.

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 ist die Beleuchtung in dem HG FBS hervorzuheben.

### 5.3.2 Lüftung

Die Lüftungsanlagen wurden wie in Kapitel ... berechnet. Da nur ein Teil der Flure und Nebenräume belüftet werden sowie teilweise nur Abluftanlagen in den WC's installiert sind, betragen die spezifischen Leistungen in dem WMS HG, FBS HG und EB dementsprechend auch nur rund 0,3 W/m<sup>2</sup> EBF. In der Sportanlage beträgt die spezifische Leistung dagegen rund 11 W/ m<sup>2</sup> EBF. Aus diesem Grund wird auch eine Erneuerung der Lüftungsanlagen in der WMS Sporthalle vorgeschlagen (vgl. Kapitel ....).

### 5.3.3 Pumpen

#### 5.3.3.1 WMS HG

Im Hauptgebäude der WMS sind folgende Pumpen installiert.

**Tabelle 8 Pumpenübersicht WMS HG**

| Art               | Ziel            | T<br>°C | Pumpe<br>Typ | Her. | Leistung in Watt |        |      | St   | Verbräuche |      | kWh/a |
|-------------------|-----------------|---------|--------------|------|------------------|--------|------|------|------------|------|-------|
|                   |                 |         |              |      | Min              | Mittel | Max  |      | Stand      | h    |       |
| Summe             |                 |         |              |      | 675              | 1337,5 | 2000 |      | 1337,5     |      | 5823  |
| VL                | Übergabestation |         | UPS 50/60-2  |      | 235              | 297,5  | 360  | 5000 | 297,5      | 5000 | 1488  |
| VL                | Übergabestation |         | UPS 50/60-2  |      | 235              | 297,5  | 360  | 5000 | 297,5      | 5000 | 1488  |
| RL                |                 |         |              |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    |       |
|                   |                 |         |              |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0     |
| WMS Schule        |                 |         |              |      |                  |        |      |      | 0          | 0    |       |
| VL                | HK 1 Verwaltung |         | UPE 25/60    |      | 40               | 70     | 100  | 4000 | 70         | 4000 | 280   |
| VL                | HK 2 Südwest    |         | 40/120       |      | 50               | 275    | 500  | 4000 | 275        | 4000 | 1100  |
| VL                | HK 3 Nordost    |         | 40/120       |      | 50               | 275    | 500  | 4000 | 275        | 4000 | 1100  |
| Warmwasser Boiler |                 |         |              |      |                  |        |      |      | 0          | 0    |       |
| VL                | WW Zirk         |         |              |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0     |
| VL                | WW Lade         |         |              |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0     |
| Lüftungsanlage    |                 |         |              |      |                  |        |      |      | 0          | 0    |       |
| VL                | EG Heizkreis    |         | UPS 25/60    |      | 35               | 67,5   | 100  | 3000 | 67,5       | 3000 | 203   |
| VL                | EG Heizregister |         |              |      |                  |        |      |      | 0          | 0    |       |
| VL                | Lüftung         |         | UPS 25/40    |      | 30               | 55     | 80   | 3000 | 55         | 3000 | 165   |
|                   |                 |         |              |      |                  |        |      |      | 0          | 0    |       |
| Gas               | Brenner         |         |              |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0     |
| HA                | Regelung        |         |              |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0     |
| HA                | Regelung        |         |              |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0     |

Im Mittel sind rund 1,4 KW installiert, der Verbrauch beträgt rund 6.000 kWh/a.

### 5.3.3.2 WMS Sporthalle

In der Sporthalle der WMS sind folgende Pumpen installiert.

**Tabelle 9 Pumpenübersicht Sporthalle WMS**

| Art               | Ziel                 | T<br>°C | Pumpe<br>Typ      | Her. | Leistung in Watt |        |      | St   | Verbräuche |      | kWh/a  |
|-------------------|----------------------|---------|-------------------|------|------------------|--------|------|------|------------|------|--------|
|                   |                      |         |                   |      | Min              | Mittel | Max  |      | Stand      | h    |        |
| Summe             |                      |         |                   |      | 2330             | 3070   | 3810 |      | 3070       |      | 13265  |
| VL                | Übergabestation      |         | UPS 50/60-2       |      | 235              | 297,5  | 360  | 5000 | 297,5      | 5000 | 1487,5 |
| VL                | Übergabestation      |         | UPS 50/60-2       |      | 235              | 297,5  | 360  | 5000 | 297,5      | 5000 | 1487,5 |
| RL                |                      |         |                   |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0      |
|                   |                      |         |                   |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0      |
|                   |                      |         |                   |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0      |
|                   |                      |         |                   |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0      |
| WMS Sporthalle    |                      |         |                   |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0      |
| VL                | FB Halle             |         | P65/1160V         |      | 750              | 925    | 1100 | 5000 | 925        | 5000 | 4625   |
| VL                | FB Nebenräume        |         | P50/125V          |      | 80               | 132,5  | 185  | 5000 | 132,5      | 5000 | 662,5  |
| VL                | Lüftung              |         | P65/125V          |      | 340              | 440    | 540  | 5000 | 440        | 5000 | 2200   |
| VL                | Primärkesselspeicher |         | P65/125V          |      | 340              | 440    | 540  | 5000 | 440        | 5000 | 2200   |
| Warmwasser Boiler |                      |         |                   |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0      |
| VL                | WW Zirk              |         | ZP WILO Star<br>Z |      | 50               | 75     | 100  | 4000 | 75         | 4000 | 300    |
| VL                | WW Zirk              |         | ZP WILO Star Z    |      | 50               | 75     | 100  | 4000 | 75         | 4000 | 300    |
|                   |                      |         |                   |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0      |
| Lüftungsanlage    |                      |         |                   |      |                  |        |      |      | 0          | 0    | 0      |
| VL                | EG Nebenräume        |         | WILO P50/125 f    |      | 170              | 255    | 340  | 6    | 255        | 6    | 1,53   |
| VL                | EG Halle             |         | WILO P50/125 V    |      | 80               | 132,5  | 185  | 6    | 132,5      | 6    | 0,795  |
| Gas               | Brenner              |         |                   |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0      |
| HA                | Regelung             |         |                   |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          | 0    | 0      |

Im Mittel sind rund 3 KW installiert, der Verbrauch beträgt rund 13.000 kWh/a.

### 5.3.3.3 FBS HG

In dem Hauptgebäude der FBS sind folgende Pumpen installiert.

**Tabelle 10 Pumpenübersicht FBS HG**

| Art       | Ziel            | T<br>°C | Pumpe<br>Typ  | Her. | Leistung in Watt |        |      | St   | Verbräuche |      | kWh/a |
|-----------|-----------------|---------|---------------|------|------------------|--------|------|------|------------|------|-------|
|           |                 |         |               |      | Min              | Mittel | Max  |      | Stand      | h    |       |
| Summe     |                 |         |               |      | 100              | 550    | 1000 |      | 550        |      | 2750  |
| VL        | Übergabestation |         | UPC 40/60     |      | 0                | 0      | 0    | 0    | 0          | 0    | 0     |
| VL        | Übergabestation |         | UPC 40/60     |      | 0                | 0      | 0    | 0    | 0          | 0    | 0     |
| RL        |                 |         |               |      | 0                | 0      | 0    |      | 0          |      | 0     |
| Bauteil 1 |                 |         |               |      |                  |        |      |      | 0          |      |       |
| VL        | HK 1            |         | UPE<br>40/120 |      | 50               | 275    | 500  | 5000 | 275        | 5000 | 1375  |
| VL        | HK 2            |         | UPE<br>40/120 |      | 50               | 275    | 500  | 5000 | 275        | 5000 | 1375  |
| VL        | HK 3            |         |               |      |                  |        |      |      | 0          |      |       |

Im Mittel sind rund 550 W installiert, der Verbrauch beträgt rund 2.750 kWh/a.

### 5.3.3.4 FBS EB

In dem Hauptgebäude der FBS sind folgende Pumpen installiert.

**Tabelle 11 Pumpenübersicht FBS EB**

| Art       | Ziel        | T<br>°C | Pumpe<br>Typ     | Her. | Leistung in Watt |        |     | St   | Verbräuche |      | kWh/a |
|-----------|-------------|---------|------------------|------|------------------|--------|-----|------|------------|------|-------|
|           |             |         |                  |      | Min              | Mittel | Max |      | Stand      | h    |       |
| Summe     |             |         |                  |      | 34               | 75     | 116 |      | 75         |      | 375   |
| VL        | Kesselpumpe |         |                  |      | 0                | 0      | 0   |      | 0          |      | 0     |
| RL        |             |         |                  |      | 0                | 0      | 0   |      | 0          |      | 0     |
| Bauteil 1 |             |         |                  |      |                  |        |     |      |            |      |       |
| VL        | HK 1        |         | Star-E<br>25/1-5 |      | 34               | 75     | 116 | 5000 | 75         | 5000 | 375   |
| VL        | HK 2        |         |                  |      | 0                | 0      | 0   | 3    | 0          | 0    | 0     |
| VL        | HK 3        |         |                  |      |                  |        |     |      | 0          |      | 0     |

Im Mittel sind rund 75 W installiert, der Verbrauch beträgt rund 375 kWh/a.

## 6 Maßnahmen

### 6.1 Übersicht

Alle im folgenden vorgeschlagenen Maßnahmen sind in der Tabelle 12 zusammengefaßt.

Erwartungsgemäß haben die organisatorischen Maßnahmen den schnellsten ROI, weil hier außer Weiterbildung, Hinweise und konsequente Anwendung wenig Investitionen getätigt werden müssen. Hier kann das Hausverwalterbeteiligungsmodell (EBN) fördernd wirken, setzt allerdings die aktive Mitarbeit der Hausverwalter voraus.

Bereits mit der konsequenten Umsetzung der organisatorischen Maßnahmen lassen sich rund 2.000 €/a einsparen. Gemäß der **Tabelle ...** sind auch Einzelmaßnahmen sinnvoll. Insgesamt führen alle maschinellen Maßnahmen zu einem Einsparpotential von rund 13.500 €/a.

Durch die Verbesserung der Bauphysik (Frankfurter Standard) lassen sich rund 22.500 €/a sparen. Durch die hohen Investitionen von rund 875.000 € machen sich diese Einsparungen erst nach rund 38 a bezahlt. Dies ist im Bereich der Bauphysik ein mittelfristiger Zeitrahmen, möglicher Vergünstigungen durch Förderprogramme sind hier nicht eingerechnet.

Zusammengenommen reduzieren sich bei einer Gesamtinvestition von rund 1 Million € die Energiekosten um rund 40.000 €/a, die Energieverbräuche um rund 513.000 kWh/a.

Durch die Verbesserung der Bauphysik (mit Passivhauskomponenten) lassen sich rund 26.500 €/a sparen. Durch die hohen Investitionen zwischen 1.160.000 € machen sich diese Einsparungen erst nach rund 43 a bezahlt. Dies ist im Bereich der Bauphysik ein mittelfristiger Zeitrahmen, möglicher Vergünstigungen durch Förderprogramme sind hier nicht eingerechnet.

**Tabelle 12 Maßnahmen Übersicht**

| Beschreibung<br>Maßnahme                | Verbrauch<br>pro Jahr<br>kWh<br>Bestand | Kosten<br>spez<br>ct/kWh<br>€/m3 | Art | Cash<br>pro Jahr<br>EUR | Einsparung<br>pro Jahr<br>kWh | Investition<br>EUR | ROI<br>Jahre<br>a |
|---|---|----------------------------------|-----|-------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| Summe                                   | 0                                       |                                  |     | -42.000                 | -579.909                      | 1.300.084          |                   |
| davon                                   |   |                                  |     |                         |                               |                    |                   |
| Organisation                            |   |                                  | o   | -1.939                  | -14.275                       | 250                | 0,1               |
| Verträge                                |   |                                  | v   | 0                       |                               |                    |                   |
| Anlagentechnik                          |   |                                  | a   | -13.528                 | -123.414                      | 139.500            | 10,3              |
| Bauphysik                               |   |                                  | b   | -26.533                 | -442.220                      | 1.160.334          | 43,7              |
| Verträge                                |   |                                  |     |                         |                               |                    |                   |
| V WMS HG Stromverträge                  | 300.000                                 |                                  | o   |                         |                               |                    |                   |
| V WMS HG Gasverträge                    | 1.310.809                               |                                  | o   |                         |                               |                    |                   |
| V WMS HG Wasserverträge                 |   |                                  | o   |                         |                               |                    |                   |
| V WMS HG Hausverwalterverträge EBN      |   |                                  |     |                         |                               |                    |                   |
| B WMS HG Dachdämmung                    | 113689                                  | 0,06                             | b   | -5.658                  | -94.304                       | 253.260            | 44,8              |
| B WMS HG Wärmedämmung Aussenwand        | 95.542                                  | 0,06                             | b   | -4.830                  | -80.496                       | 122.461            | 25,4              |
| B WMS HG Fenstertausch                  | 129.585                                 | 0,06                             | b   | -5.615                  | -93.589                       | 234.432            | 41,7              |
| B WMS HG Fenstertausch Lüftungsverluste |   | 0,06                             | b   | 0                       | 0                             |                    |                   |

|    |           |  |        |       |        |         |         |        |
|----|-----------|--|--------|-------|--------|---------|---------|--------|
| B  | WMS HG    | Dämmung Boden gegen Außen                    |        | b     | 0      | 0       |         |        |
| H  | WMS HG    | Haupt-Heizungspumpen austauschen             |        | a     | 0      | 0       |         |        |
| H  | WMS HG    | Unterverteilung-Heizungspumpen austauschen   | 2.480  | 0,15o | -297   | -1.980  |         | sofort |
| H  | WMS HG    | Sekundärseite WT Rohrleitungen dämmen        | 350    | 0,06b | -11    | -175    | 100     | 9,5    |
| L  | WMS HG    | Lüftungspumpe Dämmschalen                    | 50     | 0,06b | -2     | -30     | 25      | 13,9   |
| BE | WMS HG    | Pflanzenstrahler abschalten                  | 219    | 0,15o | -33    | -219    |         | sofort |
| S  | WMS HG    | Kühlschränke abschalten                      | 2.500  | 0,15o | -300   | -2.000  |         | sofort |
| S  | WMS HG    | Serverkühlung abstellen                      | 1.752  | 0,15o | -218   | -1.452  |         | sofort |
| S  | WMS HG    | Standby Kopierer                             | 197    | 0,15o | -30    | -197    |         | sofort |
| S  | WMS HG    | Standby PC                                   | 146    | 0,15o | -22    | -146    |         | sofort |
| S  | WMS HG    | Zeitschaltuhr WW-Bereiter (Untertisch)       | 8.000  | 0,15o | -300   | -2.000  | 75      | 0,3    |
| HS | WMS HG    | Einkauf energieeffizienter Flachbildmonitore |        | b     | 0      | 0       |         |        |
| W  | WMS HG    | Spülkasten auf 6 l                           |        | b     | 0      | 0       |         |        |
| B  | WMS Sport | Dachdämmung                                  | 85.411 | 0,06b | -3.888 | -64.800 | 269.280 | 69,3   |
| B  | WMS Sport | Wärmedämmung Aussenwand                      | 51.498 | 0,06b | -2.264 | -37.734 | 112.028 | 49,5   |
| HZ | WMS Sport | Fenstertausch                                | 96.589 | 0,06b | -4.243 | -70.717 | 168.498 | 39,7   |
| B  | WMS Sport | Fenstertausch Lüftungsverluste               |        | 0,06b | 0      | 0       |         |        |
| B  | WMS Sport | Dämmung Boden gegen Außen                    |        | 0,06b | 0      | 0       |         |        |
| HH | WMS Sport | Heizungspumpe runterstellen                  |        | 0,06b | 0      | 0       |         |        |
| H  | WMS Sport | Sekundär WT Rohrleitungen dämmen             | 300    | 0,06b | -9     | -150    | 100     | 11,1   |
| H  | WMS Sport | WW-Leitung letztes Stück dämmen              | 150    | 0,06b | -5     | -75     | 50      | 11,1   |
| L  | WMS Sport | Lüftung Halle Austausch                      | 50.000 | 0,15a | -3.600 | -24.000 | 36.750  | 10,2   |
| LH | WMS Sport | Lüftung Heizenergieeinsparung                | 10.000 | 0,06a | -2.492 | -41.535 |         | sofort |
| L  | WMS Sport | Lüftung NR Austausch                         | 25.000 | 0,15a | -1.200 | -8.000  | 12.250  | 10,2   |
| LH | WMS Sport | Lüftung NR Heizenergieeinsparung             | 5.000  | 0,06a | -831   | -13.845 |         | sofort |
| LS | WMS Sport | Lüftungspumpen reduzieren                    | 2.200  | 0,15o | -30    | -200    |         | sofort |
| LS | WMS Sport | Heizungsregelung erneuern                    | 2.200  | 0,15a | -428   | -2.850  | 7.500   | 17,5   |
| BE | WMS Sport | Bewegungsmelder Umkleieräume Leuchtentausch  |        | 0,15a | -260   | -1.732  | 8.000   | 30,8   |
| BE | WMS Sport | Bewegungsmelder Flur Leuchtentausch          |        | 0,15a | -257   | -1.714  | 4.000   | 15,6   |
| S  | WMS Sport | Notstromaggregat abklemmen                   | 263    | 0,15o | -39    | -263    |         | sofort |
| S  | WMS Sport | Notstromaggregat Öleinsparung                |        | 0,06o | 0      | 0       |         |        |
| W  | WMS Sport | Spülkasten auf 6 l                           |        | 0,06a | 0      | 0       |         |        |
| HH | FBS HG    | Heizungspumpe runterstellen                  | 2.750  | 0,06o | -135   | -2.250  |         | sofort |
| H  | FBS HG    | Hydraulische Abstimmung Heizkreise           |        | 0,06b | 0      | 0       |         |        |
| H  | FBS HG    | Sekundärseite WT Rohrleitungen dämmen        | 300    | 0,06b | -9     | -150    | 100     | 11,1   |
| H  | FBS HG    | Regelung optimieren                          |        | 0,06a | 0      | 0       |         |        |
| S  | FBS HG    | Lüftung Laufzeitschaltung Abluft             | 2.800  | 0,15a | -210   | -1.400  | 1.000   | 4,8    |
| BE | FBS HG    | Beleuchtung Klassenräume                     | 33.398 | 0,15a | -3.006 | -20.039 | 52.500  | 17,5   |
| BE | FBS HG    | Beleuchtung Flure                            | 16.596 | 0,15a | -1.245 | -8.298  | 17.500  | 14,1   |
| S  | FBS HG    | Kühlschränke gelegentlich abschalten         | 4.500  | 0,15o | -150   | -1.000  |         | sofort |
| S  | FBS HG    | Standby Kopierer                             | 208    | 0,15o | -31    | -208    |         | sofort |
| S  | FBS HG    | Standby PC, Monitore                         | 160    | 0,15o | -24    | -160    |         | sofort |
| S  | FBS HG    | Zeitschaltuhr WW-Bereiter (Untertisch)       | 8.000  | 0,15o | -300   | -2.000  | 75      | 0,3    |
| S  | FBS HG    | Einkauf energieeffizienter Flachbildmonitore |        | 0,15a | 0      | 0       |         |        |
| W  | FBS HG    | Spülkasten auf 6 l                           |        | 0,06a | 0      | 0       |         |        |
| S  | FBS EB    | Beleuchtung im Flur reduzieren               | 200    | 0,15o | -30    | -200    | 100     | 3,3    |

