# Energiekonzept
# Endbericht
# für

# die Fabrik-Sporthalle

**Wächtersbacherstr. 80**
**Frankfurt a.M.**

**Im Auftrag des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt**
**Abteilung Energiemanagement**

**Bearbeiter:**

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

**Mittelstr.10**
**65550 Limburg-Linter**
**06431- 477337**

**2009**

1 Einleitung ....4
2 Datenerfassung und Grundlagenermittlung ....4
2.1 Allgemeine Gebäudedaten und Geschichte ....4
2.2 Energiebezugsfläche ....5
2.3 Bauphysik ....6
2.4 Anlagentechnik/Haustechnik (HT) ....7
2.5 Warmwasserbereitung ....8
2.6 Lüftungsanlagen (L) ....8
2.7 Beleuchtung (B) ....10
2.8 Sonstige elektrische Verbraucher ....12
2.8.1 Heiztechnik und Warmwasserpumpen (HT,HH) ....12
2.8.2 Zentrale Dienste (ZD) ....12
2.8.3 Küche/Kantine – Weiße Ware ....13
2.9 Sanitär/Wasser (S) ....13
3 Energiedaten ....14
3.1 Verbräuche ....14
3.2 Verträge ....15
3.3 Lastgänge ....15
3.4 Kosten ....15
4 Bedarfsberechnungen ....17
4.1 Leitfadenberechnung (LEH) Wärme ....17
4.1.1 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie Sporthalle ....18
4.2 Leistungen und Verbräuche Strom ....19
4.3 Leitfaden LEE ....21
4.3.1 Beleuchtung ....21
4.3.2 Lüftung ....21
4.3.3 Pumpen Sporthalle ....21
5 Maßnahmen ....22
5.1 Optimierung der Energielieferverträge und Organisation ....23
5.1.1 Hausverwalterverträge ....23
5.2 Verbesserung der Wärmedämmung ....23
5.2.1 Austausch der Fenster ....23
5.2.2 Wärmedämmverbundsystem ....23
5.2.3 Dachdämmung ....24
5.2.4 Boden gegen Erdreich/Keller ....24
5.2.5 Wärmebrücke Bodenplatte Boden gegen außen ....24
5.2.6 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik ....24
5.3 Regelungstechnik / Anlagentechnik Heizung ....26
5.3.1 Allgemein ....26
5.3.2 WW - Bereitung ....26
5.3.3 BHKW ....26
5.3.4 Heizungsregelung ....27
5.3.5 Hydraulische Abstimmung der Heizkreise ....27
5.3.6 Kesseltausch ....27
5.3.7 Gesamtkostenrechnung Heizung ....27
5.4 Pumpen ....28
5.4.1 Pumpen Heizraum ....28
5.4.2 Pumpen Lüftung ....28
5.5 Lüftung ....29
5.5.1 Anlage 1 Halle ....29
5.5.2 Lüftungsanlagen 2 – 6 ....29
5.5.3 Gesamtkosten Lüftungsanlagen ....30
5.6 Beleuchtung ....31
5.6.1 Beleuchtung Halle ....31
5.6.2 Beleuchtung Nebenräume ....31

5.6.3 Gesamtkosten Leuchtentausch ....32
5.7 Gesamtkosten ....33
6 Organisatorisches/Sonstiges ....34
6.1 Photovoltaik Anlage ....34
6.2 Notbeleuchtung ....34
7 Zusammenfassung ....35

Anlagen:

Anlage 1 Daten auf einen Blick ....39
Anlage 2 Verbräuche und Kosten ....40
Anlage 3 Berechnung LEH Bauteile ....41
Anlage 4 Installierte Beleuchtung ....43
Anlage 5 Vollkosten Wärmeschutz (Passivhausstandard) ....45
Anlage 6 Simulation Thermische Solaranlage WW ....46
Anlage 7 Sanitärobjekte ....47
Anlage 8 ZD Küchengeräte ....48
Anlage 9 Gesamtkosten Heizung ....49
Anlage 10 Gesamtkosten Lüftung ....50
Anlage 11 Gesamtkosten Beleuchtung ....51
Anlage 12 Kosten Gesamtkonzept ....52

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Lageplan FSH ....4
Abbildung 2 Luftbild FSH ....5
Abbildung 3 Energiekosten und Verteilung 2002-2006 ....15
Abbildung 4 Wärmebilanz ....17
Abbildung 5 Heizwärme und Endenergie ....18

Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 1 Kostenaufteilung Energieträger ....16
Diagramm 2 Installierte Leistung nach Bereichen ....20
Diagramm 3 Stromverbrauch nach Bereichen ....20
Diagramm 4 Gesamtkostenbetrachtung der Wärmedämmung nach Passivhausstandard ....25
Diagramm 5 Gesamtkosten Heizung ....28
Diagramm 6 Gesamtkosten Lüftungssanierung ....30
Diagramm 7 Gesamtkosten Leuchtentausch ....32
Diagramm 8 Gesamtkosten ....33
Diagramm 9 Gesamtkosten der Vollsanierung ....38

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Technische Daten Lüftung Zuluft ....9
Tabelle 2 Technische Daten Lüftung Abluft ....9
Tabelle 3 Technische Daten Heizungspumpen ....12
Tabelle 4 Leistungen und Verbräuche Strom ....19
Tabelle 5 Maßnahmen ....22
Tabelle 6 Übersicht heutige Gesamtkosten ....34
Tabelle 7 Einzelmaßnahmen nach Priorität ....35

# 1 Einleitung

Wir erhielten vom Magistrat der Stadt Frankfurt Hochbauamt Energiemanagement (Amt 65) den Auftrag, ein Energiekonzept für die Fabrik Sporthalle zu erstellen. Der Endbericht dient zur Gesprächsvorbereitung für das endgültige Konzept.

Die Fabriksporthalle liegt im Osten der Stadt Frankfurt im Stadtteil Fechenheim inmitten eines Gewerbegebiets. Die Halle entstand 1986 durch Umbau eines Fabrikgebäudes.
Die Sporthalle wird von benachbarten Schulen sowie durch verschiedene Vereine genutzt. Für die bauliche Unterhaltung des Gebäudes ist das Hochbauamt der Stadt Frankfurt zuständig. Die Stadt Frankfurt dokumentiert seit 1995 die Verbräuche der öffentlichen Liegenschaften. Für die Sporthalle liegen die Daten teilweise vor.

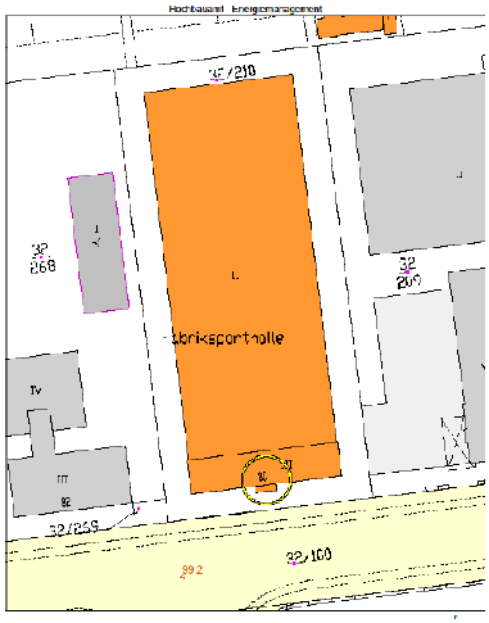
# 2 Datenerfassung und Grundlagenermittlung

## 2.1 Allgemeine Gebäudedaten und Geschichte

Die Sporthalle stammt in ihrer jetzigen Nutzung aus den 80er Jahren.
Im Jahr 1988 wurden die damaligen Ölkessel gegen zwei neue Gaskessel ausgetauscht. Ebenso wurden 6 neue Lüftungsanlagen zur Heizung und Lüftung eingebaut. Das Gebäude wird mit Erdgas aus dem Mainova-Netz versorgt.

Das Gebäude ist mit seiner Hauptachse senkrecht zur Wächtersbacher Straße in Nord –Süd Richtung orientiert. Das Gebäude ist ein rechteckiger Flachdachbau mit einem Anbau, in dem sich der Eingangsbereich, Büros und Umkleide- und Technikräume und eine Wohnung befinden. Die Sporthalle ist eine Mehrzwecksporthalle mit großer Tribüne, welche ca. 700 Besuchern Platz bietet.

**Abbildung 1 Lageplan FSH**




Der Wärmebedarf wurde gemäß dem Hessischen Leitfaden für Energiebewusste Gebäudeplanung im Hochbau (LEH) untersucht.

Der Lageplan in Abbildung 1 und das Luftbild in Abbildung 2 geben einen ersten Überblick.

Die Sporthalle ist mittels Trennvorhängen in mehrere Trainingshallen unterteilbar. An der Westseite liegt die Tribüne.

**Abbildung 2 Luftbild FSH**

Im Vorbau an der Straße führt eine Treppe in den Keller und die Geschosse mit Kantine, kleiner Küche, Büro und Sanitärräumen. Im Keller befinden sich die zentrale Gasheizung und die zentrale Verteilung. Im OG die 6 Lüftungsanlagen sowie die Steuerungs- und Regelungstechnik.

Alle Räume werden durch statische Heizkörper beheizt. Die Sporthalle verfügt neben der Lüftungsheizung noch über Deckenstrahlplatten.

## 2.2 Energiebezugsfläche

Die Energiebezugsfläche (EBF) wurde aus Netto(Innen)maßen aus den Plänen ermittelt. Diese ist deutlich geringer als in der Datenerfassung EM.

| | |
|---|---|
| Die Energiebezugsfläche beträgt: | 3.850 $m^2$ |
| Die eigentliche Sporthalle inklusive Tribüne hat eine (EBF) von rund: | 2.300 $m^2$ |

Das beheizte Gebäudevolumen beträgt: 26.400 $m^3$

Die erste Ortsbegehung fand im Zusammenhang mit dem Start up -Termin des Energiegutachtens am 17.11.08 statt. Im Rahmen des Start up -Termins wurden einige Mängel des Gebäudes seitens des Hausverwalter zur Kenntnis gegeben.
Insgesamt fanden bis zum Endbericht am 10.2.09 noch 3 weitere Ortstermine statt, um möglichst viele Daten des Gebäudes zu erfassen und Betriebszustände bei unterschiedlichen Temperaturen aufzunehmen.

## 2.3 Bauphysik

Das Gebäude zeigt wie die meisten Gebäude aus den 80-er Jahren fast die gesamte Palette möglicher energetischer Baumängel. (vgl. auchThermographieaufnahmen Hochbauamt)

- Wärmebrücken im Bereich der Betondecken und Stützen.
- Veraltete Isolierverglasung und Glasbausteine
- Zentimeterbreite Spalte an Außentüren und Fenstern, insbesondere an den unteren Abschlüssen.

### Bild 1 und Bild 2 Fenster der Umkleideräume und Küche

Daran gemessen ist die Qualität der Außenwand mit berechneten 0,55 W/m2,K erstaunlich gut.

### Bild 3 und Bild 4 Aussenfassade Süd und Ost

Die Oberflächen sowohl der Außen und der Innenwände sind recht diffusionsdicht ausgeführt und verfügen über einen ausreichenden Wärmeschutz. Die Aussenwände bestehen aus Sandwichelementen in unterschiedlichen Stärken mit Dämmung.
Vgl. auch Thermographie und Oberfächentemperaturmessungen.

Die Fassade zeigen die Bilder 3-7.

**Bild 5 und Bild 6 Aussenfassade Nord und West**

## 2.4 Anlagentechnik/Haustechnik (HT)

Die Sporthalle wird über zwei Heizkessel beheizt. Diese werden mit Erdgas aus dem Mainova-Netz versorgt. Beide Kessel sind parallel auf eine hydraulische Weiche geschaltet Die gesamte Leistung beträgt 740 kW.
**Das bedeutet eine installierte Leistung von fast 200 W/m² und ist deutlich zu hoch.**

Die Warmwasserbereitung wird über einen indirekt beheizten liegenden 1500 Liter-Speicher sichergestellt.

Die Kesseldaten:

**Kessel 1 und Kessel 2:**

| | |
|---|---|
| Hersteller: | Buderus |
| Baujahr: | 1987 |
| Leistung: | 2 x 370 kW |

**Bild 7 und 8 Kessel und Unterverteilung Heizraum**

Die Sporthalle wird über die Lüftungsanlage und Deckenstrahlplatten beheizt. Alle Nebenräume und Nutzflächen werden durch Heizkörper beheizt. Ausnahmen hiervon sind lediglich der Keller, welcher unbeheizt ist sowie die Technikräume.

Die Regelung erfolgt durch eine Kieback und Peter DDC 3000 für Heizung und Lüftung.

Die statischen Heizkreise versorgen alle Nebenräume über eine Außentemperatur geführte Vorlauftemperaturregelung. Die Heizkörper haben überwiegend alte Thermostatventile. Da die meisten Ventile nicht entsprechend fein eingedrosselt sind und nicht hydraulisch genau berechnet und abgestimmt wurden, werden meist keine gleichmäßigen Raumtemperaturen erreicht. In einigen Umkleideräumen war es mit über 25 °C deutlich zu warm.

### 2.5 Warmwasserbereitung

Die Sporthalle verfügt über einen 1.500 Liter Boiler, der Sollwert beträgt rund 60 °C. Bei der Begehung betrug die Speichertemperatur 58 °C bzw. 59 °C. Die Boiler werden über die Heizkessel mit einer Ladepumpe (NT-Pumpe: UPE 32-80 mit einer Leistung von 40-250 W) geladen. Die Ladepumpe läuft von 6 Uhr bis 23.50 Uhr.

**Bild 9 Legionellenschaltung und Zirkulation WW-Bereiter**

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

**Eingebaut ist eine Grundfoß UP 25-45 N 150 mit einer Leistung von 150 W, die nicht für Trinkwassergebrauch vorgesehen ist.**

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

### 2.6 Lüftungsanlagen (L)

Die Lüftungsanlagen der Sporthalle, bestehen aus 6 Geräten, Baujahr 1988. Die technischen Daten sind in Tabelle 1 und 2 zusammengefaßt.

Die Lüftungsanlage 1 ist ohne Wärmerückgewinnung und wird im Umluftbetrieb mit Außenluftanteil gefahren, Die Anlagen 2 –6 dienen zur Versorgung der Nebenräume und sind mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet.

**Alle Wärmerückgewinnungskreisläufe waren fast drucklos und kalt !**
**Es kann daher davon ausgegangen werden, dass keine Wärmerückgewinnung stattfindet.**

**Bild 10 Lüftungsanlage 1 Sporthalle und Unterverteilung Lüftungsanlagen**

**Tabelle 1 Technische Daten Lüftung Zuluft**

| Anlage Nr. | Anlagendaten | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luft menge | Druck verlust | inst. Leistung Stufe 1 | Stufe2/Volllast | Betriebsstunden Stufe 1 | Stufe2/Volllast | |
| Nr. Anlage | $m^3/h$ | Pa | kW | kW | h | h | kWh/a |
| **Summe** | **49.270** | | **16,2** | **6,4** | | | **43180,0** |
| **davon:** | | | | | | | |
| 1 Sporthalle Anlage 1 | 35.400 | 500 | 15,00 | | 2500 | | 37500 |
| 2 Kraftraum Anlage 2 | 3.100 | 500 | 0,15 | 0,5 | 2000 | 500 | 550 |
| 3 Wasch-und Umkleideräume KG 3 | 2.900 | 500 | 0,37 | 1,8 | 2000 | 500 | 1640 |
| 4 WC- und Nebenräume EG 4 | 1.900 | 450 | 0,20 | 0,8 | 2000 | 500 | 800 |
| 5 Wasch-und Umkleideräume Anlage 5 | 3.770 | 400 | 0,37 | 1,8 | 2000 | 500 | 1640 |
| 6 Schulungsräume Anlage 6 | 2.200 | 350 | *0,15* | *1,5* | 2000 | 500 | 1050 |

**Tabelle 2 Technische Daten Lüftung Abluft**

| Anlage Nr. | Anlagendaten | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luft menge | Druck verlust | inst. Leistung Stufe 1 | Stufe2/Volllast | Betriebsstunden Stufe 1 | Stufe2/Volllast | |
| Nr. Anlage | $m^3/h$ | Pa | kW | kW | h | h | kWh/a |
| **Summe** | **48.030** | | **14,2** | **6,4** | | | **38080,0** |
| **davon:** | | | | | | | |
| 1 Sporthalle Anlage 1 | 33.400 | 350 | 13,0 | | 2500 | | 32500 |
| 2 Kraftraum Anlage 2 | 3.100 | | 0,2 | 0,5 | 2000 | 500 | 550 |
| 3 Wasch-und Umkleideräume KG 3 | 3.100 | | 0,4 | 1,8 | 2000 | 500 | 1640 |
| 4 WC- und Nebenräume EG 4 | 2.200 | | 0,2 | 0,8 | 2000 | 500 | 700 |
| 5 Wasch-und Umkleideräume Anlage 5 | 4.030 | | 0,4 | 1,8 | 2000 | 500 | 1640 |
| 6 Schulungsräume Anlage 6 | 2.200 | | *0,2* | *1,5* | 2000 | 500 | 1050 |

## 2.7 Beleuchtung (B)

Insgesamt sind  416 Leuchten mit 800 Leuchtmitteln und einer Gesamtleistung von 55 kW installiert. Die durchschnittliche spezifische Leistung ist mit rund 14,3 W/m$^2$ hoch. Heraus sticht die Sporthalle mit einer spezifischen Leistung von 15,9 W/m$^2$ im Hallen- und im Tribünenbereich. Diese lassen sich allerdings in drei Stufen schalten.

Alle Leuchten sind in der Anlage 3 tabellarisch dargestellt.

Die weiteren spezifischen Leistungen bewegen sich in den Nebenräumen und Fluren zwischen 8 - 25 W/m$^2$. Die Betriebsstunden betragen im Durchschnitt aller Räume etwa 800 h, bedingt durch den hohen Tageslichteinfall und die Vereinsnutzung in den Abendstunden sind die Betriebsstunden in der Sporthalle mit rund 1000 h durchschnittlich.
Daraus ergibt sich ein Verbrauch von 45.000 kWh/a.

Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 400 lx als Richtwert rund 10 W/m$^2$ und als Zielwert rund 8 W/m$^2$ angestrebt.

**Bild 11 Sporthalle-Leuchten und Tribüne-Leuchten**

In den Duschen und Umkleideräumen der Sporthalle sind Leuchten mit 1 x 58 W und 2 x 58 W und KVG bestückt. In den Räumen ist bedingt durch die unterschiedliche Bestückung eine Leuchtenleistung von 5 bis 25 W/m$^2$ installiert.

In den Sanitärbereichen sind überwiegend Opalleuchten mit 1 x 58 oder 1 x18 W KVG installiert. Die installierte Leistung liegt hier bei rund 3-15 W/m$^2$.

In den Fluren werden die Leuchten per Hand eingeschaltet. Der Außenlichtanteil ist sehr gering. In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung ca. 5-15 W/m$^2$.
Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m$^2$ und als Zielwert 2 W/m$^2$ angestrebt.

## Bild 12 und Bild 13 Leuchte Umkleideraum und Leuchte Treppenhausflur

## 2.8 Sonstige elektrische Verbraucher

### 2.8.1 Heiztechnik und Warmwasserpumpen (HT,HH)

Insgesamt sind 17 Pumpen installiert. Es sind 7 Heizkreispumpen, 2 WW-Pumpen (Lade und Zirkulation), 2 Kesselpumpen sowie 6 Lüftungsanlagenpumpen vorhanden. Insgesamt sind rund 5,4 KW installiert. Im Mittel liegt die Leistung bei 4,7 kW, weil fast alle Pumpen auf max. stehen. Die Einzelheiten zeigt Tabelle 2.
Die Wirkleistung liegt damit bei über 1 W/m$^2$ und damit um den Faktor 5 –10 fach höher als tatsächlich benötigt.

