

# Energieberatungsbericht

Paul-Ehrlich-Schule

**Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes  
„Teilenergiekennwert von Nicht-Wohngebäuden“**

Stand: 09.02.2012

Erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main

Energiemanagement

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

Projektleitung: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Förderkennzeichen: 0327431J)



## Impressum

Projekt	<b>Teilenergiekennwerte</b> von Nicht-Wohngebäuden – Methodische Grundlagen, empirische Erhebungen und systematische Analyse
Kurztitel	<b>TEK</b>
Gefördert durch	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Projektteilnehmer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Institut Wohnen und Umwelt – IWU (Projektleitung)</li> <li>• Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE</li> <li>• Karlsruher Institut für Technologie KIT - Fachbereich Bauphysik &amp; Technischer Ausbau fbta</li> <li>• ARGE-Benchmark</li> <li>• Energie 2000</li> <li>• Ingenieurbüro Jung</li> <li>• Stadt Frankfurt am Main</li> <li>• Techem Energie-Contracting</li> </ul>
Geschäftsadresse	Institut Wohnen und Umwelt GmbH Annastraße 65 64295 Darmstadt  Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0 Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97
Dokument	R:\02_work\22_Software\222_Umsetzung\Standardbericht 0.19.doc

### Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main

Energiemanagement

Dipl.-Ing. Armin Latsch

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

Tel: 069 212-31223

e-mail: [armin.latsch@stadt-frankfurt.de](mailto:armin.latsch@stadt-frankfurt.de)

09.02.2012, Frankfurt

Datum, Ort

Unterschrift, Stempel



## Inhalt

<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2 Einleitung und Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>3 Projekt- und Gebäudebeschreibung</b>	<b>4</b>
<b>4 Bewertung des Ist-Zustandes</b>	<b>5</b>
4.1 Gemessene Verbrauchsdaten	5
4.2 Lastganganalysen	8
4.2.1 Lastganganalyse elektrische Energie	8
4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes	9
4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch	9
4.3.2 Berechnete Energiekennwerte	11
<b>5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung</b>	<b>13</b>
<b>6 Modernisierungsempfehlungen</b>	<b>13</b>
6.1 Modernisierungsempfehlung 1 - Optimierung der Betriebszeiten:	15
6.2 Modernisierungsempfehlung 2 – Optimierung Raumbeheizung:	17
6.3 Modernisierungsempfehlung 3 – Optimierung Haustechnik:	18
6.4 Modernisierungsempfehlung 4 - Dämmmaßnahmen:	18
6.5 Modernisierungsempfehlung 5 - Passivhausvariante:	20
<b>7 Durchgeführte Messungen</b>	<b>22</b>
<b>8 Anhang – Literatur</b>	<b>25</b>
<b>9 Anhang: Datenerhebung</b>	<b>26</b>
9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen	26
9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten	27
<b>10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes</b>	<b>28</b>
<b>11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit</b>	<b>31</b>
<b>12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene</b>	<b>32</b>
<b>13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation</b>	<b>34</b>
<b>14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool</b>	<b>37</b>
14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen	37
14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofile DIN V 18599	37



14.3 Vereinfachte Hüllflächenermittlung.....	37
14.4 Teilenergiekennwertbewertung .....	37
<b>15 Interner Anhang – Kurzzeitmessungen .....</b>	<b>39</b>
<b>16 Interner Anhang Zeitaufwand .....</b>	<b>42</b>

# 1 Zusammenfassung

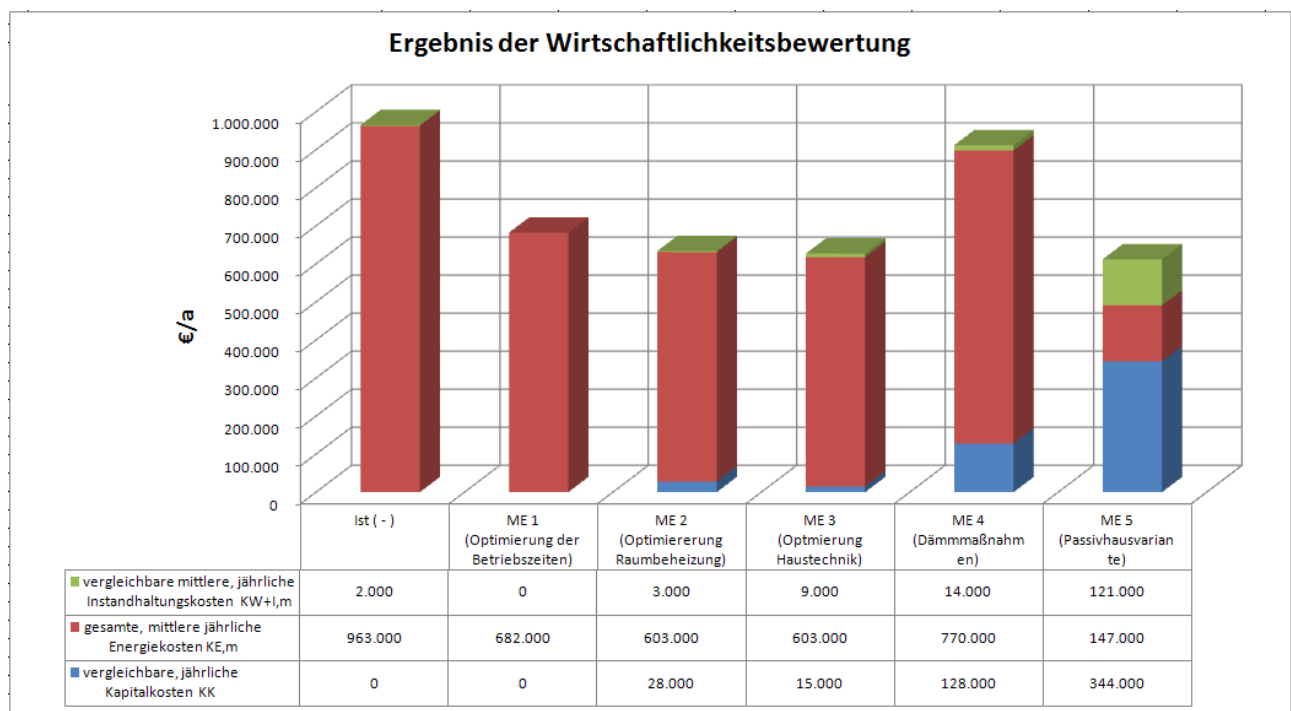
Im vorliegenden Energieberatungsbericht wird das zu bewertende Gebäude mit Hilfe einer Gebäudeanalyse nach dem Verfahren: Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden (TEK) untersucht.

Bei der untersuchten Liegenschaft handelt es sich um eine Berufsschule mit naturwissenschaftlichen und technischen Fachrichtungen. Die gesamte Energiebezugsfläche beträgt inklusive der Turnhalle etwa 11.500 m<sup>2</sup> und weist eine Nutzerzahl von etwa 1.500 Schülerinnen und Schülern auf. Bei dem vor über 30 Jahren errichteten Gebäude wurde weder bei der Gebäudesubstanz noch an der Gebäudetechnik etwas verändert.

Durch die überalterte Technik und Bausubstanz sowie dem mangelhaften Sonnenschutz kommt es von Seiten der Nutzer oft zu Klagen.

Im Folgenden sind kurz als Ergebnis der Untersuchung die Modernisierungsempfehlungen dargelegt. Tiefergehende Informationen dazu können den entsprechenden Kapiteln des vorliegenden Berichts entnommen werden.

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung kam zu folgendem Ergebnis:



**Diagramm 1-1: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbewertung**

Es zeigte sich, dass eine Gesamtanierung der Liegenschaft in Richtung eines Passivhausstandards die wirtschaftlichste Maßnahme darstellt. Dies ist aufgrund des schlechten Zustandes der Gebäudesubstanz als auch der Haustechnik auch plausibel.

## Weitere untersuchte Modernisierungsvarianten

In der Untersuchung fielen die hohen elektrischen Grundlasten auf. Hier sollte eine Analyse der Ursachen stattfinden und darauf basieren eine Reduzierung der Verbräuche stattfinden. Durch verbesserte Betriebsführung konnten bereits erhebliche Einsparungen erzielt werden. (siehe 6.1 Modernisierungsempfehlung 1)

Es wurden als Alternative zur Gesamtsanierung auch folgende einzelne Maßnahmen betrachtet, die sich allerdings als nicht so wirtschaftlich wie eine Gesamtsanierung darstellen.

- Umbau der zurzeit noch erfolgenden Beheizung über die zentralen Lüftungsanlagen und Brüstungsgeräte hin zu Heizkörper mit Thermostatventilen.
- Regelung der bestehenden Lüftungsanlagen über Frequenzumformern (FU), um nur noch die benötigten Luftmengen zu fahren
- Sanierung der Gebäudehülle auf Passivhausniveau Um das Wohlbefinden der Nutzer trotz der außer Betrieb genommenen Kälteanlage zu gewährleisten, sollte zudem die Südfassade mit einem außenliegenden Sonnenschutz ausgestattet werden.

Ergänzend zu den oben angestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sollte erwähnt werden, dass die Durchführung von einzelnen Maßnahmenpaketen (2-4) von der Realisierbarkeit und für die anschließende Nutzung aus den folgenden Gründen als nicht optimal anzusehen sind, auch wenn die Maßnahmen wirtschaftlich darstellbar sind.

Zum Einen ist das Ergebnis im Einzelnen nicht befriedigend, da nur ein Teil der mangelhaften Gegebenheiten vor Ort beseitigt wurden und die noch bestehenden weiter zu Unmut führen würden. Zum Anderen sind auch bei den genannten einzelnen Maßnahmen umfangreiche Umbauarbeiten notwendig, die den Schulbetrieb stören würden. Dies wäre zwar auch bei der Komplettisanierung in Variante 5 der Fall, allerdings mit einem zufriedenstellenden Ergebnis.

**Daher sollte, wenn Sanierungsarbeiten in Angriff genommen werden, zur Variante 5 geraten werden, die eine Komplettisanierung der Liegenschaft in Richtung Passivhaus vorsieht.**

## 2 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojektes „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (Förderkennzeichen: 0327431J Teilenergiekennwerte) werden Werkzeuge für die energetische Analyse von bestehenden Nicht-Wohngebäuden entwickelt mit dem Ziel, im Rahmen einer Gebäudediagnose die Schwachstellen eines Gebäudes aufzudecken und erste Modernisierungsvorschläge zu machen. Diese Werkzeuge werden an 75 Gebäuden auf ihre Praxistauglichkeit getestet. In dem Zusammenhang wird die vorliegende Gebäudeanalyse erstellt.

Der Kurzbericht umfasst:

Eine kurze Beschreibung des Projektes und des Gebäudes,

die Bewertung des Ist-Zustands des Gebäudes,

die Angabe von Modernisierungsmaßnahmen unter Nennung der Energieeinsparung, der Grobkosten und der sich hieraus ergebenden Wirtschaftlichkeit,

einen Anhang mit ausführlichen Informationen zur Gebäudeanalyse.

### 3 Projekt- und Gebäudebeschreibung

#### 1.1 Allgemeine Projektinformationen

##### Berufsbildende Schule mit Abend- \_ und Fachschule und Turnhalle

Gebäude	Eigentümer	Energieberatung
Paul-Ehrlich-Schule	Stadt Frankfurt am Main	Energiemanagement - Hochba
Berufsbildende Schule	Stadtschulamt	Armin Latsch
Brüningstraße 2	Seehofstraße 41	Gerbermühlstraße 48
65929 Frankfurt am Main	60594 Frankfurt am Main	60594 Frankfurt am Main



#### 1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften

Gebäudekategorie	Schulen, Kindertagesstätten	en. Qualität Gebäudehülle $H'$	1,42 W/(m <sup>2</sup> <sub>BTF</sub> K)
Unterkategorie	Berufsschulen	en. Qualität Lüftung $H'_V$	2,17 W/(m <sup>3</sup> /h K)
		Fensterant. (oberirdisch)	29 %
Baujahr Gebäude	1979	Anzahl beheiz. Geschosse	4,7
Energiebezugsfläche	11.552 m <sup>2</sup>	Anzahl der Zonen	6
davon künst. belichtet	108 %	Anzahl der RLT-Anlagen	4
mech. belüftet	108 %	Anzahl zentr. Kälteerz.	0
gekühlt	0 %	Anzahl zentr. Wärmeerz.	1
befeuchtet	0 %		
A/V-Verhältnis	0,28 m-1		

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Die Schule besteht aus drei von 1976 -1981 errichteten Gebäudeteilen:

Bauteil A – mit Klassenräumen

Bauteil B – mit Fachklassenräumen und Werkstätten

Bauteil C – mit Turnhalle und Technikum (Laboren)

Das Bauteil C ist ein separat stehendes Gebäude, das mit einem dazwischenliegenden Luftspalt vor das Bauteil B gebaut wurde.

Die normalen Nutzungszeiten des Schulbetriebes sind montags bis donnerstags von 7:55 Uhr bis 16:00 Uhr bzw. freitags bis 14:00 Uhr.

In verschiedenen Bereichen der Bauteile A+B finden Abendnutzungen bis 21:00 Uhr als auch samstags von 7:00 Uhr bis 16:00 Uhr durch eine Abendschule statt.

Die Turnhalle wird durch Vereine montags bis freitags bis 22:00 genutzt.

Bislang wurden an den Gebäuden keine größeren Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt.





Ein Klassenraum wurde von der Beheizung durch die zentrale Lüftungsanlage und den Brüstungsgeräten auf eine konventionelle Beheizung, über Heizkörper und Thermostatventile umgerüstet, um damit Betriebserfahrungen zu sammeln. Das umgebaute System mit konventionellen Heizkörpern hat sich bewährt.

## 4 Bewertung des Ist-Zustandes

Im Folgenden wird der Ist-Zustand des Gebäudes unter energetischen Gesichtspunkten bewertet. Hierauf aufbauend werden in Abschnitt 5 Schwachstellen aufgezeigt sowie Abschnitt 6 Modernisierungsempfehlungen gegeben.

Zur energetischen Bewertung werden zunächst die Verbrauchskennwerte des Gebäudes für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme (im Weiteren vereinfacht als Brennstoff bezeichnet) sowie für elektrische Energie den Vergleichswerten der EnEV 2009 für bestehende Gebäude [3] gegenübergestellt (Abschnitt 4.1) und der zeitaufgelöste Lastgang des Gebäudes analysiert (Abschnitt 4.2). Nach dieser ersten Grobbewertung erfolgt eine Bewertung der Effizienz auf der Grundlage einer Bilanzberechnung (Abschnitt 4.3.2). Um die Realitätsnähe der Berechnung zu überprüfen, werden dabei zunächst die Berechnungsergebnisse den gemessenen Verbräuchen gegenübergestellt (Abschnitt 4.3.1).

### 4.1 Gemessene Verbrauchsdaten

Für die Verbrauchsanalyse werden die folgenden Verbrauchsdaten des Gebäudes herangezogen: Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme)

- Monatliche Verbrauchsdaten des Fernwärmebezugs für den Zeitraum vom 2006 bis 2009

Die Daten wurden sofern noch nicht erfolgt einer Klimabereinigung gemäß [3] unterzogen.