Zusammengenommen reduzieren sich bei einer Gesamtinvestition von rund 1.3 Million € die Energiekosten um rund 42.000 €/a, die Energieverbräuche um rund 580.000 kWh/a.

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 6.2.1-6.2.8).

## 6.2 Verbesserung der Wärmedämmung

Für alle Maßnahmen im Bereich der Wärmedämmung wurden die Bauteilwerte des Hochbauamts (HBA) nach den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2006, die teilweise noch über die Bauteilwerte nach EnEV hinausgehen, zugrunde gelegt. Dies schließt nicht aus, dass teilweise noch bessere Werte erreicht werden, diese müssen jedoch dann gesondert berechnet werden. Als weitere Variante wurde eine zusätzliche Variante mit Passivhauskomponenten gerechnet.

Für die Berechnung der Einsparung wurden die U-(k) Werte und für die Fenster auch die g-Werte in die Leitfadensberechnung 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 den beiden Gebäuden der WMS.

Alle Maßnahmen wurden mit Kosten gemäß der **Tabelle 13 Investitionskosten Wärmeschutz WMS HG auf Seite 65** 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 wurden bei der WMS Sporthalle vier verschiedene Varianten im Verhältnis zum Ist-Zustand gerechnet. Variante 1 ist der Ist-Zustand. Variante 2 ist ein Dämmpaket mit Einhaltung der U-Werte nach den aktuellen Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen der Stadt Frankfurt. Variante 3 beinhaltet die gleichen Dämmmaßnahmen, allerdings sind die Anforderungen an den Wärmeschutz nochmals erhöht und fallen unter den Passivhausstandard.

Die Stadt Frankfurt hat per Ratsbeschluss beschlossen, öffentliche Gebäude nur noch in Passivhausstandard zu sanieren, es sei denn, dass eine Wirtschaftlichkeit nicht möglich ist.

Variante 4 und Variante 5 sind bei den Dämmmaßnahmen identisch zur Variante 2, bei Variante 4 werden die Lüftungsanlagen auf den Stand der Technik ertüchtigt. Bei Variante 5 wird die Lüftungsanlage darüber hinaus teilweise komplett ausgetauscht. Bei dem Hauptgebäude der WMS wird nur die Variante 2 und Variante 3 im Verhältnis zum Ist-Zustand untersucht. (vgl. auch **Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik auf Seite 45**)

Der Erweiterungsbau der FBS ist dagegen neueren Baujahrs und der Wärmeschutz der FBS wurde im Rahmen der Asbestsanierung 1996/1997 bereits verbessert und daher nicht weiter untersucht. Allerdings zeigten die thermographischen Aufnahmen des Hauptgebäudes der FBS, dass die geplante wärmeschutztechnische Verbesserung nur bedingt in die Praxis umgesetzt wurde. Auch wenn die damaligen Investitionen noch nicht abgeschlossen sind, sollten Verbesserungen mittelfristig angestrebt werden. Aus diesem Grund sind als Merkpositionen auch einige Maßnahmen für das Hauptgebäude der FBS aufgeführt.

### 6.2.1 Austausch der Fenster im HG WMS

Insgesamt hat das HG der WMS eine Fensterfläche von 592 m<sup>2</sup>. Bei Austausch der Fenster ändert sich bei der Variante 2 der Transmissionswärmeverlust von 130.000 kWh/a auf 67.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 63.000 kWh/a oder rund 3.800 €/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 177.000 € (netto). Damit beträgt das ROI rund 40 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

Bei Variante 3 sinkt der Transmissionswärmeverlust von 130.000 kWh/a auf 36.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 94.000 kWh/a oder rund 5.600 €/a. Der Austausch aller Fenster führt zu Gesamtkosten von 234.000 € (netto). Damit beträgt das ROI rund 42 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

### **6.2.2 Austausch der Fenster in der Sporthalle WMS**

Die Fensterfläche in der Sporthalle der WMS beträgt rund 362 m<sup>2</sup>. Bei Austausch der Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 96.000 kWh/a auf rund 17.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 79.000 kWh/a oder rund 4.700 €/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 106.600 €. Damit beträgt das ROI rund 33,6 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

Insgesamt hat das HG der WMS eine Fensterfläche von 426 m<sup>2</sup>. Bei Austausch der Fenster ändert sich bei der Variante 2 der Transmissionswärmeverlust von 130.000 kWh/a auf 67.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 63.000 kWh/a oder rund 3.800 €/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 177.000 € (netto). Damit beträgt das ROI rund 40 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

Bei Variante 3 sinkt der Transmissionswärmeverlust von 130.000 kWh/a auf 36.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 94.000 kWh/a oder rund 5.600 €/a. Der Austausch aller Fenster führt zu Gesamtkosten von 234.000 € (netto). Damit beträgt das ROI rund 42 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

### **6.2.3 Wärmedämmverbundsystem HG WMS**

Bei den Außenwänden im HG der WMS handelt es sich um eine Gesamtfläche von 986 m<sup>2</sup>. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich bei Variante 2 von 96.000 kWh/a auf rund 17.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 79.000 kWh/a oder rund 4.700 €/a. Die Kosten für die Investition betragen 95.000 € (netto). Das ROI berechnet sich damit zu 20 Jahren.

Bei Variante 3 sinkt der Transmissionswärmeverlust von 96.000 kWh/a auf 15.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 81.000 kWh/a oder rund 4.800 €/a. Die Kosten für die Investition betragen 122.000 € (netto). Damit beträgt das ROI rund 25 Jahre.

### **6.2.4 Wärmedämmverbundsystem Sporthalle WMS**

Bei den Außenwänden der Sporthalle der WMS handelt es sich um eine Gesamtfläche von 902 m<sup>2</sup>. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 55.900 kWh auf 23.950 kWh bei Anbringung einer Wärmedämmung mit einer Dämmstärke von 12 cm (rechnerisch 0,29 W/m<sup>2</sup>K bei  $\lambda = 0,035 = \text{HBA Standard}$ ). Das entspricht einer Einsparung von rund 31.900 kWh/a oder 1.915 €/a. Die Kosten für die Investition betragen rund 63.100 €. Das ROI berechnet sich damit zu 33 Jahren.

### 6.2.5 Dachdämmung HG WMS

Das Dach des HG hat eine Fläche von 1.407 m<sup>2</sup>

Der Transmissionswärmeverlust verringert sich bei Variante 2 von 113.700 kWh auf 24.000. Das entspricht einer Einsparung von rund 89.600 kWh/a oder 5.380 €/a. Diese Maßnahme ist kostengünstig im Rahmen der nächsten Dachsanierung durchzuführen.

Die Kosten für ein Vollsanieung liegen bei ca. 202.680 € (netto) und rechnet sich nach 38 Jahren.

Bei Variante 3 sinkt der Transmissionswärmeverlust von 113.700 kWh/a auf 19.400 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 94.300 kWh/a oder rund 5.660 €/a. Die Kosten für die Investition betragen 253.260 € (netto). Damit beträgt das ROI rund 44 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

### 6.2.6 Dachdämmung Sporthalle WMS

Das Dach der Sporthalle hat eine Fläche von 1.496 m<sup>2</sup>

Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 92.700 kWh auf 26.500 kWh bei Anbringung einer Dämmung mit einer Dämmstärke von 18 cm (rechnerisch 0,194 W/m<sup>2</sup>K bei  $\lambda = 0,035 = \text{HBA Standard}$ ). Das entspricht einer Einsparung von rund 66.200 kWh/a oder 3.970 €/a. Diese Maßnahme ist kostengünstig im Rahmen der nächsten Dachsanierung durchzuführen.

Die Kosten für ein Vollsanieung liegen bei ca. 180.000 € und rechnet sich daher erst nach 45 Jahren.

### 6.2.7 Boden HG WMS

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).

### 6.2.8 Boden Sporthalle WMS

Der Betonfußboden der Sporthalle könnte im Rahmen einer Sanierung gedämmt werden. Der zulässige Wert des HBA kann bereits mit einer Dämmstärke von 10 cm (WLG 040) erreicht werden. Die Gesamtfläche beträgt 1496 m<sup>2</sup>.

Der Transmissionswärmeverlust verringert sich dadurch von 53.000 kWh/a auf 26.500 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 26.500 kWh/a oder rund 1.600 €/a. Die Maßnahme kostet rund 75.000 € und rechnet sich nach 48 Jahren. Aufgrund anfallender Nebenarbeiten verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit weiter, deshalb wurde die Bodendämmung nicht in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt.

### 6.2.9 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik WMS HG

#### 6.2.9.1 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik Frankfurter Standard

Bei dieser Variante wurden die U-Wert Anforderungen nach den Frankfurter Leitlinien 2006 zugrundegelegt. Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 6.2.1. – 6.2.8. jeweils für die beiden Gebäuden 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 40 Jahren vorgenommen.

Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Die Investitionskosten betragen bei der WMS HG rund 565.000 € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2006. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegt teilweise noch unter diesen Werten.

**Tabelle 13 Investitionskosten Wärmeschutz WMS HG (Frankfurter Standard)**

| <b>A. Allgemeine Daten</b>                       |   |                                    |                     |                    |                     |                |                |              |
|--|---|------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------|
| A1   | Liegenschaftsbezeichn.                        | <b>WMS HG</b>                      |                     |                    | A2                  | KStB.          |                |              |
| A3   | Gebäudebezeichnung                            |                                    |                     |                    | A4                  | Str-Nr.        |                |              |
| A5   | Straße  |                                    |                     |                    | A6                  | Haus-Nr.       |                |              |
| A7   | Variante 2                                    | <b>Dämmung Frankfurter Zustand</b> |                     |                    |                     |                |                |              |
| A8   | Bezugsfläche (NGF)                            | 3.914                              | m <sup>2</sup>      | A9                 | Personenzahl        | 160            | P              |              |
| <b>B. Kosten nach DIN276</b> (Fassung Juni 1993) |   |                                    |                     |                    |                     |                |                |              |
| (alle Kosten netto)                              |   |                                    |                     | <b>Investition</b> | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b> | <b>Wartung</b> |              |
|  |   |                                    |                     | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
| <b>100Grundstück</b>                             |   |                                    |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>200Herrichten und Erschließen</b>             |   |                                    |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>300Bauwerk - Baukonstruktion</b>              |   | <b>Menge</b>                       | <b>sp. Preis</b>    | <b>Investition</b> | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b> | <b>Wartung</b> |              |
|  |   | (m <sup>3</sup> )                  | (€/m <sup>3</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
| 310  | Baugrube                                      | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   |                |                |              |
| 320  | Gründung: Fundamente                          | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   |                |                |              |
| Gründung: Bodenaufbauten                         |   | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Boden gegen Keller/Erde                       | 1.407                              | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Boden gegen außen                             | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
| 330  | Außenwände                                    | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Wand gegen außen                              | 986                                | 80                  | 78.880             | 20                  | 1,0%           | 789            |              |
|  | Wand gegen Keller/Erde                        | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Außenfenster und -türen                       | 592                                | 250                 | 148.000            | 38                  | 1,5%           | 2.220          |              |
|  |   | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 0,0%           | 0              |              |
| 340  | Innenwände                                    | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Innenwände                                    | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Innentüren und Fenster                        | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| 350  | Decken  | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | oberste Geschoßdecke                          | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | sonstige Geschoßdecken                        | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
| 360  | Dächer  | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Dach gegen außen                              | 1.407                              | 120                 | 168.840            | 43                  | 1,0%           | 1.688          |              |
|  |   | 0                                  | 0                   | 0                  | 0                   | 0,0%           | 0              |              |
| 370 - 390  | sonstige Baukonstruktion                      |                                    |                     | 79.144             | 20                  | 0,0%           | 0              |              |
| <b>300Summe Baukonstruktion</b>                  |   |                                    |                     | <b>474.864</b>     | <b>121</b>          | <b>1,0%</b>    | <b>4.697</b>   |              |
| <b>400Bauwerk- Technische Anlagen</b>            |   |                                    |                     | <b>Investition</b> | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b> | <b>Wartung</b> |              |
|  |   |                                    |                     | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/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              |              |
| <b>400Summe Technische Anlagen</b>               |   |                                    |                     | <b>0</b>           | <b>0</b>            | <b>1,5%</b>    | <b>0</b>       |              |
| <b>500Außenanlagen</b>                           |   |                                    |                     | 0                  | 0                   | 3,0%           | 0              |              |
| <b>600Ausstattung und Kunstwerke</b>             |   |                                    |                     | 0                  | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| <b>700Baunebenkosten</b>                         |   |                                    |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes</b>  |   |                                    |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>C. Summe Investition u. Wartung</b>           |   |                                    |                     | <b>netto</b>       | <b>474.864</b>      | <b>121</b>     | <b>1,0%</b>    | <b>4.697</b> |
| C2   | Mehrwertsteuer                                |                                    | 19%                 | 90.224             | 23                  |                | 892            |              |
| C3   |   |                                    | <b>brutto</b>       | <b>565.088</b>     | <b>144</b>          | <b>1,0%</b>    | <b>5.590</b>   |              |

### **6.2.9.2 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik mit Passivhauskomponenten**

Bei dieser Variante wurden die U-Wert Anforderungen von Passivhausanforderungen. Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 6.2.1. – 6.2.8. jeweils für die beiden Gebäuden 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 40 Jahren vorgenommen. Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Investitionskosten betragen bei der Sanierung der WMS HG mit Passivhauskomponenten rund 726.000 € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2006. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegt teilweise noch unter diesen Werten.

