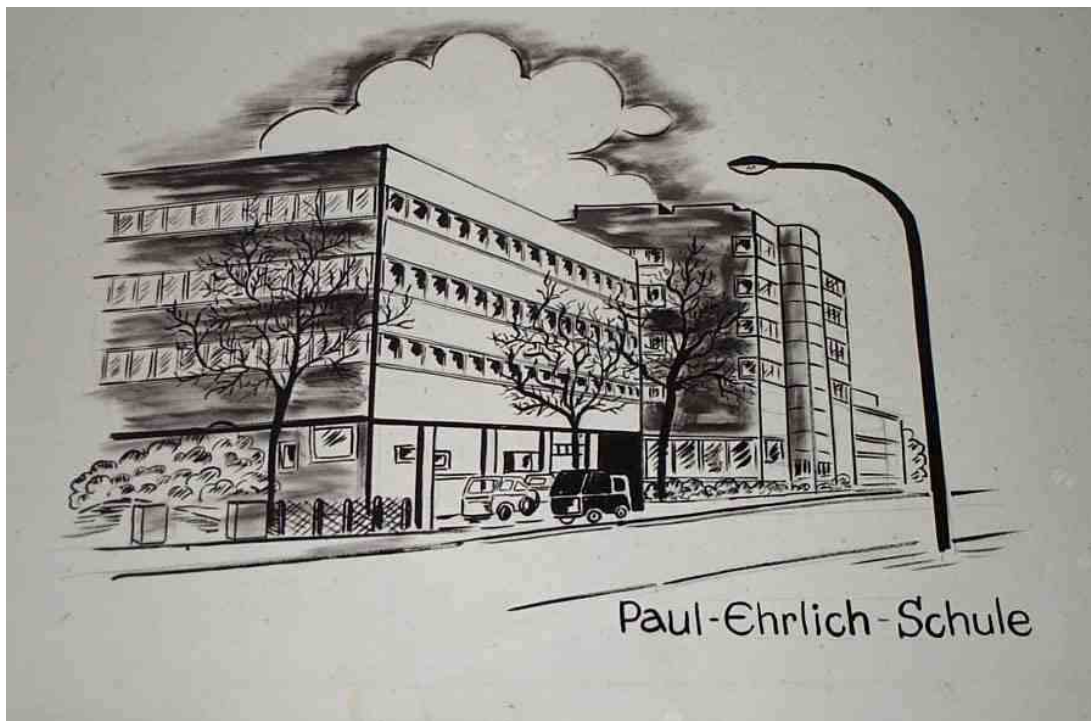




**Energiekonzept**  
**Paul-Ehrlich-Schule**  
Brünningstr. 2

4. 65929 Frankfurt



**Im Auftrag des**  
**Magistrats der Stadt Frankfurt**  
Dezember 2003



## Zusammenfassung

Die wichtigsten Daten der Paul-Ehrlich-Schule sind in [Tabelle 1](#) auf Seite 2 dargestellt. Das Gebäude wird als Berufsschule mit Fach- und Abendschule genutzt. Im Schulbetrieb sind bis zu 1500 Schüler und 50 Lehrer anwesend.

Die Energiebezugsfläche beträgt rund **10.200 m<sup>2</sup>** und das beheizte Volumen **33.000 m<sup>3</sup>**. Die Hüllfläche beträgt 15.000 m<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich ein A/V – Verhältnis von 0,46 m<sup>-1</sup>.

Der Stromverbrauch beträgt rund **1000 MWh/a**. Das entspricht einem spezifischen Verbrauch von **108 kWh/m<sup>2</sup>a**. Dies ist mehr als doppelt so hoch wie vergleichbare Kennwerte vorgeben (40 kWh/m<sup>2</sup>a).

Verursacht wird der hohe Stromverbrauch durch die Lüftungsanlagen und die Beleuchtung. Die Lüftungsanlagen bewirken - bei gleichzeitig hohen Pressungen (bis zu 1600 Pa) - im Durchschnitt Luftwechsel zwischen 3-4 h<sup>-1</sup> auch während der Ruhezeiten, wenn im Winter durchgeheizt werden muss. Vergleichbar sollten es 0,8 h<sup>-1</sup> während der Betriebs- und 0,2 h<sup>-1</sup> während der Ruhezeiten sein.

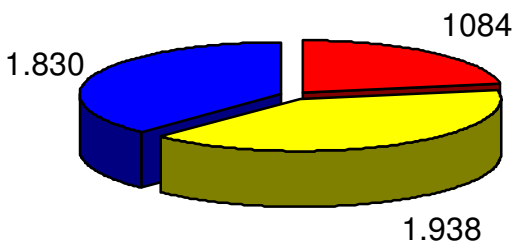
Zweitgrößter Stromverbraucher sind die Leuchtenanlagen, die überdimensioniert und technisch veraltet sind (klassische Vorschaltgeräte, alte Reflektortechnik). Bedingt durch die baulichen Gegebenheiten gibt es im Hauptgebäude außenlichtarme Innenzonen, die sowohl belüftet, als auch beleuchtet werden müssen.

Für Strom wurden im Lauf der letzten 5 Jahre im Durchschnitt 134.000 €/a ausgegeben.

Durch die neuen Rahmenverträge SÜWAG/Stadt Frankfurt wurden die Kosten ab 2002 für Strom auf 12,1 ct/kWh oder 125.000 €/a gesenkt.

Abbildung Z 1

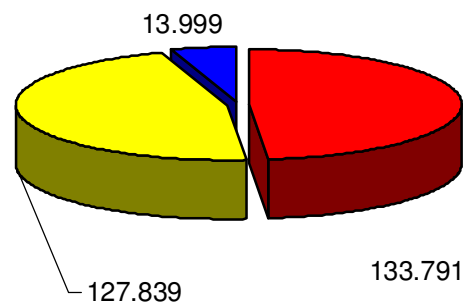
Verbrauchsaufteilung



- Strom Summe MWh/a
- Wärme Summe MWh/a
- Wasser Summe \*\*\* m<sup>3</sup>/a

Abbildung Z 2

Kostenaufteilung



- Strom Summe EUR/a
- Wärme Summe EUR/a
- Wasser Summe EUR/a

Der Wärmeverbrauch liegt bei **2000 MWh/a**. Das entspricht einem spezifischen Verbrauch von über **190 kWh/m<sup>2</sup>a** (Grenzwert 85 kWh/m<sup>2</sup>a). Ursachen für den hohen Verbrauch sind veraltete Bausubstanz mit einem hohen Wärmebrückenanteil und unzureichender Dämmung sowie erhebliche Lüftungsverluste durch Leckagen, insbesondere im Bereich der Fenster, einerseits, andererseits werden die Verluste auch mechanisch durch die alte Anlagentechnik der Lüftung, die auf hohe Luftwechselraten ausgelegt sind, betrieblich verursacht.

[Tabelle 1 Die wichtigsten Daten auf einen Blick \(Zusammenfassung\)](#)

|                                  |                |                                          |                             |                          |
|----------------------------------|----------------|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| <b>EnergiebezugsflächeEBF</b>    |                | <b>10.195m<sup>2</sup></b>               |                             |                          |
|                                  | V <sub>L</sub> | 33.156m <sup>3</sup>                     | <i>Kennwer-<br/>te</i>      |                          |
| A/V                              |                | 0,46m <sup>-1</sup>                      |                             |                          |
| Betriebszeit                     | (Regel) 6:00 - | 22:00                                    | 6 Tage, Sa eingeschränkt    |                          |
| Personen im Mittel               |                | 896                                      | bei 12 h                    | 11m <sup>2</sup> /P      |
| Personen max.                    |                | 1500                                     |                             | <b>20m<sup>2</sup>/P</b> |
| Personenstunden                  |                | 2.686.632Ph/a                            |                             |                          |
| Stromverbrauch                   |                | <b>1.105.723kWh/a</b>                    |                             |                          |
| Vollbenutzungsstunden            |                | <b>3.159h</b>                            | <b>2.000h</b>               |                          |
| spezifischer Stromverbrauch      |                | <b>108kWh/m<sup>2</sup>a</b>             | <b>40kWh/m<sup>2</sup>a</b> |                          |
| Elektrizitätsverbrauch           |                | <b>1.235kWh/(P,a)</b>                    | <b>200kWh/(P,a)</b>         |                          |
| Leistung installiert             |                | <b>633kW</b>                             |                             |                          |
| Leistung erreicht                |                | <b>416kW</b>                             |                             |                          |
| davon:                           |                |                                          |                             |                          |
| - Lüftung                        |                | <b>277kW</b>                             |                             |                          |
| spez. Leistung                   |                | <b>27W/m<sup>2</sup></b>                 |                             |                          |
| Luftmenge                        |                | <b>212.236m<sup>3</sup>/h</b>            | <b>6</b>                    | <b>h<sup>-1</sup></b>    |
| Energetisch Wirk. Luftmen-<br>ge | max.           | <b>125.620m<sup>3</sup>/h</b>            | <b>4</b>                    | <b>0,8h<sup>-1</sup></b> |
| - Beleuchtung                    |                | <b>234kW</b><br><b>23W/m<sup>2</sup></b> | <b>10W/m<sup>3</sup></b>    |                          |
| Kosten Strom                     |                | <b>133.791€/a</b>                        |                             |                          |
| Wärmeverbrauch                   |                | <b>1.937.500kWh/a</b>                    |                             |                          |
| Kennwert                         |                | <b>190kWh/m<sup>2</sup>a</b>             | <b>85kWh/m<sup>2</sup>a</b> |                          |
| Wärmeverbrauch                   |                | <b>2.163kWh/(P,a)</b>                    |                             |                          |
| Leistung Heizungsanlage          |                | 4.884kW                                  | <b>Ca 1000 kW</b>           | <b>nutzbar</b>           |
| spez. Leistung                   |                | 479W/m <sup>2</sup>                      | W/m <sup>2</sup>            |                          |
| Vollbenutzungsstunden            |                | <b>397h</b>                              | 362                         | <b>1.500h</b>            |
| Kosten Wärmeverbrauch            |                | <b>127.800€/a</b>                        |                             |                          |
| Wasserverbrauch                  | Wasser         | <b>2.288m<sup>3</sup>/a</b>              |                             |                          |
|                                  | Wasser         | <b>224l/m<sup>2</sup>a</b>               |                             |                          |
| Kennwert                         | Wasser         | <b>5l/P,d</b>                            | 10                          | <b>20l/P,d</b>           |
| Warmwasser-<br>verbrauch         | Warmwasser     | 327m <sup>3</sup> /a                     |                             |                          |
| Kennwert                         | Warmwasser     | <b>1l/P,d</b>                            | <b>15l/P,d</b>              |                          |
| Kosten Wasserverbrauch           |                | <b>13.999€/a</b>                         |                             |                          |

Für Wärme mussten im Durchschnitt der letzten 5 Jahre rund 127.000 €/a ausgegeben werden. Das entspricht im Durchschnitt 6,6 ct/kWh Wärme.

Alle ermittelten Kennzahlen für Strom und Wärme liegen oberhalb der Ziel- und Richtwerte der gängigen Empfehlungen, wie „LEH“, „LEE“ und „SIA“ sowie den gesetzlichen Vorgaben nach EnEV oder dem Vorläufer der WsVO. Auch die Standards des Hochbauamts der Stadt Frankfurt werden nicht eingehalten.

Der Wasserverbrauch liegt bei rund **2.300 m<sup>3</sup>** pro Jahr. Damit ergibt sich ein Kennwert von rund **5 l/Pers,d**. Gegenüber dem Vergleichswert für Schulen liegt die PES etwas niedriger. Die sanitären Anlagen haben einen zeittypischen 70er Jahre Standard (keine Spararmaturen, Stop Spülkästen etc.). Die jährlichen Kosten für Wasser liegen bei rund 14.000 €/a.

Insgesamt betragen die Verbrauchskosten (Strom, Wärme und Wasser) rund 280.000 €/a.

Durch vielfältige Maßnahmen im Bereich Organisation, Anlagentechnik und Bauphysik lassen sich mindestens 170.000 €/a einsparen. Gerade weil der Verbrauch so hoch ist, gibt es im Bereich der Bauphysik und der Lüftungs- und Beleuchtungsanlagen bei überschaubaren Investitionskosten erhebliche Einspareffekte mit teilweise sehr kurzen Return on Invest (ROI).

Als Schnellübersicht über die Maßnahmen empfiehlt sich [Tabelle 20 Maßnahmen und Einsparpotentiale](#), die zur besseren Übersicht in verkürzter Form auf S.4 f vorgezogen ist. Die Erläuterung der Maßnahmen findet sich unter Punkt 7 ab S.47 f. Diese Voruntersuchung führt zu folgenden Ergebnissen:

Bereits durch organisatorische Maßnahmen können Einsparungen von fast 20.000 €/a realisiert werden. Dies setzt allerdings die Mitwirkung der Hausverwalter voraus. Als Motivationsanreiz wäre die Einsparbeteiligung Nutzer (EBN) geeignet, die derzeit an der PES noch nicht eingeführt ist.

Die weiteren Maßnahmen bedeuten Investitionen in Anlagentechnik und Bausubstanz. Aus diesen Maßnahmen wurden Umsetzungsvarianten 2-5 entwickelt (Abb. Z3) **Es wird empfohlen, aus wirtschaftlichen Gründen die Variante 5 mit Umsetzung statische Heizung, Rückbau der Lüftungsanlagen, bauphysikalischen Maßnahmen und Beleuchtungssanierung umzusetzen.**

Bei den Bauphysikalischen Maßnahmen (7.2.1. ff) rechnen sich die Maßnahmen Wärmedämmung der Außenwände, sowie die Maßnahmen zur Dämmung der Geschosdecken und Böden zu angrenzenden Räumen mit 9 - 13 Jahren für bauphysikalische Maßnahmen sehr schnell, was auf den energetisch niedrigen Standard des Bestands zurückzuführen ist. Dach und Fenster liegen zwischen 42 und 32 Jahren, wobei bei den Fenstern der Reparaturbedarf und extrem hohen Lüftungsverluste durch Undichtigkeiten nicht berücksichtigt ist.

Bei den Maßnahmen zur Anlagentechnik rechnen sich die Beleuchtungsänderung (6-9 Jahre, 7.8.1.-7.8.3.) und fast alle Maßnahmen zur Lüftungstechnik relativ schnell. Bei den Maßnahmen zur Heizungstechnik sind die Umrüstung auf statische Heizkreise (7.3.2.5. 7Jahre) und der Austausch der Hauptvorlaufpumpe für die Fernwärmetauscher (7.6.1. ca. 6 Jahre) sowie der Fernwärmetauscher selbst (7.5.2. ca. 4 Jahre) als Einzelmaßnahmen sinnvoll.

Für einige Maßnahmen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Dazu gehören die Untersuchung der Verbesserung der Regelungstechnik (7.3.2.2.) sowie die Erstellung von Lastgängen für die Warmwasserverbräuche (7.10.2.1. f), um grundsätzliche Erkenntnisse über Nutzung zu gewinnen und weitergehende Maßnahmen, z.B. Solarenergienutzung planen und bewerten zu können.

**Maßnahmen und Einsparpotentiale für PES****Tabelle 20, verkürzt**, *kursiv bedeutet Alternativvorschlag!*

ROI ohne Zinsen und Preissteigerungen!

Durchschnittliche Kosten pro kWh Strom aus Abrechnung 12,34ct/kWh

Durchschnittliche Kosten pro kWh Fernwärme 6,6ct/kWh

Durchschnittliche Kosten pro m³ Wasser 4,25€/m³

Durchschnittliche Kosten pro m³ Warmwasser

Legende:

o = Organisation

a = Anlagentechnik

b = Bauphysik

|                |                                              |                              | Tab.Z<br>4            | Art | Cash<br>pro Jahr<br>EUR | Einspa-<br>rung<br>pro Jahr<br>kWh | Investiti-<br>on<br>EUR | ROI<br>Jahre<br>a |
|----------------|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Maßnahme       | Beschreibung                                 | Verbrauch<br>pro Jahr<br>kWh | in<br>Variante<br>Nr. |     |                         |                                    |                         |                   |
| Typ Nr.        |                                              |                              |                       |     |                         |                                    |                         |                   |
|                |                                              | 3.043.200                    |                       |     | -178.000                | -2.128.000                         | 2.201.000               |                   |
| Summe          | Organisation                                 |                              |                       | o   | -18.000                 | -175.000                           | 3.500                   | 0,2               |
|                | Anlagentechnik                               |                              |                       | a   | -82.000                 | -774.000                           | 625.505                 | 9,2               |
|                | Bauphysik                                    |                              |                       | b   | -78.000                 | -1.179.000                         | 1.580.821               | 20,3              |
| Verträge       |                                              |                              |                       |     |                         |                                    |                         |                   |
| 7.1.1.         | Stromverträge                                | 133.791€                     |                       | o   |                         |                                    |                         |                   |
| 7.1.2.         | Wärmeverträge                                | 127.800€                     |                       | o   |                         |                                    |                         |                   |
| 7.1.3.         | Wasserverträge                               | 13.999€                      |                       | o   |                         |                                    |                         |                   |
| 7.1.4.         | Hausverwalterverträge                        | 280.000€                     |                       | o   | -14.000                 | -152.200                           | 2.000                   | 0,1               |
| Bauphysik      |                                              |                              |                       |     |                         |                                    |                         |                   |
| 7.2.1.         | Fenster in ABC (nur<br>Transmission)         | 554.758kW<br>h               | 4                     | b   | -17.400                 | -263.000                           | 560.700                 | 32,3              |
| 7.2.2.         | WDVS Fassade ABC                             | 793.155kW<br>h               | 4                     | b   | -39.200                 | -593.400                           | 516.200                 | 13,2              |
| 7.2.3.         | Dachdämmung ABC                              | 216.170kW<br>h               | 4                     | b   | -8.800                  | -134.100                           | 371.300                 | 42,0              |
| 7.2.4.         | Geschossdecke AB                             | 25.816kW<br>h                | 4                     | b   | -1.500                  | -22.100                            | 4.200                   | 2,9               |
| 7.2.5.         | Boden zur Tiefgarage C                       | 54.531kW<br>h                | 4                     | b   | -2.700                  | -41.400                            | 23.700                  | 8,7               |
| 7.2.6.         | Boden nach Außen Bauteil<br>A und B          | 77.070kW<br>h                | 4                     | b   | -3.900                  | -59.300                            | 67.000                  | 17,1              |
| 7.2.7.         | Boden zum Keller A und B                     | 86.727kW<br>h                | 4                     | b   | -4.300                  | -65.900                            | 37.700                  | 8,7               |
| HT Beleuchtung |                                              |                              |                       |     |                         |                                    |                         |                   |
| 7.8.1.         | Beleuchtungsänderung<br>Bauteil AB           | 290.666S                     | 5                     | a   | -24.300                 | -197.000                           | 138.618                 | 5,7               |
| 7.8.2.         | Beleuchtungsänderung<br>Bauteil C            | 32.448S                      |                       | a   | -1.600                  | -13.000                            | 12.000                  | 7,5               |
| 7.8.2.         | Beleuchtung Sporthalle                       | 27.264kW<br>h<br>Ist         |                       | a   | -1.500                  | -12.500                            | 12.800                  | 8,4               |
| HT Lüftung     |                                              | 637.193                      |                       |     |                         |                                    |                         |                   |
| 7.4.1.         | Verringerung der Laufzeiten<br>Bauteil A     | 222.542kW<br>h               | 2                     | o   | -2.700                  | -22.300                            | 1.500                   | 0,5               |
| 7.4.2.         | Verringerung Luftversorgung<br>Bauteil A     | 96.758kW<br>h                | 2                     | a   | -8.400                  | -67.700                            | 138.847                 | 16,6              |
| 7.4.3.         | Verringerung der Luftver-<br>sorgung Innen A | 44.508kW<br>h                | 2                     | a   | -3.700                  | -29.800                            | 7.200                   | 2,0               |
| 7.4.4.         | Einzelraumversorgung<br>Bauteil A            | 178.034kW<br>h               |                       |     | -16.500                 | -133.500                           | 342.000                 | 20,8              |



| Maßnahme<br>Typ    | Beschreibung<br>Nr.             | Verbrauch<br>pro Jahr<br>kWh | Tab.Z4<br>in<br>Variante<br>Nr. | Art | Cash<br>pro Jahr<br>EUR   | Einsparung<br>pro Jahr<br>kWh | Investition<br>EUR | ROI<br>Jahre<br>a |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----|---------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| 7.4.5.             | Verringerung Luftmenge B        | 136.240kWh                   | 2                               | a   | -11.800                   | -95.400                       | 154.671            | 13,1              |
| 7.4.6.             | Luftversorgung Innen B          | 75.204kWh                    | 2                               | a   | -6.200                    | -50.400                       | 9.600              | 1,5               |
| 7.4.7.             | Einzelraumv. Bauteil B          | 300.817kWh                   |                                 |     | -27.800                   | -225.600                      | 616.650            | 22,2              |
| 7.4.8.1.           | Ventilator Anlage 8/9           | 158500kWh                    |                                 | a   | -4.900                    | -39.600                       | 50.237             | 10,3              |
| 7.4.8.2.           | WRG Anlage 1,2,11               | 60.000m <sup>3</sup>         |                                 | a   | -13.500                   | -204.900                      | 60.000             | 4,4               |
| 7.4.8.3.           | WRG Anlage 16-19                | 11.500m <sup>3</sup>         |                                 | a   | -2.500                    | -38.000                       | 17.250             | 6,9               |
| HT                 | Heizung                         |                              |                                 |     |                           |                               |                    |                   |
| 7.3.2.             | Heizungsregelung AB             |                              |                                 |     |                           |                               |                    |                   |
| 7.3.2.2.           | Temperaturfühler korrigieren    | H                            |                                 |     | Komfort, keine Einsparung |                               |                    |                   |
| 7.3.2.5.           | Nachrüst. Samsung Regelg.       | H                            |                                 | a   | nicht untersucht          |                               |                    |                   |
| 7.5.1.             | Statischen Heizkreis nachrüsten | 438.400kWh                   | 3                               |     | -28.900                   | -438.400                      | 370.000            | 7,0               |
| 7.5.1.             | dito Strom im Winter            | 191.540kWh                   | 3                               |     | -23.600                   | -191.500                      |                    |                   |
| 7.5.2.             | Wärmetauscher                   | 2.000.000kWh                 |                                 |     | -6.600                    | -100.000                      | 25.000             | 3,8               |
| 7.6.1.             | Hauptvorlaufpumpen austauschen  | 31500                        |                                 | a   | -1.900                    | -15.800                       | 12.000             | 6,2               |
| 7.11.              | Solaranlage / Boiler verlegen   | 19053kWh                     |                                 | a   | -1.200                    | -9.500                        | 15.000             | 12,8              |
| HT                 | Klima                           | K                            |                                 |     |                           |                               |                    |                   |
| 7.7.2.             | Kälteanlage                     | 19809kWh                     |                                 |     | -2.400                    | -19.800                       |                    |                   |
| HT                 | Diverse Haustechnik             | DT                           |                                 |     |                           |                               |                    |                   |
| Sonstige Maßnahmen |                                 |                              |                                 |     |                           |                               |                    |                   |
| 7.10.1.2.          | Spülkasten auf 6 l              | 1.144m <sup>3</sup>          |                                 | o   | -1.700                    | -400                          |                    |                   |
| 7.12.1.            | Raumplanung Fachschule          |                              |                                 | o   |                           |                               |                    |                   |

Von der Vielzahl der Maßnahmen aus Tabelle 20 wurde nach dem Zwischengespräch eine Festlegung auf Schwerpunkte vorgenommen, die im weiteren (ab Kapitel 8) mittels Vollkostenrechnung nach den Vorgaben des HBA intensiver untersucht wurden. Dazu gehören:

- Verbesserung der Anlagentechnik Lüftung (Variante 2/3)
- Wärmeschutz für das Gebäude insbesondere Fensterwechsel (Variante 4, 7.2.1ff)
- Beleuchtungssanierung für die Klassenräume (Variante 5, 7.8.1., 8.3.)

Für den energieärmeren Betrieb der Lüftung wurden neben Einzelmaßnahmen (vgl. Tabelle 20) 2 große Varianten untersucht:

Variante 2: Auslegung der Luftleistung auf SIA Standard und maschinelle Umrüstung der Anlagen auf niedrigere Volumenströme mit Frequenzumrichtern. Auf Kühlung wird verzichtet. (Maßnahmen 7.4.1., 7.4.2., 7.4.3., 7.4.5., 7.4.6; Wirtschaftlichkeit 8.1.2.)

Variante 3: Weitestgehender Verzicht auf maschinelle Lüftung. Die Heizleistung wird durch statische Heizkreise gewährleistet. Auf maschinelle Kühlung wird ganz verzichtet, der Sonnenschutz wird verbessert. (Maßnahmen 7.5.1., 7.5.4.)

Den Effekt der kombinierten Maßnahmen Lüftung (Variante 3) und darauf aufbauend Bauphysik (Variante 4) und Beleuchtung (Variante 5) zeigt das folgende Diagramm, in dem die Maßnahmen zusammengeführt sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass hier Maßnahmen unterschiedlicher Kapitallaufzeiten auf Basis einer Kostenschätzung kombiniert werden. Ausführliche Erläuterungen zu Wirtschaftlichkeit finden sich im Kapitel 8. Die Maßnahmen in Details sind in Kapitel 7 und in der Wirtschaftlichkeitstabelle (Anhang) dargestellt.

Abbildung Z 3

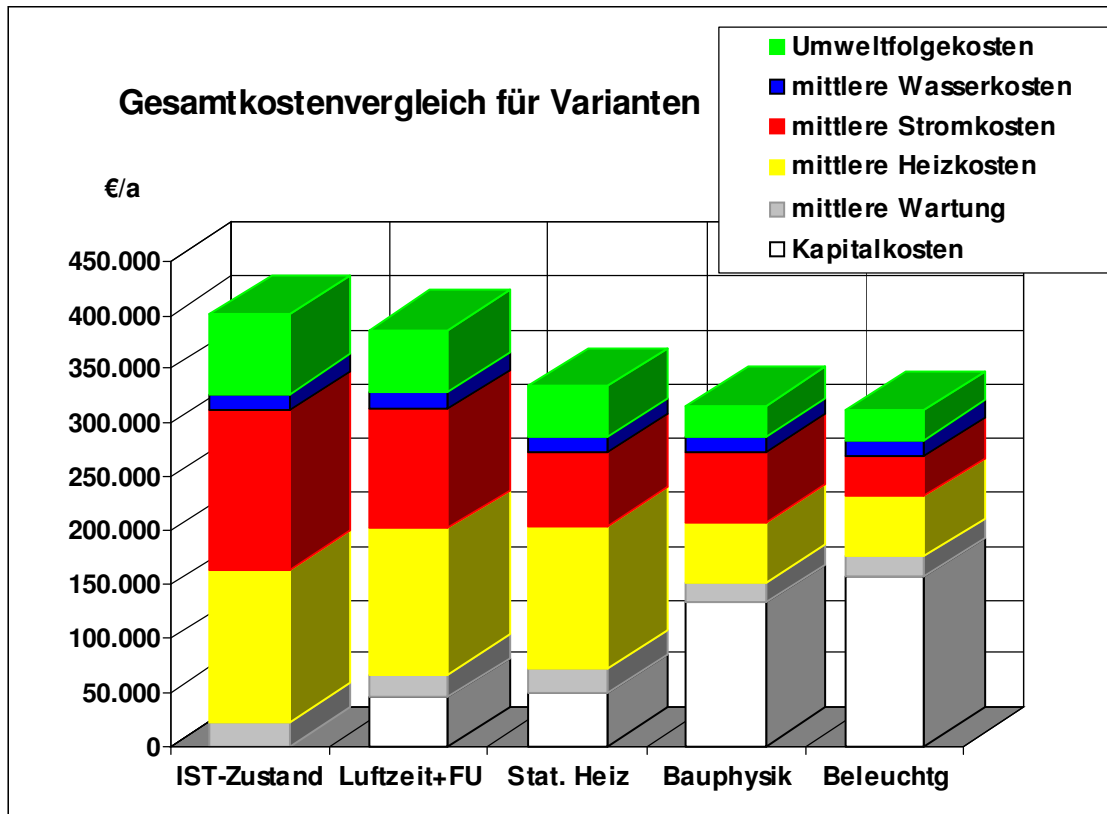


Abbildung Z 4 Übersicht zu Abbildung Z3

|            |                                                                                                                             |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variante 1 | IST-Zustand                                                                                                                 |
| Variante 2 | Laufzeitverringerung der Lüftungsanlage, Einbau von Frequenzumrichtern                                                      |
| Variante 3 | Rückbau der Lüftungsanlagen, Installation eines statischen Heizkreises statt Brüstungsgeräte, Sonnenschutz auf der Südseite |
| Variante 4 | zusätzlich zu 3 alle Wärmedämmmaßnahmen und Fenstertausch                                                                   |
| Variante 5 | zusätzlich zu 3 und 4 Beleuchtungstausch in den Klassenräumen Bauteil A und B                                               |

|                            | Variante 1     | Variante 2     | Variante 3     | Variante 4       | Variante 5       |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
|                            | IST-Zustand    | Luftzeit+FU    | Stat. Heiz     | Bauphysik        | Beleuchtg        |
|                            | €              | €              | €              | €                | €                |
| Umweltfolgekosten          | 64.000         | 50.000         | 38.000         | 25.000           | 18.000           |
| Wasserkosten               | 14.000         | 14.000         | 14.000         | 14.000           | 14.000           |
| Stromkosten                | 134.000        | 102.000        | 61.000         | 59.000           | 35.000           |
| Heizkosten                 | 128.000        | 121.000        | 120.000        | 50.000           | 50.000           |
| Wartung+Instandhaltung     | 20.000         | 20.000         | 20.000         | 17.000           | 17.000           |
| Kapitalkosten              | 0              | 45.000         | 50.000         | 133.000          | 157.000          |
| <b>Summe Kosten per a</b>  | <b>360.000</b> | <b>352.000</b> | <b>303.000</b> | <b>298.000</b>   | <b>291.000</b>   |
| <b>Einsparung pro Jahr</b> |                | <b>-8.000</b>  | <b>-57.000</b> | <b>-62.000</b>   | <b>-69.000</b>   |
| <b>Investitionskosten</b>  | <b>0</b>       | <b>349.000</b> | <b>384.000</b> | <b>1.556.000</b> | <b>1.695.000</b> |

alle Kosten incl. 16 % MWSt. Die Kapitalkosten ab Var. 4 enthalten 25 a Kapitaldienst für Bauphysik. Die Kapitalkosten ab Var. 5 enthalten 7 a Kapitaldienst für Beleuchtung!

Ausführliche Tabelle siehe Kapitel 8/9

Die Variante 1 zeigt die IST-Situation, allerdings nur mit den Wartungs-, Personal-, und Reinigungskosten, die als Mehr- oder Minderkosten gegenüber den untersuchten Varianten auftreten würden.

Die Varianten 2 und 3 zeigen die Effekte der beiden unterschiedlichen Lüftungskonzepte:

Variante 2 bedeutet Einschränkungen der Betriebszeiten der Lüftung und Ausrüstung mit Frequenzumrichtern (FU), um bedarfsgerecht Luft zuführen zu können.

Variante 3 zeigt die Umrüstung auf ein statisches Heizsystem, das im Bedarfsfall durch Fensterlüftung ergänzt wird. Erhalten wird in der Lüftung nur das absolut notwendige für Toilettenräume, Innenzonen und Experimentalräume. Beide Varianten stellen sowohl eine Kosten- und Umweltentlastung dar. Die effektivere Variante ist trotz höheren Investitionskosten die Variante 3 weil hier deutlich Strom gespart wird und damit sowohl die Umweltfolgekosten als auch die mittleren Stromkosten in der Summe deutlich unter den Kapitalkosten liegen. Da diese Variante bezüglich der Belüftung der Einzelräume insbesondere bei größerem Kaltluft-einfall im Winter kritisch sein kann, werden versuchsweise zwei Räume im 3. OG von der Lüftung abgeklemmt und mit Heizkörpern zur statischen Heizung ausgestattet. Die Ergebnisse werden frühestens nach der Heizperiode 2003/2004 vorliegen.

Durch die Umrüstung auf ein statisches Heizsystem (Variante 3) sinkt der spezifische Stromverbrauch von 108 auf 50 kWh/m<sup>2</sup>a. der Heizwärmebedarf sinkt von 220 auf 178 kWh/m<sup>2</sup>a.

Richtig sinnvoll wird die Variante 3 daher erst, wenn zusätzlich der Wärmeschutz hinzukommt. (Variante 4). Bei zugrunde Legung der Kalkulationswerte von Hochbauamt Frankfurt rechnet sich die wärmetechnische Sanierung innerhalb von 16 Jahren (vgl. Kapitel 8). Dabei wird der spezifische Heizwärmebedarf von 220 kWh/m<sup>2</sup>a auf 107 kWh/m<sup>2</sup>a mehr als halbiert. Gemeinsam mit der Sanierung Lüftung liegt der Spezifische Bedarf dann nur bei 74 kWh/m<sup>2</sup>a. Mit Variante 4 wird dann auch der Grenzwert des Heizwärmebedarfs (85 kWh/m<sup>2</sup>a) eingehalten.

Die Grenzwerte nach dem Leitfaden für Energie im Hochbau (LEH) für den Wärmebedarf können daher erst durch Reduzierung der Lüftungsraten und der damit verbundenen hohen Wärmeverluste erreicht werden.

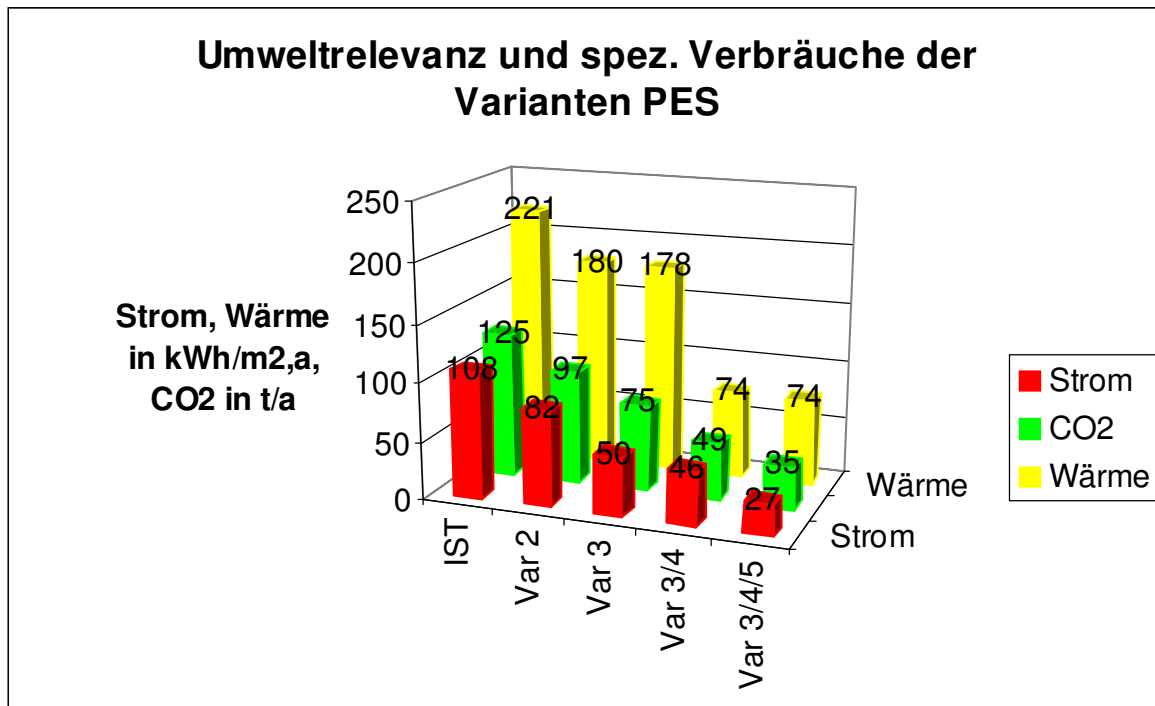
Bei der Maßnahme Wärmeschutz ist noch nicht berücksichtigt, dass dann auch die Kapitalkosten für die Heizungssanierung sinken, weil die neuen Heizkörper und das Rohrnetz kleiner ausgelegt werden können. Der Betrieb mit geringeren Vorlauftemperaturen bringt keine gravierenden Vorteile, weil die Wärmeversorgung nicht über Brennwerttechnik erfolgt und die Wärmeverteilung im wesentlichen im beheizten Bereich verläuft.

Die zusätzliche Beleuchtungssanierung wurde als Variante 5 auf Variante 3 und 4 beige-stellt. Auch hier gibt es eine Kostenentlastung gegenüber dem Istzustand. Gemessen an der Entlastung von Variante 3 und 4 sind die absoluten Kosten nur geringfügig niedriger, weil hier die Kapitalisierung auf 7 Jahre gerechnet ist. Dafür wird mit dieser Maßnahme effektiv Strom gespart. Der Kennwert sinkt auf 27 kWh/m<sup>2</sup>a und liegt damit unter dem Richtwert (40 kWh/m<sup>2</sup>a) für den eine Feinanalyse empfohlen wird.

Das Zusammenspiel der einzelnen Varianten und die sich daraus ergebenden Umweltauswirkungen sind im nachfolgenden Diagramm Z 5 zusammengefaßt:



Abbildung Z 5



Alle Varianten führen zu einer dauerhaften Kostenentlastung bei einer Kapitalisierung mit 5 % und einer Preissteigerungsrate von 2 %. Bei konsequenter Umsetzung des Gesamtkonzepts werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 125 t/a auf rund 35 t/a, also um mehr als  $\frac{2}{3}$  gesenkt.

Das Zusammenspiel zwischen Anlagentechnik und Bauphysik ist im vorliegenden Fall eminent wichtig, weil nur durch die richtige Kombination sowohl Strom als auch Wärme eingespart werden können und die Investitionskosten der Anlagentechnik minimiert werden. Es wird daher eine Gesamtanierung vorgeschlagen, die ggf. auch in Bauabschnitte aufgeteilt für die Bauteile A,B und C erfolgen kann. Die Einzelheiten sind in Kapitel 7,8 und 9 beschrieben.

## 1. Einleitung

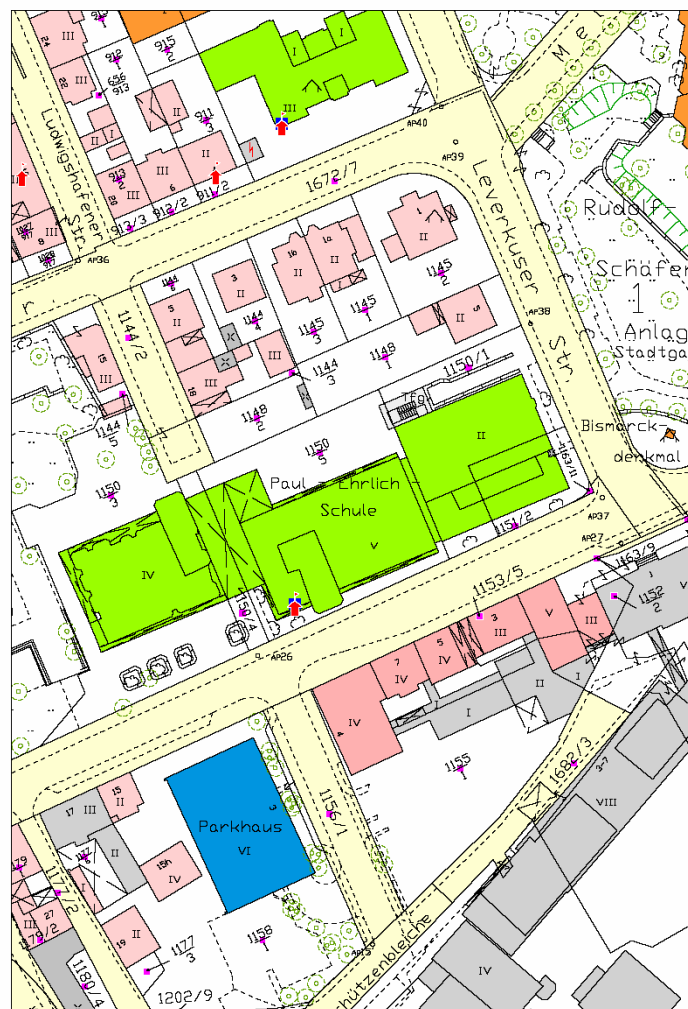
Ende des Jahres 2002 erhielten wir vom Magistrat der Stadt Frankfurt Hochbauamt (Amt 65) den Auftrag ein Energiekonzept für die Paul-Ehrlich-Schule, Brünningstr.2 zu erstellen. Der vorliegende Endbericht spiegelt ein Jahr Untersuchungen an der Schule wieder. Mit dem Zwischenbericht wurden einige Maßnahmen angestoßen, die im vorliegenden Endbericht noch nicht abschließend bewertet werden können.