Elektrische Energie

- Monatliche Verbrauchsdaten des Elektrizitätsbezugs für den Zeitraum vom 2006 bis 2009

Die Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 zeigen die Monatsverläufe sowie Jahreswerte der bereinigten Verbrauchskennwerte für die ausgewerteten Jahre.

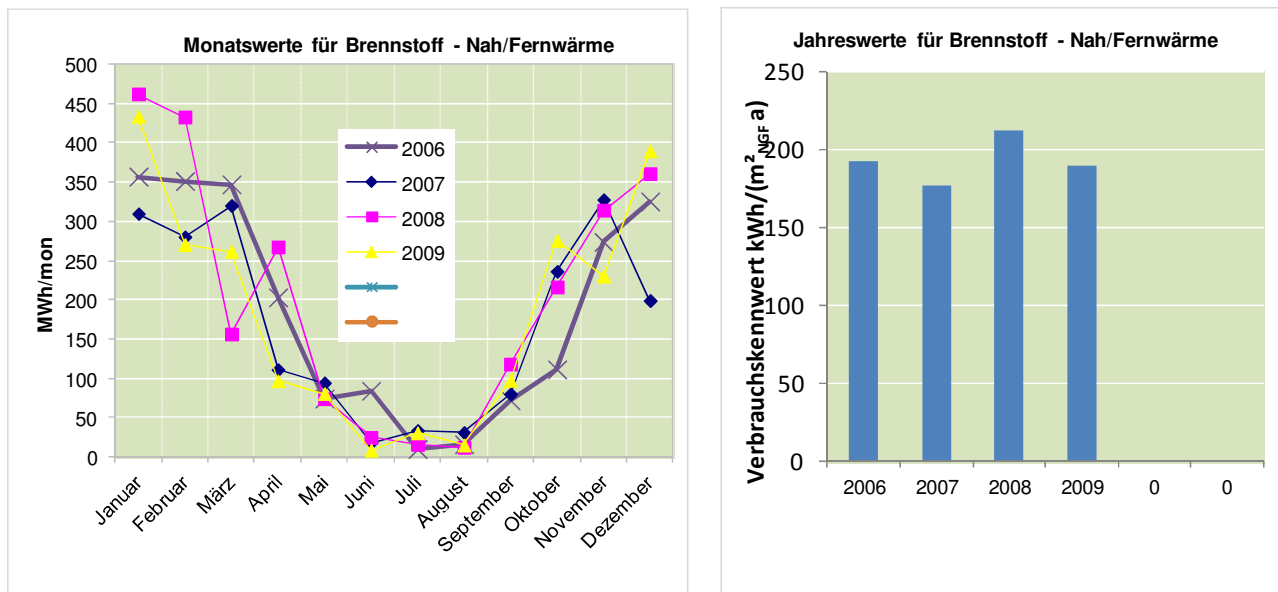


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme der letzten 6 Jahre)

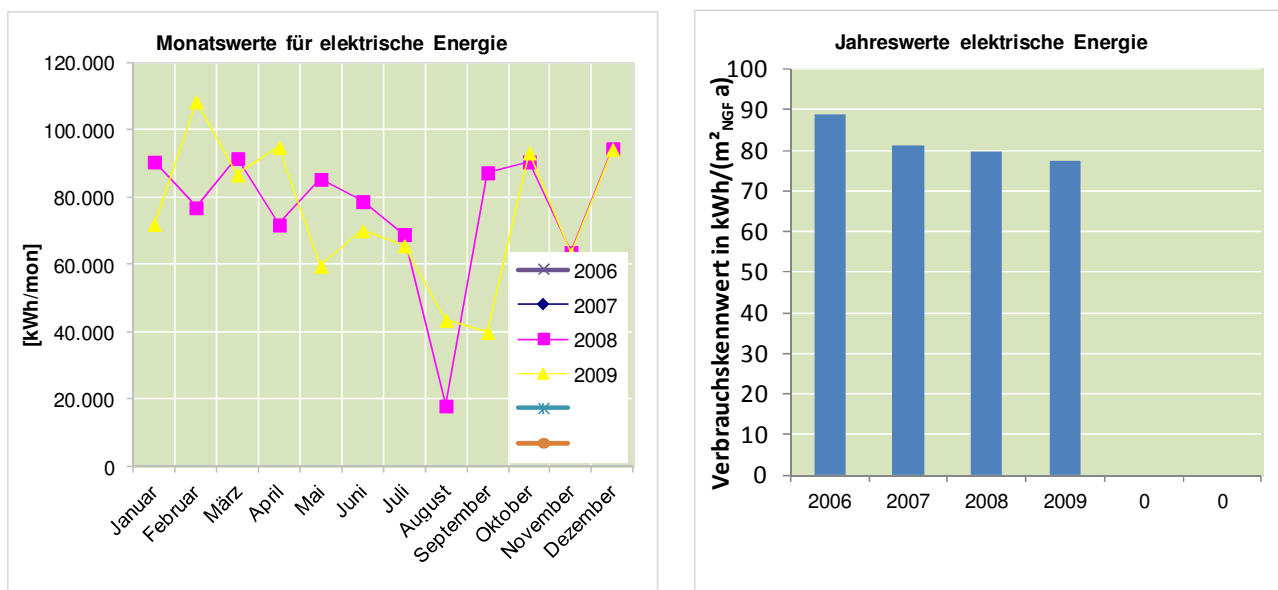
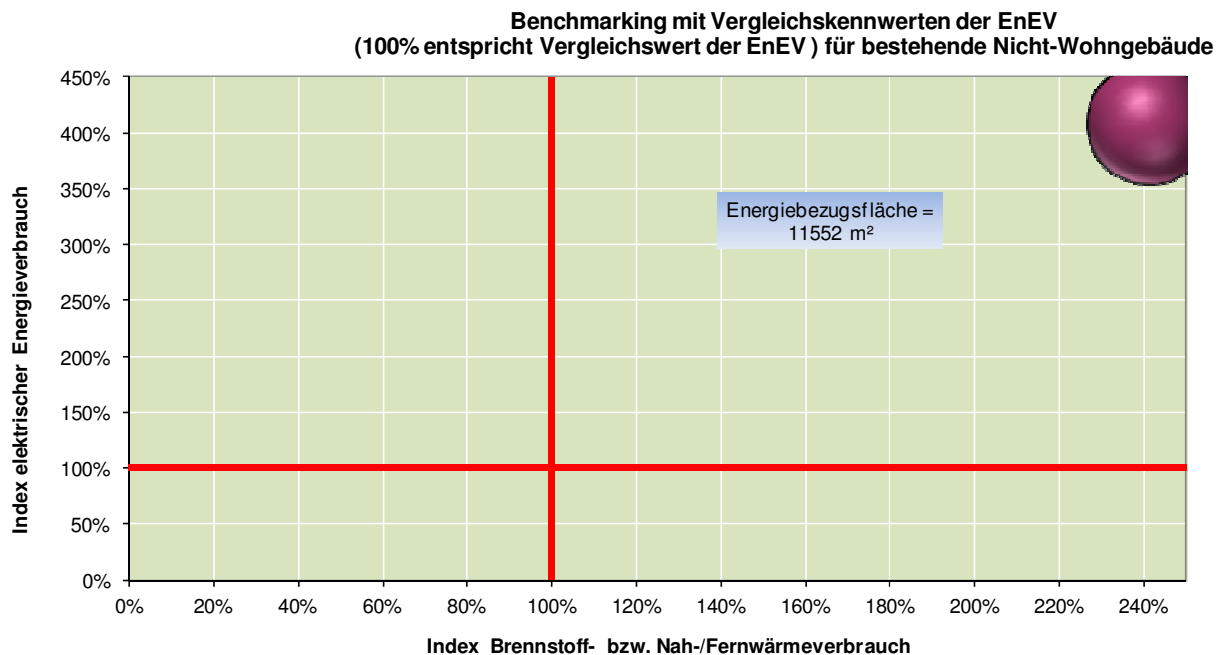


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie der letzten 5 Jahre



Die Jahresmittelwerte für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme sowie elektrische Energie sind in Abbildung 4-3 den Vergleichswerten der vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung veröffentlichten Bekanntmachung „Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ [3] gegenübergestellt. Der Ist-Verbrauch des untersuchten Gebäudes ist dabei als Prozentwert der Referenzwerte angegeben, d. h. die Referenzwerte entsprechen 100 %.



**Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)**

Die spezifischen Verbräuche liegen im Bereich der Heizenergie als auch der elektrischen Energie erheblich über den EnEV 2009-Werten. Dies ist auf den oben schon erwähnten schlechten Zustand des Gebäudes zurückzuführen.

## 4.2 Lastganganalysen

Neben den Monats- bzw. Jahresverbräuchen werden im Folgenden zeitlich hochaufgelöste Verbrauchsdaten analysiert. Für die Lastganganalysen standen folgende Verbrauchsdaten des Gebäudes zur Verfügung:

### Elektrische Energie

- ¼ Stunden Verbrauchswerte aus der automatischen Verbrauchserfassung (Heidec-Sol)

#### 4.2.1 Lastganganalyse elektrische Energie

Abbildung 4-4 zeigt das Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs. Die schwarze Linie stellt den Mittelwert aller ausgewerteten Wochen dar, die die grauen Linien den Maxi- und Minimalwert. In Abbildung 4-5 ist die numerische Auswertung der Lastganganalyse aufgeführt. Dargestellt sind Kennwerte bezogen auf den gesamten ausgewerteten Zeitraum, die Nutzungszeit und die Standby-Zeit (außerhalb der Nutzungszeit).

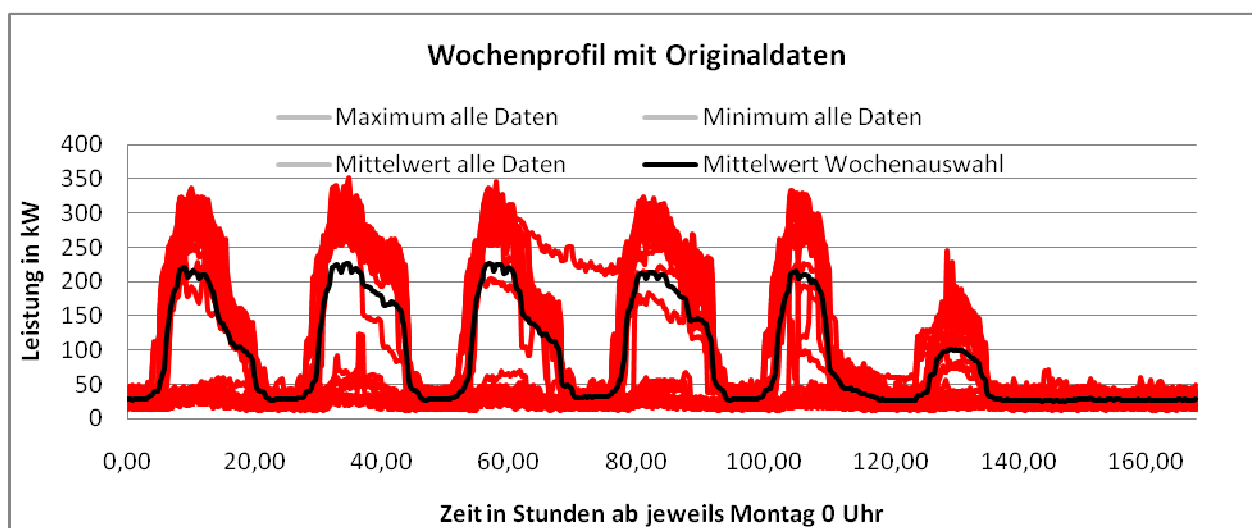


Abbildung 4-4: Wochenprofile des elektrischen Energieverbrauchs des gesamten Jahres 2010

Im Diagramm sind alle Wochenprofile mit ¼ Stundenwerten des Jahres 2010 übereinander dargestellt.

Gesamter Zeitraum		
	absolut [kW]	spezifisch [W/m²]
Maximale Leistung	352,0	100,57
Minimale Leistung	12,0	3,43
Mittlere Leistung	87,5	25,01

Verhältnis Standby zu Gesamtzeit [%]	
Zeit	53,3%
Leistung	49,5%
Verbrauch	26,4%

Nutzungszeit	
Dauer	78,5 h/woche

Verhältnis Standby zu Nutzungszeit [%]	



	absolut [kW]	spezifisch [W/m²]	Zeit	114,0%
Maximale Leistung	352,0	100,57	Leistung	31,4%
Minimale Leistung	12,0	3,43	Verbrauch	35,8%
Mittlere Leistung	138,0	39,42		

Standbyzeit			
Dauer	89,5	h/woche	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m²]	
Maximale Leistung	280,0	80,00	
Minimale Leistung	12,0	3,43	
Mittlere Leistung	43,3	12,37	

**Abbildung 4-5: Auswertung des elektrischen Energieverbrauchs in der Nutzungszeit und der Standby-Zeit des Gebäudes**

Aus dem Diagramm und der Wertezusammenstellung in der Tabelle ist eine hohe Grundlast von Teilweise über 50 kW erkennbar. Hier sollten Nachforschungen angestellt werden, woraus sich diese zusammensetzt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sind hier immense Einsparpotentiale vorhanden.

Die Nachtabstaltung der Technischen Anlagen erfolgt quasi kontinuierlich. Die Leistungswerte liegen insgesamt auf einem hohen Niveau, was auf die hohe technische Gebäudeausrüstung zurückzuführen ist.

Auch ein optimierter, nutzerbezogener Betrieb der Lüftungsanlage könnte erhebliche Einsparungen erzielen (s. dazu auch 6-1 Modernisierungsempfehlung 1).

### 4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

Um die Struktur des Energieverbrauchs des Gebäudes zu analysieren und Schwachstellen zu identifizieren, wird dieser über eine Energiebilanzberechnung nachvollzogen. Die Berechnung wird in Anlehnung an die DIN V 18599 durchgeführt, wobei unterschiedliche Vereinfachungen und Modifikationen bei der Berechnung vorgenommen wurden [4].

Eine Dokumentation der wichtigsten Eigenschaften und Randbedingungen des Berechnungsmodells ist im Abschnitt 13 zu finden.

#### 4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch

Um zu überprüfen, wie gut das Berechnungsmodell den tatsächlichen Verbrauch des Gebäudes abbildet, werden zunächst in Abbildung 4-6 die berechneten Energiebedarfskennwerte (siehe Abschnitt 14) den gemessenen Energieverbrauchskennwerten (siehe Abschnitt 4.1) gegenübergestellt (Endenergieebene). Die Farblegende zur Grafik sowie die Zahlenwerte sind in der Tabelle rechts dargestellt. Die Gebäudesummen als Kennwerte in kWh/(m²a) sowie als Absolutwert in MWh/a sind in der Tabelle unten links aufgeführt. Die letzte Zeile dieser Tabelle zeigt das Verhältnis von berechnetem Bedarf zu gemessenem Verbrauch  $f_{b/v}$ .