**Tabelle 14 Investitionskosten Wärmeschutz WMS HG (Passivhausstandard)**

| <b>A. Allgemeine Daten</b>                       |                              |                     |                     |                     |                     |                |
|--|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| A1 Liegenschaftsbezeichn.                        | <b>WMS HG</b>                |                     |                     | A2 KStB.            |                     |                |
| A3 Gebäudebezeichnung                            |                              |                     |                     | A4 Str-Nr.          |                     |                |
| A5 Straße  |                              |                     |                     | A6 Haus-Nr.         |                     |                |
| A7 Variante 3                                    | <b>Passivhauskomponenten</b> |                     |                     |                     |                     |                |
| A8 Bezugsfläche (NGF)                            | 3.914                        | m <sup>2</sup>      | A9 Personenzahl     | 160                 | P                   |                |
| <b>B. Kosten nach DIN276</b> (Fassung Juni 1993) |                              |                     |                     |                     |                     |                |
| (alle Kosten netto)                              |                              |                     | <b>Investition</b>  | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b>      | <b>Wartung</b> |
|  |                              |                     | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)               | (€/a)          |
| <b>100Grundstück</b>                             |                              |                     | 0                   | 0                   |                     |                |
| <b>200Herrichten und Erschließen</b>             |                              |                     | 0                   | 0                   |                     |                |
| <b>300Bauwerk - Baukonstruktion</b>              |                              | Menge               | sp. Preis           | Investition         | Invest./NGF         | Wartung        |
|  |                              | (m <sup>3</sup> )   | (€/m <sup>3</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          |
| 310Baugrube                                      |                              | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |                |
| 320Gründung: Fundamente                          |                              | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |                |
| Gründung: Bodenaufbauten                         |                              | (m <sup>2</sup> )   | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          |
| Boden gegen Keller/Erde                          | 1.407                        | 125                 | 0                   | 0                   | 1,0%                | 0              |
| Boden gegen außen                                | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%                | 0              |
| 330Außenwände                                    | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)               | (€/a)          |
| Wand gegen außen                                 | 986                          | 104                 | 102.051             | 26                  | 1,0%                | 1.021          |
| Wand gegen Keller/Erde                           | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%                | 0              |
| Außenfenster und -türen                          | 592                          | 330                 | 195.360             | 50                  | 1,5%                | 2.930          |
|  | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 0,0%                | 0              |
| 340Innenwände                                    | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)               | (€/a)          |
| Innenwände                                       | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%                | 0              |
| Innentüren und Fenster                           | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 1,5%                | 0              |
| 350Decken  | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)               | (€/a)          |
| oberste Geschoßdecke                             | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%                | 0              |
| sonstige Geschoßdecken                           | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%                | 0              |
| 360Dächer  | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)               | (€/a)          |
| Dach gegen außen                                 | 1.407                        | 150                 | 211.050             | 54                  | 1,0%                | 2.111          |
|  | 0                            | 0                   | 0                   | 0                   | 0,0%                | 0              |
| 370 - 390 sonstige Baukonstruktion               |                              |                     | 101.692             | 26                  | 0,0%                | 0              |
| <b>300Summe Baukonstruktion</b>                  |                              |                     | <b>610.153</b>      | <b>156</b>          | <b>1,0%</b>         | <b>6.061</b>   |
| <b>400Bauwerk- Technische Anlagen</b>            |                              |                     | Investition         | Invest./NGF         | Wartung             | Wartung        |
|  |                              |                     | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)               | (€/a)          |
| 410Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen                |                              |                     | 0                   | 0                   | 1,5%                | 0              |
| 420Wärmeversorgungsanlagen                       |                              |                     | 0                   | 0                   | 3,0%                | 0              |
| 430Lufttechnische Anlagen                        |                              |                     | 0                   | 0                   | 3,5%                | 0              |
| 440Starkstromanlagen                             |                              |                     | 0                   | 0                   | 1,5%                | 0              |
| 450Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen |                              |                     | 0                   | 0                   | 3,0%                | 0              |
| 460Förderanlagen                                 |                              |                     | 0                   | 0                   | 3,5%                | 0              |
| 470 - 490 sonstige Technische Anlagen            |                              |                     | 0                   | 0                   | 1,5%                | 0              |
| <b>400Summe Technische Anlagen</b>               |                              |                     | <b>0</b>            | <b>0</b>            | <b>1,5%</b>         | <b>0</b>       |
| <b>500Außenanlagen</b>                           |                              |                     | 0                   | 0                   | 3,0%                | 0              |
| <b>600Ausstattung und Kunstwerke</b>             |                              |                     | 0                   | 0                   | 1,5%                | 0              |
| <b>700Baunebenkosten</b>                         |                              |                     | 0                   | 0                   |                     |                |
| <b>Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes</b>  |                              |                     | 0                   | 0                   |                     |                |
| <b>C. Summe Investition u. Wartung</b>           |                              |                     |                     |                     |                     |                |
| netto  |                              |                     | <b>610.153</b>      | <b>156</b>          | <b>1,0%</b>         | <b>6.061</b>   |
| C2 Mehrwertsteuer                                | 19%                          |                     | 115.929             | 30                  |                     | 1.152          |
| C3   | <b>brutto</b>                |                     | <b>726.082</b>      | <b>186</b>          | <b>1,0%</b>         | <b>7.213</b>   |

### **6.2.9.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten**

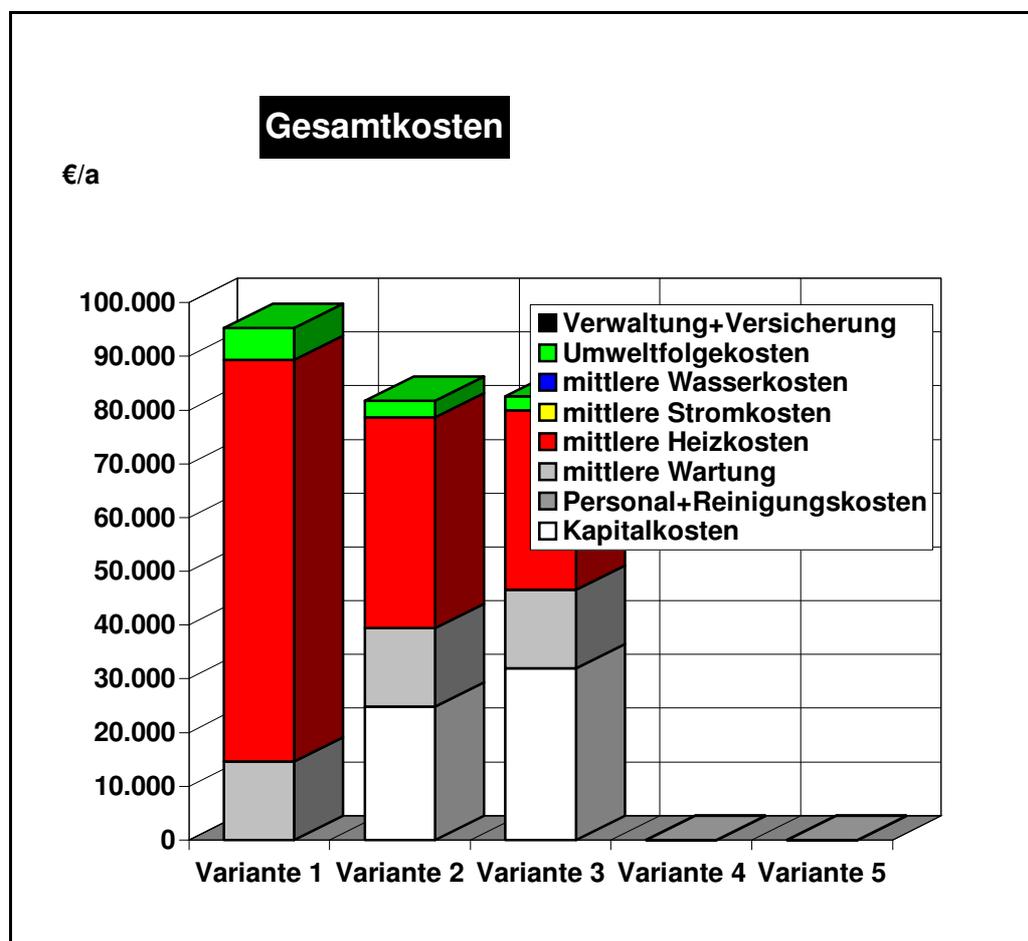
Bei der Gesamtkostenberechnung ergibt sich eine Amortisationszeit von ca. 20 Jahren bei Variante 2 und 23 Jahre bei Variante 3. Die Berechnung ist in der folgenden Tabelle aufgezeigt.

**Tabelle 15 Gesamtkostenberechnung WMS HG**

| <b>A. Allgemeine Daten</b>      |  |                                    |               |               |                  |            |  |
|---------------------------------|--|------------------------------------|---------------|---------------|------------------|------------|--|
| A1                              | Liegenschaftsbezeichnung                     | <b>WMS HG</b>                      |               |               | A2               | KStB.      |  |
| A3                              | Gebäudebezeichnung                           |                                    |               |               | A4               | Str.-Nr.   |  |
| A5                              | Straße                                       |                                    |               |               | A6               | Haus-Nr.   |  |
| A7                              | Betrachtungszeitraum                         | 40 <sup>a</sup>                    | A8            |               | Währung          | €          |  |
| A9                              | Kapitalzins*                                 | 3,1%                               | A10           |               | Annuitätsfaktor  | 0,044      |  |
| A11                             | Preissteigerung                              | 5%                                 | A12           |               | Mittelwertfaktor | 2,61       |  |
| <b>B. Varianten</b>             |  |                                    |               |               |                  |            |  |
|                                 |  | Bezeichnung                        |               |               |                  |            |  |
| B0                              | <b>Variante 1</b>                            | <b>Ist-Zustand</b>                 |               |               |                  |            |  |
| B1                              | <b>Variante 2</b>                            | <b>Dämmung Frankfurter Zustand</b> |               |               |                  |            |  |
| B2                              | <b>Variante 3</b>                            | <b>Passivhauskomponenten</b>       |               |               |                  |            |  |
| B3                              | <b>Variante 4</b>                            |                                    |               |               |                  |            |  |
| B4                              | <b>Variante 5</b>                            |                                    |               |               |                  |            |  |
| <b>C. Kenngrößen</b>            |  |                                    |               |               |                  |            |  |
|                                 |  | Variante 1                         | Variante 2    | Variante 3    | Variante 4       | Variante 5 |  |
| C1                              | Bezugsfläche (NGF)                           | 3.914                              | 3.914         | 3.914         | 3.914            | 3.914      |  |
| C2                              | Personenzahl                                 | 160                                | 160           | 160           | 160              | 160        |  |
| C3                              | spez. Heizwärmebedarf                        | 116                                | 58            | 49            |                  |            |  |
| C4                              | Heizzahl Kessel+Verteilung                   | 96%                                | 95%           | 95%           |                  |            |  |
| C5                              | spez. Strombezug                             | 0                                  | 0             | 0             |                  |            |  |
| C6                              | spez. CO <sub>2</sub> -Emissionen            | 30                                 | 16            | 13            |                  |            |  |
| C7                              | spez. Trinkwasserbezug                       | 0,00                               | 0,00          | 0,00          |                  |            |  |
| <b>D. Kapitalkosten</b>         |  |                                    |               |               |                  |            |  |
|                                 |  | Variante 1                         | Variante 2    | Variante 3    | Variante 4       | Variante 5 |  |
| D1                              | Investitionskosten (DIN 276)                 | 0                                  | 565.088       | 726.082       |                  |            |  |
| D2                              | Zuschüsse/Erlöse                             |                                    |               |               |                  |            |  |
| D3                              | Eigenkapitaleinsatz                          | 0                                  | 565.088       | 726.082       |                  |            |  |
| D4                              | <b>Kapitalkosten</b>                         | <b>0</b>                           | <b>24.844</b> | <b>31.922</b> |                  |            |  |
| D5                              | <b>spez. Kapitalkosten</b>                   | <b>0</b>                           | <b>6</b>      | <b>8</b>      |                  |            |  |
| <b>E. mittl. Betriebskosten</b> |  |                                    |               |               |                  |            |  |
|                                 |  | Variante 1                         | Variante 2    | Variante 3    | Variante 4       | Variante 5 |  |
| E1                              | Personal+Reinigungskosten                    |                                    |               |               |                  |            |  |
| E2                              | Wartung+Instandhaltung                       | 5.590                              | 5.590         | 5.590         |                  |            |  |
| E3                              | Heizkosten                                   | 28.582                             | 14.984        | 12.799        |                  |            |  |
| E4                              | Stromkosten                                  | 0                                  | 0             | 0             |                  |            |  |
| E5                              | Wasserkosten                                 | 0                                  | 0             | 0             |                  |            |  |
| E6                              | Verwaltung+Versicherung                      |                                    |               |               |                  |            |  |
| E7                              | <b>heutige Betriebskosten</b>                | <b>34.172</b>                      | <b>20.574</b> | <b>18.388</b> |                  |            |  |
| E8                              | <b>mittl. Betriebskosten</b>                 | <b>89.333</b>                      | <b>53.786</b> | <b>48.072</b> |                  |            |  |
| E9                              | <b>spez. Betriebskosten</b>                  | <b>23</b>                          | <b>14</b>     | <b>12</b>     |                  |            |  |
| <b>F. Umweltfolgekosten</b>     |  |                                    |               |               |                  |            |  |
|                                 |  | Variante 1                         | Variante 2    | Variante 3    | Variante 4       | Variante 5 |  |
| F1                              | CO <sub>2</sub> -Emissionen (50 €/to)        | 5.890                              | 3.054         | 2.599         |                  |            |  |
| F2                              | Trinkwasser (1 €/m <sup>3</sup> )            | 0                                  | 0             | 0             |                  |            |  |
| F3                              | <b>Umweltfolgekosten</b>                     | <b>5.890</b>                       | <b>3.054</b>  | <b>2.599</b>  |                  |            |  |
| F4                              | <b>spez. Umweltfolgekost.</b>                | <b>2</b>                           | <b>1</b>      | <b>1</b>      |                  |            |  |
| <b>G. Gesamtkosten</b>          |  |                                    |               |               |                  |            |  |
|                                 |  | Variante 1                         | Variante 2    | Variante 3    | Variante 4       | Variante 5 |  |
| G1                              | <b>Gesamtkosten</b>                          | <b>95.223</b>                      | <b>81.683</b> | <b>82.593</b> |                  |            |  |
| G2                              | <b>spez. Gesamtkosten</b>                    | <b>24</b>                          | <b>21</b>     | <b>21</b>     |                  |            |  |
| G2                              | <b>Amortisationszeit (Basis: Variante 1)</b> |                                    | <b>20,0</b>   | <b>23,0</b>   |                  |            |  |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)  
 \* aktuelle Kreditzinsen unter: <http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.pdf>

**Diagramm 1 Gesamtkostenberechnung WMS HG**



## 6.2.10 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik WMS Sporthalle

### 6.2.10.1 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik Frankfurter Standard

Bei dieser Variante wurden die U-Wert Anforderungen nach den Frankfurter Leitlinien 2006 zugrundegelegt. Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 6.2.1. – 6.2.8. jeweils für die beiden Gebäuden 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 40 Jahren vorgenommen.

Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Investitionskosten betragen bei der WMS Sporthalle rund 512.000 € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2006. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegt teilweise noch unter diesen Werten.