Das Gebäude liegt im Südwesten der Stadt Frankfurt im Stadtteil Höchst und beherbergt die Paul-Ehrlich-Schule im folgenden „PES“ genannt. Sie wird als Berufsschule für rund 1.500 Schüler genutzt sowie als Abend- und Fachschule. Neben der Berufsschule nutzen verschiedene **Sportvereine** die Turnhalle des Gebäudes. Die genauen Daten zu Nutzern und daraus resultierenden Personenstunden sind im Kapitel 6.2. im Rahmen der Leitfadenberechnung beschrieben. Für die bauliche Unterhaltung des Gebäudes ist das Hochbauamt der Stadt Frankfurt zuständig, für die Verwaltung das Schulamt. Die Stadt Frankfurt dokumentiert seit 1995 die Verbräuche der öffentlichen Liegenschaften durch das Referat Energiemanagement.

## 2. Geschichte und bisherige Maßnahmen

Das Haus besteht aus drei Bauteilen: Teil A (IV), Teil B (V) und die Sporthalle Teil C (II). Der Lageplan ist zur Übersicht beigelegt.

Lageplan 1 Paul-Ehrlich-Schule Übersicht mit allen Bauteile A,B,C



Das Haus wurde teil- und vollklimatisiert ausgestattet, da aufgrund des danebenliegenden ehemaligen MKW Kraftwerks aus Lärm- und Schmutzgründen keine Fensterlüftung möglich schien. Der Kraftwerksbetrieb ist heute eingestellt, so dass diese Einschränkung entfällt.

Die Wärmeversorgung erfolgt durch Fernwärme aus dem benachbarten Kraftwerk. Mit Einstellung des Kraftwerksbetriebes mit Kohle wurde ein Hilfsdampferzeuger mit Gasbetrieb errichtet, der die Schule weiterhin über das Fernwärmenetz versorgt.

Im Herbst 2002 wurde der Ersatz der Luftbefeuchter in den Lüftungsanlagen 1 und 3 für die Klassenräume ausgeschrieben, nachdem die alte Befeuchtung seit einigen Jahren nicht mehr in Betrieb war. Daraus können sich Probleme mit der Bauphysik ergeben. (vgl. 7.7.1.)

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

### **3. IST-Zustand**

#### **3.1. Allgemeine Gebäudedaten**

Die Bauteile Teil A, Teil B und die Sporthalle mit Technikum im Bauteil C wurden in zeitlicher Abfolge in den Jahren 1975 bis 1979 geplant und errichtet. Sie sind räumlich verbunden. In den einzelnen technischen Gewerken wurden verschiedene Hersteller eingesetzt, was sich in Stil und Dokumentation der technischen Anlagen widerspiegelt.

Das Gebäude entstand in Stahlbetonskelettbauweise in der zeittypischen Bauweise.

##### **3.1.1. Energiebezugsfläche**

Die Energiebezugsfläche (EBF) wurde aus Netto(Innen)maßen aus den 1:200 und 1:100 Plänen ermittelt.

Die Energiebezugsfläche (EBF) beträgt in der Summe: 10.200 m<sup>2</sup>

Das Volumen  $V_e$  beträgt in der Summe: 33.200 m<sup>3</sup>

Die erste Ortsbegehung fand im Zusammenhang mit dem Startup-Termin des Energiegutachtens am 27.08.02 statt. Im Rahmen des Startup-Termins wurden die offensichtlichen Mängel des Gebäudes seitens der Schulleitung und der Hausverwalter zur Kenntnis gegeben. Das Protokoll des Startup-Termins ist beigefügt als

[Anlage 1 Protokoll Start-up Termin](#)

Insgesamt fanden bis zum Zwischenbericht am 30.4.03 noch 6 weitere Ortstermine statt, um möglichst viele Daten des komplexen Gebäudes zu erfassen und Betriebszustände bei unterschiedlichen Temperaturen - insbesondere bei Frost - aufzunehmen.

### 3.2. Bauphysik

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

- Wärmebrücken im Bereich der Betondecken und Stützen, ungedämmte Betonplatten.
- Wärmebrücken an thermisch nicht entkoppelten Aluminiumrahmen von Fenstern und Türen und Anschlüssen
- Wasserschäden an Außenwänden, Durchfeuchtung der Bauteile (Gipsplatten)
- Teilweise noch Einfachverglasung an Flurfenstern und Außentüren
- Zentimeterbreite Spalte an Fenstern und Außentüren
- Defekte Thermopanscheiben und Dichtungen der Fenster

Die durchgeführten Innenoberflächentemperaturmessungen bestätigen die energetisch ungünstige Bausubstanz. Sie zeigen auch eine weitere Verschlechterung des Zustands durch Alterung, insbesondere im Bereich der Fugendichtheit der Fenster und Anschlüsse. Aber auch Teildurchfeuchtungen im Bereich von Wasserschäden, die zu einer Verschlechterung des u-Wertes (k-Wertes) des jeweiligen Bauteils führen.

Einige der augenscheinlichsten Mängel sind in den Fotos dokumentiert. Die Reihenfolge der Fotos stellt keine Rangfolge dar.

**Bild 1 und Bild 2 Scheiben im 4.OG Bauteil B**



**Bild 3 auskragende Decken, ungedämmte Stahlbetonstütze und öffentlich zugängliche Ansaugung für die Zuluft für Bauteil A/B im Park**



**Bild 4, Bild 5 Wie hoch mag der Fugenbeiwert wohl sein?**



**Bild 6, Bild 7 Wärmebrücken und ungedämmte Böden gegen außen**





### **3.2.1. Allgemeine Auffälligkeiten**

### **3.2.2. Übereinstimmung der Pläne**

Bis auf wenige Ausnahmen stimmen die Bestandspläne. Die Raumliste für das Reinigungsaufmaß führt zu teilweise anderen Ergebnissen als die NGF Berechnungen.

Für die technischen Anlagen in Bauteil C (Technikum, Sporthalle) gibt es nur Fragmente von Plänen und Dokumentation.

### 3.3. Anlagentechnik/Haustechnik (HT)

#### 3.3.1. Raumheizung (H)

Die Versorgung erfolgt durch Fernwärme vom benachbarten MKW Kraftwerk. In 3 Dampfwärmetauschern wird die Wärme übergeben. Bis 1998 arbeitete das System mit Temperaturen von 180 °C ND-Dampf. Mit Stilllegung des Kraftwerks wurde die Fernwärmeversorgung mit einem Hilfswärmetauscher durchgeführt. Der Vertrag für die Versorgung (vgl. Verträge 7.1. und 4.2.) läuft 2005 aus. Die Heizwasserparameter betragen nur noch 90/70 °C was insbesondere beim Aufheizen aus tiefen Temperaturen nach Auskunft der Hausverwaltung nicht ausreicht.

Die Wärmeübergabe erfolgt im Bauteil B. Über den Hauptverteiler wird die Wärme auf Unterverteiler im Bauteil A, B, C verteilt.

##### 3.3.1.1. Technische Daten Wärmetauscher

Hersteller:  
Apparate Wärmetechnik, Dudenhofen

|                                                                                    |                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Nennwärmeleistung                                                                  | 1400000 kcal/h pro WT (3 Stück) |
| Gesamtwärmeleistung                                                                | <b>4.884 kW bei 180 °C VL</b>   |
| <b>(Diese wird heute durch geringere Vorlauftemperaturen nicht mehr erreicht!)</b> |                                 |

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Primärseite                 |        |
| Wasserinhalt                | 90 l   |
| zulässige Vorlauftemperatur | 180 °C |
| zulässiger Druck            | 18 bar |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Sekundärseite               |       |
| Wasserinhalt                | 163 l |
| zulässige Vorlauftemperatur | 90 °C |
| zulässiger Druck            | 6 bar |

**Bild 8 und Bild 9 Unterverteilung Bauteil B und Übergabestation Fernwärme**



**Tabelle 2 Daten Hauptheizkreise und zugehörige Pumpen**

| Art                                                      | Ziel                              | T  | Pumpe       | Leistung in Watt |       | St   |   |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|----|-------------|------------------|-------|------|---|
|                                                          |                                   | °C | Grundfos    | Min              | Max   |      |   |
| Summe                                                    |                                   |    |             | 8480             | 15928 |      |   |
| VL                                                       | <b>Hauptverteilung Hauptpumpe</b> |    |             | 6000             | 10500 |      |   |
| RL                                                       | Wärmetauscher                     |    |             |                  |       |      |   |
| <b>Unterverteilung Sport Bauteil C</b>                   |                                   |    |             |                  |       |      |   |
| VL                                                       | Bauteil C                         |    | UMC 50-60   | 110              | 255   | 435  | 3 |
| VL                                                       | Bauteil C                         |    | UMC 50-60   | 110              | 255   | 435  | 3 |
| <b>Unterverteilung Bauteil B (von links nach rechts)</b> |                                   |    |             |                  |       |      |   |
| VL                                                       | Brüstung Nord 1.-4.OG             |    | UPE 40-80F  | 40               |       | 250  |   |
| VL                                                       | Innenzone                         |    | UPE 40-80F  | 40               |       | 250  |   |
| VL                                                       | Brüstung Süd 1.-4.OG              |    | UPE 40-80F  | 40               |       | 250  |   |
| VL                                                       | Stat. Heizung 1.OG                |    | ?           |                  |       |      |   |
| VL                                                       | Anlage 9 Erhitzer                 |    | UPS 65-120  | 850              |       | 1150 |   |
| <b>Warmwasser Boiler 1</b>                               |                                   |    |             |                  |       |      |   |
| VL                                                       | WW Zirk.?                         |    | P 40/100r   | 135              |       | 200  | 4 |
| VL                                                       | WW Lade                           |    | UPS 32-60/F | 120              | -     | 158  |   |
| <b>Unterverteilung Bauteil A</b>                         |                                   |    |             |                  |       |      |   |
| VL                                                       | Brüstung Nord 2.-3.OG             |    | UPE 40-80F  | 40               |       | 250  |   |
| VL                                                       | Stat. Hausmeister                 |    | UMC 32-30   | 35               | 70    | 140  |   |
| VL                                                       | Brüstung Süd 2.-3.OG              |    | UPE 40-80   | 40               |       | 250  |   |
| VL                                                       | NB Geräte Innenzone               |    | UPE 32-80   |                  |       |      |   |
| VL                                                       | Stat. EG/1OG                      |    | UPE 50-60   | 50               |       | 450  |   |
| VL                                                       | Lehrer/Verwaltung                 |    | UPE 32-40   | 20               |       | 60   |   |
| VL                                                       | Anlage 8 Erhitzer                 |    | UPS 65-120  | 850              |       | 1150 |   |
| <b>Warmwasser Boiler 2</b>                               |                                   |    |             |                  |       |      |   |
| VL                                                       | WW Zirk/Lade 2                    |    | P 40/100r   | 135              |       | 200  | 4 |
| VL                                                       | WW Lade                           |    | UPS 32-60/F | 120              | -     | 158  |   |

Die Vorlaufhauptheizung aus den Wärmetauschern läuft über eine separat stehende Doppelpumpe mit eigener Ansteuerung, Grundfos 10,5 kW, Stromaufnahme 144-154 Ampere bei 380-415 V, bei 1400-1460/min. (Pumpe siehe auch Foto).

Der Hauptvorlauf verteilt auf Unterverteilungen im Bauteil A,B,C und den Ladekreis für den Boiler 1.

**Bild 10 und Bild 11 Pumpengruppe HV und dito mit Filter**

Das Gebäude wird in den Geschossen EG und 1.OG durch statische Heizkreise versorgt. Die statischen Heizkreise versorgen alle Klassenräume über eine Außentemperatur geführte Vorlauftemperaturregelung. Die Heizkörper haben keine Thermostatventile. Da sie nicht entsprechend fein eingedrosselt sind und nicht hydraulisch genau berechnet und abgestimmt wurden, werden keine gleichmäßigen Raumtemperaturen erreicht.

Die Räume in den 2.- 4 OG inklusive der Innenzonen werden nur durch die Lüftungsanlagen geheizt. Für die Innenzonen besteht die zusätzliche Möglichkeit der Kühlung. Zusätzlich gibt es in den Klassenräumen Zonnachheizregister mit Einzelraumregelung (Samsung 2000) für die Brüstungsgeräte. (siehe Bild 12)

**Bild 12 Brüstungsgerät für Zuluft und Heizung**

Die Sporthalle wird nur durch die Lüftung geheizt. Dies bedeutet, dass mit Abschalten der Lüftung keine ausreichende Heizleistung vorhanden ist.

### **3.3.2. Wasserbereitung (WW)**

Die Warmwasserbereitung erfolgt über zwei Viessmann Warmwasserspeicher, die vom zentralen Heizungsverteiler geladen werden solange die Fernwärme in Betrieb ist. Im Sommer erfolgt die Versorgung **elektrisch**.

**Bild 13 und Bild 14 Warmwasserspeicher 1 (Bauteil B) und 2 (Bauteil A)**

Speicher 1 hat einen Inhalt von **500 l**, Speicher 2 von **300 l**.

Speicher 1 versorgt die Warmwasserkreise im Sportbereich mit jeweils eigenem Zirkulationskreis. Die Zirkulationspumpe läuft tagsüber konstant durch und wird nachts durch Zeitschaltuhr abgeschaltet.

Speicher 2 versorgt den Bauteil A mit Warmwasser. Beide Systeme arbeiten unabhängig voneinander.

Für beide Boiler gibt es keine separaten Unterzähler (siehe Maßnahmen 7.6.)

Nach Rücksprache mit den Hausverwaltern Technik ist die Energieversorgung des Warmwasserspeicher 1 nicht ausreichend. Die Heizstäbe brennen durch den Dauerbetrieb häufig durch.

Da die Beheizung beider Speicher außerhalb der Heizperiode elektrisch erfolgt (elektrische Beheizung verursacht die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kosten wird für den Sommerbetrieb der Einbau einer Solaranlage untersucht (vgl. Maßnahmen 7.11.)

### 3.3.3. Lüftungsanlagen (L)

Als eine der ersten Schulen wurde die PES mit einer Vollklimaanlage ausgerüstet. Es gibt reine Abluftanlagen, Lüftungsanlagen (Filtern, Heizen), Teilklimaanlagen (Filtern, Heizen, Kühlen) und Vollklimaanlagen (Filtern, Heizen, Befeuchten, Kühlen)

Insgesamt gibt es in dem Gebäude 22 Anlagen, davon haben nur die Anlagen 1 und 11 Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung. Die Anlage 4 verfügt über Mischluftbetrieb allerdings mit mindestens 50 % Außenluftanteil. Die Anlage 19 in der Sporthalle verfügt über Rotationswärmetauscher (Maßnahmen siehe 7.4.5.2.)

Eine Auflistung der Anlagen findet sich in [Tabelle 3 Technische Daten Zuluftanlagen](#) und [Tabelle 4 Technische Daten Abluftanlagen PES](#). Die installierte Leistung im Zuluftbereich beträgt 164 kW in der Stufe 1 und 170 kW in der Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von 212.000 m<sup>3</sup>/h gefördert.



Unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung und der Mindestvolumenströme ergibt sich ein energetisch wirksamer Volumenstrom von rund 120.000 m<sup>3</sup>/h. Dies entspricht einem mehr als 3-fachen Luftwechsel. (Maßnahmen siehe 7.4.1.-7.4.5.)

Das gleiche gilt für die Abluftvolumenströme. Die installierte Leistung beträgt nur 110 kW, im Maximum 113 kW. Der Volumenstrom ist mit 125.000 m<sup>3</sup>/h geringfügig höher.

Alle Daten zur Wärmerückgewinnung wurden aufgrund von Erfahrungswerten geschätzt.

**Tabelle 3 Technische Daten Zuluftanlagen PES**

| Anlage Nr.                                                                                                                                                                                                               | Anlagendaten      |                  |                                        |              | Wirkvolumen                   |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                                                          | Luft<br>menge     | Druck<br>verlust | inst. Leistung<br>Stu-<br>fe2/Volllast |              | f<br>für min. h <sup>-1</sup> |                   |
| Bez. Anlage                                                                                                                                                                                                              | m <sup>3</sup> /h | Pa               | kW                                     | kW           | -                             | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                             | <b>212.236</b>    |                  | <b>163,5</b>                           | <b>172,4</b> |                               | <b>129.919</b>    |
| <b>davon:</b>                                                                                                                                                                                                            |                   |                  |                                        |              | <b>Stufe 1</b>                | <b>117.094</b>    |
| <b>Bauteil A</b>                                                                                                                                                                                                         |                   |                  |                                        |              |                               |                   |
| 1 1.-3.OG, BT A (Keller)                                                                                                                                                                                                 | 47.550            | 1720             | 26,6                                   | 37,0         | 0,5                           | 23.775            |
| 2 Schüler EG, A                                                                                                                                                                                                          | 10.630            | 1200             | 2,4                                    | 7,3          | 1                             | 10.630            |
| 3 Mehrzweck 1.OG, A                                                                                                                                                                                                      | 9.020             | 1300             | 1,9                                    | 5,5          | 1                             | 9.020             |
| 4 Audio 1. OG, BT A                                                                                                                                                                                                      | 1.200             | 930              | 1,1                                    | 1,1          | 1                             | 1.200             |
| 8 Vorschub für 1-4 (I-IV)                                                                                                                                                                                                | 68.400            | 1000             | 30,0                                   | 30,0         | 0                             | 0                 |
| <b>Bauteil B</b>                                                                                                                                                                                                         |                   |                  |                                        |              | 1                             | 0                 |
| 9 Vorschub für 11 - 13                                                                                                                                                                                                   | 99.055            | 1100             | 33,4                                   | 45,0         | 0                             | 0                 |
| 11 EG-2.OG, BT B                                                                                                                                                                                                         | 46.775            | 1720             | 26,6                                   | 37,0         | 0,5                           | 23.388            |
| 12 3.-4.OG,BT B                                                                                                                                                                                                          | 41.400            | 1350             | 25,0                                   | 30,0         | 1                             | 41.400            |
| 13 KG BT B                                                                                                                                                                                                               | 10.900            | 530              | 5,5                                    | 5,5          | 0                             | 0                 |
| Zone 7                                                                                                                                                                                                                   | 3.650             |                  |                                        |              | 0                             | 0                 |
| 3, Innenzone                                                                                                                                                                                                             | 1.100             |                  |                                        |              | 0                             | 0                 |
| 3, N-W-S-Zone                                                                                                                                                                                                            | 7.920             |                  |                                        |              | 0                             | 0                 |
| 11, Zone 7                                                                                                                                                                                                               | 8.405             |                  |                                        |              | 0                             | 0                 |
| 12, Innenzone                                                                                                                                                                                                            | 3.180             |                  |                                        |              | 0                             | 0                 |
| <b>Bauteil C</b>                                                                                                                                                                                                         |                   |                  |                                        |              | 1                             | 0                 |
| 16 Technikum                                                                                                                                                                                                             | 3.000             |                  |                                        |              | 1                             | 3.000             |
| 17 Klima Unterricht                                                                                                                                                                                                      | 5.963             |                  | 4,0                                    | 4,0          | 1                             | 5.963             |
| Turnhalle Nebenräume 1.=G und                                                                                                                                                                                            |                   |                  |                                        |              |                               |                   |
| 18 EG                                                                                                                                                                                                                    | 4.355             |                  | 3,0                                    | 3,0          | 1                             | 4.355             |
| 19 Turnhalle                                                                                                                                                                                                             | 7.188             |                  | 4,0                                    | 4,0          | 1                             | 7.188             |
|                                                                                                                                                                                                                          |                   |                  |                                        |              | 1                             | 0                 |
| <b>Anm.</b><br>: Die kursiv gedruckten Werte sind die Leistungsangaben aus den Plänen, für die Anlage 1,9,11,12 wurden die letzten Messungen zugrunde gelegt (2002, Fa. Phönix), Betriebsstunden<br>in <b>Tabelle 10</b> |                   |                  |                                        |              |                               |                   |

Tabelle 4 Technische Daten Abluftanlagen PES

| Anlage<br>Nr.    | Anlagendaten                          | Luft<br>menge<br>m <sup>3</sup> /h | Druck<br>verlust<br>Pa | inst. Leistung |                | Wirkvolumen<br>f für min. h <sup>-1</sup> |                   |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------|
|                  |                                       |                                    |                        | Stufe 1<br>kW  | Volllast<br>kW | -                                         | m <sup>3</sup> /h |
| Bez.             | Anlage                                |                                    |                        |                |                |                                           |                   |
| <b>Summe</b>     |                                       | <b>208.171</b>                     |                        | <b>110,8</b>   | <b>113,1</b>   |                                           | <b>125.620</b>    |
| <b>davon</b>     |                                       |                                    |                        |                |                | <b>Stu-<br/>fe 1</b>                      | <b>124.845</b>    |
| 1                | 1.-3.OG, BT A                         | 44.215                             | 1600                   | 30,0           | 30,0           | <b>0,4</b>                                | <b>17.686</b>     |
| 2                | Schüler EG, A                         | 9.080                              | 400                    | 1,9            | 5,5            | <b>1</b>                                  | <b>9.080</b>      |
| 3                | Mehrzweck 1.OG, A                     | 8.350                              | 650                    | 1,9            | 5,5            | <b>1</b>                                  | <b>8.350</b>      |
| 4                | Audio 1. OG, BT A                     | 1.200                              | 460                    | 1,1            | 1,1            | <b>1</b>                                  | <b>1.200</b>      |
| 6                | Maschinenzentrale A                   | 8.500                              | 380                    | 4,0            | 4,0            | <b>1</b>                                  | <b>8.500</b>      |
| 7                | Toiletten EG-3OG A                    | 2.890                              | 550                    | 1,1            | 1,1            | <b>1</b>                                  | <b>2.890</b>      |
| 11m <sup>2</sup> | Entl EG-2.OG, BT B                    | 38.750                             | 1300                   | 22,0           | 22,0           | <b>0,4</b>                                | <b>15.500</b>     |
| 11m <sup>3</sup> | Hauswirtschaft Lehr                   | 6.350                              | 780                    | 3,0            | 3,0            | <b>1</b>                                  | <b>6.350</b>      |
| 12m <sup>2</sup> | Entl 3.-4.OG,BT B                     | 26.000                             | 800                    | 15,0           | 15,0           | <b>0,4</b>                                | <b>10.400</b>     |
| 12m4             |                                       | 1.500                              |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>1.500</b>      |
| 12m5             | 12m4                                  | 1.500                              |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>1.500</b>      |
| 12m6             | 12m4                                  | 1.400                              | 300                    | 0,6            | 0,6            | <b>1</b>                                  | <b>1.400</b>      |
| 12m9             | 12m4                                  | 1.500                              |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>1.500</b>      |
| 12m11            | 12m4                                  | 1.500                              |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>1.500</b>      |
| 12m7             |                                       | 100                                | 200                    | 0,4            | 0,4            | <b>1</b>                                  | <b>100</b>        |
| 12m8             |                                       | 900                                |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>900</b>        |
| 12m15            | 12m8                                  | 800                                | 160                    | 0,3            | 0,3            | <b>1</b>                                  | <b>800</b>        |
| 12m18            | 12m8                                  | 800                                |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>800</b>        |
| 12m10            |                                       | 2.900                              | 300                    | 2,0            | 2,0            | <b>1</b>                                  | <b>2.900</b>      |
| 12m12            |                                       | 1.500                              | 300                    | 0,6            | 0,6            | <b>1</b>                                  | <b>1.500</b>      |
| 12m13            | 12m14                                 | 1.400                              |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>1.400</b>      |
| 12m14            |                                       | 1.500                              | 300                    | 4,0            | 4,0            | <b>1</b>                                  | <b>1.500</b>      |
| 12m16            | mit 12 m17                            | 1.500                              |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>1.500</b>      |
| 12m17            |                                       | 1.400                              | 300                    | 0,4            | 0,4            | <b>1</b>                                  | <b>1.400</b>      |
| 13m <sup>2</sup> | KG BT B                               | 8.800                              | 600                    | 4,0            | 4,0            | <b>1</b>                                  | <b>8.800</b>      |
| 13m <sup>3</sup> |                                       | 1.800                              | 400                    | 1,5            | 1,5            | <b>1</b>                                  | <b>1.800</b>      |
| 13m4             |                                       | 1.000                              | 95                     | 0,1            | 0,1            | <b>1</b>                                  | <b>1.000</b>      |
| 14               | WC KG - 4OG, BT B                     | 3.530                              | 600                    | 1,1            | 1,1            | <b>1</b>                                  | <b>3.530</b>      |
| 16               | Technikum                             |                                    |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>0</b>          |
| 17               | Klima Unterricht                      | 5.963                              |                        | <b>4,0</b>     | <b>4,0</b>     | <b>0,4</b>                                | <b>2.385</b>      |
| 18               | Turnhalle Nebenräu-<br>me 1.=G und EG | 4.355                              |                        | <b>3,0</b>     | <b>3,0</b>     | <b>1</b>                                  | <b>4.355</b>      |
| 19               | Turnhalle                             | 7.188                              |                        | <b>4,0</b>     | <b>4,0</b>     | <b>0,5</b>                                | <b>3.594</b>      |
| 21               | WC, Putzräume C                       |                                    |                        |                |                | <b>1</b>                                  | <b>0</b>          |
| 22               | Tiefgarage von Anla-<br>ge 19         | 10.000                             |                        | <b>5,0</b>     |                | <b>0</b>                                  | <b>0</b>          |

Alle Anlagen arbeiten entweder 1- oder 2- stufig mit fest eingestellten Luftmengen. Umschaltungen sind in der zeittypischen 70 er Jahre Ausführung für Manuell- oder Automatikbetrieb vorgesehen. Durch zonenweise Aufteilung werden immer Raumgruppen gemeinsam versorgt. Dadurch ergeben sich Probleme bei unterschiedlichen Wärmelasten in den Räumen.

Daher wurde eine Regelung (Samsung) für die Heizregister nachgerüstet, die Raumtemperatur abhängig gefahren wird. Allerdings funktioniert diese Regelung nur, wenn die Lüftung in Betrieb ist.

Die Motoren sind nicht drehzahl geregelt über FU gesteuert. Teilweise stimmen die in den Plänen angegebenen Nennleistungen der Motoren nicht mit der Ausführung überein. In den Tabellen wurden die jeweils letztverfügbaren Strommessungen der Wartungsfirma zugrunde gelegt.

Nach DIN wird ein Mindestaußenvolumenstrom von  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , Person gefordert. Die SIA sieht einen Außenluftvolumenstrom von  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ , Person vor. Die Kapazität aller Lüftungsanlagen beträgt über  $200.000 \text{ m}^3/\text{h}$  bereits bei Grundlast. Daraus ergibt sich bei 1500 Personen ein Luftwechsel von  $140 \text{ m}^3/\text{h}, \text{P}$  (Durchschnitt 850 Personen, vgl. Tabelle 13 Personenstunden) Einige Anlagen sind auf einen 8-9-fachen Luftwechsel ausgelegt. Bezogen auf den Durchschnitt ergeben sich  $230 \text{ m}^3/\text{h}$ , Person. Dies bedeutet eine erhebliche Überdimensionierung, die DIN geht für Nichtraucher von  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , Person aus.

Durch eine funktionsbezogene angepasste geregelte Lüftung können die Luftmengen erheblich verringert werden, wenn nicht aus Sicherheitsgründen an allen Stellen jederzeit alle denkbar möglichen Maximalfälle bedient werden sollen, wie derzeit im Bestand. (vgl. Maßnahmen Lüftung 7.4.)

So ist im Sommer nur der erforderliche Mindestluftwechsel pro Person (nach DIN  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ) sicherzustellen, in den Wintermonaten in den Räumen, die mit der Lüftung geheizt werden außerdem der Heizwärmebedarf. Hier sind 2 Fälle zu unterscheiden: Heizen mit und ohne Belegung. Beim Heizen im Belegungsfall reicht der Mindestluftwechsel für die Vollbelegung immer aus, um auch den Heizwärmebedarf sicherzustellen. Beim Raumbetrieb ohne Belegung kann über eine höhere Zulufttemperatur der Luftwechsel unter  $0,5 \text{ h}^{-1}$  gehalten werden, um die Absenkttemperatur von  $15^\circ\text{C}$  bei  $-12^\circ\text{C}$  Außentemperatur zu halten. (Voraussetzung ist jedoch intakte Bausubstanz, insbesondere der Fenster.)

Sofern die Luftmengen erreicht werden ergibt für das Gesamtgebäude ein energetisch wirksamer Luftwechsel **von  $3 \text{ h}^{-1}$  im Betrieb** bei min. Außenluftanteil der Anlagen.

Die Anlagenkomponenten sind in einem dem Alter entsprechenden Zustand. Einige Anlagen ziehen Nebenluft bzw. die Gehäuse sind nicht mehr 100% druckdicht. Die Lüftungszentralen im Bauteil A und B weisen Überdruck auf. (Türen drücken entgegen) Einige Anlagen im Bauteil B haben erhebliche Druckschwankungen.

Auffälligkeiten:

Die Pumpengruppen für Heizregister der Lüftungsanlagen sind nicht gedämmt.

### 3.3.4. Kälteanlagen/Klimatisierung (K)

Bei der Kälteanlage handelt es sich um 2 Carrier-Kältemaschinen zur Kälteerzeugung, die z.Z. stillgelegt (Stand Ende 2002) sind.

**Bild 15 und Bild 16 Kältemaschine**



Zur Kälteanlage gehört ein Kühlturm auf dem Dach.

Die installierten Kälteleistungen zeigt [Tabelle 5 Installierte Kälteleistung](#). Der Betrieb der Anlagen ist allerdings in den Auswertungen nicht berücksichtigt, da die Anlagen - wie eingangs erwähnt - stillgelegt sind.

**Tabelle 5 Installierte Kälteleistung**

| Anlage           | Nr. | Anlagenda-        |            |                  |      |       | Wirkvolumen |                          |
|------------------|-----|-------------------|------------|------------------|------|-------|-------------|--------------------------|
|                  |     | Luft              | Leis-      | Temperaturdiffe- |      |       | f           | für min. h <sup>-1</sup> |
|                  |     | men-              | tung       | renz             |      |       |             |                          |
| Bez. Anlage      |     | ge                | Kälte      | Ta               | Tz   | Ta-Tz | benötigt    |                          |
|                  |     | m <sup>3</sup> /h | kW         | °C               | °C   | K     | kW          | m <sup>3</sup> /h        |
| <b>Summe A,B</b> |     | <b>17.53</b>      | <b>119</b> |                  |      |       | <b>93</b>   | <b>17.535</b>            |
|                  |     | <b>5</b>          |            |                  |      |       |             |                          |
| <b>Da-</b>       |     |                   |            |                  |      |       | 1,3         | <b>Stufe 1</b>           |
| <b>von:</b>      |     |                   |            |                  |      |       |             |                          |
| 4                |     | 1.200             | 6          | 32,0             | 14,0 | -18,0 | 7,1         | <b>1 1.200</b>           |
| 1, Zone 7        |     | 3.650             | 25         | 32,0             | 16,0 | -16,0 | 19,3        | <b>1 3.650</b>           |
| 3, Innenzone     |     | 1.100             | 7          | 32,0             | 16,0 | -16,0 | 5,8         | <b>1 1.100</b>           |
| 11, Zone 7       |     | 8.405             | 58         | 32,0             | 16,0 | -16,0 | 44,4        | <b>1 8.405</b>           |
| 12, Innenzone    |     | 3.180             | 22         | 32,0             | 16,0 | -16,0 | 16,8        | <b>1 3.180</b>           |

### 3.3.5. Beleuchtung (B)

Die Beleuchtung in den Bauteilen besteht überwiegend aus in die Decke integrierten Leuchten ohne verspiegelte Reflektoren mit mäßiger Reflektoranstellung. Die Standardbestückung sind zwei 58 W Leuchten in Standard Weiß mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) für die eine Verlustleistung von jeweils 13 W anzusetzen ist.

Teilweise sind einige Leuchten auch als Zu- und Abluftführung ausgestaltet.

Die Zuluft wird über seitliche Schlitzte geführt, die Abluft zwischen den Leuchten. Die Länge der Kombilampen beträgt 150 cm. Sie sind mit 2 Leuchten a 58 W bestückt. Die Reflektoren sind als weiße Steil- und Flachreflektoren ausgeführt (inzwischen teilweise stark verschmutzt) und nach unten offen.

Da kein Deckenspiegel vorlag, wurden alle Leuchten neu erfasst und in beiliegendem Raumplan aufgenommen (vgl. [Tabelle 6 Leuchtenplan Bauteil AB](#)). In den Räumen ist überwiegend eine Leuchtenleistung von 20 W/m<sup>2</sup> installiert.

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

**Tabelle 6 Leuchtenplan Bauteil ABC**

|            | Fläche         | Leuchten | Leuchten- | Gesamt-      | spez.            | spez.                | Verbrauch      |
|------------|----------------|----------|-----------|--------------|------------------|----------------------|----------------|
| Bauteil    |                |          | leistung  | leistung     | Leistung         | Verbrauch            |                |
| Geschoss   | m <sup>2</sup> | Stk      | kW        | kW           | W/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> a | kWh/a          |
|            | <b>10.733</b>  |          |           | <b>226,6</b> | <b>21,1</b>      | <b>32,2</b>          | <b>345.338</b> |
| Bauteil AB |                |          |           |              |                  |                      |                |
| EG         | 1.517          | 407      | 23,3      | 28,6         | <b>18,9</b>      | <b>26,8</b>          | 40.620         |
| 1.OG       | 1.957          | 683      | 39,3      | 48,1         | <b>24,6</b>      | <b>34,7</b>          | 67.929         |
| 2.OG       | 2.162          | 628      | 36,1      | 44,2         | <b>20,4</b>      | <b>29,5</b>          | 63.859         |
| 3.OG       | 2.220          | 631      | 36,4      | 44,6         | <b>20,1</b>      | <b>30,0</b>          | 66.646         |
| 4.OG       | 989            | 330      | 19,1      | 23,4         | <b>23,7</b>      | <b>42,4</b>          | 41.961         |
| Bauteil C  |                |          |           |              |                  |                      |                |
| EG         | 955            | 566      | 17,0      | 20,8         | <b>17,8</b>      | <b>33,6</b>          | 32.069         |
| 1.OG       | 933            | 297      | 13,7      | 16,8         | <b>14,7</b>      | <b>34,6</b>          | 32.255         |

ohne Kellergeschoß und Tiefgarage, **Achtung: Aufmaßdifferenz zur EBF!**

Details siehe auch Kapitel 6

**Anlage 2 Beleuchtung Bauteil AB.**

**Anlage 3 Beleuchtung Bauteil C**



Aufgrund der vorliegenden Informationen kann nach LEE (A 3.1.4.) der Wirkungsgrad zu 0,8 bestimmt und der Verminderungsfaktor  $v$  (A 3.1.5.) mit 0,6 (Planungsfaktor  $p = 1,67$ ) bestimmt werden. Da die Leuchten mit oder ohne Abluft im Reflektoraufbau gleich sind wird von gleichen Planungsdaten ausgegangen. Mit rund  $20 \text{ W/m}^2$  liegt die installierte Leistung über den heutigen Richtwerten, die bei  $300 \text{ lx}$  rund  $10 \text{ W/m}^2$  vorsehen.

**Bild 17 und Bild 18 Standardleuchten im Gebäude A/B in Flur (links) und Klassenräumen (rechts) mit und ohne Lüftung**



Durch Abluftführung über die Lampen wird die Abwärme mit der Abluft abgeführt (Im Sommer erwünscht, im Winter nicht) Alle Lampen sind mit KVG ausgestattet.

**Bild 19 Standardleuchte ohne Lüftung im 4. OG**



In den Sanitärbereichen sind überwiegend Opallampen mit  $1 \times 18 \text{ W}$  Leuchtstofflampen installiert. Die installierte Leistung liegt hier zwischen  $3$  und  $8 \text{ W/m}^2$ .

In den Fluren besteht über eine zentrale Steuerung im Hausmeisterbüro die Möglichkeit die Lichtstärke durch Abschalten einiger Leuchten zu reduzieren. Allerdings geht das nur einstufig für verschiedene Zonen und berücksichtigt keinen Außenlichtanteil. So leuchten in den Fluren (z.B. 4.OG Bauteil B) einige Leuchten zwar vermindert aber unnötig. (siehe Maßnahmen Lichtsteuerung). In den Fluren (100 Lux) beträgt die installierte Leistung zwischen 5 und 12 W/m<sup>2</sup>. Heute werden nach Leitfaden für Energie im Hochbau (LEE) für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m<sup>2</sup> und als Zielwert 2 W/m<sup>2</sup> angestrebt.

**Bild 20 Typ x 18 W / 60 im WC 3. OG**



Im Bauteil C in der Turnhalle gibt es als Standardtyp 3-reihige 3 x 58 W Leuchten als verglaste Lichtbänder. Alle Lampen sind mit KVG ausgestattet.

**Bild 21 Standardleuchte 3-reihig Turnhalle**



Nach LEE (A 3.1.4.) kann der Wirkungsgrad zu 0,8 bestimmt und der Verminderungsfaktor  $v$  (A 3.1.5.) mit 0,7 (Planungsfaktor  $p = 1,43$ ) ermittelt werden.

Die alten Planungsfaktoren sind durchgängig zu hoch. Mit modernen Lampen sind Planungsfaktoren bis nahe 1 (T5) erreichbar. Damit lassen sich die installierten Leistung deutlich unter  $10 \text{ W/m}^2$  für 300 Lux drücken.

Die derzeit installierten Leistungen in allen Unterrichtsräumen in A,B,C liegen mit  $20 \text{ W/m}^2$  deutlich darüber. (vgl. Maßnahmen 7.8.)

### 3.3.6. Sonstige elektrische Verbraucher

Weitere elektrische Verbraucher:

Diverse Haustechnik (DT)

1 Fahrstuhl (Bauteil B)

Betriebseinrichtungen (BR)

Werkzeugmaschinen zur Holz- und Metallbearbeitung

Technikum mit Laborausstattung

Arbeitshilfen (AH)

Server, PC Räume

PC, Drucker, Kopierer

Elektroheizkörper, Lüfter und Radiatoren

**Bild 22 Folgen veralteter Bausubstanz**



Zentrale Dienste (ZD):

Alarmanlage

Notbeleuchtung/Batterieanlage

Brandmeldeeinrichtung

Kopierraum

Diese Verbraucher sind im Rahmen einer Feinanalyse zu untersuchen. Für die Berechnung der Leistungen und Verbräuche sind diese abgeschätzt. (siehe Tabelle 11)

Als weiterer Verbraucher wurde die Lehrküche aufgenommen. Hier summiert sich die installierte Leistung zu rund 25 kW. Im Zwischengespräch wurde festgestellt, dass die Küche nur noch selten benutzt wird. Es wird daher von weiteren Untersuchungen abgesehen.

### 3.3.7. Sanitär/Wasser (S)

Im Gebäude befinden sich 51 Toilettenanlagen, die überwiegend als Tiefspüler ausgestattet sind. Bei den Tiefspülern sind die meisten (Stichprobe) auf 9 l Wassermenge (Standard Spülkästen für 9 l) eingestellt.