**Tabelle 3 Technische Daten Heizungspumpen**

## Diverse Technik (DT) Haustechnik (HT) Heizung(HH)

| Art | Ziel | T °C | Pumpe Typ | Her. | Leistung in Watt Min | Mittel | Max | St | Verbräuche Stand | h | kWh/a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Summe | | | | 3095 | 4088,5 | 5465 | | 4721 | | 11891 |
| VL | Kesselpumpe 1 | | Riovar 62-32D | KSB | 390 | 490 | 600 | 16 | 490 | *3000* | 1470 |
| VL | Kesselpumpe 2 | | TOP S 65/7 | | 360 | 445 | 550 | 16 | 445 | *3000* | 1335 |
| Heizraum | | | | | | | | | | | |
| VL | WW-bereitung | | UPS 40-120F | | 290 | 330 | 460 | 12 | 460 | 2400 | 1104 |
| VL | Heizung Cafeteria | | Riovar 24-8D | KSB | 80 | 110 | 150 | 12 | 150 | 2400 | 360 |
| VL | Heizung Hausmeisterwohnung | | UPS 25-60 | | 45 | 65 | 95 | 12 | 95 | 2400 | 228 |
| VL | Heizung Duschräume | | Riovar 22-7D | KSB | 105 | 160 | 230 | 12 | 230 | 2400 | 552 |
| VL | Büro | | Riovar 24-8D | KSB | 75 | 102,5 | 140 | 12 | 140 | 2400 | 336 |
| VL | Zubringer Lüftung | | Rio 65-7 | | 256 | 328 | 488 | 12 | 488 | 2400 | 1171 |
| VL | Sporthalle | | Riovar 52-32D | KSB | 390 | 520 | 645 | 12 | 645 | 2400 | 1548 |
| VL | Verwaltung | | UPS 120F | | 320 | 340 | 380 | 12 | 380 | 2400 | 912 |
| Warmwasser Boiler | | | | | | | | | | | |
| VL | WW Zirk | | UPC-40-60 | | 95 | 180 | 290 | 12 | 180 | 2400 | 432 |
| | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 |
| Lüftung | | | | | | | | | | | |
| VL | Lüftung Kraftraum | | TOP-RS 25/7 | | 90 | 135 | 180 | 12 | 135 | 2400 | 324 |
| VL | Lüftung Nebenräume | | TOP-S 25/7 | | 90 | 135 | 180 | 12 | 135 | 2400 | 324 |
| VL | Lüftung Schulräume | | TOP-S 25/7 | | 90 | 135 | 180 | 12 | 135 | 2400 | 324 |
| VL | Lüftung Wasch-und Umkleideräume | | TOP-RS 25/80r | | 107 | 161,5 | 251 | 12 | 161,5 | 2400 | 388 |
| VL | Lüftung Umkleideräume KG-EG | | TOP-RS 25/80r | | 107 | 161,5 | 251 | 12 | 161,5 | 2400 | 388 |
| VL | Lüftung Sporthalle | | Riovar 52-17D | | 205 | 290 | 395 | 12 | 290 | 2400 | 696 |
| Gas | Brenner | | | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| HA | Regelung | | | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |

### 2.8.2 Zentrale Dienste (ZD)

Die Sporthalle hat insgesamt eine geringe Anzahl an sonstigen elektrischen Verbrauchern. Bei den zentralen Diensten ist nur die Aussenbeleuchtung zu erwähnen. Insgesamt sind 12 Aussenstrahler vorhanden, die über eine Leistung von jeweils 200 W (Schätzwert) verfügen. Die durchschnittliche Betriebszeit ist im Mittel 8 Stunden/Tag.

### 2.8.3 Küche/Kantine – Weiße Ware

Die Küche verfügt über eine durchschnittliche Ausstattung.
Die installierten Geräte sind in der Anlage 8 zusammengestellt.

Im Heizraum gibt es eine Waschmaschine ca. 10 Jahre alt.

## 2.9 Sanitär/Wasser (S)

Im Verwaltungstrakt sind insgesamt 2 größere Toilettenanlagen vorhanden, die Duschen befinden sich im tiefer gelegenen Erdgeschoss und im Obergeschoß. Insgesamt gibt es 23 Toiletten, die überwiegend als bodenstehende Tiefspüler ausgeführt sind, vorhanden. Bei den Tiefspülern sind die meisten (Stichprobe) auf 8-9 l Wassermenge (Standard Spülkästen für 9 l) eingestellt. Zusätzlich sind 5 Urinale vorhanden.

Es gibt kein getrenntes Trinkwasser-Brauchwassernetz.

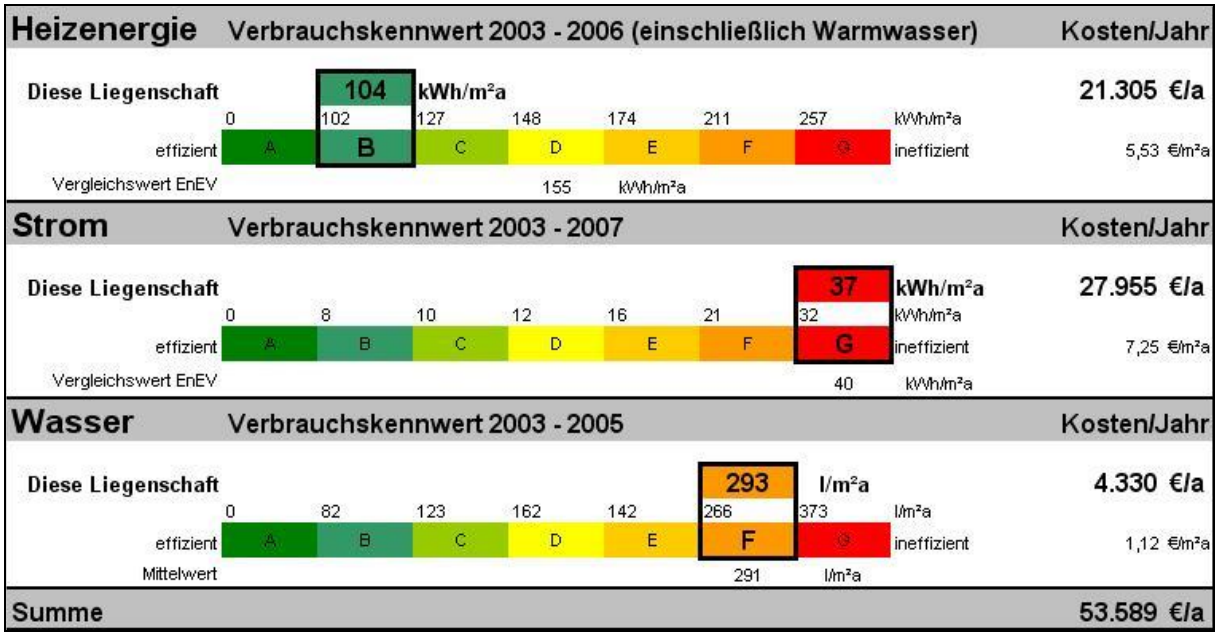
Die insgesamt 25 Waschbecken verfügen nicht über einstellbare Druckspüler mit mechanischer Zeitabschaltung.

Die Duschen sind mit neuen Armaturen nach DVGW modernisiert.

## 3 Energiedaten

Es wurde der Verbrauchspaß nach dem Frankfurter Modell für die Vergleichsgruppe Sporthallen erstelllt. Das Ergebnis zeigt Bild 17.

**Bild 14 Auszug Energiepass FSH**




### 3.1 Verbräuche

Für die letzten vier (Strom) bzw. fünf (Gas, Wasser) Abrechnungsperioden liegen die Verbrauchswerte bzw. Abrechnungen vor. Die Daten sind in der Anlage 1 und 2 zusammengefasst.

Der Wärmeverbrauch lag im Durchschnitt bei 430.000 kWh im Jahr.
Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für

Wärme 104 kWh/m$^2$*a

Dieser Wert ist erstaunlich gut und darauf zurückzuführen, dass Außenwand und Dach schon gedämmt sind.

Die installierte Leistung
von 740 kW führt zu **584** Benutzungsstunden

Dieser Wert ist deutlich zu niedrig. (Der Richtwert beträgt 1500- 2000h).

Der Stromverbrauch liegt bei rund 140.000 kWh im Jahr
Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für

Strom **37** kWh/m$^2$*a

Die installierte Leistung
von 133 kW führt zu **1072** Benutzungsstunden
(Der Richtwert beträgt 2000h)

Die Energiedaten Strom zeigen Handlungs-/Sanierungsbedarf!

Der Wasserverbrauch liegt bei rund 20 l/Pers,d. Auf die Fläche bezogen beträgt der Kennwert rund 293 Liter/$m^2$*a. Damit liegt dieser Wert höher als bei vergleichbaren Gebäuden.

### 3.2 Verträge

Es gelten die Rahmenverträge der Stadt Frankfurt.

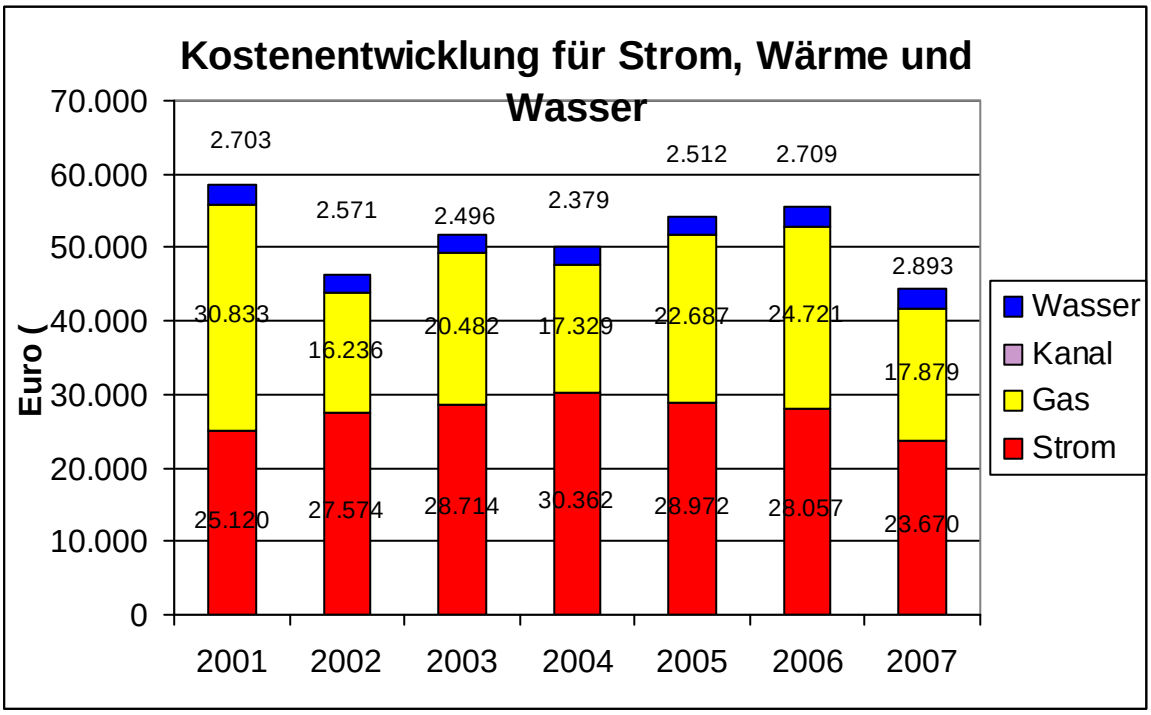
### 3.3 Lastgänge

Liegen nicht vor.

### 3.4 Kosten

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigen die Kosten für die v.g. Verbräuche Strom, Gas und Wasser der Jahre 2001-2007. Im Schnitt sind 50.000.- € pro Jahr anzunehmen.

**Abbildung 3 Energiekosten und Verteilung 2002-2006**

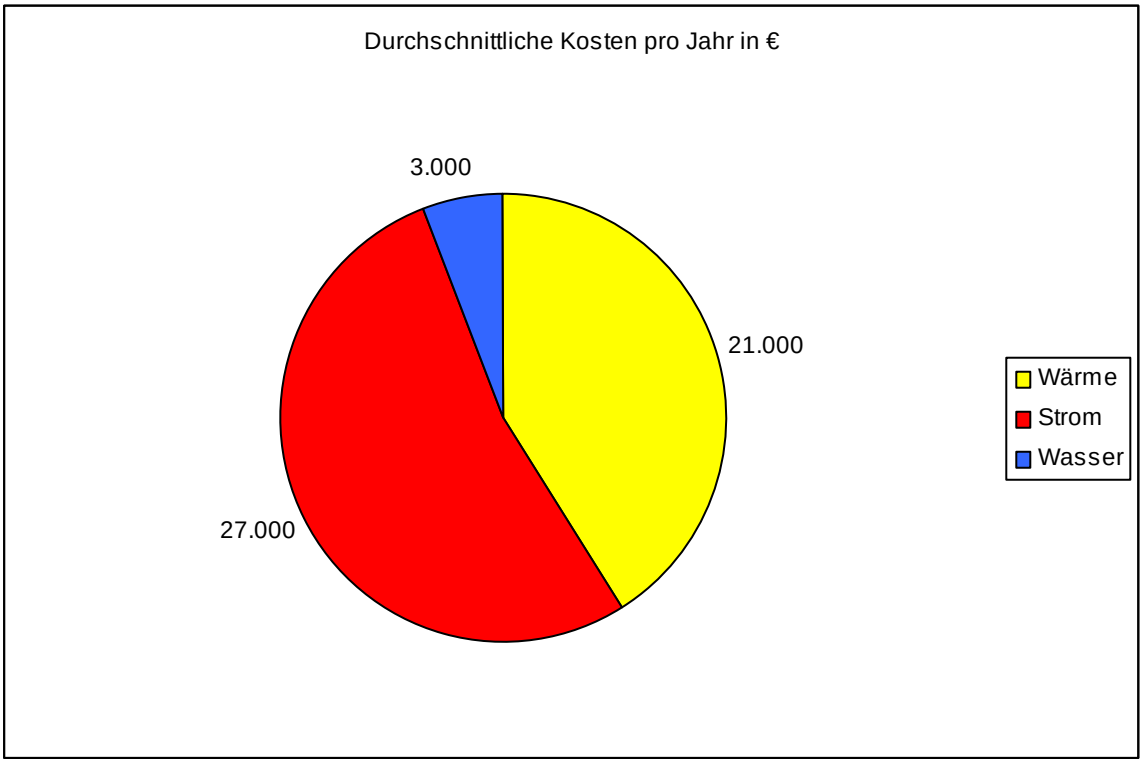



Die Verbräuche für Gas und Strom sind in 2007 erheblich gefallen, was sich auch in verringerten Kosten zeigt.
Allerdings lagen uns nur die Excel-dateien vor. Die richtige Übertragung aus den Rechnungen sollte daher noch überprüft werden. Im Winter wurden zusätzlich Zählerstandskontrollen vorgenommen, um die Ursachen zu erforschen. Die Abrechnungen 2008 lagen noch nicht vor.

Die spezifischen Kosten für Gas und Strom steigen von 2002 bis 2006 kontinuierlich an. Der Wasserpreis bleibt im Abrechnungszeitraum konstant.

Für Energie und Wasser mussten im Mittel rund 50.000 €/a, aufgewandt werden. Abbildung 4 zeigt die Kostenaufteilung zwischen den Verbrauchern für Wasser, Gas und Strom als Mittelwert der letzten 5 Jahre.
Der größte Teil davon entfällt auf Strom mit rund 27 T€ pro Jahr. Der Gasbezug kostet rund 21 T€ pro Jahr. Daran gemessen sind die Wasserkosten mit 3 T€ pro Jahr eher bescheiden.

## Diagramm 1 Kostenaufteilung Energieträger



# 4 Bedarfsberechnungen

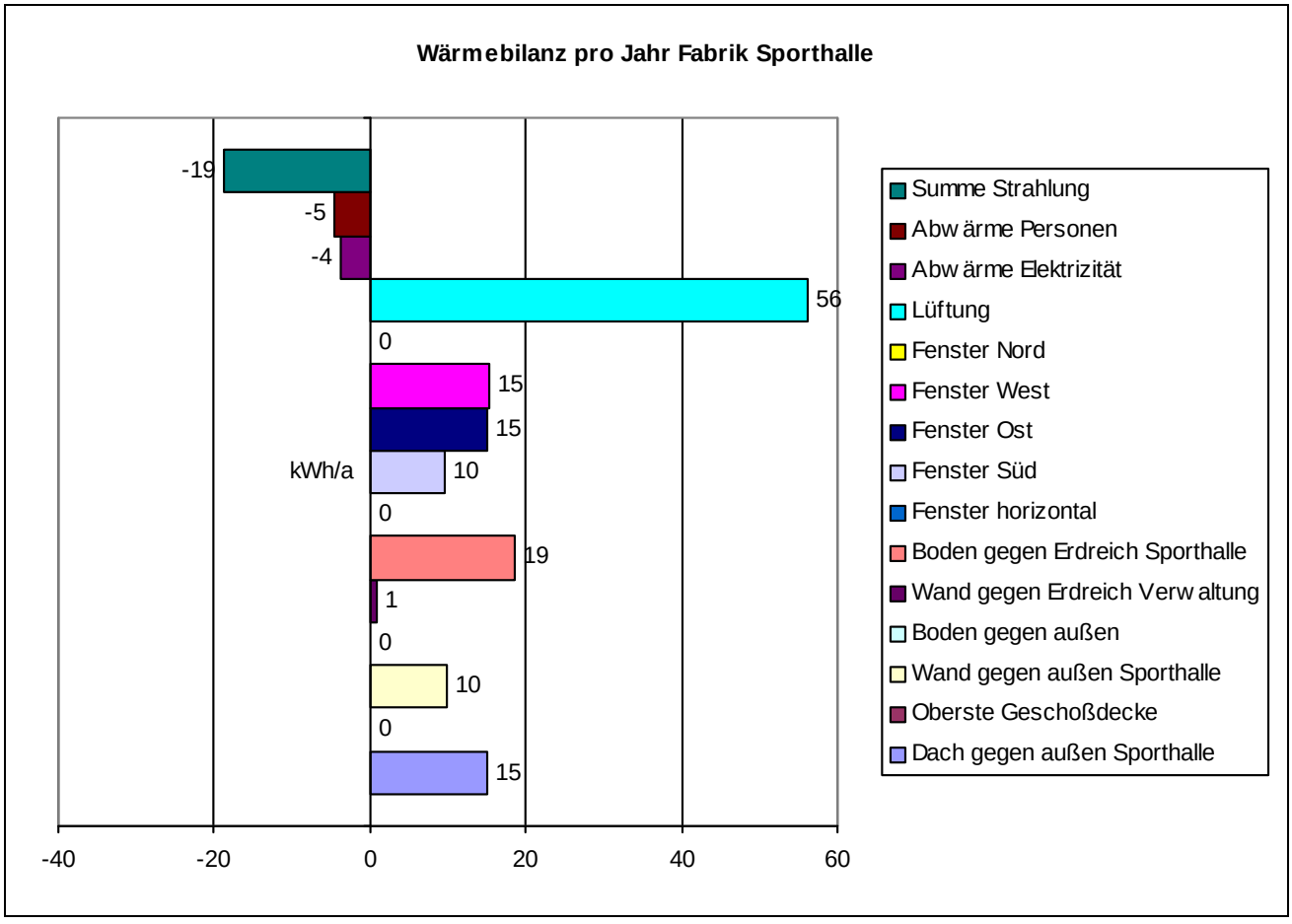
## 4.1 Leitfadenberechnung (LEH) Wärme

Die Leitfadenberechnung wurde für alle Bauteile einzeln durchgeführt.
Die angenommenen u-Werte (alt: k-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 Schul- und Sportgebäude fallen in die Gebäudekategorie IV. Nach Leitfaden ist ein Grenzwert von 60 KWh/m$^2$a und ein Zielwert von 40 kWh/m$^2$a anzustreben. Dies ist durch den Magistratsbeschluß der Stadt Franfurt noch weiter vermindert worden, in dem die Gebäude oder deren Komponenten nach Passivhausstandard ausgeführte werden sollen.

Nach Leitfaden ist ein Luftwechsel von 0,6 h-1 anzunehmen. Dieser wird gerade erreicht, wenn der Luftwechsel im Ruhezustand nicht über 0,2 h-1 liegt. Der Luftwechsel im Betrieb der Lüftungsanlagen liegt gemittelt bei knapp über 1,4 h-1, in Sporthalle in der Spitze bei bis zu 2,5. Durch den 8-stündigen Betrieb ergibt sich dann insgesamt ein mittlerer Luftwechsel von 0,6 h-1.

**Abbildung 4 Wärmebilanz**



Die tatsächlichen Bedingungen sind durch die insbesondere in den Nebenräumen und Empfangsbereichen undichten Fenster wahrscheinlich schlechter, aber mit der Methodik des Leitfadens nicht genau zu erfassen.