**Tabelle 16 Investitionskosten Wärmeschutz WMS Sporthalle (Frankfurter Standard)**

| <b>A. Allgemeine Daten</b>                       |   |                                    |                     |                     |                     |                |                |              |
|--|---|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------|
| A1   | Liegenschaftsbezeichn.                        | <b>WMS Sporthalle</b>              |                     |                     | A2                  | KStB.          |                |              |
| A3   | Gebäudebezeichnung                            |                                    |                     |                     | A4                  | Str-Nr.        |                |              |
| A5   | Straße  |                                    |                     |                     | A6                  | Haus-Nr.       |                |              |
| A7   | Variante 2                                    | <b>Dämmung Frankfurter Zustand</b> |                     |                     |                     |                |                |              |
| A8   | Bezugsfläche (NGF)                            | 2.300                              | m <sup>2</sup>      | A9                  | Personenzahl        | 60             | P              |              |
| <b>B. Kosten nach DIN276</b> (Fassung Juni 1993) |   |                                    |                     |                     |                     |                |                |              |
| (alle Kosten netto)                              |   | <b>Investition</b>                 |                     | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b>      | <b>Wartung</b> |                |              |
|  |   | (€)                                |                     | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)               | (€/a)          |                |              |
| <b>100Grundstück</b>                             |   | 0                                  |                     | 0                   |                     |                |                |              |
| <b>200Herrichten und Erschließen</b>             |   | 0                                  |                     | 0                   |                     |                |                |              |
| <b>300Bauwerk -</b>                              |   | <b>Menge</b>                       | <b>sp. Preis</b>    | <b>Investition</b>  | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b> | <b>Wartung</b> |              |
| <b>Baukonstruktion</b>                           |   | (m <sup>3</sup> )                  | (€/m <sup>3</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
| 310  | Baugrube                                      | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   |                |                |              |
| 320  | Gründung: Fundamente                          | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   |                |                |              |
| Gründung: Bodenaufbauten                         |   | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Boden gegen Keller/Erde                       | 1.496                              | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Boden gegen außen                             | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
| 330  | Außenwände                                    | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Wand gegen außen                              | 902                                | 80                  | 72.160              | 31                  | 1,0%           | 722            |              |
|  | Wand gegen Keller/Erde                        | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Außenfenster und -türen                       | 426                                | 250                 | 106.375             | 46                  | 1,5%           | 1.596          |              |
|  |   | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 0,0%           | 0              |              |
| 340  | Innenwände                                    | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Innenwände                                    | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Innentüren und Fenster                        | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| 350  | Decken  | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | oberste Geschoßdecke                          | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | sonstige Geschoßdecken                        | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
| 360  | Dächer  | (m <sup>2</sup> )                  | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Dach gegen außen                              | 1.496                              | 120                 | 179.520             | 78                  | 1,0%           | 1.795          |              |
|  |   | 0                                  | 0                   | 0                   | 0                   | 0,0%           | 0              |              |
| 370 - 390  | sonstige Baukonstruktion                      |                                    |                     | 71.611              | 31                  | 0,0%           | 0              |              |
| <b>300Summe Baukonstruktion</b>                  |   |                                    |                     | <b>429.666</b>      | <b>187</b>          | <b>1,0%</b>    | <b>4.112</b>   |              |
| <b>400Bauwerk- Technische Anlagen</b>            |   |                                    |                     | <b>Investition</b>  | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b> | <b>Wartung</b> |              |
|  |   |                                    |                     | (€)                 | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
| 410  | Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen                |                                    |                     | 0                   | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| 420  | Wärmeversorgungsanlagen                       |                                    |                     |                     | 0                   | 3,0%           | 0              |              |
| 430  | Lufttechnische Anlagen                        |                                    |                     |                     | 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              |              |
| <b>400Summe Technische Anlagen</b>               |   |                                    |                     | <b>0</b>            | <b>0</b>            | <b>1,5%</b>    | <b>0</b>       |              |
| <b>500Außenanlagen</b>                           |   |                                    |                     | 0                   | 0                   | 3,0%           | 0              |              |
| <b>600Ausstattung und Kunstwerke</b>             |   |                                    |                     | 0                   | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| <b>700Baunebenkosten</b>                         |   |                                    |                     | 0                   | 0                   |                |                |              |
| <b>Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes</b>  |   |                                    |                     | 0                   | 0                   |                |                |              |
| <b>C. Summe Investition u. Wartung</b>           |   |                                    |                     | <b>netto</b>        | <b>429.666</b>      | <b>187</b>     | <b>1,0%</b>    | <b>4.112</b> |
| C2   | Mehrwertsteuer                                |                                    |                     | 19%                 | 81.637              | 35             |                | 781          |
| C3   | <b>brutto</b>                                 |                                    |                     | <b>511.303</b>      | <b>222</b>          | <b>1,0%</b>    | <b>4.894</b>   |              |

### **6.2.10.2 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik mit Passivhauskomponenten**

Bei dieser Variante wurden die U-Wert Anforderungen von Passivhausanforderungen. Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 6.2.1. – 6.2.8. jeweils für die beiden Gebäuden 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 40 Jahren vorgenommen. Die angenommenen Investitionskosten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Investitionskosten betragen bei der Sanierung der WMS Sporthalle mit Passivhauskomponenten rund 655.000 € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2006. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegt teilweise noch unter diesen Werten.

**Tabelle 17 Investitionskosten Wärmeschutz WMS HG (Passivhausstandard)**

| <b>A. Allgemeine Daten</b>                       |   |                              |                     |                    |                     |                |                |              |
|--|---|------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------|
| A1   | Liegenschaftsbezeichn.                        | <b>WMS Sporthalle</b>        |                     |                    | A2                  | KStB.          |                |              |
| A3   | Gebäudebezeichnung                            |                              |                     |                    | A4                  | Str-Nr.        |                |              |
| A5   | Straße  |                              |                     |                    | A6                  | Haus-Nr.       |                |              |
| A7   | Variante 3                                    | <b>Passivhauskomponenten</b> |                     |                    |                     |                |                |              |
| A8   | Bezugsfläche (NGF)                            | 2.300                        | m <sup>2</sup>      | A9                 | Personenzahl        | 60             | P              |              |
| <b>B. Kosten nach DIN276</b> (Fassung Juni 1993) |   |                              |                     |                    |                     |                |                |              |
| (alle Kosten netto)                              |   |                              |                     | <b>Investition</b> | <b>Invest./NGF</b>  | <b>Wartung</b> | <b>Wartung</b> |              |
|  |   |                              |                     | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
| <b>100Grundstück</b>                             |   |                              |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>200Herrichten und Erschließen</b>             |   |                              |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>300Bauwerk - Baukonstruktion</b>              |   | Menge                        | sp. Preis           | Investition        | Invest./NGF         | Wartung        | Wartung        |              |
|  |   | (m <sup>3</sup> )            | (€/m <sup>3</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
| 310  | Baugrube                                      | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   |                |                |              |
| 320  | Gründung: Fundamente                          | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   |                |                |              |
| Gründung: Bodenaufbauten                         |   | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Boden gegen Keller/Erde                       | 1.496                        | 125                 | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Boden gegen außen                             | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
| 330  | Außenwände                                    | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Wand gegen außen                              | 902                          | 104                 | 93.357             | 41                  | 1,0%           | 934            |              |
|  | Wand gegen Keller/Erde                        | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Außenfenster und -türen                       | 426                          | 330                 | 140.415            | 61                  | 1,5%           | 2.106          |              |
|  |   | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 0,0%           | 0              |              |
| 340  | Innenwände                                    | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Innenwände                                    | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | Innentüren und Fenster                        | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| 350  | Decken  | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | oberste Geschoßdecke                          | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
|  | sonstige Geschoßdecken                        | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 1,0%           | 0              |              |
| 360  | Dächer  | (m <sup>2</sup> )            | (€/m <sup>2</sup> ) | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
|  | Dach gegen außen                              | 1.496                        | 150                 | 224.400            | 98                  | 1,0%           | 2.244          |              |
|  |   | 0                            | 0                   | 0                  | 0                   | 0,0%           | 0              |              |
| 370 - 390  | sonstige Baukonstruktion                      |                              |                     | 91.634             | 40                  | 0,0%           | 0              |              |
| <b>300Summe Baukonstruktion</b>                  |   |                              |                     | <b>549.806</b>     | <b>239</b>          | <b>1,0%</b>    | <b>5.284</b>   |              |
| <b>400Bauwerk- Technische Anlagen</b>            |   |                              |                     | Investition        | Invest./NGF         | Wartung        | Wartung        |              |
|  |   |                              |                     | (€)                | (€/m <sup>2</sup> ) | (%/a)          | (€/a)          |              |
| 410  | Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen                |                              |                     | 0                  | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| 420  | Wärmeversorgungsanlagen                       |                              |                     |                    | 0                   | 3,0%           | 0              |              |
| 430  | Lufttechnische Anlagen                        |                              |                     |                    | 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              |              |
| <b>400Summe Technische Anlagen</b>               |   |                              |                     | <b>0</b>           | <b>0</b>            | <b>1,5%</b>    | <b>0</b>       |              |
| 500  | Außenanlagen                                  |                              |                     | 0                  | 0                   | 3,0%           | 0              |              |
| 600  | Ausstattung und Kunstwerke                    |                              |                     | 0                  | 0                   | 1,5%           | 0              |              |
| 700  | Baunebenkosten                                |                              |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes</b>  |   |                              |                     | 0                  | 0                   |                |                |              |
| <b>C. Summe Investition u. Wartung</b>           |   |                              |                     | netto              | <b>549.806</b>      | <b>239</b>     | <b>1,0%</b>    | <b>5.284</b> |
| C2   | Mehrwertsteuer                                | 19%                          |                     | 104.463            | 45                  |                | 1.004          |              |
| C3   |   | brutto                       |                     | <b>654.270</b>     | <b>284</b>          | <b>1,0%</b>    | <b>6.288</b>   |              |

### **6.2.10.3      Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten**

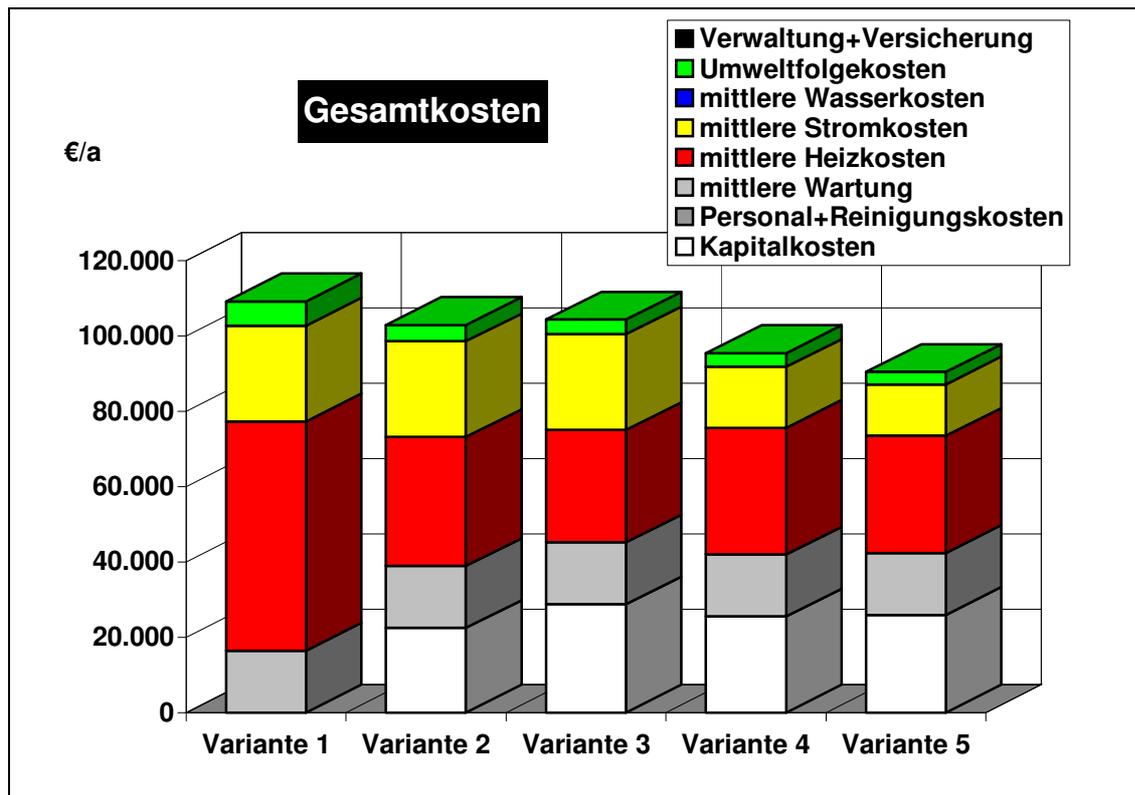
Bei der Gesamtkostenberechnung ergibt sich eine Amortisationszeit von ca. 26 Jahren bei Variante 2 und 30 Jahre bei Variante 3. Die Berechnung ist in der folgenden Tabelle aufgezeigt.

**Tabelle 18 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle**

| <b>A. Allgemeine Daten</b>      |  |                                    |                      |                   |
|---------------------------------|--|------------------------------------|----------------------|-------------------|
| A1                              | Liegenschaftsbezeichnung                     | <b>WMS Sporthalle</b>              |                      |                   |
| A3                              | Gebäudebezeichnung                           |                                    |                      |                   |
| A5                              | Straße                                       |                                    |                      |                   |
| A7                              | Betrachtungszeitraum                         | 40 <sup>a</sup>                    | A8 Währung           |                   |
| A9                              | Kapitalzins*                                 | 3,1%                               | A10 Annuitätsfaktor  |                   |
| A11                             | Preissteigerung                              | 5%                                 | A12 Mittelwertfaktor |                   |
| <b>B. Varianten</b>             |  | <b>Bezeichnung</b>                 |                      |                   |
| B0                              | <b>Variante 1</b>                            | <b>Ist-Zustand</b>                 |                      |                   |
| B1                              | <b>Variante 2</b>                            | <b>Dämmung Frankfurter Zustand</b> |                      |                   |
| B2                              | <b>Variante 3</b>                            | <b>Passivhauskomponenten</b>       |                      |                   |
| B3                              | <b>Variante 4</b>                            |                                    |                      |                   |
| B4                              | <b>Variante 5</b>                            |                                    |                      |                   |
| <b>C. Kenngrößen</b>            |  | <b>Variante 1</b>                  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| C1                              | Bezugsfläche (NGF)                           | 2.300                              | 2.300                | 2.300             |
| C2                              | Personenzahl                                 | 60                                 | 60                   | 60                |
| C3                              | spez. Heizwärmebedarf                        | 158                                | 84                   | 72                |
| C4                              | Heizzahl Kessel+Verteilung                   | 96%                                | 96%                  | 96%               |
| C5                              | spez. Strombezug                             | 20                                 | 20                   | 20                |
| C6                              | spez. CO2-Emissionen                         | 56                                 | 37                   | 34                |
| C7                              | spez. Trinkwasserbezug                       | 0,00                               | 0,00                 | 0,00              |
| <b>D. Kapitalkosten</b>         |  | <b>Variante 1</b>                  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| D1                              | Investitionskosten (DIN 276)                 | 0                                  | 511.303              | 654.270           |
| D2                              | Zuschüsse/Erlöse                             |                                    |                      |                   |
| D3                              | Eigenkapitaleinsatz                          | 0                                  | 511.303              | 654.270           |
| D4                              | <b>Kapitalkosten</b>                         | <b>0</b>                           | <b>22.479</b>        | <b>28.765</b>     |
| D5                              | <b>spez. Kapitalkosten</b>                   | <b>0</b>                           | <b>10</b>            | <b>13</b>         |
| <b>E. mittl. Betriebskosten</b> |  | <b>Variante 1</b>                  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| E1                              | Personal+Reinigungskosten                    |                                    |                      |                   |
| E2                              | Wartung+Instandhaltung                       | 6.288                              | 6.288                | 6.288             |
| E3                              | Heizkosten                                   | 23.267                             | 13.088               | 11.386            |
| E4                              | Stromkosten                                  | 9.734                              | 9.734                | 9.734             |
| E5                              | Wasserkosten                                 | 0                                  | 0                    | 0                 |
| E6                              | Verwaltung+Versicherung                      |                                    |                      |                   |
| E7                              | <b>heutige Betriebskosten</b>                | <b>39.288</b>                      | <b>29.109</b>        | <b>27.407</b>     |
| E8                              | <b>mittl. Betriebskosten</b>                 | <b>102.708</b>                     | <b>76.099</b>        | <b>71.649</b>     |
| E9                              | <b>spez. Betriebskosten</b>                  | <b>45</b>                          | <b>33</b>            | <b>31</b>         |
| <b>F. Umweltfolgekosten</b>     |  | <b>Variante 1</b>                  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| F1                              | CO2-Emissionen (50 €/to)                     | 6.412                              | 4.289                | 3.934             |
| F2                              | Trinkwasser (1 €/m³)                         | 0                                  | 0                    | 0                 |
| F3                              | <b>Umweltfolgekosten</b>                     | <b>6.412</b>                       | <b>4.289</b>         | <b>3.934</b>      |
| F4                              | <b>spez. Umweltfolgekost.</b>                | <b>3</b>                           | <b>2</b>             | <b>2</b>          |
| <b>G. Gesamtkosten</b>          |  | <b>Variante 1</b>                  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| G1                              | <b>Gesamtkosten</b>                          | <b>109.121</b>                     | <b>102.866</b>       | <b>104.348</b>    |
| G2                              | <b>spez. Gesamtkosten</b>                    | <b>47</b>                          | <b>45</b>            | <b>45</b>         |
| G2                              | <b>Amortisationszeit (Basis: Variante 1)</b> |                                    | <b>26,3</b>          | <b>30,4</b>       |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)  
\* aktuelle Kreditzinsen unter: <http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.pdf>

Diagramm 2 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle



## 6.3 Verbesserung der Regelungstechnik/Anlagentechnik

### 6.3.1 Gebäudeleittechnik

Prinzipiell wäre wegen der vielen 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.