Es gibt kein getrenntes Trinkwasser-Brauchwassernetz.

Daneben gibt es 18 trockene Urinalanlagen die täglich gespült werden.

Die 184 Waschbecken verfügen in den öffentlich zugänglichen Bereich über Standardarmaturen ohne Mengen- oder Zeitbegrenzung.

Die 18 Duschen sind teilweise erneuert mit Spararmatur und Stoptaste.

Weiterer Wasserverbraucher ist der Kühlturm, dessen Verbrauch jedoch nicht separat gemessen wird. Da die Anlage stillgelegt ist erfolgt keine weitere Untersuchung.



## 4. Energiedaten

### 4.1. Verbräuche

In der PES werden zur Zeit rund 1000 MWh Strom, 2000 MWh Fernwärme und 2000 m<sup>3</sup> Wasser verbraucht.

Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für

**Strom** **108 kWh/m<sup>2</sup>a**

(Ab 80 kWh/m<sup>2</sup>a wird die Durchführung einer Feinanalyse empfohlen.)

**Die Leistungsspitze von 416 kW führt beim Strom zu 3160 Vollbenutzungsstunden.**  
(Der Richtwert beträgt 2000h)

**Wärme** **190 kWh/m<sup>2</sup>a**

**Die installierte Leistung von 4890 kW führt zu 397 Benutzungsstunden.**  
(Der Richtwert liegt bei 1500 h)

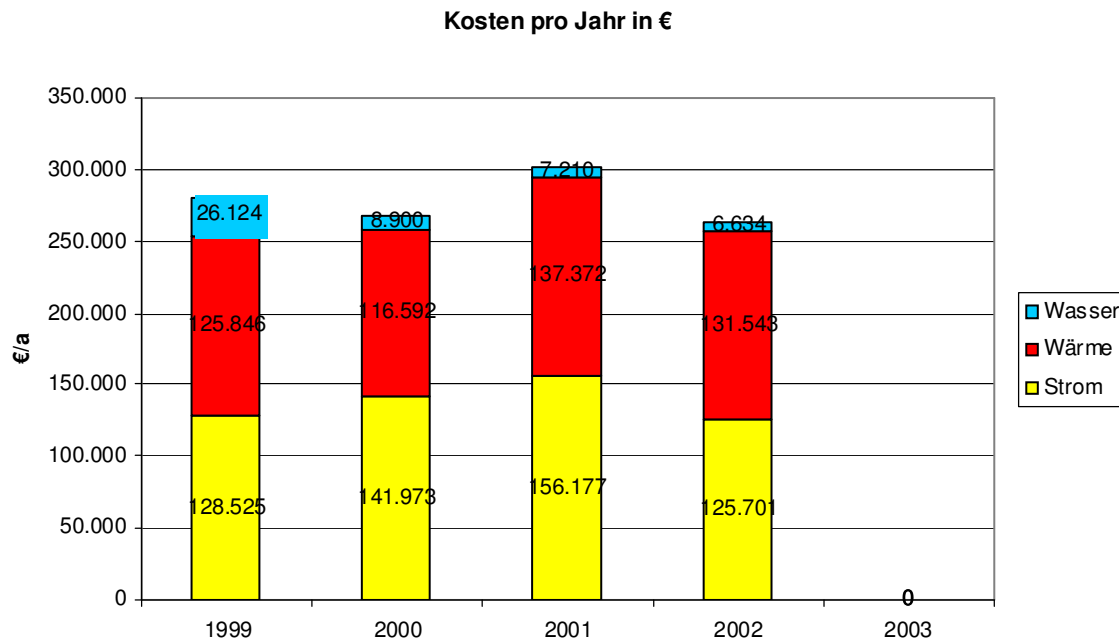
**Die Energiedaten zeigen dringenden Handlungs-/Sanierungsbedarf!**

Der Wasserverbrauch liegt bei **5 l/Pers,d**. Dieser Wert liegt günstiger als der Mittelwert. (Schulen und Verwaltungsgebäude 10-20 l/Pers,d).

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Verbräuche und Kosten im HT/NT sowie die Leistung für Strom und Gas, Wasser für die Jahre 1998-2002.

**Tabelle 7 Energieverbräuche und Kosten**

| <b>Kosten pro Jahr</b> |                           |                         |                         |                          |
|------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|                        | Energie<br>Summe<br>EUR/a | Strom<br>Summe<br>EUR/a | Wärme<br>Summe<br>EUR/a | Wasser<br>Summe<br>EUR/a |
| 1997                   |                           | 121.853                 | 0                       | 20.646                   |
| 1998                   |                           | 116.579                 | 0                       | 13.762                   |
| 1999                   | 280.496                   | 128.525                 | 125.846                 | 26.124                   |
| 2000                   | 267.465                   | 141.973                 | 116.592                 | 8.900                    |
| 2001                   | 300.759                   | 156.177                 | 137.372                 | 7.210                    |
| 2002                   | 263.878                   | 125.701                 | 131.543                 | 6.634                    |
| 2003                   |                           |                         |                         |                          |

**Abbildung 1 Energiekosten und Verteilung 1998 - 2002****Tabelle 8 Energieverbräuche von 1998 – 2002**

|      | Strom HT<br>Summe<br>kWh/a | Strom NT<br>Summe<br>kWh/a | Leistung<br>Max<br>kW | Strom<br>Summe<br>MWh/a | Wärme<br>Summe<br>MWh/a | Wasser<br>Summe ***<br>m³ |
|------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1997 | 0                          | 0                          | 0                     | 1.049                   | 0                       | 0                         |
| 1998 | 0                          | 0                          | 0                     | 999                     | 0                       | 0                         |
| 1999 | 724.678                    | 178.105                    | 0                     | 1.030                   | 1.877                   | 3.550                     |
| 2000 | 843.295                    | 227.635                    | 0                     | 1.068                   | 1.596                   | 2.389                     |
| 2001 | 817.391                    | 292.470                    | 0                     | 1.111                   | 2.227                   | 1.687                     |
| 2002 | 874.052                    | 339.841                    | 416                   | 1.214                   | 2.050                   | 1.525                     |
| 2003 |                            |                            |                       |                         |                         |                           |

**Tabelle 9 Spezifische Energiekosten**

| <b>Spezifische Kosten</b> |                          |                          |                         |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                           | Strom<br>Summe<br>ct/kWh | Wärme<br>Summe<br>ct/kWh | Wasser<br>Summe<br>€/m³ |
| Mittelwert                | 12,34                    | 6,60                     | 6,12                    |
| 1998                      | 11,67                    |                          |                         |
| 1999                      | 12,48                    | 6,70                     | 7,36                    |
| 2000                      | 13,29                    | 7,31                     | 3,73                    |
| 2001                      | 14,06                    | 6,17                     | 4,27                    |
| 2002                      | 10,36                    | 6,42                     | 4,35                    |
| 2003                      |                          |                          |                         |

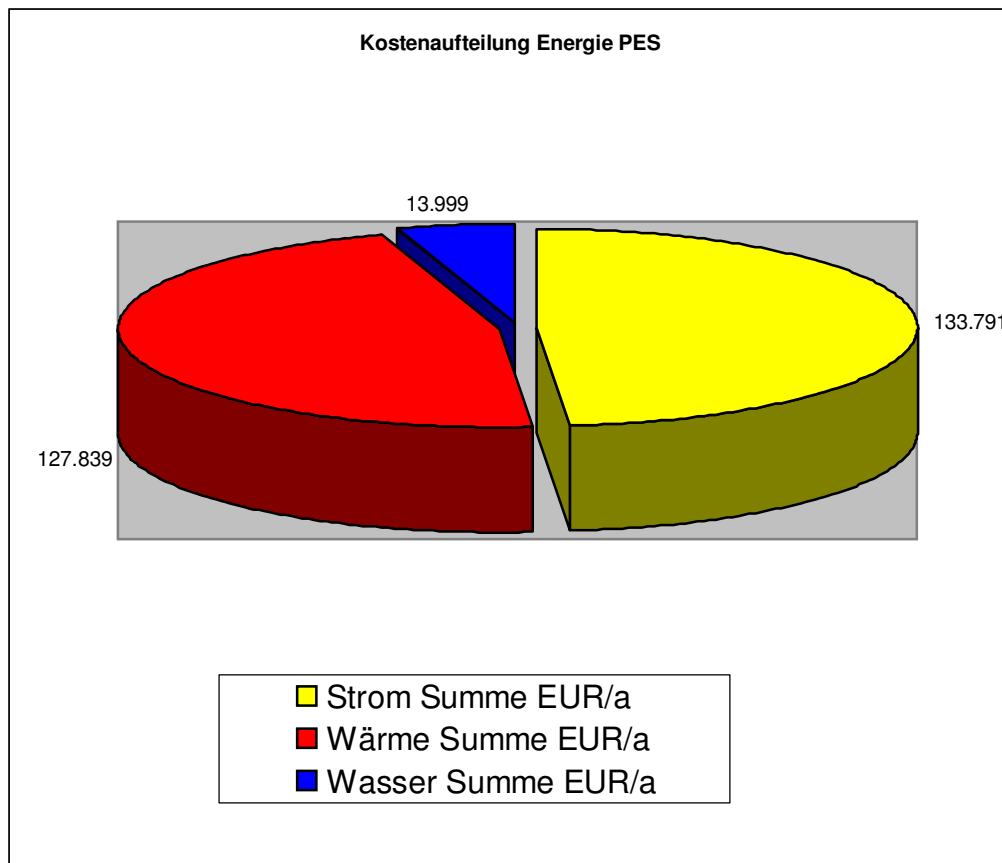
Die spezifischen Kosten für Strom stiegen von 1999 bis 2001 kontinuierlich durch die Öko-steuer, EEG und KWK. Durch die Vertragsverhandlungen der Stadt Frankfurt mit der Süwag wird ab 2002 ein wesentlich günstigerer Preis erzielt.

Der Wärmepreis verändert sich nur geringfügig durch die Koppelung an den Kohlepreis. Hier sind die Preissprünge nicht so extrem wie beim Öl/Gas.

Bei den Wasserabrechnungen gab es 1999 und 2000 Differenzen zwischen Verbräuchen und Abrechnung. Der Wasserpreis ist über die Jahre gleichgeblieben.

Für Energie und Wasser mussten im Jahr 2002 rund 280.000 € aufgewandt werden.

**Diagramm 1 Kostenaufteilung Energie**



Das Diagramm 1 stellt die Kostenaufteilung zwischen den Verbrauchern für Wasser, Gas und Strom als Mittelwert der letzten 5 Jahre dar.

Der größte Teil davon entfällt auf Strom mit 133 T€ pro Jahr. Der Gasbezug kostet rund 127 T€ pro Jahr. Daran gemessen sind die Wasserkosten mit 13 T€ pro Jahr eher bescheiden.

## 4.2. Verträge

### 4.2.1. Stromverträge

Von der Stadt Frankfurt, Abt. Energiemanagement, wurde im Jahr 2001 eine Rahmenvereinbarung mit der SÜWAG (ehem. MKW, heute RWE Group) abgeschlossen, die vom 1.1.2002 gilt und im April 2002 auch rückwirkend angewendet wurde.

Dadurch sank der spezifische Strompreis im April 2002 rückwirkend ab Januar 2002 von 9,97 ct/kWh auf 6,96 ct/kWh.

Der alte Tarif L125 (96) wurde auf Public Plus City M1/M2 19300 umgestellt. Die Umstellung führt zu einer durchschnittlichen Nettoentlastung von 3,01 ct/kWh. Mit allen Zuschlägen und Steuern wird ein Durchschnittspreis von 12,1 ct/kWh bezahlt.

Der Durchschnittspreis basiert auf einer Mindestleistung von 409,5 kW. Abgerechnet wurden 2002 416 kW. Die bereitgestellte Leistung liegt bei 585 kW bzw. 650 kVA

Gemessen an den alten G-Tarifen der MKW, die das Schulamt vor dem Jahr 2002 ausgehandelt hatte, konnte insgesamt eine Einsparung von 40 % erreicht werden.

Im Rahmen weiterer Vertragsverhandlungen ist die hohe Mindestleistung von 409,5 kW zu reduzieren, insbesondere wenn die Maßnahmen zur Stromeinsparung im Bereich Lüftung und Beleuchtung durchgeführt werden. (vgl. 7.4. und 7.8.)

#### 4.2.2. Wärmeverträge

Die Wärmeversorgung ist in einem Vertrag zwischen Schule und MKW aus dem Jahre 1976 geregelt.

Dieser erhält einen Leistungspreis von 35.000 DM/ 1000 Mcal/h (= 15,53 €/kW) und einen Arbeitspreis von 36 DM/ 1000 Mcal (= 1,59 ct/kWh)

Die Basis war damals der Kohlepreis Ruhrort frei Schiff Hafen Höchst mit 164,56 DM/t.

Im Jahr 2002 waren die Preise angepasst auf:

Leistungspreis 27,60694 € / kWa

Arbeitspreis 0,02839 € / kWh

Dies führt incl. aller Zuschläge und Steuern zu einem durchschnittlichen Wärmepreis von 6,6 ct/kWh. Die Anpassung beruht auf einer Veränderung des Kohlepreis. Wenn dieser sich um 1 % verändert, darf eine Anpassung um 0,9% vorgenommen werden. Die damals zugrundeliegte Kohlesorte gibt es heute nach Auskunft der RAG nicht mehr. Ein Kohle vergleichbarer Körnung (3 = 30-18 mm bzw. 4 = 18-10 mm) und Fettgehalt C (Flüchtige Bestandteile 20-30 % ) allerdings frei Schiff Hafen Hamm kostet heute 162.- €/t zzgl. Mwst. und Transport. Da sich der Kohlepreis für diese Qualität damit seit 1976 fast verdoppelt hat dürfte auch die Preisanpassung in Ordnung sein.

Der Vertrag legt eine Höchstleistung von 3,4 Gcal/h (=3,944 MW) zugrunde. Diese liegt noch unter der installierten Wärmetauscherleistung von 4.880 kW.

Da zwischenzeitlich der Fernwärmebetrieb des Kraftwerks eingestellt wurde können diese Leistungen nicht mehr garantiert werden. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Vertragsgestaltung sind in 7.1.2. behandelt.

Die WT sind erheblich überdimensioniert. Auch die vertraglich vereinbarten Höchstleistungen sind mit 3.900 kW zu hoch. Die Jahreshöchstleistung lag im Januar 2003 bei 1780 kW im März 2003 bei 1450 kW. Aus den Vorjahren lagen leider keine Werte vor (vgl. auch 4.3.2.) Gewährleistet wird z.Z. eine Temperaturpaarung von 90/70.

Der Vertrag läuft 2005 aus. Da die Süwag bereits signalisiert hat, die Fernwärmeversorgung unter anderen Konditionen weiterzuführen, muss auch eine Umstellung der Anlagentechnik auf andere Energieträger untersucht werden oder eine andere Fernwärmebasis gefunden werden ( z.B. Latentwärmespeicher, siehe Maßnahmen 7.)

Auf jeden Fall ist die mindestens abzunehmende Leistung und die Maximalleistung deutlich zu verringern. (vgl. auch Maßnahmen 7.2. Verträge)

### 4.2.3. Wasserverträge

Der Wasserpreis liegt bei 1,87 €/m<sup>3</sup> zuzügl. 7 % MwSt. (Erhöhung auf 16 % geplant). Der Abwasserpreis beträgt 1,76 €/m<sup>3</sup>. Die Grundgebühr beträgt 39,14 €/a. Im Jahre 2002 lag die Grundwasserabgabe bei 0,1278 €/m<sup>3</sup>.

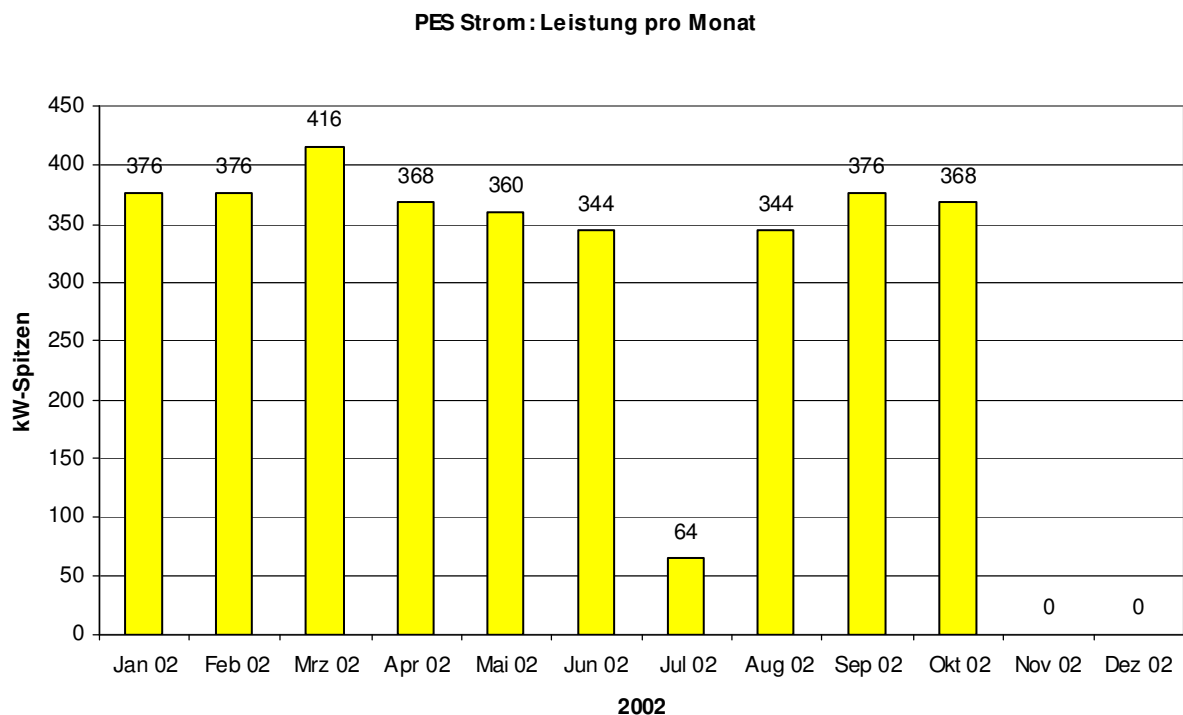
Die Ausgleichsabgabe soll mit Datum vom 1.1.2003 wegfallen, so dass es hier Entlastungen gibt. Die Versorgung ist im Rahmen des allgemeinen Tarifgefüges mit der Mainova geregelt. Es gibt keine spezielle Vertragsvereinbarung.

## 4.3. Lastgänge

### 4.3.1. Stromlast

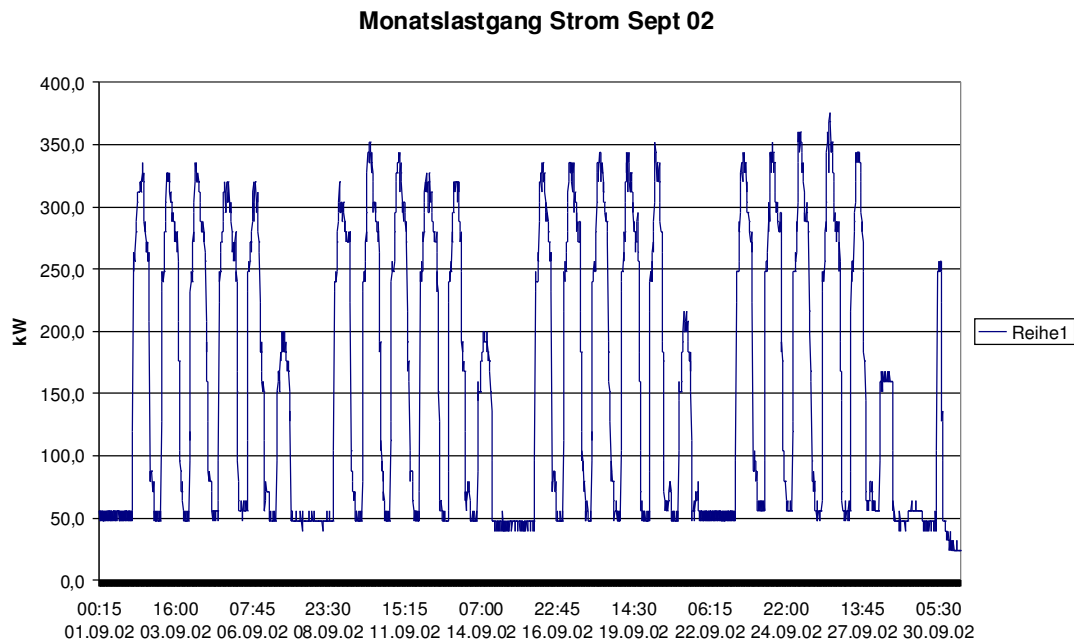
Die Jahreslastgänge für die Leistung sind in [Abbildung 2 Strom Leistungswerte pro Monat ab 2002](#) seit Januar 2002 als Monatswerte aufgezeichnet.

**Abbildung 2 Strom Leistungswerte pro Monat ab 2002**



Leider liegen aus den Jahren vor 2002 keine Leistungsangaben vor, da nur die Rechnungen von Jan bis Oktober 2002 verfügbar waren.

Deutlich zu erkennen sind die ausgeprägten Spitzen im März mit 416 kW, wenn keine Ferien sind und anscheinend die höchsten Aktivitäten im Haus sind. Der Juli ist ein ausgeprägter Ferienmonat, die Grundlast wird kaum erhöht. Allerdings sind 50 kW für ein inaktives Gebäude immer noch hoch. Anscheinend liefen die Heizungspumpen und Teile der Lüftung immer noch stand-by.



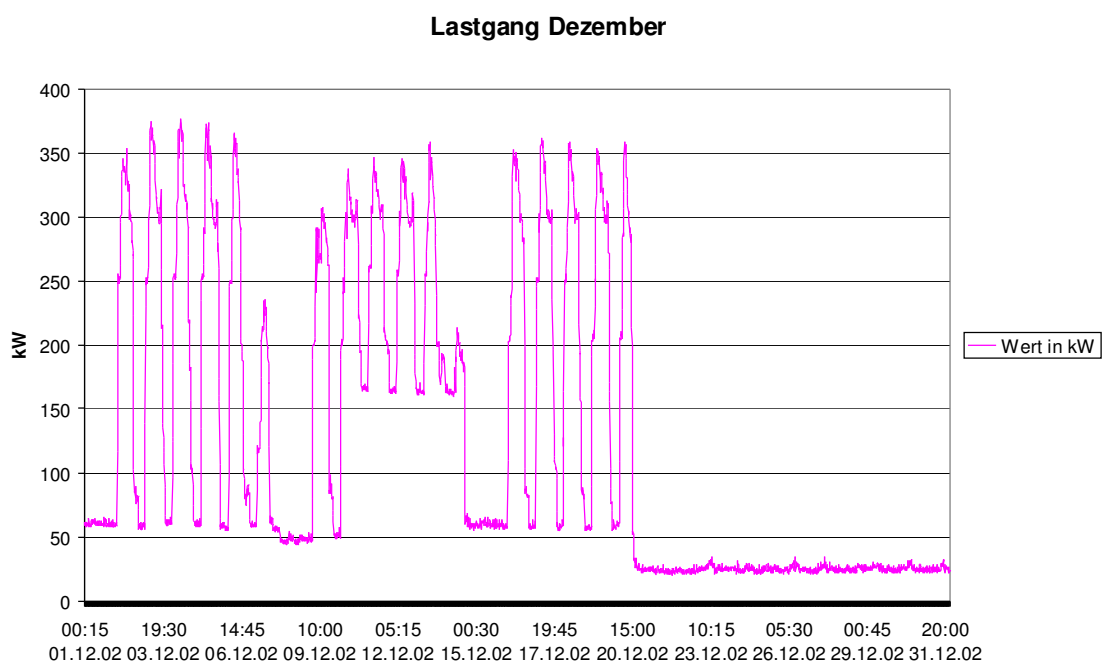
**Abbildung 3 Stromlastgang September 2002**

Von der SÜWAG wurden die Stromlastgänge für die Monate Sept. und Dez. abgefordert und ausgewertet.

In *Abbildung 3 Stromlastgang September 2002* ist der Stromlastgang über den Monat September aufgezeichnet und zeigt die ¼ Stundenwerte vom 1.9. – 30. 9.02. Wie man deutlich erkennen kann, hat das Gebäude einen ausgeprägten Montags-Freitags Betrieb. In der letzten Septemberwoche wird der Spitzenwert mit 380 kW am Donnerstag gegen Mittag erreicht.

Zum Vergleich wurde der Dezember herangezogen. (*Abbildung 4 Stromlastgang Dezember 2002*)

**Abbildung 4 Stromlastgang Dezember 2002**



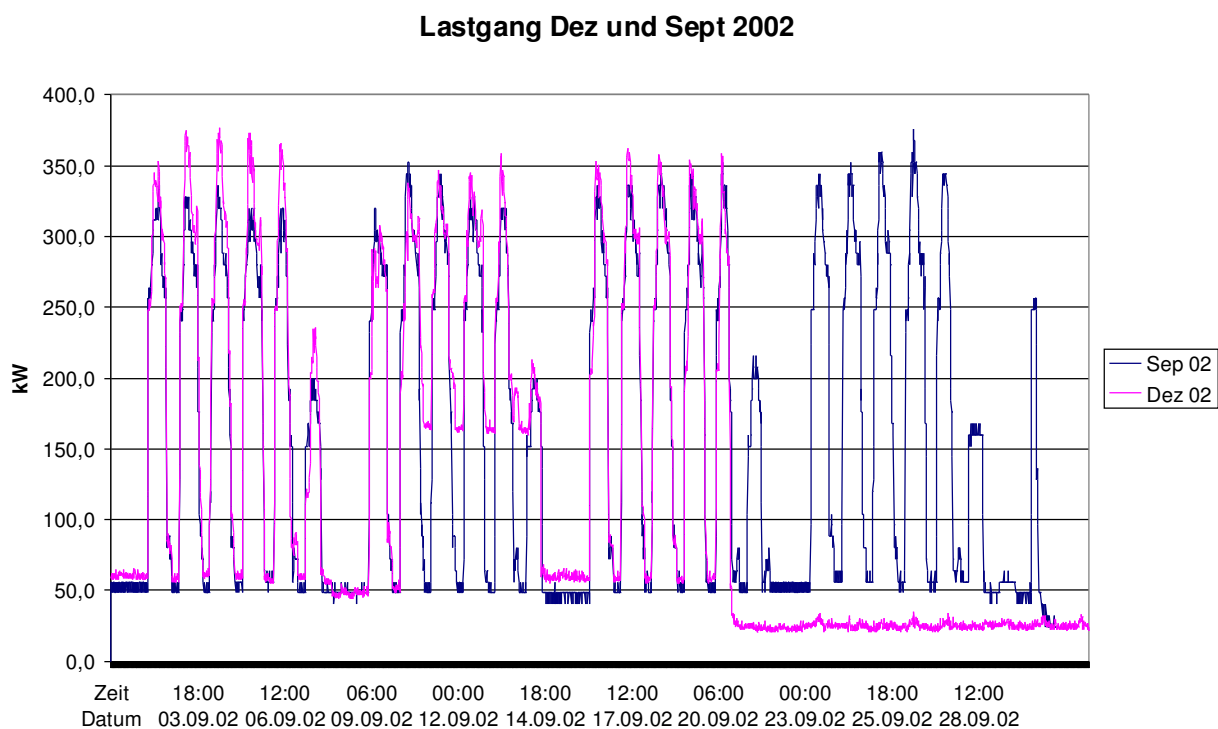


Auch hier liegt der Spitzenwert bei rund 380 kW.

Die Grundlast beträgt wie im September 50 kW. Mit Beginn der Schulferien sinkt die hohe Grundlast auf 25 kW. Die Tagesspitzen entfallen völlig.

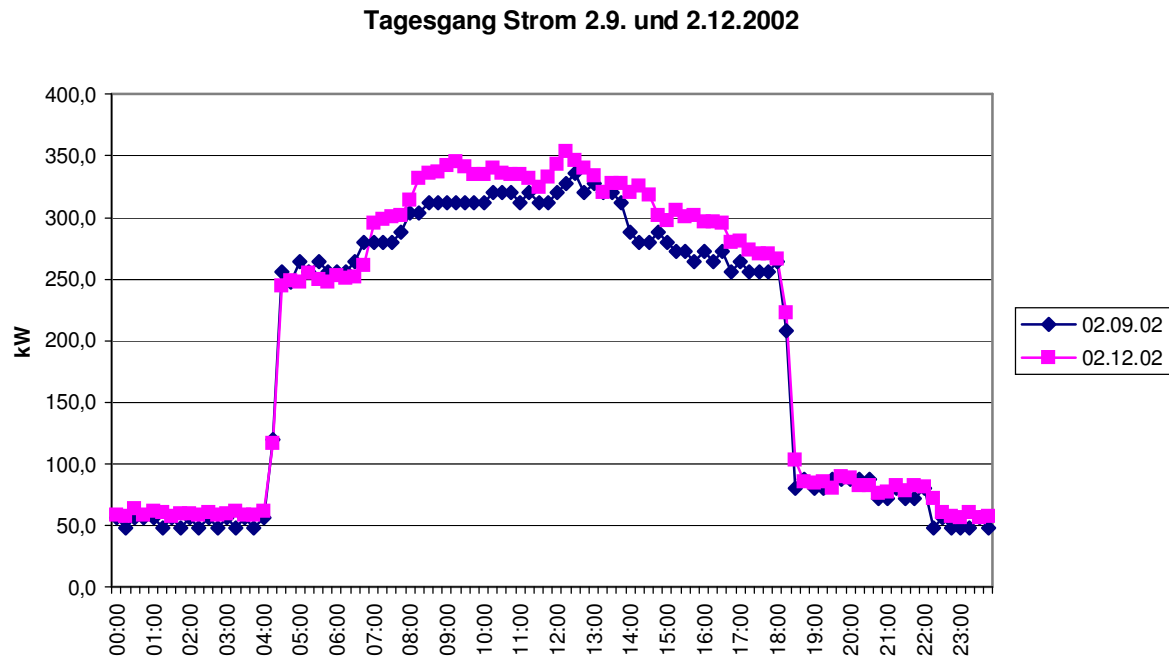
Während der Kälteperioden müssen die hohen Grundleistungen weiter erhöht werden, weil aufgrund der Außentemperaturen die Lüftung nicht ausgeschaltet werden kann, um die Räume nicht zu stark auskühlen zu lassen. Dies erkennt man deutlich in Abbildung 4 in der 2. Dezemberwoche. Rund 120 kW Lüftungs- und Pumpenleistung bleiben in Betrieb, so dass die Grundleistung insgesamt bei 170 kW liegt. Erst zum Wochenende werden die Anlagen wieder abgefahren.

**Abbildung 5 Vergleich der Lastgänge September und Oktober**



Der typische Tagesverlauf stellt sich wie folgt dar:

**Abbildung 6 Tageslastgang Strom Vergleich Sept – Dez 2002**



Das Gebäude hat eine ausgeprägte Grundlast von rund 50 kW, die im wesentlichen durch die durchlaufenden Pumpen, Licht und Anlagen im Werkstattbereich sowie Lüftungsanlagen verursacht wird.

Diese Grundlast läuft von 22:00 – 4:00 Uhr früh durch.

Um 4:00 steigt die Leistung von 50 auf 250 kW mit Arbeitsaufnahme der Lüftungsanlage, die zugleich heizt. Gegen 7:00 schalten die Hausverwalter die Beleuchtung an, die Leistung erhöht sich auf knapp 300 kW.

Gegen 8:00 erhöht sich die Leistung weiter durch die Aufnahme des Schul- (Beleuchtung in Klassenräumen) und Werkstattbetriebes, um dann stetig bis zur ersten Spitze von 350 kW um 10:00 Uhr hoch zu laufen. (vgl. Maßnahmen Lastmanagement 7.) Diese bleibt dann mit leichten Schwankungen bis zum frühen Nachmittag auf diesem Niveau, um dann stetig abzufallen.

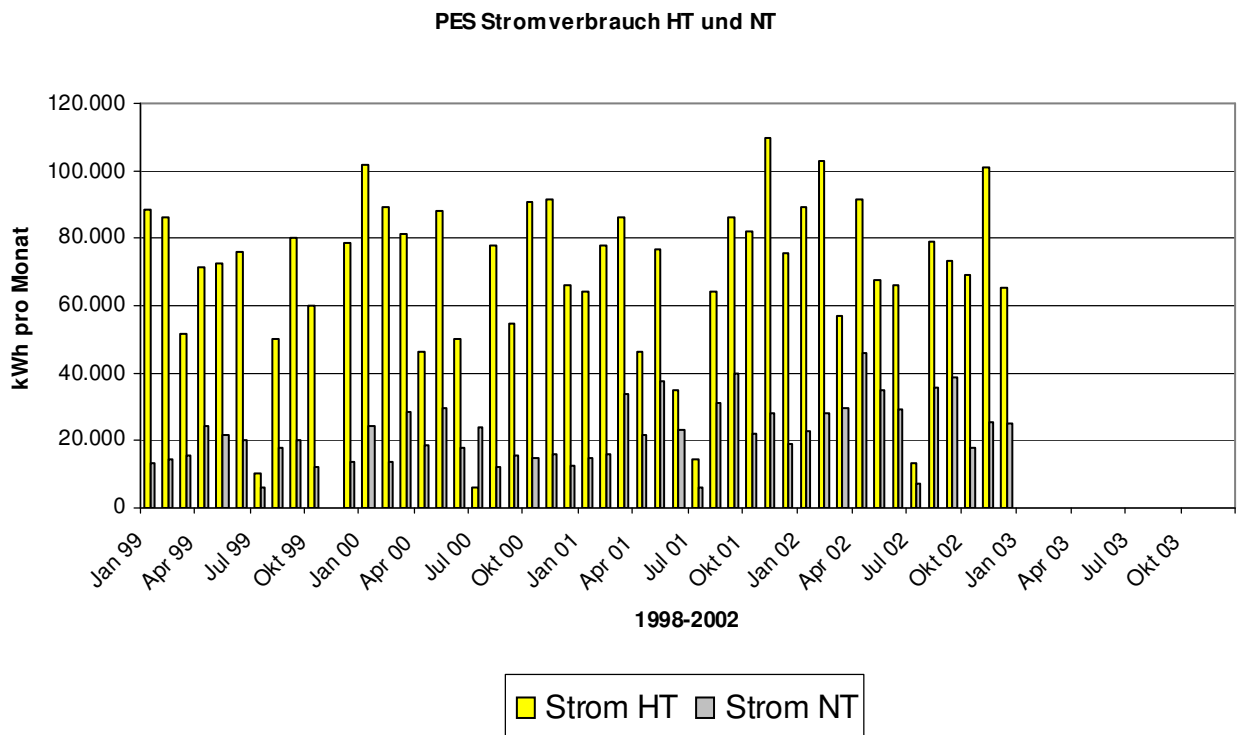
Um 19:00 werden die Lüftungsanlagen im Bauteil AB abgefahren und die Leistung sinkt auf rund 90 kW. Mit Abschalten der Lüftung und Beleuchtung Turnhalle gegen 22:30 fällt das Gebäude wieder auf die Grundlast von 50 kW zurück.

Hochtarif (HT) und Niedertarif (NT) -Verläufe

*Abbildung 7 HT und NT Verbräuche* zeigt die Stromverbräuche im HT und NT-Bereich von Januar 99 bis Dezember 2002. Deutlich zu erkennen sind hohe HT-Verbräuche im Februar und im November. Diese Monate weisen keine Ferien auf. In den Sommerferien (Ferienschwerpunkt in Hessen war der Juli) sind die Verbräuche dagegen ausgeprägt niedrig.

Über die Jahre steigt der Verbrauch, insbesondere im NT Bereich (siehe Abbildung 7, vgl. auch Tabelle 8, S.29). Teilweise kann dies mit dem zusätzliche Betrieb von diversen Verbrauchern, wie z.B. PC und Server erklärt werden. Eine weitere Erklärung wären die verlängerten Laufzeiten der Lüftungsanlagen zum Heizen in den Wintermonaten. Möglich wäre eine weitere Verschlechterung der Bausubstanz oder auch der Betriebsweise des Fernheiznetzes. Die Anlagentechnik hat sich in diesem Zeitraum nicht verändert. Leider lässt sich die genaue Geschichte ab 1998 nicht mehr nachvollziehen. Eine Korrelation zwischen Wärme- und Stromverbrauch lässt sich auch nicht eindeutig herstellen. (vergleiche Stromlastgänge Wochenwerte, Tageswerte)

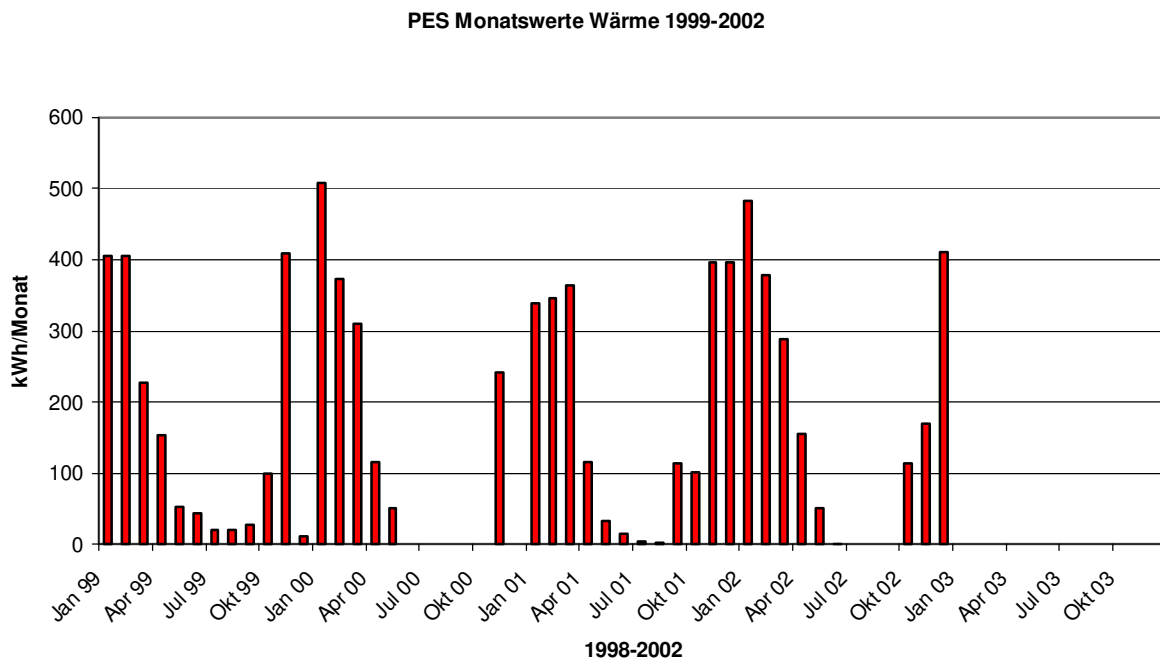
**Abbildung 7 HT und NT Verbräuche**



### 4.3.2. Wärme

In *Abbildung 8 Monatswerte Wärme* sind die Lastgänge für Fernwärme als Monatswerte von Januar 98 bis zum Jahresende 2002 dargestellt.

**Abbildung 8 Monatswerte Wärme**



Leider liegen seit Oktober 2002 keine Stundenwerte vor, da das Tarifgerät defekt ist. Auch Viertelstundenwerte sind nicht mehr verfügbar, so dass hier kein Tageslastgang ausgewertet werden kann. Lt. Auskunft der Süwag wird monatlich wieder manuell abgelesen, da die Fernübermittlung und Speicherung nicht funktioniert. Die Monatsgänge zeigen deutlich die Sommerabschaltung und den Winterverlauf.

## 5. Leistungen und Verbräuche

Aus den vorgenannten Leistungsangaben und Daten wurde die Tabelle 10 Leistungen und Verbräuche zusammengestellt.