### 4.1.1 Heizwärmebedarf und berechnete Endenergie Sporthalle

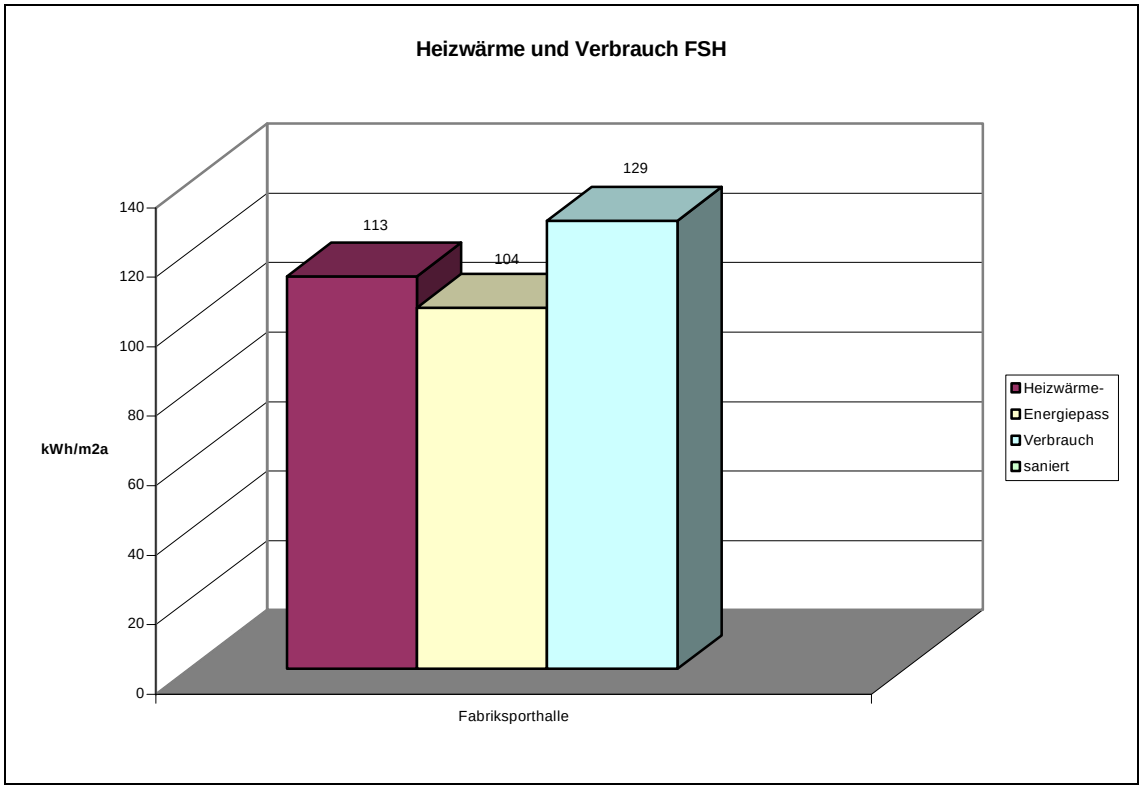
Der Heizwärmebedarf beträgt real 113 kWh/m$^2$*a und der berechnete Wärmeverbrauch beträgt 129 kWh/m$^2$*a. Der Wärmebedarf (neu Heizlast) nach der alten DIN 4701 liegt bei 290 KW.
Die Bereinigung über den Energiepaß beträgt nur 104 kWh/m$^2$a.
Die Wärmebilanz ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Wie die Abbildung zeigt, sind die Wärmeverluste im direkten Vergleich der einzelnen Posten vor allem durch Lüftungsverluste und Verluste über die Fenster bestimmt.

Die Verluste über die Aussenwand und das Dach sind gemessen an der Bauteilgrößen eher gering, so dass der Boden gegen Erdreich/Keller einen großen Anteil hat.

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

**Abbildung 5 Heizwärme und Endenergie**




Die Grenz- (60 kWh/ m$^2$a) und Zielwerte (40 kWh/m$^2$a) für den Heizwärmebedarf werden somit deutlich überschritten.

Die berechneten Verbräuche liegen um etwa 15% über den tatsächlichen Verbräuchen, **obwohl in vielen Räumen überhöhte Temperaturen (über 20°C) festgestellt wurden.**

## 4.2 Leistungen und Verbräuche Strom

Aus den vorgenannten Leistungsangaben und Daten wurde die Tabelle 8 Leistungen und Verbräuche Strom 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 4 Leistungen und Verbräuche Strom

| Zentrale Anlage | | Leistung installiert W | Leistung spez W/m² | Vollast pro Jahr h/a | Verbrauch pro Jahr kWh/a | Verbrauch spez kWh/m²a | Proz. Anteil am Verbrauch % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EBF | 3.843 | | | | |
| **Strom** | | | | | | | |
| **- Daten IST Summe** | | **133894** | **34,8** | | **142.701** | **37** | |
| **Leistung/Verbrauch berechnet** | | **133894** | | | **149.517** | **39** | **100,0%** |
| **davon:** | | | | | | | |
| HT - Lüftung | L | 30430 | 7,9 | 2.670 | 81.260 | 21 | 54,3% |
| HT - Beleuchtung | B | 54773 | 14,3 | 809 | 44.317 | 12 | 29,6% |
| HT - Heizung | HH | 4721 | 1,2 | 2.519 | 11.891 | 3 | 8,0% |
| HT - Klima | K | 3000 | 0,8 | 200 | 600 | 0 | 0,4% |
| HT - Diverse Haustechnik | DT | 0 | 0,0 | | 0 | 0 | 0,0% |
| BR - Küche | ZD | 34740 | 9,0 | 96 | 3.320 | 1 | 2,2% |
| BR - Zentrale Dienste (Sonst.) | ZD | 1600 | 0,4 | 2.920 | 4.672 | 1 | 3,1% |
| BR - Arbeitsmittel | AH | 4630 | 1,2 | 649 | 3.007 | 1 | 2,0% |
| HT - Elektrowärme/Kälte | HWW | 1500 | 0,4 | 300 | 450 | 0 | 0,3% |

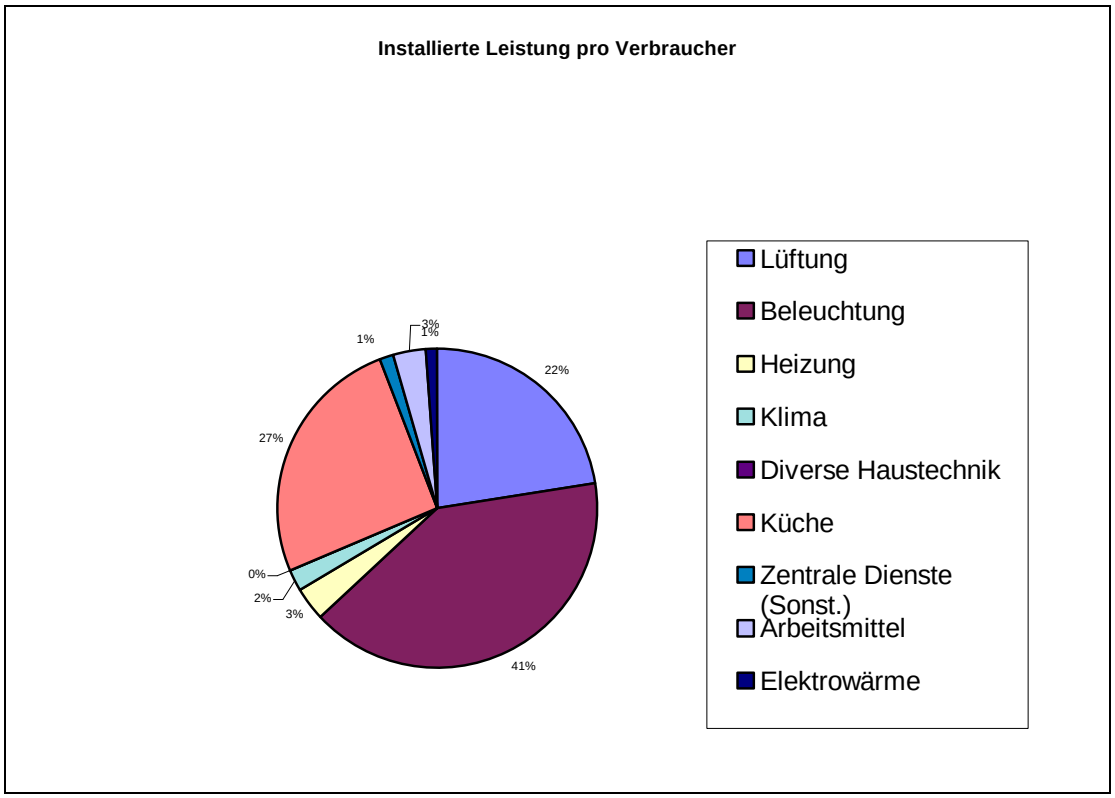
Die Tabelle zeigt die höchsten Leistungen im Bereich der Beleuchtung und der Lüftung.
Die installierte Leistung beträgt zusammen etwa 84 KW.

Bedingt durch die hohe Anzahl der Betriebsstunden der Lüftung und der Beleuchtung beträgt der Verbrauch rund 150 MWh/a. Der spezifische Verbrauch beträgt rund 35 kWh/m²*a.

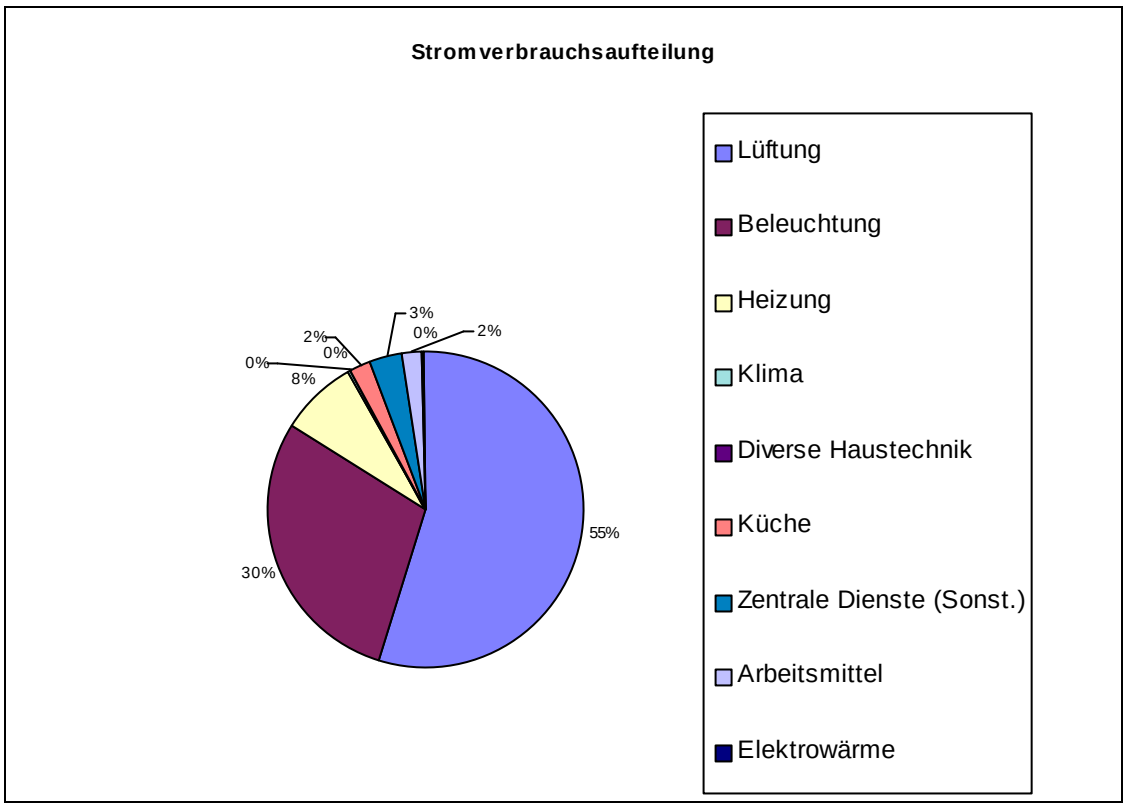
Die Aufteilung des Verbrauchs und der Leistung zeigen die folgenden Diagramme

Der mit Abstand größte Anteil der installierten Leistung fällt auf die Beleuchtung mit etwa 41%. Die Lüftung hat einen Anteil von rund 22%, die Küche 27% die heizungsseitige Hilfsenergie Leistung beträgt 3%. (Diagramm 1)

## Diagramm 2 Installierte Leistung nach Bereichen




## Diagramm 3 Stromverbrauch nach Bereichen




Beim Stromverbrauch beträgt der Anteil der Beleuchtung 30%, der Anteil der Lüftung beträgt rund 55% durch die langen Laufzeiten. Der heizungsseitig bedingte Verbrauch hat einen

Anteil von 8%, was im wesentlichen auf die hohen installierten Pumpenleistungen zurückzuführen ist.

## 4.3 Leitfaden LEE

### 4.3.1 Beleuchtung

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

Die Umkleideräume, die Duschräume und Flure weisen installierte Leistungen zwischen 5 und 15 W/$m^2$ auf. Es handelt sich durchgehend um alte Leuchten mit KVG.

### 4.3.2 Lüftung

Die Lüftungsanlagen wurden wie unter 2 ausgeführt berechnet.

Für die Belüftung von Sporthalle und Nebenräumen beträgt die spezifische Leistung rund 8 W/ $m^2$ EBF. Aus diesem Grund wird eine Sanierung der Lüftungsanlage vorgesehen, alternativ muss bei Sanierung angelehnt an den Passivhausstandard der Komplettaustausch der Lüftungsanlage als Merkposition beachtet werden, falls die Ertüchtigung der Lüftungsanlage nicht ausreichend ist (beachte Passivhauskriterien).
Der maximale Volumenstrom der Lüftungsanlage mit 50.000 $m^3$/h ermöglicht auf das Gebäudevolumen von rund 26.000 $m^3$ einen zweifachen Luftwechsel, alleine auf die Sporthalle bezogen einen 2,5 fachen Luftwechsel. Die meiste Zeit wird die Anlage im Umluftbetrieb gefahren, wir sind bei den folgenden Berechnungen unter Berücksichtigung der Ruhezeiten von einem 0,3 fachen Luftwechsel ausgegangen.

### 4.3.3 Pumpen Sporthalle

Im Mittel sind rund 4,5 KW installiert, der Verbrauch beträgt rund 4070 kWh/a.
Die installierte maximale Leistung liegt über dem angestrebten 0,8% -Wert für Hilfsleistung (300 kW benötigte Heizleistung)

## 5 Maßnahmen

Die Tabelle 5 zeigt alle im folgenden beschriebenen Maßnahmen auf einen Blick.

### Tabelle 5 Maßnahmen

| Beschreibung Maßnahme | Verbrauch pro Jahr kWh Bestand | Cash pro Jahr EUR | Einsparung pro Jahr kWh | Investition EUR | ROI Jahre a | Invest zu Annuität |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | **37.000** | **339.000** | 1.132.000 | | |
| Organisation | | **3.000** | **29.000** | **0** | | |
| Verträge | | **4.000** | **0** | **0** | | |
| Anlagentechnik | | **17.000** | **122.000** | **192.000** | 11,3 | 1,0 |
| Bauphysik | | **13.000** | **188.000** | **940.000** | 72,3 | 0,3 |
| | | | | | | |
| Stromverträge | 143.000 | | | | | |
| Gasverträge | 433.000 | | | | | |
| Wasserverträge | 700 | | | | | |
| Hausverwalterverträge EBN | 575.000 | **2.900** | **29.000** | | | |
| Fenstertausch | 154.000 | **7.600** | **108.000** | **522.000** | 68,7 | 0,3 |
| Fenstertausch Lüftungsverluste | 0 | **0** | **0** | **0** | | |
| Wärmedämmung Aussenwand | 61.000 | **2.700** | **39.000** | **190.000** | 70,4 | 0,2 |
| Dachdämmung | 71.000 | **2.800** | **40.000** | **229.000** | 81,8 | 0,2 |
| Bodenplatte | 88.000 | **0** | **0** | **0** | | |
| Wärmebrücke Bodenplatte Wärmedämmung | 0 | **0** | **0** | **0** | | |
| WW-Heizung BHKW | 433.000 | **5.700** | **0** | **35.000** | 6,1 | 1,9 |
| Tausch WW-Bereiter | 0 | **0** | **0** | **0** | | |
| Warmwasserbereiter Solaranlage | 22.000 | **700** | **10.000** | **10.000** | 14,3 | 0,8 |
| Tausch Zirkulationspumpe | 1.000 | **100** | **1.000** | **0** | | |
| Heizungsregelung | 433.000 | **900** | **13.000** | **5.000** | 5,6 | 2,1 |
| Hydraulische Abstimmung | 433.000 | **900** | **13.000** | **10.000** | 11,1 | 1,1 |
| Kesseltausch | 433.000 | **3.000** | **43.000** | **40.000** | 13,3 | 0,9 |
| Kesseltausch Verträge Leistung | 740 | **4.400** | **0** | **2.000** | 0,5 | 26,1 |
| Pumpentausch Heizraum | 3.900 | **500** | **2.000** | **5.000** | 10,0 | 1,2 |
| Pumpentausch Lüftung ** | 2.400 | **100** | **1.000** | **0** | | |
| Sanierung Anlage Sporthalle | 70.000 | **7.000** | **35.000** | **65.000** | 9,3 | 1,3 |
| Sanierung Anlagen 2-6 Nebenräume | 11.500 | **1.200** | **6.000** | **30.000** | 25,0 | 0,5 |
| Leuchtentausch Nebenräume/Tageslicht | 5.900 | **500** | **2.000** | **19.000** | 38,0 | 0,3 |
| Leuchtentausch Halle | 38.300 | **3.700** | **19.000** | **23.000** | 6,2 | 1,9 |
| Spülkasten auf 6 l | 680 | **300** | **0** | **0** | | |
| Waschmaschine Heizraum | | **0** | **0** | **0** | | |

Zum schnellen Überblick sind die Maßnahmen mit dem ROI und dem Quotienten Einsparung zu Annuität der Investition versehen. Der Zinssatz ist mit 3,1 % und die Zeit mit 5, 15 (Anlagen) und 25 Jahren (Bauphysik) angesetzt.

## 5.1 Optimierung der Energielieferverträge und Organisation

### 5.1.1 Hausverwalterverträge

Die Hausverwalter werden noch nicht über das Frankfurter EBN-Modell honoriert. Einsparungen sind durch richtige Bedienung der Anlagen möglich. Dies sind mindestens 30.000 kWh/a oder 2.500 €.
Beispielsweise sind die Hausverwalter noch nicht umfänglich in die Bedienung der DDC eingewiesen. Die Thermostatventile waren teilweise auf 5 gestellt. Daher dürfte das Einsparpotential noch höher sein.

## 5.2 Verbesserung der Wärmedämmung

Für alle Maßnahmen im Bereich der Wärmedämmung wurden die Bauteilwerte des Hochbauamts (HBA) nach den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2006, modifiziert dahingehend, dass die Anforderungen an Bauteile nach den Passivhauskriterien eingehalten werden, zugrunde gelegt. Der Grund hierfür ist der Magistratsbeschluß der Stadt Franfurt, dass alle Gebäude der Stadt Frankfurt im Passivhausstandard auszurüsten bzw. zu sanieren sind. Dies wurde im Maßnahmenkatalog berücksichtigt.

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

Alle Maßnahmen wurden mit Kosten gemäß der Tabelle Maßnahmen unter 5. 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.

### 5.2.1 Austausch der Fenster

Insgesamt hat die Sporthalle eine Fensterfläche von 870 $m^2$. Der Hauptteil der Fensterfläche befindet sich im Hallenbereich auf der West- und Ostseite. Bei Austausch der Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 155.000 kWh/a auf 46.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 108.000 kWh/a oder rund 7.600 €/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 520.000 €. Damit beträgt das ROI rund 70 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

### 5.2.2 Wärmedämmverbundsystem

Bei den Außenwänden handelt es sich um eine Gesamtfläche von 1.583 $m^2$. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 61.000 kWh/a auf rund 22.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von rund 40.000 kWh/a oder rund 2.700 €/a. Die Kosten für die Investition betragen rund 190.000 €. Das ROI berechnet sich damit zu 70 Jahren.

### 5.2.3 Dachdämmung

Das Dach der Turnhalle hat eine Fläche von 2863 $m^2$.
Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 70.000 kWh/a auf 30.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von rund 40.000 kWh/a oder 2.800 €/a. Diese Maßnahme ist kostengünstig im Rahmen der nächsten Dachsanierung durchzuführen.
Die Kosten für ein Vollsanierung liegen bei ca. 230.000 € und rechnet sich nach 80 Jahren.