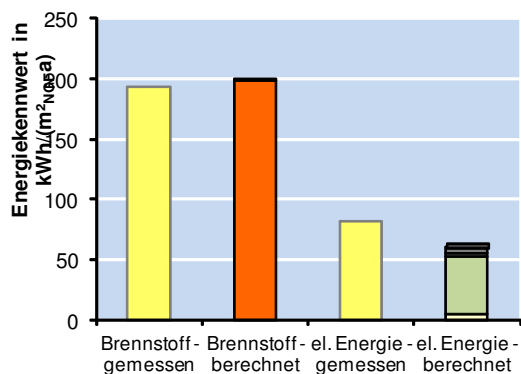
Das 1976 bis 1981 errichtete Gebäude ist mit einer für damalige Verhältnisse nicht ungewöhnlichen Gebäudetechnik ausgestattet. Das Gebäude verfügt noch über die ursprünglichen 18 Zuluftanlagen und 33 Abluftanlagen, teils als Zentrale Geräte im Untergeschoss oder auf dem Dach, teils als dezentrale Geräte in Zwischendecken und Schächten.

Diese Komplexität konnte nicht in das TEK-Tool übernommen werden. Daher wurden die gesamten Lüftungsanlagen des Schulbereichs zusammengefasst. Die zwei Vorschubzentralen wurden mit der elektrischen Leistung in der virtuellen Anlage der Zone 1 berücksichtigt, da die Vorschubzentralen eine gewisse Vorarbeit (Vordruck) für die dahinter befindlichen Anlagen erwirken, die von diesen zur Versorgung der Zone 1 nicht mehr erbracht werden muss. Der Volumenstrom wurde nicht berücksichtigt.

Um von den Nennleistungen auf realistische Leistungsaufnahmen der RLT-Anlagen zu gelangen, wurden die elektrischen Anschlussleistungen auf 77 % reduziert (s. dazu auch Kapitel 7: Durchgeführte Messungen).

Nach der Erbauung der Liegenschaft wurden bislang auch noch keine Maßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt, so dass sich das Gebäude auch hier in einem schlechten Zustand befindet.

### 1.3 Gemessene und berechnete Energiekennwerte (Endenergie; Gebäudeebene)



	berechnete Kennwerte	
	Brennstoff/FW kWh/(m² a)	el. Energie kWh/(m² a)
Diverse Technik *	-	3,9
Zentrale Dienste **	0,0	4,8
Arbeitshilfen	-	2,0
Dampf	0,0	0,0
Hilfsenergie Kälte	-	0,0
Kälte	0,0	0,0
Luftförderung	-	48,9
Beleuchtung	-	4,5
Warmwasser	1,2	0,0
Heizung	199,2	0,0
ges. Gebäude	200,3	64,1

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener	kWh/(m²a)	193	82
Verbrauch	MWh/a	2.229	944
berechneter	kWh/(m²a)	200	64
Bedarf	MWh/a	2.314	740
Verh. Bedarf/Verbrauch - $f_{b/v}$		1,04	0,78

### 1.4 Berechnungseinstellungen

TEK-Tool _ Version:	5.5
Flächen der therm. Geb.-hüll	objektspez.
Zonenzuweisung Hüllfläche	automatisch
Stoffwerte therm. Geb.-Hülle	objektspez.
Zonenzuw. Baut.-kennwerte	automatisch
Nutzungszeiten	objektspez.
interne Wärmequellen	objektspez.
Raumsolltemperaturen	objektspez.

**Abbildung 4-6: Vergleich von gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf**

Bei der untersuchten Liegenschaft wurde der Wärme- als auch der Elektrizitätsbereich mit dem TEK-Tool gut abgebildet.

### 4.3.2 Berechnete Energiekennwerte

Auf der Grundlage der Energiebilanzberechnung wird in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-7 die Entwicklung des Energiebedarfs von der Nutzenergie über die Endenergie (unterschieden nach Brennstoff und elektrischer Energie) bis zur Primärenergie für die unterschiedlichen Gewerke (Heizung bis Diverse Technik) dargestellt werden. In der letzten Spalte von Tabelle 4-1 sind ergänzend die CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg/(m<sup>2</sup>a) differenziert nach Gewerken und für das gesamte Gebäude dargestellt.

1.5 Teilenergiekennwerte und CO <sub>2</sub> -Emissionen auf Gebäudeebene						
	Nutzenergie		Endenergie		Primär- energie	CO <sub>2</sub> - Emission kg/(m <sup>2</sup> a)
	Zonen/RLT	Erzeuger	Brennstoff kWh/(m <sup>2</sup> a)	el. Energie		
Heizung	188,1	199,2	199,2	0,0	258,9	81,1
Warmwasser	0,9	1,2	1,2	0,0	1,5	0,5
Beleuchtung	-	-	-	4,5	11,7	2,8
Luftförderung	-	-	-	48,9	127,2	31,0
Kälte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	0,0	0,0	0,0
Dampf	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Arbeitshilfen	-	-	-	2,0	5,2	1,3
Zentrale Dienste	-	-	0,0	4,8	12,4	3,0
Diverse Technik	-	-	-	3,9	10,2	2,5
gesamt	188,9	200,3	200,3	64,1	427,1	122,2

Tabelle 4-1: Teilenergiekennwerte und Bewertung für den Ist-Zustand

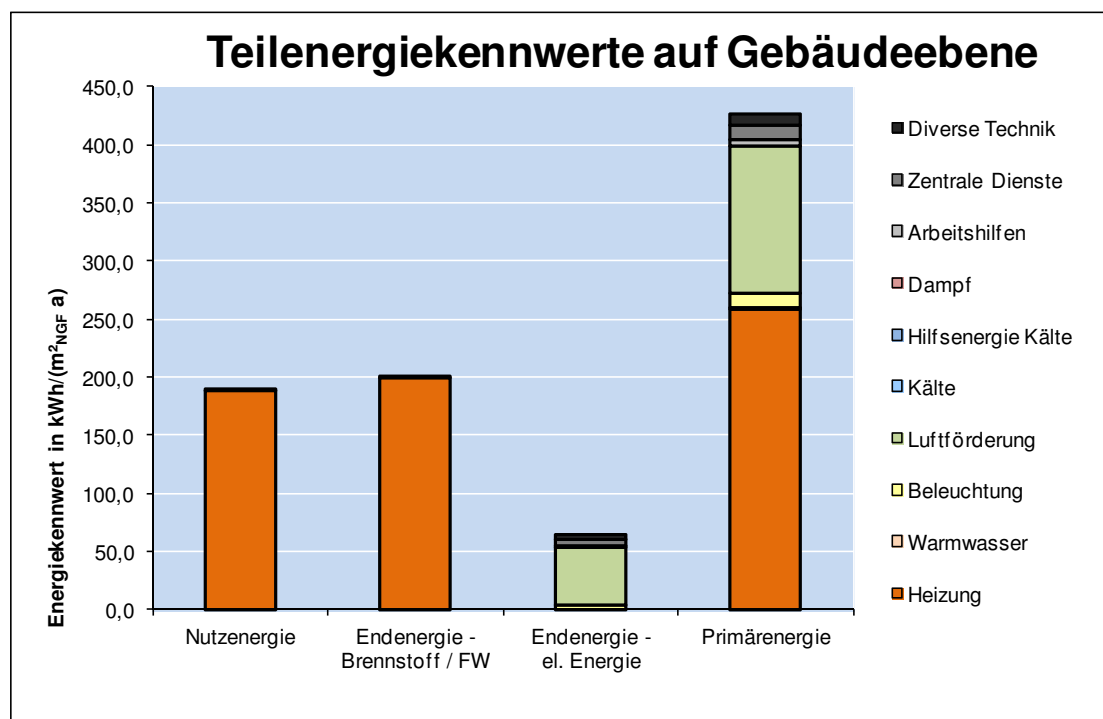


Abbildung 4-7: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand



Der Beitrag der einzelnen Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes sowie die TEK- Effizienzbewertung in die fünf Energieaufwandsklassen:

Sehr hoch

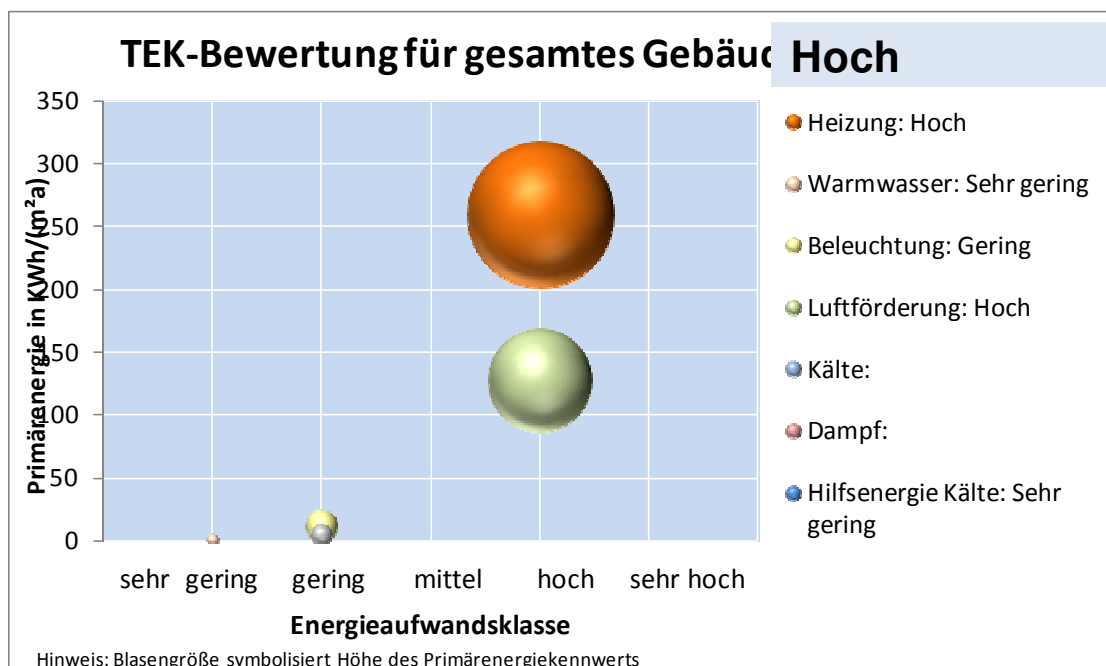
Hoch

Mittel

Gering

Sehr gering

(siehe [4]) ist in Abbildung 4-8 dargestellt. Bei der Teilenergiekennwertbewertung werden die Energiebedarfe der Gewerke auf Zonenebene mit typischen tabellierten Teilenergiekennwerten verglichen (siehe Abschnitt 12). Diese Bewertung wird von der Zonenebene (Abschnitt 12) über die Nutzungseinheit (Abschnitt 11) bis auf die Gebäudeebene aggregiert (siehe Abbildung 4-8). Die gewerkebezogene Bewertung auf Gebäudeebene wird dann zu einer Gesamtbewertung des Gebäudes zusammengefasst. Ausgeklammert bei dieser Bewertung werden die Gewerke „Zentrale Dienste“ und „Diverse Technik“, da für diese beiden keine sinnvollen Benchmarks gebildet werden können.



**Abbildung 4-8: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung**

In der obenstehenden Grafik treten zwei ineffiziente Verbrauchsbereiche deutlich hervor.

Zum Einen wird der Spezifische Primärenergiebedarf für die Raumwärme als sehr hoch dargestellt, dies ist hauptsächlich auf den schlechten Dämmstandard des Gebäudes zurückzuführen.

Zudem fällt der Energieverbrauch für die Luftförderung auf. Dieser ist auf die ineffiziente Gebäudetechnik zurückzuführen (s. dazu auch Kapitel 6 Modernisierungsempfehlungen)



## 5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung

Im Folgenden sind mögliche Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude aufgelistet. Diese basieren aus den Erkenntnissen aus der Gebäudebegehung vor Ort und der rechnerischen Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwerte. Die aufgeführten Modernisierungsmaßnahmen sind noch nicht auf Realisierbarkeit hin überprüft und damit nur als Ideenpool zu verstehen. Die fünf relevantesten Maßnahmen sind in Abschnitt 6 näher untersucht.

Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen				
			Projekt	<b>Paul-Ehrlich-Schule, Berufsbildende Schule, Alle Daten</b>
Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267 1	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme 2	Wichtigkeit (1 bis 5) 3	Bemerkungen 4
1	431 Lüftungsanlagen	Reduzierung der Betriebszeiten und der elektrischen Grundlast	5) sehr dringend	Elektrische Verbraucher analysieren
2	423 Raumheizflächen	Austausch der Brüstungsgeräte für Zuluft und Heizung gegen Heizkörper mit Thermostatventilen	4) dringend	Beheizung der Räume nur in Verbindung mit Lüftung möglich, schlecht regelbar
3	431 Lüftungsanlagen	Reduzierung bzw. Rückbau der Lüftungsanlagen	4) dringend	Durch Wegfall der Brüstungsgeräte
4	431 Lüftungsanlagen	Ausstattung der großen Lüftungsanlagen mit Frequenzumformern	4) dringend	Bedarfsgerechte Volumeströme fahren
5	334 Außentüren und -fenster	Austausch der undichten Aluminium-Fenster	3) wichtig	Einsetzen von Passivhausfenstern
6	335 Außenwandbekleidungen, außen	Aufbringung eines Wärmedämmverbundsystems	3) wichtig	
7	364 Dachbekleidungen	Aufdachdämmung	3) wichtig	
8	399 Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktionen, sonstiges	Dämmung der Böden gegen unbeheizt bzw. außen	2) empfohlen	Böden gegen Untergeschoß und Durchfahrtsbereich
9	338 Sonnenschutz	Sonnenschutz an Süd- und Westseite	1) sinnvoll	Durch Wegfall der Kälteanlage entstehen teilweise sehr hohe Raumtemperaturen
10	431 Lüftungsanlagen	Umbau der Lüftungsanlagen auf Passivhausn.	2) empfohlen	Auf Passivhausniveau
11	445 Beleuchtungsanlagen	Komplette Beleuchtungssanierung	2) empfohlen	Im Zuge des Umbaus zum Passivhausniveau

**Tabelle 5-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude**

## 6 Modernisierungsempfehlungen

Auf Grundlage der Gebäudebegehung und der rechnerischen Gebäudeanalyse wurden unterschiedliche Modernisierungsmaßnahmen identifiziert. Diese sind in Abschnitt 5 in tabellarischer Form dargestellt.

Aus den möglichen Maßnahmen werden fünf Modernisierungsempfehlungen detaillierter ausgearbeitet. Eine Modernisierungsempfehlung kann dabei eine oder mehrere Modernisierungsmaßnahmen umfassen. Für jede Empfehlung wird die erzielbare Energieeinsparung bestimmt und die Investitionskosten im Rahmen einer Grobkostenschätzung ermittelt. Hieraus werden erste Aussagen zur Wirtschaftlichkeit abgeleitet.