### 6.3.2 Heizungsregelung

Die Regelung ist in keinem der Gebäude zentral zu regeln. Hier sollte weiter an einem Nutzer-Beteiligungsmodell gearbeitet werden, um die Absenkung bzw. Abschaltung in nicht belegten Zeiten bzw. Räumen zu verbessern.

### 6.3.3 Bedienung der Regelung

Konsequente Bedienung der Regelung incl. Nachtabenkung. Akribische Dokumentation der Fehler und Störquellen, um die Funktion zu optimieren.  
Neue Temperaturfühler in Klassenräumen installieren.

Die Anordnung der Temperaturfühler sollte überprüft und geändert werden.

#### **6.3.4 Hydraulische Abstimmung der Heizkreise**

Die mangelnde hydraulische Abstimmung der Heizkörper kann zur Unterversorgung von Heizkörpern führen. Letzteres spielt allerdings eine eher untergeordnete Rolle, da jeweils nur 3 Heizkörper an einem Ventil angeschlossen sind. Wichtiger ist die Eindrosselung der Stränge und Ventile.

### **6.4 Lüftung**

Hauptproblem der Lüftung sind die teilweise durchlaufenden Betriebszeiten ohne Aus- und Teillastbetrieb. Dadurch wird im HG der FBS und teilweise bei der Sporthalle WMS unnötig Strom und Wärme verbraucht.

#### **6.4.1 Lüftung WMS HG**

Die Lüftungsanlage wurde 1996 grundlegend saniert. Die Betriebszeiten sind dem Betrieb angepasst, ein Einsparungspotential ist aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu erkennen.

#### **6.4.2 Lüftung WMS Sporthalle**

Der Austausch der Lüftungsanlagen für die Turnhalle sowie die Nebenräume wurde von uns untersucht. Bei einer Reduzierung der Luftmengen (im Ist-Zustand 25 000 m<sup>3</sup>/h in der Halle und 11 500 m<sup>3</sup>/h für die Nebenräume sind durch eine Wärmerückgewinnung sowie einen frequenzgerichteten Umrichter erhebliche Wärme und Stromeinsparungen möglich. Die Gesamtkosten betragen rund 30 000 € netto für den kompletten Austausch der Lüftungsanlage für die Sporthalle sowie 20 000 € netto für die Nebenräume. Die zu befördernde Luftmenge in der Sporthalle lässt sich auf rund 10.000 m<sup>3</sup>/h reduzieren. Die Vollbetriebsstunden betragen dann noch rund 1000h/a.

Der spezifische Heizwärmebedarf sinkt von rund 158 kWh/m<sup>2</sup>\*a auf rund 132 kWh/m<sup>2</sup>\*a, wo durch bei Fernwärmekosten von rund 6 ct/kWh absolut gesehen rund 3200 € an (Heiz-) Energiekosten jährlich eingespart werden. Die jährlichen Stromkosten sinken bei einem spezifischen Strompreis von 15 ct/kWh um rund 3800 €, die eingesparte Strommenge beträgt rund 32.000 kWh/a

Eine Amortisation der Investition ist bei Variante 2 (Ertüchtigung der bestehenden Lüftungsanlage) nach 3 Jahren, bei Variante 3 (Komplett-Austausch der alten Lüftungsanlage und Einsatz von WRG und FU) nach 2,4 Jahren gegeben. .

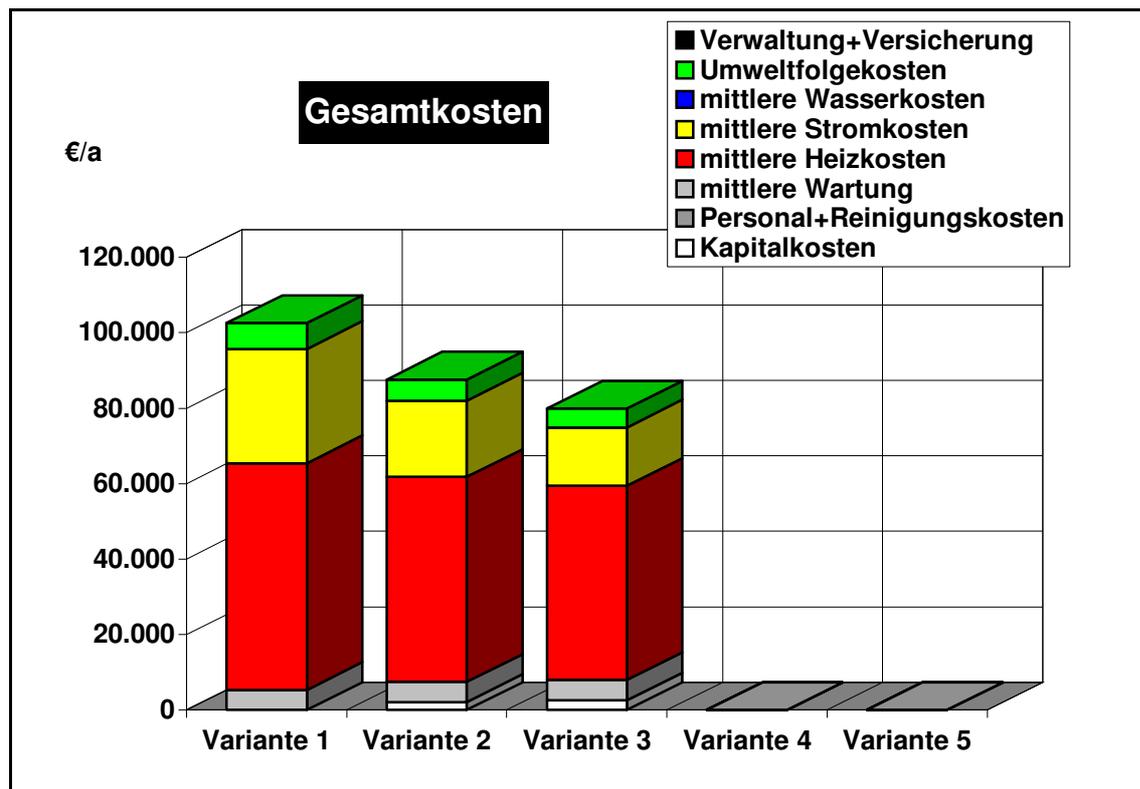
Die Daten sind in der folgenden Tabelle abgebildet.

**Tabelle 19 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle Lüftungsaustausch**

| <b>A. Allgemeine Daten</b>      |  |  |                      |                   |
|---------------------------------|--|--|----------------------|-------------------|
| A1                              | Liegenschaftsbezeichnung                     | <b>WMS Sporthalle</b>  |                      |                   |
| A3                              | Gebäudebezeichnung                           |  |                      |                   |
| A5                              | Straße                                       |  |                      |                   |
| A7                              | Betrachtungszeitraum                         | 40   | a                    |                   |
| A9                              | Kapitalzins*                                 | 3,1%   | A8 Währung           |                   |
| A11                             | Preissteigerung                              | 5%   | A10 Annuitätsfaktor  |                   |
|                                 |  |  | A12 Mittelwertfaktor |                   |
| <b>B. Varianten</b>             |  | <b>Bezeichnung</b>   |                      |                   |
| B0                              | <b>Variante 1</b>                            | <b>Ist-Zustand</b>   |                      |                   |
| B1                              | <b>Variante 2</b>                            | <b>Ist-Zustand + Lüftungsanlage ertüchtigen</b>              |                      |                   |
| B2                              | <b>Variante 3</b>                            | <b>Ist-Zustand + Lüftungsanlage optimieren + austauschen</b> |                      |                   |
| B3                              | <b>Variante 4</b>                            |  |                      |                   |
| B4                              | <b>Variante 5</b>                            |  |                      |                   |
| <b>C. Kenngrößen</b>            |  | <b>Variante 1</b>  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| C1                              | Bezugsfläche (NGF)                           | 2.300  | 2.300                | 2.300             |
| C2                              | Personenzahl                                 | 60   | 60                   | 60                |
| C3                              | spez. Heizwärmebedarf                        | 155  | 140                  | 132               |
| C4                              | Heizzahl Kessel+Verteilung                   | 96%  | 96%                  | 96%               |
| C5                              | spez. Strombezug                             | 27   | 17                   | 13                |
| C6                              | spez. CO2-Emissionen                         | 59   | 49                   | 44                |
| C7                              | spez. Trinkwasserbezug                       | 0,00   | 0,00                 | 0,00              |
| <b>D. Kapitalkosten</b>         |  | <b>Variante 1</b>  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| D1                              | Investitionskosten (DIN 276)                 | 0  | 47.600               | 58.310            |
| D2                              | Zuschüsse/Erlöse                             |  |                      |                   |
| D3                              | Eigenkapitaleinsatz                          | 0  | 47.600               | 58.310            |
| D4                              | <b>Kapitalkosten</b>                         | <b>0</b>   | <b>2.093</b>         | <b>2.564</b>      |
| D5                              | <b>spez. Kapitalkosten</b>                   | <b>0</b>   | <b>1</b>             | <b>1</b>          |
| <b>E. mittl. Betriebskosten</b> |  | <b>Variante 1</b>  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| E1                              | Personal+Reinigungskosten                    |  |                      |                   |
| E2                              | Wartung+Instandhaltung                       | 2.041  | 2.041                | 2.041             |
| E3                              | Heizkosten                                   | 22.984   | 20.792               | 19.697            |
| E4                              | Stromkosten                                  | 11.590   | 7.726                | 5.927             |
| E5                              | Wasserkosten                                 | 0  | 0                    | 0                 |
| E6                              | Verwaltung+Versicherung                      |  |                      |                   |
| E7                              | <b>heutige Betriebskosten</b>                | <b>36.616</b>  | <b>30.559</b>        | <b>27.665</b>     |
| E8                              | <b>mittl. Betriebskosten</b>                 | <b>95.722</b>  | <b>79.890</b>        | <b>72.324</b>     |
| E9                              | <b>spez. Betriebskosten</b>                  | <b>42</b>  | <b>35</b>            | <b>31</b>         |
| <b>F. Umweltfolgekosten</b>     |  | <b>Variante 1</b>  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| F1                              | CO2-Emissionen (50 €/to)                     | 6.825  | 5.619                | 5.051             |
| F2                              | Trinkwasser (1 €/m³)                         | 0  | 0                    | 0                 |
| F3                              | <b>Umweltfolgekosten</b>                     | <b>6.825</b>   | <b>5.619</b>         | <b>5.051</b>      |
| F4                              | <b>spez. Umweltfolgekost.</b>                | <b>3</b>   | <b>2</b>             | <b>2</b>          |
| <b>G. Gesamtkosten</b>          |  | <b>Variante 1</b>  | <b>Variante 2</b>    | <b>Variante 3</b> |
| G1                              | <b>Gesamtkosten</b>                          | <b>102.546</b>   | <b>87.601</b>        | <b>79.938</b>     |
| G2                              | <b>spez. Gesamtkosten</b>                    | <b>45</b>  | <b>38</b>            | <b>35</b>         |
| G2                              | <b>Amortisationszeit (Basis: Variante 1)</b> |  | <b>3,0</b>           | <b>2,4</b>        |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

**Diagramm 3 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle Lüftungsaustausch**



### 6.4.3 Lüftung FBS HG

Die Lüftungsanlage in dem HG der FBS ist nur manuell zweistufig schaltbar. Eine Reduzierung der Betriebszeiten der Abluftanlage durch eine Zeitsteuerung verringert den Verbrauch um rund 50%. Bei einer Reduzierung der Laufzeiten von rund 4000 h auf 2000 h lässt sich der Verbrauches von 2800 kWh/a auf 1400 kWh/a halbieren. Bei einer Investition von rund 1000 € würde sich die Laufzeitschaltung nach rund 5 Jahren (ROI) amortisieren.

### 6.5 Pumpen

Die Pumpen sind überwiegend überdimensioniert, allerdings nicht so deutlich wie in vergleichbaren Gebäuden. Ein Großteil der Pumpen könnte manuell zumindest in der Übergangszeit vom Hausverwalter eine Stufe heruntergestellt werden. Hierdurch können im HG WMS und HG FBS im Jahr ca. 400 € bzw. 4400 kWh/a an Strom eingespart werden. Alternativ können Frequenzgeregelter Pumpen eingebaut werden.

### 6.6 Beleuchtung

#### 6.6.1 Beleuchtung WMS Sporthalle

In den Umkleieräumen sowie den WC`s ist bedingt durch die unterschiedliche Bestückung eine Leuchtenleistung von 8 bis 25 W/m<sup>2</sup> installiert. Da die Duschen und Umkleieräume seltener genutzt werden als die Sporthalle und immer alle gemeinsam eingeschaltet werden müssen, ist ein bedarfsorientiertes Beleuchtungskonzept sinnvoll. Um die Beleuchtung nur

während der tatsächlichen Benutzung zu gebrauchen empfehlen wir den Einbau von Bewegungsmeldern (opto/akustisch). Dadurch lassen sich die Betriebszeiten auf weniger als 1000 Betriebsstunden vermindern. Ein Austausch der Leuchten erscheint hier auf den ersten Blick nicht sinnvoll, da die bestehenden Leuchten teilweise einflammig, eher knapp ausgelegt sind (teilweise nur 100 Lux) und durch die Raumgeometrie zum Ausleuchten aller Zonen mehrere kleinere Leuchten erforderlich wären. Allerdings wird im Zuge der Sanierung die Decke in den Nebenräumen geöffnet, so dass eine neue Deckenanordnung der Leuchten möglich ist. Dadurch erhöht sich die Wirtschaftlichkeit.

Bei den Bewegungsmeldern wird zusätzlich eine akustische Variante untersucht, da es sich teilweise um Nassräume (ggf. keine oder unzureichende Detektion beim Duschen mit Wassertemperaturen auf Körpertemperaturniveau) handelt, die zudem häufig von Behinderten genutzt werden.

In den Fluren werden die Leuchten per Hand eingeschaltet. Allerdings wird so kein Außenlichtanteil berücksichtigt. In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung ca. 12-15 W/m<sup>2</sup>. In den Fluren erscheint ein Leuchtentausch sinnvoll bzw. ist die Amortisationszeit für einen Leuchtentausch nach ersten Berechnungen unter 15 Jahren. Besonders bei den Flurräumen war es während der Begehungen sehr auffällig, dass die Leuchten während der Nutzungszeit der Sporthalle durchgehend in Betrieb waren, dass gilt auch für die an den Flur angrenzenden WC's sowie die WC's im ersten Stock.

Die Anzahl der Leuchten könnte nach einer ersten überschlägigen Berechnung von rund 113 Leuchten durch eine Sanierung auf ca. 60 Leuchten gesenkt werden.

Die mittlere spezifische Leistung sinkt von rund 15 W/m<sup>2</sup> auf rund 4 W/m<sup>2</sup> nach der Sanierung. Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten im Durchschnitt ausgegangen:

|  |       |
|--|-------|
| Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) | 140 € |
| Leuchten mit EVG und Tageslichtsperre (LS)       | 250 € |

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 900 /Jahr, verringern sich die Stromkosten von rund 1.940 €/a auf rund 560 €/a in Variante 1 und rund 310 €/a in Variante 2.

Variante 1 amortisiert sich nach rund 4 Jahren, Variante 2 nach rund 5 Jahren.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in der folgenden Tabelle dargelegt.

