

Energieberatungsbericht zur Musterschule Frankfurt am Main

**Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes
Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden**

Stand: 25.04.2012

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	Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden – Methodische Grundlagen, empirische Erhebungen und systematische Analyse
Kurztitel	TEK
Gefördert durch	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Projektteilnehmer	<ul style="list-style-type: none">• Institut Wohnen und Umwelt – IWU (Projektleitung)• Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE• Karlsruher Institut für Technologie KIT - Fachbereich Bauphysik & Technischer Ausbau fbta• ARGE-Benchmark• Energie 2000• Ingenieurbüro Jung• Stadt Frankfurt am Main• Techem Energie-Contracting
Geschäftsadresse	Institut Wohnen und Umwelt GmbH Rheinstraße 65 64295 Darmstadt Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0 Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97
Dokument	E:\Liegenschaften\Stadtschulamt\Schulen\Musterschule_Oberweg-5-9\TEK-Projekt\TEK-Bericht

Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main

Energiemanagement

Michael Nitze

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

Tel: 069 212-

e-mail: michael.nitze@stadt-frankfurt.de

25.04.2012, Frankfurt a. M.

Datum, Ort

Unterschrift, Stempel



Inhalt

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung und Aufgabenstellung	3
3 Projekt- und Gebäudebeschreibung	4
4 Bewertung des Ist-Zustandes	4
4.1 Gemessene Verbrauchsdaten.....	5
4.2 Lastganganalysen.....	8
4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme.....	9
4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie.....	10
4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes.....	12
4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch.....	12
4.3.2 Berechnete Energiekennwerte.....	13
5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung	18
6 Modernisierungsempfehlungen	20
6.1 Modernisierungsempfehlung 1:.....	20
6.2 Modernisierungsempfehlung 2:.....	20
6.3 Modernisierungsempfehlung 3:.....	22
6.4 Modernisierungsempfehlung 4:.....	22
6.5 Modernisierungsempfehlung 5:.....	24
7 Durchgeführte Messungen	26
8 Anhang – Literatur	27
9 Anhang: Datenerhebung	28
9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	28
9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten.....	29
10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes	30
11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit	31
12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene	32
13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation	37
14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool	44
14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen.....	44



14.2	Differenzen zu Standardnutzungsprofile DIN V 18599	44
14.3	Vereinfachte Hüllflächenermittlung.....	45
14.4	Teilenergiekennwertbewertung	45
15	Interner Anhang – Kurzzeitmessungen.....	48
16	Interner Anhang Zeitaufwand	50

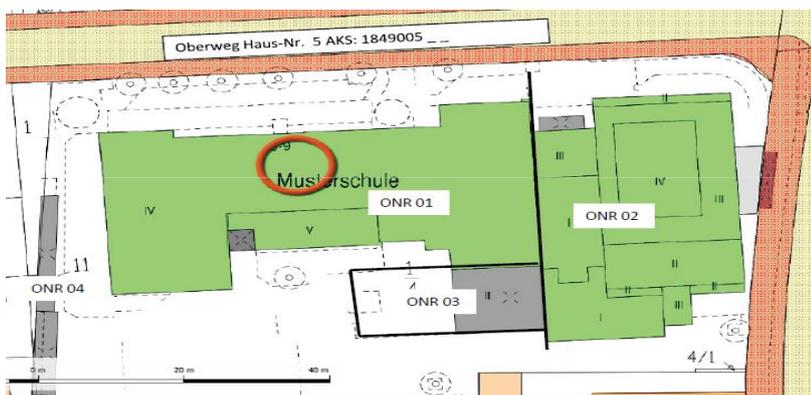


1 Zusammenfassung

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



Beim untersuchten Gebäude handelt es sich um einen in mehreren Bauabschnitten entstandenen Schulbau. Der alte Schulbau (**ONR 01**) wurde um ca. 1900 im Stil der Gründerzeit erbaut. Die im 2. Weltkrieg entstandenen Kriegsschäden wurden in der Nachkriegszeit wieder aufgebaut. Im Bereich der Eckenheimer Landstraße wurde Anfang der achtziger Jahre ein großer Erweiterungsbau (**ONR 02**) geschaffen. Im Jahre 2007 wurde im Bereich der Hoffassade eine neue Cafeteria (**ONR 03**) angebaut. Die Haustechnik des Gebäudes ist im Untergeschoss sowie den Dachbereichen eingebaut. Die Gebäudehüllflächen und die Haustechnik der Altbauten entsprechen wärmetechnisch nicht dem heute gültigen Stand der Technik.



Der berechnete Primärenergiebedarf des Gebäudes beträgt 156 kWh/(m²a). Angesichts der Randbedingungen der Gebäudehülle mit Teilsanierung Fenster Altbau und haustechnischen Anlagen ist dieser Wert als sehr gut einzustufen. Die Heizungsanlage samt Hauptverteilung wurde 2009 erneuert, ebenso die MSR-Technik aller Heizungs- und Lüftungsanlagen. Eine Sanierung der Beleuchtung im Altbau erfolgte fast zeitgleich.

Für die Sanierung werden Dämmmaßnahmen vor allem der Decken gegen Dachraum vorgeschlagen, sowie einzelne Fassadendämmungen an Anbauten und Fenstersanierung im „Neubau“ ONR 02.



In der Haustechnik ist eine die Erneuerung der Lüftungsanlagen empfehlenswert. Die Sanierung der Beleuchtungsanlagen auch im „Neubau“ ist eine vorgeschlagene Maßnahme.

Als dringendste Maßnahme steht die Beseitigung gefundener hydraulischer Kurzschlüsse im Heizungsnetz an: Durch die (zu) hohen Rücklauftemperaturen fährt die Brennwertkesselanlage nicht im Kondensationsbetrieb, die umgewälzte Wassermenge und damit Pumpenstrom ist zu groß. Diese Maßnahme wurde im Hochbauamt Stadt Frankfurt kommuniziert und mittlerweile initiiert.

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

Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Decke Altbau	4) dringend	
2	335 Außenwandbekleidungen, außen	Wanddämmung Altbau S + O	1) sinnvoll	
3	422 Wärmeverteilnetze	Beseitigung hydraulischer Kurzschlüsse	5) sehr dringend	
4	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Kellerdecke Neubau	2) empfohlen	
5	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Dach Neubau	1) sinnvoll	
6	334 Außentüren und -fenster	neue Fenster Neubau	2) empfohlen	
7	445 Beleuchtungsanlagen	neue Beleuchtung Klassen Neubau	2) empfohlen	
8	445 Beleuchtungsanlagen	neue Beleuchtung Sporthallen	2) empfohlen	
9	431 Lüftungsanlagen	Erneuerung Lüftungsanlagen mit Anpassung	2) empfohlen	Dimensionierung m3/h, Kreuzstrom WRG,
10	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Pausenterrasse	2) empfohlen	
11	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Kesselfolgeschaltung optimieren	3) wichtig	
12				

Tabelle 1-1: Zusammenstellung der Modernisierungsempfehlungen

Aus den Untersuchungen können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

- 1) Die Dämmung der obersten Geschossdecke ist gesetzlich von der ENEC gefordert und ist für die Verbesserung der Hüllfläche die wirtschaftlichste Maßnahme; sie sollte dringend umgesetzt werden.
- 2) Die Optimierung des Heizungsnetzes sollte auf jeden Fall umgesetzt werden, wurde mit der Beauftragung zur Beseitigung der hydraulischen Kurzschlüsse schon begonnen.
- 3) Die Warmhalteschaltungen Lüftungsanlagen und Regelungen Warmwasserbereiter sind ebenfalls noch zu betrachten, um die Rücklauftemperaturen im Betrieb dauerhaft unter 42°C für einen Kondensationsbetrieb der Gaskessel zu halten. Die Kesselfolgeschaltung kann für den Anfahrbetrieb morgens noch abhängig von der Außentemperatur optimiert werden.
- 4) Die Dämmung der Kellerdecke Neubau (Bodenfläche gegen Tiefgarage) ist zu empfehlen
- 5) Die Fenster „Neubau“ sind wärmetechnisch verbesserungswürdig. Verzogene Fensterrahmen erzeugen Zugluft und Geräuschkulisse im Raum.
- 6) Die noch alten Lüftungsanlagen aus 1983 sind im Rahmen anstehender Instandsetzungsarbeiten zu erneuern. Wärmerückgewinnung, Frequenzregelung und Anpassung der Luftmengen stehen hierbei an. Kombination mit Heizkörpern.
- 7) Die Beleuchtungssanierung im Altbau erfolgt, ist auch für den Neubau fortzuführen.



2 Einleitung und Aufgabenstellung

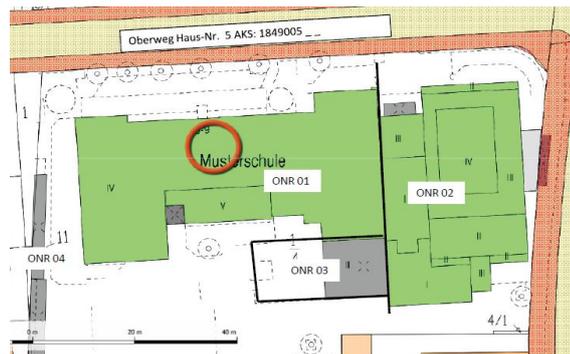
Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojektes „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (Förderkennzeichen: 0327431J Teilenergiekennwerte) werden Werkzeuge für die energetische Analyse von bestehenden Nicht-Wohngebäude entwickelt mit dem Ziel, im Rahmen einer Gebäuediagnose 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		
Musterschule Gymnasium		
Gebäude	Eigentümer	Energieberatung
Musterschule	Stadt Frankfurt	Energiemanagement HBA
Gymnasium mit Mensa	Stadtschulamt	Michael Nitze
Oberweg 5-9	Seehofstr. 41	Gerbermühlstr. 48
60318 Frankfurt am Main	60594 Frankfurt am Main	60594 Frankfurt am Main



1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften			
Gebäudekategorie	Schulen, Kindertagestätten	en. Qualität Gebäudehülle H_T	1,06 $W/(m^2_{BTF}K)$
Unterkategorie	Grund-, Haupt-, Realschulen, Gymnasium	en. Qualität Lüftung H_V	0,55 $W/(m^3/h K)$
		Fensterant. (oberirdisch)	31 %
Baujahr Gebäude	1965	Anzahl beheiz. Geschosse	4,1
Energiebezugsfläche	10.170 m^2	Anzahl der Zonen	14
davon	künst. belüftet 106 %	Anzahl der RLT-Anlagen	14
	mech. belüftet 106 %	Anzahl zentr. Kälteerz.	1
	gekühlt 0 %	Anzahl zentr. Wärmeerz.	3
	befeuchtet 0 %		
A/V-Verhältnis	0,22 m-1		

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Die Musterschule im Oberweg 5 ist in drei Bauteile verschiedenen Alters aufzuteilen: dem Altbau von 1900, dem Neubau von 1981 und der Mensa von 2007.

4 Bewertung des Ist-Zustandes

Im Folgenden wird der Ist-Zustand des Gebäudes unter energetischen Gesichtspunkten bewertet. Hierauf aufbauend werden in Abschnitt 0 Schwachstellen aufgezeigt sowie Abschnitt 5 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 1) und der zeitaufgelöste Lastgang des Gebäudes analysiert (Abschnitt -). Nach



dieser ersten Grobbewertung erfolgt eine Bewertung der Effizienz auf der Grundlage einer Bilanzberechnung (Abschnitt 0). Um die Realitätsnähe der Berechnung zu überprüfen, werden dabei zunächst die Berechnungsergebnisse den gemessenen Verbräuchen gegenübergestellt (Abschnitt 4.2.1).

4.1 Gemessene Verbrauchsdaten

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

- Monatliche Verbrauchsdaten des Schulgebäudes Musterschule für den Zeitraum vom 2005 bis 2010

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

Elektrische Energie

- Monatliche Verbrauchsdaten der Schulgebäude Musterschule für den Zeitraum von 2005 bis 2010. Die Stromverbrauchszahlen Kochen der Mensa bleiben außen vor.

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

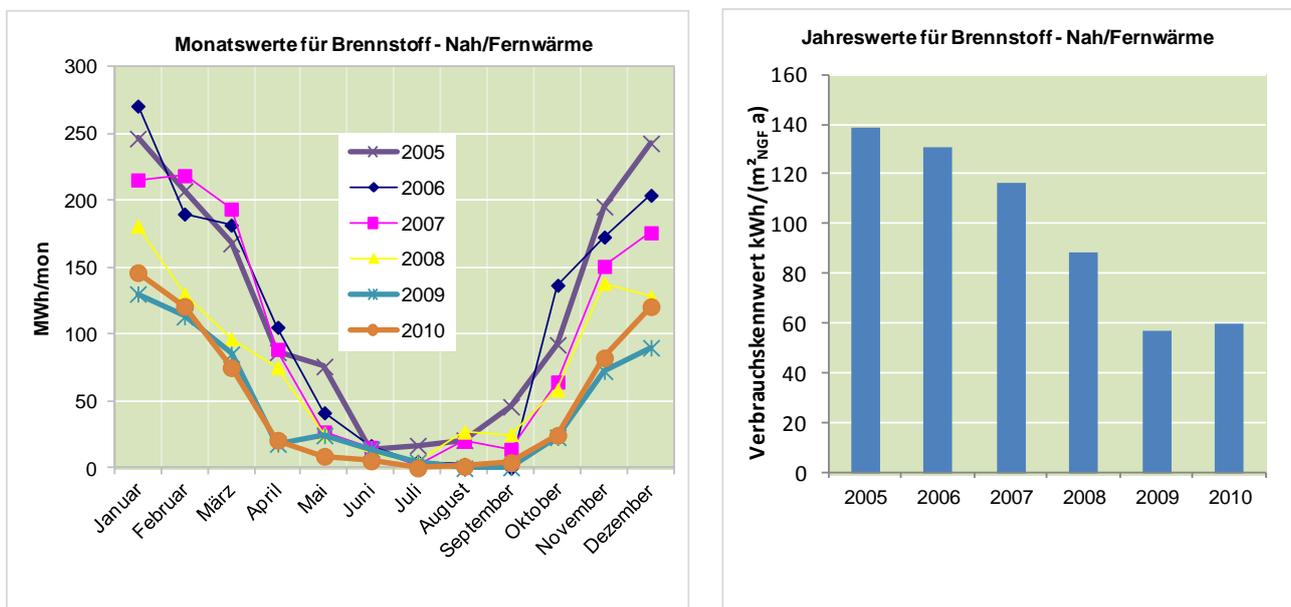


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Brennstoff Gas

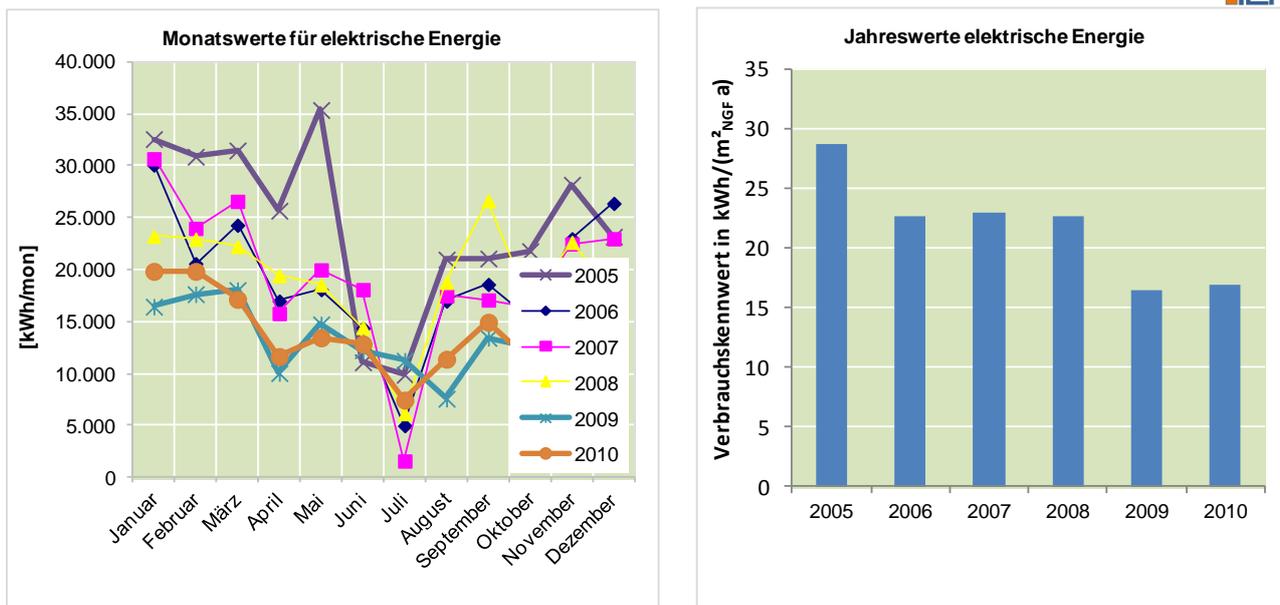


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie

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 %.