In einigen Bereichen handelt es sich insbesondere bei den untergeordneten Leistungen um Schätzwerte. Diese können im Rahmen einer Feinanalyse weiter differenziert und präzisiert werden.

Sowohl die Gesamtleistung als auch die Verbräuche treffen die Ergebnisse der Lastgänge und der jährlichen Verbräuche hinreichend genau.

Tabelle 10 Leistungen und Verbräuche Strom

| Nr                 | Zentrale<br>Anlage                  | Leistung<br>installiert<br>kW | Leistung<br>spez<br>W/m <sup>2</sup> | Gleich<br>zeitigk.<br>f | Leistung<br>Sommer<br>kW | Leistung<br>Winter<br>kW | Vollast<br>pro Jahr<br>h/a | Verbrauch<br>pro Jahr<br>kWh/a | Proz. Anteil<br>am Verbrauch<br>% |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Summe Strom</b> |                                     |                               |                                      |                         |                          |                          |                            |                                |                                   |
| -                  | <b>Daten IST (Summe)</b>            | <b>643</b>                    |                                      |                         |                          |                          | <b>1718</b>                | <b>1.105.723</b>               | <b>100,0%</b>                     |
| -                  | <b>Leistung/Verbrauch berechnet</b> | <b>643</b>                    | <b>63</b>                            |                         | <b>450</b>               | <b>430</b>               | <b>1738</b>                | <b>1.118.321</b>               |                                   |
| davon:             |                                     |                               |                                      |                         |                          |                          |                            |                                |                                   |
| -                  | <b>Lüftung</b>                      | <b>L</b>                      | <b>277</b>                           | <b>27,2</b>             |                          |                          | <b>2298</b>                | <b>637.193</b>                 | <b>53,7%</b>                      |
| -                  | Bauteil A                           |                               | 102                                  | 0,95                    | 97                       | 97                       | 2300                       | 222.542                        | 18,8%                             |
| -                  | Bauteil B                           |                               | 143                                  | 0,95                    | 136                      | 136                      | 2760                       | 376.021                        | 31,7%                             |
| -                  | Bauteil C                           |                               | 27                                   | 0,5                     | 14                       | 14                       | 1380                       | 18.630                         | 1,6%                              |
| -                  | Restl. Lüftungsanlagen              |                               | 5                                    | 0,9                     | 5                        | 5                        | 4000                       | 20.000                         | 1,7%                              |
| -                  | <b>Beleuchtung</b>                  | <b>B</b>                      | <b>234</b>                           | <b>22,9</b>             |                          |                          | <b>1500</b>                | <b>350.378</b>                 | <b>29,5%</b>                      |
| -                  | Beleuchtung AB                      |                               | 194                                  | 0,5                     | 97                       | 97                       | 1500                       | 290.666                        | 24,5%                             |
| -                  | Beleuchtung C                       |                               | 40                                   | 0,5                     | 20                       | 20                       | 1500                       | 59.712                         | 5,0%                              |
| -                  | Heizung                             |                               |                                      |                         |                          |                          |                            |                                |                                   |
| -                  | <b>Heizung (Strom)</b>              | <b>HH</b>                     | <b>20</b>                            | <b>2,0</b>              | <b>0,95</b>              | <b>3</b>                 | <b>19</b>                  | <b>5000</b>                    | <b>13,8%</b>                      |
| -                  | <b>Klima</b>                        | <b>K</b>                      | <b>52</b>                            | <b>5,1</b>              |                          |                          |                            |                                |                                   |
| -                  | Kälte 1 und 2                       |                               | 40                                   | 0,95                    | 38                       |                          | 0                          | 0                              | 0,0%                              |
| -                  | Befeuchtung                         |                               | 12                                   | 0,95                    | 11                       | 11                       | 0                          | 0                              | 0,0%                              |
| -                  | <b>Diverse Haustechnik</b>          | <b>DT</b>                     | <b>8</b>                             | <b>0,8</b>              | <b>0,5</b>               | <b>4</b>                 | <b>4</b>                   | <b>2000</b>                    | <b>0,7%</b>                       |
| -                  | <b>Küche (Lehrküche)</b>            | <b>ZD</b>                     | <b>18</b>                            | <b>1,8</b>              | <b>0,5</b>               | <b>9</b>                 | <b>9</b>                   | <b>1000</b>                    | <b>0,8%</b>                       |
| -                  | <b>Zentrale Dienste</b>             |                               |                                      |                         |                          |                          |                            |                                |                                   |
| -                  | <b>(Sonst.)</b>                     | <b>ZD</b>                     | <b>25</b>                            | <b>2,5</b>              | <b>0,5</b>               | <b>13</b>                | <b>13</b>                  | <b>1500</b>                    | <b>1,6%</b>                       |
| -                  | <b>Arbeitsmittel</b>                | <b>AH</b>                     | <b>10</b>                            | <b>1,0</b>              | <b>0,5</b>               | <b>5</b>                 | <b>5</b>                   | <b>1500</b>                    | <b>0,6%</b>                       |

Die Tabelle zeigt deutlich die höchsten Leistungen im Bereich der Lüftung der Bauteile A und B sowie der Beleuchtung in A,B,C. Danach folgt mit deutlichem Abstand die Heizung.

Durch die vielen Betriebsstunden der Lüftung führt die hohe Leistung zu einem Verbrauch von 600 MWh/a. Das ist die Hälfte des Gesamtverbrauchs der Schule.

Die Beleuchtung stellt rund ein Drittel (37%) der installierten Leistung. Durch die geringeren Betriebsstunden wird 30 % des Gesamtverbrauchs erreicht.

Die Aufteilung des Verbrauchs und der Leistung zeigen die folgenden Tortendiagramme

*Diagramm 2 Stromverbrauch nach Bereichen* und *Diagramm 3 Strombedarf (inst. Leistung) nach Bereichen*. Allerdings dürfen diese nicht darüber hinwegtäuschen, dass durch die extrem hohen Verbrauchswerte der Lüftung und Beleuchtung und den fehlenden Betrieb der Kälte- und Befeuchtungsanlage hier ein entsprechend verzerrtes Bild entsteht.

Von daher ist immer auch die Betrachtung der spezifischen Kennwerte entscheidend.



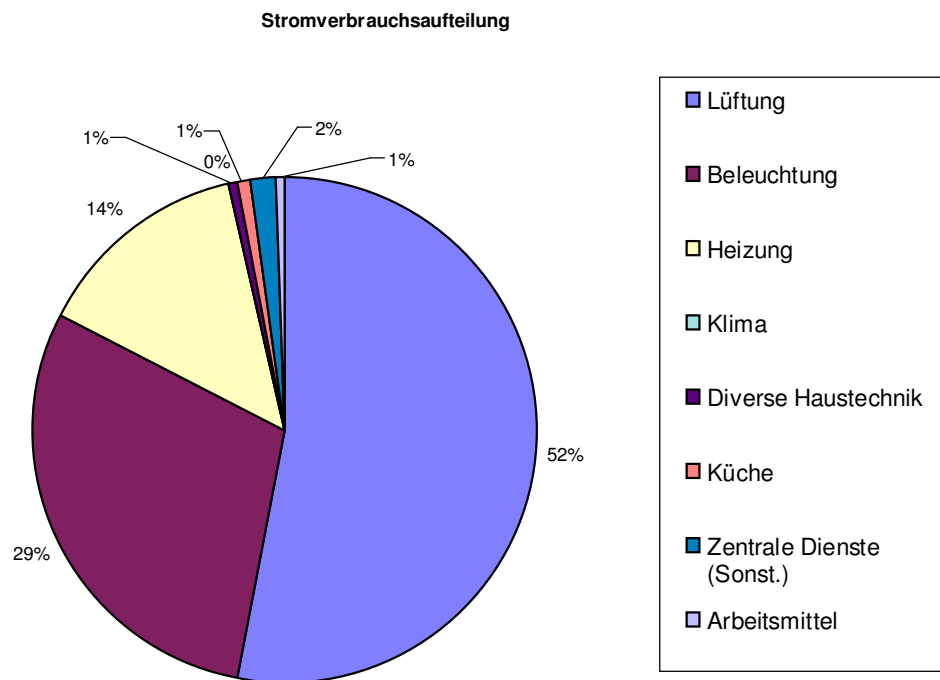
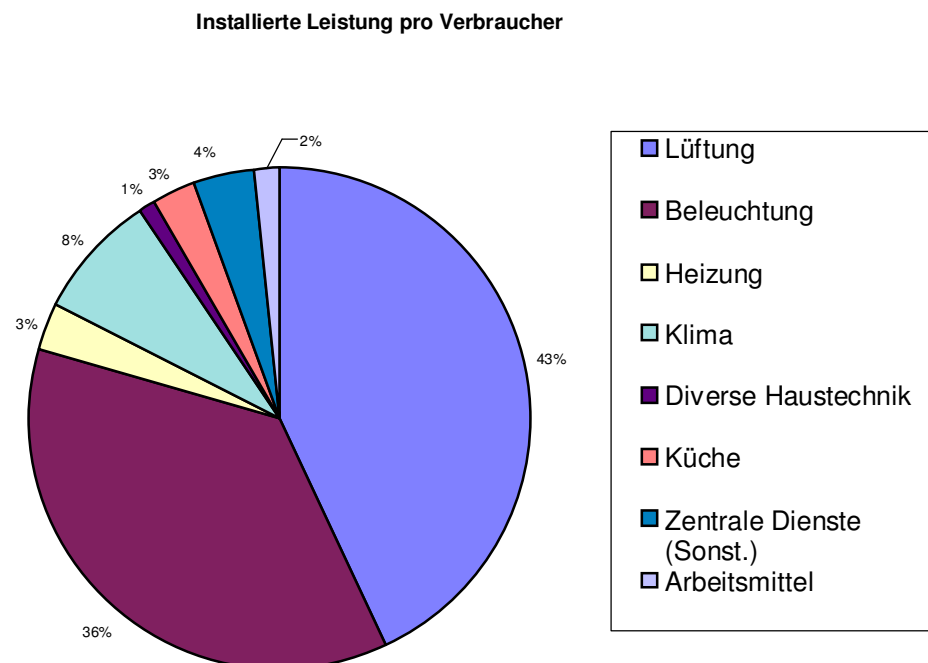
**Diagramm 2 Stromverbrauch nach Bereichen****Diagramm 3 Strombedarf (inst. Leistung) nach Bereichen**

Tabelle 11 Spezifische Verbräuche und Installierte Leistungen Wärme

| Zentrale Anlage              | Leistung installiert kW | Leistung spez W/m <sup>2</sup> | Gleich zeitig. f | Leistung Sommer kW | Leistung Winter kW | Vollast pro Jahr h/a | Verbrauch pro Jahr kWh/a | Proz. Anteil am Verbrauch % |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>Summe Wärme</b>           | <b>4.896</b>            | <b>480</b>                     |                  |                    |                    | <b>396</b>           | <b>1.937.500</b>         | <b>100,0%</b>               |
| Leistung/Verbrauch berechnet | <b>1.231</b>            | <b>121</b>                     |                  |                    |                    | <b>1947</b>          | <b>2.397.973</b>         |                             |
| <b>davon:</b>                |                         |                                |                  |                    |                    |                      |                          |                             |
| HT WT 1-3 H                  | 4.884                   |                                |                  | 0                  |                    |                      | 1.889.500                | 97,5%                       |
| WW 1-2 nur Winter WW         | 12                      |                                |                  | 12                 | 12                 | 4.000                | 48.000                   | 2,5%                        |

Wie bereits bei den Verbräuchen fallen sofort auch die hohen spezifischen Leistungen und Verbräuche bei Lüftung und Heizung auf. Alle Kennwerte liegen über den Ziel- und Grenzwerten des LEE.

Die Leistung in der Wärmeversorgung ist mit 4.880 kW zu hoch. Benötigt werden nur 1.260 kW. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die installierte Leistung der Wärmetauscher auf eine Vorlauftemperatur von 180 °C ausgelegt ist. Z.Zt. werden 90 °C VL gefahren. Für die alten Wärmetauscher sind keine Korrekturfaktoren und Exponenten mehr erhältlich.

Es kann jedoch abgeschätzt werden, dass bei Betrieb mit 90 °C Vorlauftemperatur nur noch 10 K Spreizung erreicht werden können. Gegenüber 180 °C mit rund 50 - 60 K bedeutet das eine Leistungsverringerung auf 1/5 bis 1/6 der ursprünglichen Leistung.

Das bedeutet, dass die Leistung der Wärmetauscher auf unter 1000 kW fallen kann und der Bedarf von 1260 kW nicht mehr, bzw. nur durch erhebliche Erhöhung der Volumenströme im Vorlauf, erreicht werden kann. Dies ist auch der Grund, warum bei tiefen Außentemperaturen keine Absenkung mehr gefahren werden kann, sondern die Anlagen durchlaufen müssen, um die Temperatur im Gebäude nicht zu stark unter das Absenkniveau fallen zu lassen. Besonders extrem ist die Situation am Auslegungspunkt, wenn Heizungsvorläufe von 80 °C gefordert sind. Die Spreizung dürfte dann sogar auf 5 K fallen. Da der Volumenstrom durch die Pumpe begrenzt ist reicht die Heizleistung dann nicht mehr aus.

Die Wärmetauscher sollen daher ersetzt und dabei an die neuen Netzparameter angepasst werden. (vgl. Maßnahmen 7.)

Im Rahmen des Konzept wurden die Volumenströme und Leistungen zusammengestellt. Dabei muss auf die bestehende Situation ausgelegt werden.

## 6. Berechnungen, Analysen und Kennwerte

### 6.1. Ergebnisse der Berechnungen Leistungs- und Verbrauchswerte

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

Für den Strom beträgt die installierte Leistung  $62 \text{ W/m}^2$ .

Davon:

|               |                      |                                |
|---------------|----------------------|--------------------------------|
| - Lüftung     | $27,2 \text{ W/m}^2$ | $62 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ |
| - Beleuchtung | $22,9 \text{ W/m}^2$ | $34 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ |
| - Heizung     | $2,0 \text{ W/m}^2$  | $9 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$  |

In normalen Schulräumen sollten für die Lüftung nicht mehr als  $4,6 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ , in Übungsräumen sollten  $9 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$  nicht überschritten werden. Der Wert liegt 10 mal so hoch.

Nach Lee sollte der Kennwert für die Beleuchtung bei  $300 \text{ lx}$  bei rund  $10 \text{ W/m}^2$  liegen. Schulräume mit teilweiser Tageslichtnutzung sollten nicht mehr als  $15 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$  verbrauchen.

Die Hilfsenergie für Heizung sollte bei nicht mehr als 1% der Nutzenergie oder bei Sanierung mit baulichem Wärmeschutz bei nicht mehr als  $0,8 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$  liegen. Auch hier liegen die Werte wesentlich darüber.

Für die Wärme beträgt die installierte Leistung  $479 \text{ W/m}^2$ . Vergleichbare Gebäude sind nach Recknagel mit  $150 - 200 \text{ W/m}^2$  anzusetzen.

### 6.2. Leitfadenberechnung (LEH)

Die Leitfadenberechnung wurde für alle Bauteile ABC gemeinsam durchgeführt.

Die angenommenen k-Werte (u-Werte) wurden aus dem Gebäudewandaufbau berechnet und in den kalten Monaten Dezember und Januar durch Oberflächenmessungen überprüft, 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 PES fällt in die **Gebäudekategorie III**. Nach Leitfaden ist ein Grenzwert von  **$75 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$**  und ein Zielwert von  **$50 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$**  anzustreben.

Da das Gebäude im Luftwechsel über  $0,6 \text{ h}^{-1}$  liegt kann auch die **Gebäudekategorie V angewandt werden**.

Nach Leitfaden ist ein Grenzwert von  **$85 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$**  und ein Zielwert von  **$60 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$**  anzustreben.

Nach Leitfaden ist ein Luftwechsel von  $1,5 \text{ h}^{-1}$  anzunehmen. Dieser wird bei der PES gerade erreicht, wenn der Luftwechsel im Ruhezustand nicht über  $0,2 \text{ h}^{-1}$  liegt. Der Luftwechsel im Betrieb der Lüftungsanlagen liegt knapp über  $3 \text{ h}^{-1}$ . Durch den 10-stündigen Betrieb ergibt sich dann ein mittlerer Luftwechsel von  $1,5 \text{ h}^{-1}$ .

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

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

**Der Leitfaden sieht einen maximalen Stromverbrauch (**

**Tabelle 13 Heizwärme 1** [A6]) von 700 kWh/Person,a vor. In der PES liegt dieser Wert bei rund 1200 kWh/Person,a also fast doppelt so hoch.

Daraus ist abzuleiten, dass die angegebenen Maßnahmen eher an der unteren Grenze der möglichen Potentiale liegen.

Für die Berechnung nach Leitfaden (LEH) ist eine Ermittlung der Personenstunden erforderlich, da der Leitfaden kein Gebäude mit derart gemischten Nutzung vorsieht. Auch für die LEE Berechnungen konnte nicht in allen Fällen auf Literaturwerte zurückgegriffen werden.

Dabei mussten einige Abschätzungen vorgenommen werden, die im folgenden erläutert werden. Alle Zahlen sind in der Tabelle Personenstunden zusammengefasst.

- Schulbetrieb

Im Gebäude arbeiten 1500 Schüler und 50 Lehrer

In der Verwaltung arbeiten 5 Mitarbeiter.

- Abendschule/Fachschule

Die Abendschule nutzt 6 Räume der Schule und bietet in der PES insgesamt 6 Klassen a 30 Schüler an. Die Räume werden von 17:00 – 20:00, Samstags von 8:00 – 13:00 genutzt.

Die Fachschule belegt 2 Klassen a 30 Schüler.

- Personal

Putzpersonal ist fremd vergeben besteht aus 6 - 12 Personen, die Mo – Fr in der Zeit von 15:00 bis 18:00 Uhr anwesend sind.

- Hausverwalter im Bereich Technik 1, jeweils zweischichtig.

- Externe Veranstaltungen

- Sporthalle

Ist i. d. R. unter der Woche 18:00 bis 22:00 Uhr belegt

Alle vorgenannten Aktivitäten wurden in der **Tabelle 12 Personenstunden** mit Nutzungszeiten und Anwesenheiten bewertet.

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Personenstundenzahl von 624 Personen. Nach Leitfaden wäre ein Wert von 925 Personen für Schulbetrieb zugrunde zu legen. Bezieht man die Personen auf den realistischeren 12 h-Betrieb, so liegt der Wert bei 895 Personen, also nah am Leitfaden.

Mit diesem Wert kann daher gerechnet werden.

In der folgenden Tabelle sind alle Daten zusammengestellt:

Tabelle 12 Personenstunden

| Ort                                                     | Nutzer                         | Personen | Stunden           | Häufigkeit | Summe     | Einheit |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|-------------------|------------|-----------|---------|
|                                                         |                                | Anzahl   | pro d o. Ereignis | pro Woche  | pro Jahr  |         |
|                                                         |                                | n        | h/d o. h/E        | Anz/Wo     | Persh     |         |
| A,B                                                     | Lehrer                         | 50       | 6,0               | 5,000      | 78.000    | Persh   |
| A,B                                                     | Schüler                        | 1500     | 6,0               | 5,000      | 2.340.000 | Persh   |
| B                                                       | Verwaltung                     | 5        | 8,0               | 5,000      | 10.400    | Persh   |
| B                                                       | Abendschule                    | 150      | 3                 | 6,000      | 140.400   | Persh   |
| B                                                       | Fachschule                     | 60       | 8,0               | 5,000      | 124.800   | Persh   |
| A,B,C                                                   | Putzpersonal                   | 7        | 2,0               | 5,000      | 3.640     | Persh   |
| A,B,C                                                   | technische Hausverwalter       | 2        | 8,0               | 6,000      | 4.992     | Persh   |
| A,B,C                                                   | organisatorische Hausverwalter | 0        | 16,0              | 5,000      | 0         | Persh   |
| C                                                       | Sporthalle                     | 40       | 5,0               | 6,000      | 62.400    | Persh   |
| Summe Personenstunden                                   |                                |          |                   |            | 2.686.632 | Persh   |
| Betriebsstunden Mo - Fr                                 |                                | 250      | 16                |            | 4.000     | h       |
| Betriebsstunden Sa                                      |                                | 50       | 6                 |            | 300       | h       |
| Durchschnittliche Personenzahl bezogen auf Betriebszeit |                                |          |                   |            | 624,8     | Pers.   |
| Korrigierter Wert auf genutzte gewichtete Flächen       |                                |          |                   | 12 h       | 895,5     | Pers.   |

Die Heizwärmebedarfsrechnung für das Hauptgebäude ergibt ein Wert von **2250 MWh/a** oder ein spezifischer Wert von **220 kWh/m<sup>2</sup>a**.

Die Grenz- (75 kWh/ m<sup>2</sup>a) und Zielwerte (50 kWh/m<sup>2</sup>a) für den Heizwärmebedarf werden damit nicht erreicht. Das liegt neben den Transmissionswärmeverlusten (178 kWh/m<sup>2</sup>a) daran, dass der Lüftungsverlust mit 142 kWh/m<sup>2</sup>a hoch ist.

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

Das Ergebnisblatt zeigt einen berechneten Jahresenergieverbrauch von 2460 MWh. Dies erfordert eine Heizleistung von rund 1261 kW.

Daraus ergibt sich eine Energiekennzahl für die Wärme von **241 kWh/m<sup>2</sup>a**.

Die berechneten Werte liegen jedoch höher als die IST-Werte.

Der tatsächliche Verbrauch liegt bei rund 2000 MWh, was einen spezifischen Verbrauch von **190 kWh/m<sup>2</sup>a** bedeutet.

Die Abweichung lässt sich erklären:

- aus den angenommenen Lüftungsverlusten, die im Extremfall doch niedriger zu sein scheinen, das heißt, dass die Lüftungsanlagen ihre projektierten Sollwerte nicht erreichen.
- Die Raumtemperatur von 20 °C wird in vielen Bereichen nicht erreicht (alle Räume in den Obergeschossen mit Heizung über Lüftungsanlage )

Tabelle 13 Heizwärme 1

# Energiebilanz - Verfahren: "Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung"

## PES

### Datenblatt Heizwärmebedarf

| Pos.                         | Bezeichnung                           | Abk.            | Wert          | Einheit         |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| <b>A. Nutzung</b>            |                                       |                 | Anhang D1, D2 |                 |
| [A1]                         | Erwärmung Kaltwasser                  | $DT_{KW}$       | 6             | K               |
| [A2]                         | Personenzahl                          | $n_p$           | 895,5         | P               |
| [A3]                         | tägl. Aufenthaltszeit Personen        |                 | 12            | h/Tag           |
| [A4]                         | durchschnittl. Wärmeabgabe pro Person |                 | 100           | W/P             |
| [A5]                         | Wasserverbrauch pro Person und Tag    | WA              | 15            | l/(Pd)          |
| [A6]                         | Stromverbrauch pro Person und Jahr    |                 | 1235          | kWh/(Pa)        |
| [A7]                         | Reduktionsfaktor Elektrizität         | $f_e$           | 0,7           | -               |
| [A8]                         | energetisch wirksamer Luftwechsel     | n               | 1,50          | 1/h             |
| [A9]                         | spez. Wärmespeicherfähigkeit Luft     | $c_L \cdot r_L$ | 0,33          | Wh/(m³K)        |
| [A10]                        | spez. Wärmespeicherfähigkeit Wasser   | $c_W \cdot r_W$ | 1,16          | Wh/(l K)        |
| <b>B. Klimadaten</b>         |                                       |                 | Anhang D4     |                 |
| [B1]                         | Länge der Heizperiode                 | HT              | 268           | Tage/a *        |
| [B2]                         | Heizgradtage                          | HGT             | 3685          | K Tage/a *      |
| [B3]                         | Globalstrahlung horizontal            | GH              | 490           | kWh/(m²a *)     |
| [B4]                         | Globalstrahlung Süd                   | GS              | 478           | kWh/(m²a *)     |
| [B5]                         | Globalstrahlung Ost                   | GO              | 309           | kWh/(m²a *)     |
| [B6]                         | Globalstrahlung West                  | GW              | 316           | kWh/(m²a *)     |
| [B7]                         | Globalstrahlung Nord                  | GN              | 176           | kWh/(m²a *)     |
| <b>C. Geometrische Daten</b> |                                       |                 |               |                 |
| [C1]                         | Dach gegen außen <sup>1)</sup>        | $A_d$           | 3.094,00      | m²              |
| [C2]                         | oberste Geschossdecke <sup>2)</sup>   |                 | 139,00        | m²              |
| [C3]                         | Wand gegen außen                      | $A_w$           | 6.452,00      | m²              |
| [C4]                         | Boden gegen außen                     | $A_h$           | 670,34        | m²              |
| [C5]                         | Wand gegen Keller                     |                 | 0,00          | m²              |
| [C6]                         | Wand gegen Erdreich                   |                 | 0,00          | m²              |
| [C7]                         | Boden gegen Keller                    |                 | 2.562,66      | m²              |
| [C8]                         | Boden gegen Erdreich                  |                 | 0,00          | m²              |
| [C9]                         | Fenster horizontal                    | $A_{fH}$        | 36,00         | m²              |
| [C10]                        | Fenster Süd                           | $A_{fS}$        | 651,00        | m²              |
| [C11]                        | Fenster Ost                           | $A_{fO}$        | 387,00        | m²              |
| [C12]                        | Fenster West                          | $A_{fW}$        | 387,00        | m²              |
| [C13]                        | Fenster Nord                          | $A_{fN}$        | 738,00        | m²              |
| [C14]                        | Energiebezugsfläche                   | EBF             | 10.195,34     | m²              |
| [C15]                        | Beheiztes Volumen netto               | VL              | 33.156,43     | m³              |
|                              | Wärme übertragende Umfassungsfläche:  | A               | 15.117,00     | m²              |
|                              | A/V - Verhältnis:                     | A/V             | 0,46          | m <sup>-1</sup> |

\* pro Heizperiode

<sup>1)</sup> ohne Anteil oberhalb einer gedämmten obersten Geschossdecke (Abminderung wurde ausgeschaltet, weil nichtgedämmt)<sup>2)</sup> falls gedämmt

Tabelle 14 Heizwärme 2

## Datenblatt Heizwärmebedarf

| Pos.                          | Bezeichnung                         | Abk.     | Wert  | Einheit              |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------|-------|----------------------|
| <b>D. k-Werte, g-Werte, f</b> |                                     |          |       |                      |
| [D1]                          | Dach gegen außen <sup>1)</sup>      | $k_d$    | 0,790 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D2]                          | oberste Geschossdecke <sup>2)</sup> |          | 2,100 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D3]                          | Wand gegen außen                    | $k_w$    | 1,390 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D4]                          | Boden gegen außen                   | $k_h$    | 1,300 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D5]                          | Wand gegen Keller                   |          | 0,000 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D6]                          | Wand gegen Erdreich                 |          | 0,000 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D7]                          | Boden gegen Keller                  |          | 1,300 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D8]                          | Boden gegen Erdreich                |          | 0,000 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D9]                          | Fenster horizontal                  | $k_{fH}$ | 2,900 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D10]                         | Fenster Süd                         | $k_{fS}$ | 2,900 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D11]                         | Fenster Ost                         | $k_{fO}$ | 2,900 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D12]                         | Fenster West                        | $k_{fW}$ | 2,900 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D13]                         | Fenster Nord                        | $k_{fN}$ | 2,900 | W/(m <sup>2</sup> K) |
| [D14]                         | g-Wert Fenster horizontal           | $g_H$    | 0,700 |                      |
| [D15]                         | g-Wert Fenster Süd                  | $g_S$    | 0,700 |                      |
| [D16]                         | g-Wert Fenster Ost                  | $g_O$    | 0,700 |                      |
| [D17]                         | g-Wert Fenster West                 | $g_W$    | 0,700 |                      |
| [D18]                         | g-Wert Fenster Nord                 | $g_N$    | 0,700 |                      |
| [D19]                         | Glasanteil Fenster                  | $f_r$    | 0,80  |                      |
| [D20]                         | Beschattung und Verschmutzung       | $f_b$    | 0,80  |                      |

<sup>1)</sup> ohne Anteil oberhalb einer gedämmten obersten Geschossdecke

<sup>2)</sup> falls gedämmt



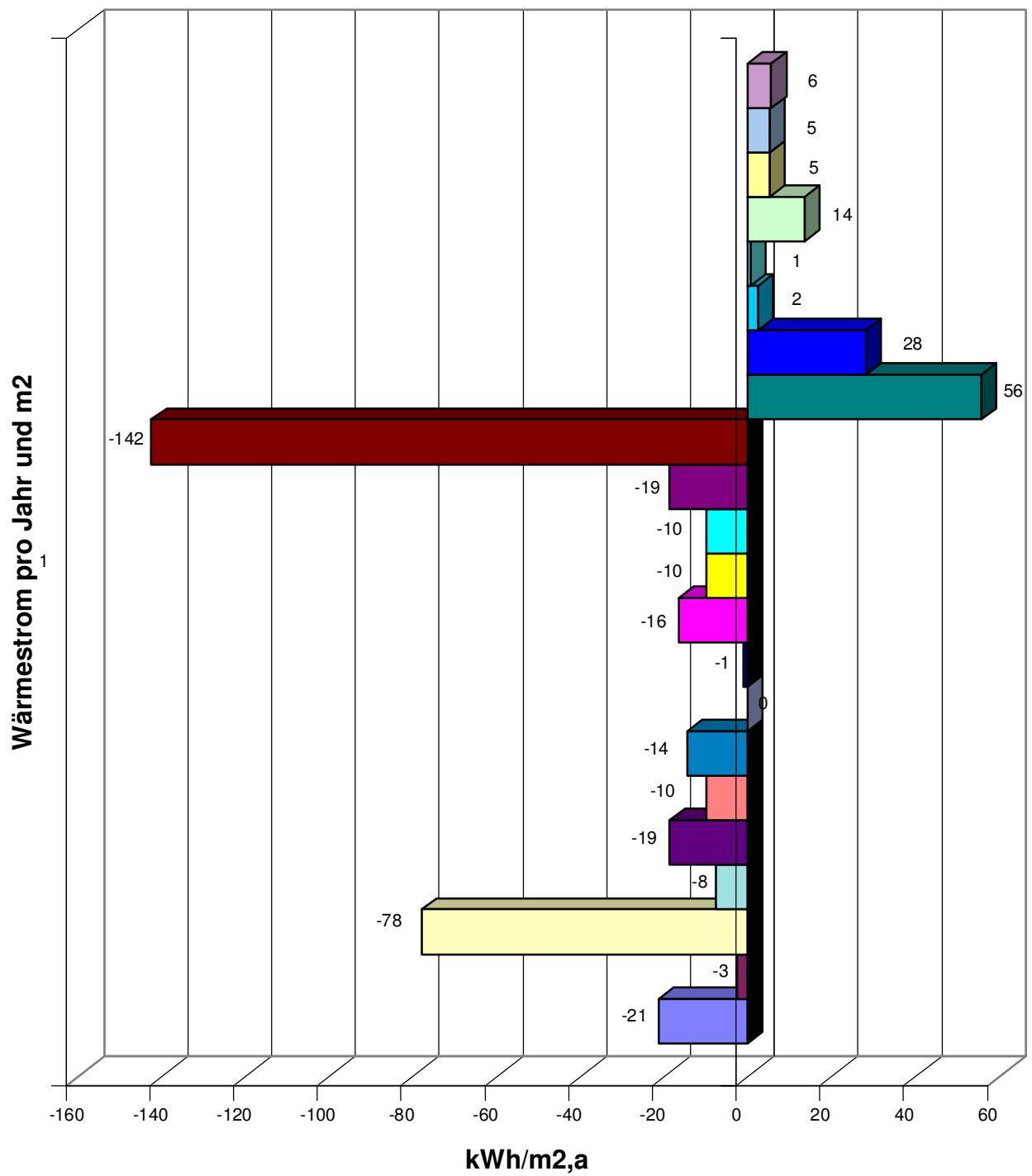
Tabelle 15 Resultat Heizwärme

| Pos.                                       | Bezeichnung                                | Abk.                           | Wert                            | Einheit    | Leitfaden | kWh/a     |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------|-----------|-----------|
| <b>E. Transmissionsverluste</b>            |                                            |                                |                                 |            |           |           |
|                                            |                                            |                                |                                 |            | HW-1 - 1  |           |
| [E1]                                       | Dach gegen außen <sup>1)</sup>             |                                | 21,20 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-1 - 1   |           | 216.170   |
| [E2]                                       | oberste Geschossdecke <sup>2)</sup>        |                                | 2,53 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 25.816    |
| [E3]                                       | Wand gegen außen                           |                                | 77,80 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-1 - 1   |           | 793.155   |
| [E4]                                       | Boden gegen außen                          |                                | 7,56 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 77.070    |
| [E5]                                       | Wand gegen Keller                          |                                | 0,00 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 0         |
| [E6]                                       | Wand gegen Erdreich                        |                                | 0,00 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 0         |
| [E7]                                       | Boden gegen Keller                         |                                | 14,45 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-1 - 1   |           | 147.317   |
| [E8]                                       | Boden gegen Erdreich                       |                                | 0,00 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 0         |
| [E9]                                       | Fenster Horizontal                         |                                | 0,91 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 9.233     |
| [E10]                                      | Fenster Süd                                |                                | 16,38 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-1 - 1   |           | 166.966   |
| [E11]                                      | Fenster Ost                                |                                | 9,74 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 99.256    |
| [E12]                                      | Fenster West                               |                                | 9,74 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-1 - 1   |           | 99.256    |
| [E13]                                      | Fenster Nord                               |                                | 18,57 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-1 - 1   |           | 189.279   |
| [E14]                                      | Transmissionsverluste <sup>f</sup>         | q <sub>T</sub>                 | 178,86 kWh/(m <sup>2</sup> a *) | HW-1 - 1   |           | 1.823.519 |
| <b>F. Lüftung</b>                          |                                            |                                |                                 |            |           |           |
| [F1]                                       | Lüftungsverluste <sup>f</sup>              | q <sub>L</sub>                 | 142,37 kWh/(m <sup>2</sup> a *) | HW-1 - 2   |           | 1.451.516 |
| <b>G. Wärmeverluste</b>                    |                                            |                                |                                 |            |           |           |
| [G1]                                       | Bruttonutzwärmebedarf Heizung <sup>f</sup> | q <sub>BH</sub>                | 321,23 kWh/(m <sup>2</sup> a *) | HW-1 - 3   |           | 3.275.034 |
| <b>H. Freie Wärme</b>                      |                                            |                                |                                 |            |           |           |
|                                            |                                            |                                |                                 |            | HW-2 - 4  |           |
| [H1]                                       | Abwärme Elektrizität <sup>f</sup>          | q <sub>e</sub>                 | 55,74 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-2 - 4.1 |           | 568.311   |
| [H2]                                       | Abwärme Personen <sup>f</sup>              | q <sub>p</sub>                 | 28,25 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-2 - 4.2 |           | 288.007   |
| [H3]                                       | Wasserablaufverluste <sup>f</sup>          | q <sub>wa</sub>                | 2,46 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-2 - 4.3 |           | 25.057    |
|                                            | Solare Einstrahlung <sup>f</sup> :         |                                |                                 |            |           |           |
| [H4]                                       | ~ durch horizontale Fenster                |                                | 0,78 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-2 - 4.4 |           | 7.903     |
| [H5]                                       | ~ durch Süd- Fenster                       |                                | 13,67 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-2 - 4.4 |           | 139.408   |
| [H6]                                       | ~ durch Ost- Fenster                       |                                | 5,25 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-2 - 4.4 |           | 53.573    |
| [H7]                                       | ~ durch West- Fenster                      |                                | 5,37 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-2 - 4.4 |           | 54.787    |
| [H8]                                       | ~ durch Nord- Fenster                      |                                | 5,71 kWh/(m <sup>2</sup> a *)   | HW-2 - 4.4 |           | 58.190    |
| [H9]                                       | Summe Strahlung <sup>f</sup>               | q <sub>s</sub>                 | 30,78 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-2 - 4.4 |           | 313.860   |
| [H10]                                      | Freie Wärme <sup>f</sup>                   | q <sub>f</sub>                 | 112,32 kWh/(m <sup>2</sup> a *) | HW-2 - 4.4 |           | 1.145.122 |
| [H11]                                      | Verhältnis Freie Wärme/Verluste            | q <sub>f</sub> /q <sub>B</sub> | 0,35 -                          | HW-3 - 5   |           |           |
| [H12]                                      | Gewinnfaktor                               | f <sub>g</sub>                 | 0,90 -                          | HW-3 - 5   |           |           |
| [H13]                                      | Wärmegewinn <sup>f</sup>                   | q <sub>g</sub>                 | 100,54 kWh/(m <sup>2</sup> a *) | HW-3 - 5   |           | 1.025.004 |
| <b>I. Heizwärmebedarf</b>                  |                                            |                                |                                 |            |           |           |
| [I1]                                       | Heizwärmebedarf <sup>f</sup>               | q <sub>H</sub>                 | 220,69 kWh/(m <sup>2</sup> a *) | HW-3 - 7   |           | 2.250.031 |
| [I2]                                       | Heizwärmebedarf                            | Q <sub>H</sub>                 | 2.250.031 kWh/a *               | HW-3 - 6   |           |           |
| <b>K. Grenz- /Zielwert Heizwärmebedarf</b> |                                            |                                |                                 |            |           | 220,7     |
| [K1]                                       | Grenzwert Bauwerksart                      | H <sub>g</sub>                 | 75,00 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-3 - 8   |           | 75,0      |
| [K2]                                       | Grenzwert H <sub>g</sub> erfüllt ?         | NEIN                           | JA/NEIN                         | HW-3 - 8   |           | NEIN      |
| [K3]                                       | Zielwert Bauwerksart                       | H <sub>z</sub>                 | 50,00 kWh/(m <sup>2</sup> a *)  | HW-3 - 8   |           | 50,0      |
| [K4]                                       | Zielwert H <sub>z</sub> erreicht ?         | NEIN                           | JA/NEIN                         | HW-3 - 8   |           | NEIN      |

<sup>1)</sup> ohne Anteil oberhalb einer gedämmten obersten Geschossdecke\* pro Heizperiode  
<sup>2)</sup> falls gedämmt

## Diagramm 4 Wärmeverluste und Gewinne

# Wärmeflußdiagramm



|                       |                           |                      |                      |
|-----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Dach gegen außen      | oberste Geschoßdecke      | Wand gegen außen     | Boden gegen außen    |
| Wand gegen Keller     | Wand gegen Erdreich       | Boden gegen Keller   | Boden gegen Erdreich |
| Fenster Horizontal    | Fenster Süd               | Fenster Ost          | Fenster West         |
| Fenster Nord          | Lüftungsverluste          | Abwärme Elektrizität | Abwärme Personen     |
| Wasserablaufverluste  | Gew. d. horizont. Fenster | Gew. d. Süd- Fenster | Gew. d. Ost- Fenster |
| Gew. d. West- Fenster | Gew. d. Nord- Fenster     |                      |                      |