## Wirtschaftlichkeitsberechnung für Leuchtensanierung

Konzeption und Gestaltung:  
Hochbauamt der Stadt Frankfurt,  
Abteilung Energiemanagement

| <b>A. Allgemeine Daten</b>      |                              |                                 |                                    |        |                  |                    |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------|------------------|--------------------|
| A1                              | Liegenschaftsbezeichnung     | Wilhelm Merton Schule           |                                    | A2     | Unterab.         |                    |
| A3                              | Gebäudebereich               | Nebenträume und Flure Turnhalle |                                    | A4     | Str-Nr.          |                    |
| A5                              | Straße                       |                                 |                                    | A6     | Haus-Nr.         |                    |
| A7                              | Betrachtungszeitraum         | 15                              | a                                  |        |                  |                    |
| A8                              | Kapitalzins                  | 5,5%                            |                                    | A9     | Annuitätsfaktor  | 0,100              |
| A10                             | Preissteigerung Energie      | 5%                              |                                    | A11    | Mittelwertfaktor | 1,44               |
| <b>B. Varianten</b>             |                              |                                 |                                    |        |                  |                    |
|                                 |                              | Kürzel                          | Bezeichnung                        |        |                  |                    |
| B0                              | Variante 0                   | Bestand                         | Anbauleuchte KVG                   |        |                  |                    |
| B1                              | Variante 1                   | EVG                             | Pendel Spiegel-Rasterleuchten, EVG |        |                  |                    |
| B2                              | Variante 2                   | EVG+LS                          | Spiegel-Rasterleuchten EVG         |        |                  |                    |
| B3                              | Variante 3                   |                                 | plus Bewegungsmelder               |        |                  |                    |
| B4                              | Variante 4                   |                                 |                                    |        |                  |                    |
| <b>C. Kenngrößen</b>            |                              |                                 |                                    |        |                  |                    |
|                                 |                              | Bestand                         | EVG                                | EVG+LS | 0                |                    |
| C1                              | Beleuchtete Fläche           | 845                             | 845                                | 845    |                  | m <sup>2</sup>     |
| C2                              | Soll-Beleuchtungsstärke      | 100                             | 100                                | 100    |                  | lux                |
| C3                              | Ist-Beleuchtungsstärke       | 200                             | 200                                | 200    |                  | lux                |
| C4                              | Nutzungsdauer HT             | 900                             | 900                                | 500    |                  | h/a                |
| C5                              | Nutzungsdauer NT             | 0                               | 0                                  | 0      |                  | h/a                |
| C6                              | Anzahl der Leuchten          | 113                             | 60                                 | 60     |                  | Stück              |
| C7                              | Anschlußleistung Leuchte     | 111                             | 60                                 | 60     |                  | W/Leuchte          |
| C8                              | Leistung pro Fläche          | 15                              | 4                                  | 4      |                  | W/m <sup>2</sup>   |
| C9                              | Investition pro Leuchte      | 0                               | 170                                | 250    |                  | €/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                             | 16.000 |                  | h                  |
| C15                             | Kosten für Lampenwechsel     | 30                              | 20                                 | 20     |                  | €/Leuchte          |
| <b>D. Kapitalkosten</b>         |                              |                                 |                                    |        |                  |                    |
|                                 |                              | Bestand                         | EVG                                | EVG+LS | 0                |                    |
| D1                              | Investitionskosten           | 0                               | 10.200                             | 15.000 |                  | €                  |
| D2                              | Zuschüsse/Erlöse             |                                 |                                    |        |                  | €                  |
| D3                              | Eigenkapitaleinsatz          | 0                               | 10.200                             | 15.000 |                  | €                  |
| D4                              | Kapitalkosten                | 0                               | 1.016                              | 1.494  |                  | €/a                |
| D5                              | spez. Kapitalkosten          | 0                               | 1                                  | 2      |                  | €/m <sup>2</sup> a |
| <b>E. mittl. Betriebskosten</b> |                              |                                 |                                    |        |                  |                    |
|                                 |                              | Bestand                         | EVG                                | EVG+LS | 0                |                    |
| E1                              | Stromkosten HT               | 1.937                           | 558                                | 310    |                  | €/a                |
| E2                              | Stromkosten NT               | 0                               | 0                                  | 0      |                  | €/a                |
| E3                              | Stromkosten Leistung         | 0                               | 0                                  | 0      |                  | €/a                |
| E4                              | Wartung+Instandhaltung       | 407                             | 89                                 | 38     |                  | €/a                |
| E5                              | heutige Betriebskosten       | 2.344                           | 647                                | 348    |                  | €/a                |
| E6                              | mittl. Betriebskosten        | 3.373                           | 931                                | 500    |                  |                    |

|           |                                       |                |            |               |          |       |
|-----------|---------------------------------------|----------------|------------|---------------|----------|-------|
| E7        | spez. Betriebskosten                  | 3              | 1          | 0             |          | €/m²a |
| <b>F.</b> | <b>Umweltfolgekosten</b>              | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b> | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |       |
| F1        | CO2-Emissionen (100DM/to)             | 1.035          | 298        | 166           |          | €/a   |
| F2        | Umweltfolgekosten                     | 1.035          | 298        | 166           |          | €/a   |
| F3        | spez. Umweltfolgekost.                | 1              | 0          | 0             |          | €/m²a |
| <b>G.</b> | <b>Gesamtkosten</b>                   | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b> | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |       |
| G1        | Gesamtkosten                          | 3.379          | 1.961      | 2.008         |          | €/a   |
| G2        | spez. Gesamtkosten                    | 4              | 2          | 2             |          | €/m²a |
|           | Amortisationszeit (Basis: Variante 1) |                | 3,6        | 4,7           |          |       |

## 6.6.2 Beleuchtung HG FBS

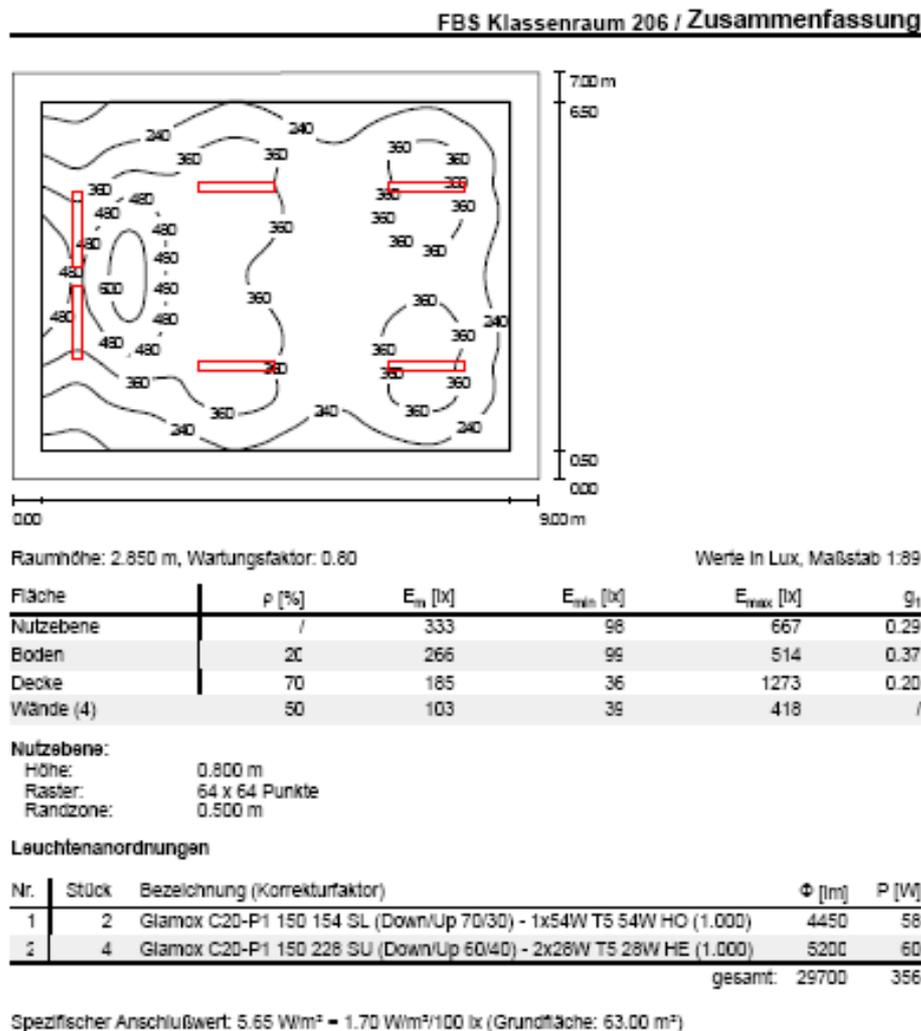
### 6.6.2.1 Klassenraum (206)

Bei einer Normbeleuchtungsstärke von 300 Lux würden in den Klassenzimmern bei den Altlampen eine Lampenzahl von 20 im Raum ausreichen. Installiert sind 24 Lampen, also mehr als erforderlich.

Die Berechnung wurde auch für eine 3-Bandenleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) durchgeführt. Die Auslegung auf 300 Lux benötigt nur 10 Lampen statt 24. Mit zweiflämmigen Leuchten a 2 x 28 W reduziert sich in der Berechnung mit Dialux die Lampenzahl weiter. Sinnvoll anzuordnen sind 2 Reihen je 2 Leuchten und je zwei Leuchten als Tafelbeleuchtung. Die Tafelbeleuchtung besteht aus 1 x 54 W Leuchten und die anderen aus 2 x 28 W Leuchten. Die Leuchten werden etwas abgependelt, um den Indirektanteil zu erreichen

Bei angenommenen Vollbetriebsstunden von 700 /Jahr, verringert sich der Energiebedarf von 1.005 kWh (20 Lampen Bestand) auf 210 Wh bei 300 Lux, also weniger als ein Viertel. Die installierte Leistung sinkt von 1.437 W auf 300 W. Die berechneten Daten sowie ein Beispiel der Lichtverteilung für einen Klassenraum finden sich im folgenden Abschnitt.

Bild 12 Lichtverteilung FBS Klassenraum



Grundsätzlich gelten die vorgenannten Aussagen auf fast alle Schulräume im Hauptgebäude der FBS aber auch auf die Büros, da das Gebäude fast durchgehend über den gleichen Ausstattungsstandard und das gleiche Lampenrastermaß und Anordnung verfügt. Nur wenige Räume wurden in den letzten Jahren auf einflammige Leuchten umgerüstet.

Daher wurde im Bereich Energieeinsparpotential und Maßnahmen die energetische Sanierung hochgerechnet auf 300 Lux für alle Räume. Damit werden dann auch die Grenzwerte nach LEE erreicht, d.h. statt rund  $13,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  werden nur noch rund  $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  verbraucht.

Um die Vorgaben des HBA mit 300 Lux einzuhalten wird als Interimslösung empfohlen alle Leuchten insbesondere in den Klassenräumen mit Einsatz eines Luxmeters konsequent auszuschalten. Damit nähert sich dann auch die durchschnittlich installierte Leistung von  $20 \text{ W/m}^2$  dem Richtwert nach LEE 2000 von  $7,5 \text{ W/m}^2$ .

Die Beleuchtungssanierung wurde exemplarisch für die Klassenräume im Hauptgebäude (HG). Als Sanierungsvarianten wurden Leuchten mit elektronischem Vorschaltgerät untersucht (EVG). Die EVG zeichnen sich dadurch aus, dass der Leuchtmittelverbrauch

niedriger liegt und der Gesamtverbrauch inklusive des EVG geringer ist. Durch das elektronische Vorschaltgerät nimmt als Nebeneffekt die Lampenlebensdauer zu.

Als zusätzliche Variante wurde die Tageslichtabschaltung in Kombination außenlichtabhängiger Beleuchtungssteuerung gerechnet. Diese Variante zeichnet sich dadurch aus, dass benutzerunabhängig Licht nur dann eingeschaltet werden kann, wenn der Außenlichtanteil nicht mehr ausreicht, um die Beleuchtungsstärke von 300 Lux zu erreichen. Diese Variante spart besonders viel Strom und ist im FBS HG durch den hohen Fensteranteil prinzipiell sinnvoll. Allerdings sind die Investitionskosten höher und der bauliche Eingriff aufwendiger.

Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten ausgegangen:

|  |       |
|--|-------|
| Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) | 200 € |
| Leuchten mit EVG und Tageslichtsperre (LS)       | 350 € |

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in der folgenden Tabelle dargelegt.

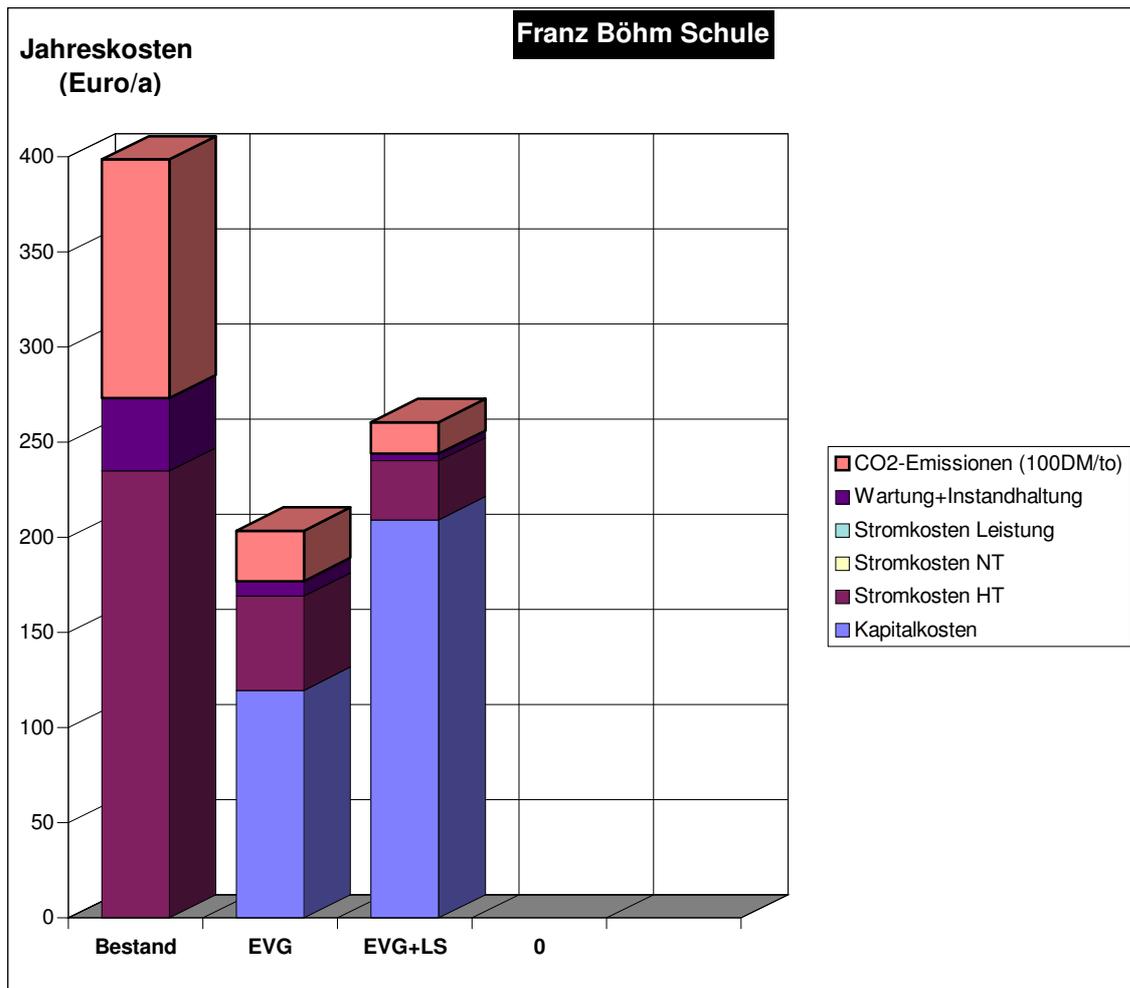
**Tabelle 20 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung Klassenraum FBS**