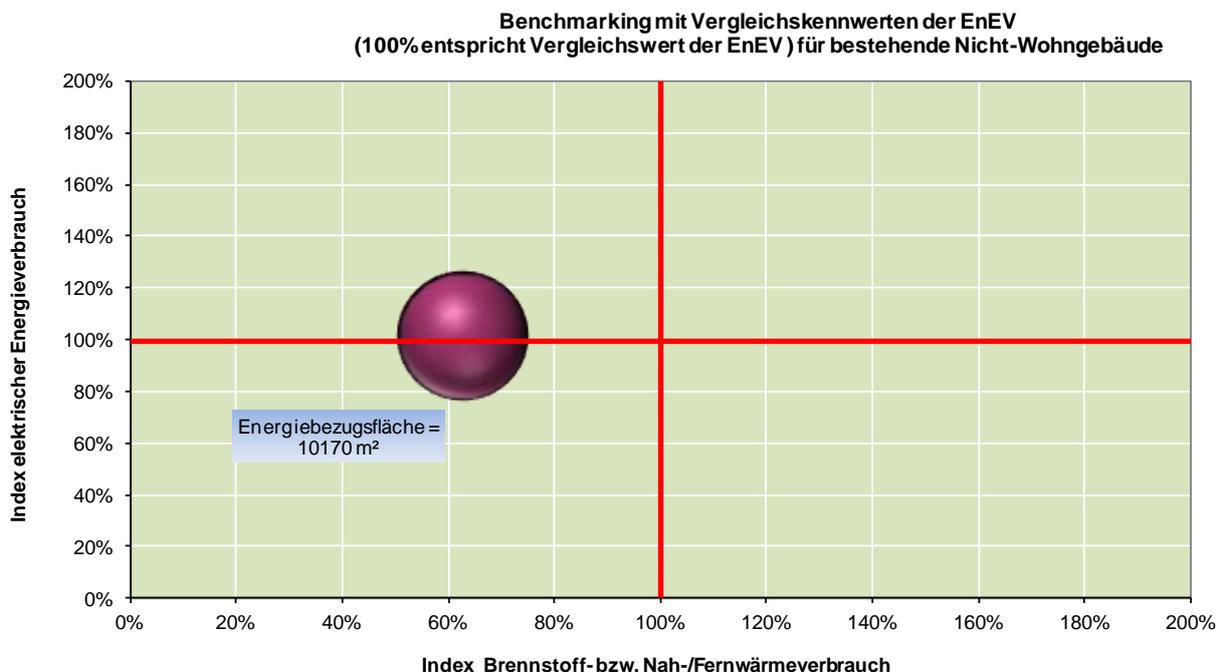


Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)



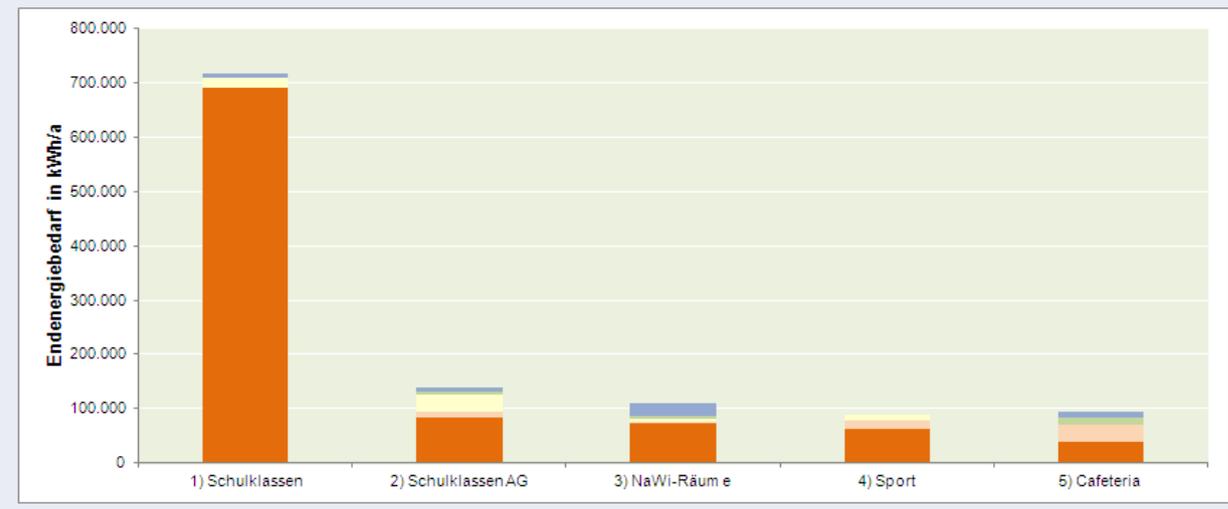
Bei der Gebäudekategorie handelt es sich um ein Gymnasium BWZK Ziffer 4145 „Gymnasium mit Turnhalle“. Der als Cafeteria bezeichnete Anbau ist richtigerweise mit BZWK 6530 als Mensa zu kennzeichnen.

Der Gasverbrauch zeigt deutlich die Effizienz-Maßnahmen der zurückliegenden Jahre. Gemessen an der Substanz liegt er unter dem Vergleichswert, da der Schulhausverwalter einen belegungs-abhängigen und nutzungsbedingten Anlagenbetrieb fährt / fahren kann.

Erfolgte Maßnahmen

- 2003 Aufspüren von Schwachstellen und Fehlfunktionen in Anlagen aller Gewerke durch (Last)-Ganganalysen, Automatische Verbrauchserfassung und ab 2009 zusätzlich GLT-PC
- 2007 Erneuerung Lüftungsanlage Bibliothek
- 2007 Sanierung Duschen Umkleiden
- 2009 Fenstersanierung Altbau U-Wert 1,5 W/m²*K (nicht 100%) (alt 2,8 W/m²*K)
- 2009 Kesselsanierung mit Neudimensionierung
- 2009 neue Heizungsverteilung mit DDC-Regelung
- 2009 Erneuerung Umwälzpumpen Effizienzpumpen
- 2009 2011 Erneuerung Warmwasserbereiter
- 2009 Sanierung MSR aller Heizungs- und Lüftungsanlagen durch neue DDC-Regler einschließlich vorhandener Einzelraumregelung zuzüglich GLT-Bedien-PC für den Schulhausverwalter
- 2010 Beleuchtungssanierung Altbau
- 2010 Beseitigung von Funktionsfehlern in der MSR-Technik
- 2011 Optimierung, Parametrierung und Zeitsteuerung der DDC-Regelungen
- **! Betriebsoptimierung durch den Schulhausverwalter: Einbindung und Honorierung im Rahmen EBN-Projekt Stadt Frankfurt !**
- **! Ein erwarteter Mehrverbrauch durch den Zubau Mensa 2007 (EnEV minus 30%, genannt Cafeteria) wird kompensiert!**

2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



- Lastganganalysen

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

Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme)

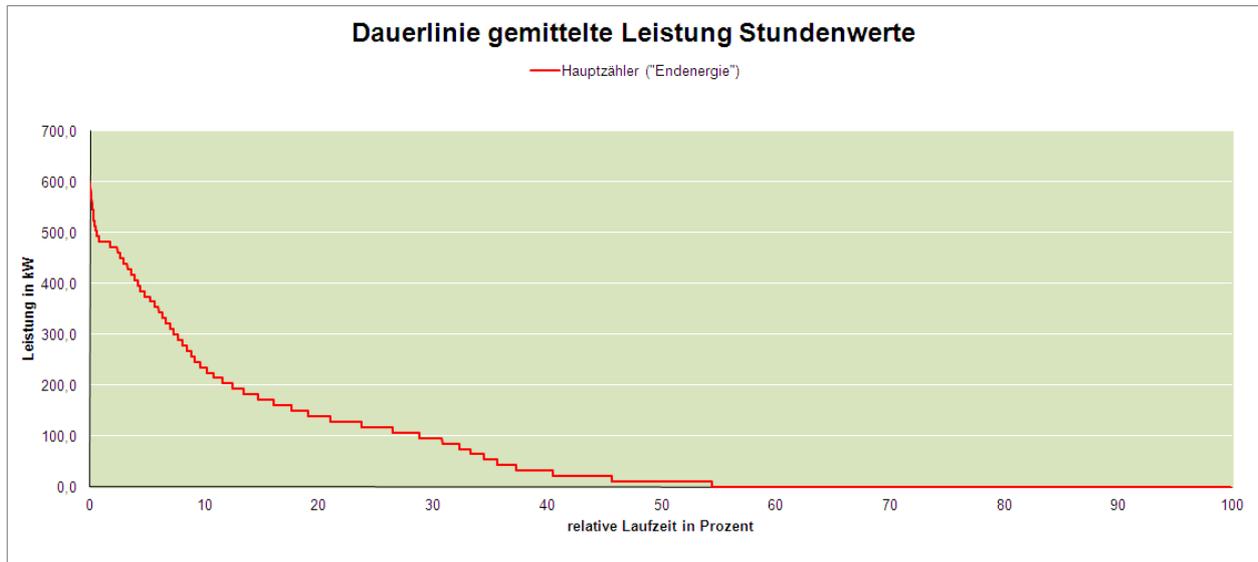
- 15 Minutenverbräuche des Gebäudehauptzählers, diese wurden zur Ermittlung der mittleren Leistung mit dem Faktor 4 multipliziert. Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2010 Die Daten wurden vom Energiemanagement der Stadt Frankfurt am Main über die Automatische Verbrauchserfassung (AVE) aufgezeichnet. (durch Impulswertigkeit und Faktor nur diskrete Werte)

Elektrische Energie

- 15 Minutenverbräuche des Gebäudehauptzählers, diese wurden zur Ermittlung der mittleren Leistung mit dem Faktor 4 multipliziert. Zeitraum vom 01.01.2011 bis zum 31.12.2011 Die Daten wurden vom Energiemanagement der Stadt Frankfurt am Main über die Automatische Verbrauchserfassung (AVE) aufgezeichnet. (durch Impulswertigkeit und Faktor nur diskrete Werte)

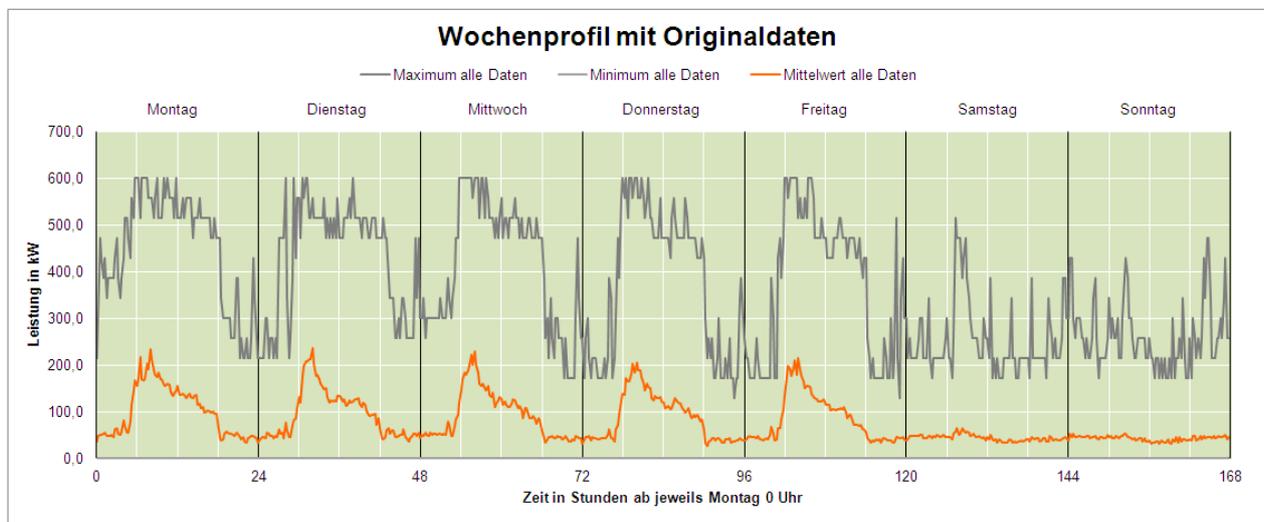


4.1.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme



Die Interpretation der Jahresdauerlinie ergibt:

- Spitzenlast 600 kW resultierend 59 W/qm maximale Brennstoffleistung
- Betriebszeit Kesselanlage 4.818 h im Jahr, entsprechend 201 Tagen im Jahr
- Null-Verbrauch an 164 Tagen im Jahr



Entsprechend zeigt das Wochenprofil das Abbild der Betriebsweise:

- Minimum der Daten liegt bei Null
- Maximum der Werte bei 600 kW
- Mittelwert der Woche zeigt die Aufheizphase morgens zu Schulbeginn, Absenkung zu Schul- und Wochenende
- Mittlere Spitze ca. 220 kW
- Niedriges Nachtniveau zu Wochenenden und in Ferienzeiten mit Absenkung auf ca. 50 kW belegen die konsequente Abschaltung der Lüftungsanlagen und Absenkbetrieb
- Nutzung der Bauteilmassen als Puffer