Weiter untersucht werden folgende fünf Modernisierungsempfehlungen:



Die Ergebnisse der einzelnen Maßnahmenpakete sind in der folgenden Grafik zusammengefasst:  
Folgende Randbedingungen wurden den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zugrundegelegt:

Paul-Ehrlich-Schule, Berufsbildende Schule, Alle Daten					
Allgemeine Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung					
Kalkulationszinssatz (nominal)	p	6,0%	%/a		
Betrachtungszeitraum (maximale Nutzungsdauer)	n	40	a		
Annuitätsfaktor	a <sub>p,n</sub>	6,6%	%/a		
Preissteigerungsrate Endenergie Wärme 1 (nominal)	s <sub>W1</sub>	4,0%	%/a		
Mittelwertfaktor Wärme 1	m <sub>W1</sub>	1,84			
Preissteigerungsrate Endenergie Wärme 2 (nominal)	s <sub>W2</sub>	4,0%	%/a		
Mittelwertfaktor Wärme 2	m <sub>W2</sub>	1,84			
Preissteigerungsrate Endenergie Strom (nominal)	s <sub>E</sub>	1,5%	%/a		
Mittelwertfaktor Strom	m <sub>E</sub>	1,23			
Preissteigerungsrate Endenergie Sonstige (nominal)	s <sub>S</sub>	4,0%	%/a		
Mittelwertfaktor Sonstige	m <sub>S</sub>	1,84			
Preissteigerungsrate Wartung / Inspektion (nominal)	s <sub>WI</sub>	2,0%	%/a		
Mittelwertfaktor Wartung / Inspektion	m <sub>WI</sub>	1,33			
Preissteigerungsrate Instandsetzung (nominal)	s <sub>Inst</sub>	1,0%	%/a		
Mittelwertfaktor Instandsetzung	m <sub>Inst</sub>	1,15			
Durchschnittspreis Endenergie Wärme 1	k <sub>W1</sub>	0,13	€/kWh	m <sub>W1</sub>	1,84
Durchschnittspreis Endenergie Wärme 2	k <sub>W2</sub>	-	€/kWh	m <sub>W2</sub>	1,84
Durchschnittspreis Endenergie Strom	k <sub>S</sub>	0,17	€/kWh	m <sub>E</sub>	1,23
Energiebedarf		Ist-Zustand			
Endenergiebedarf Wärme 1	Q <sub>1</sub>	3.369.000	kWh/a		
Endenergiebedarf Wärme 2	Q <sub>2</sub>		kWh/a		
Endenergiebedarf Strom	W	890.000	kWh/a		
Energiekosten im 1. Jahr	K <sub>E,0</sub>	572.425	€/a		
mittlere, jährliche Energiekosten	K <sub>E,m</sub>	962.883	€/a		

Bei den folgenden Berechnungen ist zu berücksichtigen, dass wie oben beschrieben der errechnete Bedarf 50 % über dem gemessenen Verbrauch liegt.

Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit was die Berechnung der Einsparpotentiale betrifft verfälscht.

## 6.1 Modernisierungsempfehlung 1- Optimierung der Betriebszeiten:

Paul-Ehrlich-Schule, Berufsbildende Schule, Alle Daten					ME 1 Modernisierungsempfehlung 1		
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand			Optimierung der Betriebszeiten	
	Modernisierungsziel		Vergleich mit				
4.01	Jährliche Gesamtkosten						
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	€/a	$K_K$	0	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	963.000	€/a	$K_{E,m}$	682.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	2.000	€/a	$K_{W+I,m}$	0	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	$K_a$	965.000	€/a	$K_a$	682.000	€/a
4.1	Übersicht Einzelmaßnahmen	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 1	Optimierung der Betriebszeiten	
1	Objektspezifische Maßnahme	Ist 1			M 1-1	Reduzierung der Betriebszeiten und der elektrischen Grundlast	
	Standardmaßnahme					999_1_Nicht-investive_Maßnahme	

**Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1 -**

Im ersten Maßnahmen Paket wird ausschließlich die Potentiale der Betriebsoptimierung betrachtet. Dabei fällt in erster Linie der extrem hohe, spezifische Verbrauchswert im Bereich der Elektrizität auf. Dieser beträgt das Vierfache des Vergleichswertes nach der EnEV 2009. Aus den Teilenergiekennwerten als Ergebnis des TEK-Tools lässt sich ein großer Teil des Energieverbrauchs auf die Lüftungsanlagen zurückführen.

Bei Betrachtung der Lastganganalyse, s. Kapitel 4.2 Lastganganalysen fallen die hohen Grundlasten in den Stunden der Nichtnutzung als auch die hohen Leistungen während der Nutzungszeiten im Schulbetrieb auf. Diese schwanken jahreszeitlich kaum.

In der Simulation durch das TEK-Tool wurden dazu die Laufzeiten der Lüftungsanlagen reduziert, dabei wurde berücksichtigt, dass diese z. Zt. noch zur Beheizung in der gesamten Liegenschaft notwendig sind.

Die Lüftungsanlagen lassen sich nicht über die zentrale Gebäudeleittechnik steuern. Ein Abschalten erfolgt über Zeitschaltuhren in den Schaltschränken. Das Bedienpersonal legt innerhalb der letzten Zeit ein besonderes Augenmerk auf die Laufzeiten der Lüftungsanlagen und schaltet diese täglich, händisch entsprechen dem Bedarf. In Gegensatz zum Vorjahr konnten dadurch schon erhebliche Einsparungen erzielt werden, in den folgenden Grafiken als grüne Bereiche dargestellt.



0.1201

**Strom - 15 Min. - Tagesprofile (Vergleich)**

Paul-Ehrlich-Schule Brüningstraße 2, (292), E1 (28128)

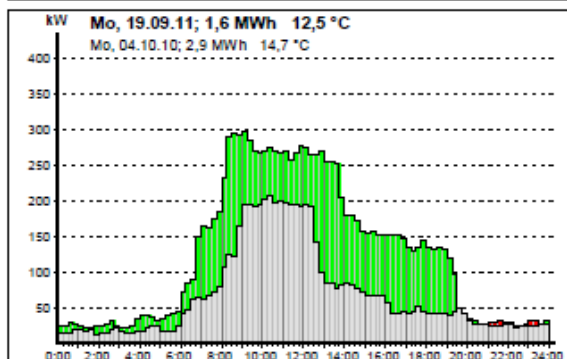
Datum von 19.09.2011 bis 25.09.2011

**KW 38 / 2011**

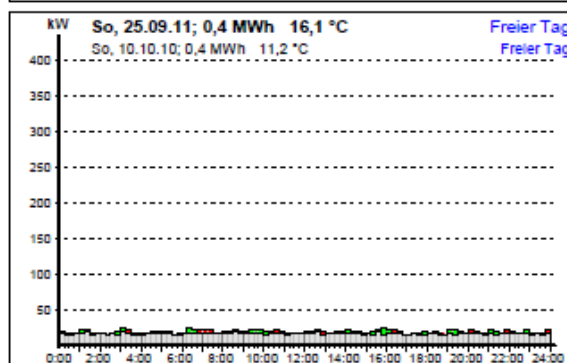
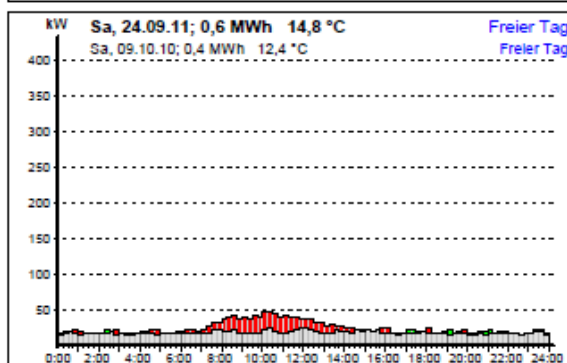
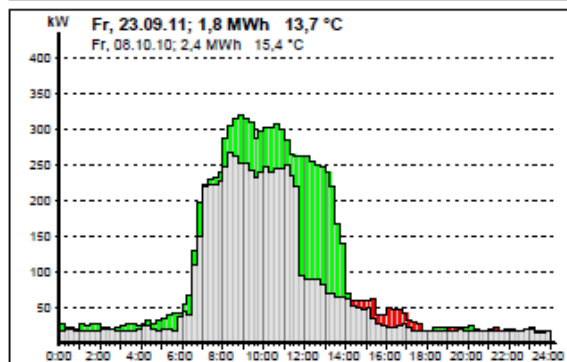
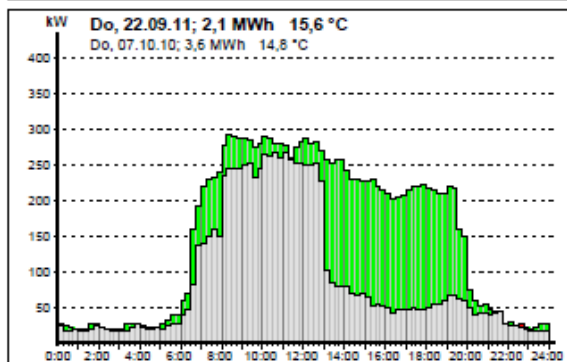
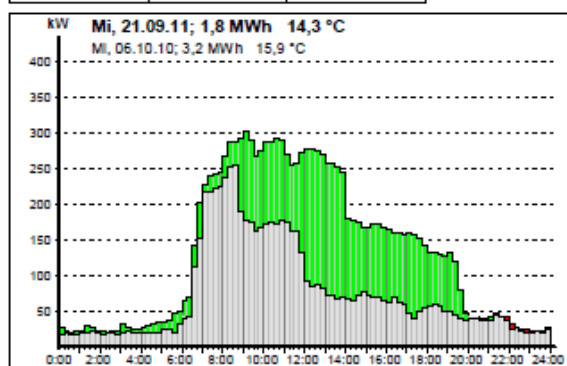
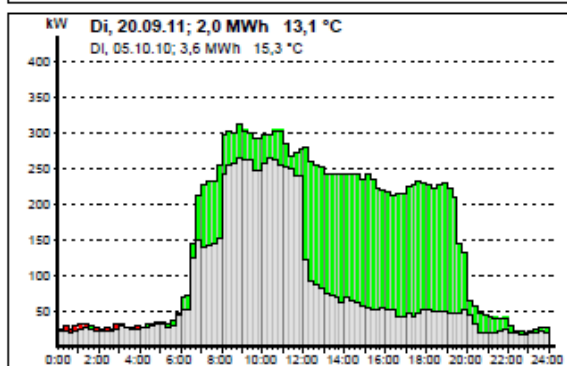
Im Vergleich zu: 40 / 2010

Wochenverbrauch: 10,3 MWh/Woche

Vergleich: KW 40 / 2010: 16,6 MWh/Woche

Minimale und maximale Leistung:  
(Werte aus Vergleichszeitraum in Klammern)

	Min.-Leistung in kW	Max./h in kW
Montag	12,0 (20,0)	206,0 (294,0)
Dienstag	16,0 (20,0)	264,0 (312,0)
Mittwoch	16,0 (20,0)	254,0 (300,0)
Donnerstag	16,0 (20,0)	266,0 (292,0)
Freitag	16,0 (14,0)	266,0 (318,0)
Samstag	14,0 (14,0)	48,0 (24,0)
Sonntag	14,0 (14,0)	22,0 (24,0)



■ Minderverbrauch    ■ Mehrverbrauch (Energieeinsparpotential)

Objekt: (292)  
Datenpunkt-ID: 7586    Erstellt: 11.10.2011

Aktuelle Zählnummer: 28128

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



Abbildung 6-1a: Bereits zu verzeichnende Einsparerfolge

## 6.2 Modernisierungsempfehlung 2 – Optimierung Raumbeheizung:

Paul-Ehrlich-Schule, Berufsbildende Schule, Alle Daten						ME 2	
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand			Modernisierungsempfehlung 2	
	<b>Modernisierungsziel</b>		<b>Vergleich mit</b>		-	<b>Optimierung Raumbeheizung</b>	
4.01	Jährliche Gesamtkosten						
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K <sub>K</sub>	0	€/a	K <sub>K</sub>	28.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	K <sub>E,m</sub>	963.000	€/a	K <sub>E,m</sub>	603.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	K <sub>W+i,m</sub>	2.000	€/a	K <sub>W+i,m</sub>	3.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K <sub>a</sub>	965.000	€/a	K <sub>a</sub>	634.000	€/a
4.1	Übersicht Einzelmaßnahmen	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 2	Optimierung Raumbeheizung	
1	Objektspezifische Maßnahme	Ist 1			M 2-1		
	Standardmaßnahme						
2	Objektspezifische Maßnahme	Ist 2			M 2-2	Austausch der Brüstungsgeräte für Zuluft und Heizung gegen Heizkörper mit Thermostatventilen 423_Austausch_Brüstungsgeräte_gegen_Heizkörper	
	Standardmaßnahme						
3	Objektspezifische Maßnahme	Ist 3			M 2-3	Reduzierung bzw. Rückbau der Lüftungsanlagen 999_1_Nicht-investive_Maßnahme	
	Standardmaßnahme						

**Abbildung 6-2: Modernisierungsempfehlung 2 -**

Im Maßnahmenpaket 2 „Optimierung Raumbeheizung“ wird das alte, hochtechnisierte Heizsystem der Beheizung über die zentrale Lüftungsanlage und den Brüstungsgeräten komplett erneuert.

An Stelle der Brüstungsgeräte werden in den Unterrichtsräumen statische Heizkörper mit Thermostatventilen eingebaut.

Die Lüftungsanlagen werden zurückgebaut die Lüftung erfolgt über die Fenster.

Dieses Konzept wurde bereits in einem Musterraum realisiert und hat sich bewährt.

Die bei dieser Betrachtung anfallenden Aufwendungen für die Rückbauarbeiten wurden pauschal auf 100.000 € abgeschätzt.



### Modernisierungsempfehlung 3 – Optimierung Haustechnik:

Paul-Ehrlich-Schule, Berufsbildende Schule, Alle Daten						ME 3		Modernisierungsempfehlung 3
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand					
	<b>Modernisierungsziel</b>		<b>Vergleich mit</b>		-			<b>Optimierung Haustechnik</b>
4.01	Jährliche Gesamtkosten							
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	€/a		$K_K$	15.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	963.000	€/a		$K_{E,m}$	603.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+i,m}$	2.000	€/a		$K_{W+i,m}$	9.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	$K_a$	965.000	€/a		$K_a$	627.000	€/a
4	Objektspezifische Maßnahme	Ist 4				M 3-4	Ausstattung der großen Lüftungsanlagen mit Frequenzumformern	
	Standardmaßnahme						439_Einbau_von_Frequenzumformern_<_3kW	

**Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 3 -**

In den Modernisierungsempfehlungen 3 „Optimierung Haustechnik“ werden die alten Lüftungsanlagen mit Frequenzumrichtern (FU) versehen und die Luftmengen nach dem tatsächlich benötigten Bedarf gefahren.

Dies wäre eine Maßnahme die kurzfristig und ohne allzu umfangreichen Aufwand umzusetzen wäre. Allerdings ist es fraglich, ob die alten ca. 30 Jahre alten Anlagen nicht besser generell erneuert werden sollten (siehe dazu die Betrachtung in Modernisierungsempfehlungen 5).

Bei der Betrachtung wurde ein Zuschlag von 30 % angenommen, da auch die Regelungstechnik in weiten Teilen erneuert werden muss.

### 6.3 Modernisierungsempfehlung 4 - Dämmmaßnahmen:

Paul-Ehrlich-Schule, Berufsbildende Schule, Alle Daten						ME 4		Modernisierungsempfehlung 4
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand					
	<b>Modernisierungsziel</b>		<b>Vergleich mit</b>		-			<b>Dämmmaßnahmen</b>
4.01	Jährliche Gesamtkosten							
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	€/a		$K_K$	128.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	963.000	€/a		$K_{E,m}$	770.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+i,m}$	2.000	€/a		$K_{W+i,m}$	14.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	$K_a$	965.000	€/a		$K_a$	912.000	€/a
5	Objektspezifische Maßnahme	Ist 5				M 4-5	Austausch der undichten Aluminium-Fenster	
	Standardmaßnahme						334_1_FE_PH-Qualität	
6	Objektspezifische Maßnahme	Ist 6				M 4-6	Aufbringung eines Wärmedämmverbundsystems	
	Standardmaßnahme						335_0_AW_WDVS_Passivhausstandard	
7	Objektspezifische Maßnahme	Ist 7				M 4-7	Aufdachdämmung	
	Standardmaßnahme						364_0_D_Fachdach_PH-Standard	
8	Objektspezifische Maßnahme	Ist 8				M 4-8	Dämmung der Böden gegen unbeheizt bzw. außen	
	Standardmaßnahme						335_0_AW_WDVS_Passivhausstandard	

**Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 4-**

In dieser Betrachtung wird nur die Gebäudehülle insgesamt auf einen Passivhausstandard, in Anlehnung an die Leitlinien der Stadt Frankfurt von 2011, gebracht.