| <b>Wirtschaftlichkeitsberechnung für Leuchtensanierung</b> |                          |                                  |   |               |                  | Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt<br>der Stadt Frankfurt, Abteilung<br>Energiemanagement |  |
|--|--------------------------|----------------------------------|---|---------------|------------------|--|--|
| <b>A. Allgemeine Daten</b>                                 |                          |                                  |   |               |                  |  |  |
| A1   | Liegenschaftsbezeichnung | <b>Franz Böhm Schule</b>         |   | A2            | Unterab.         |  |  |
| A3   | Gebäudebereich           | <b>Klassenraum FBS (Nr. 206)</b> |   | A4            | Str-Nr.          |  |  |
| A5   | Straße                   |                                  |   | A6            | Haus-Nr.         |  |  |
| A7   | Betrachtungszeitraum     | <b>15</b>                        | a   |               |                  |  |  |
| A8   | Kapitalzins              | 5,5%                             |   | A9            | Annuitätsfaktor  | 0,100  |  |
| A10  | Preissteigerung Energie  | 5%                               |   | A11           | Mittelwertfaktor | 1,44   |  |
| <b>B. Varianten</b>  |                          |                                  |   |               |                  |  |  |
|  |                          | <b>Kürzel</b>                    | <b>Bezeichnung</b>                          |               |                  |  |  |
| B0   | Variante 0               | <b>Bestand</b>                   | Anbauleuchte 2 x 58 W, KVG                  |               |                  |  |  |
| B1   | Variante 1               | <b>EVG</b>                       | Pendel Spiegel-Rasterleuchten 2 x 28 W, EVG |               |                  |  |  |
| B2   | Variante 2               | <b>EVG+LS</b>                    | Pendel Spiegel-Rasterleuchten 2 x 28 W, EVG |               |                  |  |  |
| B3   | Variante 3               |                                  | plus Tageslichtsteuerung                    |               |                  |  |  |
| B4   | Variante 4               |                                  |   |               |                  |  |  |
| <b>C. Kenngrößen</b>                                       |                          |                                  |   |               |                  |  |  |
|  |                          | <b>Bestand</b>                   | <b>EVG</b>                                  | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b>         |  |  |
| C1   | Beleuchtete Fläche       | 68                               | 68  | 68            |                  | m <sup>2</sup>   |  |
| C2   | Soll-Beleuchtungsstärke  | 300                              | 300   | 300           |                  | lux  |  |
| C3   | Ist-Beleuchtungsstärke   | 400                              | 400   | 400           |                  | lux  |  |
| C4   | Nutzungsdauer HT         | 800                              | 800   | 500           |                  | h/a  |  |
| C5   | Nutzungsdauer NT         | 0                                | 0   | 0             |                  | h/a  |  |
| C6   | Anzahl der Leuchten      | 12                               | 6   | 6             |                  | Stück  |  |
| C7   | Anschlußleistung Leuchte | 142                              | 60  | 60            |                  | W/Leuchte  |  |
| C8   | Leistung pro Fläche      | 25                               | 5   | 5             |                  | W/m <sup>2</sup>   |  |
| C9   | Investition pro Leuchte  | 0                                | 200   | 350           |                  | €/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       | 16.000        |          | h         |
| C15                             | Kosten für Lampenwechsel                     | 30             | 20           | 20            |          | €/Leuchte |
| <b>D. Kapitalkosten</b>         |  | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>   | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |           |
| D1                              | <b>Investitionskosten</b>                    | <b>0</b>       | <b>1.200</b> | <b>2.100</b>  |          | €         |
| D2                              | Zuschüsse/Erlöse                             |                |              |               |          | €         |
| D3                              | Eigenkapitaleinsatz                          | 0              | 1.200        | 2.100         |          | €         |
| D4                              | <b>Kapitalkosten</b>                         | <b>0</b>       | <b>120</b>   | <b>209</b>    |          | €/a       |
| D5                              | <b>spez. Kapitalkosten</b>                   | <b>0</b>       | <b>2</b>     | <b>3</b>      |          | €/m²a     |
| <b>E. mittl. Betriebskosten</b> |  | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>   | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |           |
| E1                              | Stromkosten HT                               | 235            | 50           | 31            |          | €/a       |
| E2                              | Stromkosten NT                               | 0              | 0            | 0             |          | €/a       |
| E3                              | Stromkosten Leistung                         | 0              | 0            | 0             |          | €/a       |
| E4                              | Wartung+Instandhaltung                       | 38             | 8            | 4             |          | €/a       |
| E5                              | <b>heutige Betriebskosten</b>                | <b>273</b>     | <b>57</b>    | <b>35</b>     |          | €/a       |
| E6                              | <b>mittl. Betriebskosten</b>                 | <b>393</b>     | <b>83</b>    | <b>50</b>     |          |           |
| E7                              | <b>spez. Betriebskosten</b>                  | <b>4</b>       | <b>1</b>     | <b>1</b>      |          | €/m²a     |
| <b>F. Umweltfolgekosten</b>     |  | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>   | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |           |
| F1                              | CO2-Emissionen (100DM/to)                    | 125            | 26           | 17            |          | €/a       |
| F2                              | <b>Umweltfolgekosten</b>                     | <b>125</b>     | <b>26</b>    | <b>17</b>     |          | €/a       |
| F3                              | <b>spez. Umweltfolgekost.</b>                | <b>2</b>       | <b>0</b>     | <b>0</b>      |          | €/m²a     |
| <b>G. Gesamtkosten</b>          |  | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>   | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |           |
| G1                              | <b>Gesamtkosten</b>                          | <b>399</b>     | <b>204</b>   | <b>261</b>    |          | €/a       |
| G2                              | <b>spez. Gesamtkosten</b>                    | <b>6</b>       | <b>3</b>     | <b>4</b>      |          | €/m²a     |
|                                 | <b>Amortisationszeit (Basis: Variante 1)</b> |                | <b>3,3</b>   | <b>5,5</b>    |          |           |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

**Diagramm 4 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung Klassenraum FBS**



### 6.6.2.2 Beleuchtung FBS HG Gesamt

Im Hauptgebäude der FBS sind insgesamt ca. 716 Leuchten installiert. Die durchschnittliche spezifische Leistung beträgt  $19,4 \text{ W/m}^2$ . Bei einem Austausch aller überdimensionierten Leuchten verringert sich nach einer ersten überschlägigen Berechnung die Anzahl der Leuchten auf ca. 435, die durchschnittliche spezifische Leistung sinkt auf  $5,4 \text{ W/m}^2$

Die Berechnung wurde auch für eine 3-Bandenleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) durchgeführt. Die Auslegung wurde auf auf 300 Lux in den Klassenräumen und 100 Lux in den Fluren und Nebenräumen durchgeführt.

Als Sanierungsvarianten wurden Leuchten mit elektronischem Vorschaltgerät untersucht (EVG). Die EVG zeichnen sich dadurch aus, dass der Lampenverbrauch niedriger liegt und der Gesamtverbrauch inklusive des EVG niedriger ist. Durch das elektronische Vorschaltgerät nimmt als Nebeneffekt die Lampenlebensdauer zu.

Als zusätzliche Variante wurde die Tageslichtabschaltung in Kombination außenlichtabhängiger Beleuchtungssteuerung gerechnet. Diese Variante zeichnet sich dadurch aus, dass benutzerunabhängig Licht nur dann eingeschaltet werden kann, wenn der Außenlichtanteil nicht mehr ausreicht, um die Beleuchtungsstärke von 300 Lux zu erreichen.

Diese Variante spart besonders viel Strom und ist im FBS HG durch den hohen Fensteranteil prinzipiell sinnvoll. Allerdings sind die Investitionskosten höher und der bauliche Eingriff aufwendiger.

Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten im Durchschnitt ausgegangen:

|  |       |
|--|-------|
| Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) | 140 € |
| Leuchten mit EVG und Tageslichtsperre (LS)       | 250 € |

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 900 h/a, verringern sich die Stromkosten von rund 9.100 €/a auf rund 3.300 €/a in Variante 1 und rund 2.400 €/a in Variante 2.

Variante 1 amortisiert sich nach rund 7 Jahren, Variante 2 nach rund 10 Jahren.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in der folgenden Tabelle dargelegt.

**Tabelle 21 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung FBS Gesamt**

### Wirtschaftlichkeitsberechnung für Leuchtensanierung

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| A. Allgemeine Daten |                          |                               |                                   |                  |          |                |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|----------|----------------|
| A1                  | Liegenschaftsbezeichnung | <b>Franz Böhm Schule</b>      |                                   | A2               | Unterab. |                |
| A3                  | Gebäudebereich           | <b>Gesamt Leuchtaustausch</b> |                                   | A4               | Str-Nr.  |                |
| A5                  | Straße                   |                               |                                   | A6               | Haus-Nr. |                |
| A7                  | Betrachtungszeitraum     | <b>15</b>                     | a                                 |                  |          |                |
| A8                  | Kapitalzins              | 5,5%                          | A9                                | Annuitätsfaktor  | 0,100    |                |
| A10                 | Preissteigerung Energie  | 5%                            | A11                               | Mittelwertfaktor | 1,44     |                |
| B. Varianten        |                          |                               |                                   |                  |          |                |
|                     |                          | Kürzel                        | Bezeichnung                       |                  |          |                |
| B0                  | Variante 0               | <b>Bestand</b>                | Anbauleuchten KVG                 |                  |          |                |
| B1                  | Variante 1               | <b>EVG</b>                    | Spiegel-Rasterleuchten EVG        |                  |          |                |
| B2                  | Variante 2               | <b>EVG+LS</b>                 | Pendel Spiegel-Rasterleuchten EVG |                  |          |                |
| B3                  | Variante 3               |                               | plus Tageslichtsteuerung          |                  |          |                |
| B4                  | Variante 4               |                               |                                   |                  |          |                |
| C. Kenngrößen       |                          |                               |                                   |                  |          |                |
|                     |                          | Bestand                       | EVG                               | EVG+LS           | 0        |                |
| C1                  | Beleuchtete Fläche       | 3.929                         | 3.929                             | 3.929            |          | m <sup>2</sup> |
| C2                  | Soll-Beleuchtungsstärke  | 200                           | 200                               | 200              |          | lux            |
| C3                  | Ist-Beleuchtungsstärke   | 400                           | 400                               | 400              |          | lux            |
| C4                  | Nutzungsdauer HT         | 700                           | 700                               | 500              |          | h/a            |

|     |                              |       |        |        |  |  |                  |
|-----|------------------------------|-------|--------|--------|--|--|------------------|
| C5  | Nutzungsdauer NT             | 0     | 0      | 0      |  |  | h/a              |
| C6  | Anzahl der Leuchten          | 716   | 500    | 500    |  |  | Stück            |
| C7  | Anschlußleistung Leuchte     | 106   | 55     | 55     |  |  | W/Leuchte        |
| C8  | Leistung pro Fläche          | 19    | 7      | 7      |  |  | W/m <sup>2</sup> |
| C9  | Investition pro Leuchte      | 0     | 140    | 250    |  |  | €/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 | 16.000 |  |  | h                |
| C15 | Kosten für Lampenwechsel     | 30    | 20     | 20     |  |  | €/Leuchte        |

|                         |                            |                |               |                |          |  |                    |
|-------------------------|----------------------------|----------------|---------------|----------------|----------|--|--------------------|
| <b>D. Kapitalkosten</b> |                            | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>    | <b>EVG+LS</b>  | <b>0</b> |  |                    |
| D1                      | <b>Investitionskosten</b>  | <b>0</b>       | <b>70.000</b> | <b>125.000</b> |          |  | €                  |
| D2                      | Zuschüsse/Erlöse           |                |               |                |          |  | €                  |
| D3                      | Eigenkapitaleinsatz        | 0              | 70.000        | 125.000        |          |  | €                  |
| D4                      | <b>Kapitalkosten</b>       | <b>0</b>       | <b>6.974</b>  | <b>12.453</b>  |          |  | €/a                |
| D5                      | <b>spez. Kapitalkosten</b> | <b>0</b>       | <b>2</b>      | <b>3</b>       |          |  | €/m <sup>2</sup> a |

|                                 |                               |                |              |               |          |  |                    |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|---------------|----------|--|--------------------|
| <b>E. mittl. Betriebskosten</b> |                               | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>   | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |  |                    |
| E1                              | Stromkosten HT                | 9.152          | 3.316        | 2.369         |          |  | €/a                |
| E2                              | Stromkosten NT                | 0              | 0            | 0             |          |  | €/a                |
| E3                              | Stromkosten Leistung          | 0              | 0            | 0             |          |  | €/a                |
| E4                              | Wartung+Instandhaltung        | 2.005          | 575          | 313           |          |  | €/a                |
| E5                              | <b>heutige Betriebskosten</b> | <b>11.156</b>  | <b>3.891</b> | <b>2.681</b>  |          |  | €/a                |
| E6                              | <b>mittl. Betriebskosten</b>  | <b>16.054</b>  | <b>5.599</b> | <b>3.858</b>  |          |  |                    |
| E7                              | <b>spez. Betriebskosten</b>   | <b>3</b>       | <b>1</b>     | <b>1</b>      |          |  | €/m <sup>2</sup> a |

|                             |  |                |              |               |          |  |                    |
|-----------------------------|--|----------------|--------------|---------------|----------|--|--------------------|
| <b>F. Umweltfolgekosten</b> |  | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>   | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |  |                    |
| F1                          | CO <sub>2</sub> -Emissionen (100DM/to) | 4.888          | 1.771        | 1.265         |          |  | €/a                |
| F2                          | <b>Umweltfolgekosten</b>               | <b>4.888</b>   | <b>1.771</b> | <b>1.265</b>  |          |  | €/a                |
| F3                          | <b>spez. Umweltfolgekost.</b>          | <b>1</b>       | <b>0</b>     | <b>0</b>      |          |  | €/m <sup>2</sup> a |

|  |                           |                |               |               |          |  |                    |
|--|---------------------------|----------------|---------------|---------------|----------|--|--------------------|
| <b>G. Gesamtkosten</b>                       |                           | <b>Bestand</b> | <b>EVG</b>    | <b>EVG+LS</b> | <b>0</b> |  |                    |
| G1   | <b>Gesamtkosten</b>       | <b>16.044</b>  | <b>12.636</b> | <b>16.399</b> |          |  | €/a                |
| G2   | <b>spez. Gesamtkosten</b> | <b>4</b>       | <b>3</b>      | <b>4</b>      |          |  | €/m <sup>2</sup> a |
| <b>Amortisationszeit (Basis: Variante 1)</b> |                           |                | <b>6,2</b>    | <b>10,7</b>   |          |  |                    |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

## 7 Gesamtkostenbetrachtung WMS Turnhalle für Bauphysik und Anlagentechnik

Die folgende Betrachtung zeigt die Gesamtwirtschaftlichkeit, wenn bei der WMS Turnhalle bauphysikalische Maßnahmen sowie anlagentechnischen Maßnahmen in einer Sanierung, wie in den Besprechungsunden im Hochbauamt vorgesehen, zusammengefasst werden.

Die Gesamtsanierung besteht aus folgenden Maßnahmen:

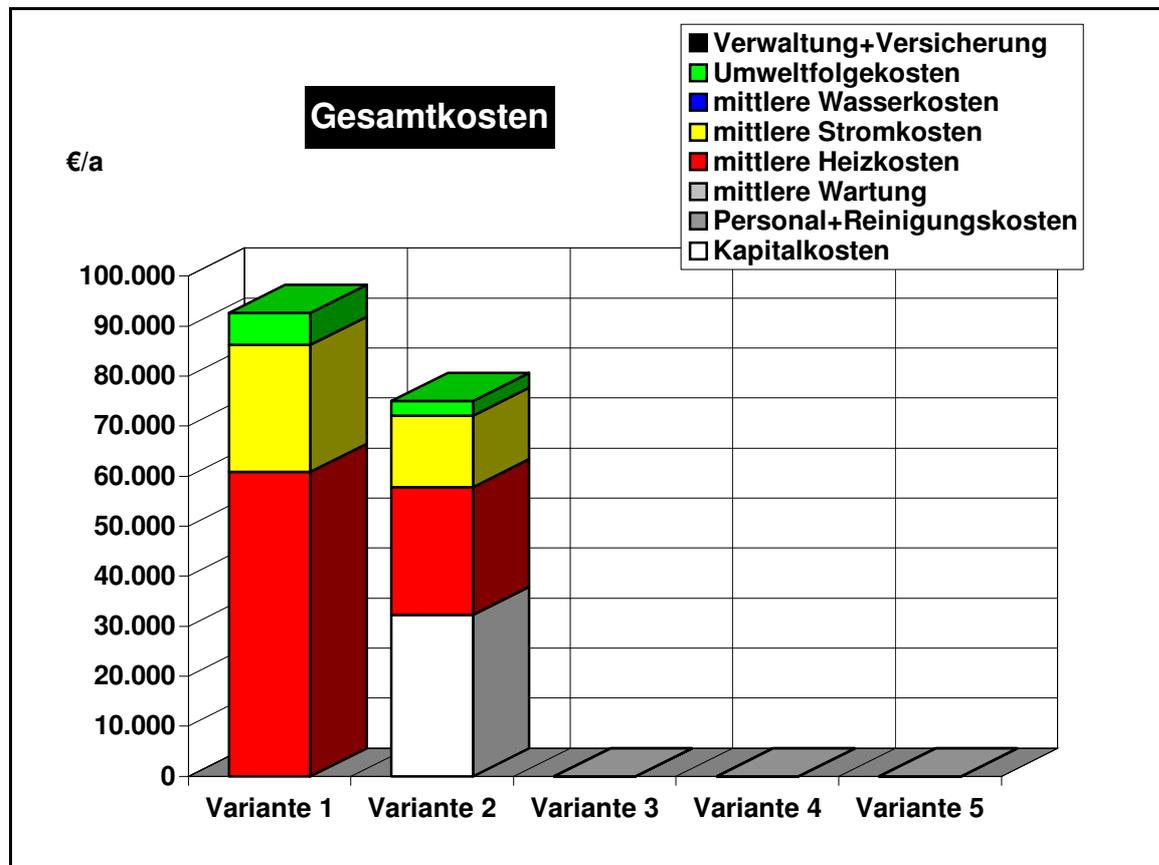
- Verbesserung der Anlagentechnik Lüftung
- Wärmeschutz für das Gebäude
- Beleuchtungssanierung für die Nebenräume