4.1.2 Lastganganalyse elektrische Energie

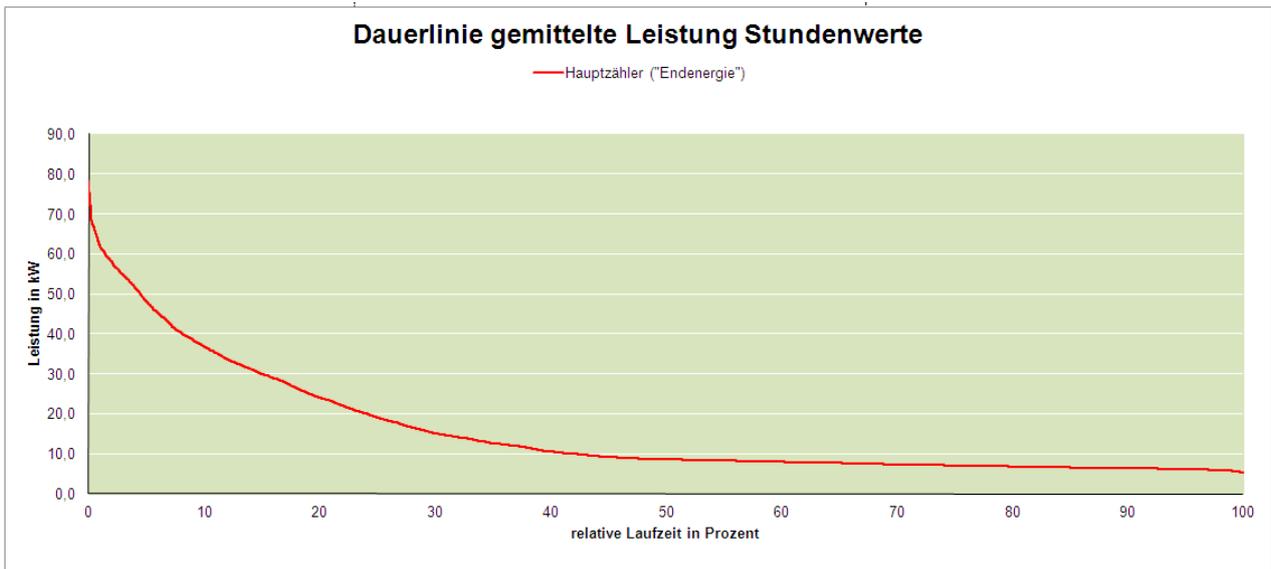


Abbildung 4-4 zeigt das Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs. Die orangene Linie stellt den Mittelwert aller ausgewerteten Wochen dar, die die grauen Linien den Maxi- und Minimalwert. In Abbildung 4-5 ist die numerische Auswertung der Lastganganalyse aufgeführt. Dargestellt sind Kennwerte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

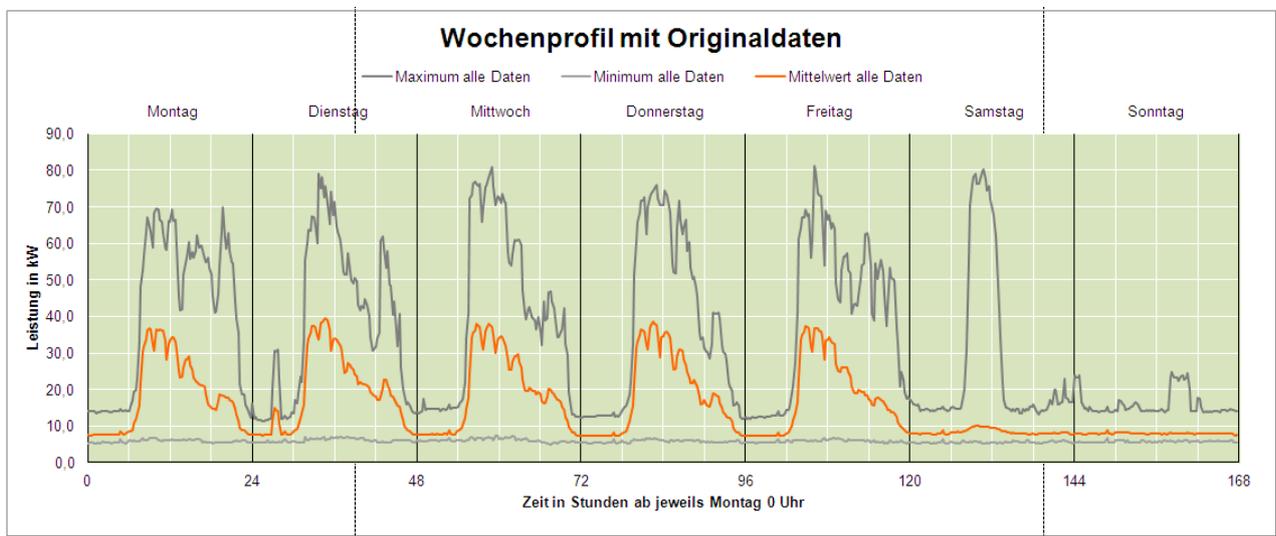


Abbildung 4-4: Wochenprofile des elektrischen Energieverbrauchs

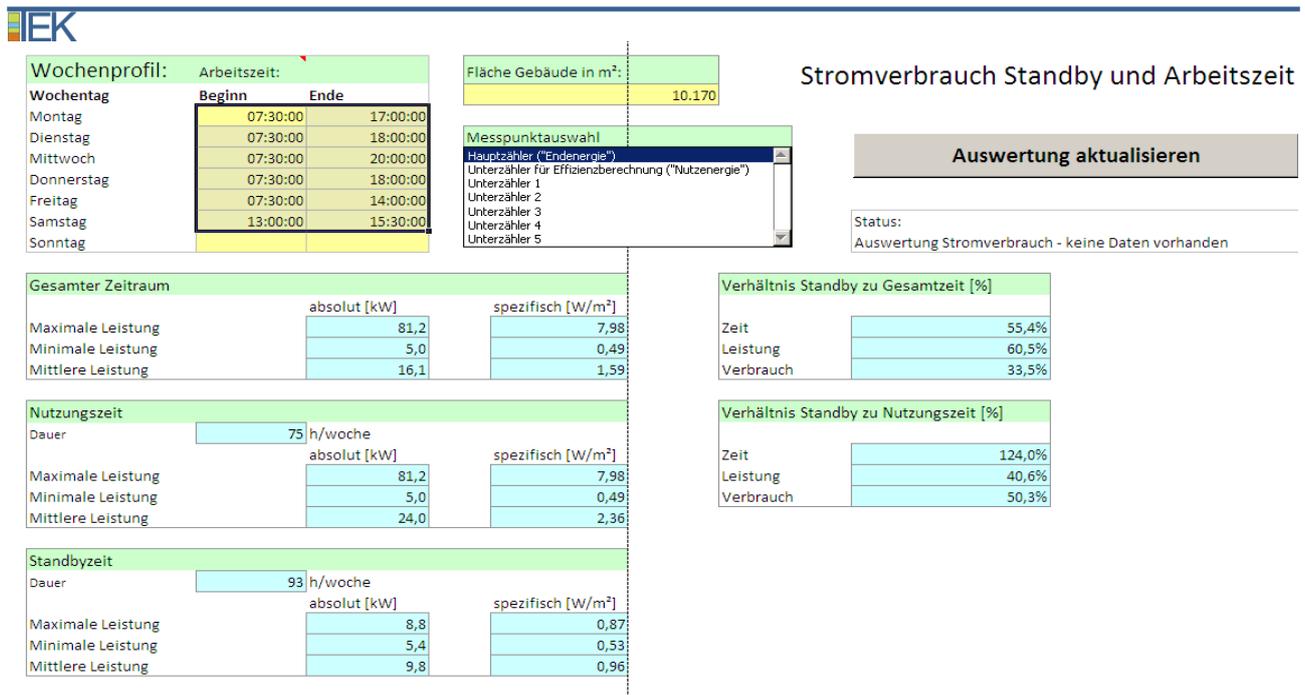


Abbildung 4-5: Auswertung des elektrischen Energieverbrauchs in der Nutzungszeit und der Standby-Zeit des Gebäudes

An den Lastgängen zeigt sich eine typische Schullnutzung von Montag bis Freitag und eine seltene und kürzere Nutzung Samstags z.B. Nutzung Sporthalle.

Die typische Schullnutzung ist aufteilbar in in Kernzeiten 7:30 bis 13:30 und Nachmittagsnutzung 13:30 bis 17:00 mit fließendem Übergang in Sportnutzung in den Abendstunden .

Die mittlere Leistung außerhalb der Nutzungszeit beträgt überwiegend ca. 8 kW, minimal 5 kW.. Dies sind weniger als 20 % der mittleren Leistung während der Nutzungszeit und weniger als 10% der Spitzenleistung. Dieser minimale Grundlastanteil erscheint angesichts von Sicherheitseinrichtungen, Netzwerkkomponenten und Kleinstgeräten nicht weiter absenkbar.

Das Gebäude weist damit einen minimalen Grundlastanteil auf. Dieser Wert wird durch nutzungsangepasstes Schalten durch den Schulhausverwalter erreicht.

Der elektrische Energieverbrauch wird wesentlich von der technischen Ausstattung und der Beleuchtung bestimmt.

Durch Sanierung der Kesselanlage und der Hauptverteilung Heizung mit neuen Hocheffizienz-pumpen und Aufbau einer digitalen MSR-Gebäudeautomation mit GLT-Bedienrechner sind deren Stromleistungen reduziert worden. Die GLT-Bedienung ermöglicht nutzungsangepasste Fahrweise, wobei der Schulhausverwalter dies auch durch mehrfache Rundgänge mit manuellem Schalten (z.B. Licht) erweitert.

Folglich zeigt auch die Jahresdauerlinie keine „scharfe“ Abhängigkeit von bestimmten Nutzungszeiten auf, sondern verläuft beständig abfallend auf den Grundlastwert, der bei ca. 5.500 h erreicht wird.

Auf die Vervollständigung der Erneuerung der Beleuchtung ist bei Modernisierungsvorschlägen geachtet worden.

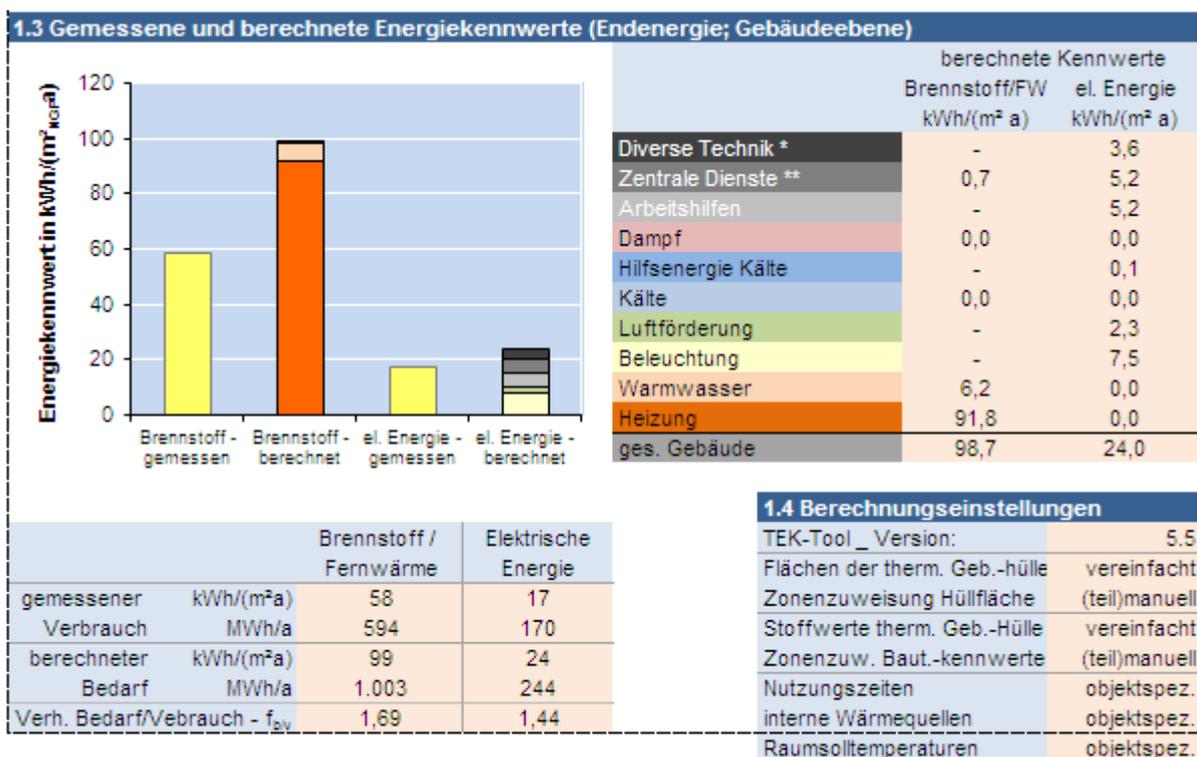
4.2 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

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 12 zu finden.

4.2.1 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 13) den gemessenen Energieverbrauchskennwerten (siehe Abschnitt 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 fb/v.



*) Hilfsenergie Heizung und Warmwasser; Aufzüge, sonst. el. Verbraucher

**) Zentrale EDV; Küchen; Schwachstromanlagen; Kaffeemaschinen; Kühlchränke

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



Diskussion Basisvariante TEK IST und SOLL

Die Jahresdauerlinie Gas zeigt:

- Spitzenlast ca. 600 kW (installierte Wärmeleistung Kessel 3 x 226 kW)
- 600 kW bei 10.170 qm beheizte NGF ergeben 59 W/qm max. Leistung statische Heizung und mechanische Lüftung
- 500 kW und 594 MWh/a ergeben 1.188 Vollaststunden
- Die JDL geht bei ca. 4.800 Stunden auf Null (!)

Der gemessene Wert 2010 liegt bei 58 kWh je qm und Jahr. Der berechnete bei 94 kWh je qm und Jahr. Durch Zonen- und Einzelraumregelung ein belegungsabhängiger Betrieb möglich.

Die Auswertung zeigt auch die konsequente Abschaltung in den Ferien auch in der Übergangszeit auf Null(!) bei Außentemperaturen über ca. 8 °C. Die Belegungs- und Nutzungszeiten wurden daher auf 40 Wochen im Jahr angesetzt.

Damit zeigt sich, dass auch in Nichtnutzungszeiten keine Stillstands und Warmhalteverluste entstehen. Zum Beispiel wird in den Herbstferien (8°C) ein Gasverbrauch von 0 erreicht. Eine reine Korrektur über Gradtagzahlen bildet den tatsächlichen Betrieb nur unzureichend ab.