Tabelle 16 Heizzahl 1

| Pos.Bezeichnung                                                                          | Abk.               | Wert      | Einheit     | Leitfaden                    | kWh/a     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|-------------|------------------------------|-----------|
| <b>A. Allgemeine Daten</b>                                                               |                    |           |             | HZ-1 - 1                     |           |
| A1 Energiebezugsfläche                                                                   | EBF                | 10.195,34 | m²          |                              |           |
| A2 Heizenergiebedarf <sup>f</sup> (berechnet)                                            | q <sub>H</sub>     | 220,69    | kWh/(m²a)   |                              | 2.250.031 |
| A3 Länge der Heizperiode                                                                 | HT                 | 268       | Tage/a      |                              |           |
| A4 Personenbelegung                                                                      | F <sub>P</sub>     | 11,38     | m²/P        |                              |           |
| A5 Personenzahl                                                                          | P                  | 896       | Personen    |                              |           |
| A6 Nutzenergiebedarf Warmwasser <sup>1)</sup>                                            | Q <sub>WW</sub>    | 22        | kWh/(Pa)    | 12.588.133                   |           |
| A7 Wärmebedarf <sup>f</sup>                                                              | q <sub>W</sub>     | 220,8     | kWh/(m²a)   |                              | 2.250.926 |
| A8 solarer Deckungsgrad Wasser                                                           | s <sub>WW</sub>    | 0,00      |             |                              |           |
| A9 solarer Deckungsgrad Heizung                                                          | s <sub>H</sub>     | 0,00      |             |                              |           |
| A10 reduzierter Wärmebedarf <sup>f</sup>                                                 | q <sub>W,s</sub>   | 220,78    | kWh/(m²a)   |                              |           |
| <b>B. Warmwasserspeicher <sup>1), 2)</sup></b>                                           |                    |           |             | HZ-2 - 3.1                   |           |
| B1 Speichertemperatur                                                                    | t <sub>sp</sub>    | 60,00     | °C          |                              |           |
| B2 mittlere Umgebungstemperatur d. Speichers                                             | t <sub>u, sp</sub> | 15,00     | °C          |                              |           |
| B3 mittlere Temperaturdifferenz                                                          | Dt                 | 45,00     | K           |                              |           |
| B4 Speicherinhalt                                                                        | V <sub>sp</sub>    | 800,00    | l           |                              |           |
| B5 Speicheroberfläche                                                                    | A <sub>sp</sub>    | 1,34      | m²          |                              |           |
| B6 k-Wert Speicher                                                                       | k <sub>sp</sub>    | 0,30      | W/(m²K)     |                              |           |
| B7 Wärmeverlustleistung Speicher <sup>3)</sup>                                           | Q <sub>sp</sub>    | 27,04     | W           |                              |           |
| B8 Wärmeverlust <sup>f</sup> Speicher <sup>3)</sup>                                      | q <sub>sp</sub>    | 0,02      | kWh/(m²a *) |                              | 237       |
| <b>C. Verteilungs- und Leitungsverluste Heizung</b>                                      |                    |           |             | HZ-1 - 2                     |           |
| C1 Vorlauftemperatur                                                                     | t <sub>v</sub>     | 80,00     | °C          |                              |           |
| C2 Rücklauftemperatur                                                                    | t <sub>r</sub>     | 60,00     | °C          |                              |           |
| C3 mittlere Temperatur des Heizwassers                                                   | t <sub>Hm</sub>    | 70,00     | °C          |                              |           |
| C4 Temperatur unbeheizter Räume                                                          | t <sub>u</sub>     | 15,00     | °C          |                              |           |
| C5 mittlere Temperaturdifferenz                                                          | Dt                 | 55,00     | K           |                              | 55        |
| C6 Länge Verteilleitungen                                                                | L <sub>H</sub>     | 500,00    | m           | DN 18, 26 mm Dämm. ,<br>0,04 |           |
| C7 zusätzl. Länge f. Armaturenverluste                                                   | L <sub>HA</sub>    | 100,00    | m           |                              |           |
| C8 k-Wert Rohrleitung                                                                    | k*                 | 0,22      | W/(mK)      |                              |           |
| C9 Wärmeverlustleistung                                                                  | Q <sub>VH</sub>    | 7.161,00  | W           | 7.161,00                     |           |
| C10 Wärmeverluste Heizungsverteilung                                                     | q <sub>VH</sub>    | 4,52      | kWh/(m²a)   |                              | 46.060    |
| <b>D. Verteilungs- und Leitungsverluste Warmwasser (Einzelleitung) <sup>1), 4)</sup></b> |                    |           |             | HZ-2 - 3.2                   |           |
| D1 Warmwassertemperatur                                                                  | t <sub>WW</sub>    | 60,00     | °C          |                              |           |
| D2 Raumlufttemperatur                                                                    | t <sub>i</sub>     | 15,00     | °C          |                              |           |
| D3 Gesamtlänge <sup>4</sup> aller Warmwassereinzelleitungen (unbeheizter Bereich)        | L <sub>EU</sub>    | 50,00     | m           |                              |           |
| D4 Gesamtlänge <sup>4</sup> aller Warmwassereinzelleitungen (beheizter Bereich)          | L <sub>EB</sub>    | 70,00     | m           |                              |           |
| D5 Zahl der Warmwasserzapfstellen                                                        | Z <sub>WW</sub>    | 18,00     |             |                              |           |
| D6 spezifische Speicherfähigkeit Leitungen                                               | W                  | 0,70      | Wh/(mK)     |                              |           |
| D7 mittlere Zahl der Erwärmungsvorgänge                                                  | n <sub>a</sub>     | 1,00      | 1/(P Tag)   |                              |           |
| D8 Wärmeverluste <sup>f</sup> Einzelleitungen                                            | q <sub>VU</sub>    | 3,85      | kWh/(m²a)   | 39.243                       |           |

Tabelle 17 Heizzahl 2

| Pos.                                                                                           | Bezeichnung                                                | Abk.                | Wert            | Einheit | Leitfaden | kWh/a      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|---------|-----------|------------|
| <b>E. Verteilungs- und Leitungsverluste Warmwasser (Zirkulationsleitung) <sup>1), 4)</sup></b> |                                                            |                     |                 |         |           | HZ-3 - 3.3 |
| E1                                                                                             | Gesamtlänge Zirkulationsleitungen (unbeheizter Bereich)    | L <sub>ZU</sub>     | 45,0m           |         |           |            |
| E2                                                                                             | zusätzl. Länge für Armaturenverluste (unbeheizter Bereich) | L <sub>ZUA</sub>    | 5,0m            |         |           |            |
| E3                                                                                             | Gesamtlänge Zirkulationsleitungen (beheizter Bereich)      | L <sub>ZB</sub>     | 40,0m           |         |           |            |
| E4                                                                                             | zusätzl. Länge für Armaturenverluste (beheizter Bereich)   | L <sub>ZBA</sub>    | 5,0m            |         |           |            |
| E5                                                                                             | k-Wert Rohr                                                | k*                  | 0,207W/(mK)     |         |           |            |
| E6                                                                                             | Betriebszeit Zirkulationspumpe                             | b <sub>Zb</sub>     | 24h/Tag         |         |           |            |
| E7                                                                                             | mittlere Wärmeverlustleistung                              | Q <sub>VZ</sub>     | 577,1W          |         |           |            |
| E8                                                                                             | Wärmeverluste <sup>f</sup> Zirkulationsleitungen           | q <sub>VZ</sub>     | 0,50kWh/(m²a)   |         |           | 5.056      |
| <b>F. Wärmeerzeugung <sup>5)</sup></b>                                                         |                                                            |                     |                 |         |           | HZ-4 - 4   |
| F1                                                                                             | (obere) Nennwärmeleistung WT                               | Q <sub>K</sub>      | 4880kW          |         |           |            |
| F2                                                                                             |                                                            |                     | 1,001/K         |         |           |            |
| F3                                                                                             |                                                            | t <sub>A</sub>      | 15,00 °C        |         |           |            |
| F4                                                                                             |                                                            | t <sub>L</sub>      | 15 °C           |         |           |            |
| F5                                                                                             | mittlere Temperaturdifferenz                               | Dt                  | 0K              |         |           |            |
| F6                                                                                             |                                                            | CO <sub>2</sub>     | 0,00%           |         | x         |            |
| F7                                                                                             | Betriebsbereitschaftsverlust                               | q <sub>b, rel</sub> | 0,002           |         |           |            |
| F8                                                                                             |                                                            | q <sub>a, rel</sub> | 0,000           |         |           |            |
| F9                                                                                             | Vollbenutzungsstunden                                      | b <sub>VH</sub>     | 494h/a          |         |           | 2412269    |
| F9*                                                                                            | Vollbenutzungsstunden <sup>6)</sup>                        | b <sub>VH</sub>     | 485h/a          |         |           |            |
| F10                                                                                            | Bereitschaftsdauer -ganztjährig<br>-nur Heizperiode        | b                   | 4500h/a         |         |           |            |
| F11                                                                                            | Betriebsverlustwärme <sup>f 7)</sup>                       | q <sub>VB1</sub>    | 0,41kWh/(m²a)   |         |           | 4.135      |
| F12                                                                                            | Bereitschaftsverlustwärme <sup>f</sup>                     | q <sub>VB2</sub>    | 3,29kWh/(m²a)   |         |           | 33.510     |
| F13                                                                                            | Summe Wärmeerzeugungsverluste <sup>f</sup>                 | q <sub>VE</sub>     | 3,69kWh/(m²a)   |         |           | 37.646     |
| <b>G. Wärmeverluste <sup>8)</sup></b>                                                          |                                                            |                     |                 |         |           |            |
| G1                                                                                             | Summe der Wärmeverluste                                    | q <sub>V</sub>      | 12,58kWh/(m²a)  |         |           | 128.241    |
| G1*                                                                                            | Summe der Wärmeverluste <sup>6)</sup>                      | q <sub>V</sub>      | 8,21kWh/(m²a)   |         |           | 83.705     |
| G2                                                                                             | nicht anrechenbare Wärmeverluste                           | q <sub>V/S</sub>    | 0,00kWh/(m²a)   |         |           | 0          |
| G2*                                                                                            | nicht anrechenbare Wärmeverluste <sup>6)</sup>             | q <sub>V/S</sub>    | 0,00kWh/(m²a)   |         |           | 0          |
| <b>H. Heizzahl (Nutzungsgrad)</b>                                                              |                                                            |                     |                 |         |           |            |
| H1                                                                                             | berechnete Heizzahl                                        | h                   | 0,95            |         |           |            |
| <b>I. Grenzwert Heizzahl</b>                                                                   |                                                            |                     |                 |         |           |            |
| I1                                                                                             | Grenzwert                                                  | h <sub>G</sub>      | 0,85            |         | x         |            |
| I2                                                                                             | Grenzwert erfüllt?                                         |                     | JA              |         |           |            |
| I3                                                                                             | Zielwert                                                   | h <sub>Z</sub>      | 0,90            |         | x         |            |
| I4                                                                                             | Zielwert erfüllt?                                          |                     | JA              |         |           |            |
| <b>K. Energiekennzahl</b>                                                                      |                                                            |                     |                 |         |           |            |
| K1                                                                                             | Energiekennzahl Wärme                                      | E <sub>W</sub>      | 240,30kWh/(m²a) |         |           | 2.449.915  |
| K1*                                                                                            | Energiekennzahl Wärme <sup>9)</sup>                        | E <sub>W</sub>      | 244,75kWh/(m²a) |         |           | 2.495.346  |

Tabelle 18 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie

|                                                                 |                                       |   |                                   |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Heizwärmebedarf (o. Solaranteil)                                | $q_H$                                 | : | 220,69kWh/m <sup>2</sup> ·a       |
| Nutzenergiebedarf Warmwasser                                    | $q_{W_s} - q_H$                       | : | 1,93kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Wärmeverluste Heizungsverteilung                                | $q_{VH}$                              | : | 4,52kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Summe Wärmeerzeugungsverluste <sup>f</sup>                      | $q_{VE}$                              | : | 3,69kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Gewinn BW-Nutzung                                               |                                       | : | 0,00kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Wärmeverlust <sup>f</sup> Speicher <sup>3)</sup>                | $q_{sp}$                              | : | 0,02kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Wärmeverluste <sup>f</sup> Einzelleitungen                      | $q_{VU}$                              | : | 3,85kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Wärmeverluste <sup>f</sup> Zirkulationsleitungen                | $q_{VZ}$                              | : | 0,50kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Summe der Wärmeverluste                                         | $q_V$                                 | : | 12,58kWh/m <sup>2</sup> ·a        |
| Wärmebrückenverluste in $q_H$                                   | $q_{WBr.}$                            | : | 0,00kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Energiekennzahl Wärme                                           | $q_{W_s} + q_V + q_{WBr.}$            | : | 235,20kWh/m <sup>2</sup> ·a       |
| <b>Berechneter Jahresenergieverbrauch</b>                       | <b>EBF*(<math>q_{W_s}</math> ...)</b> | : | <b>2.397.973kWh/a</b>             |
| <b>Heizleistung</b>                                             |                                       | : | <b>1.231,4kW</b>                  |
| Maximaler Jahresheizenergieverbrauch                            | $Q'$                                  | : | 21,72kWh/m <sup>2</sup> ·a        |
| Maximaler Jahresheizenergieverbrauch                            | $Q'' = Q'/0,32$                       | : | 67,86kWh/m <sup>2</sup> ·a        |
| Temperaturdifferenz (außen/innen) kältester Tag/Innentemperatur | $DT$                                  | : | 32,00K                            |
| Wärmegewinne                                                    | $q_g$                                 | : | 100,54kWh/m <sup>2</sup> ·a       |
| Nutzenergiebedarf Warmwasser                                    | $q_w - q_H$                           | : | 1,93kWh/m <sup>2</sup> ·a         |
| Zusätzlicher Energiegewinn durch BW                             | <b>Brennwert</b>                      |   | 0,0%<br>0,00kWh/m <sup>2</sup> ·a |

Durch die Fernwärmeversorgung werden sowohl die Grenz- (0,85) als auch die Zielwerte (0,9) der Heizzahl erreicht. **Die Heizzahl liegt bei 0,94.** Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Leitfadensberechnung die Wirkungsgrade des Wärmetauschers und des externen Wärmeversorgungs-systems nicht berücksichtigt.

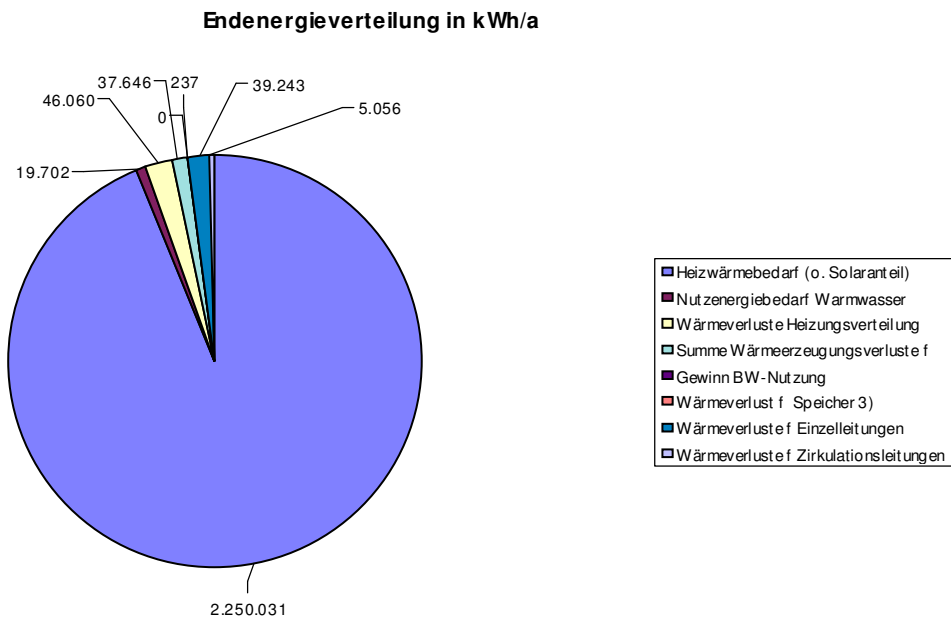
Wie die *Tabelle 18 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie* zeigt liegt der Endenergiebedarf durch den bereits hohen Heizwärmebedarf bei 240 kWh/m<sup>2</sup>·a. (siehe Maßnahmen 7.2. und 7.4.)

Die Verteilung zeigt *Diagramm 5 Aufteilung des Endenergiebedarfs*. Der Heizwärmebedarf stellt mit 220 kWh/m<sup>2</sup>·a den höchsten Anteil dar. Nach der alten WSVO wären 68 kWh/m<sup>2</sup>·a einzuhalten. der in der Praxis erreichte Wert liegt bei 190 kWh/m<sup>2</sup>·a. **Die Differenz liegt in den nicht erreichten Raumtemperaturen während der kalten Tage.**

Die Wärmeerzeugungsverluste mit 3,69 kWh/m<sup>2</sup>·a sind im wesentlichen auf Betriebsverluste (*Tabelle 18 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie*) zurückzuführen.

Demzufolge stellt der geschätzte Warmwasserbedarf mit 2 kWh/m<sup>2</sup>·a nur einen geringen Anteil dar. Auffällig sind die hohen Leitungsverluste mit 3,85 kWh/m<sup>2</sup>·a und die Verluste der Zirkulationsleitungen mit 0,5 kWh/m<sup>2</sup>·a die gemessen am Warmwasserbedarf hoch sind. (vgl. Maßnahmen 7.5.1)

## Diagramm 5 Aufteilung des Endenergiebedarfs



Bezüglich der Emissionen ist mit folgenden Werten zu rechnen:

|            | CO <sub>2</sub><br>[t/a] | SO <sub>2</sub><br>[kg/a] | CO<br>[kg/a]  | NO <sub>x</sub><br>[kg/a] |
|------------|--------------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| <b>Gas</b> | <b>467,68</b>            | <b>9,85</b>               | <b>443,06</b> | <b>270,76</b>             |

Diese beziehen sich auf Gas, weil dies im Kraftwerk zur Fernwärmeerzeugung genutzt wird, allerdings sind der Wirkungsgrad vom Wärmetauscher, Verteilsystem und Wärmeerzeuger noch nicht berücksichtigt.

### 6.3. Leitfaden LEE

#### 6.3.1. 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.

Dies wurde unter Zuhilfenahme des [Rechenblattes EDS Beleuchtung](#) vorgenommen. Hierfür wurde ein Pilotraum im 2.OG ausgesucht und mit einer Normbeleuchtungsstärke von 300 Lux gerechnet.

Nach den technischen Standards des HBA haben Klassenräume 300 Lux. Die neue AMEV Bel-Bildschirme 2002 weisen darauf hin, dass sogar für CAD Arbeitsplätze 500 Lux nicht überschritten werden sollen. Daher ist auf jeden Fall die energiesparende Variante mit 300 Lux vorzuziehen.

Die Ergebnisse sind in den *Tabellenblättern* in der Anlage zusammengefasst. Bei einer Normbeleuchtungsstärke von 300 Lux würde bei den Altlampen eine Lampenzahl von 12 im Raum ausreichen. Installiert sind 24 Lampen, also die doppelte Anzahl, d.h. jede 2. Leuchte ist entbehrlich.

Die Berechnung wurde auch für eine 3-Bandenleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) durchgeführt. Die Auslegung auf 300 Lux benötigt nur 7 Lampen statt 24. Sinnvoll anzuordnen sind 3 Reihen je 3 Lampen und je einer Leuchte (anstelle von 3 Reihen mit 4 Lampen mit 2 Leuchten bei den Altlampen) also insgesamt 9 Leuchten. Bei den Räumen mit 3 mal 3 mal 2 Leuchten ist die Reduzierung auf 6 zu erproben.

Bei angenommenen Vollbetriebsstunden von 1.500h/Jahr, verringert sich der Energiebedarf von 2.556 kWh (24 Lampen Bestand) auf 783 kWh bei 300 Lux, also weniger als ein Drittel. Die installierte Leistung sinkt von 1.704 W auf 522 W.

Prinzipiell passen die vorgenannten Aussagen auf alle Schulräume aber auch auf die Büros, da das Gebäude fast durchgehend über den gleichen Ausstattungsstandard und das gleiche Lampenrastermaß und Anordnung verfügt.

Daher wurde im Bereich Energieeinsparpotential und Maßnahmen die energetische Sanierung hochgerechnet auf 300 Lux für alle Räume (vgl. Maßnahmen Beleuchtung 7.8.1.)

Damit werden dann auch die Grenzwerte nach LEE erreicht, d.h. statt rund 32 kWh/m<sup>2</sup>a werden nur noch rund 10 kWh/m<sup>2</sup>a verbraucht. (vgl. auch [Tabelle 6 Leuchtenplan Bauteil ABC](#) Seite 22)

Um die Vorgaben des HBA mit 300 Lux einzuhalten wird als Interimslösung empfohlen alle Leuchten insbesondere in den Klassenräumen mit Einsatz eines Luxmeters konsequent auszuschalten. Damit nähert sich dann auch die durchschnittlich installierte Leistung von 21 W/m<sup>2</sup> dem Richtwert nach LEE 2000 von 10 W/m<sup>2</sup>.

#### 6.3.2. Lüftung

Aufgrund der hohen Kanalgeschwindigkeiten (> 7 m/s), Luftwechselzahlen (6-9-fach), Pressungen bis zu 1500 Pa und den 24 h Stundenbetrieb macht die Leitfadenberechnung erst nach Festlegung eines neuen Lüftungskonzepts Sinn (vgl. Kennwerte).

Die installierte Leistung von 27 W/m<sup>2</sup> und der Verbrauch von 62 kWh/m<sup>2</sup>a bei einer Besetzungsdichte von 11 m<sup>2</sup>/P liegen weit über dem Grenzwert nach LEE 2000 von 9 kWh/m<sup>2</sup>a. Die sonstigen Verbraucher sind im Rahmen einer Feinanalyse zu ermitteln.



## 6.4. Kennwerte auf einen Blick

**Tabelle 19 Die wichtigsten Kennwerte auf einen Blick**

| Bezeichnung                    | Bereich        | Einheit              | Ermittelte Werte | Richtwerte                      |
|--------------------------------|----------------|----------------------|------------------|---------------------------------|
| <b>Energiebezugsfläche EBF</b> |                | <b>m<sup>2</sup></b> | <b>10.195</b>    |                                 |
| Nettovolumen                   | V <sub>L</sub> | m <sup>3</sup>       | 33.156           |                                 |
| A/V                            |                | m <sup>-1</sup>      | 0,46             |                                 |
| Personenbelegung               | EBF/P          | m <sup>2</sup> /P    | <b>11</b>        | <b>20m<sup>2</sup>/P</b>        |
| Personen                       |                | P                    | 896              |                                 |
| Personenstunden                |                | Ph/a                 | 2.686.632        | 1343 <b>510P/d</b>              |
| Verbrauch                      | Strom          | MWh/a                | 1.105.723 *      |                                 |
| Kennwert                       | Strom          | kWh/m <sup>2</sup> a | <b>108</b>       | 80 Feinanalyse <b>40</b>        |
| Elektrizitätsverbrauch         | Strom          | kWh/(P,a)            | <b>1.235</b>     | <b>200</b>                      |
| spez.Leistung                  | Strom          | W/m <sup>2</sup>     | <b>34</b>        | 64 installiert <b>1,5 - 3,5</b> |
| Leistung                       | Strom          | kW                   | 350              |                                 |
| Vollbenutzungsstunden          | Strom          | h                    | <b>3.159</b>     | <b>2.000</b>                    |
| Verbrauch                      | Wärme          | kWh/a                | 1.937.500 *      |                                 |
| Kennwert                       | Wärme          | kWh/m <sup>2</sup> a | <b>190</b>       | <b>85</b> <b>60</b>             |
| Wärmeverbrauch                 | Wärme          | kWh/(P,a)            | <b>2.163</b>     |                                 |
| spez.Leistung                  | Wärme          | W/m <sup>2</sup>     | 479              | <b>100</b> <b>120</b>           |
| Leistung                       | Wärme          | kW                   | 4.884            | 3 WT                            |
| Vollbenutzungsstunden          | Wärme          | h                    | <b>397</b>       | <b>1.500</b>                    |
| Verbrauch                      | Wasser         | m <sup>3</sup> /a    | 2.288            | Mittel der letzten 5 Jahre      |
|                                | Wasser         | l/m <sup>2</sup> a   | <b>224</b>       |                                 |
| Kennwert                       | Wasser         | l/P,d                | <b>5</b>         | <b>10</b> 20                    |
| Verbrauch                      | Warmwasser     | m <sup>3</sup> /a    | 327              |                                 |
| Kennwert                       | Warmwasser     | l/P,d                | 1,00             | 1 <b>15</b>                     |
| *Mittel der letzten 5 Jahre    |                |                      |                  |                                 |

## 7. Maßnahmen

Alle im folgenden besprochenen Maßnahmen sind in **Tabelle 20** dargestellt. Diese ist direkt in der Zusammenfassung in verkürzter Form wiedergeben, in unverkürzter Form am Ende des Kapitels. Die Maßnahmen sind als Einzelmaßnahmen betrachtet und in der Reihenfolge Organisation, Bauphysik und Anlagentechnik sortiert. Diese Maßnahmen sind mit einer Kostenschätzung für jeweils erforderliche Investitionen versehen. Das ROI ist statisch für die Einsparung nur des dominierenden Energieträgers berechnet, d.h. z.B. nur für Strom und ohne Kapitalisierung und Kostensteigerungen für Energie sowie Umweltfolgekosten. Damit lassen sich die Maßnahmen identifizieren, die eine Umsetzung aus wirtschaftlichen Erwägungen als besonders attraktiv erscheinen lassen und weitergehend untersuchenswert sind.

Aus diesen Einzelmaßnahmen sind dann die Teile zusammengeführt worden, die in das Gesamtkonzept einbezogen werden. Diese sind mittels Vollkostenrechnung in Kapitel 8 betrachtet.

Die Maßnahmen lassen sich alle als Einzelmaßnahme durchführen und können so nach und nach, abhängig von den finanziellen Ressourcen, durchgeführt werden um letztendlich auch das Gesamtkonzept abzubilden. Einige Maßnahmen können völlig unabhängig vom Gesamtkonzept durchgeführt werden, z.B. EBN und Vertragsverhandlungen. Die hinterlegten Kostenschätzungen für die Investitionen sind nur im Kapitel 8 im Rahmen der Vollkostenrechnung weiter differenziert. Die zugrundeliegenden Daten sind vorhanden und können als Datei abgefordert werden.

### 7.1. Optimierung der Energielieferverträge

#### 7.1.1. Strom

Der Stromvertrag MKW/SÜWAG-Stadt Frankfurt ist Anfang 2002 in Kraft getreten. (vgl. 4.3.1.)

#### 7.1.2. Wärme

Der bestehende Wärmevertrag aus dem Jahr 1976 läuft 2005 aus. Bis dahin muss ein neuer Vertrag abgeschlossen werden.

Die Süwag hat Ihr Interesse an einer Verlängerung bekundet. Allerdings soll als Leitgröße der Gaspreis zugrunde gelegt werden, da der Hilfswärmeerzeuger mit Gas gefeuert wird. Da Rohrnetz und Gasverbrennung bereits bestehen sollte der Wärmelieferpreis deutlich unter dem Wärmegestehungspreis nach VDI 2067 für eine eigene Anlage liegen.

Auf jeden Fall sind die Leistungspreise an die tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen. Die Leitfadenermittlung führt zu einem Leistungsbedarf von 1.260 kW (**Tabelle 18 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie**).

Im Zuge der Neugestaltung sollte auch eine technische Lösung für die überdimensionierten Wärmetauscher (vgl. 3.3.1.1. und 7.5.2.) getroffen werden. Die Süwag hat hierfür im Zwischengespräch Juni 2003 bereits einen kostenlosen Austausch in 2003/2004 zugesagt. Da die installierte Leistung im Moment wesentlich höher als der Leistungsbedarf ist müssen die Wärmetauscher derzeit noch auf 2.900 kW ausgelegt werden. (Vgl. Anlage)

#### **Anlage 4 Abfrageliste für Dimensionierung Übergabestation**

Vor diesem Hintergrund sollten die Vertragsverhandlungen noch 2003 aufgenommen werden. Die Gesamtkosten für die Wärmeversorgung betragen 128.000 €/a. Durch den Austausch der Wärmetauscher kann trotz verbesserten Wirkungsgrad nicht ausgeschlossen

werden, dass der Verbrauch ansteigt, weil kein gesichertes Datenmaterial über die erreichten Temperaturen im Gebäude während der Heizperiode vorliegt.

### 7.1.3. Wasser

Kein Handlungsspielraum bezüglich des Tarifs, vgl. jedoch Maßnahmen Wassersparen. Die Gesamtkosten für Wasser betragen 14.000 €/a.

### 7.1.4. Hausverwalterverträge

Es wird vorgeschlagen die Einsparbeteiligung Nutzer (EBN) der Stadt Frankfurt für die Hausverwalter einzuführen. Dabei werden die Hausverwalter zu 25 % direkt an den Einsparungen beteiligt, weitere 25 % erhält die Schule zur freien Verfügung. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die Einsparpotentiale zwischen 5 – 20 % liegen können. Dabei werden sowohl die Potentiale in der Organisation und Bedienung der Anlagen genutzt, als auch Anlagen- und Baumängel frühzeitig angezeigt. Nur 5 % Einsparung bedeuten rund 150.000 kWh oder 14.000 €/a. Bei Ausbildungskosten von 0 - 2000.- € bedeutet dies ein ROI von maximal 0,2 Jahren. Diese Maßnahme rechnet sich also sehr schnell, setzt allerdings die aktive Mitarbeit der Hausverwalter voraus.

### 7.1.5. Organisation/Raumplanung

Teilweise werden die Bauteile bei Nichtgebrauch nicht konsequent stillgelegt. Dies sollte noch konsequenter geschehen. Die Konzentration der Abendschulklassen auf einige wenige Räume kann dazu führen, dass Bauteil A dann noch früher stillgelegt wird und Bauteil B die Etagen 2 - 4. OG. Dazu wäre allerdings eine Abschottung einzelner Bereiche erforderlich. Da ein Teil der Abendschulklassen die Fachräume in den oberen Etagen von Bauteil B benötigt und eine Erweiterung der Ausbildungsaktivitäten in den nächsten Jahren geplant ist, ist eine genaue Bedarfsanalyse aufzustellen, aus der ein Konzept entwickelt werden kann.

## 7.2. Verbesserung der Wärmedämmung (EnEV)

Für alle Maßnahmen im Bereich der Wärmedämmung wurden die Bauteilwerte nach den Technischen Standards Hochbauamt der Stadt Frankfurt, die teilweise noch über die EnEV hinausgehen, zugrunde gelegt. Dies schließt nicht aus, dass es an der einen oder anderen Stelle auch bessere Werte erreicht werden können, diese müssen jedoch gesondert berechnet werden.

Für die Berechnung der Einsparung wurden die u-(k)Werte und für die Fenster auch die g-Werte in die Leitfadensberechnung Heizwärme übernommen. Die Differenz der Transmissionsverluste wird für die Einsparung zugrunde gelegt.

Dabei ist nicht berücksichtigt, dass durch Dämmmaßnahmen höhere Oberflächentemperaturen an den Bauteilen erreicht werden, die es erlauben bei gleichem Behaglichkeitsgefühl die Raumtemperatur zu senken. Jedes Grad weniger Raumtemperatur kann 6 % weniger Energieverbrauch bedeuten.

### 7.2.1. Austausch der Fenster im Bauteil ABC

Insgesamt haben die Bauteile eine Fensterfläche von 2.199 m<sup>2</sup>. Bei Austausch der Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 554.000 kWh/a auf 272.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 282.000 kWh/a oder rund 18.600 €/a.

Außerdem gibt es weitere Energieeinsparungen durch Verringerung der Lüftungsverluste.

Diese sind nicht quantifizierbar, da die Fugenbeiwerte (a-Werte) der Fenster im Bestand nicht bekannt sind und ein Großteil der Fenster bereits so verzogen sind, dass damaligen Neubau a-Werte nicht mehr erreicht werden.

Von daher dürfte die Einsparung durch Verringerung der Lüftungsverluste noch größer sein. Durch die Lüftungsverluste kühlen die Klassenräume in den Wintermonaten sehr schnell aus, wenn mit der Lüftungsanlage nicht mehr geheizt wird.

Durch die schlecht gedämmten Bauteile gibt es auch zusätzlich Probleme mit der Befeuchtung, da die warme Zuluft nach verlassen der Zuluftgitter aus den Brüstungsgeräten unmittelbar über die kalten Bauteile streicht. Dadurch muss bereits bei geringen Außentemperaturen ( $< 5^{\circ}\text{C}$ ) und niedrigen Feuchten ( $> 30\%$ ) mit Kondenswasser gerechnet werden (vgl. Notiz Schimmel/Kondenswasser)

Durch die Kondensation kommt es zu keiner höheren Raumlufffeuchte, da die befeuchtete Luft gerade an den Stellen eingeblasen wird, die besonders niedrige Oberflächentemperaturen aufweisen (Brüstung, Fenster, Stützen) und daher quasi sofort wieder entfeuchtet wird. Darüber hinaus kann es zu weiteren Schäden an den Bauteilen kommen, an denen das Wasser auskondensiert.

Für die Fenster wurde ein Kostenansatz von  $255.-\text{€/m}^2$  angenommen (Hierfür liegen beim Hochbauamt vgl. Ausschreibungsergebnisse vor). Damit kostet die Maßnahme rund  $560.000\text{ €}$  und rechnet sich nach ca. 30 Jahren ohne Berücksichtigung der nicht quantifizierbaren Lüftungsverluste. Auch sind weitere Vorteile (Behaglichkeitsgefühl, Bausubstanz) nicht monetär berücksichtigt.

Siehe auch:

**Anlage 5 Aktennotiz Kondenswasser**

### **7.2.1.1. Sonnenschutz**

Gleichzeitig ist bei Ersatz der Fenster im Osten, Westen und Süden über einen mechanischen undurchsichtigen Sonnenschutz mit außenliegenden Lamellenjalousien nachzudenken. Die alten Stoffmarkisen dürften diesen Zweck nicht mehr ausreichend erfüllen.

Nach den technischen Standards der Stadt Frankfurt (Pkt 2 Hochbau, k) ist der Sonnenschutz nach VDI 2078 auf einen Wert von  $b < 0,2$  auszulegen. Außerdem muss der Sonnenschutz so einstellbar sein, dass bei voller Funktion auf Kunstlicht verzichtet werden kann. In der Maßnahme Heizungsumstellung (7.3.2.5) ist die Südseite mit rund  $650\text{ m}^2$  und Gesamtkosten von rund  $60.000\text{ €}$  berücksichtigt.

### **7.2.2. Wärmedämmverbundsystem**

Bei den Außenwänden handelt es sich um eine Gesamtfläche von  $6.452\text{ m}^2$ . Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von  $784.000\text{ kWh/a}$  auf  $171.000\text{ kWh/a}$  bei Anbringung einer Wärmedämmung mit einer Dämmstärke von  $12\text{ cm}$  (min.  $0,35\text{ W/m}^2\text{K}$  nach EnEV, min.  $0,3\text{ W/m}^2\text{K}$  nach HBA, rechnerisch  $0,29\text{ W/m}^2\text{K}$  bei  $\lambda = 0,040$ ). Das entspricht einer Einsparung von  $622.000\text{ kWh/a}$  oder  $41.000\text{ €/a}$ .

Dabei ist besonders auf die Dämmung der Wärmebrücken zu achten. Insbesondere sollte diese Maßnahme nur in Zusammenhang mit der Dämmung der Böden gegen außen durchgeführt werden. Bei geschätzten Kosten von  $80.-\text{€/m}^2$  für  $12\text{ cm}$  Wärmedämmung ergibt sich ein Return on Invest von 13 Jahren. Wenn die Richtwerte des Hochbauamts ( $60.-\text{€/m}^2$ ) angesetzt werden wird der Zeitraum noch kürzer. (vgl. auch Pkt 8.1. Wirtschaftlichkeit)

### **7.2.3. Dachdämmung**

Das Dach hat eine Fläche von  $3094\text{ m}^2$ .

Da bereits eine Dämmung von 8 cm vorhanden ist würde rechnerisch eine Dämmung von weiteren 12 cm ausreichen, um einen u-Wert von  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  zu erreichen. Der Transmissionswärmeverlust sinkt von 216.000 kWh/a auf 55.000 kWh/a, die Einsparung beträgt 161.000 kWh/a = 10.600 €. Diese Maßnahme wäre kostengünstig im Rahmen der nächsten Dachsanierung durchzuführen. Ansonsten können die Vollkosten zwischen 55.- und 120.- €/m<sup>2</sup> betragen. Das ROI liegt damit zwischen 20 und 42 Jahren (vgl. auch Pkt 8.1. Wirtschaftlichkeit) bei Investitionskosten zwischen 200.000 – 370.000 €.

#### 7.2.4. Geschossdecken

Die Fläche der Geschossdecken zu unbeheizten Technikräumen in Bauteil B beträgt 139 m<sup>2</sup>. Da diese an die Technikzentralen grenzt und über keinen nennenswerten Bodenaufbau verfügt, ist der u-Wert mit knapp  $2 \text{ W/m}^2\text{K}$  sehr hoch und die Wärmeverluste entsprechend groß. Mit einer Dämmschicht von 12 cm (Wärmeleitklasse 0,040) werden die Werte nach HBA und EnEV sicher (rechnerisch  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) eingehalten. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 25.000 kWh/a auf 3.700 kWh/a. Dies entspricht einer Ersparnis von 22.000 kWh/a oder rund 1.400 €/a.

Die Vollkosten für 12 cm Dämmung liegen zwischen 20.- und 30.- €/m<sup>2</sup>. Das ROI liegt damit zwischen 2 und 3 Jahren (vgl. auch Pkt 8.2. Wirtschaftlichkeit). Diese Maßnahme rechnet sich sehr schnell und könnte aufgrund der Investitionskosten von rund 4000.-€ auch im Rahmen der Bauinstandhaltung durchgeführt werden.

#### 7.2.5. Boden zur Tiefgarage

Dämmung des Bodens des EG im Technikum Bauteil C von der Garage aus unter der Decke. Auch hier reicht bereits eine Dämmstärke von 8 cm ( $\lambda = 0,040$ ) aus, um auf einer Fläche von insgesamt 949 m<sup>2</sup> die Werte von  $u = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$  sicher zu erreichen. Der Transmissionsverlust dieses Bauteils verringert sich von 54.000 kWh/a auf 18.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 36.000 kWh/a oder rund 2.400 €/a. Bei spezifischen Investitionskosten von 25.- €/m<sup>2</sup> rechnet sich diese Maßnahme in rund 9 Jahren. Da die Decke zerklüftet ist muß ggf. auch mit höheren Kosten gerechnet werden.

#### 7.2.6. Boden nach Außen

Die Bodenfläche nach außen beträgt 670 m<sup>2</sup>. Wegen der Wärmebrückenproblematik und der exponierten Lage nach außen wird der Transmissionsverlust auf  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  wie für AW begrenzt. Der Transmissionsverlust von 77.000 kWh/a kann auf 17.800 kWh/a, also um 59.000 kWh/a verringert werden. Das entspricht einer Einsparung von 3.900 €/a. Bei Investitionen in Höhe von 100 €/m<sup>2</sup> für 12 cm Dämmung rechnet sich diese Maßnahme in rund 17 Jahren.

#### 7.2.7. Boden zum Keller

Die Stahlbetondecke des EG in den Bauteilen A und B wird mit einer Dämmstärke (040) von 8 cm gedämmt, um  $u = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$  nach EnEV und HBA sicher einzuhalten. Die Gesamtfläche beträgt 1500 m<sup>2</sup>.

Der Transmissionswärmeverlust verringert sich dadurch von 87.000 kWh/a auf 28.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 59.000 kWh/a oder rund 3.900 €/a. Bei spezifischen Investitionskosten von 25.- €/m<sup>2</sup> rechnet sich diese Maßnahme in rund 9 Jahren. Da die Decke zerklüftet ist muß ggf. auch mit höheren Kosten gerechnet werden.

#### Summe der Maßnahmen 7.2.1.-7.

Bei einer vollständigen Umsetzung aller Maßnahmen zur Einhaltung bzw. Unterschreitung der Bauteilgrenzwerte nach EnEV/Technische Standards HBA werden im Gebäude rund 1240 MWh/a an Transmissionswärmeverlusten im Wert von 78.000 €/a gespart. Dem stehen Investitionskosten zwischen 1,2 – 1,6 Mio € gegenüber. Die Vollkosten für die Summe aller Maßnahmen sind in Kapitel 8.1. gerechnet.

Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass durch ein gesteigertes Behaglichkeitsgefühl durch Erhöhung der Oberflächentemperaturen die Raumtemperatur abgesenkt werden kann und damit weitere Energie gespart wird.

Die Dämmung von Pumpengruppen und Armaturen sind in den Einzelmaßnahmen für die jeweiligen Anlagen mit erfasst, weil diese Arbeiten gemäß EnEV bei wesentlichen Änderungen dann zeitgleich mit ausgeführt werden müssen.