Die Berechnungen des TEK-Tools erscheinen hier allerdings nicht korrekt zu erfolgen: Bei Eingabe der Gebäudehülle in Passivhaus-Qualität wird eine Einsparung im Bereich Wärme von nur ca. 25 % errechnet.

Zudem ist eine solche umfangreiche Maßnahme nur im Zusammenhang mit einer angepassten Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung sinnvoll (siehe dazu die Betrachtung in Modernisierungsempfehlungen 5).

**Dämmstandard nach den Leitlinien der Stadt Frankfurt von 2011**  
 ([www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de](http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de)):

Sanierung von Bauteil	max. U-Wert (W/m²K)	entspricht i.d.R. mindestens
Außenwand (Außendämmung)	0,16	20 cm bei WLG 035
Außenwand (Innendämmung)	0,24	14 cm bei WLG 045
Dach	0,14	26 cm bei WLG 035
Oberste Geschossdecke	0,16	22 cm bei WLG 035
Boden/Kellerdecke	0,25	12 cm bei WLG 035
Fenster/Fenstertüren	0,80	3-Scheiben
Verglasungen	0,70	3-Scheiben
Oberlichter	1,00	2-Scheiben
Außentüren	1,00	5 cm bei WLG 025



## 6.4 Modernisierungsempfehlung 5 - Passivhausvariante:

Paul-Ehrlich-Schule, Berufsbildende Schule, Alle Daten							
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 5	Modernisierungsempfehlung 5	
	Modernisierungsziel		Vergleich mit			Passivhausvariante	
4.01	Jährliche Gesamtkosten						
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	€/a	$K_K$	344.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	963.000	€/a	$K_{E,m}$	147.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	2.000	€/a	$K_{W+I,m}$	121.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	$K_a$	965.000	€/a	$K_a$	612.000	€/a
2	Objektspezifische Maßnahme	Ist 2			M 5-2	Austausch der Brüstungsgeräte für Zuluft und Heizung gegen Heizkörper mit Thermostatventilen	
	Standardmaßnahme					423_Austausch_Brüstungsgeräte_gegen_Heizkörper	
3	Objektspezifische Maßnahme	Ist 3			M 5-3	Reduzierung bzw. Rückbau der Lüftungsanlagen	
	Standardmaßnahme					999_1_Nicht-investive_Maßnahme	
4	Objektspezifische Maßnahme	Ist 4			M 5-4	-	
	Standardmaßnahme					-	
5	Objektspezifische Maßnahme	Ist 5			M 5-5	Austausch der undichten Aluminium-Fenster	
	Standardmaßnahme					334_1_FE_PH-Qualität	
6	Objektspezifische Maßnahme	Ist 6			M 5-6	Aufbringung eines Wärmedämmverbundsystems	
	Standardmaßnahme					335_0_AW_WDVS_Passivhausstandard	
7	Objektspezifische Maßnahme	Ist 7			M 5-7	Aufdachdämmung	
	Standardmaßnahme					364_0_D_Flachdach_PH-Standard	
8	Objektspezifische Maßnahme	Ist 8			M 5-8	Dämmung der Böden gegen unbeheizt bzw. außen	
	Standardmaßnahme					335_0_AW_WDVS_Passivhausstandard	
9	Objektspezifische Maßnahme	Ist 9			M 5-9	Sonnenschutz an Süd- und Westseite	
	Standardmaßnahme					338_1_Lamellenraffstore_motorisch_manuell	
10	Objektspezifische Maßnahme	Ist 10			M 5-10	Umbau der Lüftungsanlagen auf Passivhausn.	
	Standardmaßnahme					430_0_RLT_Büro_PH-Sanierung	
11	Objektspezifische Maßnahme	Ist 11			M 5-11	Komplette Beleuchtungssanierung	
	Standardmaßnahme					445_1_BL_500lx_Spiegelraster	

Abbildung 6-5: Modernisierungsempfehlung 5 -

Hier werden alle Maßnahmen die sich sinnvoll verbinden lassen, um die Schule auf ein Passivhausstandard zu bekommen, betrachtet. Dies gilt sowohl für die Qualität der Gebäudehülle als auch für die komplette Erneuerung der Haustechnik.

Die Auslegung der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erfolgt nach den Leitlinien 2011 der Stadt Frankfurt. Demnach gilt ein Luftwechsel von 20 cbm/(h\*Person). Bei einer durchschnittlichen Personenzahl von 1550 in der Liegenschaft, resultiert daraus grob überschlagen ein Volumenstrom von 35.000 cbm/h. Der spezifische Stromverbrauch für die gesamte Anlage soll unter < 0,45 Wh/m³ liegen (für Zu- und Abluft zusammen, Passivhauskriterium).

Daraus ergibt sich für den Schulbereich eine Nennleistung von 16 kW. Die Beheizung der ca. 100 Unterrichtsräume –wenn notwendig- erfolgt über konventionelle Heizkörper. Je Klassenraum wird ein Heizkörper mit Thermostatventil und weitere für die sonstigen Räumlichkeiten vorgesehen.

Der Betrieb der Lüftungsanlage erfolgt nur während der Heizperiode, in der heizfreien Zeit wird über die Fenster gelüftet.

Die Dreifeld-Turnhalle mit einer Maximalnutzung von 100 Personen erhält nach den oben genannten Vorgaben eine Lüftungsanlage mit 2.000 cbm/h und einer Nennleistung von ca. 1 kW. Die Heizung soll über statische Heizflächen (ggf. Deckenstrahlheizung) erfolgen.





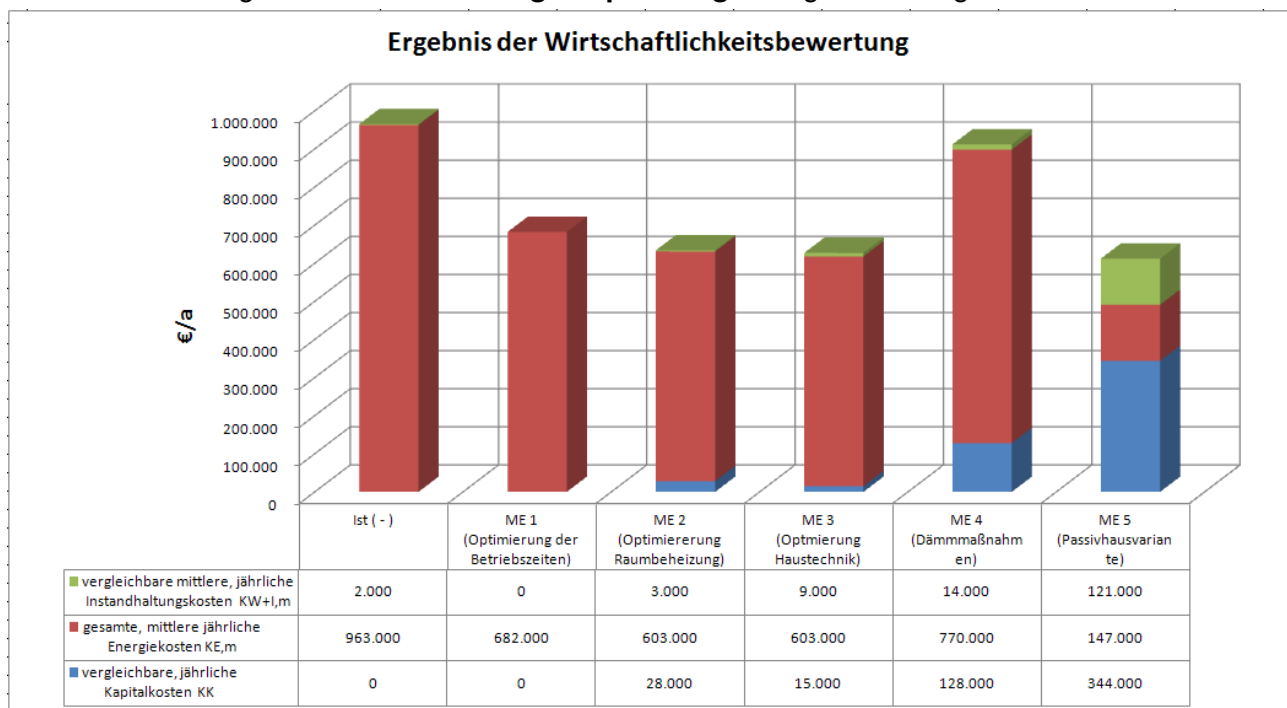
Die Lüftungsanlage im Technikum erhält lediglich eine Wärmerückgewinnung, da im Labor gewisse Mindestluftwechselraten vorgeschrieben sind. Die Abluftmenge der Tiefgarage wurde reduziert.

Die Fenster der Südfassade ist ein außenliegender Sonnenschutz, Ausführung nach den Leitlinien berücksichtigt.

Die bei dieser Betrachtung anfallenden Aufwendungen für die gesamten Rückbauarbeiten der Technik wurden pauschal mit 100.000 € veranschlagt, da bei einer Gesamtanierung der Rückbau effizienter erfolgen kann.

Eine Beleuchtungssanierung in den verschiedenen Bereichen, die Tiefgarage ausgenommen, ist ebenfalls grob berücksichtigt. In der vereinfachten Betrachtung wird die Liegenschaft mit Spiegelraster-Leuchten ausgestattet (was auch für den weitaus größten Teil zutrifft), da allerdings auch Bereich mit minderwertiger Technik ausgestattet werden, wird ein Abschlag von 10% angenommen.

Zusammenstellung aller **Modernisierungsempfehlungen** folgenden Diagramm



Ergebnis aus TEK-WiBe-1.1\_Paul-Ehrlich-Schule.xlsm

**Alle unter „6 Modernisierungsempfehlung“ beschriebenen Betrachtungen sind nur als grobe Angaben zu verstehen. Um genaue Erkenntnisse vor allem bzgl. der Wirtschaftlichkeit zu erhalten, sind genaue Betrachtungen mit exakter Aufnahme der gesamten Haustechnik sowie der örtlichen Gegebenheiten und der Statik zu erstellen!**

## 7 Durchgeführte Messungen

Die technisch hoch ausgestattete Liegenschaft verfügt wie oben beschrieben über eine Vielzahl von Lüftungsanlagen, für die Kurzzeitmessung wurde ein der größeren Anlagen herausgesucht.

Es handelt sich dabei um die Anlage 12 – Abluft Physik und Chemie (Klassenräume).

Die Messungen wurden mit dem folgenden Dreiphasen-Datenlogger-Leistungsmessgerät durchgeführt: Leistungsmesser PCE-PA 8000, Messgenauigkeit des Gerätes:

### Wirkarbeit

Messbereich	Auflösung	Genauigkeit
0,000 ... 9,999 KWH	0,001 KWH	$\pm (1\% + 0,008 \text{ KWH})$
10,00 ... 99,99 KWH	0,01 KWH	$\pm (1\% + 0,08 \text{ KWH})$
100,0 ... 999,9 KWH	0,1 KWH	$\pm (1\% + 0,8 \text{ KWH})$
1000 ... 9999 MWH	0,001 MWH	$\pm (1\% + 0,008 \text{ MWH})$





### Abbildung 7-1: Durchführung der Messung Anlage 12 Abluft in der Paul-Ehrlich-Schule

Im Messzeitraum ab dem 07.04.2011 bis 20.04.2011 befanden sich auch die Osterferien ab dem 18.04.2011. Mit den Messungen während der Ferienzeit sollte die Abschaltung der Anlage überprüft werden.

Folgende Messwerte wurden ermittelt:

#### Messwerte:

Datum	Zeit	Energie- verbrauch Luftförderung kWh/d	Schultag ja/nein
Do, 07.04.2011	00:00:00	88,92	ja
Fr, 08.04.2011	00:00:00	71,50	ja
Sa, 09.04.2011	00:00:00	17,50	nein
So, 10.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Mo, 11.04.2011	00:00:00	89,20	ja
Di, 12.04.2011	00:00:00	85,80	ja
Mi, 13.04.2011	00:00:00	123,20	ja
Do, 14.04.2011	00:00:00	88,70	ja
Fr, 15.04.2011	00:00:00	57,90	ja
Sa, 16.04.2011	00:00:00	0,00	nein
So, 17.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Mo, 18.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Di, 19.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Mi, 20.04.2011	00:00:00	0,00	nein

Die Messungen lassen die komplette Abschaltung der Anlage während der Ferien erkennen.

Aus den gemessenen Tagesverbräuchen errechnete das Excel-Tool: 100623\_Hochrechnen\_Prognose.xls einen Jahresverbrauch von 16.529 kWh/a.

Für die Berechnungen im TEK-Tool wurde die gemessene Anlage mit einer Vielzahl weiterer Lüftungsanlagen zu einer „virtuellen Anlage“ zusammengefasst und somit für die einzelne Anlage kein Jahresverbrauch ermittelt.

Da zudem auch keine Unterzählung für die Anlage 12 existiert, kann über die Richtigkeit des hochgerechneten Jahresverbrauchs keine Aussage getroffen werden.

Die Nennleistung der Lüftungsanlage ist in den Unterlagen mit 15 kW angegeben, in den minütlich erfolgten Messungen traten Leistungswerte zwischen 8,5 und 22 kW (zum Anlaufzeitpunkt) auf.

Daraus ergibt sich eine gemessene Leistungsaufnahme der Anlage, die bei ca. 60% des in den Plänen angegebenen Wertes liegt. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Abweichung auch für andere Anlagen zutrifft. Eine Untersuchung des IWU's hatte bei 38 Anlagen eine mittlere Abweichung der Messung von 77% unter den Typenschildangaben gezeigt.