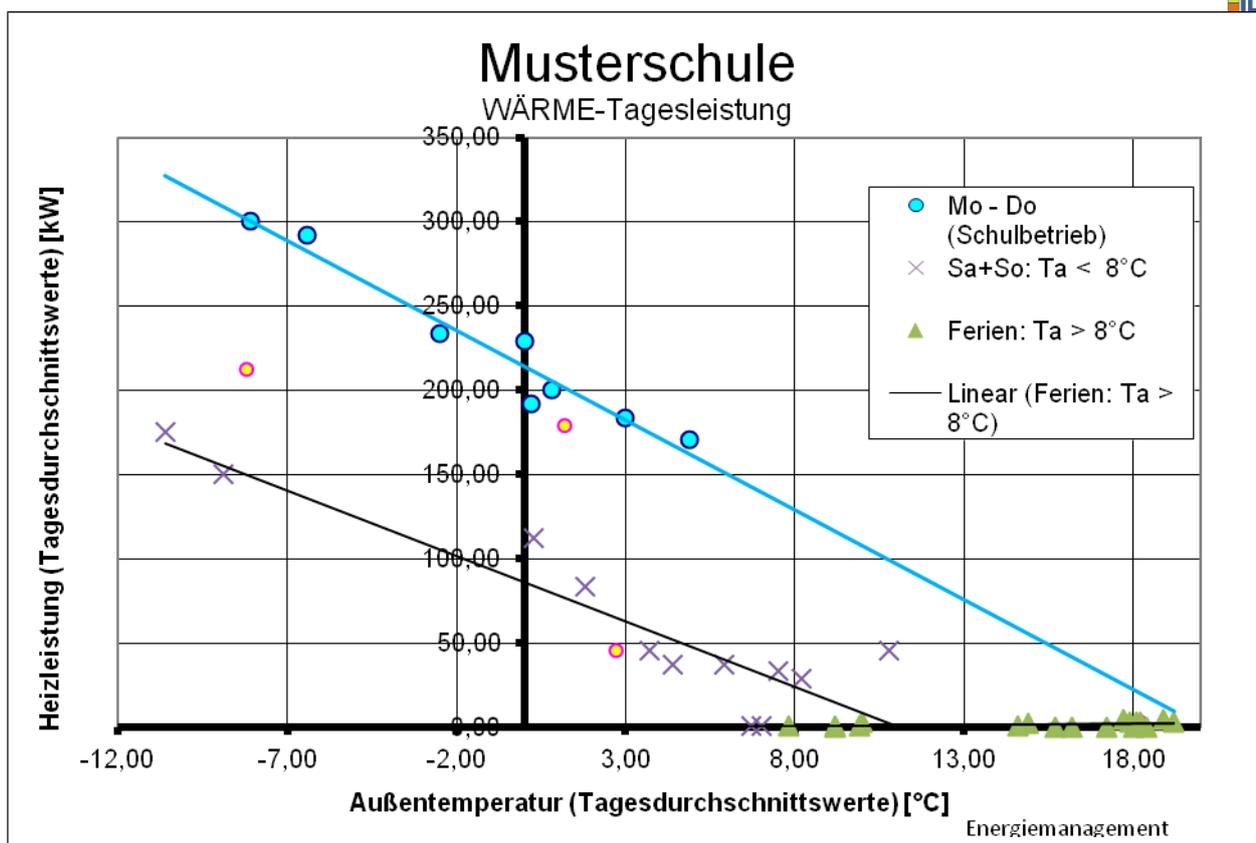
Die Werte zeigen zugleich das Potenzial einer optimierten Fahrweise: Die Außenhülle weist Wärme-Mindestwerte auf. Es ist eine zentral bedienbare Gebäudeautomation vorhanden. Die Schule hat eine stark wechselnde Raumbellegung:

Gymnasium mit Klassen, Fachräumen, Bibliothek, Sporträumen etc. die von den Schülern jeweils im Wechsel belegt werden. Diese Teilbelegung wird vom Schulhausverwalter mit den vorhandenen technischen MSR-Anlagen und Bedienebenen so weit möglich exakt nachgefahren.

Wird das Schaubild Tagesverbrauch XY differenziert betrachtet nach

- Montag bis Donnerstag **MIT** Schulbetrieb
- Samstag und Sonntag und Ferientage bei Außentemperatur **kleiner** ca. 8°C
- Samstag und Sonntag und Ferientage bei Außentemperatur **größer** ca. 8°C

ergibt sich folgendes Diagramm:



Die Verbrauchswerte liegen recht scharf auf drei Geraden. Die Mittenwerte sind Freitage, die je nach Nutzungsdauer mal ganz mal Halbtages-Werte abbilden.

Die Hochrechnung aus diesen Phasen mit realen Nutzungstagen zeigt nachfolgende Tabelle.

Stadt Frankfurt Musterschule Oberweg 5 Berechnung Jahresverbrauch Gasheizung					
Auswertung Tagesmessungen und Hochrechnung; mittlere Außentemperatur Heizperiode ca 5°C					
Kennung	mittlere Tagesleistung bei Ta = - 12°C		mittlere Tagesleistung bei Ta = 5°C		Anzahl der Tage
	<kW/Tag>		<kW/Tag>	Tage / Jahr	
Mo-Do Schulbetrieb	350		170	128	522
Sa + So: Ta < 8°C	200		70	64	108
Fr.: Ta < 8°C (75%)	150		53	32	40
WarmWasser Ta > 8°C			3	24	2
Ferien und Ta > 8°C	0		0	117	0
Summe				365	672

Aus den Last-Nutzungs-Segmenten ergibt sich 672 MWh je Jahr, gemessen wurden 592 MWh im Jahr. Damit ist der niedrige Wert zusammen mit den technischen Maßnahmen und organisatorischen Betriebsoptimierung plausibel.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird daher durch die Teilnutzung der Flächen auf die berechneten MWh im Brennstoffverbrauch ein Abschlag von 30 % vorgenommen, der das konsequente Schalten bei Nichtbenutzung abbildet.



4.2.2 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 CO₂-Emissionen in kg/(m²a) differenziert nach Gewerken und für das gesamte Gebäude dargestellt.

1.5 Teilenergiekennwerte und CO ₂ -Emissionen auf Gebäudeebene						
	Nutzenergie		Endenergie		Primär-energie	CO ₂ -Emission kg/(m ² a)
	Zonen/RLT	Erzeuger	Brennstoff kWh/(m ² a)	el. Energie		
Heizung	76,1	80,5	90,1	0,0	91,4	24,7
Warmwasser	2,6	3,4	3,7	0,2	4,2	1,1
Beleuchtung	-	-	-	7,7	19,9	4,8
Luftförderung	-	-	-	2,3	6,1	1,5
Kälte	0,1	0,1	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	-	-	-	5,2	13,5	3,3
Zentrale Dienste	-	-	0,7	5,2	14,2	3,5
Diverse Technik	-	-	-	3,7	9,5	2,3
gesamt	78,7	83,9	94,4	24,3	158,9	41,2

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

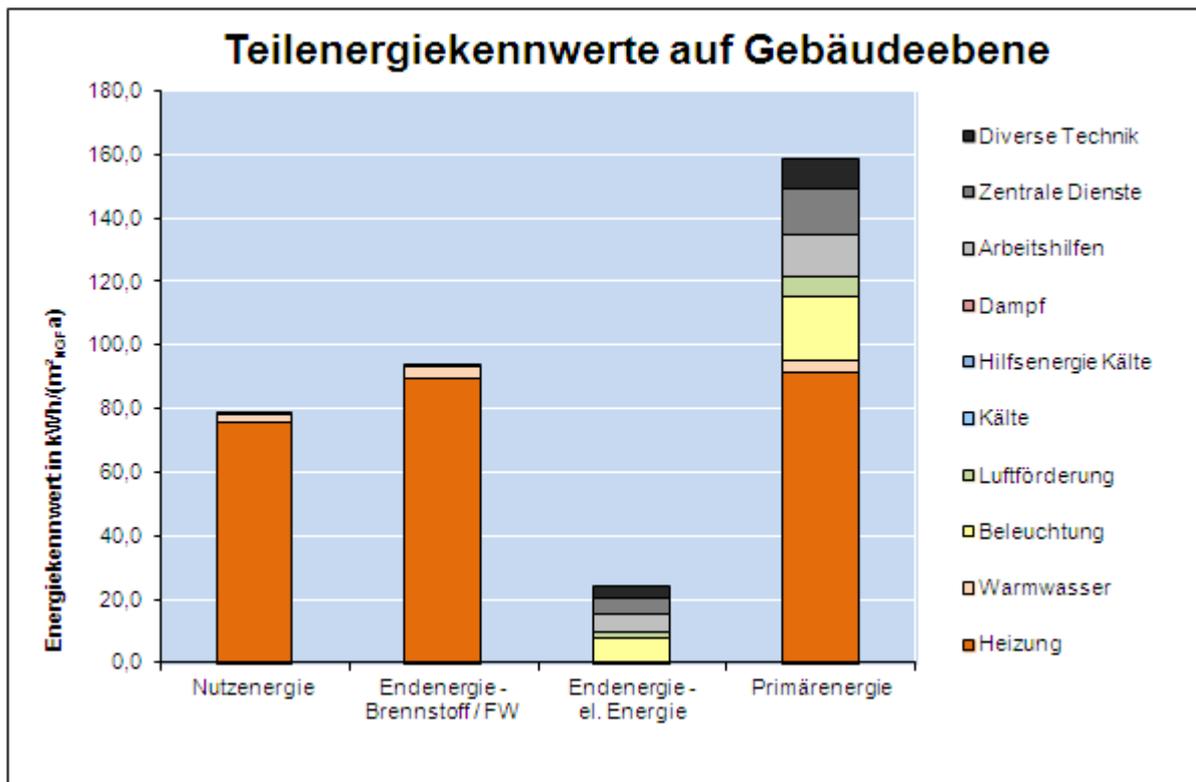


Abbildung 4-7: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand



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 11). Diese Bewertung wird von der Zonenebene (Abschnitt 11) über die Nutzungseinheit (Abschnitt 10) 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.

1.6 Primärenergiekennwerte sowie Teilenergiekennwertbewertungen der Gewerke auf Gebäudeebene

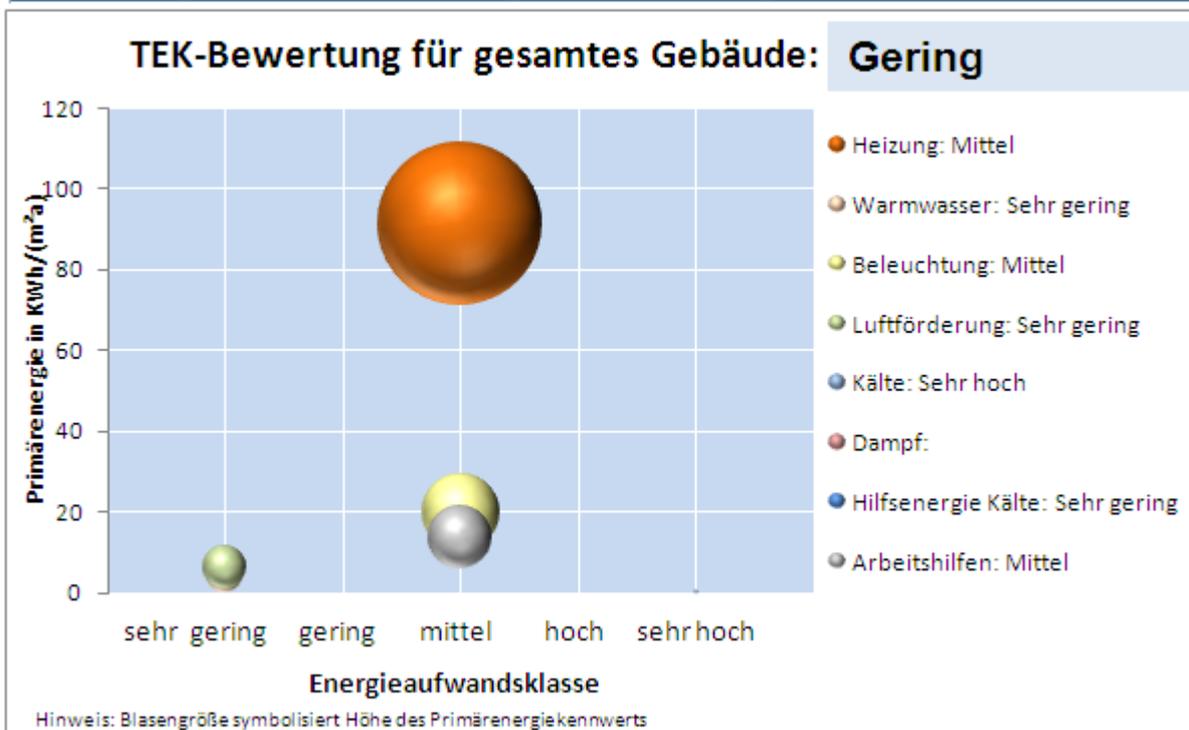


Abbildung 4-8: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung



Die geringen Kennwerte werden erreicht durch das konzeptionell passende Zusammentreffen von

- Gymnasium mit Fachräumen und Sporthallen, die jeweils nicht ganztägig teilbelegt sind
- Teilsanierter Gebäudehülle mit hohen Räumen mit hoher Wärme-Puffer- und Speicherefähigkeit
- Einfacher Technik, die zielgerichtet eingesetzt werden kann und wird
- Gebäudeautomation mit BedienPC
- Hochmotivierter Schulhausverwalter und Schule, die über das EBN Programm der Stadt Frankfurt **ErfolgsBeteiligungNutzer** erhebliche Nutzereinsparungen erreichten (Tabelle 2010 gegenüber Referenzzeitraum unter Berücksichtigung energetischer Maßnahmen)

Erfolgsbeteiligung für nutzerbedingte Einsparungen 2010												
Version 16.08.2011												
Objekt	Fläche NGF (m²)	Verbrauchseinsparung						Einsparung 2010		Objekt- Prämie		pers. Prämie
		Strom		Heizung		Wasser		€	%	€	€	
		(kWh)	(%)	(kWh)	(%)	(m³)	(%)					
Basill-Bauer-Bau	4.284	789	13%	38.778	33%	8	83%	3.336	43%	8	882	
Basill-Bauer-Bau	11.374	91.128	38%	87.498	33%	1.823	37%	11.841	37%	3.888	3.888	
Opfer-Opfer-Bau	4.412	31.188	44%	24.411	83%	-84	-11%	7.872	43%	8	1.968	
L.-Meyer-L.-M.-Bau-Bau	17.177	83.811	13%	133.372	83%	-474	-2%	26.879	13%	6.728	6.728	
Ingelheim	8.828	88.712	17%	144.822	9%	122	83%	22.184	13%	8	8.784	
Walter-Bau	7.242	33.811	37%	6.898	13%	-71	-3%	6.883	83%	1.671	1.671	
Musterschule	9.982	99.136	39%	276.973	31%	795	32%	38.381	27%	9.595	9.595	
Walter-Cross-Bau	3.828	3.728	83%	3.879	83%	823	37%	2.948	83%	1.478	8	
Walter-Cross-Bau	3.668	8.379	18%	8	83%	83	18%	1.271	43%	8	242	
Walter-Cross	3.284	13.238	38%	-14.172	-3%	-84	-83%	1.488	43%	8	262	
Walter-Cross-BB	3.942	37.728	21%	183.888	17%	668	68%	18.143	33%	2.788	2.788	
Walter-Cross-Bau-Bau	8.874	88.878	48%	-4.482	-1%	186	13%	18.281	14%	2.878	2.878	
Walter-Cross-Bau I II	24.462	-2.687	83%	178.618	43%	1.646	13%	18.282	43%	4.949	4.949	
Walter-Bau	3.884	31.874	38%	314.627	38%	198	31%	16.979	38%	4.248	4.248	

Quelle: Webseite Energiemanagement Stadt Frankfurt

Zur Diskussion der Verbrauchswerte siehe auch Kap. 4.2.1.



Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung

Im Folgenden sind mögliche Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude aufgelistet. Diese basieren auf 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 bzw. Maßnahmenempfehlungen aus diesen und anderen Maßnahmen sind in Abschnitt 5 näher untersucht.

 Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen				
Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Decke Altbau	4) dringend	Oberste Geschossdecke (1.295m ²) ist noch ungedämmt, U-Wert von 1,88 auf 0,16 W/m ² K senken
2	335 Außenwandbekleidungen, außen	Wanddämmung Altbau S + O	1) sinnvoll	Dämmung der Fassade Süd und Ost ohne Sandsteingesimse (.....qm) U-Wert von 1,2 auf 0,16 senken
3	422 Wärmeverteilnetze	Beseitigung hydraulischer Kurzschlüsse	5) sehr dringend	Ventileinbau ändern, Warmhalteschaltungen korrigieren, Regelung WWV Bereiter bei "Voll", die Rücklauftemperatur wird abgesenkt, damit Nutzung der Brennwert-Wärme
4	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Kellerdecke Neubau	2) empfohlen	Boden Turnhalle = Kellerdecke zur offenen Tiefgarage dämmen (600m ²) von 0,95 auf 0,24
5	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Dach Neubau	1) sinnvoll	Dachdämmung (654m ²) U-Wert von 0,43 auf 0,14 W/m ² K senken
6	334 Außentüren und -fenster	neue Fenster Neubau	2) empfohlen	Fenstertausch (455 m ²) U-Wert von 2,9 auf 1,1 senken (0,8 zuzügl Wärmebrücken
7	445 Beleuchtungsanlagen	neue Beleuchtung Klassen Neubau	2) empfohlen	Beleuchtungssanierung im "Neubau" auch durchführen
8	445 Beleuchtungsanlagen	neue Beleuchtung Sporthallen	2) empfohlen	Deckenspiegel: bei neuer Beleuchtung Deckenheizplatten berücksichtigen
9	431 Lüftungsanlagen	Erneuerung Lüftungsanlagen mit Anpassung	2) empfohlen	Anlagen 1, 2, 4, 5 Dim. m ³ /h, Kreuzstrom WRG, Drehzahlreg. Konzeptänderung Turnhalle: statische Heizflächen + kleinere Lüftungsanlage
10	361 Dachkonstruktionen	Dämmung Pausenterrasse	2) empfohlen	"Dach-"Dämmung (110m ²) U-Wert von 3,29 auf 0,13 W/m ² K senken
11	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Kesselfolgeschaltung optimieren	3) wichtig	Temperaturabhängige Kesselbereitstellung: 45% der Zeit reicht 1 Kessel (derzeit heizen zum Ende der Nachtabsenkung immer alle 3 Kessel sich auf)
12	334 Außentüren und -fenster	neue horizontale Fenster Bibliothek	2) empfohlen	21 qm IST 3,2W/qm ² K auf 0.8 W/qm ² K (konstruktiv mit neuer Dachdämmung)

[zurück zu Übersicht](#)
Tabelle 0-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude

5 Modernisierungsempfehlungen

Auf Grundlage der Gebäudebegehung und der rechnerischen Gebäudeanalyse wurden unterschiedliche Modernisierungsmaßnahmen identifiziert. Diese sind in Abschnitt 0 in tabellarischer Form dargestellt.

Aus den möglichen Maßnahmen werden fünf Einzelmaßnahmen bzw. 5 Modernisierungsempfehlungen als Pakete aus diesen detaillierter ausgearbeitet. Eine Modernisierungsempfehlung kann dabei eine oder mehrere Modernisierungsmaßnahmen umfassen. Für jede Empfehlung werden die erzielbare Energieeinsparung mit einer Variante des TEK-Tools bestimmt und die Investitionskosten im Rahmen einer Grobkostenschätzung ermittelt. Dazu können die Standardmaßnahmen verwendet werden, die von den Projektteilnehmern in der Datenbank DB-Kosten.xmlm eingegeben werden können. Hieraus werden erste Aussagen zur Wirtschaftlichkeit abgeleitet.

Weiter untersucht werden folgende fünf Modernisierungsempfehlungen. Die Ergebnisse sind in folgenden Grafiken zusammengefasst.

6.1 Modernisierungsempfehlung 1:

Musterschule, Gymnasium mit Me		ME 1 Modernisierungsempfehlung 1		
4.0 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung		Betriebsoptimierung Technik		
4.01 Jährliche Gesamtkosten				
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	1.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	158.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+i,m}$	0	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	159.000	€/a
4.1 Übersicht Einzelmaßnahmen		ME 1 Betriebsoptimierung Technik		
1	Objektspezifische Maßnahme	M 1-1	Beseitigung hydraulischer Kurzschlüsse	
	Standardmaßnahme		422_2_Hydraulischer Abgleich	
2	Objektspezifische Maßnahme	M 1-2	Kesselfolgeschaltung optimieren	
	Standardmaßnahme		489_Kesselfolgeschaltung	

Abbildung 5-1: Modernisierungsempfehlung 1 -

Die Kosten der Modernisierung 1 wurden teils aus der Gesamtkostenberechnung des Hochbauamtes und teils aus der Datenbank übernommen. Ein Abgleich fand schon statt, der notwendige Umbau von Ventilen mit Beseitigung der Kurzschlüsse liegt im gleichen Rahmen.

Die Energieeinsparung ergibt sich bei durch eine dauerhaft niedrige Rücklauftemperatur mit einer erhöhten Brennwertnutzung. Die Kesselregelung vermindert in Zeiten geringen Leistungsanforderungen den Aufheizbedarf des Wasserinhalts aller Kessel.

6.2 Modernisierungsempfehlung 2:

IEK				
Musterschule, Gymnasium mit Me				
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	ME 2	Modernisierungsempfehlung 2	
Modernisierungsziel		BOP und Beleuchtung		
4.01	Jährliche Gesamtkosten			
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	10.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	154.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+i,m}$	3.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	167.000	€/a
4.1	Übersicht Einzelmaßnahmen	ME 2	BOP und Beleuchtung	
1	Objektspezifische Maßnahme	M 2-1	Beseitigung hydraulischer Kurzschlüsse	
	Standardmaßnahme		422_2_Hydraulischer Abgleich	
2	Objektspezifische Maßnahme	M 2-2	neue Beleuchtung Klassen Neubau	
	Standardmaßnahme		445_1_BL_500lx_Spiegelraster	
3	Objektspezifische Maßnahme	M 2-3	neue Beleuchtung Sporthallen	
	Standardmaßnahme		445_1_BL_500lx_Spiegelraster	
4	Objektspezifische Maßnahme	M 2-4	Kesselfolgeschaltung optimieren	
	Standardmaßnahme		489_Kesselfolgeschaltung	

Abbildung 5-2: Modernisierungsempfehlung 2 -

Die Kosten der Modernisierung 2 ME1 zuzüglich Beleuchtung wurden aus der Datenbank übernommen. Die Energieeinsparung ergibt sich aus Anzahl der Leuchten, Brenndauer und Differenz der Anschlusswerte.

6.3 Modernisierungsempfehlung 3:

Musterschule, Gymnasium mit Me			
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Modernisierungsempfehlung 3	
Modernisierungsziel		Technik und Dämmung empfohlen	
4.01	Jährliche Gesamtkosten		
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	12.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	144.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	3.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	159.000	€/a
4.1	Übersicht Einzelmaßnahmen	Technik und Dämmung empfohlen	
1	Objektspezifische Maßnahme	Dämmung Decke Altbau	
	Standardmaßnahme	364_Dämmung oberste Geschossdecke begehbar	
2	Objektspezifische Maßnahme	Beseitigung hydraulischer Kurzschlüsse	
	Standardmaßnahme	422_2_Hydraulischer Abgleich	
3	Objektspezifische Maßnahme	Dämmung Kellerdecke Neubau	
	Standardmaßnahme	353_Dämmung der Kellerdecke von unten mit 12 cm	
4	Objektspezifische Maßnahme	neue Beleuchtung Klassen Neubau	
	Standardmaßnahme	445_1_BL_500lx_Spiegelraster	
5	Objektspezifische Maßnahme	neue Beleuchtung Sporthallen	
	Standardmaßnahme	445_1_BL_500lx_Spiegelraster	
6	Objektspezifische Maßnahme	Kesselfolgeschaltung optimieren	
	Standardmaßnahme	489_Kesselfolgeschaltung	

Abbildung 5-3: Modernisierungsempfehlung 3 -

Die Kosten der Modernisierung 3 = ME2 zuzüglich Dämmung von Decken wurden aus der Datenbank übernommen. Die Energieeinsparung ergibt sich aus der Bilanz.

6.4 Modernisierungsempfehlung 4:

EK				
Musterschule, Gymnasium mit Me				
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	ME 4	Modernisierungsempfehlung 4	
Modernisierungsziel		Fassade		
4.01	Jährliche Gesamtkosten			
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	44.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	133.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+l,m}$	8.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	185.000	€/a
	Standardmaßnahme		364_Dämmung oberste Geschossdecke begebar	
2	Objektspezifische Maßnahme	M 4-2	Wanddämmung Altbau S + O	
	Standardmaßnahme		335_0_AW_WDVS_Passivhausstandard	
3	Objektspezifische Maßnahme	M 4-3	Dämmung Kellerdecke Neubau	
	Standardmaßnahme		353_Dämmung der Kellerdecke von unten mit 12 cm	
4	Objektspezifische Maßnahme	M 4-4	Dämmung Dach Neubau	
	Standardmaßnahme		364_0_D_Flachdach_EnEV-2009-Standard	
5	Objektspezifische Maßnahme	M 4-5	neue Fenster Neubau	
	Standardmaßnahme		334_1_FE_PH-Qualität	
6	Objektspezifische Maßnahme	M 4-6	Erneuerung Lüftungsanlagen mit Anpassung	
	Standardmaßnahme		430_1_Zuluftanlage_3_LhLkLb_bis-5000m3Proh	
7	Objektspezifische Maßnahme	M 4-7	Dämmung Pausenterrasse	
	Standardmaßnahme		364_0_D_Flachdach_EnEV-2009-Standard	
8	Objektspezifische Maßnahme	M 4-8	neue horizontale Fenster Bibliothek	
	Standardmaßnahme		334_1_FE_PH-Qualität	

Abbildung 5-4: Modernisierungsempfehlung 4-

In dem Paket ME4 wurden eher langfristige Maßnahmen bewertet:

Fassadendämmung Altbau, die nicht denkmalgeschützten Putzfassaden Süd und Ost. Für die Sandsteingesimse Nord und West entstünden bei Innendämmung bauphysikalisch bedenkliche Wärmebrücken.

Die 4 Lüftungsanlagen Baujahr 1984 werden ersetzt durch neuere Anlagen mit Kreuzstrom WRG, ggf. angepasster Luftmenge. Für die Sporthalle wird das jetzige System mit Lüftungsheizung umgestellt auf hygienischen Mindestluftwechsel und Beheizung über Deckenstrahlplatten. Dies ist in Kombination mit der neuen Beleuchtung für den Deckenspiegel möglich und in der Planung zu berücksichtigen. Die Mehrkosten Deckenstrahlplatten sind als Zuschlag in der Maßnahme Lüftung eingerechnet. Nicht geprüft werden konnte ob es konstruktiv eine Lösung einer kombinierten Lüftungsanlage Halle und Duschen Umkleiden geben könnte (Zuluft in Halle, Überströmung in Umkleiden, Abluft aus Duschen). Dies ist als Empfehlung im Falle einer Sanierung zu prüfen.

6.5 Modernisierungsempfehlung 5:

Musterschule, Gymnasium mit Me		ME 5 Modernisierungsempfehlung 5		
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Gesamtpaket		
Modernisierungsziel				
4.01	Jährliche Gesamtkosten			
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	46.000	€/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	127.000	€/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+l,m}$	12.000	€/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	185.000	€/a
	Standardmaßnahme		364_0_D_Flachdach_EnEV-2009-Standard	
6	Objektspezifische Maßnahme	M 5-6	neue Fenster Neubau	
	Standardmaßnahme		334_1_FE_PH-Qualität	
7	Objektspezifische Maßnahme	M 5-7	neue Beleuchtung Klassen Neubau	
	Standardmaßnahme		445_1_BL_500lx_Spiegelraster	
8	Objektspezifische Maßnahme	M 5-8	neue Beleuchtung Sporthallen	
	Standardmaßnahme		445_1_BL_500lx_Spiegelraster	
9	Objektspezifische Maßnahme	M 5-9	Erneuerung Lüftungsanlagen mit Anpassung	
	Standardmaßnahme		430_1_Zuluftanlage_3_LhLkLb_bis-5000m3Proh	
10	Objektspezifische Maßnahme	M 5-10	Dämmung Pausenterrasse	
	Standardmaßnahme		364_0_D_Flachdach_EnEV-2009-Standard	
11	Objektspezifische Maßnahme	M 5-11	Kesselfolgeschaltung optimieren	
	Standardmaßnahme		489_Kesselfolgeschaltung	
12	Objektspezifische Maßnahme	M 5-12	neue horizontale Fenster Bibliothek	
	Standardmaßnahme		334_1_FE_PH-Qualität	

Abbildung 5-5: Modernisierungsempfehlung 5 -

Für das Paket ME 5 werden alle betrachteten Einzel Maßnahmen zusammengefasst.