### **7.3. Verbesserung der Regelungstechnik/Anlagentechnik**

#### **7.3.1. Gebäudeleittechnik**

Prinzipiell wäre wegen der vielen übergreifenden Einflüsse zwischen Lüftungen und Heizungsanlage und den Lichtsystemen der Einsatz einer GLT zu befürworten. Diese ermöglicht es alle haustechnischen Anlagen zentral zu überwachen, zu steuern und zu regeln.

Es lassen sich komplexe Zeitpläne realisieren, die Anlagen gleitend einschalten und energieoptimiert betreiben.

Folgende Regelkreise sind jedoch verbesserungswürdig:

#### **7.3.2. Heizungsregelung (Samsung)**

In den Bereichen mit Brüstungsgeräten wird nur die Nachheizung über die Samsung Regelung gefahren. Durch Einbeziehung der Regelung für die Lüftungsanlagen könnte bedarfsorientierter geheizt werden.

Die derzeitige Situation erlaubt zwar immer die Heizungsanforderung über die Temperaturfühler. Es kann aber nur wirkungsvoll geheizt werden, wenn auch die Lüftung in Betrieb ist. Das Zonenventil des Heizregisters wird zwar geöffnet, das Heizregister hat jedoch durch die fehlende Luftbewegung keine Möglichkeit die benötigte Heizleistung abzugeben. Das heißt, dass weder über die Zuluft noch über die Heizregister ausreichend Wärme zugeführt wird.

Auf der anderen Seite erfassen die Temperaturfühler auch die hohen Temperaturen in den Räumen mit den statische Heizkreisen. Es gibt jedoch keine Möglichkeit regelnd einzugreifen. (Zonenventil schließen oder Heizkreis VI absenken.)

Das bedeutet, dass eine Schnittstelle zur Lüftung geschaffen werden muß, um diese anzufordern.

##### **7.3.2.2. Neue Temperaturfühler in Klassenräumen**

Die Anordnung der Temperaturfühler sollte überprüft und geändert werden. Durch die Lage an der Wand zur Innenzone wird eine gemittelte Innentemperatur aus Innenzone und Raum in 2,30 m Höhe gemessen. Dies bildet die Innentemperatur zu hoch ab. Dadurch werden die geforderten Raumtemperaturen nicht erreicht.

Besser wäre eine Anordnung in 1,20 m Höhe an den Zwischenwänden, außerhalb direkter Außenlichtstrahlung.

Allerdings macht diese Maßnahme auch nur bei einer Verbesserung der Lüftungsverluste Sinn (vgl. Bauphysik Fenstertausch 7.2. und Lüftung 7.4.)



Diese Maßnahme dient dem Komfort und führt nicht zu Einsparungen. Eine Verlegung sollte aus Kostengründen im Rahmen von Renovierungsarbeiten erfolgen.

### 7.3.2.5. Nachrüstung Samsungregelung

Da es einen zentralen Schaltschrank gibt, wäre es denkbar in diesen eine DDC nachzurüsten, die die Verknüpfungen zwischen Temperatur und Öffnung der Heizkreise unter Einbeziehung einer Kommunikation mit der Lüftungsregelung besser darstellt. Diese Maßnahme greift nur, wenn die Maßnahme aus 7.5.4. an der bestehenden Regelung nicht greift.

Sicher ließe sich über diese DDC im Bussystem auch eine DDC für die Lüftungsanlage betreiben. Der Vorteil wäre, dass die Lüftungsanlage nicht mehr auf Stufe 1 durchfahren muss, sondern lastorientiert arbeiten kann und dass darüber hinaus ab bestimmten Betriebsfällen z. B. bei großer innerer Wärmelast die Heizung frühzeitig abgesenkt wird und nur noch gelüftet wird. Diese Maßnahme ist allerdings nur sinnvoll mit der bedarfsorientierten Lüftung umzusetzen (vgl. Maßnahme 7.4.3.f und 7.4.6.f).

## 7.4. Lüftung

Die Lüftungsanlagen im Bauteil A,B,C sind im wesentlichen auf einstufigen Betrieb konzipiert. Dabei wird auf den erforderlichen Lüftungsbedarf keine Rücksicht genommen. Die Dokumentation ist nicht vollständig, insbesondere stimmen die Raumnummern nicht mehr mit den aktuellen Raumnummern überein. Für Bauteil C gibt es keine Unterlagen. Als dringlichste Maßnahme ist eine Bestandsaufnahme erforderlich, um die Effektivität der Maßnahmen abzusichern. Sofern möglich wurden bereits Daten vor Ort aufgenommen. Eine Luftmengenmessung war im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich. Auch in den Messberichten ist diese nicht immer genau ermittelt worden. Die Stromaufnahmen der Motoren sind im Jahre 2002 von der Fa. Phönix im Rahmen der Wartung gemessen worden.

Da die Lüftungskanäle in den Technischächten im Bauteil A und Bauteil B gut zu erreichen sind, ist ein Umbau des Kanalsystems realisierbar. Eine Trennung innerhalb der Etagen erscheint aufgrund der vorliegenden Schemen möglich. Hierzu ist jedoch eine Detailplanung und im ersten Schritt eine Bestandsaufnahme der Kanalführung in den Decken notwendig. Der Bestand in den Versorgungsschächten stimmt mit den Ausführungszeichnungen im Bauteil A und B im wesentlichen überein. Für Bauteil C liegen keine Zeichnungen vor.

Handicap bei allen Maßnahmen im Bereich der Lüftung ist immer, dass die Heizleistung mit berücksichtigt werden muss.

Dies gilt für die Räume, wo die Lüftung direkt heizt. Durch Verbesserung der Bauphysik (Maßnahmen 7.2. und/oder separaten Heizsystem Maßnahme 7.5.1.), die zu einem verringerten Heizwärmebedarf führen können die Heizleistungen durch die Lüftungsanlagen weiter vermindert werden. Sinnvoller wäre das unabhängige heizen überstatische Heizkreise. Um dies zu erproben werden 2 Versuchsräume (302,303) mit statischen Heizungen ausgerüstet.

Für die Einzelmaßnahmen für die Lüftung sind daher Kostenschätzungen vorgenommen, die eine grobe Einordnung der ROI zulassen und als Übersicht in Tabelle 20 festgehalten. Die ausführliche Untersuchung findet sich in Kapitel 8.2.. Als Unwägbarkeit im Rahmen der Kostenschätzungen sind Folgemaßnahmen zur Sanierung möglich, da Mängel aus dem Phönixbericht beseitigt werden müssen und Teile der Brandschutzklappen nicht mehr den heutigen Erfordernissen entsprechen.

### 7.4.1. Verringerung der Laufzeiten Bauteil A

Die Lüftungsanlagen werden unabhängig von der Außentemperatur während der Nachtstunden d. h. von 19:00/20:00 bis 04:00 Uhr ausgeschaltet.



Durch Hinterlegung einer Heizkurve könnten die Lüftungsanlagen, je nach Außentemperatur, also witterungsabhängig früher aus und später eingeschaltet werden. Darüber hinaus sollten alle Pumpen entsprechend ausgeschaltet werden.

Dies entspricht einer Verringerung der Benutzungszeit von 2.300 Std/a auf 2.070 Std/a, also 230 Std/a weniger. Die Leistung der Lüftungsanlage auf der Stufe 1 beträgt rund 270 kW. Damit werden mit dieser Maßnahme während der Nachtstunden insgesamt 24.500 kWh/a Strom (= 3.000 €/a) eingespart. Darüber hinaus werden entsprechende Wärmemengen, die sonst weggelüftet werden, eingespart. Diese Menge beträgt rund 67 MWh im Wert von 4.400 €.

Aktivitäten:

- Ab- und Zuschalten der Lüftung automatisch, witterungsgeführt

Interimsweise könnten die verringerten Betriebszeiten auch am Vorabend, wenn die Wetterentwicklung abzusehen ist manuell durch die Hausverwalter eingegeben werden.

#### 7.4.2. Verringerung der Luftversorgung Bauteil A tags im Sommer

Die Lüftungsanlagen laufen in den Sommermonaten durch, da Innen- und Außenzonen an gemeinsame Lüftungsanlagen angeschlossen sind. Dies gilt für die Anlagen 1, 11 und 12. Nach den Schemen ist die Einzelabschaltung einzelner Zonen über Klappen generell möglich. Damit ließen sich die Außenbereiche abschalten und mit Fensterlüftung bedienen, so dass nur die Innenzonen mit der benötigten Luftmenge versorgt wird.

Diese Maßnahme macht aber nur Sinn, wenn die Leistung der Lüftungsanlage z.B. durch Frequenzumrichter heruntergefahren werden kann. Aus den alten Unterlagen geht hervor, dass rund 20 % der Luftmenge in den Innenzonen und demnach 80% in den Außenzone gefördert werden. Es gibt jedoch keine Dokumentation über das Einregulieren bzw. über Nachmessungen. **Am Anfang aller Maßnahmen sollte daher eine genaue Untersuchung des IST-Zustands erfolgen.**

Das Potential hieraus lässt sich mit rund 10 Std/Tag an 100 Tagen pro Jahr abschätzen. Das ergibt eine Gesamtstundenzahl von 1000. In dieser Zeit wird nur die Hälfte (eher noch weniger, wenn die Frequenzumformer auch bis auf 20% zurückfahren können) der Luftmenge gefördert, der Verbrauch geht auf rund 30 % zurück. Das entspricht einem Einsparpotential von **75.000 kWh/a oder 9.000 €.** (konservative Abschätzung!, siehe vor)

Aktivitäten:

- Auftrennung der Anlagen 1-3
- Zwischenklappen für einzelne Etagen ansteuern.
- Installation von Frequenzumformer

Die Kosten für diese Maßnahme wurden nach den Richtsätzen des Hochbauamts zu 140.000 € abgeschätzt. Damit rechnet sich die Maßnahme nach knapp 17 a. (Die Kalkulation ist in Exceldateien hinterlegt und kann auf Wunsch abgefordert werden.)

#### 7.4.3. Verringerung der Luftversorgung Innenzone durch Luftqualitätsregelung

Die Versorgung der Innenzonen erfolgt bedarfsgerecht über einen Luftqualitätsfühler oder CO<sub>2</sub>-Wert. Es kann vorsichtig geschätzt werden, dass damit rund 50% der Innenluftmenge (20% der Gesamtluftmenge) und rund 66 % der Stromkosten gespart werden können. Bei einem Gesamtverbrauch von 50.000 kWh/a entspricht das einer Einsparung von 33.000 kWh/a oder 4.000 €/a.

Dabei muss allerdings die Erhaltung der Heizleistung berücksichtigt werden. Diese Maßnahme ist nur auf Basis von 7.4.2. durchführbar. Die Kosten beschränken sich auf die Luftfühler

und Verkabelung zu den unter 7.4.2. kalkulierten Frequenzumrichtern und der dazugehörigen Regelung. Die Mehrkosten von rund 7.200 € führen zu einem ROI von 2 Jahren.

#### 7.4.4. Einzelraumversorgung

Den niedrigsten Energieverbrauch hat eine bedarfsorientierte Einzelraumregelung. Die Auftrennung des Kanalnetzes der Anlagen **1 – 3** ist erforderlich. Jeder Raum wird mit eigenen Zu- und Abzugsgittern und Volumenstromreglern ausgestattet. Über Qualitäts- und Temperaturfühler wird die Lüftung nur bedarfsorientiert eingeschaltet. Rund 80% der Luftmengen geht in die Klassenräume. Nach den alten Unterlagen war eine Rate von 60 m<sup>3</sup>/h vorgesehen. Diese Luftmenge kann halbiert werden. Da der Maximalbetrieb allenfalls über die Hälfte der Betriebszeit erfolgt, ist für die restliche Betriebszeit mit der durchschnittlich halben Luftmenge zu rechnen. In der Summe bedeutet dies eine Reduzierung der Luftmengen um 62,5 % oder mindestens 75% der Stromkosten, d.h. es werden 147.000 kWh/a oder 18.000 €/a eingespart.

Aktivitäten:

- Einbau von Wurfgrittern
- Einbau von Volumenstromreglern (Einzelraumregelung, Planung erforderlich).
- FU (siehe Maßnahme 7.4.2.)

Die Investitionskosten von rund 350.000 € führen zu einem ROI von 20 Jahren.

#### 7.4.5. Verringerung der Luftversorgung Bauteil B tags im Sommer

Die Lüftungsanlagen laufen in den Sommermonaten durch, da Innen- und Außenzonen an gemeinsame Lüftungsanlagen angeschlossen sind. Dies gilt für die Anlage 11 und 12. Nach den Schemen ist eine Einzelabschaltung einzelner Zonen über Klappen möglich. Damit ließen sich die Außenbereiche abschalten und mit Fensterlüftung bedienen, so dass nur die Innenzonen mit der benötigten Luftmenge versorgt wird.

Diese Maßnahme macht aber nur Sinn, wenn die Leistung der Lüftungsanlage z.B. durch Frequenzumrichter heruntergefahren werden kann

Das Potential hieraus lässt sich mit rund 10 Std/Tag an 100 Tagen pro Jahr abschätzen.

Das ergibt eine Gesamtstundenzahl von 1000. In dieser Zeit wird nur die Hälfte (eher noch weniger, wenn die Frequenzumformer auch bis auf 20% zurückfahren können) der Luftmenge gefördert, der Verbrauch geht auf rund 30 % zurück. Das entspricht einem Einsparpotential von **88.000 kWh/a oder 11.000 €.** (konservative Abschätzung! Siehe vor)

Aktivitäten:

- Auftrennung der Anlage 11 (12)
- Zwischenklappen für einzelne Etagen ansteuern.
- Installation von Frequenzumformer

(7.4.5.1. Zu- und Abluftsteuerung Anlage 12)

Die Investitionskosten betragen rund 160.000 €, so dass sich diese Maßnahme nach 13 Jahren rechnet.

#### 7.4.6. Verringerung der Luftversorgung Innenzone Bauteil B durch Luftqualitätsregelung

Die Versorgung der Innenzonen erfolgt bedarfsgerecht über einen Luftqualitätsfühler oder CO<sub>2</sub>-Wert. Es kann vorsichtig geschätzt werden, dass damit rund 50% der Innenluftmenge (von 20% der Gesamtluftmenge) und rund 66 % der Stromkosten gespart werden können. Bei einem Gesamtverbrauch von 69.000 kWh/a entspricht das einer Einsparung von 48.000 kWh/a oder 6.000 €/a. Wie im Bauteil A lässt sich diese Maßnahme nur in Zusammenhang

mit 7.4.5. umsetzen. Durch die Investitionen in Höhe von rund 9.600 € rechnet sich diese Maßnahme nach 1,5 Jahren.

#### **7.4.7. Einzelraumversorgung Bauteil B**

Den niedrigsten Energieverbrauch hat eine bedarfsorientierte Einzelraumregelung. Die Auftrennung des Kanalnetzes der Anlagen 11,12 ist erforderlich. Jeder Raum wird mit eigenen Zu- und Abzuluftgittern und Volumenstromreglern ausgestattet. Über Qualitäts- und Temperaturfühler wird die Lüftung nur bedarfsorientiert eingeschaltet. In der Summe bedeutet dies eine Reduzierung der Luftmengen um 62,5 % oder mindestens 75% der Stromkosten, d.h. es werden 208.000 kWh/a oder 25.000 €/a eingespart. (vgl. auch 7.4.4.)

Aktivitäten:

- Einbau von Wurfzuluftgittern
- Einbau von Volumenstromreglern (Einzelraumregelung, Planung erforderlich).
- Für Anlage 12 zusätzlich Regelung der dezentralen Abluftventilatoren.

Die Investitionskosten sind wie im Bauteil A sehr hoch und betragen über 600.000.- € Damit beträgt das ROI rund 22 Jahre.

#### **7.4.8. Änderung Ventilatoren und Motoren**

Diese Maßnahmen machen im Zuge von Reparaturarbeiten Sinn.

##### **7.4.8.1. Austausch Ventilator Anlage 8 und 9 (Vorschub)**

Diese Maßnahme macht insbesondere mit den Maßnahmen 7.4.2 - 7 Sinn. Der Regelbereich der Vorschubventilatoren wird derzeit noch mit Blattverstellung erreicht.

Ggf. kann auf den Vorschub ganz verzichtet werden, wenn die Luftmengen der nachgeschalteten Anlagen bedarfsgerecht gefahren werden. Dafür ist eine Neuberechnung des Kanalnetzes und eine separate Planung erforderlich.

##### **7.4.8.1.2. Austausch von Gebläsen und Antrieben Anlage 1- 2, 11-12**

Fast alle Anlagen verfügen über vorwärtsgekrümmte Ventilatoren. Nach den alten Revisionsunterlagen sind die Kombinationen Gebläse/Motor nicht auf das Kanalnetz abgestimmt. Die installierte Gesamtleistung der größten Anlagen im Bauteil A, 1, 2 und Bauteil B 11, 12 beträgt in der Summe 110 kW.

Diese könnten auf 40 kW durch FU und Ventilatorumbau reduziert werden. Der Einspareffekt hängt davon ab, ob die verkürzte Nachtabschaltung und reduzierte Tagschaltung 7.4.1. und 7.4.2. durchgeführt wird.

##### **7.4.8.2. Wärmerückgewinnung für die Anlage 1,2,11**

Die Anlagen 1,2,11, könnten statt mit Umluftbetrieb mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet werden. Die Anlage 12 hat zu viele einzelne Abluftanlagen, so dass der Aufwand für Wärmerückgewinnungsanlagen unverhältnismäßig hoch wird. (vgl. 7.4.7.)

Damit brauchen rund 60.000 m<sup>3</sup>/h nicht weggelüftet werden. Bei einem Wirkungsgrad der WRG von 85 % ergibt sich eine Einsparung von rund 200.000 kWh Wärme pro Jahr bei verringerter Betriebszeit (Maßnahme 7.4.1. und 7.4.2.). Bei einer Investition von 60.000.- € rechnet sich diese Maßnahme in 5 Jahren.

##### **7.4.8.3. Wärmerückgewinnung für die Anlage 18-19**

Gleiches gilt für die Anlage 18 und 19. Hier wäre Platz für einen liegenden Rotationswärmetauscher auf den Anlagen (Bei Anlage 19 käme Ersatz bzw. Aufrüstung des bestehenden WT

und Wiederherstellung der Druckdichtigkeit in Frage). Das Potential liegt bei rund 11.500 m<sup>3</sup>/h im Vollbetrieb. Es bleiben bei einem Wirkungsgrad der WRG von 85 % und verringerter Betriebszeit (Maßnahme 7.4.1. und 7.4.2.) rund 38.000 kWh/a oder 2.500 €/a. Bei einer angenommenen Investition von 17.000.- € rechnet sich diese Maßnahme in 7 Jahren.

## 7.5. Heizung

### 7.5.1. Statischen Heizkreis nachrüsten

Die Gebäude Teile A,B werden vom 1.OG (teilweise), 2. OG – 4.OG nur durch die Lüftung mit geheizt. In Zusammenhang mit Änderungen der Lüftung auf bedarfsorientierten Betrieb (Maßnahmen 7.4.) wäre es sinnvoller die Heizung ganz abzukoppeln. Über die statische Heizung kann die kann dann die Grundlast sichergestellt werden. Damit wird sowohl der schlechtere Wirkungsgrad der Luftheizung als auch die Lüftungsverluste durch die mangelnde, bzw. nicht vorhandene WRG vermindert.

Die vorhandenen Technischächte und abgehängten Decken erlauben eine Nachrüstung. Es muß geprüft werden, ob das Leitungsnetz zur Versorgung der Brüstungsgeräte auch für statische Heizung ausreicht. Dies erscheint möglich, da die Brüstungsgeräte eine Einzelleistung von rund 2 kW haben. Dies sollte auch für einen statischen Heizkörper ausreichen. Bei den Testräumen 302 und 303 ist das der Fall.

Einsparung:

- Strom für Lüftungsbetrieb ab 4 Uhr morgens und nach 15 Uhr ca. 8 h pro Tag an 100 Tagen
- Durchlaufenlassen der Lüftung während Kälteperioden ca. 7 h an 15 Tagen

Das sind rund 280.000 kWh/a oder 18.000 €/a.

Um eine generelle Aussage zur Möglichkeit der Umrüstung auf statische Heizkreise zu erhalten wurden 2 Testräume ausgewählt (302 und 303). Diese liegen im dritten OG auf der Nord, bzw. Nord-Ost Seite. Letztgenannter Raum ist ein Eckraum, erstgenannter verfügt über eine Außenwand. Beide liegen unter dem Dach. Damit ist im Winter eine Heizlast (beim jetzigen Bauszustand) von 8 und 12 kW bei einem 2-fachen Luftwechsel durch Fensterlüftung zu erwarten. Im Sommer ist die Kühllast zwar nicht so hoch wie auf der Südseite, aber über das Dach ist auch mit zusätzlicher Kühllast zu rechnen.

### 7.5.2 Wärmetauscher

Durch die geänderten VL/RL Temperaturen sind die Wärmetauscher nicht mehr richtig dimensioniert. Bei Veränderung des Heizwärmebedarfs kann die Leistung weiter reduziert werden. Durch die SÜWAG ist der kostenfreie Austausch zugesagt worden.

Die Leistung in der Wärmeversorgung ist mit 4.880 kW zu hoch. Benötigt werden nur 1.260 kW, installiert sind auf der Abnahmeseite aber 2.900 kW (vgl. Anlage Auslegung der Wärmetauscher). Allerdings ist zu berücksichtigen das die installierte Leistung der Wärmetauscher auf eine Vorlauftemperatur von 180 °C ausgelegt ist. Z.Zt. werden 90 °C VL gefahren. Für die alten Wärmetauscher sind keine Korrekturfaktoren und Exponenten mehr erhältlich.

Es kann jedoch abgeschätzt werden, dass bei Betrieb mit 90 °C Vorlauftemperatur nur noch 10 K Spreizung erreicht werden können. Gegenüber 180 °C mit rund 50 - 60 K bedeutet das eine Leistungsverringerung auf 1/5 bis 1/6 der ursprünglichen Leistung.

Besonders extrem ist die Situation am Auslegungspunkt, wenn Heizungsvorläufe von 80 °C gefordert sind. Die Spreizung dürfte dann sogar auf 5 K fallen. Da der Volumenstrom durch die Pumpe begrenzt ist reicht die Heizleistung dann nicht mehr aus.

Um das Zusammenspiel Pumpe/WT zu optimieren ist eine Auslegung und Neuberechnung erforderlich. Dabei sind die Maßnahmen zum Wärmeschutz zu berücksichtigen.

Es wird empfohlen die Wärmetauscher zu ersetzen, beziehungsweise dem Bedarf anzupassen. Diese Maßnahme sollte mit den Vertragsverhandlungen Wärme abgestimmt sein (vgl. Maßnahme 7.1.2.) Die SÜWAG hat den Ersatz für 2003/2004 zugesagt. Die Auslegung der Wärmetauscher muss zu diesem Zeitpunkt noch auf den derzeitigen hohen Wärmebedarf erfolgen.

### **7.5.3. WW Zirkulation**

Zeitschaltung für die Zirkulationspumpen weiter einschränken. Z.Zt von 6:00 bis 22:00 (16h). Halbierung auf Sportbetrieb und Schule vormittags 8:00- 13:00 und 18:00 – 21:00 (8h). Teilweise fehlt sowohl bei der Zirkulationsleitung als auch bei der WW-Leitung die Dämmung. Dies sollte im Rahmen der laufenden Reparaturmaßnahmen mit erledigt werden.

### **7.5.4. Thermostatventile begrenzen/sperren**

In einigen öffentlich zugänglichen Verwaltungsbereichen waren die Thermostatventile durch die Nutzer zu hoch eingestellt (1.OG). Hier sollten Thermostatventile mit mechanischer Begrenzung oder die Begrenzung in den Thermostatköpfen nachgerüstet werden. Zusätzlich können die Heizkörper über die Rücklaufverschraubung eingedrosselt werden.

### **7.5.5. Hydraulische Abstimmung der Heizkreise**

Die mangelnde hydraulische Abstimmung des Heizungssystems kann zur Unterversorgung von Heizkörpern führen. Dies ist deutlich an den Heizkörpern im 4.OG Flur festzustellen, die völlig unterschiedliche VL/RL Paarungen aufweisen und zudem Luft enthalten. (Das Luftproblem soll seit Mitte März 2003 abgestellt sein) Alle Kreise sollten hydraulisch abgestimmt werden. Diese Maßnahme ist sinnvoll in Zusammenhang mit 7.5.1. durchzuführen, da eine Planung für den Einsatz von Strangventilen erfolgen muß. Provisorisch können die Heizkörper über die Rücklaufverschraubung eingedrosselt werden. Durch diese Maßnahme werden die Volumenströme begrenzt und damit der Stromverbrauch der Pumpen gesenkt. Da bereits elektronisch geregelte Pumpen eingesetzt und einige Heizkörper bereits eingedrosselt sind ist die zusätzliche Einsparung nicht bezifferbar.

## **7.6. Pumpen**

### **7.6.1. Hauptvorlaufpumpe austauschen**

Austausch der Doppelpumpen gegen Inline-Doppelpumpen mit Regelung. Die Einsparung durch Volumenstromregelung nach dem EET-Verfahren mit FU kann bei richtiger Auslegung bis zu 70% betragen. Dies ergibt eine jährliche Stromeinsparung von rund 15.000 kWh/a oder 1.800 €/a.

Diese Maßnahme ist nur sinnvoll in Abstimmung mit den Wärmetauschern (vgl. Maßnahme 7.5.2.), ggf sind zusätzlich Stauscheiben vor die Register der Lüftungsanlagen zu setzen.

Sparsam wäre auch eine dp-Regelung. Die Einsparung liegt hier nur bei 30-40%. Auf jeden Fall ist die Pumpe richtig zu dimensionieren.

### **7.6.2. Elektronische Pumpen im Hauptverteilerbalken**

Alle Pumpen müssen bei wesentlichen Änderungen als elektronische Pumpen ausgelegt werden (EnEV). (Teilweise bereits erfolgt).

### **7.6.3. Unterverteilungen Pumpen**

Die Pumpen in den Unterverteilern müssen gedämmt werden. Nachrüstung sollte im Rahmen der Wartungsarbeiten erfolgen.

## **7.7. Klima**

### **7.7.1. Befeuchtung**

Die Nachrüstung der Befeuchtung für die Anlagen 1 und 3 kann zu Problemen mit der Bauphysik (Vgl. Anlage 7) führen. Darauf ist die Regelung abzustimmen, solange keine der Maßnahmen unter 7.2. getroffen sind.

### **7.7.2. Kälte**

Die Kälteanlage sollte dauerhaft außer Betrieb bleiben.  
Bei Abschalten der Lüftungsanlagen im Sommer dürfte Fensterlüftung in Verbindung mit einem wirkungsvollen Sonnenschutz ausreichen.

## **7.8. Beleuchtung**

### **7.8.1. Bauteil A und B**

Im Bauteil A und B bietet sich der Austausch der alten Lampen geradezu an, da es sich hier um eingesetzte Standardleuchten handelt, die in den Klassenräumen weder durch Lüftungsanlagen noch durch spezielle Rasterfelder auf den Decken beeinträchtigt werden.

Es wird daher empfohlen alle Klassenräume bezüglich der Nutzung und der Beleuchtungsstärken neu festzulegen, um ein angepasstes Leuchtenkonzept raumbezogen zu entwickeln.

Durch die Leitfadenberechnung kann abgeschätzt werden, dass bereits bei Beibehaltung von 500 Lux Beleuchtungsstärke fast 50 % des Stromverbrauchs für Beleuchtung eingespart werden kann. Die durchgängige Auslegung auf 300 Lux führt zu einem Einsparpotential von fast 70%.

Der Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten hätte darüber hinaus auch erhebliche Verlängerung der Lebensdauer der Leuchten zur Folge (15.000 Betriebsstunden statt 4.000 bis 6.000 h), so dass per Saldo auch weniger Arbeitsaufwand und damit Kosten für Leuchtentausch auf die Hausverwaltung zukommt.

Bei einem Austausch aller Lampen nur in den Klassenräumen gibt es ein Potential von 116.000 kWh/a oder 14.000 €/a. Effektivität dieser Maßnahme ist in Punkt 8.3. ausgeführt.



### 7.8.2. Sporthalle

Das Leuchtensystem der Sporthalle ist veraltet. Auch hier kann durch weniger und effektivere Leuchten Strom gespart werden. Das Einsparpotential liegt bei gleicher Lichtstärke bei 12.000 kWh/a oder 1.500 €/a. Bei einem Austausch von 128 Leuchten à 100.- € pro Leuchte beträgt das ROI rund 8,4 Jahre.

In Bauteil C gibt es noch weitere 120 Leuchten, die getauscht werden könnten. Auch diese Maßnahme rechnet sich nach rund 8 Jahren.

## 7.9. Sommerlicher Wärmeschutz

### 7.9.1. Sommerlicher Wärmeschutz im Bauteil A und B

Die Bauteile A,B,C verfügen über mäßig Bauteilmasse (mittelschweres Gebäude), die Fassade aus Betonplatten ist vorgehängt und die Innendecken abgehängt. Dadurch ist die thermische Speicherkapazität mittelmäßig und damit der erforderliche Kälteenergiebedarf eher hoch. Bezogen auf die Raumgrößen von 50 bis 68 m<sup>2</sup> und bis zu 30 Schülern gibt es Kältebelastungen über 40 W/m<sup>2</sup>.

Der bisherige Sonnenschutz wird manuell bedient und besteht aus durchscheinendem Stoff. Er sollte durch eine wirksamere Verschattung ersetzt werden. Dies bedeutet einen außenliegenden Sonnenschutz mit Lamellenjalousien mit einem Durchlassfaktor nach DIN von  $b < 0,2$ . Dieser muss – z.B. durch automatische Kippstellung - so ausgeführt sein, dass auch bei voller Schutzfunktion auf Kunstlicht verzichtet werden kann.

### 7.9.2. Automatische Sonnenschutzsteuerung

Sonnenschutz automatisch herunterfahren.

### 7.9.3. Regelung einstellen

Ausnutzung des Komfortbereichs der Regelung (Temperatur und Feuchte) für Befeuchtung. (z.Zt. im Bau)

### 7.9.4. Außenlichtabhängige Beleuchtungssteuerung.

Innenlicht bei ausreichender Beleuchtung abschalten, um die Inneren Wärmelasten zu reduzieren. (siehe auch Maßnahmen Beleuchtung) Dies gilt besonders für Flur im 4.OG West und alle Klassenräume in den Etagen 2-4.OG im Bauteil A und B.

### 7.9.5. Wärmeschutz bei Fenstertausch

Beim Austausch der Fenster (vgl. Maßnahme 7.2.2.) sollte auf Reflexionsgläser geachtet werden.

### 7.9.6. Verbesserung der Speichermasse

Beim Aufbringen einer WDVS sollte auf eine hohe Speichermasse geachtet werden, um die Bauteil- und Nachtkühlung zu nutzen. Durch Wahl eines Materials mit einer höheren spezifischen Wärmekapazität  $c_p$  wird die Speichermasse vergrößert. Die dafür in Frage kommenden Materialien benötigen in der Regel eine aufwendigere Konstruktion und sind damit teurer. Ggf. kann durch Wahl eines besseren (teureren) Materials auch weiterhin dauerhaft auf die Kühlung verzichtet werden.



## **7.10. Wasser**

### **7.10.1. Kaltwasser**

#### **7.10.1.1. Spülbecken**

Die Kaltwasserhähne in den Chemieräumen tropfen. Austausch der Dichtungsscheiben erforderlich. Überprüfung aller Wasserhähne mit Kalkspuren in den Becken.

#### **7.10.1.2. Spülkästen**

Einstellen aller Spülkästen auf 6 l pro Spülung. Da es sich um Tiefspüler handelt ist diese Maßnahme bedenkenlos durchführbar. Durch diese Maßnahme können jährlich rund 400 m<sup>3</sup> Wasser im Wert von 1700 € eingespart werden. Die Umrüstung könnte successive von den Hausverwaltern vorgenommen werden.

### **7.10.2. Warmwasserbereitung**

#### **7.10.2.1. Warmwassererfassung Speicher 1 und 2**

Es liegt kein Lastprofil vor. Es wird daher empfohlen einen stündlichen Lastgang für Warmwasser zu erstellen.

- Installation eines Wasserzählers im Zulauf Kaltwasser
- Installation eines WW Zählers in der Zirkulationsleitung

Die vorhandene elektrische Beheizung (18 kW) für Speicher 1 reichte in den Sommermonaten nicht aus, um den Speicher auf Temperatur zu halten. Es ist jedoch nicht mehr eindeutig nachzuvollziehen, ob bereits im Sommer ein oder mehrere Heizstäbe durchgebrannt waren und deshalb die Leistung nicht ausreichte oder durch erhöhte Abnahme der Speicher nicht mehr die Soll-Temperatur von 60 °C erreichte. Durch den Dauerbetrieb sind die Heizstäbe in 2003 bereits wieder durchgebrannt. Auch die Verlustleistung durch die Zirkulation kann nicht eindeutig abgeschätzt werden, da die Leitung nicht auf ganzen Länge einsehbar ist. Von daher ist Einbau und Kontrolle der Wasserzähler erforderlich.

Für die Sommermonate kommt alternativ eine Solaranlage in Betracht (siehe Maßnahme 7.11.)

Beim Umrüsten der Wärmetauscher kann ggf. auch ein kleinerer WT-Anschluß für die Warmwasserladung geschaffen werden (vg. 7.5.2.)

#### **7.10.2.2. Betrieb des WW Speichers 2**

Der Speicher 2 stand während der Winterperiode 02/03 auf Sommerbetrieb, d.h. wurde elektrisch geheizt, obwohl wirtschaftlich günstige Fernwärme zur Verfügung stand. Da die Umschaltung von Winter auf Sommerbetrieb manuell erfolgt, gilt hier: Abschalten!

## **7.11. Solaranlage**

Der durchschnittliche Warmwasserverbrauch liegt bei ca. 30 m<sup>3</sup>/Monat. Das entspricht einem spezifischen Verbrauch von durchschnittlich 900 l/Tag. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es wahrscheinlich Abnahmespitzen bei den Sportveranstaltungen gibt.

Begründung: Für einen gleichmäßigen, durchschnittlichen Verbrauch von rund 900 l/Tag wäre der 500l Speicher 1 für die Solartechnik unterdimensioniert. Für eine Solaranlage wäre ein Speichervolumen von 1400 l bei gleichmäßigem Verbrauch erforderlich (Speicherauslegung bei Solaranlagen = Tagesverbrauch x 1,5).

Bei einem gleichmäßigen Abnahmeprofil wäre eine Kollektorfläche von 25 - 30 m<sup>2</sup> und 1 weiterer 1000 l - Speicher ausreichend.

Mit einem externen Wärmetauscher können sowohl der bestehende Speicher als auch ein neuer Speicher geladen werden.

Damit können rund 10.000 kWh/a Wärme gespart werden, die zudem überwiegend elektrisch beheizt werden (= 1200 €/a). Die Investitionskosten für eine thermische Solaranlage mit rund 25 m<sup>2</sup> Fläche und 1000 l Speicher liegen bei rund 15.000,- €.

Falls diese Maßnahme zum Tragen kommt wäre auch eine Verlegung des Speichers in Richtung Zapfstellen (Turnhalle) sinnvoll.

## 7.12 Organisation/Sonstige

### 7.12.1. Raumplanung

Der Bauteil A ist durchgängig beleuchtet, obwohl im Gebäude oder in einzelnen Etagen keine Aktivität mehr ist.

Vorschlag: Zonenweise Licht ausschalten und Türen abschließen. Unterricht auf Hauptgebäude verlagern.

Die Nutzung durch die 6 Abend- und 2 Fachschulklassen bedeutet für das Gesamtgebäude unnötig hohe Beleuchtungs- und Lüftungsaufwendungen. (Vgl. Maßnahmen 7.8. und 7.4.)

Da in der Schule demnächst weitere Fachklassen unterrichtet werden sollen ist ein Gesamtkonzept Raumplanung erforderlich.

Alle vorg. Maßnahmen sind in [Tabelle 20](#) quantifiziert.

**Tabelle 20 Maßnahmen zur Energieeinsparung**

Bitte Exceltabelle ausdrucken und hier einfügen.

## **Tabelle 20, Teil 2**

Bitte Excel-Datei ausdrucken und hier einfügen

**Im Rahmen des Zwischengesprächs wurden folgende Maßnahmen festgehalten:**

1. Austausch der Wärmetauscher durch die SÜWAG
2. Anlegen eines/zweier Testräume zur Erprobung des Schulbetriebs mit alleiniger Fensterlüftung für die Maßnahme 7.5.1. (statischen Heizkreis nachrüsten) . Ausgewählt wurden die Räume 302 und 303

Für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit sind folgende Prioritäten vorgegeben:

1. Verbesserung des Wärmeschutzes insbesondere der Fenster
2. Grundsätzliche Änderung der Lüftungsanlagen
  - 2a. Minimierung der Betriebszeiten und Luftmengen
  - 2b. Minimierung der Anzahl der Lüftungsanlage und Ersatz durch eine Luftheizung
3. Sanierung der Beleuchtung

## 8. Wirtschaftlichkeit von Maßnahmenpaketen

Die Einzelmaßnahmen gemäß Tabelle 20 sind - sofern quantifizierbar - mit Kostenschätzungen versehen aus denen sich das ROI ausrechnen lässt, damit eine grundlegende Entscheidung der Weiterverfolgung der Maßnahmen entschieden werden kann. Sofern die Maßnahmen nach den technischen Vorgaben des Hochbauamts der Stadt Frankfurt durchgeführt werden ist keine Gesamtkostenrechnung erforderlich.

Aus den Einzelmaßnahmen sind im folgenden Maßnahmenpakete zusammengestellt worden die in Ihrer Gesamtheit ein schlüssiges Gesamtkonzept ergeben.

Sofern das nachfolgend untersuchte Gesamtkonzept nicht zum Tragen kommt, können die Einzelmaßnahmen gemäß Tabelle 20 succesive durchgeführt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Einzelmaßnahmen sich möglichst ergänzend zum Gesamtkonzept verhalten.

Die folgenden Maßnahmen sind alle nach den Vorlageblättern und Kalkulationsempfehlungen des Hochbauamts durchgeführt, soweit nicht objektermittelte Kosten vorlagen.

Der Kapitalzins ist mit 5 % per a, die Energiepreissteigerungen mit 2% per a angesetzt. Gemäß den Richtlinien der Stadt Frankfurt sind für die CO<sub>2</sub>-Emissionen 50 €/t als Umweltfolgekosten anzusetzen.

**Bei der Berechnung der folgenden Gesamtkosten ist in der Regel von den Vollkosten ausgegangen worden, wenn keine anderen Basiszahlen vorlagen. Vollkosten bedeuten in diesem Fall, dass alle ansetzbaren Mehrkosten durch die Maßnahme angesetzt sind. Die Kalkulationen bewegen sich im Rahmen einer Kostenschätzung. Details können, sofern im Text nicht erläutert separat abgefragt werden.**

## 8.1. Berechnung der Energieeinsparung nach Gesamtkostenrechnung

### 8.1.1 Bauphysik

Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 7.2.1. – 7.2.7. in einem Paket zusammengefasst.

Die Kostenschätzung ist mit den Richtwerten des Hochbauamts durchgeführt. Die Kapitalisierung wurde für einen Zeitraum von 25 Jahren vorgenommen. (Tabelle 22, Variante 2)

Die angenommenen Investitionskosten sind in der Tabelle 21 zusammengefaßt. Die Investitionskosten betragen insgesamt 1,2 Mio € bei Zugrundelegung der Kalkulationsempfehlungen Abteilung Energiemanagement. (Differenz vgl. 7.2.)