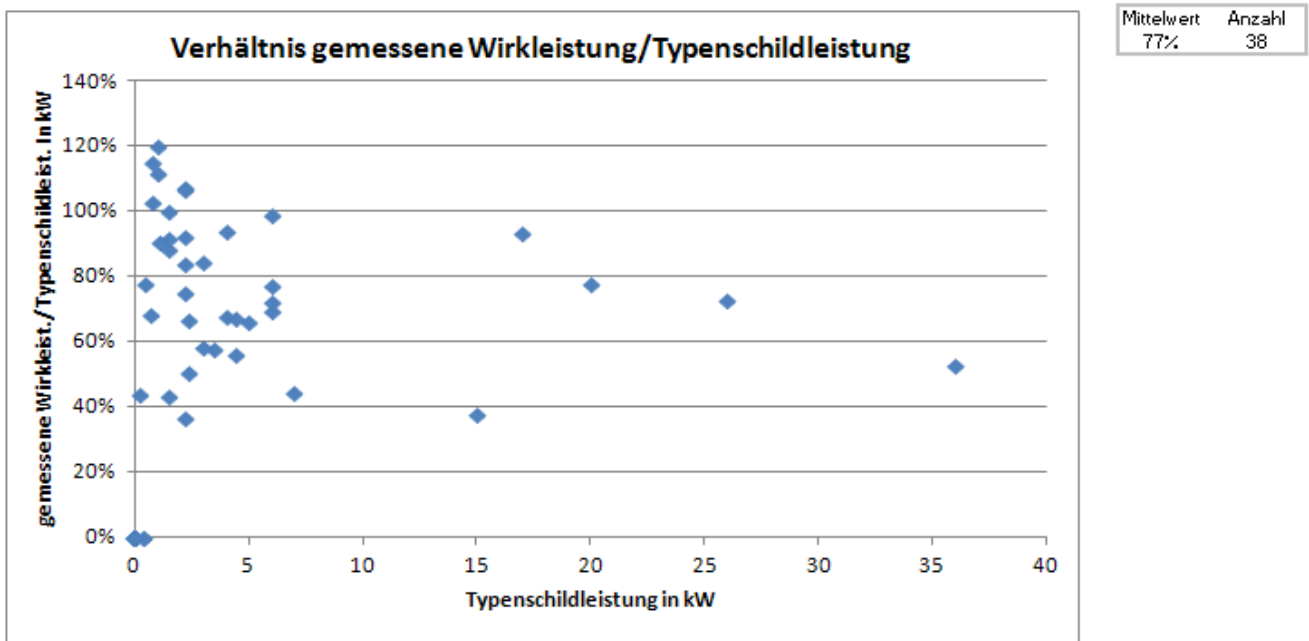
Zur Berücksichtigung der Abweichungen zwischen theoretischen und praktischen Werten wird für die zusammengefasste Anlage 1 im TEK-Tool der Faktor 0,77 nach den Messungen des IWU's angesetzt.



Das Gebäude verfügt noch über die ursprünglichen 18 Zuluftanlagen und 33 Abluftanlagen, teils als Zentrale Geräte im Untergeschoss oder auf dem Dach, teils als dezentrale Geräte in Zwischendecken und Schächten. Pläne über die Anlagen sind nicht verfügbar. Auch mit einer sehr aufwendigen Untersuchung der Lüftungsanlage im Jahr 2003 konnten nicht alle Typenschildangaben ermittelt werden. Daher mussten für diese meist kleineren Anlagen Annahmen aufgrund des Volumenstromes getroffen werden.

Die während der Messungen aufgenommen Betriebszeiten entsprechen nicht den normalen vom Betriebspersonal ursprünglich angegebenen Zeiten. Dies ist auf die während der Messung bereits praktizierte Betriebsoptimierung zurückzuführen, diese wird unter „6.1 Modernisierungsempfehlung 1- Optimierung der Betriebszeiten“ näher beschrieben.

Für die Betrachtung im TEK-Tool werden allerdings die ursprünglichen Betriebszeiten angesetzt, da sich diese in Relation zu den betrachteten Verbräuchen befinden!



**Abbildung 7-2: Verhältnis gemessene Wirkleistung/Typenschildleistung**

Quelle: IWU 2011 - Staatsarchiv-DA\_Typenschild-Messung\_V1.1.xlsb

## 8 Anhang – Literatur

- [1] Knissel, Jens und Hörner, Michael: Bewertung des Stromeinsatzes in Nicht-Wohngebäuden mit der Teilkennwertmethode; HLH Bd. 56, Dez. 2005, S. 66-70
- [2] VDI 3807-4: VDI 3807-4:2008-08 Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie; Beuth Verlag, Berlin 2008
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand; Berlin, 2009
- [4] Knissel, Jens: Methodische Grundlagen der Teilenergiekennwertanalyse von Nicht-Wohngebäuden mit dem TEK-Tool; Teilbericht im Rahmen des Forschungsprojekts „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (FKZ :03274331J) gefördert vom BMWi/PTJ; Darmstadt 2011
- [5] Ingenieurbüro Hans-Gerhard Kitzerow, Limburg:  
Energiekonzept Paul-Ehrlich-Schule – Schlussbericht; Dezember 2003,  
verfügbar unter [www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de](http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de)
- [6] Magistrat der Stadt Frankfurt am Main - Hochbauamt:  
Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2011; Februar 2011,  
verfügbar unter [www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de](http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de)

## 9 Anhang: Datenerhebung

### 9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

*Stichwortartige Beschreibung: Umfang der Unterlagen, Aktualität, etc.*

Von der untersuchten Liegenschaft liegen viele Pläne vor, allerdings ist eine Vollständigkeit nicht gegeben. Dies betrifft sowohl die architektonische als auch die Technische Seite.

Im Rahmen einer vorangegangenen ausführlichen Untersuchung durch ein Ingenieurbüro wurden intensive Recherchen bzgl. der Technischen Anlagen und der U-Werte angestellt. Diese wurden für die vorliegende Untersuchung zugrunde gelegt.

Die technischen Daten der Lüftungsanlagen liegen nicht vollständig vor, auch intensive Untersuchungen des Ingenieurbüros Hans-Gerhard Kitzerow konnten nicht alle Daten eruieren.

Es mussten daher im geringen Umfang Annahmen der Nennleistungen aufgrund der Volumenströme getroffen werden.

Die vorliegenden Bestandspläne waren nicht vollständig, so fehlten z. B. Ansichten des Bauteils C. Alle fehlenden Daten wurden mit Hilfe von Fotos und Messungen vor Ort ergänzt.

Beschreibung	Aktualität. (- / 0 / +)	Bemerkung
<input type="checkbox"/> Architektenpläne X bemaßte Grundrisse, 1:200 X bemaßte Schnitte, 1:200 X Ansichten	+	Unvollständig, Schnitte nur von der Turnhalle vorhanden!
<input type="checkbox"/> Baubeschreibung		-
<input type="checkbox"/> EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung		-
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Raumbuch, Flächenangaben <input type="checkbox"/> Angaben für Gesamtgebäude nach Kategorien DIN 277 <input type="checkbox"/> Angaben geschossweise <input type="checkbox"/> Angaben nach Nutzungszonen		-
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Gebäudehülle <input type="checkbox"/> Bauteilkatalog <input type="checkbox"/> Sonstiges		
X Technische Unterlagen Wärmeversorgungs-		Funktionsbeschreibung aus Energiekonzept



anlagen <input type="checkbox"/> Schemata <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen <input type="checkbox"/> Schemata <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	+	
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen RLT-Anlagen <input type="checkbox"/> Schemata <input checked="" type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Lüftungsgesuch <input type="checkbox"/> Abnahmemessungen <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	+	Unvollständig Funktionsbeschreibung aus Energiekonzept
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Beleuchtungsanlage <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
<input type="checkbox"/> Wartungsunterlagen <input type="checkbox"/> Verträge <input type="checkbox"/> Protokolle		
<input type="checkbox"/> Sonstige Unterlagen		

## 9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten

S. o.



Nr.	Größe	Angenommene Ausprägung	Bemerkung
1	Elektr. Leistung Lüftungsanlagen Innenzone 1	14 kW	Sechs Zuluftanlagen ohne Leistungsangaben, aufgrund der Volumenströme abgeschätzt (Gesamtleistung der zusammengefassten „virtuellen“ Anlage 211,5 kW)
2	Elektr. Leistung Lüftungsanlagen 12m4 – 12m16	2,4 kW	Fünf Abluftanlagen ohne Leistungsangaben, aufgrund der Volumenströme abgeschätzt (Gesamtleistung der zusammengefassten „virtuellen“ Anlage 106,4 kW)
3	Elektr. Leistung Lüftungsanlagen Technikum	1 kW	Zuluftanlage ohne Leistungsangaben, aufgrund des Volumenstromes von 3000 m <sup>3</sup> /h abgeschätzt
4	Elektr. Leistung Lüftungsanlagen Technikum	1 kW	Abluftanlage ohne Leistungsangaben, aufgrund des Volumenstromes von 3000 m <sup>3</sup> /h abgeschätzt

## 10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes

Im Folgenden sind die Dauerlinie des elektrischen Energieverbrauchs (Abbildung 10-1), das Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs (Abbildung 10-2) sowie der Tagesverbrauch an elektrischer Energie im Zeitverlauf (Abbildung 10-3) dargestellt.

In den folgenden Diagrammen werden die hohen elektrischen Leistungen sichtbar, die zum größten Teil auf die hohe Ausstattung mit Lüftungsanlagen (51 Anlagen) zurückzuführen sind.

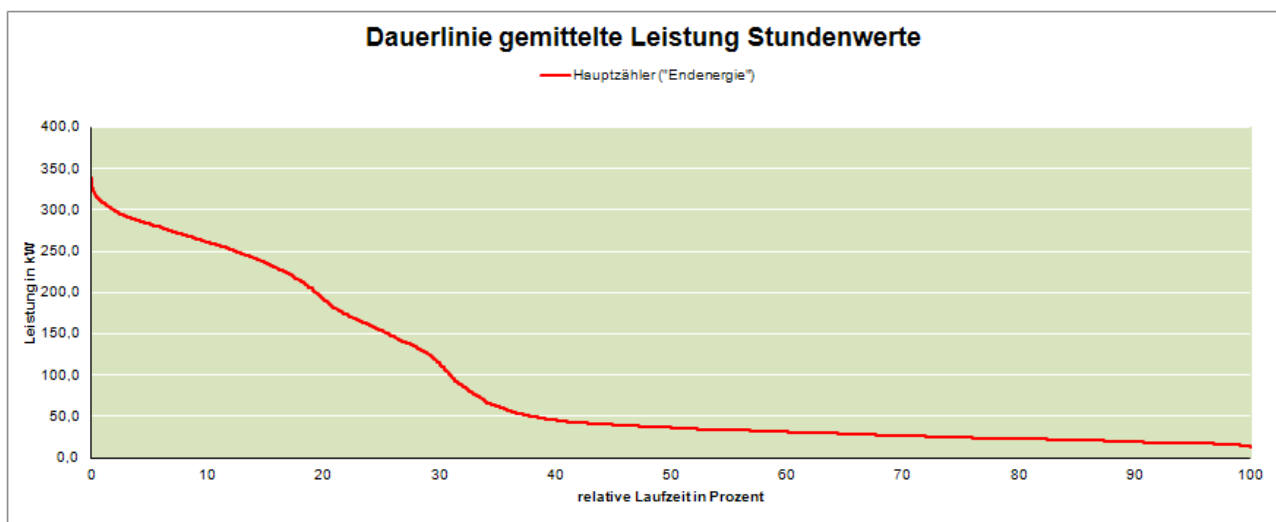


Abbildung 10-1 Dauerlinie des elektrischen Energieverbrauchs

In der Dauerlinie des elektrischen Energieverbrauchs fällt auf, dass die Leistung im ersten Drittel relativ gleichmäßig steil abfällt, von ca. 350 kW bis ca. 50 kW. Dieser Zeitraum entspricht in etwa





den Nutzungsstunden der Liegenschaft. Die bei ähnlichen Gebäuden ist die Kurvencharakteristik im linken Bereich zunächst von einer steiler abfallenden und dann erst abflachenden Kurve geprägt. Daher ist aus der Kurve in den Nutzungszeiten eine im Durchschnitt zu ähnlichen Gebäuden relativ hohe Leistungsabnahme zu erkennen.

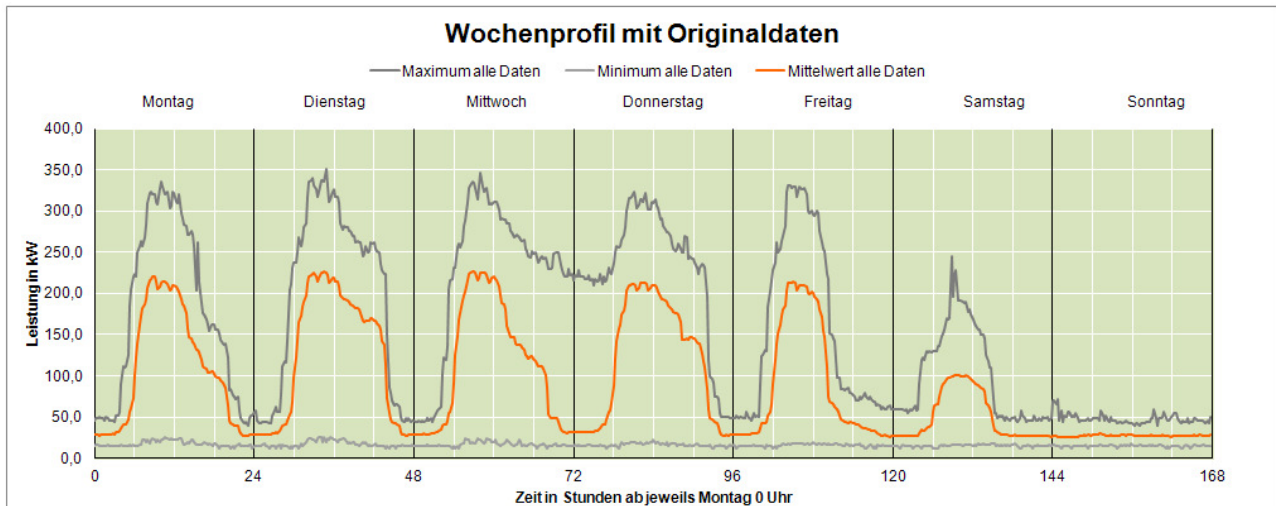


Abbildung 10-2 Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs

Im Wochenprofil ist im Mittelwert aller Daten (also mit Ferienzeiten) ein steiler Anstieg montags bis freitags zu erkennen, der Abstand zum Maximum resultiert zum großen Teil aus den Ferienzeiten. Die Anlagen wurden also über das Jahr relativ gleichmäßig komplett zum Nutzungsbeginn hochgefahren und erst am Nachmittag wieder zurückgenommen. Es stellte sich heraus, dass die Anlagen wesentlich effizienter betrieben werden konnten (siehe dazu auch: „6.1 Modernisierungsempfehlung 1- Optimierung der Betriebszeiten“)

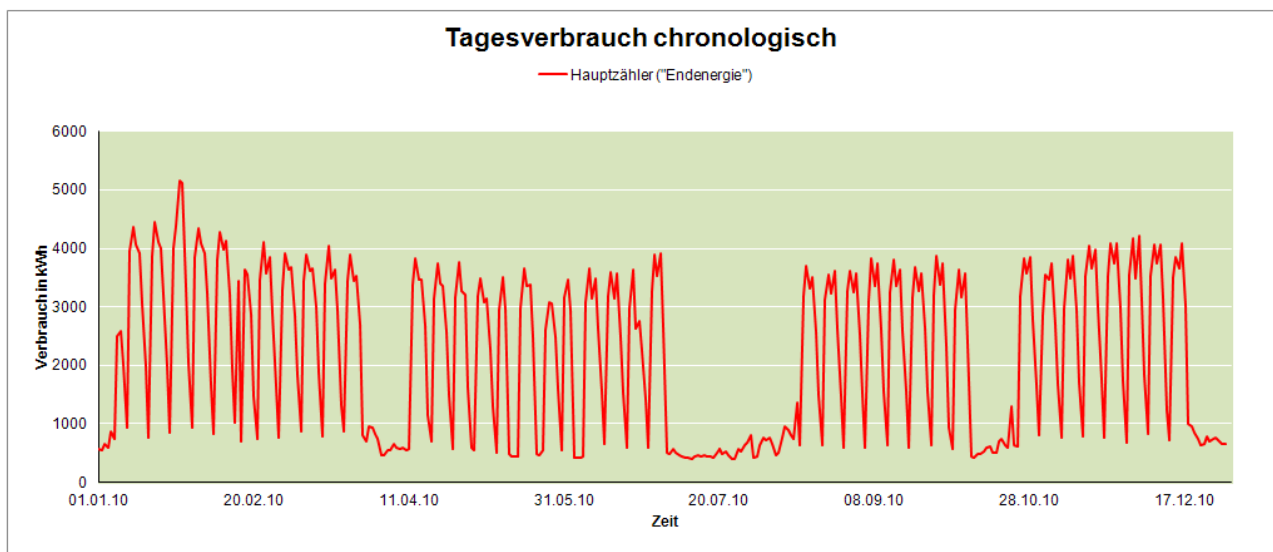


Abbildung 10-3 Tagesverbrauch an elektrischer Energie im Zeitverlauf

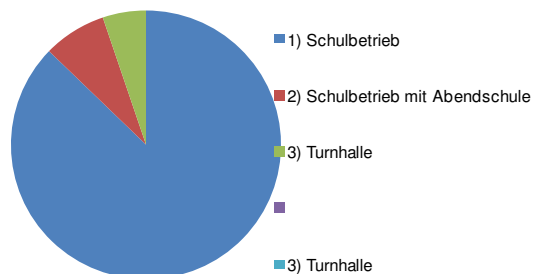
Bei Betrachtung des der Tagesverbräuche über das Jahr fällt eine relative Gleichmäßigkeit auf. Somit ist davon auszugehen, dass die Beleuchtungsanlage nur einen geringen Teil ausmacht.