6.6 Zusammenfassung und Vergleich

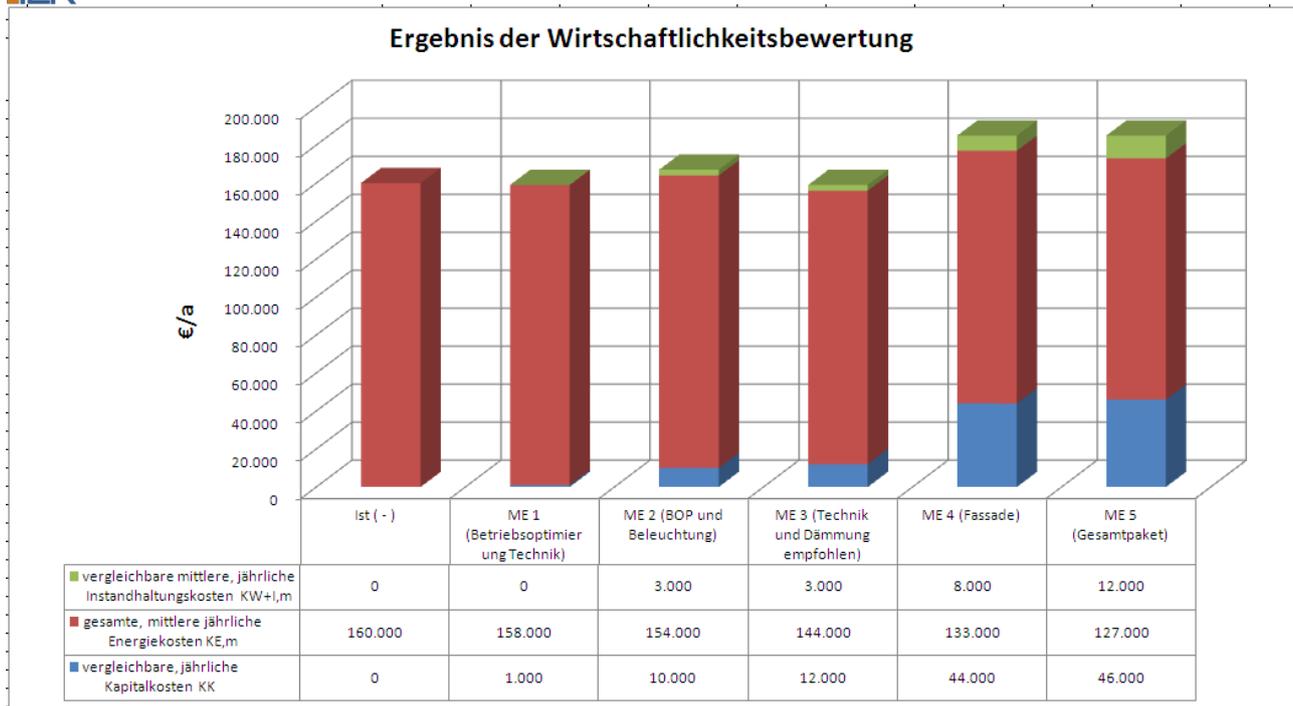


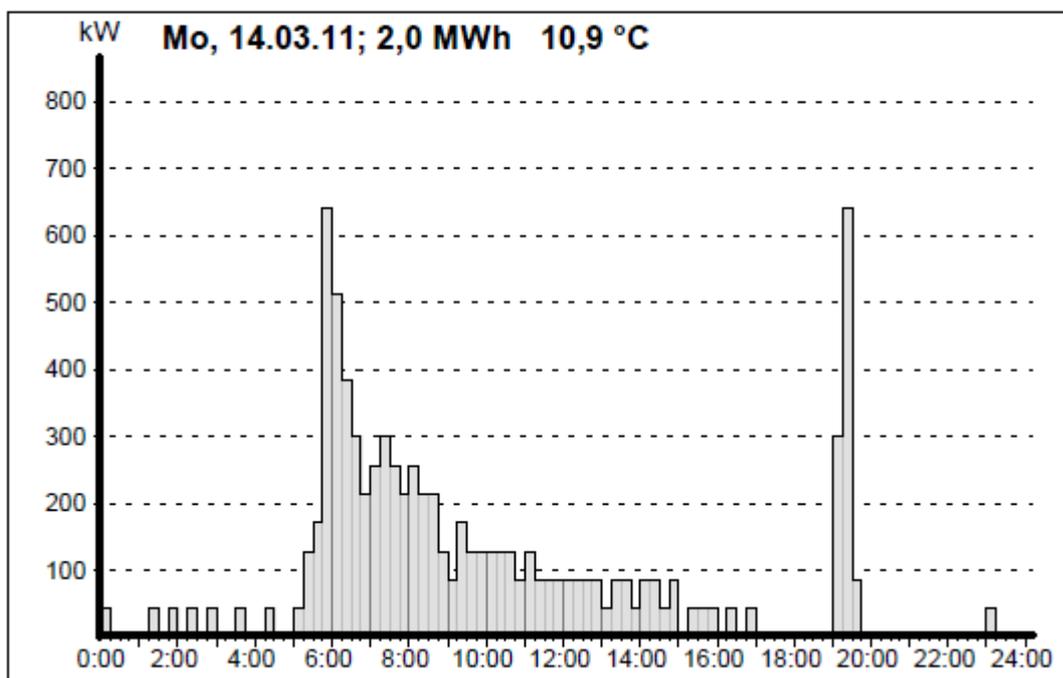
Abbildung 5-6 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen

In der Bilanz zeigt sich die enge Spielraum wirtschaftlicher Maßnahmen, wenn die nutzerbedingte optimierte Betriebsweise den wechselnden Belegungs- und Nutzungsbedarf exakt abbildet. Technik, Hülle und Nutzer(Nutzung bilden dabei einen wechselseitig idealen Ausgangszustand.

Dennoch gibt es Optimierungspotentiale ME1 und wichtige Dämmmaßnahmen (oberste Geschossdecke) die zudem die Behaglichkeitskriterien Oberflächentemperatur im Winter verbessern aber auch den Wärmeeintrag im Sommer erheblich mindern.

6 Durchgeführte Messungen

Datum von 14.03.2011 bis 20.03.2011



Brennstoffeinsatz

Aufheizung Kessel 1 + 2 + 3 und Auskühlung

Min 0,0 kW Max 728,3 kW

Die Aufheizanforderung am Morgen wird als Sprungantwort alle 3 Kessel EIN gegeben. Davon kühlen 2 dann 24 aus. Diese Wärmeverluste sind vermeidbar durch Programmänderung der Kesselsteuerung.



7 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: Berechnungsgrundlagen des TEK-Tools; Teilbericht im Rahmen des Forschungsprojekts „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (FKZ :03274331J) gefördert vom BMWi/PTJ; Darmstadt 2011

8 Anhang: Datenerhebung

9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

Die Unterlagen waren je nach Bauteil und Gewerk gar nicht vorhanden, dürftig oder aktuell, in Summe gesehen gering. Ausgangslage waren sinkende Verbrauchszahlen und neue Gebäudeautomation. Nur durch eine Begehung waren wenigstens wesentliche Kennwerte wenn auch mühsam zu ermitteln.

Beschreibung	Aktualität (- / 0 / +)	Bemerkung
<input type="checkbox"/> Architektenpläne <input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Grundrisse, 1:200 <input type="checkbox"/> bemaßte Schnitte, 1:200 <input type="checkbox"/> Ansichten	- + 0 +	
<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	- - -	
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Wärmeversorgungsanlagen <input checked="" type="checkbox"/> Schemata <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	0 - -	
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen <input checked="" type="checkbox"/> Schemata	-	Anlagenbeschreibung vorhanden und genutzt für Name des Kompressors



<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 type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Lüftungsgesuch <input type="checkbox"/> Abnahmemessungen <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	+ 0 - - - -	Regelschemen aus GLT mit Fehlern
<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

Nr.	Größe	Angenommene Ausprägung	Bemerkung

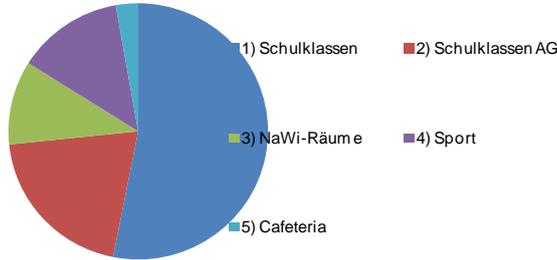


9 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes



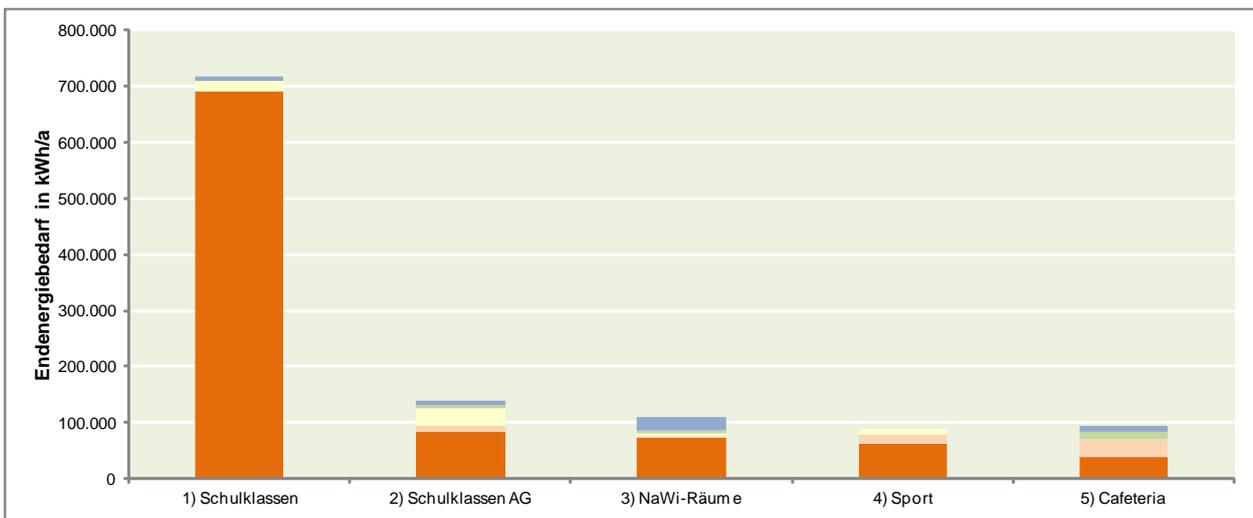
10 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



	Fläche m²	Anteil an beh. NGF
1) Schulklassen	5.738	56%
2) Schulklassen AG	2.187	22%
3) NaWi-Räume	1.139	11%
4) Sport	1.436	14%
5) Cafeteria	301	3%
	10.800	106%

2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

Bezeichnung	1) Schulklassen		2) Schulklassen AG		3) NaWi-Räume		4) Sport		5) Cafeteria						
	Fläche der Nutzungseinheit	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)	Fläche der Nutzungseinheit	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)	Fläche der Nutzungseinheit	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)	Fläche der Nutzungseinheit	TEK-Bewert.	PE-Kennwert kWh/(m²a)			
Arbeitshilfen	5738 m²	Gering	2	2187 m²	Hoch	3	1139 m²	Mittel	22	1436 m²	-	0	301 m²	Sehr hoch	37
Dampf			0			0			0			0			0
Kälte			0			0			0			0			0
Luftförderung		Sehr gering	0		Sehr gering	2		Sehr gering	3		#WERT!			Gering	40
Beleuchtung		Gering	3		Mittel	15		Sehr gering	6		Hoch	7		Gering	5
Warmwasser			0		Sehr gering	5		Sehr gering	3		Sehr gering	11		Hoch	106
Heizung		Mittel	120		Gering	38		Sehr gering	63		Gering	43		Mittel	126

Abbildung 10-1: Bewertung je Nutzungseinheit

11 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene

3.1 Heizung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew ert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) BT1-Klassen	08 Klassenzim	5.738	1	Mittel	120,2	90,2	1.332	31,4	107,6	292
2) BT1 Gymnastiksaal	31 Sporthalle	117	4	Sehr gering	7,2	236,8	30	14,0	59,4	235
3) BT2 Klassen	08 Klassenzim	1.266	2	Gering	45,7	106,4	429	31,4	107,6	292
4) BT2 Sporthalle	31 Sporthalle	620	4	Gering	11,2	142,4	78	14,0	59,4	235
5) BT2 Tiefgarage	32 Parkhaus	620	2							
6) BT 2 Bibliothek	29 Bibliothek, F	150	2	Mittel	78,2	127,8	612	26,2	34,0	770
7) BT2 NaWi-Räume	36 Labor	1.137	3	Sehr gering	63,3	160,0	396	142,5	235,4	605
8) BT3 Cafeteria	12 Kantine	273	5	Gering	56,9	398,9	143	37,2	178,5	208
9) BT1-Aula	23 Zuschauer	256	4	Gering	94,7	562,1	168	60,7	380,1	160
10) BT2 Duschen	16 WC, Sanitä	432	4	Gering	68,7	183,5	374	66,7	146,5	455
11) BT3 Nebenräume Cafete	15 Küche, Lag	28	5	Sehr hoch	799,3	683,6	1.169	43,4	146,6	296
12) BT3 WC Anlage EG	16 WC, Sanitä	150	2	Gering	89,2	170,6	523	66,7	146,5	455
13) BT2 Digestorien NaWi	36 Labor	2	3	Sehr gering	6,9	3,9	1.747	142,5	235,4	605
14) BT 1 Aufzugsmaschiner	20 Lager, Tect	10	4							

Tabelle 11-1: Bewertung auf Zonenebene - Heizung



3.2 Beleuchtung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nr. Beleuch- tungsanlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew ert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) BT1-Klassen	08 Klassenzim	5.738	1	Gering	3,3	4,8	698	3,1	7,9	390
2) BT1 Gymnastiksaal	31 Sporthalle	117	3	Sehr hoch	19,7	38,7	510	4,8	8,1	594
3) BT2 Klassen	08 Klassenzim	1.266	2	Gering	14,4	8,3	1.733	12,1	7,9	1.528
4) BT2 Sporthalle	31 Sporthalle	620	4	Mittel	9,2	18,1	510	4,8	8,1	594
5) BT2 Tiefgarage	32 Parkhaus	620	5	Hoch	1,0	4,5	215	0,5	2,0	265
6) BT 2 Bibliothek	29 Bibliothek, F	150	3	Sehr hoch	85,1	38,7	2.200	13,9	6,1	2.282
7) BT2 NaWi-Räume	36 Labor	1.137	2	Sehr gering	5,6	8,3	680	8,0	15,4	518
8) BT3 Cafeteria	12 Kantine	273	6	Gering	5,1	4,2	1.200	6,1	4,8	1.289
9) BT1-Aula	23 Zuschauer	256	7	Hoch	7,1	11,8	600	2,6	4,4	592
10) BT2 Duschen	16 WC, Sanitär	432	8	Gering	0,7	2,2	330	0,6	9,0	72
11) BT3 Nebenräume Cafete	15 Küche, Lag	28	6	Sehr gering	3,8	4,2	900	6,9	12,2	568
12) BT3 WC Anlage EG	16 WC, Sanitär	150	6	Gering	5,1	4,2	1.210	2,4	9,0	266
13) BT2 Digestorien NaWi	36 Labor	2	1	Sehr gering	3,2	4,8	680	8,0	15,4	518
14) BT 1 Aufzugsmaschiner	20 Lager, Tech	10	1	Mittel	0,2	4,8	41	0,2	3,0	56

Tabelle 11-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung

3.3 Luftförderung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m²	Nr. RLT- anlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) BT1-Klassen	08 Klassenzim	5.738	11	Sehr gering	0,0	0,1	40	9,0	5,0	1.800
2) BT1 Gymnastiksaal	31 Sporthalle	117	7	Sehr gering	4,8	21,3	224	12,8	2,5	5.100
3) BT2 Klassen	08 Klassenzim	1.266	2	Sehr gering	1,1	5,0	220	15,0	8,3	1.800
4) BT2 Sporthalle	31 Sporthalle	620	4	Sehr gering	2,8	8,1	350	12,8	2,5	5.100
5) BT2 Tiefgarage	32 Parkhaus	620	14	Sehr gering	1,3	6,4	200	13,0	4,0	3.250
6) BT 2 Bibliothek	29 Bibliothek, F	150	6	Sehr gering	1,9	8,7	220	7,0	1,7	4.200
7) BT2 NaWi-Räume	36 Labor	1.137	1	Sehr gering	2,4	11,0	220	125,0	20,8	6.000
8) BT3 Cafeteria	12 Kantine	273	8	Sehr gering	5,6	11,0	510	33,8	15,0	2.250
9) BT1-Aula	23 Zuschauer	256	3	Sehr gering	1,5	43,0	36	50,0	33,3	1.500
10) BT2 Duschen	16 WC, Sanitär	432	5	Sehr gering	2,3	6,7	350	40,6	12,5	3.250
11) BT3 Nebenräume Cafete	15 Küche, Lag	28	10	Sehr hoch	374,4	42,9	8.736	56,3	12,5	4.500
12) BT3 WC Anlage EG	16 WC, Sanitär	150	9	Sehr gering	12,8	10,7	1.200	40,6	12,5	3.250
13) BT2 Digestorien NaWi	36 Labor	2	13	Sehr hoch	600,0	3000,0	200	75,0	12,5	6.000
14) BT 1 Aufzugsmaschiner	20 Lager, Techn	10	12		#WERT!	40,0	#WERT!	#WERT!	#WERT!	#WERT!