**Tabelle 21 Investitionskosten Wärmeschutz**

| <b>300Bauwerk -</b>                | <b>Menge</b> | <b>sp. Preis</b> | <b>Investition</b> |
|------------------------------------|--------------|------------------|--------------------|
| <b>Baukonstruktion</b>             | <b>(m³)</b>  | <b>(€/m³)</b>    | <b>(€)</b>         |
| 310Baugrube                        | 0            | 0                | 0                  |
| 320Gründung: Fundamente            |              |                  | 0                  |
| Gründung: Bodenaufbauten           | (m²)         | (€/m²)           | (€)                |
| Boden gegen Keller/Erde            | 2.563        | 12               | 30.752             |
| Boden gegen außen                  | 670          | 30               | 20.110             |
| 330Außenwände                      | (m²)         | (€/m²)           | (€)                |
| Wand gegen außen                   | 6.452        | 60               | 387.120            |
| Wand gegen Keller/Erde             | 0            | 0                | 0                  |
| Außenfenster und -türen            | 2.199        | 255              | 560.745            |
|                                    |              |                  | 0                  |
| 340Innenwände                      | (m²)         | (€/m²)           | (€)                |
| Innenwände                         | 0            | 59               | 0                  |
| Innentüren und Fenster             | 0            | 369              | 0                  |
| 350Decken                          | (m²)         | (€/m²)           | (€)                |
| oberste Geschoßdecke               | 139          | 20               | 2.780              |
| sonstige Geschoßdecken             | 0            | 45               | 0                  |
| 360Dächer                          | (m²)         | (€/m²)           | (€)                |
| Dach gegen außen                   | 3.094        | 55               | 170.170            |
|                                    |              |                  | 0                  |
| 370 - 390 sonstige Baukonstruktion |              |                  |                    |
| <b>300Summe Baukonstruktion</b>    |              |                  | <b>1.171.677</b>   |

Bei der Auflistung der Einzelmaßnahmen (Tabelle 20) wurde für die Einzelmaßnahmen ein konservativerer Kostenansatz vorgenommen, so dass sich bei dieser Addition Gesamtkosten von 1,6 Mio € in der Summe ergeben (Tabelle 22 Variante 3). Diese Streuung ist im Rahmen einer Kostenschätzung noch akzeptabel, zeigt aber, dass die Entscheidung für die Maßnahmen auf Basis einer Ausschreibung oder Kostenanschlag erfolgen sollte.

Geht man davon aus, dass die Gesamtkosten nicht höher als 1,6 Mio € liegen, beträgt das ROI 24,5 Jahren, was bei bauphysikalischen Maßnahmen als eher kurz zu bezeichnen ist. Wenn es gelingt die Investitionssumme von 1,2 Mio € zu erreichen, wird der ROI bereits nach 15 Jahren erreicht. Alle Werte sind in der nachfolgenden Tabelle Gesamtkosten Wärmeschutz zusammengefasst.

**Tabelle 22 Gesamtkosten Wärmeschutz PES**



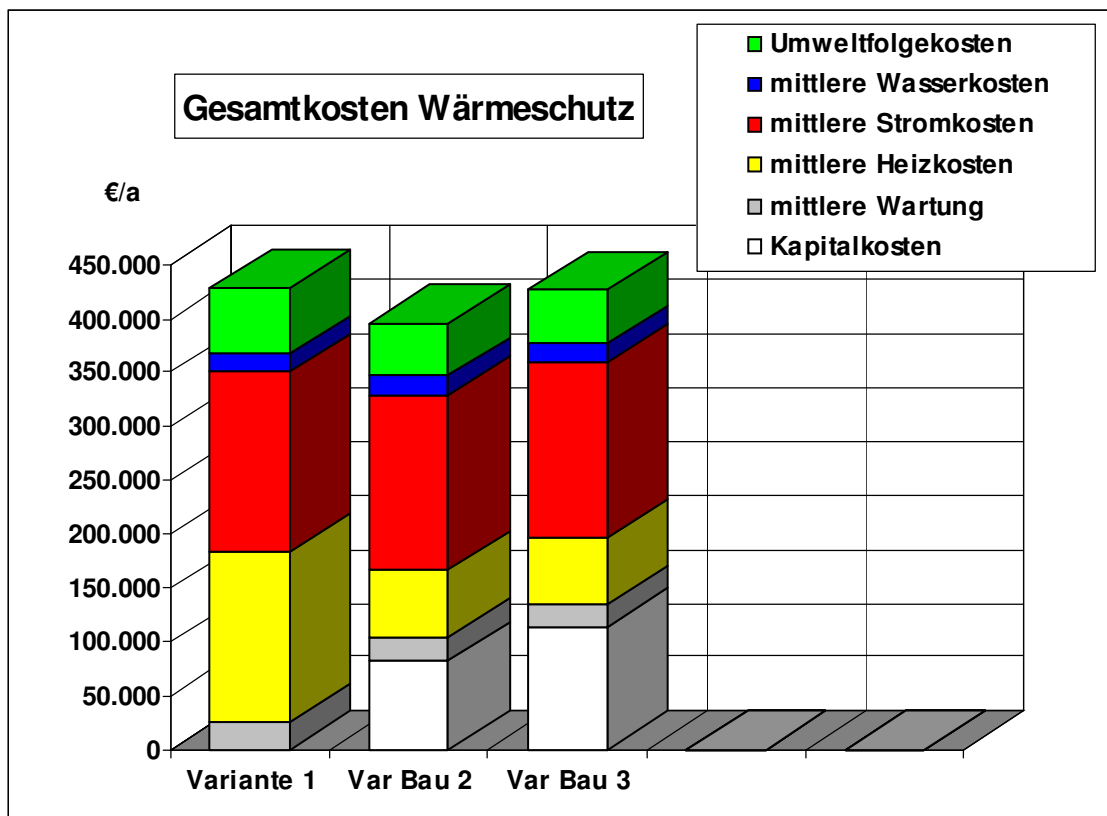
## Gesamtkosten Wärmeschutz PES

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| A. Allgemeine Daten      |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|------------|------------------|------|----------|---------|
| A1                       | Liegenschaftsbezeichnung              | PES                                               |            |                  | A2   | Unterab. |         |
| A3                       | Gebäudebezeichnung                    | Bauteil A,B,C                                     |            |                  | A4   | Str.-Nr. |         |
| A5                       | Straße                                |                                                   |            |                  | A6   | Haus-Nr. |         |
| A7                       | Betrachtungszeitraum                  | 25a                                               | A8         | Währung          | €    |          |         |
| A9                       | Kapitalzins                           | 5%                                                | A10        | Annuitätsfaktor  | 0,07 |          |         |
| A11                      | Preissteigerung                       | 2%                                                | A12        | Mittelwertfaktor | 1,24 |          |         |
| B. Varianten             |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
|                          |                                       | Bezeichnung                                       |            |                  |      |          |         |
| B0                       | Variante 1                            | IST-Zustand                                       |            |                  |      |          |         |
| B1                       | Var Bau 2                             | Wärmeschutz nach Frankfurter Standard HBA         |            |                  |      |          |         |
| B2                       | Var Bau 3                             | Wärmeschutz nach Frankfurter Standard Einzelkalk. |            |                  |      |          |         |
| B3                       |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
| B4                       |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
| C. Kenngrößen            |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
|                          |                                       | Variante 1                                        | Variante 2 | Variante 3       |      |          |         |
| C1                       | Bezugsfläche (NGF)                    | 10.195                                            | 10.195     | 10.195           |      |          | m²      |
| C2                       | Personenzahl                          | 896                                               | 896        | 896              |      |          | P       |
| C3                       | spez. Heizwärmebedarf                 | 221                                               | 107        | 107              |      |          | kWh/m²a |
| C4                       | Heizzahl Kessel+Verteilung            | 95%                                               | 95%        | 95%              |      |          | %       |
| C5                       | spez. Strombezug                      | 108                                               | 106        | 106              |      |          | kWh/m²a |
| C6                       | spez. CO2-Emissionen                  | 125                                               | 97         | 97               |      |          | kg/m²a  |
| C7                       | spez. Trinkwasserbezug                | 1,70                                              | 1,70       | 1,70             |      |          | m³/P a  |
| D. Kapitalkosten         |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
|                          |                                       | Variante 1                                        | Var Bau 2  | Var Bau 3        |      |          |         |
| D1                       | Investitionskosten (DIN 276)          | 0                                                 | 1.171.677  | 1.600.000        |      |          | €       |
| D2                       | Zuschüsse/Erlöse                      |                                                   | 0          |                  |      |          | €       |
| D3                       | Eigenkapitaleinsatz                   | 0                                                 | 1.171.677  | 1.600.000        |      |          | €       |
| D4                       | Kapitalkosten                         | 0                                                 | 83.133     | 113.524          |      |          | €/a     |
| D5                       | spez. Kapitalkosten                   | 0                                                 | 8          | 11               |      |          | €/m²a   |
| E. mittl. Betriebskosten |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
|                          |                                       | Variante 1                                        | Variante 2 | Variante 3       |      |          |         |
| E1                       | Personal+Reinigungskosten             |                                                   |            |                  |      |          | €/a     |
| E2                       | Wartung+Instandhaltung                | 19.906                                            | 16.844     | 16.844           |      |          | €/a     |
| E3                       | Heizkosten                            | 127.839                                           | 50.009     | 50.009           |      |          | €/a     |
| E4                       | Stromkosten                           | 133.791                                           | 131.115    | 131.115          |      |          | €/a     |
| E5                       | Wasserkosten                          | 13.999                                            | 13.999     | 13.999           |      |          | €/a     |
| E6                       | Verwaltung+Versicherung               |                                                   |            |                  |      |          | €/a     |
| E7                       | heutige Betriebskosten                | 295.535                                           | 211.967    | 211.967          |      |          | €/a     |
| E8                       | mittl. Betriebskosten                 | 367.539                                           | 263.611    | 263.611          |      |          | €/a     |
| E9                       | spez. Betriebskosten                  | 36                                                | 26         | 26               |      |          | €/m²a   |
| F. Umweltfolgekosten     |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
|                          |                                       | Variante 1                                        | Variante 2 | Variante 3       |      |          |         |
| F1                       | CO2-Emissionen (50 €/to)              | 63.470                                            | 49.381     | 49.381           |      |          | €/a     |
| F2                       | Trinkwasser (1 €/m³)                  | 1.525                                             | 1.526      | 1.527            |      |          | €/a     |
| F3                       | Umweltfolgekosten                     | 64.995                                            | 50.907     | 50.908           |      |          | €/a     |
| F4                       | spez. Umweltfolgekost.                | 6                                                 | 5          | 5                |      |          | €/m²a   |
| G. Gesamtkosten          |                                       |                                                   |            |                  |      |          |         |
|                          |                                       | Variante 1                                        | Variante 2 | Variante 3       |      |          |         |
| G1                       | Gesamtkosten                          | 432.534                                           | 397.652    | 428.044          |      |          | €/a     |
| G2                       | spez. Gesamtkosten                    | 42                                                | 39         | 42               |      |          | €/m²a   |
| G2                       | Amortisationszeit (Basis: Variante 1) |                                                   | 14,1       | 23,2             |      |          | a       |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MwSt.)

Diagramm 6 Kostenaufteilung Wärmeschutz



Der spezifische Heizwärmebedarf sinkt von 221 kWh/m<sup>2</sup>a auf 107 kWh/m<sup>2</sup>a. Der spezifische Stromverbrauch verbessert sich nur geringfügig, weil mit dieser Maßnahme allein noch nichts an der Anlagentechnik, insbesondere der Lüftung bewirkt wird. Demzufolge sind Umweltfolgekosten noch relativ hoch, weil die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen nur durch die Wärme (Gas) gesenkt werden. Insgesamt sind die Kosten mit rund 400.000.- € pro Jahr geringer als die jetzigen Kosten von 430.000.- €. Damit rechnet sich die Gesamtmaßnahme Wärmeschutz.

### 8.1.2 Lüftung

Die Maßnahmen im Bereich der Lüftungsanlagen wurden über 10 Jahre kapitalisiert.

Für den energieärmeren Betrieb der Lüftung wurden 2 Varianten untersucht:

- Var Luft 2: Auslegung der Luftleistung auf SIA Standard und maschinelle Umrüstung der Anlagen auf niedrigere Volumenströme mit Frequenzumrichtern. (Maßnahme 7.4.1, 7.4.2 (7.4.3), 7.4.5. (7.4.6.)
- Var Luft 3: Weitestgehender Verzicht auf maschinelle Lüftung. Lüftung wird nur für Innenräume und Experimentalräume erhalten. Auf Kühlung wird ganz verzichtet und die Heizleistung durch statische Heizkreise gewährleistet. (Maßnahme 7.5.1., 7.5.5., 7.9.1.)

Für die Kostenschätzung wurden folgende Randbedingungen angenommen:

## Kostenschätzung Variante 2:

Verringerung der Lüftungsraten auf 25 m<sup>3</sup>/P,h und Nachrüstung von Frequenzumrichtern.

Dabei wurden die Leistungen aus der Tabelle gemäß der Motorleistung mit Kosten zwischen 250 und 350 € pro kW je nach Größe in Tabelle 3 und 4 hinterlegt. Zusätzlich sind 96 Volumenstromregler eingeplant. Es wurde davon ausgegangen, dass die Samsungregelung erweitert werden kann, so dass ein großer Teil der Verkabelung als auch der Temperaturfühler erhalten werden kann.

Die Kostenschätzung führt damit zu folgenden Bruttokosten:

|                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| Kosten FU Zuluft                      | 55.158.-         |
| Kosten FU Abluft                      | 25.215.-         |
| Schaltschränke                        | 25.000.-         |
| Reserve Motorumrüstung                | 29.000.-         |
| Volumenstromregler (96 Stk)           | 48.000.-         |
| Regelung zusätzlich zu Samsung        | 50.000.-         |
| CO <sub>2</sub> /Kombifühler (63 Stk) | 50.400.-         |
| Risiko BSK                            | 20.000.-         |
| Planung                               | 46.000.-         |
| <b>Summe</b>                          | <b>348.773.-</b> |

## Kostenschätzung Variante 3:

- Abbau der Nachheizregister der Lüftung in den Klassenräumen.
- Installation von 220 Heizkörpern. Abschiebern der Lüftungskanäle für die Außenzonen
- Installation von Frequenzumrichtern für die Versorgung der Innenzonen  
(Alternativ wären auch kleinere Ventilatoren mit Festdrehzahl möglich)

Es wurde davon ausgegangen, dass das bestehende Rohrnetz für die Versorgung der Heizkörper ausreicht. Diese Annahme ist realistisch, weil die installierten Leistungen der Brüstungsgeräte aufgrund der hohen Luftwechselraten teilweise fast so hoch, teilweise durch Überdimensionierung auch höher sind als die zu erwartende statische Heizleistung.

Die Kostenschätzung führt damit zu folgenden Bruttokosten:

|                                            |                  |
|--------------------------------------------|------------------|
| Kosten FU Zuluft / Abluft                  | 55.005.-         |
| Kosten Heizkörper (220 Stk)                | 132.000.-        |
| Nachrüstung Samsungregelung                | 25.000.-         |
| Reserve Arbeiten Rohrnetz                  | 15.000.-         |
| Lüftungsklappen (96 Stk)                   | 24.000.-         |
| Stillegung Anlagenkomponenten              | 20.000.-         |
| Entsorgung Brüstungsgeräte (220 Stk)       | 50.400.-         |
| Sonnenschutz Südseite(651 m <sup>2</sup> ) | 61.845.-         |
| Planung                                    | 41.640.-         |
| <b>Summe</b>                               | <b>384.390.-</b> |

Die Variante 1 zeigt die IST Situation, allerdings nur mit den Wartungs-, Personal-, und Reinigungskosten, die als Mehr- oder Minderkosten gegenüber den untersuchten Varianten auftreten würden.

Die Varianten 2 und 3 (Luft 2 und 3) Tabelle 23 zeigen die Effekte der beiden unterschiedlichen Lüftungskonzepte:

Variante Luft 2 bedeutet Einschränkungen der Betriebszeiten der Lüftung und Ausrüstung mit Frequenzumrichtern (FU), um bedarfsgerecht Luft zuführen zu können.

Variante Luft 3 zeigt die Umrüstung auf ein statisches Heizsystem, das im Bedarfsfall durch Fensterlüftung ergänzt wird. Erhalten wird in der Lüftung nur das absolute Minimum für Toilettenräume, Innenzonen und Experimentalräume.

Beide Varianten stellen sowohl eine Kosten- und Umweltentlastung dar.

Die effektivere Variante ist trotz höheren Investitionskosten die Variante 3, weil hier deutlich Strom gespart wird und damit sowohl die Umweltfolgekosten als auch die mittleren Stromkosten in der Summe deutlich unter den Mehrkosten für den Kapitaleinsatz liegen. Da diese Variante bezüglich der Belüftung der Einzelräume insbesondere bei größerem Kaltlufteinfall im Winter kritisch sein kann, werden zwei Räume im 3. OG von der Lüftung abgeschlossen und mit Heizkörpern zur statischen Heizung ausgestattet (vgl. Einleitung). Die Ergebnisse werden frühestens nach der Heizperiode 2003/2004 vorliegen. Die Heizwärmeberechnung für die beiden Räume ist als Anlage beigefügt.

Da der Versuchsraum noch keinen Wärmeschutz aufweist müssen die Heizflächen leider überdimensioniert werden.

Durch diese Maßnahme sinkt der spezifische Stromverbrauch von 108 auf 50 kWh/m<sup>2</sup>a. der Heizwärmebedarf sinkt von 220 auf 178 kWh/m<sup>2</sup>a, da hierdurch auch die Lüftungsverluste verringert werden.

Richtig sinnvoll wird diese Maßnahme daher erst, wenn zusätzlich der Wärmeschutz hinzukommt (vgl. 8.1.1. Wärmeschutz), weil dann die Transmissionsverluste verringert werden und gleichzeitig damit gerechnet werden kann, dass durch die höheren Oberflächentemperaturen die Raumtemperatur geringer gehalten werden kann. ( 1 Grad Raumtemperatur weniger spart theoretisch 6 % Energie. Mit dieser Maßnahme wird dann auch der Grenzwert des Heizwärmebedarfs (85 kWh/m<sup>2</sup>a) eingehalten (vgl. Ergebnis 9).

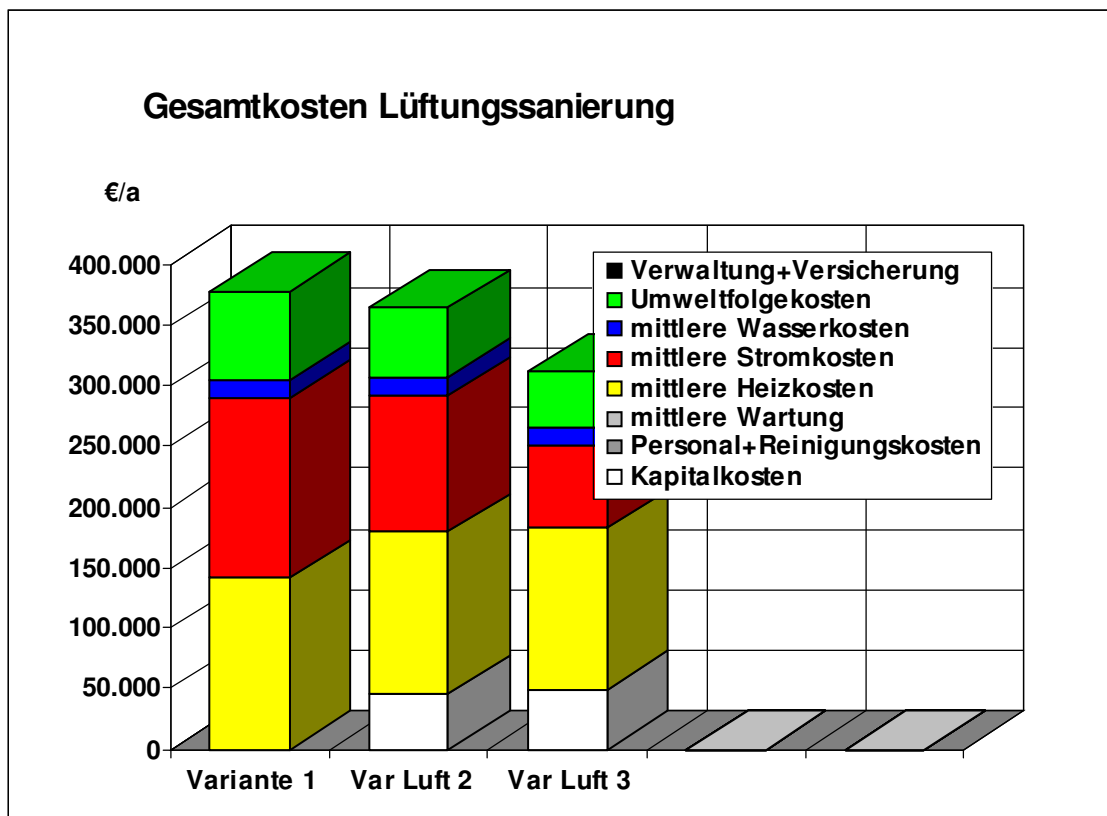
Bei der Maßnahme Wärmeschutz ist noch nicht berücksichtigt, dass die Kapitalkosten für die Heizungssanierung sinken, weil die neuen Heizkörper und das Rohrnetz kleiner ausgelegt werden können. Der Betrieb mit geringeren Vorlauftemperaturen bringt keine gravierenden Vorteile, weil die Wärmeversorgung nicht über Brennwerttechnik erfolgt und die Wärmeverteilung im wesentlichen im beheizten Bereich verläuft.

Die Gesamtkosten sind in Tabelle 23 zusammengefaßt und im Diagram 6 dargestellt.

Tabelle 23 Gesamtkosten Lüftungssanierung

| Gesamtkosten Lüftungssanierung                                                         |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|----------------------|-------------|------------|---------|--|--|
| Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
| A. Allgemeine Daten                                                                    |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
| A1                                                                                     | Liegenschaftsbezeichnung              | PES                                                 |            |                      | A2 Unterab. |            |         |  |  |
| A3                                                                                     | Gebäudebezeichnung                    | Bauteil A,B,C                                       |            |                      | A4 Str.-Nr. |            |         |  |  |
| A5                                                                                     | Straße                                |                                                     |            |                      | A6 Haus-Nr. |            |         |  |  |
| A7                                                                                     | Betrachtungszeitraum                  | 10                                                  | a          | A8 Währung           |             | €          |         |  |  |
| A9                                                                                     | Kapitalzins                           | 5%                                                  |            | A10 Annuitätsfaktor  |             | 0,13       |         |  |  |
| A11                                                                                    | Preissteigerung                       | 2%                                                  |            | A12 Mittelwertfaktor |             | 1,11       |         |  |  |
| B. Varianten                                                                           |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
| B0                                                                                     | Variante 1                            | Bezeichnung                                         |            |                      |             |            |         |  |  |
| B1                                                                                     | Variante 2                            | IST-Zustand Lüftung Heizung                         |            |                      |             |            |         |  |  |
| B2                                                                                     | Variante 3                            | Zeitverringerung plus FU (7.4.1 - 3, 7.4.5,7.4.6.)  |            |                      |             |            |         |  |  |
| B3                                                                                     | Variante 4                            | Lüftung reduzieren, dafür Statische Heizung (3.2.5) |            |                      |             |            |         |  |  |
| B4                                                                                     | Variante 5                            |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
| C. Kenngrößen                                                                          |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
|                                                                                        |                                       | Variante 1                                          | Variante 2 | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |  |  |
| C1                                                                                     | Bezugsfläche (NGF)                    | 10.195                                              | 10.195     | 10.195               | 10.195      | 10.195     | m²      |  |  |
| C2                                                                                     | Personenzahl                          | 896                                                 | 896        | 896                  | 896         | 896        | P       |  |  |
| C3                                                                                     | spez. Heizwärmebedarf                 | 221                                                 | 180        | 178                  |             |            | kWh/m²a |  |  |
| C4                                                                                     | Heizzahl Kessel+Verteilung            | 95%                                                 | 94%        | 94%                  |             |            | %       |  |  |
| C5                                                                                     | spez. Strombezug                      | 108                                                 | 82         | 50                   |             |            | kWh/m²a |  |  |
| C6                                                                                     | spez. CO2-Emissionen                  | 125                                                 | 97         | 75                   |             |            | kg/m²a  |  |  |
| C7                                                                                     | spez. Trinkwasserbezug                | 1,70                                                | 1,70       | 1,70                 |             |            | m³/P a  |  |  |
| D. Kapitalkosten                                                                       |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
|                                                                                        |                                       | Variante 1                                          | Var Luft 2 | Var Luft 3           |             |            |         |  |  |
| D1                                                                                     | Investitionskosten (DIN 276)          | 0                                                   | 348.773    | 384.391              |             |            | €       |  |  |
| D2                                                                                     | Zuschüsse/Erlöse                      |                                                     | 0          |                      |             |            | €       |  |  |
| D3                                                                                     | Eigenkapitaleinsatz                   | 0                                                   | 348.773    | 384.391              | 0           | 0          | €       |  |  |
| D4                                                                                     | Kapitalkosten                         | 0                                                   | 45.168     | 49.780               | 0           | 0          | €/a     |  |  |
| D5                                                                                     | spez. Kapitalkosten                   | 0                                                   | 4          | 5                    | 0           | 0          | €/m²a   |  |  |
| E. mittl. Betriebskosten                                                               |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
|                                                                                        |                                       | Variante 1                                          | Variante 2 | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |  |  |
| E1                                                                                     | Personal+Reinigungskosten             |                                                     |            |                      |             |            | €/a     |  |  |
| E2                                                                                     | Wartung+Instandhaltung                | 0                                                   | 0          |                      |             |            | €/a     |  |  |
| E3                                                                                     | Heizkosten                            | 127.839                                             | 121.121    | 119.775              | 0           | 0          | €/a     |  |  |
| E4                                                                                     | Stromkosten                           | 133.791                                             | 101.531    | 61.192               |             |            | €/a     |  |  |
| E5                                                                                     | Wasserkosten                          | 13.999                                              | 13.999     | 13.999               |             |            | €/a     |  |  |
| E6                                                                                     | Verwaltung+Versicherung               |                                                     |            |                      |             |            | €/a     |  |  |
| E7                                                                                     | heutige Betriebskosten                | 275.629                                             | 236.651    | 194.966              | 0           | 0          | €/a     |  |  |
| E8                                                                                     | mittl. Betriebskosten                 | 305.403                                             | 262.215    | 216.027              |             |            | €/a     |  |  |
| E9                                                                                     | spez. Betriebskosten                  | 30                                                  | 26         | 21                   | 0           | 0          | €/m²a   |  |  |
| F. Umweltfolgekosten                                                                   |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
|                                                                                        |                                       | Variante 1                                          | Variante 2 | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |  |  |
| F1                                                                                     | CO2-Emissionen (50 €/to)              | 63.506                                              | 49.634     | 38.064               | 0           | 0          | €/a     |  |  |
| F2                                                                                     | Trinkwasser (1 €/m³)                  | 1.525                                               | 1.526      | 1.527                | 0           | 0          | €/a     |  |  |
| F3                                                                                     | Umweltfolgekosten                     | 65.031                                              | 51.160     | 39.591               | 0           | 0          | €/a     |  |  |
| F4                                                                                     | spez. Umweltfolgekost.                | 6                                                   | 5          | 4                    | 0           | 0          | €/m²a   |  |  |
| G. Gesamtkosten                                                                        |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |
|                                                                                        |                                       | Variante 1                                          | Variante 2 | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |  |  |
| G1                                                                                     | Gesamtkosten                          | 370.434                                             | 358.543    | 305.399              | 0           | 0          | €/a     |  |  |
| G2                                                                                     | spez. Gesamtkosten                    | 36                                                  | 35         | 30                   | 0           | 0          | €/m²a   |  |  |
| G2                                                                                     | Amortisationszeit (Basis: Variante 1) |                                                     | 7,5        | 3,8                  |             |            | a       |  |  |
| (alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)                                            |                                       |                                                     |            |                      |             |            |         |  |  |

Diagramm 7 Gesamtkosten Lüftungssanierung



### 8.1.3 Beleuchtung

Die Beleuchtungssanierung wurde exemplarisch für die Klassenräume untersucht.

Die Beleuchtung wurde für die Klassenräume der Gebäudeteile A und B mit insgesamt 1359 Leuchten gemäß Anlage 3 Bauteil A und B verglichen. Die Investition wurde über 7 Jahre mit 5% Zins kapitalisiert.

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

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

|                                                    |       |
|----------------------------------------------------|-------|
| - Leuchten mit verlustarmen Vorschaltgerät (VVG)   | 87 €  |
| - Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) | 102 € |
| - Leuchten mit EVG und Tageslichtsperre (LS)       | 205 € |

Da ein Teil der Leuchten kombinierte Zu- bzw. Abluftgitter sind wurde für die Kostenschätzung davon ausgegangen, dass für die Leuchtensanierung ein neuer Deckenspiegel mit aufgesetzten Leuchten geschaffen wird, da hier die Investitionskosten und der Nachrüstaufwand am geringsten sind. Zudem wird die Verschmutzung der Lampen hierdurch dauerhaft verhindert. Der neue Deckenspiegel hat auch den Vorteil, dass die Beleuchtung individuell auf Sitz- und Lehrbereiche abgestimmt werden kann. Die Lüftungsgitter können unverändert beibehalten werden, sofern keine Maßnahmen an der Lüftung durchgeführt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Tabelle 24 dargestellt. Aus Vereinfachungsgründen wurde der HT- und NT- Bereich nicht differenziert. Die Aussagen werden dadurch nicht verfälscht. Es wurde mit dem Mittelwert gemäß SÜWAG gerechnet. Die Berücksichtigung der differenzierten Preisgefüges (Leistungspreis) führt tendenziell zum gleichen Ergebnis.

Bei der Gesamtkostenbetrachtung schneidet die Variante 2 mit EVG am günstigsten ab. Die noch betriebskosten- und umweltfreundlichere Variante der außenlichtabhängigen Beleuchtung (Variante 3) schneidet wegen der hohen Kapitalkosten bei den Gesamtkosten leider schlechter ab.

Für die Sporthalle und die Flure können andere Lampenkonzepte zum Tragen kommen. Insbesondere in den Fluren kann durch systematische Stilllegung einzelner Betriebsteile Beleuchtungsstunden eingespart werden (vgl. Maßnahmen 7.5.1. und 7.8.).



Tabelle 24 Wirtschaftlichkeitsrechnung Leuchtensanierung

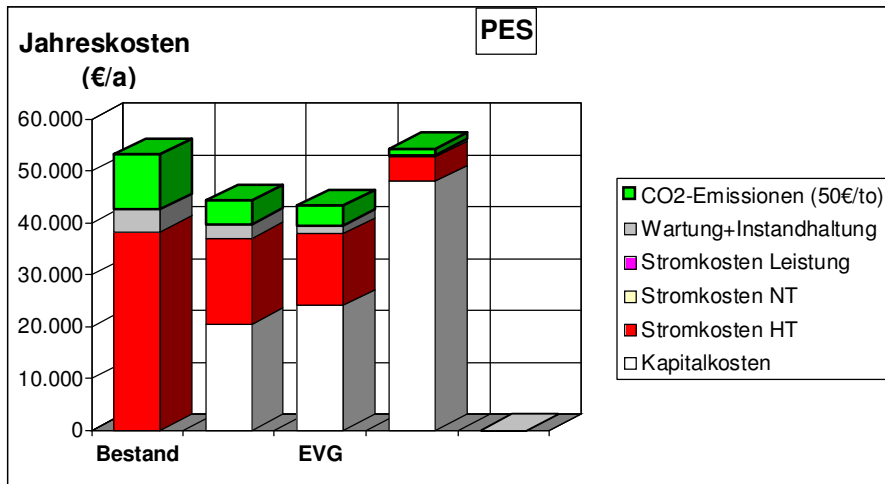
## Wirtschaftlichkeitsberechnung für Leuchtensanierung PES

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| Allgemeine Daten                            |                              |                                 |                                                              |                  |               |
|---------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------|
| A1                                          | Liegenschaftsbezeichnung     | PES                             |                                                              | A2               | Unterab.      |
| A3                                          | Gebäudebereich               | Alle Klassen und Schulungsräume |                                                              | A4               | Str.-Nr.      |
| A5                                          | Straße                       |                                 |                                                              | A6               | Haus-Nr.      |
| A7                                          | Betrachtungszeitraum         | 7 <sup>a</sup>                  |                                                              |                  |               |
| A8                                          | Kapitalzins                  | 5%                              | A9                                                           | Annuitätsfaktor  | 0,173         |
| A10                                         | Preissteigerung Energie      | 2%                              | A11                                                          | Mittelwertfaktor | 1,08          |
| Varianten                                   |                              |                                 |                                                              |                  |               |
| B0                                          | Variante 0                   | Kürzel                          | Bezeichnung                                                  |                  |               |
| B1                                          | Variante 1                   | Bestand                         | Wannenleuchten 2 x 58 W, KVG                                 |                  |               |
| B2                                          | Variante 2                   | VVG                             | Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, VVG                         |                  |               |
| B3                                          | Variante 3                   | EVG                             | Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, EVG                         |                  |               |
| B4                                          | Variante 4                   | EVG+LS                          | Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, EVG mit Tageslichtsteuerung |                  |               |
| Kenngößen                                   |                              |                                 |                                                              |                  |               |
|                                             |                              | Bestand                         | VVG                                                          | EVG              | EVG+LS        |
| C1                                          | Beleuchtete Fläche           | 6.029                           | 6.029                                                        | 6.029            | 6.029 m²      |
| C2                                          | Soll-Beleuchtungsstärke      | 300                             | 300                                                          | 300              | 300 lux       |
| C3                                          | Ist-Beleuchtungsstärke       | 400                             | 450                                                          | 486              | lux           |
| C4                                          | Nutzungsdauer HT             | 1.500                           | 1.500                                                        | 1.500            | 500 h/a       |
| C5                                          | Nutzungsdauer NT             | 0                               | 0                                                            | 0                | h/a           |
| C6                                          | Anzahl der Leuchten          | 1.359                           | 1.359                                                        | 1.359            | 1.359 Stück   |
| C7                                          | Anschlußleistung Leuchte     | 152                             | 66                                                           | 55               | 55 W/Leuchte  |
| C8                                          | Leistung pro Fläche          | 34                              | 15                                                           | 12               | 12 W/m²       |
| C9                                          | Investition pro Leuchte      | 0                               | 87                                                           | 102              | 205 €/Leuchte |
| C10                                         | Strompreis HT                | 0,123                           | 0,123                                                        | 0,123            | 0,123 €/kWh   |
| C11                                         | Strompreis NT                | 0,123                           | 0,123                                                        | 0,123            | 0,123 €/kWh   |
| C12                                         | Leistungspreis               | 0                               | 0                                                            | 0                | 0 €/kW,a      |
| C13                                         | Anteil Bel. an Leistungsmax. | 50%                             | 50%                                                          | 50%              | 50%           |
| C14                                         | Lebensdauer der Lampen       | 7.500                           | 7.500                                                        | 12.000           | 16.000 h      |
| C15                                         | Kosten für Lampenwechsel     | 16                              | 10                                                           | 9                | 10 €/Leuchte  |
| Kapitalkosten                               |                              |                                 |                                                              |                  |               |
|                                             |                              | Bestand                         | VVG                                                          | EVG              | EVG+LS        |
| D1                                          | Investitionskosten           | 0                               | 118.124                                                      | 138.969          | 277.938 0 €   |
| D2                                          | Zuschüsse/Erlöse             |                                 |                                                              |                  | €             |
| D3                                          | Eigenkapitaleinsatz          | 0                               | 118.124                                                      | 138.969          | 277.938 0 €   |
| D4                                          | Kapitalkosten                | 0                               | 20.414                                                       | 24.017           | 48.033 0 €/a  |
| D5                                          | spez. Kapitalkosten          | 0                               | 3                                                            | 4                | 8 0 €/m²a     |
| mittl. Betriebskosten                       |                              |                                 |                                                              |                  |               |
|                                             |                              | Bestand                         | VVG                                                          | EVG              | EVG+LS        |
| E1                                          | Stromkosten HT               | 38.236                          | 16.602                                                       | 13.835           | 4.612 0 €/a   |
| E2                                          | Stromkosten NT               | 0                               | 0                                                            | 0                | 0 €/a         |
| E3                                          | Stromkosten Leistung         | 0                               | 0                                                            | 0                | 0 €/a         |
| E4                                          | Wartung+Instandhaltung       | 4.353                           | 2.740                                                        | 1.612            | 413 0 €/a     |
| E5                                          | mittl. Betriebskosten        | 42.588                          | 19.343                                                       | 15.447           | 5.024 0 €/a   |
| E6                                          | spez. Betriebskosten         | 7                               | 3                                                            | 3                | 1 0 €/m²a     |
| Umweltfolgekosten                           |                              |                                 |                                                              |                  |               |
|                                             |                              | Bestand                         | VVG                                                          | EVG              | EVG+LS        |
| F1                                          | CO2-Emissionen (50€/to)      | 10.535                          | 4.574                                                        | 3.812            | 1.271 0 €/a   |
| F2                                          | Umweltfolgekosten            | 10.535                          | 4.574                                                        | 3.812            | 1.271 0 €/a   |
| F3                                          | spez. Umweltfolgekost.       | 2                               | 1                                                            | 1                | 0 0 €/m²a     |
| Gesamtkosten                                |                              |                                 |                                                              |                  |               |
|                                             |                              | Bestand                         | VVG                                                          | EVG              | EVG+LS        |
| G1                                          | Gesamtkosten                 | 53.123                          | 44.331                                                       | 43.276           | 54.328 0 €/a  |
| G2                                          | spez. Gesamtkosten           | 9                               | 7                                                            | 7                | 9 0 €/m²a     |
| (alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.) |                              |                                 |                                                              |                  |               |

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

Diagramm 8 Kosten für verschiedene Leuchtenvarianten



## 9. Zusammenfassung der Maßnahmen und Ergebnisse

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

Bereits mit der konsequenten Umsetzung der organisatorischen Maßnahmen lassen sich fast **20.000 €/a** einsparen. Gemäß der Tabelle 20 sind auch Einzelmaßnahmen sinnvoll. Insgesamt führen alle maschinellen Maßnahmen zu einem Einsparpotential von rund 67.000 €/a. Durch die Verbesserung der Bauphysik lassen sich rund 80.000 €/a sparen. Durch die hohen Investitionen zwischen 1,2 und 1,6 Mio € machen sich diese Einsparungen erst nach rund 20 a bezahlt. Dies ist im Bereich der Bauphysik ein eher kurzer Zeitraum.

Als Einzelpotentiale liegen die möglichen Einsparmaßnahmen unter denen die im Rahmen eines abgestimmten Gesamtkonzepts möglich wären. Bei der Betrachtung der Einzelmaßnahmen wurde ein Energieträger in seiner Auswirkung betrachtet, um eine grobe Abschätzung des Effekts der Maßnahme zu erhalten (Kapitel 7).

Bei der Vollkostenberechnung im Kapitel 8 werden alle Verbrauchsstoffe in die Bilanzierung mit einbezogen.

Die folgenden Betrachtungen zeigen nun die Effekte, wenn die in Kapitel 8 untersuchten Maßnahmenpakete in ein Konzept zusammen geführt werden.