### 5.2.4 Boden gegen Erdreich/Keller

Die Sanierung der Bodenplatte inklusive einer Dämmung ist durch die zahlreichen Nebenarbeiten (Änderung aller Türhöhen usw.) zu aufwendig und wurde hier nicht weiter untersucht.
**Wenn ein Austausch des Hallenbodens stattfindet, sollten die möglichen Dämmmaßnahmen mit untersucht und durchgeführt werden.**

### 5.2.5 Wärmebrücke Bodenplatte Boden gegen außen

Im Bereich der Bodenplatte ist die Dämmung mangelhaft, wie die Thermographieaufnahmen des Hochbauamts zeigen. Diese stellt neben den Stützen eine starke Wärmebrücke dar. Aus diesem Grund wird die Ausführung eines vorgehängten, gedämmten Fassadenstreifens an dieser Stelle vorgeschlagen, sofern keine neue Fassade von der Außenwand über die Bodenplatte bis zum Erdreich gezogen wird. Es handelt sich insgesamt um eine Fläche von 210 m x 0,50 m = 105 $m^2$, die als Sockeldämmung ausgeführt werden muss.

### 5.2.6 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik

#### 5.2.6.1 Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik mit Passivhauskomponenten

Bei dieser Variante wurden die U-Wert Anforderungen von Passivhauskomponenten zugrundegelegt. Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen Außenwand, Dach und Fenster 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 30 Jahren vorgenommen.
Die angenommenen Investitionskosten sind in der Anlage 5 zusammengefasst.

Die Investitionskosten betragen bei der Sanierung der Sporthalle mit Passivhauskomponenten incl. der Nebenleistungen rund 1,3 Mio € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2008. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegen teilweise noch unter diesen Werten.

In der Anlage 5 ist die Vollkostenrechnung beigefügt.

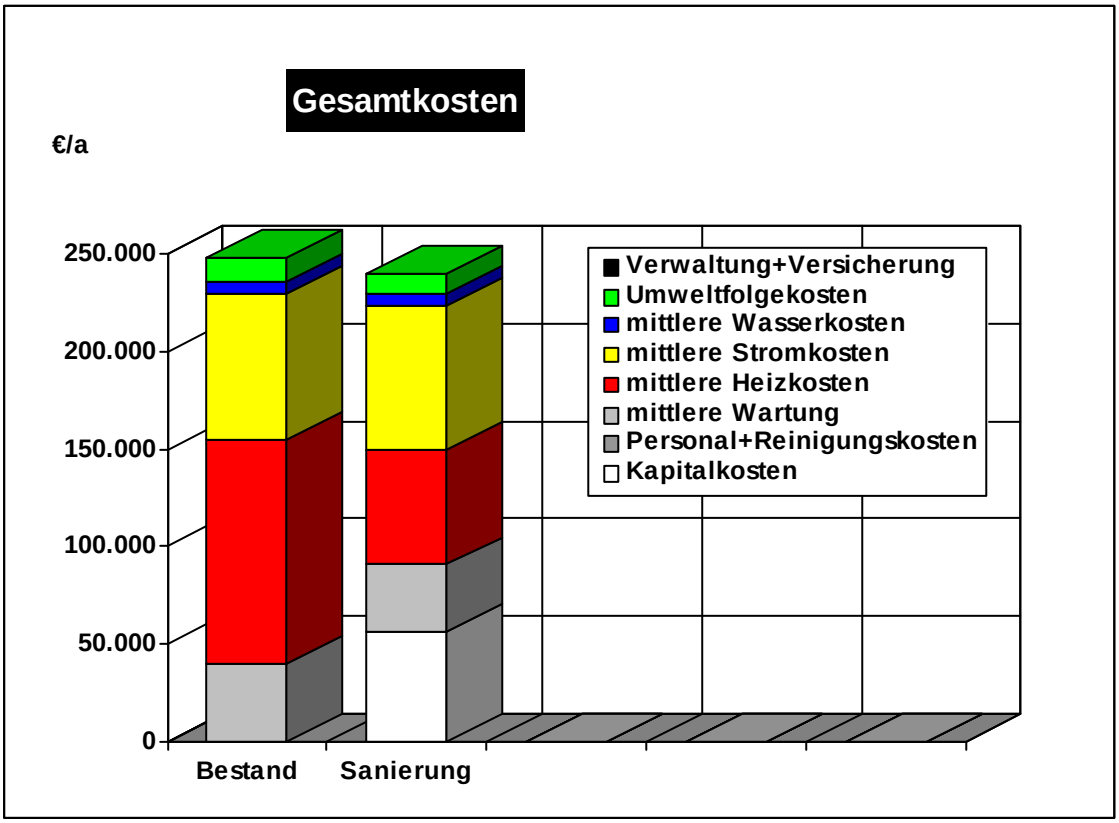
Bei einer Preissteigerung von 5 % und einem Kapitalzins von 3 % beträgt die Amortisationszeit 30 Jahre. Den Vollkostenvergleich zeigt Diagramm 4.

Bei einer Preissteigerung von 10 % verkürzt sich sich die Amortisationszeit bereits auf 8 Jahre.

Diagramm 4 zeigt die Gesamtkosten im Vergleich.

Diese sind niedriger als im Bestand, wenn man davon ausgeht, dass die Wartungskosten für den Bestand ungefähr gleich hoch wie im Sanierungsfall sind.

**Diagramm 4 Gesamtkostenbetrachtung der Wärmedämmung nach Passivhausstandard**



## 5.3 Regelungstechnik / Anlagentechnik Heizung

### 5.3.1 Allgemein

Die Heizungsanlage verliert Wasser.

Die Nachspeisung ist dauerhaft an die hydraulische Weiche angeschlossen. (Verkeimungsgefahr!)

Der Vordruck am AD wurde zwar kontrolliert und auf dem AD vermerkt, das Manometer aber nicht auf den entsprechenden Min-Wert eingestellt. Dadurch ist der Anlagendruck dauerhaft zu hoch.

Die Zirkulationspumpe der WW-Bereitung ist anscheinend nicht für Frischwasserbetrieb zugelassen.

### 5.3.2 WW - Bereitung

#### 5.3.2.1 Tausch WW-Bereiter

Der WW-Verbrauch liegt bei rund 0,8 $m^3$/d. Daran gemessen ist der WW-Bereiter mit 1,5 $m^3$ zu groß.
Bei einem Austausch bietet sich die Umrüstung auf Solarbetrieb an.

#### 5.3.2.2 Thermische Solaranlagen

Solaranlage mit 1000 l Bivalentem Speicher und 20 $m^2$ Solarfläche kostet rund 10.000.-
Die Solarsimulation in Anlage 6 ergibt (nach Modernisierung durch Brennwertkessel) eine jährliche Einsparung von 9.500 kWh oder knapp 700.-/a . Bleibt die alte Kesselanlage ist die Einsparung noch größer.

### 5.3.3 BHKW

Für die WW-Bereitung und Heizung könnte ein BHKW mit einer thermischen Leistung von 12,5 $kW_{th}$ und 5,5 $kW_{el}$ zum Einsatz kommen. Bei dem gemessenen Verbrauch von rund 0,8 $m^3$/d zzgl. Zirkulationsverlusten und einem Volllbetrieb im Winter ergibt sich eine Jahreslaufzeit von 5.500 Bh. Da derzeit auch der eigengenutzte Strom vergütet wird ergibt sich bei einer Vollnutzung eine Einnahmesituation (incl. des eingesparten Bezugs) von 7800.- denen Mehrkosten für das zusätzliche Gas und Verluste von 3.100.- gegenüberstehen, so dass ein Überschuß von 5.700.- entsteht. Bei Investitionskosten von rund 35.000.- ergibt sich ein statisches ROI von rund 6,5 Jahren.
Für die Ermittlung der Vollnutzung ist eine Lastgangmessung erforderlich. Außerdem sind die Stromsparmaßnahmen in der Gesamtkostenrechnung zu berücksichtigen. Im Falle einer Volleinspeisung verdoppelt sich der ROI auf 13 Jahre.

**Diese Maßnahme ist nicht in Kombination mit einer Thermischen Solaranlage durchführbar!**

### 5.3.4 Heizungsregelung

Die Regelung ist in 2 Unterzentralen untergebracht und kann durch eine zentrale DDC bedient werden. Die Programmierung und Einsicht in die hinterlegten Parameter der Regelung ist bedienungsunfreundlich, dadurch werden die Einsparpotentiale durch Einschränkung der Betriebszeiten, Korrekturen der Heizgrenzen und Kurven nicht genutzt.

Hier sollte eine Qualifizierung im Rahmen des Nutzer-Beteiligungsmodell erfolgen, um die Absenkung bzw. Abschaltung in nicht belegten Zeiten bzw. Räumen zu verbessern. (vgl. auch EBN).
Ggf. sind Funktionen wie Abschalten bei erreichen der Heizgrenze noch nachzurüsten.

### 5.3.5 Hydraulische Abstimmung der Heizkreise

Die mangelnde hydraulische Abstimmung der Heizkörper kann zur Unterversorgung von Heizkörpern führen. Letzteres spielt allerdings eine eher untergeordnete Rolle, da die fehlende Spreizung von Vor- und Rücklauftemperaturen zeigt, dass große Wassermengen ohne Wärmeabnahme durch das Gebäude gefahren werden.
Nach dem Einbau neuer Ventile ist die Eindrosselung der Stränge und Ventile zu veranlassen. Diese Maßnahme ist in Verbindung mit Pumpentausch 5.4 durchzuführen.

### 5.3.6 Kesseltausch

Die Kessel sind über 20 Jahre alt und mit einer Gesamtleistung von 750 kW erheblich überdimensoniert.
Diese kostet auf der einen Seite beim Leistungspreis für Gas unnötig Geld, auf der anderen Seite sind die Nutzungs- und Wirkungsgrade durch die niedrigen Vollbetriebstunden schlecht.

(Anm.: Die Mainova stellt z.Zt. bei einigen Anbieten auf Leistungspreisfreie Tarif um, daher Bündelvertrag Stadt beachten, sofern dieser neu verhandelt wird!!! Ansonsten ein Kessel stilllegen!))

Es wird daher empfohlen, die Leistung auf einen neuen Kessel zu reduzieren.
Die DIN Leistung im Bestand liegt bei 291 kW und nach bauphysikalischer Sanierung bei 198 kW. Ein Zuschlag für die Lüftung ist nicht berücksichtigt.

Allein die Leistungsreduzierung um 400 kW spart rund 4400.- € pro Jahr.

Durch den Kesseltausch können mindestens 40.000 kWh eingespart werden. Das sind rund 3.000.- € pro Jahr.
Die Kosten incl. Dämmung und Schornsteinsanierung sind mit rund 40.000.- € anzusetzen.
Damit rechnet sich die Maßnahme mit der Leistungsreduzierung in rund 8 Jahren.

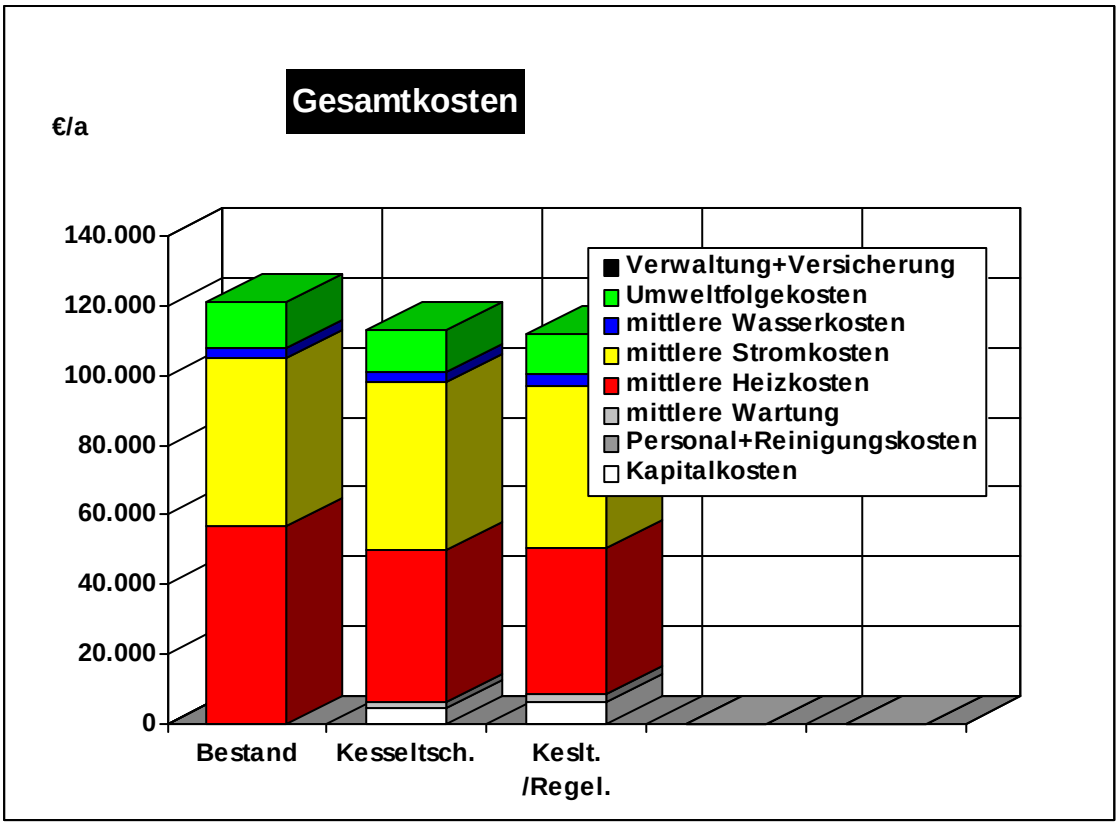
### 5.3.7 Gesamtkostenrechnung Heizung

Die Gesamtkostenrechnung wurde für die Sanierung der Heizungsanlage (Invest 40.000.- €) und für die Sanierung der Heizungsanlage mit hydraulischem Abgleich (Invest 53.000.- €) durchgeführt. Die tabellarischen Daten sind in Anlage 9 beigefügt.

Bei der Gesamtkostenberechnung ergibt sich eine Amortisationszeit von unter 3 Jahren bei einem Zinssatz von 3 % und einer Preissteigerung von 10 % im Betrachtungszeitraum von 10 Jahren. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Diagramm 5 dargestellt.

Sowohl der Kesseltausch allein, als auch in Verbindung mit dem hydraulischen Abgleich und der Verbesserung der Regelung führen zu deutlich niedrigeren Gesamtkosten.

**Diagramm 5 Gesamtkosten Heizung**




## 5.4 Pumpen

### 5.4.1 Pumpen Heizraum

Die sechs Pumpen der statischen Heizkreise sind veraltet und überdimensioniert. Da auch kein hydraulischer Abgleich vorgenommen ist sollte das Rohrnetz neu berechnet, die Thermostatventile getauscht und die Pumpen neu berechnet und getauscht werden.
Die 6 Pumpen verbrauchen rund 4000 kWh Strom pro Jahr. Dieser Verbrauch lässt sich durch richtige Auslegung und Freigabe mehr als halbieren. Dabei werden 500.- € Strom pro Jahr gespart und zusätzlich Wärme.
Bei einer Investitionssumme von rund 5.000.- € rechnet sich die Maßnahme in 10 Jahren.

### 5.4.2 Pumpen Lüftung

Da die Pumpen noch relativ neu sind wird eine Anpassung im Sanierungsfall Lüftung empfohlen. (siehe 5.5)

## 5.5 Lüftung

Die Ertüchtigung der Lüftungsanlagen für die Turnhalle inkl. der Nebenräume wurde untersucht.
Hierbei ist zu unterscheiden, ob eine wärmetechnische Sanierung durchgeführt wird oder nicht, weil davon die Heizleistung und damit die Betriebszeit und Luftmengen der Lüftung auch abhängen.
Bei einer wärmetechnischen Sanierung wäre der Totalersatz der Lüftungsanlagen die bessere Lösung, da die Anlagen auch nicht mehr der VDI 6022 entsprechen.

### 5.5.1 Anlage 1 Halle

Hauptproblem der Lüftungsanlage für die Sporthalle sind die durchlaufenden Betriebszeiten ohne einen abgestimmten Aus- und Teillastbetrieb. Dadurch wird unnötig Strom und Wärme verbraucht.
Die Regelung erfolgt lediglich auf Temperatur und nicht auf Lüftungsbedarf. Eine Abstimmung zwischen statischer Heizung und Lüftung ist trotz DDC nicht vorhanden.
Der Frischluftanteil ist fest eingestellt?!

Die Halle ist mit Deckenstrahlplatten ausgerüstet. Diese sollten in der Leistung nachgerechnet werden und vorrangig zur Beheizung der Halle eingesetzt werden.
Die Lüftung sollte nur im Bedarfsfall für die Heizung nachrangig gefahren werden und ansonsten dem Lüftungsbedarf durch $CO_2$-Fühler (oder andere Luftqualitätsfühler) nachgefahren werden.
Hierfür ist eine Nachrüstung mit Frequenzumrichtern sinnvoll.

Ob die Regelung von Kieback und Peter DDC 3000 auf diesen Fall nachgerüstet werden kann ist noch nicht abschließend untersucht.

Eine Reduzierung der Luftmengen im Regelbetrieb (im Ist-Zustand maximal 33.000 $m^3/h$) durch einen frequenzgerichteten Umrichter in Verbindung mit $CO_2$-Fühlern als Regelgröße führt zu erhebliche Wärme- und Stromeinsparungen.
Die Gesamtkosten betragen rund 30 000 € brutto für die Ertüchtigung der Lüftungsanlage mit Frequenzumrichtern und Luftqualitätsfühlern.

Die zu fördernde Luftmenge in der Sporthalle ließe sich im Regelbetrieb auf bis zu 8.000 $m^3/h$ (Berechnungsbasis 400 Personen x 20 $m^3/P*h$) reduzieren. Diese entspräche einem 0,4 fachem Luftwechsel. Wenn die Heizleistung von den Deckenstrahlplatten erbracht werden kann.

Die bestehenden Motoren benötigen jedoch bei der Umrüstung auf Frequenzumrichter eine Mindestdrehzahl. Dies bedeutet eine Mindestluftmenge von rund 12.000 $m^3/h$ bei der bestehenden Anlage.

Es wird daher eine Sanierung mit max. 8.000 $m^3/h$ (0,4-facher Luftwechsel) statt 33.000 $m^3/h$ empfohlen. Mittels Feuchte- und $CO_2$-Sensor erfolgt eine bedarfsgeregelte Lüftung.
Dies führt zu einer Einsparung von mindestens 35.000 kWh Strom im Wert von 7.000.- €/a.
Bei einer Investitionssumme von 65.000.- beträgt das ROI 9 Jahre.
Voraussetzung ist die Deckung der Heizlast durch die Deckenstrahlheizung.

### 5.5.2 Lüftungsanlagen 2 – 6

Die 5 Lüftungsanlagen sind für die Umkleiden (2), den Kraftraum, Schulungsräume und WCs Bei allen Lüftungsanlagen ist die WRG über die getrennten Wärmetauscher funktionslos.

Hauptproblem der Lüftungsanlagen sind die durchlaufenden Betriebszeiten ohne einen abgestimmten Aus- und Teillastbetrieb. Dadurch wird unnötig Strom und Wärme verbraucht. Die Regelung erfolgt lediglich auf festen Luftwechsel und nicht auf Lüftungsbedarf.