Tabelle 11-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung



3.4 Kälte

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) BT1-Klassen	08 Klassenzim	5.738	1							
2) BT1 Gymnastiksaal	31 Sporthalle	117	4							
3) BT2 Klassen	08 Klassenzim	1.266	2							
4) BT2 Sporthalle	31 Sporthalle	620	4							
5) BT2 Tiefgarage	32 Parkhaus	620	2							
6) BT 2 Bibliothek	29 Bibliothek, F	150	2							
7) BT2 NaWi-Räume	36 Labor	1.137	3							
8) BT3 Cafeteria	12 Kantine	273	5							
9) BT1-Aula	23 Zuschauer	256	4							
10) BT2 Duschen	16 WC, Sanitär	432	4							
11) BT3 Nebenräume Cafete	15 Küche, Lag	28	5							
12) BT3 WC Anlage EG	16 WC, Sanitär	150	2							
13) BT2 Digestorien NaWi	36 Labor	2	3							
14) BT 1 Aufzugsmaschiner	20 Lager, Techn	10	4							

Tabelle 11-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte

3.5 Dampfbefeuchtung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) BT1-Klassen	08 Klassenzim	5.738	1							
2) BT1 Gymnastiksaal	31 Sporthalle	117	4							
3) BT2 Klassen	08 Klassenzim	1.266	2							
4) BT2 Sporthalle	31 Sporthalle	620	4							
5) BT2 Tiefgarage	32 Parkhaus	620	2							
6) BT 2 Bibliothek	29 Bibliothek, F	150	2							
7) BT2 NaWi-Räume	36 Labor	1.137	3							
8) BT3 Cafeteria	12 Kantine	273	5							
9) BT1-Aula	23 Zuschauer	256	4							
10) BT2 Duschen	16 WC, Sanitär	432	4							
11) BT3 Nebenräume Cafete	15 Küche, Lag	28	5							
12) BT3 WC Anlage EG	16 WC, Sanitär	150	2							
13) BT2 Digestorien NaWi	36 Labor	2	3							
14) BT 1 Aufzugsmaschiner	20 Lager, Techn	10	4							

Tabelle 11-5: Bewertung auf Zonenebene Dampfbefeuchtung



12 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 W/(m²K)	g_tot -
	spezifisch m² _{BTF} /m² _{NGF}	absolut m² _{BTF}		
Außenwand	0,302	3.073	1,00	-
Dach	0,272	2.764	1,08	-
Kellerdecke	0,273	2.777	0,91	-
Fenster O,S,W	0,090	915	1,87	0,00
Fenster N	0,047	479	1,94	0,00
Fenster hor.	0,002	21	2,82	0,80
ges. Gebäude	0,986	10.029	1,13	0,01

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften

spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	12,34 m³/(m²h)
Raumsolltemperatur Heizung	19,1 °C
Raumsolltemperatur Kühlung	0,0 °C
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	281 Lux
Nutzungszeit	1.281 h/a
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	148 Wh/(m²d)

2.1.5 Luftförderung

	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	56.520	72.320	m³/h
Dimensionierungsfaktor	43%	56%	
installierte Leistung	26,90	30,10	kW
spezifische Ventilatorleistung	1,71	1,50	kW/(m³ s)
Vollbetriebszeit	476	0	h/a
Endenergiebedarf	1,3	#WERT!	kWh/(m²a)
Primärenergiebedarf	3,3	#WERT!	kWh/(m²a)

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	83,1 kWh/(m²a)
davon Warmwasser	4,4 kWh/(m²a)
zusätzliche Verluste Verteilung*	5,4 kWh/(m²a)
Erzeugernutzwärmeabgabe	88,5 kWh/(m²a)
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	1.564 kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	43%
Erzeugeraufwandszahl	1,12 -
Endenergie Wärmeerzeugung	99,0 kWh/(m²a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Wärmeerzeugung	100,5 kWh/(m²a)

Tabelle 12-1: 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 ² _{NGF} a)		
Raumsystem	73,9	0,0	-
RLT-Anlage	4,7	0,0	0,0
Summe	79	0	-

max. Heiz- bzw. Kühllast	Heizung	Kälte
	W/m ² _{NGF}	
Raumsystem	86	0
RLT-Anlage	33	5
Summe	118	5

2.1.4 Beleuchtung

installierte Leistung	78 kW
mittlere Bewertungsleistung	7,6 W/m ²
Vollbetriebszeit	896 h/a
Endenergie Beleuchtung	7 kWh/(m ² a)
Primärenergie Beleuchtung	18 kWh/(m ² a)

2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	0,0 kWh/(m ² a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	0,0 kWh/(m ² a)
Erzeugernutzkälteabgabe	0,0 kWh/(m ² a)
maximale thermische Kälteleistung	46 kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	30%
Jahreskälteleistungszahl	3,83 -
Endenergie Kälteerzeugung	0,0 kWh/(m ² a)
davon elektrische Energie	100 %
Primärenergieenergie Kälteerzeugung	0,0 kWh/(m ² a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	0,0
Teilennwert Kalt-/Kühlwasserdistribution	0,0 kWh/(KW a)

2.1.8 Dampferzeugung

Endenergiefaktor	0,00 -
Endenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m ² a)
Primärenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m ² a)

*) Ein Teil der Verteilverluste reduziert den Nutzenergiebedarf Heizung

**) (Nennwärmeleistung Typenschild)/(berechnete max. Heizleistung * 1,3)

***) (Nennkälteleistung Typenschild)/(berechnete max. Kälteleistung * 1,3)

Tabelle 12-2: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 2



2.2.2 Zoneninformationen

10.170 m ²		Grundfläche aller beheizten Zonen									
0 m ²		Grundfläche aller gekühlten Zonen			Konditionierung (1=vorhanden)			Nutzenergie			
Zonenname		Standard-	Zonen-	RLT-	Heizung /	mech.	Kälte	Heizung		Kälte	
		nutzung	fläche	Anlage	Warmwasser	Lüftung	Befeuchtung	Zone+RLT	Erzeuger	Zone+RLT	Erzeuger
			m ²	Nr				kWh/(m ² a) ¹			
Kennwerte bezogen auf die gesamte beheizte bzw. gekühlte Fläche			10.800					79	83		
Zone 1	BT1-Klassen	08 Klassenzim	5.738	11	1 /	1	/	103,1	107,4		
Zone 2	BT1 Gymnastiksaal	31 Sporthalle	117	7	1 / 1	1	/	2,1	6,4		
Zone 3	BT2 Klassen	08 Klassenzim	1.266	2	1 / 1	1	/	36,5	40,8		
Zone 4	BT2 Sporthalle	31 Sporthalle	620	4	1 / 1	1	/	5,6	10,0		
Zone 5	BT2 Tiefgarage	32 Parkhaus	620	14	/ 1	1	/				
Zone 6	BT 2 Bibliothek	29 Bibliothek, F	150	6	1 / 1	1	/	65,6	69,9		
Zone 7	BT2 NaWi-Räume	36 Labor	1.137	1	1 / 1	1	/	52,2	56,6		
Zone 8	BT3 Cafeteria	12 Kantine	273	8	1 / 1	1	/	46,5	50,8		
Zone 9	BT1-Aula	23 Zuschauer	256	3	1 / 1	1	/	80,2	84,6		
Zone 10	BT2 Duschen	16 WC, Sanitär	432	5	1 / 1	1	/	57,0	61,4		
Zone 11	BT3 Nebenräume Cafeteria	15 Küche, Lag	28	10	1 / 1	1	/	709,9	714,2		
Zone 12	BT3 WC Anlage EG	16 WC, Sanitär	150	9	1 / 1	1	/	75,4	79,7		
Zone 13	BT2 Digestorien NaWi	36 Labor	2	13	1 / 1	1	/	1,8	6,2		
Zone 14	BT 1 Aufzugsmaschinenraum	20 Lager, Tech	10	12	/ 1	1	/				

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 12-3: Übersicht Zonen

2.2.3 Beleuchtungsanlagen									
10.800	m²	Grundfläche aller belichteten Zonen							
Zonenname	Zonenfläche m²	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungsstärke Lux	elektrische Bewertungsleistung			Regelung	Endenergiebedarf kWh/(m²a) ¹	
				W/m² ¹	W/(m² 100lux)	Ermittlung			
Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche		10.800	296	7	2			6	
Zone 1	BT1-Klassen	5.738	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	300	4,8	1,6	Lamp. zählen	man.	3
Zone 2	BT1 Gymnastiksaal	117	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	38,7	12,9	Lamp. zählen	man.	20
Zone 3	BT2 Klassen	1.266	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	8,3	2,8	Lamp. zählen	man.	14
Zone 4	BT2 Sporthalle	620	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	18,1	6,0	Lamp. zählen	man.	9
Zone 5	BT2 Tiefgarage	620	5 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	75	4,5	6,0	Lamp. zählen	man.	1
Zone 6	BT 2 Bibliothek	150	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	200	38,7	19,3	Lamp. zählen	man.	85
Zone 7	BT2 NaWi-Räume	1.137	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	500	8,3	1,7	Lamp. zählen	man.	6
Zone 8	BT3 Cafeteria	273	6 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem E	200	4,2	2,1	Lamp. zählen	man.	5
Zone 9	BT1-Aula	256	7 / Leuchtstofflampe kompakt mit integrierten	200	11,8	5,9	Lamp. zählen	man.	7
Zone 10	BT2 Duschen	432	8 / Leuchtstofflampe kompakt mit integrierten	200	2,2	1,1	Lamp. zählen	man.	1
Zone 11	BT3 Nebenräume Cafeteria	28	6 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem E	300	4,2	1,4	Lamp. zählen	man.	4
Zone 12	BT3 WC Anlage EG	150	6 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem E	200	4,2	2,1	Lamp. zählen	man.	5
Zone 13	BT2 Digestorien NaWi	2	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	500	4,8	1,0	Lamp. zählen	man.	3
Zone 14	BT 1 Aufzugsmaschinenraum	10	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	100	4,8	4,8	Lamp. zählen	man.	0

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 12-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen



2.2.4 RLT-Anlagen (bezogen auf die jeweils belüftete Fläche)

Bezeichnung	belüftete Fläche m ²	Heiz-/ Kühlregister	Befeuchter / WRG ¹	Zuluft		Abluft		Dimensionierungs- faktor ²	spezifische Leistungsauf.	Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN V 18599 kWh/(m ³ /h a)
				max. Vol- umenstrom m ³ /h	max. elektr. Leistung kW	max. Vol- umenstrom m ³ /h	max. elektr. Leistung kW				
Kennwerte bez. a. d. ges. mech. bel. Fläche	10.800			56.520	26,90	72.320	30,10	83%	1,59	#WERT!	3,01
RLT 1 NaWi	1.137	Heizreg.	kein / W) 0,45	12.760	7,50	12.760	5,00	45%	1,76	#WERT!	1,83
RLT 2 Gruppenräume	1.266	Heizreg.	kein / W) 0,45	6.870	3,80	6.870	2,50	54%	1,65	#WERT!	1,76
RLT 3 Aula	256	HZ+Kühlreg.	kein / W) 0,45	12.000	5,50	12.000	5,50	117%	1,65	#WERT!	0,21
RLT 4 Turnhalle	620	Heizreg.	kein / W) 0,45	7.800	3,00	7.800	2,00	419%	1,15	#WERT!	1,85
RLT 5 Umkleiden Turnhalle	432	Heizreg.	kein / kein)	3.840	1,70	3.840	1,20	59%	1,36	#WERT!	4,22
RLT 6 Bibliothek	150	Heizreg.	kein / W) 0,6	1.300	0,80	1.300	0,50	433%	1,80	#WERT!	1,52
RLT 7 Gymnastik mit Umkleiden	117	Heizreg.	kein / W) 0,6	4.500	1,50	4.500	1,00	1280%	1,00	#WERT!	0,73
RLT 8 Küche	273	Heizreg.	kein / kein)	4.700	1,50	4.700	1,50	96%	1,15	#WERT!	2,97
RLT 9 WC Anlage Pausenhof	150	kein	kein / kein)	1.950	0,90	1.950	0,70	87%	1,48	#WERT!	2,56
RLT 10 Nebenräume Cafe	28	Heizreg.	kein / kein)	800	0,70	800	0,50	190%	2,70	#WERT!	53,07
RLT 11 Werkraum	5.738	kein	kein / kein)			500	0,80	1%	5,76	#WERT!	0,00
RLT 12 Aufzugsmaschinenraum	10	kein	kein / kein)			500	0,40	33333%	2,88	#WERT!	0,00
RLT 13 Digestorien	2	kein	kein / kein)			7.200	4,50	19200%	2,25	#WERT!	0,00
RLT 14 Tiefgarage	620	kein	kein / kein)			7.600	4,00	153%	1,89	#WERT!	0,00

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

2) Nennvolumenstrom bezogen auf hygienischen Mindestaußenluftbedarf der versorgten Zonen

Tabelle 12-5: Übersicht RLT-Anlagen

2.2.5 Dezentrale Wärmeerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m ²	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m ² a) ¹
Heizung				
Elektrische Direktheizung				
Elektrische Speicherheizung				
Warmwasser				
el. Durchlauferhitzer				
el. Kleinspeicher	5.738	-	1,70	0

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

10.170	m ²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen					
4.761	m ²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen					
Bezeichnung		Erzeugerart	Baujahr	thermische Nennleistung ² kW	Erzeugerauf- wandszahl		Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil
					Heizung	Warmwasser	
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral beheizte Fläche				675	1,12	1,12	99
Wärmeerz. 1	Kessel 1	Brennwertkessel ab 1995 (Gas; Heizöl)	2007	225	1,12	1,12	33%
Wärmeerz. 2	Kessel 2	Brennwertkessel ab 1995 (Gas; Heizöl)	2007	225	1	1	33%
Wärmeerz. 3	Kessel 3	Brennwertkessel ab 1995 (Gas; Heizöl)	2.007	225	1	1	33%
Wärmeerz. 4							

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

Tabelle 12-6: Übersicht Wärmeerzeuger



2.2.7 Dezentrale Kälteerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m ²	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m ² a) ¹
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 m ² Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche								
Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr	thermische Kälteleistung ² kW	Nennkälte- leistungszahl	mittlerer Teil- lastfaktor	Teilkennwert Kälteerzeugung	Erzeuger- aufwandszahl	Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral gekühlte Fläche		-	17,9	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
Erz. 1	Lüftung Aula	2007	17,9	2,80	1,37	3,8	0,26	#DIV/0!
Erz. 2								

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

Tabelle 12-7: Übersicht Kälteerzeuger



13 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool

14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen

Basis	$f_{b/v} = ??$
Aus dem Soll – IST Vergleich Basis ergeben sich von TEK Bilanz und Zählung Differenzen in Höhe 30%. Diese Abschläge von 30% wurden auch auf die gerechneten Werte ME 1 bis 5 in die Wirtschaftlichkeit eingegeben.	<i>Alle berechneten Werte werden nur zu 70% übernommen</i>

14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofilen DIN V 18599

Hinweise zur Zuweisung der Standardnutzungen, zu Differenzen zwischen der vorgefundenen Nutzung und Standardnutzung DIN V 18599 (Tabellenvordruck zur Dokumentation);

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

Standardnutzungsprofil	Diskutierte Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		

Standardnutzungsprofil	Diskutierte Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		

Standardnutzungsprofil	Diskutierte Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		



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 13-1 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.