- Verbesserung der Anlagentechnik Lüftung
- Wärmeschutz/Bauphysik für das Gebäude insbesondere Fensterwechsel.
- Beleuchtungssanierung für die Klassenräume

Da für den energiearmen Betrieb der Lüftung 2 Varianten (Variante 2 und 3) in Betracht kommen, von denen die zweite nur von den positiven Ergebnissen der Feldversuche in den Versuchsräumen abhängt, wurden beide dem Ist-Zustand gegenübergestellt:

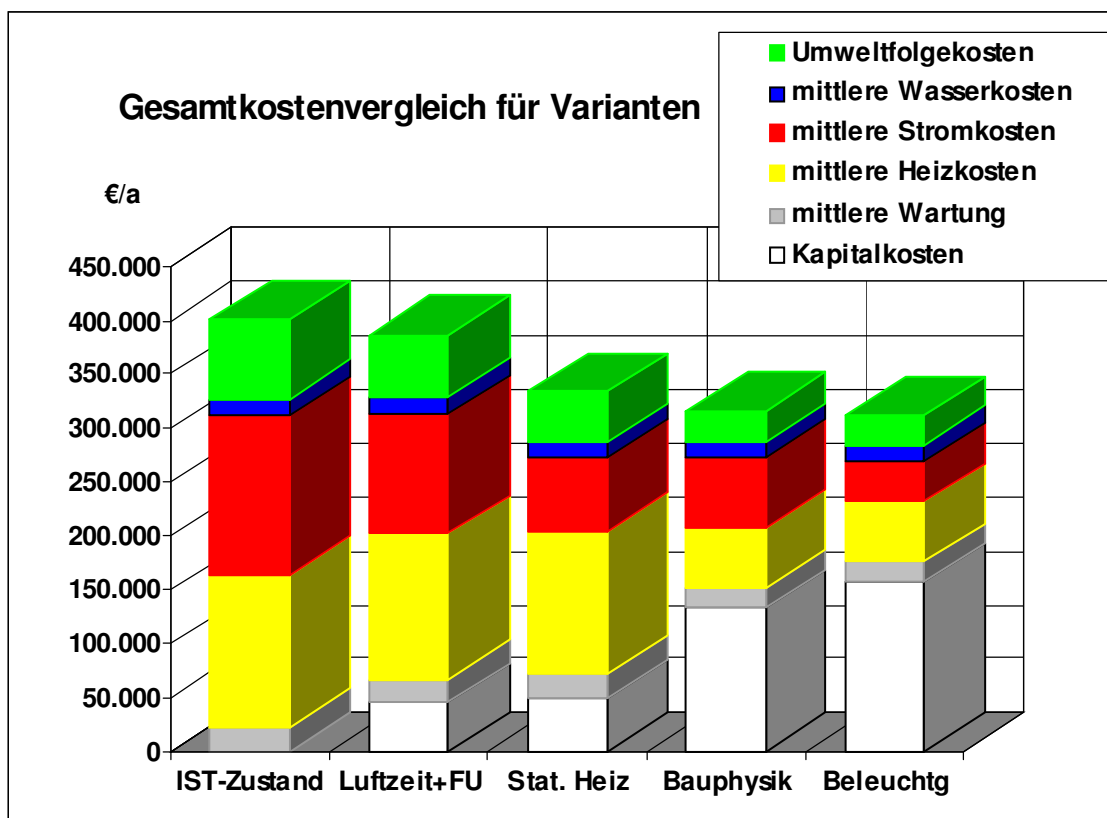
**Variante 2:** Auslegung der Luftleistung auf SIA Standard und maschinelle Umrüstung der Anlagen auf niedrigere Volumenströme mit Frequenzumrichtern, alternativ auf kleine Motoren und Ventilatoren, wo die Frequenzumrichter nicht weit genug herunterfahren können (ca. 30% der Nenndrehzahl).

**Variante 3:** Weitestgehender Verzicht auf maschinelle Lüftung, bis auf Toiletten, Innenzonen und Räume mit experimenteller Ausstattung. Auf maschinelle Kühlung wird ganz verzichtet, alternativ ein Sonnenschutz angebracht. Die Heizleistung wird durch statische Heizkreise gewährleistet.

Auf die wirtschaftlichere und umweltfreundlichere Variante 3, wurden dann die Maßnahmen Bauphysik (Variante 4, 8.3) hinzugerechnet und darauf die exemplarische Beleuchtungssanierung Variante 5 für die Klassenräume aufgelegt. Den Effekt dieser zusammengeführten Maßnahmen zeigt das folgende Diagramm. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass hier Maßnahmen unterschiedlicher Kapitallaufzeiten auf Basis einer Kostenschätzung kombiniert werden. Ausführliche Erläuterungen finden sich im Kapitel 8.

**Es wird empfohlen, die Maßnahme nach Variante 3-5 umzusetzen, da durch die Kombination die Gesamtkosten gesenkt werden können und die ökologischen Folgen schrittweise minimiert werden können.**

**Diagramm 9 Kostenzusammenfassung aller Varianten**



In der Tabelle 25 sind die Gesamtkosten für die Kombination der Maßnahmenpaket zusammengestellt.

Tabelle 25 Zusammenfassung der Gesamtkosten für Gesamtkonzept

| 1. Gesamtkosten                                                                                                                                                                      |                                                            |             |                      |             |            |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|-------------|------------|---------|
| Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement                                                                                               |                                                            |             |                      |             |            |         |
| A. Allgemeine Daten                                                                                                                                                                  |                                                            |             |                      |             |            |         |
| A1 Liegenschaftsbezeichnung                                                                                                                                                          | PES                                                        |             |                      | A2 Unterab. |            |         |
| A3 Gebäudebezeichnung                                                                                                                                                                | Bauteil A,B,C                                              |             |                      | A4 Str.-Nr. |            |         |
| A5 Straße                                                                                                                                                                            |                                                            |             |                      | A6 Haus-Nr. |            |         |
| A7 Betrachtungszeitraum                                                                                                                                                              | 10                                                         | a (25,7)    | A8 Währung           |             | €          |         |
| A9 Kapitalzins                                                                                                                                                                       | 5%                                                         |             | A10 Annuitätsfaktor  |             | 0,13       |         |
| A11 Preissteigerung                                                                                                                                                                  | 2%                                                         |             | A12 Mittelwertfaktor |             | 1,11       |         |
| B. Varianten                                                                                                                                                                         |                                                            |             |                      |             |            |         |
| B0 Variante 1                                                                                                                                                                        | Bezeichnung                                                |             |                      |             |            |         |
| B1 Variante 2                                                                                                                                                                        | IST-Zustand Lüftung Heizung                                |             |                      |             |            |         |
| B2 Variante 3                                                                                                                                                                        | Luftlaufzeitverringerung plus FU (7.4.1 - 3, 7.4.5,7.4.6.) |             |                      |             |            |         |
| B3 Variante 4                                                                                                                                                                        | Stat. Heizung und Lüftung reduzieren (3.2.5)               |             |                      |             |            |         |
| B4 Variante 5                                                                                                                                                                        | Bauphysik zusätzlich zu 3                                  |             |                      |             |            |         |
|                                                                                                                                                                                      | Beleuchtungssanierung zusätzlich zu 3 u 4                  |             |                      |             |            |         |
| C. Kenngrößen                                                                                                                                                                        |                                                            |             |                      |             |            |         |
|                                                                                                                                                                                      | Variante 1                                                 | Variante 2  | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |
| C1 Bezugsfläche (NGF)                                                                                                                                                                | 10.195                                                     | 10.195      | 10.195               | 10.195      | 10.195     | m²      |
| C2 Personenzahl                                                                                                                                                                      | 896                                                        | 896         | 896                  | 896         | 896        | P       |
| C3 spez. Heizwärmebedarf                                                                                                                                                             | 221                                                        | 180         | 178                  | 74          | 74         | kWh/m²a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung                                                                                                                                                        | 95%                                                        | 95%         | 95%                  | 95%         | 95%        | %       |
| C5 spez. Strombezug                                                                                                                                                                  | 108                                                        | 82          | 50                   | 46          | 27         | kWh/m²a |
| C6 spez. CO2-Emissionen                                                                                                                                                              | 140                                                        | 110         | 87                   | 54          | 41         | kg/m²a  |
| C7 spez. Trinkwasserbezug                                                                                                                                                            | 1,70                                                       | 1,70        | 1,70                 | 1,70        | 1,70       | m³/P a  |
| D. Kapitalkosten                                                                                                                                                                     |                                                            |             |                      |             |            |         |
|                                                                                                                                                                                      | IST-Zustand                                                | Luftzeit+FU | Stat. Heiz           | Bauphysik   | Beleuchtg  |         |
| D1 Investitionskosten (DIN 276)                                                                                                                                                      | 0                                                          | 348.773     | 384.391              | 1.556.068   | 1.695.037  | €       |
| D2 Zuschüsse/Erlöse                                                                                                                                                                  |                                                            | 0           |                      |             |            | €       |
| D3 Eigenkapitaleinsatz                                                                                                                                                               | 0                                                          | 348.773     | 384.391              | 1.556.068   | 1.695.037  | €       |
| D4 Kapitalkosten                                                                                                                                                                     | 0                                                          | 45.168      | 49.780               | 132.914     | 156.914    | €/a     |
| D5 spez. Kapitalkosten                                                                                                                                                               | 0                                                          | 4           | 5                    | 13          | 15         | €/m²a   |
| E. mittl. Betriebskosten                                                                                                                                                             |                                                            |             |                      |             |            |         |
|                                                                                                                                                                                      | Variante 1                                                 | Variante 2  | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |
| E1 Personal+Reinigungskosten                                                                                                                                                         |                                                            |             |                      |             |            | €/a     |
| E2 Wartung+Instandhaltung                                                                                                                                                            | 19.906                                                     | 19.906      | 19.906               | 16.844      | 16.844     | €/a     |
| E3 Heizkosten                                                                                                                                                                        | 127.839                                                    | 121.121     | 119.775              | 50.009      | 50.009     | €/a     |
| E4 Stromkosten                                                                                                                                                                       | 133.791                                                    | 101.531     | 61.192               | 58.516      | 34.516     | €/a     |
| E5 Wasserkosten                                                                                                                                                                      | 13.999                                                     | 13.999      | 13.999               | 13.999      | 13.999     | €/a     |
| E6 Verwaltung+Versicherung                                                                                                                                                           |                                                            |             |                      |             |            | €/a     |
| E7 heutige Betriebskosten                                                                                                                                                            | 295.535                                                    | 256.557     | 214.872              | 139.368     | 112.628    | €/a     |
| E8 mittl. Betriebskosten                                                                                                                                                             | 327.459                                                    | 284.271     | 238.083              | 154.423     | 124.794    | €/a     |
| E9 spez. Betriebskosten                                                                                                                                                              | 32                                                         | 28          | 23                   | 15          | 14         | €/m²a   |
| F. Umweltfolgekosten                                                                                                                                                                 |                                                            |             |                      |             |            |         |
|                                                                                                                                                                                      | Variante 1                                                 | Variante 2  | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |
| F1 CO2-Emissionen (50 €/to)                                                                                                                                                          | 71.392                                                     | 56.057      | 44.416               | 27.410      | 20.830     | €/a     |
| F2 Trinkwasser (1 €/m³)                                                                                                                                                              | 1.525                                                      | 1.525       | 1.525                | 1.525       | 1.525      | €/a     |
| F3 Umweltfolgekosten                                                                                                                                                                 | 72.917                                                     | 57.582      | 45.941               | 28.935      | 26.586     | €/a     |
| F4 spez. Umweltfolgekost.                                                                                                                                                            | 7                                                          | 6           | 5                    | 3           | 3          | €/m²a   |
| G. Gesamtkosten                                                                                                                                                                      |                                                            |             |                      |             |            |         |
|                                                                                                                                                                                      | Variante 1                                                 | Variante 2  | Variante 3           | Variante 4  | Variante 5 |         |
| G1 Gesamtkosten                                                                                                                                                                      | 400.376                                                    | 387.021     | 333.804              | 316.272     | 304.063    | €/a     |
| G2 spez. Gesamtkosten                                                                                                                                                                | 39                                                         | 38          | 33                   | 31          | 30         | €/m²a   |
| G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)                                                                                                                                             |                                                            | 7,3         | 3,7                  | 9,1         | 8,4        | a       |
| (alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.Die Kapitalkostenab 4 enthalten 25 a Kapitaldienst für Bauphysik!<br>(Die Kapitalkosten ab 5 enthalten 7 a Kapitaldienst für Beleuchtung!) |                                                            |             |                      |             |            |         |

Die Variante 1 zeigt die IST Situation, allerdings nur mit den Wartungs-, Personal-, und Reinigungskosten, die als Mehr- oder Minderkosten gegenüber den untersuchten Varianten auftreten würden.

Die Varianten 2 und 3 zeigen die Effekte der beiden unterschiedlichen Lüftungskonzepte:

Variante 2 bedeutet Einschränkungen der Betriebszeiten der Lüftung und Ausrüstung mit Frequenzumrichtern (FU) um bedarfsgerecht Luft zuführen zu können. (Aus Maßnahme 7.4.1., 7.4.2. (7.4.3), 7.4.5., 7.4.6. sowie 8.1.2.)

Variante 3 zeigt die Umrüstung auf ein statisches Heizsystem (Aus Maßnahme 7.5.1.), das im Bedarfsfall durch Fensterlüftung ergänzt wird. Erhalten wird in der Lüftung nur das absolute Minimum für Toilettenräume, Innenzonen und Experimentalräume.

Beide Varianten stellen sowohl eine Kosten- und Umweltentlastung dar. Die effektivere Variante ist trotz höheren Investitionskosten die Variante 3 weil hier deutlich Strom gespart wird und damit sowohl die Umweltfolgekosten als auch die mittleren Stromkosten in der Summe deutlich unter den Kapitalkosten liegen. (Diese Variante steht jedoch unter dem Vorbehalt der positiven Erprobung Fensterlüftung in den Testräumen 302, 303).

Auf die Variante 3 wurden die Varianten 4 und 5 komplett aufgebaut, d.h. als Einzelmaßnahmen könnten diese nicht die Gesamtkostenentlastung bewirken, der zusammen mit Variante 3 möglich ist.

Tabelle 26 zeigt zur Übersicht, welche Maßnahmen zur jeweiligen Variante gehören und die jeweils zugefassten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

**Tabelle 26 Zuordnung der Maßnahmen zu den Varianten**

|                             | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 | Variante 5 |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                             | enthält    | enthält    | enthält    | enthält    |
| Wirtschaftlichkeitsrechnung | 8.1.2.     | 8.1.2.     | 8.1.1.     | 8.1.3.     |
|                             |            |            | 8.1.2.     | 8.1.2.     |
|                             |            |            |            | 8.1.1.     |
|                             |            |            |            |            |
| Maßnahmen                   | 7.4.1.     | 7.5.1.     | 7.2.1.     | 7.2.1.     |
| Katalog                     | 7.4.2.     |            | 7.2.2.     | 7.2.2.     |
|                             | 7.4.3.     |            | 7.2.3.     | 7.2.3.     |
|                             | 7.4.5.     |            | 7.2.4.     | 7.2.4.     |
|                             | 7.4.6.     |            | 7.2.5.     | 7.2.5.     |
|                             |            |            | 7.2.6.     | 7.2.6.     |
|                             |            |            | 7.2.7.     | 7.2.7.     |
|                             |            |            | 7.5.1.     | 7.5.1.     |
|                             |            |            |            | 7.8.1.     |
|                             |            |            |            | 7.8.2.     |

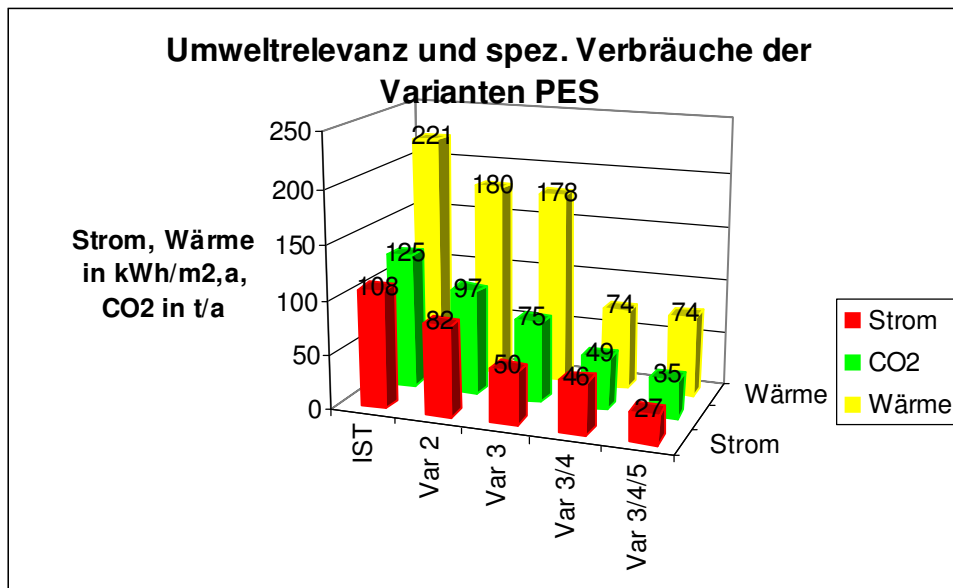
Zur Umweltrelevanz:

Durch die Maßnahmen der Variante 3 sinkt der spezifische Stromverbrauch von 108 auf 50 kWh/m<sup>2</sup>a. der Heizwärmebedarf sinkt von 220 auf 178 kWh/m<sup>2</sup>a.

Dies ist in Diagramm 10 aus der Tabelle 25 herausgezogen.

Richtig sinnvoll werden die Maßnahmen nach Variante 3 daher erst, wenn zusätzlich die Bauphysik/der Wärmeschutz hinzukommt. (Variante 4). Bei zugrunde Legung der Kalkulationswerte von Hochbauamt Frankfurt rechnet sich die wärmetechnische Sanierung innerhalb von 25 Jahren (vgl. Kapitel 8). Dabei wird der spezifische Heizwärmebedarf von 220 kWh/m<sup>2</sup>a auf 107 kWh/m<sup>2</sup>a mehr als halbiert. Gemeinsam mit der Sanierung Lüftung liegt der spezifische Bedarf nur bei 74 kWh/m<sup>2</sup>a.

Diagramm 10 Umweltrelevanz des Konzepts



Mit dieser Maßnahme wird dann auch der Grenzwert des Heizwärmebedarfs ( $85 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) eingehalten.

Die zusätzliche Beleuchtungssanierung wurde als Variante 5 beige stellt. Auch hier gibt es eine Kostenentlastung gegenüber dem Ist-Zustand. Gemessen an der Kombination mit den anderen Maßnahmen sind die absoluten Kosten nur geringfügig niedriger, weil hier die Kapitalisierung auf 7 Jahre gerechnet ist.

Alle Maßnahmen führen zu einer dauerhaften Kostenentlastung bei einer Kapitalisierung mit 5 % und einer Preissteigerungsrate von 2 %.

Bezogen auf die Energiekosten bedeutet die Durchführen der Variante 3 in Kombination mit 4 und 5 das die Energiekosten von 260.000 €/a auf unter 100.000 €/a absinken.

Damit wird der Kapitaleinsatz abgeleitet. Der Vorteil kommt im wesentlichen aus der Folgekostenbewertung der  $\text{CO}_2$ -Emissionen.

***Da die Maßnahmen der Bauphysik auch Einfluß auf die Anlagentechnik haben wäre die gleichzeitige Durchführung aller Maßnahmen wünschenswert und sinnvoll. Durch die vorgenannte Kombination der Maßnahmenpakete wird bei geringeren Vollkosten ein Gebäudestandard erreicht, der die Grenzwerte der Leitflächen einhält und den Zielwerten nahe kommt. Durch die gleichzeitige Durchführung werden Investitionskosten gespart wie das folgende Beispiel zeigt:***

Die überdimensionierten Wärmetauscher werden im Jahr 2004 gewechselt. Da diese Maßnahme vorgezogen erfolgt, muss auf den großen Heizwärmebedarf des Bestands und die überdimensionierte Leistung der Lüftungsanlagen ausgelegt werden. Dies bedeutet, dass nach Abschluß aller Maßnahmen einer der beiden Wärmetauscher und damit auch die Investitionen hierfür überflüssig sein werden. Die Kosten für den Wärmetauscher wären also einzusparen, wenn die Maßnahmen zur Bauphysik und zur Anlagentechnik gleichzeitig durchgeführt werden würden.

Linter, den 18.12.2003rev

## 10. Quellen

- (1) Tüv Messbericht Lüftungsanlagen PES, 2000;
- (2) Datenblätter Energierreferat der Stadt Frankfurt;
- (3) LEH (Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung im Hochbau) Hessisches Umweltministerium 1999;
- (4) LEE (Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau), Hessisches Umweltministerium, 1996;
- (5) EnEV (Energieeinsparverordnung vom 17.01.02);
- (6) Monatsauswertungen der Verbrauchswerte 1999, 2000, 2001 der Stadt Ffm;
- (7) Diverse Ausführungs- und Revisionspläne;
- (8) Aggregierte Kostenwerte, GM System Stadt Frankfurt;
- (9) SÜWAG - Rechnungen;
- (10) Gebäudedatenbankauszüge des Energierreferats der Stadt Frankfurt;
- (11) Exceldatei SÜWAG/MKW für ¼ Stundenwerte September und Dezember 02;
- (12) Eigene Messungen;
- (13) Phönix Mängelbericht vom 18.6.2002 und 10.8.99;

## 11. Verwendete Software

- (1) Esther 1.0 (Taupunkt, U-Wertberechnung), Isover 2002;
- (2) Argos 1.01 (Wärmebrücken), Isover 2002;
- (3) Schimmel 1.0, Obermeyer Software 2002;
- (4) Metropolis 4.0, 1997, Günther Software;
- (5) Enerplan;
- (6) MS-Excel Leitfadenberechnung nach Rechenvorgabe LEH (Ing.-Büro Kitzerow);
- (7) MS-Excel Leitfadenberechnung nach Rechenvorgabe LEE (Ing.-Büro Kitzerow);
- (8) Stromsparcheck, Impuls-Programm, IVU;
- (9) IVU Standardnutzung, Version Stadt Frankfurt;
- (10) MS-Excel Wirtschaftlichkeitsrechnungen der Stadt Frankfurt (umgestellt auf €);

## 12. Verzeichnis der Tabellen

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 Die wichtigsten Daten auf einen Blick (Zusammenfassung) .....   | 1  |
| Tabelle 2 Daten Hauptheizkreise und zugehörige Pumpen.....                | 15 |
| Tabelle 3 Technische Daten Zuluftanlagen PES .....                        | 18 |
| Tabelle 4 Technische Daten Abluftanlagen PES .....                        | 19 |
| Tabelle 5 Installierte Kälteleistung .....                                | 21 |
| Tabelle 6 Leuchtenplan Bauteil ABC .....                                  | 22 |
| Tabelle 7 Energieverbräuche und Kosten.....                               | 28 |
| Tabelle 8 Energieverbräuche von 1998 – 2002 .....                         | 29 |
| Tabelle 9 Spezifische Energiekosten.....                                  | 29 |
| Tabelle 10 Leistungen und Verbräuche Strom.....                           | 37 |
| Tabelle 11 Spezifische Verbräuche und Installierte Leistungen Wärme ..... | 39 |
| Tabelle 12 Personenstunden.....                                           | 42 |
| Tabelle 13 Heizwärme 1 .....                                              | 42 |
| Tabelle 14 Heizwärme 2 .....                                              | 44 |
| Tabelle 15 Resultat Heizwärme .....                                       | 45 |
| Tabelle 16 Heizzahl 1 .....                                               | 47 |
| Tabelle 17 Heizzahl 2 .....                                               | 48 |
| Tabelle 18 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie .....                       | 49 |
| Tabelle 19 Die wichtigsten Kennwerte auf einen Blick.....                 | 52 |
| Tabelle 20 Maßnahmen zur Energieeinsparung.....                           | 68 |



|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 21 Investitionskosten Wärmeschutz.....                      | 72 |
| Tabelle 22 Gesamtkosten Wärmeschutz PES .....                       | 72 |
| Tabelle 23 Gesamtkosten Lüftungssanierung.....                      | 77 |
| Tabelle 24 Wirtschaftlichkeitsrechnung Leuchtensanierung .....      | 80 |
| Tabelle 25 Zusammenfassung der Gesamtkosten für Gesamtkonzept ..... | 83 |
| Tabelle 20 Maßnahmen (verkürzt).....                                | 3f |

### 13. Verzeichnis der Diagramme

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Diagramm 1 Kostenaufteilung Energie .....                    | 30 |
| Diagramm 2 Stromverbrauch nach Bereichen .....               | 38 |
| Diagramm 3 Strombedarf (inst. Leistung) nach Bereichen ..... | 38 |
| Diagramm 4 Wärmeverluste und Gewinne .....                   | 45 |
| Diagramm 5 Aufteilung des Endenergiebedarfs .....            | 50 |
| Diagramm 6 Kostenaufteilung Wärmeschutz.....                 | 74 |
| Diagramm 7 Gesamtkosten Lüftungssanierung.....               | 78 |
| Diagramm 8 Kosten für verschiedene Leuchtenvarianten .....   | 80 |
| Diagramm 9 Kostenzusammenfassung aller Varianten .....       | 82 |
| Diagramm 10 Umweltrelevanz des Konzepts .....                | 85 |

### 14. Verzeichnis der Abbildungen

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1 Energiekosten und Verteilung 1998 - 2002.....       | 29 |
| Abbildung 2 Strom Leistungswerte pro Monat ab 2002 .....        | 32 |
| Abbildung 3 Stromlastgang September 2002 .....                  | 32 |
| Abbildung 4 Stromlastgang Dezember 2002 .....                   | 33 |
| Abbildung 5 Vergleich der Lastgänge September und Oktober ..... | 33 |
| Abbildung 6 Tageslastgang Strom Vergleich Sept – Dez 2002 ..... | 34 |
| Abbildung 7 HT und NT Verbräuche .....                          | 35 |
| Abbildung 8 Monatswerte Wärme.....                              | 36 |
| Abbildung Z 1    Abbildung Z 2.....                             | 1  |
| Abbildung Z 3.....                                              | 6  |
| Abbildung Z 4 Übersicht zu Abbildung Z3.....                    | 6  |
| Abbildung Z 5.....                                              | 7  |

## 15. Verzeichnis der Abkürzungen

|      |                         |
|------|-------------------------|
| PES  | - Paul-Ehrlich-Schule   |
| vg.  | - vorgenannte           |
| vgl. | - vergleiche            |
| HT   | - Haustechnik           |
| BR   | - Betriebseinrichtungen |
| B    | - Beleuchtung           |
| AH   | - Arbeitshilfen         |
| DT   | - Diverse Technik       |
| ZD   | - Zentrale Dienste      |
| H    | - Raumheizung           |
| WW   | - Wassererwärmung       |
| L    | - Lüftung               |
| K    | - Klimatisierung        |
| HH   | - Hilfsenergie Heizung  |

## 16. Anhang

Rechenblätter EDS Beleuchtung

## 17. Verzeichnis der Anlagen

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Anlage 1 Protokoll Start-up Termin.....                        | 10 |
| Anlage 2 Beleuchtung Bauteil AB.....                           | 22 |
| Anlage 3 Beleuchtung Bauteil C .....                           | 22 |
| Anlage 5 Abfrageliste für Dimensionierung Übergabestation..... | 53 |
| Anlage 6 Aktennotiz Kondenswasser.....                         | 55 |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Zusammenfassung ..... | 0 |
|-----------------------|---|

|          |                                                                  |    |
|----------|------------------------------------------------------------------|----|
| 1.       | Einleitung.....                                                  | 9  |
| 2.       | Geschichte und bisherige Maßnahmen .....                         | 9  |
| 3.       | IST-Zustand.....                                                 | 10 |
| 3.1.     | ALLGEMEINE GEBÄUDEDATEN.....                                     | 10 |
| 3.1.1.   | Energiebezugsfläche .....                                        | 10 |
| 3.2.     | BAUPHYSIK .....                                                  | 11 |
| 3.2.1.   | Allgemeine Auffälligkeiten.....                                  | 13 |
| 3.2.2.   | Übereinstimmung der Pläne.....                                   | 13 |
| 3.3.     | ANLAGENTECHNIK/HAUSTECHNIK (HT).....                             | 14 |
| 3.3.1.   | Raumheizung (H) .....                                            | 14 |
| 3.3.1.1. | Technische Daten Wärmetauscher .....                             | 14 |
| 3.3.2.   | Wasserbereitung (WW).....                                        | 16 |
| 3.3.3.   | Lüftungsanlagen (L).....                                         | 17 |
| 3.3.4.   | Kälteanlagen/Klimatisierung (K).....                             | 21 |
| 3.3.5.   | Beleuchtung (B).....                                             | 22 |
| 3.3.7.   | Sanitär/Wasser (S) .....                                         | 27 |
| 4.       | Energiedaten .....                                               | 28 |
| 4.1.     | VERBRÄUCHE .....                                                 | 28 |
| 4.2.     | VERTRÄGE .....                                                   | 30 |
| 4.2.1.   | Stromverträge.....                                               | 30 |
| 4.2.2.   | Wärmeverträge.....                                               | 31 |
| 4.2.3.   | Wasserverträge.....                                              | 32 |
| 4.3.     | LASTGÄNGE.....                                                   | 32 |
| 4.3.1.   | Stromlast.....                                                   | 32 |
| 4.3.2.   | Wärme .....                                                      | 36 |
| 5.       | Leistungen und Verbräuche.....                                   | 36 |
| 6.       | Berechnungen, Analysen und Kennwerte.....                        | 40 |
| 6.1.     | ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN LEISTUNGS- UND VERBRAUCHSWERTE ..... | 40 |
| 6.2.     | LEITFADENBERECHNUNG (LEH) .....                                  | 40 |
| 6.3.     | LEITFADEN LEE .....                                              | 51 |
| 6.3.1.   | Beleuchtung.....                                                 | 51 |
| 6.3.2.   | Lüftung.....                                                     | 51 |
| 6.4.     | KENNWERTE AUF EINEN BLICK.....                                   | 52 |
| 7.       | Maßnahmen.....                                                   | 53 |
| 7.1.     | OPTIMIERUNG DER ENERGIELIEFERVERTRÄGE.....                       | 53 |
| 7.1.1.   | Strom.....                                                       | 53 |
| 7.1.2.   | Wärme .....                                                      | 53 |
| 7.1.3.   | Wasser.....                                                      | 54 |
| 7.1.4.   | Hausverwalterverträge.....                                       | 54 |
| 7.1.5.   | Organisation/Raumplanung.....                                    | 54 |
| 7.2.     | VERBESSERUNG DER WÄRMEDÄMMUNG (ENEV).....                        | 54 |
| 7.2.1.   | Austausch der Fenster im Bauteil ABC .....                       | 54 |
| 7.2.1.1. | Sonnenschutz .....                                               | 55 |
| 7.2.2.   | Wärmedämmverbundsystem.....                                      | 55 |
| 7.2.3.   | Dachdämmung .....                                                | 55 |
| 7.2.4.   | Geschossdecken.....                                              | 56 |
| 7.2.5.   | Boden zur Tiefgarage.....                                        | 56 |
| 7.2.6.   | Boden nach Außen .....                                           | 56 |
| 7.2.7.   | Boden zum Keller .....                                           | 56 |
| 7.3.     | VERBESSERUNG DER REGELUNGSTECHNIK/ANLAGENTECHNIK.....            | 57 |
| 7.3.1.   | Gebäudeleittechnik.....                                          | 57 |

|            |                                                                                            |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.3.2.     | <i>Heizungsregelung (Samsung).....</i>                                                     | 57 |
| 7.3.2.2.   | <i>Neue Temperaturfühler in Klassenräumen .....</i>                                        | 57 |
| 7.3.2.5.   | <i>Nachrüstung Samsungregelung .....</i>                                                   | 58 |
| 7.4.       | <i>LÜFTUNG .....</i>                                                                       | 58 |
| 7.4.1.     | <i>Verringerung der Laufzeiten Bauteil A.....</i>                                          | 58 |
| 7.4.2.     | <i>Verringerung der Luftversorgung Bauteil A tags im Sommer.....</i>                       | 59 |
| 7.4.3.     | <i>Verringerung der Luftversorgung Innenzone durch Luftqualitätsregelung.....</i>          | 59 |
| 7.4.4.     | <i>Einzelraumversorgung.....</i>                                                           | 60 |
| 7.4.5.     | <i>Verringerung der Luftversorgung Bauteil B tags im Sommer.....</i>                       | 60 |
| 7.4.6.     | <i>Verringerung der Luftversorgung Innenzone Bauteil B durch Luftqualitätsregelung ...</i> | 60 |
| 7.4.7.     | <i>Einzelraumversorgung Bauteil B.....</i>                                                 | 61 |
| 7.4.8.     | <i>Änderung Ventilatoren und Motoren.....</i>                                              | 61 |
| 7.4.8.1.   | <i>Austausch Ventilator Anlage 8 und 9 (Vorschub).....</i>                                 | 61 |
| 7.4.8.1.2. | <i>Austausch von Gebläsen und Antrieben Anlage 1- 2, 11-12.....</i>                        | 61 |
| 7.4.8.2.   | <i>Wärmerückgewinnung für die Anlage 1,2,11 .....</i>                                      | 61 |
| 7.4.8.3.   | <i>Wärmerückgewinnung für die Anlage 18-19 .....</i>                                       | 61 |
| 7.5.       | <i>HEIZUNG .....</i>                                                                       | 62 |
| 7.5.1.     | <i>Statischen Heizkreis nachrüsten .....</i>                                               | 62 |
| 7.5.2.     | <i>Wärmetauscher.....</i>                                                                  | 62 |
| 7.5.3.     | <i>WW Zirkulation .....</i>                                                                | 63 |
| 7.5.4.     | <i>Thermostatventile begrenzen/sperren.....</i>                                            | 63 |
| 7.5.5.     | <i>Hydraulische Abstimmung der Heizkreise .....</i>                                        | 63 |
| 7.6.       | <i>PUMPEN .....</i>                                                                        | 63 |
| 7.6.1.     | <i>Hauptvorlaufpumpe austauschen.....</i>                                                  | 63 |
| 7.6.2.     | <i>Elektronische Pumpen im Hauptverteilerbalken .....</i>                                  | 64 |
| 7.6.3.     | <i>Unterverteilungen Pumpen.....</i>                                                       | 64 |
| 7.7.       | <i>KLIMA .....</i>                                                                         | 64 |
| 7.7.1.     | <i>Befeuchtung.....</i>                                                                    | 64 |
| 7.7.2.     | <i>Kälte.....</i>                                                                          | 64 |
| 7.8.       | <i>BELEUCHTUNG .....</i>                                                                   | 64 |
| 7.8.1.     | <i>Bauteil A und B .....</i>                                                               | 64 |
| 7.8.2.     | <i>Sporthalle.....</i>                                                                     | 65 |
| 7.9.       | <i>SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ .....</i>                                                      | 65 |
| 7.9.1.     | <i>Sommerlicher Wärmeschutz im Bauteil A und B .....</i>                                   | 65 |
| 7.9.2.     | <i>Automatische Sonnenschutzsteuerung.....</i>                                             | 65 |
| 7.9.3.     | <i>Regelung einstellen .....</i>                                                           | 65 |
| 7.9.4.     | <i>Außenlichtabhängige Beleuchtungssteuerung.....</i>                                      | 65 |
| 7.9.5.     | <i>Wärmeschutz bei Fenstertausch.....</i>                                                  | 65 |
| 7.9.6.     | <i>Verbesserung der Speichermasse.....</i>                                                 | 65 |
| 7.10.      | <i>WASSER.....</i>                                                                         | 66 |
| 7.10.1.    | <i>Kaltwasser.....</i>                                                                     | 66 |
| 7.10.1.1.  | <i>Spülbecken .....</i>                                                                    | 66 |
| 7.10.1.2.  | <i>Spülkästen .....</i>                                                                    | 66 |
| 7.10.2.    | <i>Warmwasserbereitung .....</i>                                                           | 66 |
| 7.10.2.1.  | <i>Warmwassererfassung Speicher 1 und 2.....</i>                                           | 66 |
| 7.10.2.2.  | <i>Betrieb des WW Speichers 2 .....</i>                                                    | 66 |
| 7.11.      | <i>SOLARANLAGE .....</i>                                                                   | 66 |
| 7.12.      | <i>ORGANISATION/SONSTIGE .....</i>                                                         | 67 |
| 7.12.1.    | <i>Raumplanung.....</i>                                                                    | 67 |

|      |                                                                        |    |
|------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.   | <i>Wirtschaftlichkeit von Maßnahmenpaketen .....</i>                   | 71 |
| 8.1. | <i>BERECHNUNG DER ENERGIEEINSPARUNG NACH GESAMTKOSTENRECHNUNG.....</i> | 72 |

|       |                                                   |    |
|-------|---------------------------------------------------|----|
| 8.1.1 | Bauphysik.....                                    | 72 |
| 8.1.2 | Lüftung.....                                      | 74 |
| 8.1.3 | Beleuchtung.....                                  | 79 |
| 9.    | Zusammenfassung der Maßnahmen und Ergebnisse..... | 81 |
| 10.   | Quellen.....                                      | 86 |
| 11.   | Verwendete Software.....                          | 86 |
| 12.   | Verzeichnis der Tabellen.....                     | 86 |
| 13.   | Verzeichnis der Diagramme.....                    | 87 |
| 14.   | Verzeichnis der Abbildungen.....                  | 87 |
| 15.   | Verzeichnis der Abkürzungen .....                 | 88 |
| 16.   | Anhang.....                                       | 88 |
| 17.   | Verzeichnis der Anlagen .....                     | 88 |

## Querverweis für Einzelmaßnahmen

| Maßnahme       | Kurzbeschreibung der Maßnahme           | Seite           |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------|
| <b>Typ Nr.</b> |                                         |                 |
| Verträge       |                                         |                 |
| 7.1.1.         | Stromverträge                           | 53, 30, 28, 32  |
| 7.1.2.         | Wärmeverträge                           | 53, 31, 36      |
| 7.1.3.         | Wasserverträge                          | 32              |
| 7.1.4.         | Hausverwalterverträge                   | 54              |
| 7.2.1.         | Fenster in ABC (nur Transmission)       | 56, 67, 74f, 11 |
| 7.2.2.         | WDVS Fassade ABC                        | 57, 68, 74f, 12 |
| 7.2.3.         | Dachdämmung ABC                         | 58, 68, 74f     |
| 7.2.4.         | Geschossdecke AB                        | 58, 68, 74f     |
| 7.2.5.         | Boden zur Tiefgarage C                  | 58, 68, 74f     |
| 7.2.6.         | Boden nach Außen Bauteil A und B        | 58, 68, 74f, 12 |
| 7.2.7.         | Boden zum Keller A und B                | 58, 68, 74f, 12 |
| 7.8.1.         | Beleuchtungsänderung Bauteil AB         | 66, 81, 22f     |
| 7.8.2.         | Beleuchtungsänderung Bauteil C          | 67, 81, 22f     |
| 7.8.3.         | Beleuchtung Sporthalle                  | 67, 81, 24      |
| 7.4.1.         | Verringerung der Laufzeiten Bauteil A   | 61, 76, 17f     |
| 7.4.2.         | Verringerung Luftversorgung Bauteil A   | 61, 76, 17f     |
| 7.4.3.         | Verringerung der Luftversorgung Innen A | 61, 76, 17f     |
| 7.4.4.         | <i>Einzelraumversorgung Bauteil A</i>   | 62              |
| 7.4.5.         | Verringerung Luftmenge B                | 63, 76, 17f     |
| 7.4.6.         | Luftversorgung Innen B                  | 63, 76, 17f     |
| 7.4.7.         | <i>Einzelraumv. Bauteil B</i>           | 63              |
| 7.4.8.1.       | Ventilator Anlage 8/9                   | 63              |
| 7.4.8.2.       | WRG Anlage 1,2,11                       | 63              |
| 7.4.8.3.       | WRG Anlage 16-19                        | 64              |
| 7.3.2.         | Heizungsregelung AB                     | 59              |
| 7.3.2.2.       | Temperaturfühler korrigieren            | 59              |
| 7.3.2.5.       | Nachrüst. Samsung Regelg.               | 60              |
| 7.5.1.         | Statischen Heizkreis nachrüsten         | 64, 76          |
| 7.5.2.         | Wärmetauscher                           | 64              |
| 7.6.1.         | Hauptvorlaufpumpen austauschen          | 66, 15, 16      |
| 7.11.          | Solaranlage / Boiler verlegen           | 69, 17          |
| 7.7.2.         | Kälteanlage                             | 66, 21          |
| 7.10.1.2.      | Spülkasten auf 6 l                      | 68              |