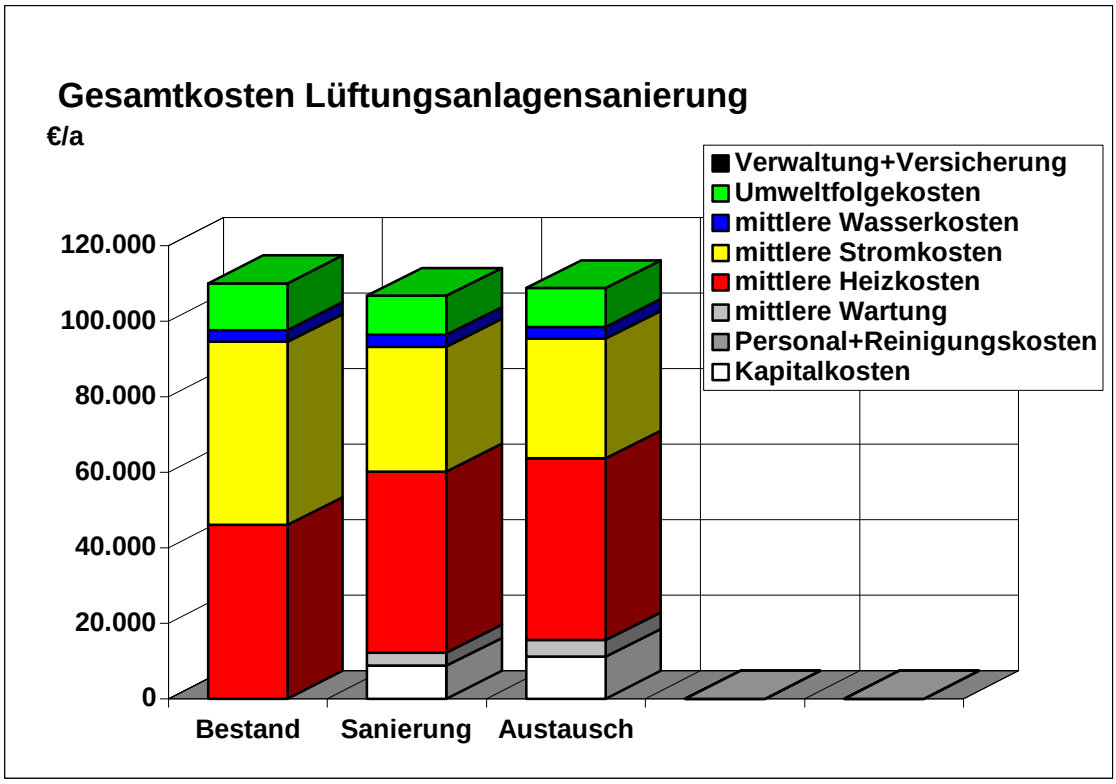
Sofern der geschossübergreifende Brandschutz noch in Ordnung ist, was an Hand der Bestandspläne nicht abschließend zu klären war, kann das Kanalnetz in der Lüftungszentrale zusammengefasst und an eine gemeinsame Anlage mit geregelten Zonen angeschlossen werden.

Es wird daher eine Sanierung auf eine gemeinsame Anlage mit max. 5.000 $m^3$/h (1-facher Luftwechsel aller Zonen) statt 15.000 $m^3$/h empfohlen. Mittels Feuchte- und $CO_2$-Sensor erfolgt eine bedarfsgeregelte Lüftung der einzelnen Zonen.
Dies führt zu einer Einsparung von mindestens 6000 kWh Strom im Wert von 1.200.- €/a.
Die Investitionskosten betragen 30.000.- €.

### 5.5.3 Gesamtkosten Lüftungsanlagen

Die Gesamtkostenrechnung wurde für die Sanierung der Lüftungssanlage 1 und den Tausch der Anlagen 2-6 (Invest 75.000.- €) und für den Austausch der Anlagen 1-6 (Invest 95.000.- €) durchgeführt. Die tabellarischen Daten sind in Anlage 10 beigefügt.

**Diagramm 6 Gesamtkosten Lüftungssanierung**




Bei der Gesamtkostenberechnung ergibt sich eine Amortisationszeit von 7 Jahren für die Sanierung und von unter 9 Jahren für den Austausch bei einem Zinssatz von 3 % und einer Preissteigerung von 5 % im Betrachtungszeitraum von 10 Jahren.
Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Diagramm 6 dargestellt.

Die Gesamtkosten sind vergleichbar, allerdings sind die Wartungskosten für den Bestand nicht bekannt, so dass die realen Gesamtkosten derzeit sicherlich höher sind.

Bei einer Preisteigerung von 10 % fallen die Amortisationszeiten auf unter 6 Jahre.

Obwohl der Anlagentausch insgesamt etwas ungünstiger ist, wird dieser empfohlen, da es sich dann um neue Anlagen handelt, die den aktuellen Normen, wie der VDI 6022 entsprechen.

## 5.6 Beleuchtung

### 5.6.1 Beleuchtung Halle

In der Halle beträgt die installierte Leistung 15,9 W/m$^2$. Daher erscheint ein Leuchtentausch sinnvoll.
Die Amortisationszeit für einen Leuchtentausch nach ersten Berechnungen unter 10 Jahren.
Die Anzahl der Leuchten könnte nach einer ersten überschlägigen Berechnung im EG von rund 180 Leuchten mit einer installierten Leistung von 38 kW durch eine Sanierung auf ca. 20 kW gesenkt werden.

Die installierte Leistung sinkt damit auf 8 W/m$^2$. Es gibt dann nur noch 2 Schaltstufen für Wettkampf und Trainingsbetrieb.
Der Verbrauch sinkt von 38.000 kWh auf 20.000 kWh. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von rund 3.500.-

Bei einer Investitionssumme von 23.000.- rechnet sich die Maßnahme innerhalb von 6 Jahren.

Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten im Durchschnitt ausgegangen:

Leuchten mit EVG 125 €/Stück

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.

### 5.6.2 Beleuchtung Nebenräume

In den beiden Eingangbereichen inklusive der Flure sind bedingt durch die unterschiedliche Bestückung eine Leuchtenleistung von 7 bis12 W/m$^2$ installiert. Der Tageslichtanteil ist gering, aber auch bei ausreichendem Tageslicht war die Beleuchtung bei den Begehungen häufig eingeschaltet. Ein bedarfsorientiertes Beleuchtungskonzept ist daher sinnvoll. Um die Beleuchtung nur während der tatsächlichen Benutzung zu gebrauchen, wird neben einer neuen Beleuchtung mit EVG und Spiegelrasteranbauleuchten auch eine Variante mit dem Einbau von Bewegungsmeldern (opto/akustisch) untersucht. Dadurch lassen sich die Betriebszeiten auf weniger als 1000 Betriebsstunden vermindern. Ein Austausch der Leuchten erscheint aufgrund der Überdimensionierung der bestehenden Beleuchtung als sinnvoll.
Die Anzahl der Leuchten könnte nach einer ersten überschlägigen Berechnung von rund 33 Leuchten durch eine Sanierung auf ca. 25 Leuchten gesenkt werden. Die mittlere Anschlussleistung sinkt deutlich von rund 74 W/pro Leuchte auf rund 30 W/pro Leuchte

Die mittlere spezifische Leistung sinkt von rund 8 W/m$^2$ auf rund 2 W/m$^2$ nach der Sanierung.

Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten im Durchschnitt ausgegangen:
Leuchten mit EVG in Nebenräumen 95 €
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.

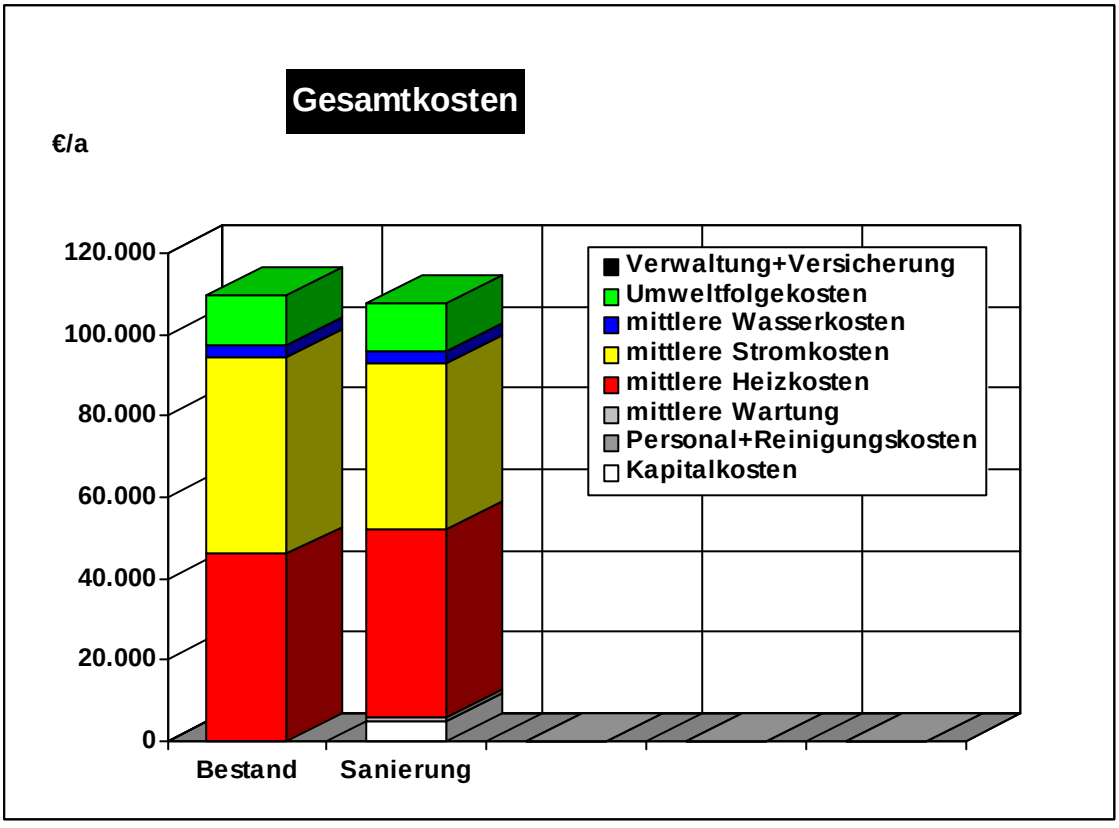
Die Duschen und Umkleideräume werden seltener genutzt als die Sporthalle und die Flure, da dort wenig Tageslicht vorhanden ist, ist die Beleuchtung aber häufig eingeschaltet.
Ein bedarfsorientiertes Beleuchtungskonzept ist daher sinnvoll.
Um die Beleuchtung nur während der tatsächlichen Benutzung zu gebrauchen wird der Einbau von Bewegungsmeldern (opto/akustisch) empfohlen. Dadurch lassen sich die Betriebszeiten auf weniger als 1000 Betriebsstunden vermindern. Ein Austausch der Leuchten ist aufgrund der Überdimensionierung der bestehenden Beleuchtung sinnvoll.

In den Fluren werden die Leuchten per Hand eingeschaltet. Allerdings wird so kein Außenlichtanteil berücksichtigt. Dieser ist aber gering, so daß nur an weniger Stunden im Jahr die geforderten 100 Lux erreicht werden.
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.

### 5.6.3 Gesamtkosten Leuchtentausch

Die Gesamtkostenrechnung wurde für die Sanierung der Beleuchtungsanlage von Sporthalle und Nebenräumen (Invest 42.000.- €). Die tabellarischen Daten sind in Anlage 11 beigefügt.

**Diagramm 7 Gesamtkosten Leuchtentausch**



Bei der Gesamtkostenberechnung ergibt sich eine Amortisationszeit von 7 Jahren für die Sanierung bei einem Zinssatz von 3 % und einer Preissteigerung von 5 % im Betrachtungszeitraum von 10 Jahren.
Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Diagramm 7 dargestellt.

Die Gesamtkosten sind niedriger, allerdings sind die Wartungskosten für den Bestand nicht bekannt, so dass die realen Gesamtkosten derzeit sicherlich höher sind.

### 5.7 Gesamtkosten

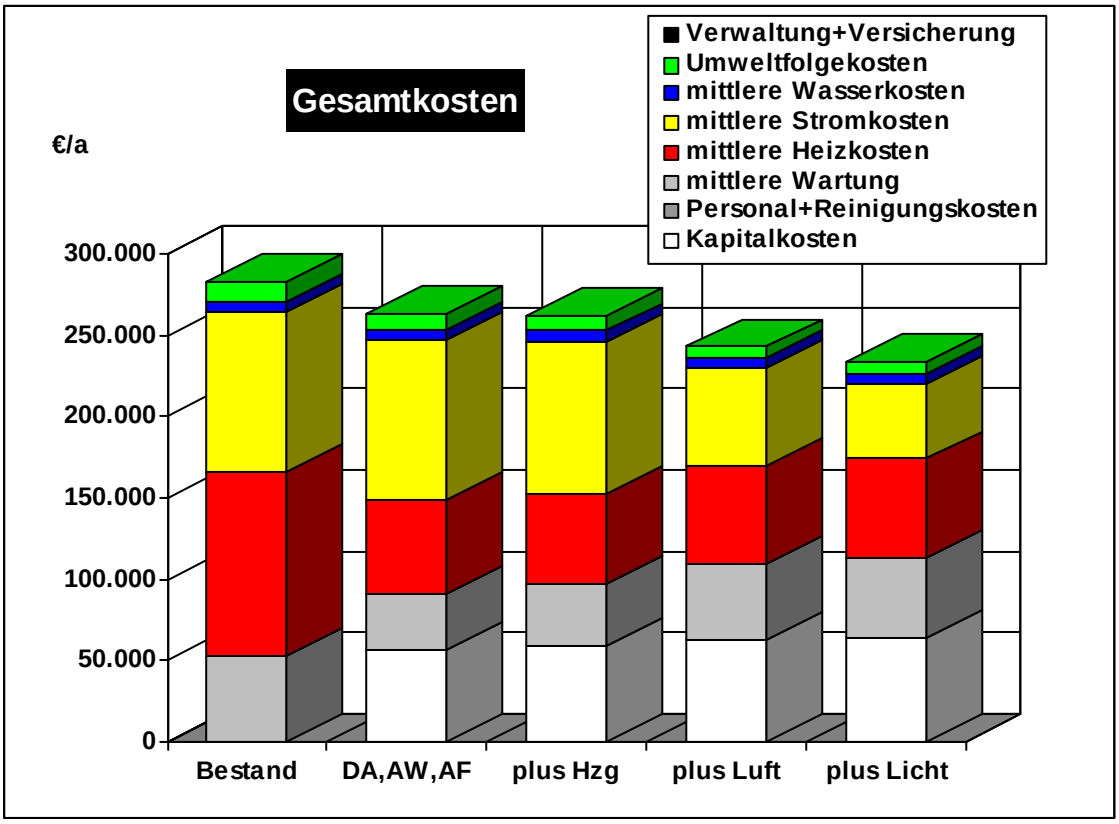
Für die Gesamtkostenbetrachtung aller Maßnahmen wurden die Varianten:

- **Dämmung Dach und Wand, Fenstertausch**
- **Dämmung Dach, Wand, Fenster und Heizung**
- **Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung und Lüftung**
- **Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung, Lüftung und Licht**

In einer Gesamtkostenbetrachtung zusammengefasst. Der Gesamtzeitraum der Betrachtung umfasst 40 Jahre. (Anlage 12)
Die teuerste Einzelmaßnahme ist die bauphysikalische Sanierung mit rund 1,3 Mio. € incl. Nebenleistungen. Bei der Anlagentechnischen Sanierung von Heizung, Lüftung und Licht steigt die Investitionssumme auf rund 1,5 Mio. €.

Es ergibt sich eine Amortisationszeit von 20 Jahren für die Gesamtsanierung bei einem Zinssatz von 3 % und einer Preissteigerung von 5 % im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren.
Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Diagramm 8 dargestellt.

**Diagramm 8 Gesamtkosten**



Die Gesamtkosten sind niedriger, allerdings sind die Wartungskosten für den Bestand mit 20.000.- €/a (15.000.- €/a Bauphysik, 5.000.- €/a Anlagentechnik) geschätzt, da nicht bekannt.

Die Tabelle 6 zeigt die heutigen Gesamtkosten für das jeweilige Maßnahmenpaket.

Deutlich verringern sich Umweltfolge-, Strom- und Heizkosten, während bei etwa gleichbleibender Wartung, die Kapitalkosten durch die höheren Investitionen steigen.

Über die Laufzeit liegen dann die höheren mittleren Betriebskosten durch die Preissteigerungen über die Jahre über den mittleren Kapitalkosten.

Dabei liegen die Gesamtkosten derzeit höher als im mittleren Betrachtungszeitraum. Nur dadurch ergibt sich die Amortisationszeit.

**Tabelle 6 Übersicht heutige Gesamtkosten**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Variante 1 | Ist-Zustand | | | | |
| Variante 2 | Dämmung Dach und Wand, Fenster | | | | |
| Variante 3 | Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung | | | | |
| Variante 4 | Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung, Lüftung | | | | |
| Variante 5 | Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung, Lüftung, Licht | | | | |
| | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 | Variante 5 |
| | IST-Zustand | DA,AW,AF | + Heizungsanl. | + Lüftunganl. | +Lichtsan. |
| | € | € | € | € | € |
| Umweltfolgekosten | 12.000 | 9.000 | 9.000 | 7.000 | 6.000 |
| Stromkosten | 37.000 | 37.000 | 36.000 | 23.000 | 18.000 |
| Heizkosten | 43.000 | 22.000 | 21.000 | 23.000 | 23.000 |
| Wartung+Instandhaltung | 20.000 | 13.000 | 15.000 | 18.000 | 19.000 |
| Kapitalkosten | 0 | 66.000 | 69.000 | 74.000 | 76.000 |

alle Kosten incl. 19 % MWSt. und Nebenleistungen

Ausführliche Tabelle siehe Anlage

## 6 Organisatorisches/Sonstiges

### 6.1 Photovoltaik Anlage

Das Flachdach auf dem Verwaltungsgebäude als auch das Dach der Halle sind für eine Photovoltaikanlage bis 30 kW geeignet.
Eine statische Prüfung wird daher empfohlen.

### 6.2 Notbeleuchtung

Watch Outs im Reparaturfall auf LED umrüsten.

## 7 Zusammenfassung

Die Liegenschaft der Sporthalle hat eine Energiebezugsfläche von rund 3.800 $m^2$.
Das beheizte Volumen beträgt rund 27.000 $m^3$.

Für den Bezug von Heizenergie müssen insgesamt rund 20.000 €/a aufgewendet werden, für den Strombezug rund 27.000 €/a, für Wasser werden rund 3.000 €/a aufgewendet.
Der Heizenergieverbrauch beträgt **430.000 kWh/a**. Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für Wärme von 104 kWh/$m^2$*a.
Dieser Wert ist gemessen an der Bauwerksklasse niedrig und darauf zurückzuführen, dass Außenwand und Dach schon mäßig, aber immerhin gedämmt sind.

### Tabelle 7 Einzelmaßnahmen nach Priorität

| Beschreibung Maßnahme | Einsparung pro Jahr EUR 2.009 | Zeit Jahre a | mittl. Einsp pro Jahr EUR 5,0% | Investition EUR | Annu. EUR 3,1% | m.Einsp. zu Annuität Invest | Einsparung pro Jahr kWh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hausverwalterverträge EBN | 2.900 | 5 | 3.355 | | | | 29.000 |
| Spülkasten auf 6 l | 300 | 5 | 347 | | | | 0 |
| Tausch Zirkulationspumpe | 100 | 15 | 147 | 400 | 34 | 4,4 | 1.000 |
| Kesseltausch Verträge Leistung **** | 4.400 | 10 | 5.740 | 2.000 | 236 | 24,4 | 0 |
| Heizungsregelung | 900 | 10 | 1.174 | 5.000 | 589 | 2,0 | 13.000 |
| WW-Heizung BHKW | 5.700 | 10 | 7.436 | 35.000 | 4.124 | 1,8 | 0 |
| Leuchtentausch Halle | 3.700 | 10 | 4.827 | 23.000 | 2.710 | 1,8 | 19.000 |
| Sanierung Anlage Lüftung Sporthalle | 7.000 | 15 | 10.285 | 65.000 | 5.484 | 1,9 | 35.000 |
| Pumpentausch Heizraum ** | 500 | 15 | 735 | 5.000 | 422 | 1,7 | 2.000 |
| Hydraulische Abstimmung ** | 900 | 15 | 1.322 | 10.000 | 844 | 1,6 | 13.000 |
| Kesseltausch ** | 3.000 | 15 | 4.408 | 40.000 | 3.375 | 1,3 | 43.000 |
| Warmwasserbereiter Solaranlage * | 700 | 15 | 1.028 | 10.000 | 844 | 1,2 | 10.000 |
| Sanierung Anlagen 2-6 Lüftung Nebenräume | 1.200 | 15 | 1.763 | 30.000 | 2.531 | 0,7 | 6.000 |
| Leuchtentausch Nebenräume/Tageslicht *** | 500 | 10 | 652 | 19.000 | 2.239 | 0,3 | 2.000 |
| Fenstertausch | 7.600 | 40 | 19.868 | 522.000 | 22.949 | 0,9 | 108.000 |
| Wärmedämmung Aussenwand | 2.700 | 40 | 7.058 | 190.000 | 8.353 | 0,8 | 39.000 |
| Dachdämmung | 2.800 | 40 | 7.320 | 229.000 | 10.068 | 0,7 | 40.000 |

* alternativ zu BHKW
** ist sinnvoll in Kombination mit Regelung und Sanierung der Heizungsanlage
*** lange Amortisation, aber sinnvoll mit Leuchtentausch Halle
**** Achtung z.Z. ändern sich die Tarife der Mainova

Die installierte Kesselleistung von 740 kW führt zu **584** Benutzungsstunden
Dieser Wert ist deutlich zu niedrig. (Der Richtwert beträgt 1500- 2000h).
Der Stromverbrauch liegt bei rund 140.000 kWh im Jahr. Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für Strom von **37** kWh/$m^2$*a.