Thermische Hüllfläche des gesamten Gebäudes für den gewählten Modus zur Beschreibung der Gebäudehülle						
	Thermische Gebäudehülle in m ² (Außenmaßbezug)					
	Süd	Ost	West	Nord	Horizontal / ohne	
Fensterfläche (Rohbaumaß)	301,0	364,0	264,0	479,0	21,0	
Außenwand (Außenluft)						3059
Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)						98
Dach bzw. oberste Geschossdecke						2764,0
Kellerdecken/-fußbodenfläche						2777,0
Auswertung für TEK-Projekt: Prozentuale Differenz von "in Berechnung verwendet" zu "objektspez. thermischen Hüllfläche"						
	Thermische Gebäudehülle in m ² (Außenmaßbezug)					
	Süd	Ost	West	Nord	Horizontal	
Fensterfläche (Rohbaumaß)	0%	0%	0%	0%	0%	
Außenwand (Außenluft)						0%
Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)						0%
Dach bzw. oberste Geschossdecke						0%
Kellerdecken/-fußbodenfläche						0%
ges. Hüllfläche	0%	ges. Fassadenfl.	0%	ges. Fensterfl.	0%	

Tabelle 13-1: Prozentuale Abweichung von vereinfacht ermittelten Hüllflächen und detailliert ermittelten Hüllflächen (bezogen auf die detailliert ermittelte Hüllfläche)

Die Differenzen der berechneten Bedarfswerte zwischen vereinfachtem und gebäudebezogenen Verfahren liegen bei:

berechneter Wärme 1,0% Differenz

berechnetem Strom 0,4% Differenz

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 11) vorgenommen und über die Nutzungseinheit (Abschnitt 10) 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

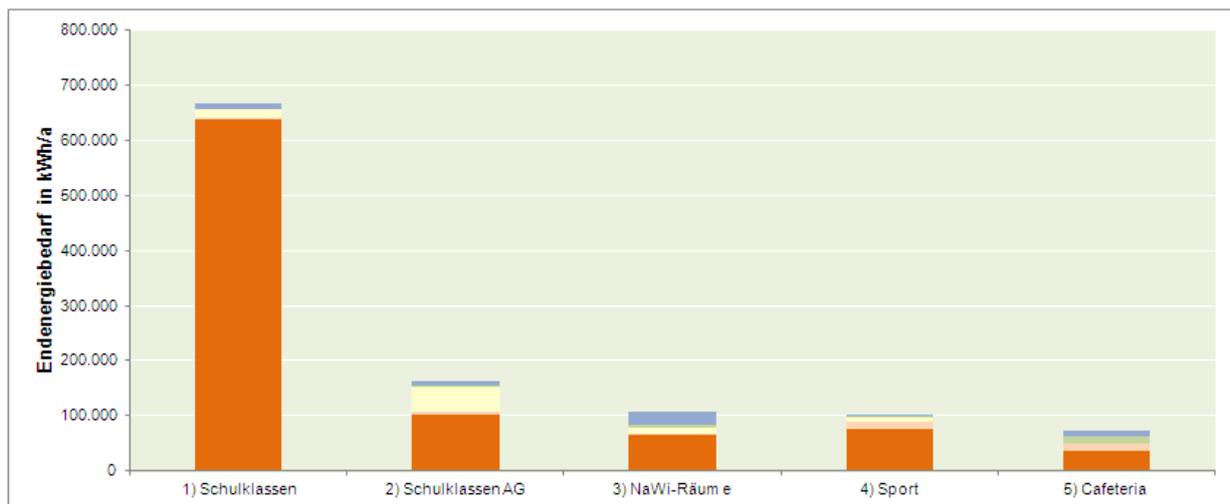


Bedeutung. Da die Teilenergiekennwerte zunächst nur für die Standardnutzungen gelten, müssen die Teilenergiekennwertbewertungen vor dem Hintergrund der gewählten Standardnutzungen und den realen Randbedingungen vom Energieberater auf Plausibilität geprüft werden.

Für die Gebäudeanalyse werden überwiegend die Teilenergiekennwertbewertungen auf Zonenebene aus Abschnitt 11 herangezogen. In Abschnitt 11 werden neben der Bewertung des Ist-Zustandes die tabellierte 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.

2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



Der hohe Anteil Zone Schulklassen (Altbau ohne mechanische Lüftung) erscheint gegenüber der Zone 2 Schulklassen im Neubau unplausibel hoch.



Warum die Kälte Aula mit 11 Stunden Betriebszeit als Sehr hoch bewertet wird, ist nicht plausibel

3.4 Kälte										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) BT1-Klassen	08 Klassenzim	5.738	1							
2) BT1 Gymnastiksaal	31 Sporthalle	117	4							
3) BT2 Klassen	08 Klassenzim	1.266	2							
4) BT2 Sporthalle	31 Sporthalle	620	4							
5) BT2 Tiefgarage	32 Parkhaus	620	2							
6) BT 2 Bibliothek	29 Bibliothek, F	150	2							
7) BT2 NaWi-Räume	36 Labor	1.137	3							
8) BT3 Cafeteria	12 Kantine	273	5							
9) BT1-Aula	23 Zuschauer	256	4	Sehr hoch	0,7	62,5	11	0,0	0,0	223
10) BT2 Duschen	16 WC, Sanitä	432	4							
11) BT3 Nebenräume Cafete	15 Küche, Lag	28	5							
12) BT3 WC Anlage EG	16 WC, Sanitä	150	2							
13) BT2 Digestorien NaWi	36 Labor	2	3							
14) BT 1 Aufzugsmaschiner	20 Lager, Tecl	10	4							

Interner Anhang – Kurzzeitmessungen

Kurzzeitmessungen Strom und Wärme

Die Kurzzeitmessungen wurden für den Hauptzähler Gas gelegt, um über Summen-Lastprofile zusätzliche Hinweise auf Ursachen für die geringen Verbrauchswerte zu erhalten und die Betriebsweise und Bedienung der Anlagen der Schule in Summe zu dokumentieren.

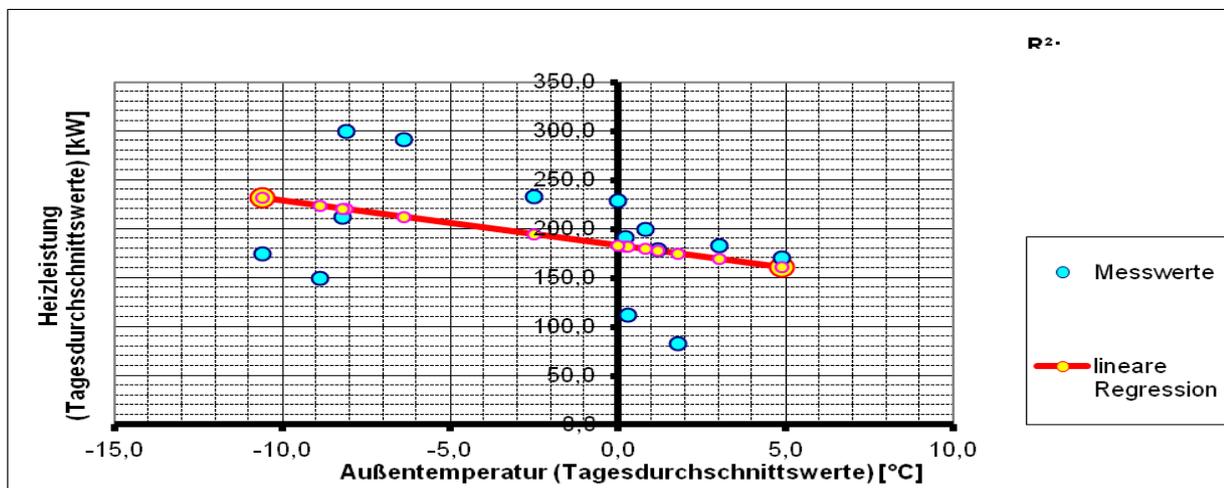
Messort: Gasübergabezähler

Messgerät: Datenlogger-Gasversorger

Zeitraum: 14 Tage

Verfahren: Hochrechenprognose Kurzzeitmessung IWU

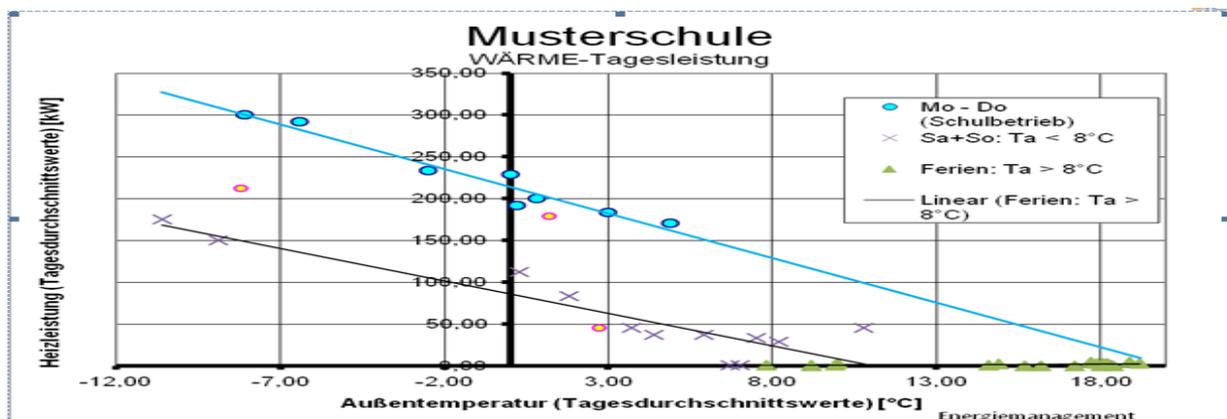
Ergebnisse: siehe auch Kapitel 4.2.1



Auf Grund der bauphysikalischen Gegebenheiten wird bis zu einer Aussentemperatur von 15°C geheizt.

Klimatensatz Würzburg kommt dem Standort Frankfurt am nächsten.

Die Prognose ergibt 1.160 MWh im Jahr. Der tatsächliche Verbrauch liegt weit darunter, obwohl die Länge der Heizperiode in der Schule mit anderen Liegenschaften der Stadt Frankfurt vergleichbar ist.





Wie in Kapitel 4.2.1 als Ergebnis dargestellt, liegt die Ursache in zu verschiedenen Betriebsweisen TAG (mit Nutzung) und NACHT (Wochenende, Nacht und Ferien).

In der Periode NACHT liegt laut Messung die Heizgrenztemperatur bei ca. 8°C, für den Freitag wird analog der realen Nutzung ein halber oder ganzer Tag „TAG“ gemessen. In der Betriebsart NACHT sind zudem alle Lüftungsanlagen ausgeschaltet, die Pufferwirkung der Warmwasserspeicher wird voll ausgenutzt, keine WW-Entnahme, es erfolgt keine Speichernachladung.

Diese sehr unterschiedliche Betriebsweise bildet das Tool mit einer Regression nicht ab.

Werden aus der 14-Tagemessung händisch die 3 Betriebsperioden verschiedener Grenztemperaturen, Innentemperaturen und Leistung dann einzeln linearisiert und über anzusetzende jeweilige Zeiten hochgerechnet, ergibt sich hinreichend genau der tatsächliche Wert. Damit bildet erst die Differenzierung über 3 Linearisierungen aus 14 Tagen Kurzzeitmessung die Jahresbilanz als Hochrechnung gut ab.

(siehe auch Kapitel 4.2.1)



Interner Anhang Zeitaufwand

Tab. 1: Zeitaufwand für die Gebäudeanalysen			
Projektbeschreibung	-		Musterschule _ Gymnasium
Gebäude	-		Musterschule _ Gymnasium mit Mensa
Energiebezugsfläche	m ²		10.170
Zeitaufwand für Bearbeitung in h			
Lfd. Nr.	Aufwand in h	Rationalisierungsfaktor	Bescheinung
	17,00	0%	Datenbeschaffung
1	5,00	0%	Beschaffen und auswerten existierender Unterlagen
2	12,00	0%	Vor-Ort-Termin
	45,00	9%	Gebäudeanalyse mit TEK-Tool
3	4,00	0%	Zonierung, Zonenflächen
4	14,00	0%	Objektspezifische Hüllfläche bestimmen
5	8,00	50%	Softwareeingabe
6	7,00	0%	Plausibilitätsprüfung
7	12,00	0%	Modernisierungsempfehlungen
	20,00	0%	Weitere Untersuchungen
8	4,00	0%	Verbrauchsanalysen
9	4,00	0%	Lastganganalysen
10	4,00	0%	Kurzzeitmessungen
11	8,00	0%	Dokumentation und Präsentation
	0,00	0%	Sonstiges
12	0,00	0%	
13	0,00	0%	
14	0,00	0%	
	82,00	5%	Gesamt

Tab. 2: Hilfstabelle Arbeitsschritte			
Hier können Arbeitsschritte frei definiert und den Positionen aus Tab. 1 über die laufende Nummer zugewiesen werden			
Lfd. Nr.	Aufwand in h	Rationalisierungsfaktor	Bescheinung
Tab. 1			
6	7		Plausibilität Verbrauch : TEK
10	4		Plausibilität

Tabelle 0-1: Zeitaufwand für Gebäudeanalysen