Da von der Anschlussleistung her die Lüftungsanlagen mit ca. 270 kW (davon 245 kW die virtuelle RLT-Anlage der Zone 1) neben den Beleuchtungsanlagen mit ca. 234 kW die größte Verbrauchsbereiche darstellen, kann auch hier der Hauptteil des Energieverbrauchs der Lüftungstechnik zugeschlagen werden. Dies ist auch in den vom TEK-Tool ermittelten Bedarfsstrukturen ersichtlich.

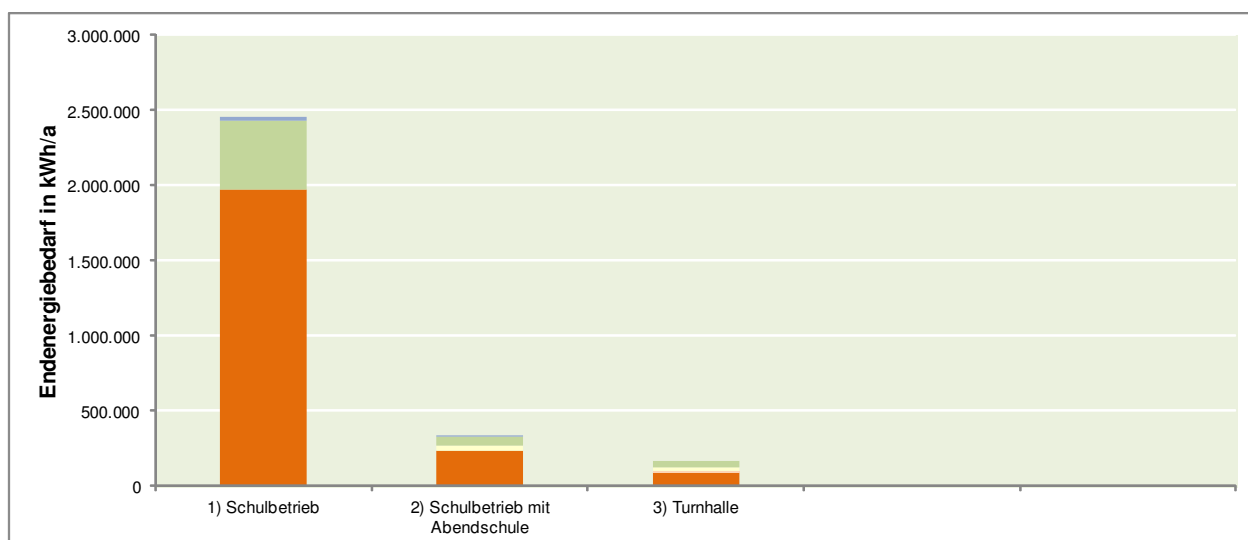
## 11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

### 2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



	Fläche m²	Anteil an beh. NGF
1) Schulbetrieb	10.845	94%
2) Schulbetrieb mit Abendschule	944	8%
3) Turnhalle	646	6%
	12.435	108%

### 2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



### 2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

Bezeichnung	1) Schulbetrieb		2) Schulbetrieb mit Abendschule		3) Turnhalle		#WERT!		#WERT!	
Fläche der Nutzungseinheit	10845 m²		944 m²		646 m²		#WERT!		#WERT!	
	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)
	-		-		-		-		-	
Arbeitshilfen	Gering	2	Mittel	5		0				
Dampf		0		0		0				
Kälte		0		0		0				
Luftförderung	Hoch	42	Hoch	63	Sehr hoch	74				
Beleuchtung		0	Sehr hoch	32	Hoch	33				
Warmwasser		0		0	Sehr gering	21				
Heizung	Hoch	182	Sehr hoch	251	Sehr hoch	135				

Abbildung 11-1: Bewertung je Nutzungseinheit

## 12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene

3.1 Heizung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Berufsschule	08 Klassenzin	6.994	1	Sehr hoch	243,6	575,9	423	36,1	123,5	292
2) Berufsschule mit Abendr	08 Klassenzin	944	2	Sehr hoch	250,6	588,7	426	36,1	123,5	292
3) Technikum/Werkstätten	08 Klassenzin	983	1	Mittel	98,4	112,0	879	36,1	123,5	292
4) Turnhalle	31 Sporthalle	646	3	Sehr hoch	135,4	425,6	318	16,0	68,2	235
5) Foyer/Flure/Nebenräume	19 Verkehrsflä	1.985	1	Mittel	88,8	48,2	1.842	35,6	15,7	2.269
6) Tiefgarage	32 Parkhaus	883	1							

**Tabelle 12-1: Bewertung auf Zonenebene - Heizung**

3.2 Beleuchtung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nr. Beleuch- tungsanlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Berufsschule	08 Klassenzin	6.994	1	Sehr gering	0,0	22,2	0	6,1	7,9	770
2) Berufsschule mit Abendr	08 Klassenzin	944	1	Sehr hoch	32,2	22,2	1.450	6,7	7,9	846
3) Technikum/Werkstätten	08 Klassenzin	983	1	Sehr gering	0,0	22,2	0	5,2	7,9	660
4) Turnhalle	31 Sporthalle	646	3	Hoch	33,2	22,4	1.482	14,2	8,1	1.744
5) Foyer/Flure/Nebenräume	19 Verkehrsflä	1.985	2	Sehr gering	0,0	9,1	0	1,4	4,5	306
6) Tiefgarage	32 Parkhaus	883	4	Sehr gering	0,0	4,0	0	0,4	2,0	208

**Tabelle 12-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung**



### 3.3 Luftförderung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nr. RLT- anlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Berufsschule	08 Klassenzin	6.994	1	Hoch	63,3	30,9	2.052	15,0	8,3	1.800
2) Berufsschule mit Abendr	08 Klassenzin	944	1	Hoch	63,3	30,9	2.052	15,0	8,3	1.800
3) Technikum/Werkstätten	08 Klassenzin	983	2	Sehr gering	4,2	2,0	2.052	15,0	8,3	1.800
4) Turnhalle	31 Sporthalle	646	3	Sehr hoch	74,1	27,9	2.660	12,8	2,5	5.100
5) Foyer/Flure/Nebenräume	19 Verkehrsflä	1.985	1	Mittel	0,0	0,0	2.052	0,0	0,0	3.250
6) Tiefgarage	32 Parkhaus	883	4	Gering	11,6	5,7	2.052	13,0	4,0	3.250

**Tabelle 12-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung**

### 3.4 Kälte

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Berufsschule	08 Klassenzin	6.994	1							
2) Berufsschule mit Abendr	08 Klassenzin	944	2							
3) Technikum/Werkstätten	08 Klassenzin	983	1							
4) Turnhalle	31 Sporthalle	646	3							
5) Foyer/Flure/Nebenräume	19 Verkehrsflä	1.985	1							
6) Tiefgarage	32 Parkhaus	883	1							

**Tabelle 12-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte**

### 3.5 Dampfbefeuchtung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Berufsschule	08 Klassenzin	6.994	1							
2) Berufsschule mit Abendr	08 Klassenzin	944	2							
3) Technikum/Werkstätten	08 Klassenzin	983	1							
4) Turnhalle	31 Sporthalle	646	3							
5) Foyer/Flure/Nebenräume	19 Verkehrsflä	1.985	1							
6) Tiefgarage	32 Parkhaus	883	1							

**Tabelle 12-5: Bewertung auf Zonenebene Dampfbefeuchtung**

## 13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation

### 2.1 Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung - Kennwerte sind auf die beheizte Nettogrundfläche des Gebäudes bezogen

2.1.1 spezifische Hüllfläche				
	Bauteilfläche (BTF)		U-Wert	g_tot
	spezifisch	absolut		
	m <sup>2</sup> <sub>BTF</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	m <sup>2</sup> <sub>BTF</sub>	W/(m <sup>2</sup> K)	-
Außenwand	0,424	4.898	1,39	-
Dach	0,299	3.456	0,79	-
Kellerdecke	0,302	3.493	1,30	-
Fenster O,S,V	0,094	1.088	2,90	0,00
Fenster N	0,077	889	2,90	0,00
Fenster hor.	0,003	37	2,90	0,00
ges. Gebäude	1,200	13.861	1,44	0,00

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften				
spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	8,40 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)			
Raumsolltemperatur Heizung	19,5 °C			
Raumsolltemperatur Kühlung	0,0 °C			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	255 Lux			
Nutzungszeit	1.829 h/a			
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	86 Wh/(m <sup>2</sup> d)			

2.1.5 Luftförderung			
	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	206.230	205.500	m <sup>3</sup> /h
Dimensionierungsfaktor	210%	209%	
installierte Leistung	175,00	95,00	kW
spezifische Ventilatorleistung	3,05	1,66	kW/(m <sup>3</sup> s)
Vollbetriebszeit	2090	2097	h/a
Endenergiebedarf	31,7	17,2	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergiebedarf	82,3	44,8	kWh/(m <sup>2</sup> a)

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)	
Nutzenergiebedarf	188,9 kWh/(m <sup>2</sup> a)
davon Warmwasser	0,9 kWh/(m <sup>2</sup> a)
zusätzliche Verluste Verteilung*	11,4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Erzeugernutzwärmeabgabe	200,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	6.583 kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	46%
Erzeugeraufwandszahl	1,00 -
Endenergie Wärmeerzeugung	200,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Wärmeerzeugung	260,4 kWh/(m <sup>2</sup> a)

**Tabelle 13-1: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 1**

2.1.3 Nutzenergie Raum- und RLT-System			
Nutzenergiebedarf Heizung und Kühlung			
	Heizung	Kälte	Dampf
	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a)		
Raumsystem	76,0	0,0	-
RLT-Anlage	112,1	0,0	0,0
Summe	188	0	-

max. Heiz- bzw. Kühllast			
	Heizung	Kälte	
	W/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>		
Raumsystem	249	0	
RLT-Anlage	190	0	
Summe	438	0	

2.1.4 Beleuchtung	
installierte Leistung	234 kW
mittlere Bewertungsleistung	20,3 W/m <sup>2</sup>
Vollbetriebszeit	221 h/a
Endenergie Beleuchtung	4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergie Beleuchtung	12 kWh/(m <sup>2</sup> a)

2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)	
Nutzenergiebedarf	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Erzeugernutzkälteabgabe	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
maximale thermische Kälteleistung	0 kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	
Jahreskälteleistungszahl	0,00 -
Endenergie Kälteerzeugung	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Kälteerzeugung	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	0,0
Teilkennwert Kalt-/Kühlwasserverteilung	0,0 kWh/(KW a)

2.1.8 Dampferzeugung	
Endenergiefaktor	0,00 -
Endenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)

\*) Ein Teil der Verteilverluste reduziert den Nutzenergiebedarf Heizung  
 \*\*) (Nennwärmeleistung Typenschild)/(berechnete max. Heizleistung \* 1,4)  
 \*\*\*) (Nennkälteleistung Typenschild)/(berechnete max. Kälteleistung \* 1,4)

**Tabelle 13-2: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 2**

**2.2.2 Zoneninformationen**

11.552	m²	Grundfläche aller beheizten Zonen						Konditionierung ( 1=vorhanden)				Nutzenergie			
0	m²	Grundfläche aller gekühlten Zonen													
		Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche m²	RLT-Anlage Nr	Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Heizung Zone+RLT Erzeuger		Kälte Zone+RLT Erzeuger		kWh/(m²a) <sup>1</sup>		
Kennwerte bezogen auf die gesamte beheizte bzw. gekühlte Fläche				12.435					188		199				
Zone 1		Berufsschule	08 Klassenzin	6.994	1	1 /	1	/	232,5		243,6				
Zone 2		Berufsschule mit Abendnutz	08 Klassenzin	944	1	1 /	1	/	239,5		250,5				
Zone 3		Technikum/Werkstätten	08 Klassenzin	983	2	1 /	1	/	87,3		98,4				
Zone 4		Turnhalle	31 Sporthalle	646	3	1 / 1	1	/	124,3		135,4				
Zone 5		Foyer/Flure/Nebenräume	19 Verkehrsflä	1.985	1	1 /	1	/	77,7		88,8				
Zone 6		Tiefgarage	32 Parkhaus	883	4	/	1	/							
Zone 7															
Zone 8															
Zone 9															
Zone 10															

1) Flächenbezug: Zonenfläche

**Tabelle 13-3: Übersicht Zonen****2.2.3 Beleuchtungsanlagen**

12.435 m² Grundfläche aller belichteten Zonen											
Zonenname		Zonen- fläche  m²	Beleuchtungssystem  Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungs-  stärke  Lux	elektrische Bewertungsleistung			Regelung	Endenergie- bedarf  kWh/(m²a)		
					W/m² <sup>1</sup>	W/(m² 100lux)	Ermittlung				
Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche		12.435		252	19	7			4		
Zone 1	Berufsschule	6.994	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	22,2	7,4	Lamp. zählen	man.	0		
Zone 2	Berufsschule mit Abendnutz	944	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	22,2	7,4	Lamp. zählen	man.	32		
Zone 3	Technikum/Werkstätten	983	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	22,2	7,4	Lamp. zählen	man.	0		
Zone 4	Turnhalle	646	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	22,4	7,5	Lamp. zählen	man.	33		
Zone 5	Foyer/Flure/Nebenräume	1.985	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	100	9,1	9,1	Lamp. zählen	man.	0		
Zone 6	Tiefgarage	883	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	75	4,0	5,3	Lamp. zählen	man.	0		
Zone 7											
Zone 8											
Zone 9											
Zone 10											

1) Flächenbezug: Zonenfläche

**Tabelle 13-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen****2.2.4 RLT-Anlagen (bezogen auf die jeweils belüftete Fläche)**