Die installierte Leistung von 133 kW führt zu **1072** Benutzungsstunden.
(Der Richtwert beträgt 2000h)

Die energetischen Untersuchungen ergeben bauphysikalische und anlagentechnische Einsparpotentiale. Die Einzelmaßnahmen sind in der Tabelle 7 dargestellt.

Dabei sind die Prioritäten nach dem Quotienten mittlere Einsparung / Annuität der Investition sortiert. Je höher dieser Quotient, desto besser rechnet sich die Maßnahme bezogen auf das eingesetzte Kapital.
Es erfolgt zusätzlich eine Unterscheidung nach Sofortmaßnahmen, Sofortmaßnahmen aus den Instandhaltungshaushalt, Maßnahmen aus dem Investitionshaushalt (über 100.000.- €) und baulichen Maßnahmen. Bei dem letzten Paket und allen Maßnahmen mit einem Quotienten kleiner 1 ist die Maßnahme dann durchzuführen, wenn das Bauteil oder die Anlage im Rahmen von Reparaturmaßnahmen angefasst werden.

Sofortmaßnahmen:

Ohne größere Investitionskosten sind die Nutzerbeteilung EBN und die Umstellung der Spülkästen durchführbar. Der Tausch der Zirkulationspumpe ist aus hygienischen Gründen notwendig. Dies spart bereits über 3.000.- € pro Jahr.

Kurzfristig Geld sparen kann auch die Verriegelung der beiden Kessel gegeneinander. Dadurch wird die bei der Mainova angemeldete Leistung reduziert. Dies spart rund 4400.- € pro Jahr. Gleich Effekt kann auch durch die Umstellung auf die neuen, von der Leistung unabhängigen Tarife der Mainova erzielt werden.

Sofortmaßnahmen aus Instandhaltungshaushalt:

Im Bereich der Heizungsanlage sind die Verbesserung der Regelung (5.000.- €), der hydraulische Abgleich (5.000.- €), Kessel (40.000.- €)- und Pumpentausch (5000.-) sinnvoll. Diese Maßnahmen sind zwar auch einzeln durchzuführen, machen aber im Paket Sinn, da die Rüstzeiten dann kürzer werden. Die Investitionskosten betragen dann rund 60.000.- € und sparen dann rund 70.000 kWh Heizwärme im Wert von derzeit 5.000.- € pro Jahr.

Ein BHKW erfordert Investitionen von 40.000.- € und erzeugt neben der Wärme umweltverträglich Strom und spart damit rund 5.700.- € pro Jahr.
Diese Maßnahme kann allerdings nicht parallel zu einer Solaranlage dargestellt werden, die sich hier aufgrund des Wasserverbrauchs bereits nach 15 Jahren rechnen würde.

Der Leuchtentausch nur für die Halle erfordert rund 23.000.- € und amortisiert sich bereits nach 6 Jahren. Diese Maßnahme spart rund 19.000 kWh Strom pro Jahr.
Die Lichtsanierung der Nebenräume rechnet sich aufgrund der höheren spezifischen Investitionen wesentlich langfristiger, sollte aber im Rahmen einer Gesamtsanierung mit durchgeführt werden, um ein einheitliches Gesamtbild zu erzielen.

Investitionen bis zu 95 T€ erfordert die Sanierung der Lüftungsanlagen. Allerdings besteht hier das größte Einsparpotential für Strom von rund 35.000 kWh/a allein für die Lüftungsanlage Halle. In diesem Bereich amortisieren sich die Investitionskosten von 65.000.- € bereits nach 9 Jahren.

Maßnahmen aus Investitionshaushalt:
Keine, sofern die v.g. Maßnahmen nicht zu einem Gesamtpaket zusammengefasst werden.

Maßnahmen aus Baumaßnahmen:

Die höchsten Investitionen erfordern Maßnahmen an der Baupysik.

Hier hat der Fenstertausch Priorität, weil trotz der hohen Investitionskosten von mehr als 520 T€ hier die höchste Einsparung von 110.000 kWh Wärme erzielt wird und damit die kürzeste Rücklaufzeit.

Die Verbesserung der Dachdämmung sollte bei der nächsten Dachreparatur mit durchgeführt werden.
**Gleiches gilt für den Boden oder Teile desselben, wenn eine Fußbodensanierung stattfindet.**

Neben den Einzelmaßnahmen wurden Maßnahmenpakete untersucht. Dabei wurden die Gesamtkosten nach den Rechenmodellen der Stadt Frankfurt ermittelt.

Im Gegensatz zur statischen Betrachtung der Einzelmaßnahmen wird hier die Verzinsung der Investitionskosten (Bzw. günstige Kommunalkredite) und die Preissteigerung der Energiekosten berücksichtigt. Für die anlagentechnischen Teile liegen die Betrachtungszeiträume bei 10 - 15 Jahren, im Bereich der Bauphysik zwischen 25 und 40 Jahren.

Die Gesamtsanierung besteht aus folgenden Maßnahmen:

- Wärmeschutz für das Gebäude (Passivhausstandard) für alle Bauteile ohne Bodenplatte
- Verbesserung der Anlagentechnik Heizung (Kessel/Pumpentausch)
- Verbesserung der Anlagentechnik Lüftung
- Beleuchtungssanierung für Halle und Nebenräume

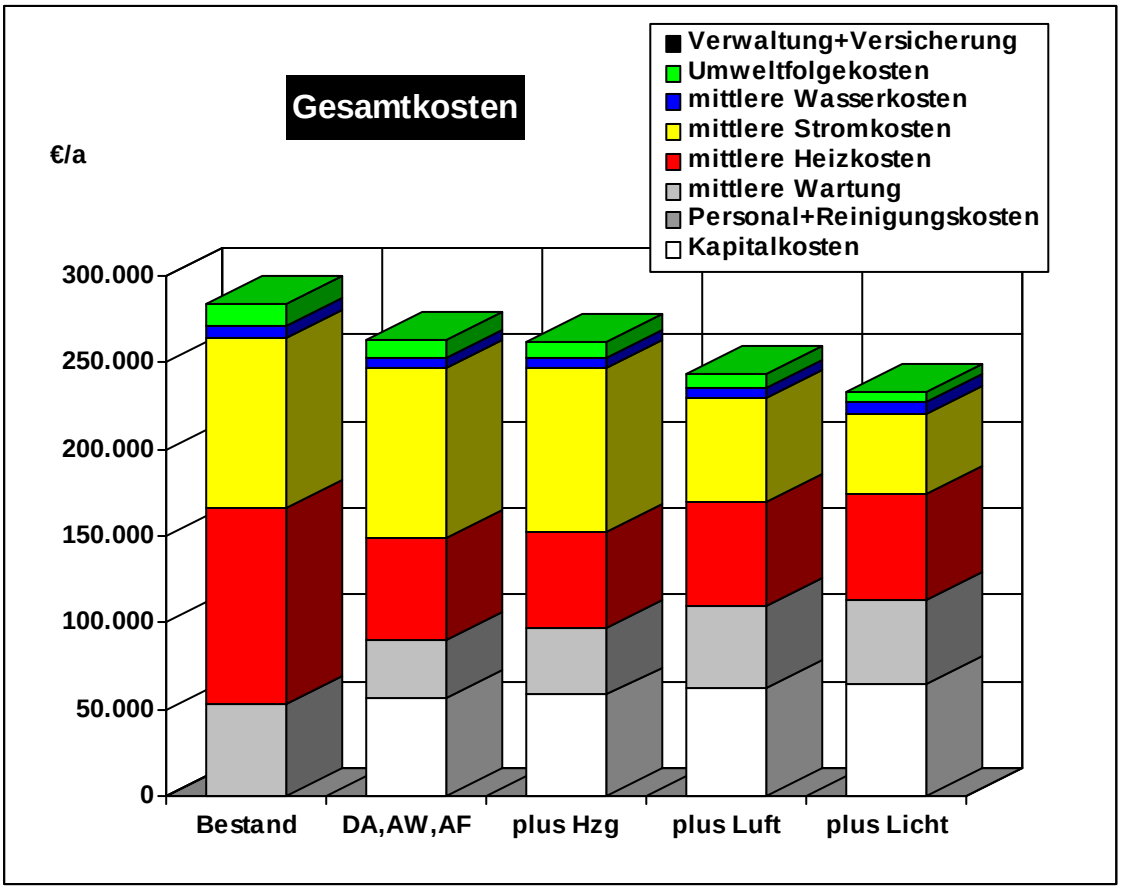
Bis auf die Bodensanierung (technisch sehr aufwendig) amortisiert sich die wärmeschutztechnische Verbesserung (Dach, Fenster, Aussenwand) im Betrachtungszeitraum, wenn die Bestandssituation trotz Wärmebrücken und ausreichendem Wärmeschutz ähnliche Wartungskosten wie bei der Sanierung aufweist.

Durch die Verbesserung der Bauphysik (mit Passivhauskomponenten) lassen sich rund 13.000 €/a an Energiekosten sparen. Die Investitionen betragen ca. 950.000 €. Mit allen Nebenkosten liegen die Investitionskosten bei rund 1,3 Mio €.

In der Anlagentechnik ergeben sich die größten Einsparpotentiale durch die Ertüchtigung der Heizung, der Lüftungsanlagen und der Beleuchtung der Sporthalle.
Diese Maßnahmen sparen rund 17.000.- pro Jahr. Diese Maßnahmen erfordern Investitionen in Höhe von rund 185.000.- € und amortisieren sich nach rund 10 Jahren.

Für die Gesamtsanierung sind rund 1,5 Mio € zu investieren. Bei einem Betrachtungs-zeitraum von 40 Jahren, einem Zinssatz von 3% und einer Preissteigerung von 5 % amortisieren sich die Maßnahmen nach Vollkostenrechnung innerhalb von rund 24 Jahren in der Baupysik und nach 17 Jahren als Gesamtpaket (Daten vgl. Anlage 12).
Die mittleren Gesamtkosten sind im Diagramm 9 dargestellt.

## Diagramm 9 Gesamtkosten der Vollsanierung




Durch die Maßnahmen sinkt der spezifische Stromverbrauch von 37 auf 20 kWh/m$^2$a. der Heizwärmebedarf sinkt von 113 auf rund 45 kWh/m$^2$a.
Damit sinken auch die $CO_2$- Emissionen erheblich.

Die Energiekosten reduzieren sich bei einer Gesamtinvestition von rund 1,5 Mio € bei heutigen Energiepreisen um rund 30.000 €/a, der Energieverbrauch sinkt von 570.000 kWh/a um rund 330.000 kWh/a auf rund 240.000 kWh.

Linter, den 21.6.09

Hans-Gerhard Kitzerow

## Anlage 1 Daten auf einen Blick

| | | Summe | FSH |
|---|---|---|---|
| Personen | - | 200 | 200 |
| Baujahr | - | | 1988 |
| Bauklasse/Typ | | | Massiv |
| EBF | $m^2$ | 3.843 | 3.843 |
| Volumen | $m^3$ | 26.400 | 26.400 |
| mittlere Raumhöhe | m | | |
| Wärme | kWh/a | 432.516 | 432.516 |
| davon Warmwasser | kWh/a | | |
| spez. Wärmeverbrauch | kWh/$m^2$a | | 113 |
| spez. WW-verbrauch | kWh/$m^2$a | | |
| Art | | | Gas |
| Kosten per a | €/a | 21.452 | 21.452 |
| Kosten pro Einheit | ct/kWh | 4,96 | 4,96 |
| | | | |
| Strom | kWh/a | 142.701 | 142.701 |
| spez. Stromverbrauch | kWh/$m^2$a | | 37,1 |
| Kosten per a | €/a | 27.496 | 27.496 |
| Kosten pro Einheit | ct/kWh | 19,27 | 19,27 |
| | | | |
| Wasser | $m^3$/a | 676 | 676 |
| | l/Pers,d | | 9 |
| Kosten per a | €/a | 2.609 | 2.609,00 |
| Kosten pro Einheit | €/$m^3$ | 3,86 | 3,86 |
| | | | |
| Energieverbrauch | | 575.217 | 575.217 |
| Kosten | | 51.557 | 51.557 |
| Kesselleistung | kW | | 740 |
| Baujahr | a | | *1988* |
| Leistung/$m^2$ | W/$m^2$ | | 193 |
| Vollbenutzungsstunden | h/a | | 584 |

## Anlage 2 Verbräuche und Kosten

**Kosten pro Jahr**

| | HT | NT | Leistung | Strom | Gas | Kanal | Wasser |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 133857 | 133857 | 185575 | Summe | Summe | Summe | Summe |
| | EUR/a | EUR/a | EUR/a | EUR/a | EUR/a | EUR/a | EUR/a |
| Mittelwert | | | | 27.496 | 21.452 | | 2.609 |
| Anteil an EK | | | | 53% | 42% | | 5% |
| 2001 | | | | 25.120 | 30.833 | | 2.703 |
| 2002 | | | | 27.574 | 16.236 | | 2.571 |
| 2003 | | | | 28.714 | 20.482 | | 2.496 |
| 2004 | | | | 30.362 | 17.329 | | 2.379 |
| 2005 | | | | 28.972 | 22.687 | | 2.512 |
| 2006 | | | | 28.057 | 24.721 | | 2.709 |
| 2007 | | | | 23.670 | 17.879 | | 2.893 |
| 2008 | | | | | | | |
| 2009 | | | | | | | |
| 2010 | | | | | | | |

**Verbräuche pro Jahr**

| | | | | 134 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HT | NT | Leistung | Strom | Gas | Kanal | Wasser |
| EBF | Summe | Summe | Summe | Summe | Summe | Summe | Summe |
| | | | | 37 | 113 | | 176 |
| 3.843 | kWh | kWh | kW | kWh | kWh | m3 | $m^3$ |
| Mittelwert | | | 0 | 142.701 | 432.516 | | 676 |
| 2001 | | | | 133.874 | 612.731 | | 695 |
| 2002 | | | | 144.172 | 355.281 | | 654 |
| 2003 | | | | 149.321 | 453.112 | | 649 |
| 2004 | | | | 164.768 | 370.728 | | 618 |
| 2005 | | | 0 | 154.470 | 504.602 | | 654 |
| 2006 | | | | 139.023 | 437.665 | | 705 |
| 2007 | | | | 113.278 | 293.493 | | 757 |
| 2008 | | | | | | | |
| 2009 | | | | | | | |
| 2010 | | | | | | | |

**spezifische Preise**

| | HT | NT | Leistung | Strom | Gas | Kanal | Wasser |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Summe | Summe | Summe | Summe | Summe | Summe | Summe |
| | ct/kWh | ct/kWh | EUR/kW,a | ct/kWh | ct/kWh | EUR/$m^3$ | EUR/$m^3$ |
| 2001 | | | | 18,76 | 5,03 | | 3,89 |
| 2002 | | | | 19,13 | 4,57 | | 3,93 |
| 2003 | | | | 19,23 | 4,52 | | 3,85 |
| 2004 | | | | 18,43 | 4,67 | | 3,85 |
| 2005 | | | | 18,76 | 4,50 | | 3,84 |
| 2006 | | | | 20,18 | 5,65 | | 3,84 |
| 2007 | | | | 20,90 | 6,09 | | 3,82 |
| 2008 | | | | | | | |
| 2009 | | | | | | | |
| 2010 | | | | | | | |

## Anlage 3 Berechnung LEH Bauteile

| Allgemeine Objektdaten | | | | | | | Wetterdaten | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Objektnummer | | | | | | | Globalstrahlung: | |
| Objektbezeichnung | **Fabrik Sporthalle** | | | | | | Normtemperatur: | 4 |
| Objektteil | | | | | | | Heizgrenze: °C | 15 |
| Straße, Nr. | | | | | | | Min. Außentemp. °C | -12 |
| PLZ Ort | | | | | | | Raumtemperatur °C | 18 |
| Energiebezugsfläche | 3843 | m² | | | | | Heizgradtage Kd/a* | 2940 |
| Variante | Basisvariante | | | | | | Heizperiode d/a* | 219 |
| Fabrik Sporthalle | | | | | | | | |
| Transmission | Fläche | u-Wert | Mind.-Faktor | HGT*24/1000 | Verlust | Verlust/EBF | | |
| | m² | W/m²K | - | kKh/a* | kWh/a* | kWh/m²a* | | |
| Dach gegen außen Sporthalle | 2325 | 0,35 | 1 | 70,6 | 57410,8 | 14,9 | | |
| Dach gegen außen Verwaltung | 538 | 0,35 | 1 | 70,6 | 13282,5 | 3,5 | | |
| Oberste Geschoßdecke | | | 1 | 70,6 | 0,0 | 0,0 | | |
| Wand gegen außen Sporthalle | 976 | 0,55 | 1 | 70,6 | 37866,8 | 9,9 | | |
| Wand gegen außen Verwaltung | 608 | 0,55 | 1 | 70,6 | 23576,4 | 6,1 | | |
| Türen | 37 | 1 | 1 | 70,6 | 2604,1 | 0,7 | | |
| Boden gegen außen | 10 | 0,55 | 1 | 70,6 | 377,2 | 0,1 | | |
| Wand gegen Erdreich Verwaltung | 147 | 0,56 | 0,5 | 70,6 | 2904,2 | 0,8 | | |
| Wand gegen Keller oder Erdreich | | | 0,5 | 70,6 | 0,0 | 0,0 | | |
| Boden gegen Erdreich Sporthalle | 2325 | 0,87 | 0,5 | 70,6 | 71353,4 | 18,6 | | |
| Boden gegen Erdreich Verwaltung | 538 | 0,87 | 0,5 | 70,6 | 16508,2 | 4,3 | | |
| Fenster horizontal | | | 1 | 70,6 | 0,0 | 0,0 | | |
| Fenster Süd | 180 | 2,94 | 1 | 70,6 | 37237,3 | 9,7 | | |
| Fenster Ost | 344 | 2,4 | 1 | 70,6 | 58254,3 | 15,2 | | |
| Fenster West | 345 | 2,4 | 1 | 70,6 | 58474,5 | 15,2 | | |
| Fenster Nord | 1 | 2,7 | 1 | 70,6 | 243,9 | 0,1 | | |
| Summe Transmission | 8372 | m² | | | 380093,7 | 98,9 | | |
| | **Volumen** | **Luftwechsel** | **sp. Wärme** | **HGT*24/1000** | **Verlust** | **Verlust/EBF** | | |
| | m³ | 1/h | Wh/m³K | kKh/a* | kWh/a* | kWh/m²a* | | |
| Lüftung | 26431 | 0,35 | 0,33 | 70,6 | 215402,9 | 56,1 | | |
| Bruttonutzwärmebedarf Heizung | | (= Summe Transmission und Lüftung) | | | **595496,6** | **155,0** | | |
| | | | | | | | Anmerkung: | a* := Heizperiode |
| | **Personen** | **Stromverbrauch** | **Faktor fe** | **HT/365** | **Gewinn** | **Gewinn/EBF** | | |
| | P | kWh/Pa | - | - | kWh/a* | kWh/m²a* | | |
| Abwärme Elektrizität | 50 | 700 | 0,7 | 0,6 | 14700,0 | 3,8 | | |
| | **Personen** | **Wärmeabgabe** | **Aufenthalt** | **HT** | **Gewinn** | **Gewinn/EBF** | | |
| | P | W/P | h/d | d/a* | kWh/a* | kWh/m²a* | | |
| Abwärme Personen | 50 | 100 | 16 | 219 | 17520,0 | 4,6 | | |
| Solare Einstrahlung | **Fläche** | **g-Wert** | **fr x fb** | **Globalstrahl.** | **Gewinn** | **Gewinn/EBF** | | |
| | m² | - | - | kWh/m²a | kWh/a* | kWh/m²a | | |
| horiz. Fenster | 0 | 0,75 | 0,42 | 490 | 0,0 | 0,0 | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Süd-Fenster | 180 | 0,75 | 0,42 | 478 | 27027,8 | 7,0 |
| Ost-Fenster | 344 | 0,75 | 0,42 | 309 | 33483,2 | 8,7 |
| West-Fenster | 345 | 0,75 | 0,42 | 316 | 34371,2 | 8,9 |
| Nord-Fenster | 1 | 0,75 | 0,42 | 176 | 71,0 | 0,0 |
| Summe Strahlung | 870 m² | | | | 94953,2 | 24,7 |
| Gewinnfaktor | 0,94 | | | | | |
| Wärmegewinn | = Abwärme Elektrizität + Personen + Strahlung * Gewinnfaktor | | | | **119025,51** | 31,0 |
| | | | | | kWh/a* | kWh/m²a* |
| Heizwärmebedarf | = Bruttonutzwärmebedarf - Wärmegewinn | | | | **476471** | **124** |
| Grenz-/Zielwerte | | | | | | |
| Grenzwert Heizwärmbedarf | | | | | kWh/m²a* | 60 |
| Grenzwert erreicht ? | | | | | | **nein** |
| Zielwert Heizwärmbedarf | | | | | kWh/m²a* | |
| Zielwert erreicht ? | | | | | | **nein** |
| Wärmebedarf nach DIN 4701 | | | | | kW | **291,8** |