**Tabelle 22 Gesamtkosten WMS Sporthalle**

| 1. Gesamtkosten  |                                   |   |               |            |                  |                      |  |
|--|-----------------------------------|---|---------------|------------|------------------|----------------------|--|
| Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement |                                   |   |               |            |                  |                      |  |
| <b>A. Allgemeine Daten</b>   |                                   |   |               |            |                  |                      |  |
| A1   | Liegenschaftsbezeichnung          | WMS Sporthalle  |               |            | A2               | KStB.                |  |
| A3   | Gebäudebezeichnung                |   |               |            | A4               | Str.-Nr.             |  |
| A5   | Straße                            |   |               |            | A6               | Haus-Nr.             |  |
| A7   | Betrachtungszeitraum              | 40  | a             | A8         | Währung          | €                    |  |
| A9   | Kapitalzins*                      | 3,1%  |               | A10        | Annuitätsfaktor  | 0,044                |  |
| A11  | Preissteigerung                   | 5%  |               | A12        | Mittelwertfaktor | 2,61                 |  |
| <b>B. Varianten</b>  |                                   |   |               |            |                  |                      |  |
|  |                                   | Bezeichnung   |               |            |                  |                      |  |
| B0   | Variante 1                        | Ist-Zustand   |               |            |                  |                      |  |
| B1   | Variante 2                        | Dämmung Passivhaus, Lüftungs- und Beleuchtungssanierung |               |            |                  |                      |  |
| B2   | Variante 3                        |   |               |            |                  |                      |  |
| B3   | Variante 4                        |   |               |            |                  |                      |  |
| B4   | Variante 5                        |   |               |            |                  |                      |  |
| <b>C. Kenngrößen</b>   |                                   |   |               |            |                  |                      |  |
|  |                                   | Variante 1  | Variante 2    | Variante 3 | Variante 4       | Variante 5           |  |
| C1   | Bezugsfläche (NGF)                | 2.300   | 2.300         |            |                  | m <sup>2</sup>       |  |
| C2   | Personenzahl                      | 60  | 60            |            |                  | P                    |  |
| C3   | spez. Heizwärmebedarf             | 158   | 60            |            |                  | kWh/m <sup>2</sup> a |  |
| C4   | Heizzahl Kessel+Verteilung        | 96%   | 95%           |            |                  | %                    |  |
| C5   | spez. Strombezug                  | 20  | 11            |            |                  | kWh/m <sup>2</sup> a |  |
| C6   | spez. CO <sub>2</sub> -Emissionen | 56  | 25            |            |                  | kg/m <sup>2</sup> a  |  |
| C7   | spez. Trinkwasserbezug            | 0,00  | 0,00          |            |                  | m <sup>3</sup> /P a  |  |
| <b>D. Kapitalkosten</b>  |                                   |   |               |            |                  |                      |  |
|  |                                   | Variante 1  | Variante 2    | Variante 3 | Variante 4       | Variante 5           |  |
| D1   | Investitionskosten (DIN 276)      | 0   | 733.405       |            |                  |                      |  |
| D2   | Zuschüsse/Erlöse                  |   |               |            |                  |                      |  |
| D3   | Eigenkapitaleinsatz               | 0   | 733.405       |            |                  |                      |  |
| D4   | <b>Kapitalkosten</b>              | <b>0</b>  | <b>32.244</b> |            |                  |                      |  |
| D5   | <b>spez. Kapitalkosten</b>        | <b>0</b>  | <b>14</b>     |            |                  | €/m <sup>2</sup> a   |  |
| <b>E. mittl. Betriebskosten</b>  |                                   |   |               |            |                  |                      |  |
|  |                                   | Variante 1  | Variante 2    | Variante 3 | Variante 4       | Variante 5           |  |
| E1   | Personal+Reinigungskosten         |   |               |            |                  | €/a                  |  |
| E2   | Wartung+Instandhaltung            | 0   | 0             |            |                  | €/a                  |  |
| E3   | Heizkosten                        | 23.267  | 9.774         |            |                  | €/a                  |  |
| E4   | Stromkosten                       | 9.734   | 5.490         |            |                  | €/a                  |  |
| E5   | Wasserkosten                      | 0   | 0             |            |                  | €/a                  |  |
| E6   | Verwaltung+Versicherung           |   |               |            |                  | €/a                  |  |
| E7   | <b>heutige Betriebskosten</b>     | <b>33.000</b>   | <b>15.264</b> |            |                  |                      |  |
| E8   | <b>mittl. Betriebskosten</b>      | <b>86.271</b>   | <b>39.903</b> |            |                  |                      |  |

|                             |                                       |               |               |            |            |            |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------|---------------|------------|------------|------------|
| E9                          | spez. Betriebskosten                  | 38            | 17            |            |            |            |
| <b>F. Umweltfolgekosten</b> |                                       | Variante 1    | Variante 2    | Variante 3 | Variante 4 | Variante 5 |
| F1                          | CO2-Emissionen (50 €/to)              | 6.412         | 2.874         |            |            | €/a        |
| F2                          | Trinkwasser (1 €/m³)                  | 0             | 0             |            |            | €/a        |
| F3                          | <b>Umweltfolgekosten</b>              | <b>6.412</b>  | <b>2.874</b>  |            |            | €/a        |
| F4                          | spez. Umweltfolgekost.                | 3             | 1             |            |            | €/m²a      |
| <b>G. Gesamtkosten</b>      |                                       | Variante 1    | Variante 2    | Variante 3 | Variante 4 | Variante 5 |
| G1                          | <b>Gesamtkosten</b>                   | <b>92.683</b> | <b>75.020</b> |            |            | €/a        |
| G2                          | spez. Gesamtkosten                    | 40            | 33            |            |            | €/m²a      |
| G2                          | Amortisationszeit (Basis: Variante 1) |               | 19,9          |            |            | a          |

Diagramm 5 Gesamtkosten WMS Sporthalle



Durch diese Maßnahme sinkt der spezifische Stromverbrauch von 20 auf 11 kWh/m²a. der Heizwärmebedarf sinkt von 158 auf 60 kWh/m²a.

Die Maßnahmen amortisieren sich zusammengefasst nach rund 20 Jahren.

Weitere Einsparpotentiale ergeben sich durch die Beleuchtungssanierung des Hauptgebäudes der FBS und der Verbesserung des Wärmeschutzes des Hauptgebäudes WMS.

## **8 Organisatorisches/Sonstiges**

### **8.1 Nachrüsten Dämmschalen FBS, WMS und WMS Turn**

Die Nachrüstung der Heizungsrohre auf der Sekundärseite der Heizzentrale für die FBS und WMS spart etwa 225 kWh/a bzw. 20 €/a ein, die Investition beträgt rund 200 €. Die gleiche Maßnahme in der Sporthalle spart rund 150 kWh bzw. 9 € jährlich ein, die Investition beträgt rund 100 €.

Die Ergänzung der fehlenden Dämmung der WW-Bereitungsrohre in der WMS Turnhalle spart rund 75 kWh bzw. 5 € jährlich ein, die Investition beträgt rund 50 €, der ROI liegt zusammengenommen bei rund 10-11 Jahren.

### **8.2 Verringerung Stand-By Verluste WMS HG und FBS HG**

Durch die hohe Anzahl an Verbrauchern, insbesondere zahlreiche Computer und Monitore, ist das Einsparpotential dementsprechend hoch. Insgesamt könnten in allen Gebäuden zusammen rund 850 €/a bzw. 3500 kWh/a eingespart werden, hierbei besonders durch die Reduzierung der Anzahl der Kühlschränke durch Trennen vom Netz.

### **8.3 Zeitschaltuhren für dezentrale WW-Bereitung**

In den beiden Hauptgebäuden gibt es mehrere dezentrale Untertischspeicher, die von Hand vom Netz getrennt werden müssen. Hier bieten sich Zeitschaltuhren an, die an die Putzzeiten angepasst werden. Bei einer Investition von rund 100 € können rund 600 €/a bzw. 4.000 kWh/a eingespart werden.

### **8.4 Abschalten der Pflanzenstrahler WMS HG**

Im HG der WMS befinden sich im EG der WMS mehrere Pflanzenstrahler mit jeweils 100 W. Durch Umstellen der Pflanzen in eine lichtreichere Zone könnten die Pflanzenstrahler entfernt werden. Dadurch können rund 33 € bzw. 200 kWh jährlich eingespart werden.

### **8.5 Reduzierung der Leuchten FBS EB**

Im Flurbereich vor den Klassenzimmern der FBS EB können von den 4 Strahlern zwei Strahler demontiert und die andern zwei Strahler versetzt werden. Bei einer Investition von rund 100 € können rund 30 € bzw. 200 kWh eingespart werden.

### **8.6 Abklemmen Notstromaggregat WMS Turn**

Das Abklemmen des Notstromaggregates spart mindestens 39 € bzw. 263 kWh Strom für das Vorwärmen jährlich ein, dazu kommt noch die Einsparung der Ölmenge für Wechsel und Verluste und die Wartungskosten.

## 9 Zusammenfassung

Die Liegenschaften der Wilhelm-Merton-Schule (WMS) und der Franz-Böhm-Schule (FBS), jetzt Böhm-Merton-Schule (BMS), haben eine Energiebezugsfläche von rund 11.000 m<sup>2</sup>.

Die Gebäude bestehen aus der Sporthalle WMS, dem Hauptgebäude der WMS, dem Hauptgebäude der FBS und dem Erweiterungsbau der FBS.

Das beheizte Volumen beträgt rund 32.000 m<sup>3</sup>.

Für den Bezug von Heizenergie (Fernwärme) müssen insgesamt rund 78.000 €/a aufgewendet werden, für den Strombezug rund 37.000 €/a.

Der Stromverbrauch beträgt für alle Gebäude **250.000 kWh/a**. Der Heizenergieverbrauch beträgt **1.262 MWh/a**.

Die energetischen Untersuchungen ergeben bauphysikalische Einsparpotentiale bei dem Hauptgebäude der WMS und der Sporthalle WMS.

Das Hauptgebäude der FBS wurde vor etwa 10 Jahren wärmeschutztechnisch etwas verbessert, der Erweiterungsbau der FBS ist jünger (Baujahr 2000).

Während der Erstellung des Berichtes wurde vom Magistrat der Stadt Frankfurt beschlossen, dass alle Gebäude der Stadt Frankfurt im Passivhausstandard auszurüsten bzw. zu sanieren sind. Dies wurde im Maßnahmenkatalog noch kurzfristig berücksichtigt.

Bis auf die Bodensanierung amortisiert sich die wärmeschutztechnische Verbesserung aller Gebäudeteile (Dach, Fenster, Aussenwand) der beiden untersuchten Gebäude.

Bei dem Hauptgebäude der WMS beträgt die Amortisation rund 23 Jahre, bei der Sporthalle WMS rund 30 Jahre unter Vollkostenberechnung nach den Vorgaben der Stadt Frankfurt.

Durch die Verbesserung der Bauphysik (mit Passivhauskomponenten) lassen sich rund 26.500 €/a an Energiekosten sparen. Die Investitionen betragen ca. 1.4 Mio € für WMS Hauptgebäude und Turnhalle.

Auf anlagentechnischer Seite ergeben sich die größten Einsparpotentiale durch die Lüftungserneuerung der Sporthalle WMS. Im Zuge der Lüftungssanierung der Sporthalle WMS ist auch die Erneuerung der veralteten Heizungsregelung sinnvoll. Diese Maßnahmen erfordern Investitionen in Höhe von rund 80.000.- € und amortisieren sich nach rund 3 Jahren. (Zusammen mit den bauphysikalischen Maßnahmen ist eine Investitionssumme von 750.000.- € erforderlich)

Wirtschaftlich sinnvoll ist auch die Beleuchtungssanierung des Hauptgebäudes der FBS. Durch diese Maßnahmen lassen sich rund 13.500 €/a einsparen. Die Investitionskosten betragen ca. 140.000 €.

Durch organisatorische Maßnahmen lassen sich zusätzlich rund 1.800 €/a einsparen. Die Investitionen hierfür betragen rund 250 €/a.

Die Energiekosten reduzieren sich bei einer Gesamtinvestition von rund 1.5 Million € um rund 42.000 €/a, der Energieverbrauch sinkt um rund 580 MWh/a auf unter 1.000 MWh.

## Verzeichnis der Abbildungen

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1 Lageplan WMS und FBS .....                 | 6  |
| Abbildung 2 Thermographie Ostfassade .....             | 9  |
| Abbildung 3 Thermographie Dachanschluss Turnhalle..... | 9  |
| Abbildung 4 Westfassade HG FBS.....                    | 10 |
| Abbildung 5 Südfassade HG FBS.....                     | 11 |
| Abbildung 6 Installierte Leistung nach Bereichen ..... | 31 |
| Abbildung 7 Stromverbrauch nach Bereichen.....         | 32 |
| Abbildung 8 Wärmebilanz WMS HG.....                    | 34 |
| Abbildung 9 Wärmebilanz WMS Sporthalle .....           | 34 |
| Abbildung 10 Wärmebilanz FBS HG.....                   | 35 |
| Abbildung 11 Wärmebilanz FBS.....                      | 36 |
| Abbildung 12 Heizwärmebedarfskennzahlen.....           | 36 |
| Abbildung 13 Heizwärme und Endenergie.....             | 37 |

## Verzeichnis der Tabellen

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1 Technische Daten Lüftung HG WMS .....  | 15 |
| Tabelle 2 Technische Daten Lüftung WMS Sporthalle.....                                   | 16 |
| Tabelle 3 Übersicht Leuchten FBS und WMS.....  | 20 |
| Tabelle 4 Verbraucher und installierte Leistung in der Küche bzw. Küchenutensilien ..... | 21 |
| Tabelle 5 Verbraucher und installierte Leistung in der Küche bzw. Küchenutensilien ..... | 22 |
| Tabelle 6 Endenergieverbräuche Fernwärme (abgeschätzt).....                              | 23 |
| Tabelle 7 Leistungen und Verbräuche Strom.....   | 30 |
| Tabelle 8 Pumpenübersicht WMS HG .....   | 38 |
| Tabelle 9 Pumpenübersicht Sporthalle WMS .....   | 39 |
| Tabelle 10 Pumpenübersicht FBS HG.....   | 40 |
| Tabelle 11 Pumpenübersicht FBS EB .....  | 40 |
| Tabelle 12 Maßnahmen Übersicht.....  | 41 |
| Tabelle 13 Investitionskosten Wärmeschutz WMS HG (Frankfurter Standard) .....            | 47 |
| Tabelle 14 Investitionskosten Wärmeschutz WMS HG (Passivhausstandard).....               | 49 |
| Tabelle 15 Gesamtkostenberechnung WMS HG .....   | 51 |
| Tabelle 16 Investitionskosten Wärmeschutz WMS Sporthalle (Frankfurter Standard) .....    | 53 |
| Tabelle 17 Investitionskosten Wärmeschutz WMS HG (Passivhausstandard).....               | 55 |
| Tabelle 18 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle.....                                    | 57 |
| Tabelle 19 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle Lüftungsaustausch .....                 | 60 |
| Tabelle 20 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung Klassenraum FBS.....                | 66 |
| Tabelle 21 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung FBS Gesamt.....                     | 69 |
| Tabelle 22 Gesamtkosten WMS Sporthalle .....   | 71 |

## Verzeichnis der Diagramme

|  |    |
|--|----|
| Diagramm 1 Gesamtkostenberechnung WMS HG .....                             | 52 |
| Diagramm 2 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle .....                     | 58 |
| Diagramm 3 Gesamtkostenberechnung WMS Sporthalle Lüftungsaustausch .....   | 61 |
| Diagramm 4 Wirtschaftlichkeitsberechnung Beleuchtung Klassenraum FBS ..... | 68 |
| Diagramm 5 Gesamtkosten WMS Sporthalle .....                               | 72 |

## Verzeichnis der Bilder

|  |    |
|--|----|
| Bild 1 Außenfassade WMS Hauptgebäude.....          | 8  |
| Bild 2 Sporthalle WMS Draufsicht.....              | 8  |
| Bild 3 Ansicht FBS HG .....                        | 10 |
| Bild 4 FBS EB .....                                | 11 |
| Bild 5 Heizzentrale Hof .....                      | 12 |
| Bild 6 Heizzentrale WMS Sporthalle .....           | 13 |
| Bild 7 WMS Hauptgebäude Klassenraum-Leuchten ..... | 17 |
| Bild 8 WMS Sporthalle-Leuchten .....               | 18 |
| Bild 9 FBS HG Klassenraum-Leuchten.....            | 19 |
| Bild 10 FBS EB Klassenraum-Leuchten .....          | 20 |
| Bild 11 Messwandlerzähler Turnhalle .....          | 28 |
| Bild 12 Lichtverteilung FBS Klassenraum.....       | 65 |