				Zuluft		Abluft					
Bezeichnung	belüftete Fläche m²	Heiz-/ Kühlregister	Befeuchter / WRG <sup>1</sup>	max. Vol- umenstrom m³/h	max. elektr. Leistung kW	max. Vol- umenstrom m³/h	max. elektr. Leistung kW	Dimensionie- rungsfaktor <sup>2</sup>	spezifische Leistungsauf. kW/(m³/s)	Endenergie kWh/(m²a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN V 18599 kWh/(m³/h a)
Kennwerte bez. a. d. ges. mech. bel. Fläch				12.435	206.230	175,00	205.500	95,00	226%	2,36	45,43
RLT 1	BT A + BT B	9.923	Heizreg. kein / kein	191.730	163,00	181.000	82,00	242%	2,37	89%	15,41

1) Sp-nr = Sprühbefeuchter nicht regelbar; Sp-r = Sprühbefeuchter regelbar; Dmpf = Dampfbefeuchter; W = Wärmerückgewinnung; WF = Wärme- und Feuchterückgewinnung

2) Nennvolumenstrom bezogen auf hygienischen Mindestaußenluftbedarf der versorgten Zonen

**Tabelle 13-5: Übersicht RLT-Anlagen**

**2.2.5 Dezentrale Wärmeerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)**

	vers. Fläche m <sup>2</sup>	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>
Heizung				
Elektrische Direktheizung				
Elektrische Speicherheizung				
Warmwasser				
el. Durchlauferhitzer				
el. Kleinspeicher				

**2.2.6 Zentrale Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (bezogen auf die gesamte von zentralen Wärmeerzeugern beheizte Fläche)**

11.552	m <sup>2</sup>	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen						
646	m <sup>2</sup>	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen						
Bezeichnung		Erzeugerart	Baujahr	thermische Nennleistung <sup>2</sup> kW	Erzeugerauf- wandszahl Heizung    Warmwasser	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) bzw. Anteil		
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral beheizte Fläche				3.000	1,00    1,00	200		
Wärmeerz. 1		Fernwärme	1998	3000	1,00    1,00	100%		
Wärmeerz. 2								

2) Vor Ort ermittelt, d.h. kein Berechnungsergebnis

**Tabelle 13-6: Übersicht Wärmeerzeuger****2.2.7 Dezentrale Kälteerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)**

	vers. Fläche m <sup>2</sup>	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>
Kompaktklimagerät (Fenster, Wand)				
Split-System - ein/aus				
Split-System - stetig geregelt				
Multi-Split-System - ein/aus				
Multi-Split-System - stetig geregelt				
VRF-System variabler Kühlmassenstrom				

**2.2.8 Zentrale Kälteerzeuger (bezogen gesamte von zentralen Kälteerzeugern gekühlte Fläche)**

0	m²	Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche							
Bezeichnung		Erzeugerart	Baujahr	thermische Kälteleistung <sup>2</sup> kW	Nennkälte-leistungszahl	mittlerer Teil-lastfaktor	Teilkennwert Kälteerzeugung	Erzeuger-aufwandszahl	Endenergie kWh/(m²a) bzw. Anteil
			-	0,0	-	-	-	-	-
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral gekühlte Fläche				0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
Erz. 1									
Erz. 2									

2) Vor Ort ermittelt, d.h. kein Berechnungsergebnis

**Tabelle 13-7: Übersicht Kälteerzeuger**



## 14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool

### 14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen

-

### 14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofile DIN V 18599

Differenzen zwischen der vorgefundenen Nutzung und den Standardnutzungen der DIN V 18599 traten insbesondere bei folgenden Punkten auf

### 14.3 Vereinfachte Hüllflächenermittlung

Zur überschlägigen Ermittlung der Hüllfläche ist im Zuge des Forschungsprojektes ein Verfahren zur vereinfachten Hüllflächenermittlung entwickelt worden. Dieses soll im Rahmen der Gebäudeanalysen getestet werden. Deswegen werden ergänzend zur vereinfachten Hüllflächenermittlung die tatsächlichen Hüllflächen ermittelt und die Differenzen ermittelt. In Tabelle 14-1 sind die Differenzen als Prozentwert zur detaillierten Ermittlung dargestellt. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die Auswirkungen der objektspezifischen und vereinfachten Hüllflächenermittlung auf das Verhältnis Bedarf/Verbrauch sowie End- und Primärenergiekennwerte und die Gesamtbewertung für das Gebäude dargestellt.

Auswertung für TEK-Projekt: Prozentuale Differenz von "in Berechnung verwendet" zu "objektspez. thermischen Hüllfläche"					
	Thermische Gebäudehülle in m² (Außenmaßbezug)				
	Süd	Ost	West	Nord	Horizontal
Fensterfläche (Rohbaumaß)	22%	81%	-15%	-6%	-29%
Außenwand (Außenluft)					-37%
Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)					
Dach bzw. oberste Geschossdecke					-25%
Kellerdecken/-fußbodenfläche					-25%
ges. Hüllfläche	-15%	ges. Fassadenfl.	-6%	ges. Fensterfl.	7%

**Tabelle 14-1: Prozentuale Abweichung von vereinfacht ermittelten Hüllflächen und detailliert ermittelten Hüllflächen (bezogen auf die detailliert ermittelte Hüllfläche)**

### 14.4 Teilenergiekennwertbewertung

Für die Gebäudeanalyse wird vom Programm automatisch die so genannte Teilenergiekennwertbewertung durchgeführt. Diese gibt eine erste Einschätzung der energetischen Effizienz je Gewerk. Hierzu wird der berechnete Bedarf mit für die Standardnutzungen tabellierten Teilenergiekennwerten verglichen. Die Teilenergiekennwertbewertung wird auf Zonenebene (Abschnitt 12) vorgenommen und über die Nutzungseinheit (Abschnitt 11) auf Gebäudeebene (Tabelle 4-1) aggregiert.

Die Teilenergiekennwertbewertung geht von den für die Zonen gewählten Standardnutzungen aus. Die Wahl der Standardnutzungen hat damit für die Teilenergiekennwertbewertung entscheidende



Bedeutung. Da die Teilenergiekennwerte zunächst nur für die Standardnutzungen gelten, müssen die Teilenergiekennwertbewertungen vor dem Hintergrund der gewählten Standardnutzungen und den realen Randbedingungen vom Energieberater auf Plausibilität geprüft werden.

Für die Gebäudeanalyse werden überwiegend die Teilenergiekennwertbewertungen auf Zonenebene aus Abschnitt 12 herangezogen. In Abschnitt 12 werden neben der Bewertung des Ist-Zustandes die tabellierten Teilenergiekennwerte für die Energieaufwandsklasse „gering“ ausgewiesen. Die Aufwandsklasse „gering“ repräsentiert einen üblichen Neubaustandard. Dieser Wert gibt einen Anhaltspunkt, welcher Zustand im Rahmen der Modernisierung erreichbar ist. Neben den Endenergiekennwerten werden auf Zonenebene die spezifische Leistung und die Vollbetriebszeit angegeben. Der Vergleich mit der Klasse „gering“ gibt einen Hinweis, ob Verbesserungen eher bei der installierten Leistung oder der Betriebszeit möglich sind.

Der Test der automatischen Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung ist Teil des Forschungsprojektes. Deswegen werden im Folgenden neben den zutreffenden und hilfreichen Bewertungen auch die nicht zutreffenden Bewertungen aufgezeigt.



## 15 Interner Anhang – Kurzzeitmessungen

### Prognose Luftförderung

#### Messwerte:

Datum	Zeit	Energie- verbrauch Luftförderung kWh/d	Schultag ja/nein
Do, 07.04.2011	00:00:00	88,92	ja
Fr, 08.04.2011	00:00:00	71,50	ja
Sa, 09.04.2011	00:00:00	17,50	nein
So, 10.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Mo, 11.04.2011	00:00:00	89,20	ja
Di, 12.04.2011	00:00:00	85,80	ja
Mi, 13.04.2011	00:00:00	123,20	ja
Do, 14.04.2011	00:00:00	88,70	ja
Fr, 15.04.2011	00:00:00	57,90	ja
Sa, 16.04.2011	00:00:00	0,00	nein
So, 17.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Mo, 18.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Di, 19.04.2011	00:00:00	0,00	nein
Mi, 20.04.2011	00:00:00	0,00	nein
13.04.2011		44,48	

Einteilung Typtage		4
Einteilung 4 (Schultag-Nicht)		
Bez. Typtag	Zeitanteil	Energieverbrauch Mittelwert Messdaten
Schultag	0,51	86,46
Nicht-Schultag	0,49	2,50
	1,00	45,29

#### Prognosen

Energieverbrauch	16.529,06	kWh/Jahr
Luftförderung	12,14	kWh/m²Jahr

Die Kurzeitmessung wurde mit einem Dreiphasen-Datenlogger-Leistungsmessgerät (Leistungsmesser PCE-PA 8000, technische Daten siehe Kapitel 7) an einer Zentralen Lüftungsanlage über einen Zeitraum von 14 Tagen durchgeführt. Das Excel-Tool 100623\_Hochrechnen\_Prognose.xls errechnet aus den Messergebnissen einen Jahresverbrauch von 16.529 kWh/a. Da keine Unterzählung für diese Anlage existiert kann über das Zutreffen dieses Wertes keine Aussage gemacht werden.

Die Nennleistungsangabe für die Anlage im Schaltplan beträgt 15 kW, gemessen wurden Werte zwischen 8,5 und 22 kW.

Weitere Ausführungen siehe Kapitel 7.

[www.warensortiment.de](http://www.warensortiment.de)



PCE Deutschland GmbH  
Im Langej 4  
Deutschland  
D-59872 Meschede  
Tel: 029 03 976 99-0  
Fax: 029 03 976 99-29  
Info@warensortiment.de  
[www.warensortiment.de](http://www.warensortiment.de)

## Bedienungsanleitung Energiesmessgerät PCE-PA 8000



Version 2.1  
04.02.2011



## 16 Fotos der Liegenschaft



Nordansicht Bauteil (BT) C



Nordansicht BT A+B





Südansichten BT B + C



Südansichten BT A+B





Luftspalt zwischen Bauteil B und C

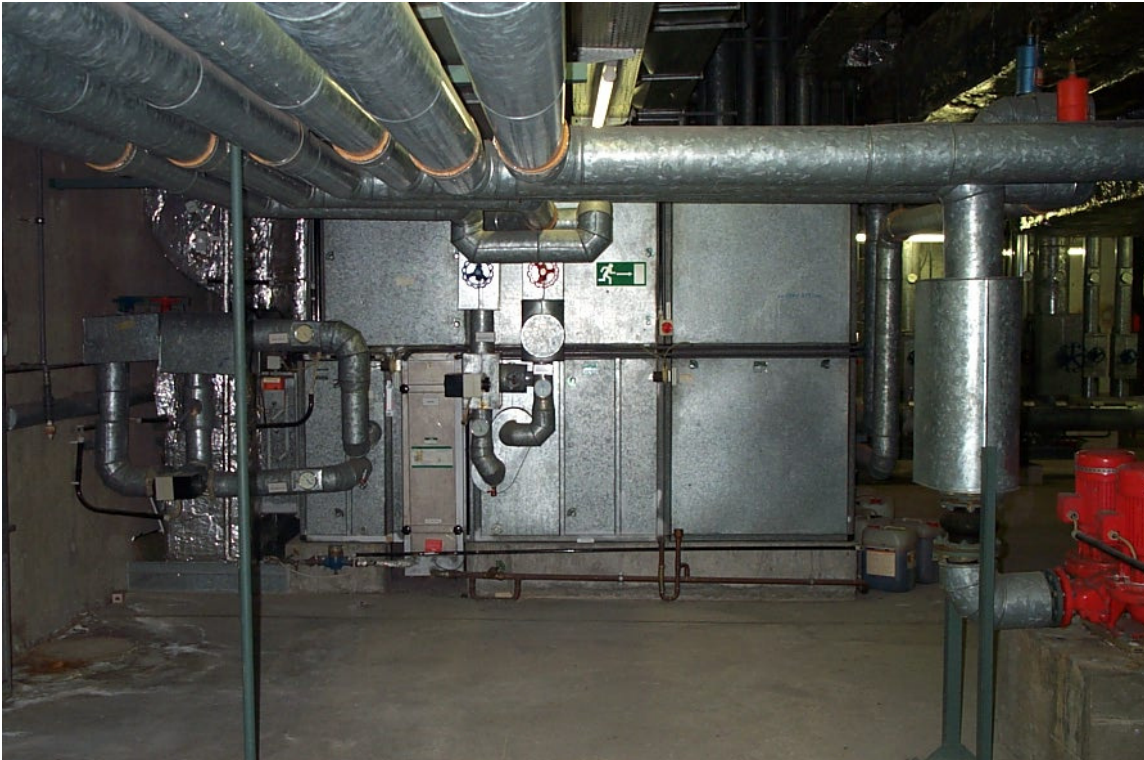




Brüstungsgerät



Zentrale Lüftungsanlage



Zentrale Lüftungsanlage



Turnhalle





## 17 Interner Anhang Zeitaufwand

Tab. 1: Zeitaufwand für die Gebäudeanalysen			
Projektbeschreibung		-	Berufsbildende Schule mit Abend- _ und Fachschule und Turnhalle
Gebäude		-	Paul-Ehrlich-Schule _ Berufsbildende Schule
Energiebezugsfläche		m²	11.552
Zeitaufwand für Bearbeitung in h			
Lfd. Nr.	Aufwand in h	Rationalisie- rungsfaktor	Bescheibung
23,00		13%	<b>Datenbeschaffung</b>
1	15,00	0,20	Beschaffen und auswerten existierender Unterlagen
2	8,00	0,00	Vor-Ort-Termin
35,00		40%	<b>Gebäudeanalyse mit TEK-Tool</b>
3	8,00	0,50	Zonierung, Zonenflächen
4	8,00	0,20	Objektspezifische Hüllfläche bestimmen
5	6,00	0,50	Softwareeingabe
6	8,00	0,50	Plausibilitätsprüfung
7	5,00	0,30	Modernisierungsempfehlungen
37,00		35%	<b>Weitere Untersuchungen</b>
8	10,00	0,50	Verbrauchsanalysen
9	4,00	0,50	Lastganganalysen
10	8,00	0,20	Kurzzeitmessungen
11	15,00	0,30	Dokumentation und Präsentation
7,30		10%	<b>Sonstiges</b>
12	7,30	10%	Überarbeitung 08. - 13.02 2012
13	0,00	0%	
14	0,00	0%	
102,30		30%	<b>Gesamt</b>

**Tabelle 17-1: Zeitaufwand für Gebäudeanalysen**

Bemerkungen:

Die vorliegende Untersuchung wurde im Zeitraum von Anfang März 2011 bis Mitte Oktober 2011 erstellt, also mit der TEK-Tool Version 5.2 begonnen und mit der Version 5.5 beendet.

Die Bearbeitung über diesen langen Zeitraum stellte sich als problematisch heraus, da Informationen über diesen langen Zeitraum teilweise nicht mehr präsent waren und die Daten mit der Weiterentwicklung des Tool angepasst werden mussten.

Auch die Fehleranalyse in den verschiedenen TEK-Tool-Versionen nahm viel Zeit in Anspruch.