## Anlage 4 Installierte Beleuchtung

| Bauteil | | | | Fläche | Leuchten | Leucht-mittel | Leucht-mittel | Vorschalt-gerät | Leuchten-leistung | Gesamt-leistung | spez. Leistung | Bh | Verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Geschoss | Länge | Breite | m² | Stk | Anzahl | W | W | W | W | W/m² | h | kWh/a |
| | | | | **3843** | **416** | | | | | **54773** | **14,3** | **809,1** | **44316** |
| | KG | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Flur | 1,30 | 4,4 | 5,72 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 24,8 | 500 | 71 |
| 2 | Flur Heizzentrale | 4,7 | 1,25 | 5,88 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 12,1 | 200 | 14 |
| 3 | Heizzentrale | 6,6 | 9,4 | 62,04 | 5 | 1 | 58 | 13 | 71 | 355 | 5,7 | 200 | 71 |
| 4 | Trafostation | 4,80 | 3,10 | 14,88 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 4,8 | 50 | 4 |
| 5 | Technik | 5,00 | 4,37 | 21,85 | 3 | 1 | 58 | 13 | 71 | 213 | 9,7 | 100 | 21 |
| 6 | Flur | 1,30 | 9,20 | 11,96 | 3 | 1 | 58 | 13 | 71 | 213 | 17,8 | 500 | 107 |
| 7 | Umkleideraum | 5,00 | 4,61 | 23,05 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 6,2 | 300 | 43 |
| 8 | Duschraum | 4,00 | 4,61 | 18,44 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 15,4 | 300 | 85 |
| 9 | WC | 1,40 | 4,61 | 6,45 | 2 | 1 | 17,5 | 13 | 30,5 | 61 | 9,5 | 300 | 18 |
| 10 | Umkleideraum | 4,80 | 4,61 | 22,13 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 6,4 | 300 | 43 |
| 11 | SR | 2,00 | 2,80 | 5,60 | 2 | 1 | 36,5 | 11 | 47,5 | 95 | 17,0 | 200 | 19 |
| | Treppenhaus | 3,10 | 2,60 | 8,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 500 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | EG | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Zugang Sportler | 5,90 | 4,55 | 26,85 | 3 | 1 | 15 | 1 | 16 | 48 | 1,8 | 300 | 14 |
| 13 | Flur | 1,70 | 4,55 | 7,74 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 9,2 | 300 | 21 |
| 14 | Flur | 1,35 | 10,55 | 14,24 | 3 | 1 | 58 | 13 | 71 | 213 | 15,0 | 500 | 107 |
| 15 | Umkleideraum | 5,3 | 4,33 | 22,95 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 12,4 | 300 | 85 |
| 16 | WC | 1,3 | 4,30 | 5,59 | 2 | 1 | 36,5 | 11 | 47,5 | 95 | 17,0 | 300 | 29 |
| 17 | Duschraum | 4,2 | 4,30 | 18,06 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 15,7 | 50 | 14 |
| 18 | Umkleideraum | 4,8 | 4,34 | 20,83 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 13,6 | 300 | 85 |
| 19 | SR | 2,00 | 3,20 | 6,40 | 2 | 1 | 36,5 | 11 | 47,5 | 95 | 14,8 | 200 | 19 |
| 20 | Cafeteria | 6,80 | 8,94 | 60,79 | 10 | 1 | 58 | 13 | 71 | 710 | 11,7 | 500 | 355 |
| 21 | Flur WC | 1,30 | 2,30 | 2,99 | 1 | 1 | 18 | 11 | 29 | 29 | 9,7 | 300 | 9 |
| 22 | WC herren | 3,50 | 1,70 | 5,95 | 1 | 1 | 18 | 11 | 29 | 29 | 4,9 | 300 | 9 |
| 23 | WC Damen | 0,95 | 3,70 | 3,52 | 1 | 1 | 18 | 11 | 29 | 29 | 8,3 | 300 | 9 |
| 24 | WC Personal | 1,25 | 3,70 | 4,63 | 1 | 1 | 18 | 11 | 29 | 29 | 6,3 | 300 | 9 |
| 25 | Teeküche | 3,05 | 4,60 | 14,03 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 10,1 | 500 | 71 |
| 26 | Gang | 9,20 | 2,30 | 21,16 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 13,4 | 500 | 142 |
| 27 | Sanitätsraum | 2,85 | 3,55 | 10,12 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 14,0 | 200 | 28 |
| 28 | Kraftraum | 7,00 | 6,90 | 48,30 | 5 | 2 | 58 | 13 | 142 | 710 | 14,7 | 500 | 355 |
| 29 | Geräte | 8,85 | 5,25 | 46,46 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 6,1 | 300 | 85 |
| 30 | Gang | 1,80 | 7,70 | 13,86 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 10,2 | 500 | 71 |
| 31 | Beh WC | 2,30 | 1,90 | 4,37 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 16,2 | 300 | 21 |
| 32 | Hallenwart | 1,55 | 4,75 | 7,36 | 1 | 2 | 58 | 13 | 142 | 142 | 19,3 | 500 | 71 |
| 33 | WC Damen | 6,70 | 2,90 | 19,43 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 14,6 | 300 | 85 |
| 34 | WC Herren | 6,70 | 2,70 | 18,09 | 3 | 1 | 58 | 13 | 71 | 213 | 11,8 | 300 | 64 |
| 35 | Garderobe | 6,00 | 2,60 | 15,60 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 9,1 | 300 | 43 |
| 36 | Flur/Lager | 3,80 | 6,70 | 25,46 | 3 | 1 | 18 | 3 | 21 | 63 | 2,5 | 500 | 32 |
| 37 | Kasse | 5,00 | 1,52 | 7,60 | 1 | 1 | 18 | 3 | 21 | 21 | 2,8 | 500 | 11 |
| 38 | Windfang | 5,10 | 4,10 | 20,91 | 6 | 1 | 18 | 3 | 21 | 126 | 6,0 | 500 | 63 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Treppenhaus | 2,40 | 4,37 | 10,49 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 6,8 | 500 | 36 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Sporthalle | Sporthalle | 80,50 | 30,00 | 2415 | 180 | 3 | 58 | 13 | 213 | 38340 | 15,9 | 1000 | 38340 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.OG | | | | | | | | | | | | |
| | Treppenhaus | 2,40 | 4,37 | 10,49 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 13,5 | 500 | 71 |
| 39 | Abstellraum | 2,00 | 4,37 | 8,74 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 8,1 | 100 | 7 |
| 40 | Gang | 2,60 | 5,70 | 14,82 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 9,6 | 500 | 71 |
| 41 | Gang | 1,40 | 10,50 | 14,70 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 9,7 | 500 | 71 |
| 42 | Umkleideraum | 5,50 | 4,43 | 24,37 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 11,7 | 300 | 85 |
| 43 | Duschraum | 4,30 | 4,51 | 19,39 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 14,6 | 100 | 28 |
| 44 | WC | 1,20 | 4,51 | 5,41 | 1 | 1 | 18 | 11 | 29 | 29 | 5,4 | 200 | 6 |
| 45 | Umkeideraum | 5,20 | 4,68 | 24,34 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 11,7 | 300 | 85 |
| 46 | SR | 2,05 | 3,15 | 6,46 | 2 | 1 | 38 | 13 | 51 | 102 | 15,8 | 200 | 20 |
| 47 | Flur | 9,20 | 1,42 | 13,06 | 3 | 1 | 58 | 13 | 71 | 213 | 16,3 | 500 | 107 |
| 48 | Umkleideraum | 5,20 | 4,58 | 23,82 | 3 | 1 | 58 | 13 | 71 | 213 | 8,9 | 300 | 64 |
| 49 | Duschraum | 5,00 | 4,50 | 22,50 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 12,6 | 100 | 28 |
| 50 | WC | 1,25 | 4,30 | 5,38 | 18 | 1 | 18 | 11 | 29 | 522 | 97,1 | 200 | 104 |
| 51 | Umkleideraum | 5,20 | 4,69 | 24,39 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 11,6 | 300 | 85 |
| 52 | SR | 2,05 | 3,15 | 6,46 | 2 | 1 | 38 | 13 | 51 | 102 | 15,8 | 200 | 20 |
| 53 | Flur | 1,40 | 15,50 | 21,70 | 4 | 1 | 58 | 13 | 71 | 284 | 13,1 | 500 | 142 |
| 54 | Klimazentrale | 8,90 | 14,90 | 132,61 | 14 | 1 | 58 | 13 | 71 | 994 | 7,5 | 200 | 199 |
| 55 | Flur | 3,7 | 1,50 | 5,55 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 12,8 | 500 | 36 |
| 56 | Technik | 3,70 | 2,70 | 9,99 | 1 | 2 | 58 | 13 | 142 | 142 | 14,2 | 200 | 28 |
| 57 | Regie | 3,70 | 4,30 | 15,91 | 2 | 2 | 58 | 13 | 142 | 284 | 17,9 | 300 | 85 |
| 58 | Schulungsraum | 7,35 | 4,10 | 30,14 | 6 | 2 | 58 | 13 | 142 | 852 | 28,3 | 500 | 426 |
| 59 | Konferenzraum | 7,35 | 4,10 | 30,14 | 6 | 2 | 58 | 13 | 142 | 852 | 28,3 | 700 | 596 |
| 60 | Büro I | 3,59 | 5,32 | 19,10 | 2 | 2 | 58 | 13 | 142 | 284 | 14,9 | 700 | 199 |
| 61 | Büro II | 3,69 | 5,32 | 19,63 | 2 | 2 | 58 | 13 | 142 | 284 | 14,5 | 700 | 199 |
| 62 | Küche/WC | 1,40 | 4,60 | 6,44 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 11,0 | 200 | 14 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 2.OG | | | | | | | | | | | | |
| 63 | Gang | 1,70 | 1,75 | 2,98 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 23,9 | 300 | 21 |
| 64 | Flur | 14,60 | 1,83 | 26,72 | 3 | 1 | 58 | 13 | 71 | 213 | 8,0 | 300 | 64 |
| 65 | Raum | 5,00 | 4,44 | 22,20 | 8 | 1 | 58 | 13 | 71 | 568 | 25,6 | 300 | 170 |
| 66 | Raum | 5,20 | 4,51 | 23,45 | 8 | 1 | 58 | 13 | 71 | 568 | 24,2 | 300 | 170 |
| 67 | Raum | 3,65 | 4,68 | 17,08 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 8,3 | 300 | 43 |
| 68 | Küche | 2,18 | 3,00 | 6,54 | 1 | 1 | 58 | 13 | 71 | 71 | 10,9 | 300 | 21 |
| 69 | Dusche | 1,30 | 3,00 | 3,90 | 1 | 1 | 15 | 1 | 16 | 16 | 4,1 | 100 | 2 |
| 70 | Flur | 1,83 | 8,90 | 16,29 | 3 | 1 | 60 | 0 | 60 | 180 | 11,1 | 300 | 54 |
| | Treppenhaus | 2,68 | 4,37 | 11,71 | 2 | 1 | 58 | 13 | 71 | 142 | 12,1 | 300 | 43 |
| 71 | Loggia | 2,68 | 4,37 | 11,71 | 1 | 1 | 60 | 0 | 60 | 60 | 5,1 | 300 | 18 |
| 72 | Zimmer | 5,30 | 4,37 | 23,16 | 1 | 1 | 60 | 0 | 60 | 60 | 2,6 | 500 | 30 |
| 73 | Zimmer | 5,30 | 4,44 | 23,53 | 1 | 1 | 60 | 0 | 60 | 60 | 2,5 | 500 | 30 |
| 74 | Zimmer | 3,30 | 4,68 | 15,44 | 1 | 1 | 60 | 0 | 60 | 60 | 3,9 | 500 | 30 |
| 75 | Küche | 2,3 | 3,33 | 7,66 | 1 | 1 | 60 | 0 | 60 | 60 | 7,8 | 500 | 30 |
| 76 | Bad | 1,4 | 3,33 | 4,66 | 1 | 1 | 60 | 0 | 60 | 60 | 12,9 | 300 | 18 |
| 77 | Flur | 3,5 | 1,7 | 5,95 | 1 | 1 | 60 | 0 | 60 | 60 | 10,1 | 300 | 18 |

## Anlage 5 Vollkosten Wärmeschutz (Passivhausstandard)

# 1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.** | **Allgemeine Daten** | | | | | | |
| A1 | Liegenschaftsbezeichnung | **Fabriksporthalle** | | | | A2 KStB. | |
| A3 | Gebäudebezeichnung | | | | | A4 Str.-Nr. | |
| A5 | Straße | | | | | A6 Haus-Nr. | |
| A7 | Betrachtungszeitraum | 40 | a | A8 | Währung | | € |
| A9 | Kapitalzins* | 3,0% | | A10 | Annuitätsfaktor | | 0,043 |
| A11 | Preissteigerung | 5% | | A12 | Mittelwertfaktor | | 2,63 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **B.** | **Varianten** | **Bezeichnung** | |
| B0 | **Bestand** | **Ist-Zustand** | |
| B1 | **Sanierung** | **Dämmung Dach und Wand, Fenster** | |
| B2 | **Variante 3** | | |
| B3 | **Variante 4** | | |
| B4 | **Variante 5** | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.** | **Kenngrößen** | **Bestand** | **Sanierung** | **Variante 3** | **Variante 4** | **Variante 5** | |
| C1 | Bezugsfläche (NGF) | 3.724 | 3.724 | | | | m² |
| C2 | Personenzahl | 50 | 50 | | | | P |
| C3 | spez. Heizwärmebedarf | 125 | 74 | | | | kWh/m²a |
| C4 | Heizzahl Kessel+Verteilung | 83% | 89% | | | | % |
| C5 | spez. Strombezug | 35 | 38 | | | | kWh/m²a |
| C6 | spez. CO2-Emissionen | 63 | 49 | | | | kg/m²a |
| C7 | spez. Trinkwasserbezug | 12,67 | 12,67 | | | | m³/P a |
| **D.** | **Kapitalkosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| D1 | Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 1.295.574 | | | | € |
| D2 | Zuschüsse/Erlöse | | | | | | € |
| D3 | Eigenkapitaleinsatz | 0 | 1.295.574 | | | | € |
| D4 | **Kapitalkosten** | **0** | **56.050** | | | | €/a |
| D5 | **spez. Kapitalkosten** | **0** | **15** | | | | €/m²a |
| **E.** | **mittl. Betriebskosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| E1 | Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 | Wartung+Instandhaltung | 15.000 | 13.129 | | | | €/a |
| E3 | Heizkosten | 43.761 | 22.354 | | | | €/a |
| E4 | Stromkosten | 28.681 | 28.262 | | | | €/a |
| E5 | Wasserkosten | 2.391 | 2.391 | | | | €/a |
| E6 | Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 | **heutige Betriebskosten** | **89.833** | **66.136** | | | | €/a |
| E8 | **mittl. Betriebskosten** | **236.305** | **173.970** | | | | €/a |
| E9 | **spez. Betriebskosten** | **63** | **47** | | | | €/m²a |
| **F.** | **Umweltfolgekosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| F1 | CO2-Emissionen (50 €/to) | 11.652 | 9.031 | | | | €/a |
| F2 | Trinkwasser (1 €/m³) | 634 | 634 | | | | €/a |
| F3 | **Umweltfolgekosten** | **12.286** | **9.665** | | | | €/a |
| F4 | **spez. Umweltfolgekost.** | **3** | **3** | | | | €/m²a |
| **G.** | **Gesamtkosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| G1 | **Gesamtkosten** | **248.591** | **239.685** | | | | €/a |
| G2 | **spez. Gesamtkosten** | **67** | **64** | | | | €/m²a |
| G2 | **Amortisationszeit (Basis: Variante 1)** | | **30,9** | | | | a |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

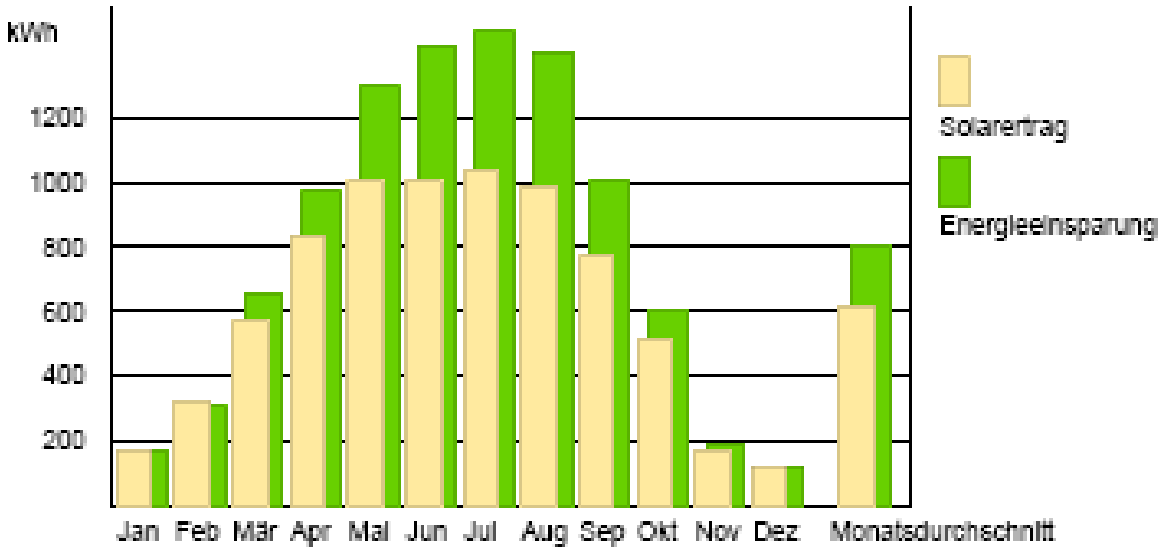
* aktuelle Kreditzinsen unter: http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.pdf

## Anlage 6 Simulation Thermische Solaranlage WW

**GetSolar 8.1 - Öko-Bilanz -**

| | | |
|---|---|---|
| **Projekt:** | **Fabrik** | |
| **Standort:** | Frankfurt/Main | geogr. Breite: 50,1° |
| | 20,00 m² (10 stk) | **Buderus SKN 2.0** |
| **Neigung:** | 35,0° | Südabweichung: 35,0° |
| **Anlagentyp:** | **Brauchwarmwasserbereitung mit einem Speicher** | |
| **Wärmebedarf:** | 37,22 kWh/Tag = | 800 Liter/Tag von 10°C auf 50°C |
| **Konv. Energie:** | **Erdgas Brennwert-Kessel** | |
| | 1 m3 Gas = 10,0 kWh Nutzenergie und 1,9 kg CO2-Belastung | |
| **Nutzungsgrad:** | 103% / 85% / 70% | bei Betrieb in Winter / Frühjahr,Herbst / Sommer |
| | Winter bei unter 5°C, Sommer bei über 15°C mittlerer Lufttemperatur | |

| Monat | Solar-ertrag [kWh] | Energie-einsparung [kWh] | [m3 Gas] | CO2-einsparung [kg] |
|---|---|---|---|---|
| Januar: | 171,6 | 166,6 | 16,7 | 31,7 |
| Februar: | 324,3 | 314,9 | 31,5 | 59,8 |
| März: | 570,0 | 645,6 | 64,6 | 122,7 |
| April: | 829,5 | 975,9 | 97,6 | 185,4 |
| Mai: | 1009,3 | 1296,3 | 129,6 | 246,3 |
| Juni: | 997,8 | 1425,4 | 142,5 | 270,8 |
| Juli: | 1027,9 | 1468,5 | 146,8 | 279,0 |
| August: | 982,9 | 1404,2 | 140,4 | 266,8 |
| September: | 775,5 | 1009,3 | 100,9 | 191,8 |
| Oktober: | 512,7 | 603,2 | 60,3 | 114,6 |
| November: | 168,9 | 184,9 | 18,5 | 35,1 |
| Dezember: | 122,8 | 119,2 | 11,9 | 22,7 |
| Summe: | 7493,2 | 9614,0 | 961,4 | 1826,7 |



## Anlage 7 Sanitärobjekte

| KG | | WC | Dusche | Waschbecken | Urinal |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| Summe | | 23 | 28 | 25 | 5 |
| | | | | | |
| Duschraum | | | 6 | | |
| WC | | 2 | | 1 | |
| | | | | | |
| EG | | | | | |
| Cafeteria-WC | | 3 | | 3 | |
| Beh-WC | | 1 | | 1 | |
| Hallenwart | | | | 1 | |
| WC herren | | 4 | | 3 | 5 |
| WC Damen | | 5 | | 5 | |
| Duschraum | | | 6 | | |
| WC | | 2 | | 1 | |
| Sanitärraum | | | | 1 | |
| | | | | | |
| 1.OG | | | | | |
| Küche | | | | 1 | |
| SR (2x) | | | 2 | 2 | |
| Duschraum | | | 6 | | |
| WC | | 2 | | 1 | |
| Duschraum | | | 6 | | |
| WC | | 2 | | 1 | |
| | | | | | |
| 2.OG | | | | | |
| Küche (2x) | | | | 2 | |
| Bad | | 1 | 1 | 1 | |
| Dusche | | 1 | 1 | 1 | |

## Anlage 8 ZD Küchengeräte

| Verbraucher | Anzahl | kW | Leistung kW | Betreibsstunden h | Verbrauch kWh/a | Einzelleistung Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Summe | 21 | | 34,05 | | 3300 | |

| Verbraucher | Anzahl | kW | Leistung kW | Betreibsstunden h | Verbrauch kWh/a | Einzelleistung Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Summe | 19 | | 22,05 | | 2900 | |
| | | | | | | |
| Friteusen | 1 | 3 | 3 | | 0 | |
| Kochplatten | 4 | 1,6 | 6,4 | 100 | 640 | |
| Kippbratpfanne | 0 | | | | | |
| Warmhalteofen | 1 | 2,5 | 2,5 | | 0 | |
| Warmhalter | 0 | | 0 | | | |
| Mikrowelle | 1 | 1 | 1 | 30 | 30 | |
| Dämpfer | 0 | | 0 | | | |
| Dämpfer Juno | 0 | | 0 | | | |
| Wärmschrank | 0 | | 0 | | | |
| Hähnchengrill | 0 | | 0 | | | |
| Kreidelplatte | 0 | 7,5 | 0 | | | |
| Lichtbänder | 0 | 0,12 | 0 | | | |
| Kaffeemaschine | 6 | 1,5 | 9 | 70 | 630 | |
| Absaughaube | 0 | | 0 | | | |
| Kühlagreggate | 2 | 0,045 | 0,09 | 8000 | 720 | |
| Lichtbänder | 0 | 0,12 | 0 | | | |
| Konvektomate | 0 | 2 | 0 | | | |
| Kühlschränke hoch | 2 | 0,03 | 0,06 | 8000 | 480 | |
| Menümobil | 0 | 3,4 | 0 | | | |

| Verbraucher | Anzahl | Einzel kW | Leistung kW | Betriebsstd. h | Verbrauch kWh/a | Einzelleistung Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Summe | 1 | | 10 | | 200 | |
| Spülmaschine | | | | | | |
| Durchlauf | 1 | 10 | 10 | 20 | 200 | Heizung |
| Klarspülmaschine | 0 | 1,9 | 0 | | | Motor |

## Anlage 9 Gesamtkosten Heizung

# 1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.** | **Allgemeine Daten** | | | | | | |
| A1 | Liegenschaftsbezeichnung | **Fabriksporthalle** | | | | A2 KStB. | |
| A3 | Gebäudebezeichnung | | | | | A4 Str.-Nr. | |
| A5 | Straße | | | | | A6 Haus-Nr. | |
| A7 | Betrachtungszeitraum | 10 | a | A8 | Währung | € | |
| A9 | Kapitalzins* | 3,0% | | A10 | Annuitätsfaktor | 0,117 | |
| A11 | Preissteigerung | 5% | | A12 | Mittelwertfaktor | 1,31 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.** | **Varianten** | **Bezeichnung** | | | | | |
| B0 | **Bestand** | **Ist-Zustand** | | | | | |
| B1 | **Sanierung** | **Kesseltausch** | | | | | |
| B2 | **Variante 3** | **Kesseltausch und Regelung inkl. hydr. Abgleich** | | | | | |
| B3 | **Variante 4** | | | | | | |
| B4 | **Variante 5** | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.** | **Kenngrößen** | **Bestand** | **Sanierung** | **Variante 3** | **Variante 4** | **Variante 5** | |
| C1 | Bezugsfläche (NGF) | 3.724 | 3.724 | 3.724 | 3.724 | 3.724 | m² |
| C2 | Personenzahl | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | P |
| C3 | spez. Heizwärmebedarf | 123 | 123 | 124 | 123 | 123 | kWh/m²a |
| C4 | Heizzahl Kessel+Verteilung | 82% | 95% | 95% | 89% | 89% | % |
| C5 | spez. Strombezug | 40 | 40 | 38 | 40 | 40 | kWh/m²a |
| C6 | spez. CO2-Emissionen | 66 | 61 | 60 | 63 | 63 | kg/m²a |
| C7 | spez. Trinkwasserbezug | 12,67 | 12,67 | 12,67 | 12,67 | 12,67 | m³/P a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.** | **Kapitalkosten** | **Bestand** | **Sanierung** | **Variante 3** | **Variante 4** | **Variante 5** | |
| D1 | Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 40.000 | 53.000 | 0 | 0 | € |
| D2 | Zuschüsse/Erlöse | | | | | | € |
| D3 | Eigenkapitaleinsatz | 0 | 40.000 | 53.000 | 0 | 0 | € |
| D4 | **Kapitalkosten** | **0** | **4.689** | **6.213** | **0** | **0** | €/a |
| D5 | **spez. Kapitalkosten** | **0** | **1** | **2** | **0** | **0** | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.** | **mittl. Betriebskosten** | **Bestand** | **Sanierung** | **Variante 3** | **Variante 4** | **Variante 5** | |
| E1 | Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 | Wartung+Instandhaltung | 0 | 1.200 | 1.590 | 0 | 0 | €/a |
| E3 | Heizkosten | 43.317 | 33.255 | 32.257 | 35.230 | 35.230 | €/a |
| E4 | Stromkosten | 37.175 | 37.175 | 35.803 | 37.175 | 37.175 | €/a |
| E5 | Wasserkosten | 2.391 | 2.391 | 2.391 | 2.391 | 2.391 | €/a |
| E6 | Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 | **heutige Betriebskosten** | **82.883** | **74.021** | **72.041** | **74.796** | **74.796** | €/a |
| E8 | **mittl. Betriebskosten** | **108.170** | **96.604** | **94.020** | **97.616** | **97.616** | €/a |
| E9 | **spez. Betriebskosten** | **29** | **26** | **25** | **26** | **26** | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.** | **Umweltfolgekosten** | **Bestand** | **Sanierung** | **Variante 3** | **Variante 4** | **Variante 5** | |
| F1 | CO2-Emissionen (50 €/to) | 12.232 | 11.320 | 11.088 | 11.733 | 11.733 | €/a |
| F2 | Trinkwasser (1 €/m³) | 634 | 634 | 634 | 634 | 634 | €/a |
| F3 | **Umweltfolgekosten** | **12.866** | **11.953** | **11.722** | **12.366** | **12.366** | €/a |
| F4 | **spez. Umweltfolgekost.** | **3** | **3** | **3** | **3** | **3** | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.** | **Gesamtkosten** | **Bestand** | **Sanierung** | **Variante 3** | **Variante 4** | **Variante 5** | |
| G1 | **Gesamtkosten** | **121.036** | **113.247** | **111.955** | **109.982** | **109.982** | €/a |
| G2 | **spez. Gesamtkosten** | **33** | **30** | **30** | **30** | **30** | €/m²a |
| G2 | **Amortisationszeit (Basis: Variante 1)** | | **3,4** | **3,7** | | | a |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

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

## Anlage 10 Gesamtkosten Lüftung

# 1. Gesamtkosten Lüftung

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

### A. Allgemeine Daten

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | Liegenschaftsbezeichnung | **Fabriksporthalle** | | | A2 KStB. | |
| A3 | Gebäudebezeichnung | | | | A4 Str.-Nr. | |
| A5 | Straße | | | | A6 Haus-Nr. | |
| A7 | Betrachtungszeitraum | 10 a | A8 | Währung | € | |
| A9 | Kapitalzins* | 3,0% | A10 | Annuitätsfaktor | 0,117 | |
| A11 | Preissteigerung | 5% | A12 | Mittelwertfaktor | 1,31 | |

### B. Varianten

| | | Bezeichnung |
|---|---|---|
| B0 | **Bestand** | **Ist-Zustand** |
| B1 | **Sanierung** | **Lüftungsanierung Sporthalle und Austausch Anlagen 2-6** |
| B2 | **Variante 3** | **Lüftungsaustausch Sporthalle und Austausch Anlagen 2-6** |
| B3 | **Variante 4** | |
| B4 | **Variante 5** | |

### C. Kenngrößen

| | | Bestand | Sanierung | Variante 3 | Variante 4 | Variante 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | Bezugsfläche (NGF) | 3.724 | 3.724 | 3.724 | | | m² |
| C2 | Personenzahl | 50 | 50 | 50 | | | P |
| C3 | spez. Heizwärmebedarf | 123 | 130 | 130 | | | kWh/m²a |
| C4 | Heizzahl Kessel+Verteilung | 89% | 89% | 89% | | | % |
| C5 | spez. Strombezug | 40 | 22 | 20 | | | kWh/m²a |
| C6 | spez. CO2-Emissionen | 63 | 52 | 52 | | | kg/m²a |
| C7 | spez. Trinkwasserbezug | 12,67 | 12,67 | 12,67 | | | m³/P a |

### D. Kapitalkosten

| | | Bestand | Sanierung | Variante 3 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D1 | Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 75.000 | 95.000 | | | € |
| D2 | Zuschüsse/Erlöse | | | | | | € |
| D3 | Eigenkapitaleinsatz | 0 | 75.000 | 95.000 | | | € |
| D4 | **Kapitalkosten** | **0** | **8.792** | **11.137** | | | €/a |
| D5 | **spez. Kapitalkosten** | **0** | **2** | **3** | | | €/m²a |

### E. mittl. Betriebskosten

| | | Bestand | Sanierung | Variante 3 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E1 | Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 | Wartung+Instandhaltung | 0 | 2.625 | 3.325 | | | €/a |
| E3 | Heizkosten | 35.229 | 36.759 | 36.880 | | | €/a |
| E4 | Stromkosten | 37.175 | 25.280 | 24.328 | | | €/a |
| E5 | Wasserkosten | 2.391 | 2.391 | 2.391 | | | €/a |
| E6 | Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 | **heutige Betriebskosten** | **74.796** | **67.055** | **66.923** | | | €/a |
| E8 | **mittl. Betriebskosten** | **97.615** | **87.513** | **87.341** | | | €/a |
| E9 | **spez. Betriebskosten** | **26** | **23** | **23** | | | €/m²a |

### F. Umweltfolgekosten

| | | Bestand | Sanierung | Variante 3 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F1 | CO2-Emissionen (50 €/to) | 11.733 | 9.761 | 9.608 | | | €/a |
| F2 | Trinkwasser (1 €/m³) | 634 | 634 | 634 | | | €/a |
| F3 | **Umweltfolgekosten** | **12.366** | **10.394** | **10.242** | | | €/a |
| F4 | **spez. Umweltfolgekost.** | **3** | **3** | **3** | | | €/m²a |

### G. Gesamtkosten

| | | Bestand | Sanierung | Variante 3 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | **Gesamtkosten** | **109.981** | **106.700** | **108.720** | | | €/a |
| G2 | **spez. Gesamtkosten** | **30** | **29** | **29** | | | €/m²a |
| G2 | **Amortisationszeit (Basis: Variante 1)** | | **7,0** | **8,8** | | | a |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

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

## Anlage 11 Gesamtkosten Beleuchtung

# 1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.** | **Allgemeine Daten** | | | | | | |
| A1 | Liegenschaftsbezeichnung | **Fabriksporthalle** | | | A2 KStB. | | |
| A3 | Gebäudebezeichnung | | | | A4 Str.-Nr. | | |
| A5 | Straße | | | | A6 Haus-Nr. | | |
| A7 | Betrachtungszeitraum | 10 | a | A8 Währung | | € | |
| A9 | Kapitalzins* | 3,0% | | A10 Annuitätsfaktor | | 0,117 | |
| A11 | Preissteigerung | 5% | | A12 Mittelwertfaktor | | 1,31 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.** | **Varianten** | **Bezeichnung** | | | | | |
| B0 | **Bestand** | **Ist-Zustand** | | | | | |
| B1 | **Sanierung** | **Beleuchtungsaustausch Sporthalle und Nebenräume** | | | | | |
| B2 | **Variante 3** | | | | | | |
| B3 | **Variante 4** | | | | | | |
| B4 | **Variante 5** | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.** | **Kenngrößen** | **Bestand** | **Sanierung** | **Variante 3** | **Variante 4** | **Variante 5** | |
| C1 | Bezugsfläche (NGF) | 3.724 | 3.724 | | | | m² |
| C2 | Personenzahl | 50 | 50 | | | | P |
| C3 | spez. Heizwärmebedarf | 123 | 125 | | | | kWh/m²a |
| C4 | Heizzahl Kessel+Verteilung | 89% | 89% | | | | % |
| C5 | spez. Strombezug | 40 | 34 | | | | kWh/m²a |
| C6 | spez. CO2-Emissionen | 63 | 59 | | | | kg/m²a |
| C7 | spez. Trinkwasserbezug | 12,67 | 12,67 | | | | m³/P a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.** | **Kapitalkosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| D1 | Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 41.500 | | | | € |
| D2 | Zuschüsse/Erlöse | | | | | | € |
| D3 | Eigenkapitaleinsatz | 0 | 41.500 | | | | € |
| D4 | **Kapitalkosten** | **0** | **4.865** | | | | €/a |
| D5 | **spez. Kapitalkosten** | **0** | **1** | | | | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.** | **mittl. Betriebskosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| E1 | Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 | Wartung+Instandhaltung | 0 | 623 | | | | €/a |
| E3 | Heizkosten | 35.229 | 35.742 | | | | €/a |
| E4 | Stromkosten | 37.175 | 31.195 | | | | €/a |
| E5 | Wasserkosten | 2.391 | 2.391 | | | | €/a |
| E6 | Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 | **heutige Betriebskosten** | **74.796** | **69.951** | | | | €/a |
| E8 | **mittl. Betriebskosten** | **97.615** | **91.292** | | | | €/a |
| E9 | **spez. Betriebskosten** | **26** | **25** | | | | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.** | **Umweltfolgekosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| F1 | CO2-Emissionen (50 €/to) | 11.733 | 11.063 | | | | €/a |
| F2 | Trinkwasser (1 €/m³) | 634 | 634 | | | | €/a |
| F3 | **Umweltfolgekosten** | **12.366** | **11.697** | | | | €/a |
| F4 | **spez. Umweltfolgekost.** | **3** | **3** | | | | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.** | **Gesamtkosten** | **Bestand** | **Sanierung** | | | | |
| G1 | **Gesamtkosten** | **109.981** | **107.854** | | | | €/a |
| G2 | **spez. Gesamtkosten** | **30** | **29** | | | | €/m²a |
| G2 | **Amortisationszeit (Basis: Variante 1)** | | **6,6** | | | | a |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

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

## Anlage 12 Kosten Gesamtkonzept

# 1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.** | **Allgemeine Daten** | | | | | | |
| A1 | Liegenschaftsbezeichnung | **Fabriksporthalle** | | | A2 KStB. | | |
| A3 | Gebäudebezeichnung | | | | A4 Str.-Nr. | | |
| A5 | Straße | | | | A6 Haus-Nr. | | |
| A7 | Betrachtungszeitraum | 40 | a | A8 Währung | | € | |
| A9 | Kapitalzins* | 3,0% | | A10 Annuitätsfaktor | | 0,043 | |
| A11 | Preissteigerung | 5% | | A12 Mittelwertfaktor | | 2,63 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.** | **Varianten** | **Bezeichnung** | | | | | |
| B0 | **Bestand** | **Ist-Zustand** | | | | | |
| B1 | **DA,AW,AF** | **Dämmung Dach und Wand, Fenster** | | | | | |
| B2 | **plus Hzg** | **Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung** | | | | | |
| B3 | **plus Luft** | **Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung, Lüftung** | | | | | |
| B4 | **plus Licht** | **Dämmung Dach, Wand, Fenster, Heizung, Lüftung, Licht** | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.** | **Kenngrößen** | **Bestand** | **DA,AW,AF** | **plus Hzg** | **plus Luft** | **plus Licht** | |
| C1 | Bezugsfläche (NGF) | 3.724 | 3.724 | 3.724 | 3.724 | 3.724 | m² |
| C2 | Personenzahl | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | P |
| C3 | spez. Heizwärmebedarf | 123 | 73 | 74 | 81 | 83 | kWh/m²a |
| C4 | Heizzahl Kessel+Verteilung | 82% | 89% | 95% | 95% | 95% | % |
| C5 | spez. Strombezug | 40 | 40 | 38 | 18 | 13 | kWh/m²a |
| C6 | spez. CO2-Emissionen | 66 | 50 | 47 | 35 | 32 | kg/m²a |
| C7 | spez. Trinkwasserbezug | 12,67 | 12,67 | 12,67 | 12,67 | 12,67 | m³/P a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.** | **Kapitalkosten** | **Bestand** | **DA,AW,AF** | **plus Hzg** | **plus Luft** | **plus Licht** | |
| D1 | Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 1.295.574 | 1.348.575 | 1.443.575 | 1.485.075 | € |
| D2 | Zuschüsse/Erlöse | | | | | | € |
| D3 | Eigenkapitaleinsatz | 0 | 1.295.574 | 1.348.575 | 1.443.575 | 1.485.075 | € |
| D4 | **Kapitalkosten** | **0** | **56.050** | **58.343** | **62.452** | **64.248** | €/a |
| D5 | **spez. Kapitalkosten** | **0** | **15** | **16** | **17** | **17** | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.** | **mittl. Betriebskosten** | **Bestand** | **DA,AW,AF** | **plus Hzg** | **plus Luft** | **plus Licht** | |
| E1 | Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 | Wartung+Instandhaltung | 20.000 | 13.129 | 14.719 | 18.044 | 18.666 | €/a |
| E3 | Heizkosten | 43.317 | 22.211 | 21.143 | 22.633 | 23.062 | €/a |
| E4 | Stromkosten | 37.175 | 37.175 | 35.688 | 22.841 | 17.656 | €/a |
| E5 | Wasserkosten | 2.391 | 2.391 | 2.391 | 2.391 | 2.391 | €/a |
| E6 | Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 | **heutige Betriebskosten** | **102.883** | **74.906** | **73.941** | **65.909** | **61.775** | €/a |
| E8 | **mittl. Betriebskosten** | **270.633** | **197.039** | **194.500** | **173.372** | **162.500** | €/a |
| E9 | **spez. Betriebskosten** | **73** | **53** | **52** | **47** | **44** | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.** | **Umweltfolgekosten** | **Bestand** | **DA,AW,AF** | **plus Hzg** | **plus Luft** | **plus Licht** | |
| F1 | CO2-Emissionen (50 €/to) | 12.232 | 9.236 | 8.725 | 6.568 | 5.972 | €/a |
| F2 | Trinkwasser (1 €/m³) | 634 | 634 | 634 | 634 | 634 | €/a |
| F3 | **Umweltfolgekosten** | **12.866** | **9.870** | **9.359** | **7.202** | **6.606** | €/a |
| F4 | **spez. Umweltfolgekost.** | **3** | **3** | **3** | **2** | **2** | €/m²a |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.** | **Gesamtkosten** | **Bestand** | **DA,AW,AF** | **plus Hzg** | **plus Luft** | **plus Licht** | |
| G1 | **Gesamtkosten** | **283.499** | **262.959** | **262.202** | **243.026** | **233.353** | €/a |
| G2 | **spez. Gesamtkosten** | **76** | **71** | **70** | **65** | **63** | €/m²a |
| G2 | **Amortisationszeit (Basis: Variante 1)** | | **24,0** | **24,0** | **18,5** | **16,7** | A |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

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