

# Energieberatungsbericht zum Deutsches Architekturmuseum

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

Stand: 17.12.2012

Erstellt durch: Peter Dorn  
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

- 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 **Standardbericht\_1.4\_Dam\_20\_11\_12**

### Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main

Energiemanagement

Peter Dorn

17.12.2012; Frankfurt a M.

Gerbermühlstraße 48

Datum, Ort

60594 Frankfurt am Main

Tel: 069 212-40743

e-mail: [peter.dorn2@stadt-frankfurt.de](mailto:peter.dorn2@stadt-frankfurt.de)

Unterschrift, Stempel

## Inhalt

<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Einleitung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Projekt- und Gebäudebeschreibung</b> .....	<b>8</b>
<b>4 Bewertung des Ist-Zustandes</b> .....	<b>9</b>
4.1 Gemessene Verbrauchsdaten.....	9
4.2 Lastganganalysen.....	12
4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme.....	12
4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie.....	12
4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes.....	14
4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch.....	14
4.3.2 Berechnete Energiekennwerte.....	15
<b>5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung</b> .....	<b>17</b>
<b>6 Modernisierungsempfehlungen</b> .....	<b>19</b>
6.1 Modernisierungsempfehlung 1:.....	19
6.2 Modernisierungsempfehlung 2:.....	20
6.3 Modernisierungsempfehlung 3:.....	21
6.4 Modernisierungsempfehlung 4:.....	21
6.5 Modernisierungsempfehlung 5:.....	22
6.6 Zusammenfassung und Vergleich.....	23
<b>7 Durchgeführte Messungen</b> .....	<b>24</b>
7.1 Temperaturspreizung der Heizkreisverteilung Nah-/Fernwärme.....	24
7.2 Strom-Messung Wärmeverteilung und Klimaanlage.....	25
<b>8 Anhang – Literatur</b> .....	<b>26</b>
<b>9 Anhang: Datenerhebung</b> .....	<b>27</b>
9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	27
9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten.....	28
<b>10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes</b> .....	<b>29</b>
<b>11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit</b> .....	<b>30</b>
<b>12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene</b> .....	<b>31</b>
<b>13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation</b> .....	<b>34</b>

<b>14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool .....</b>	<b>41</b>
14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen .....	41
14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofilen DIN V 18599 .....	41
14.3 Vereinfachte Hüllflächenermittlung.....	42
14.4 Teilenergiekennwertbewertung .....	44
<b>15 Interner Anhang – Kurzzeitmessungen .....</b>	<b>46</b>
<b>16 Interner Anhang Zeitaufwand .....</b>	<b>47</b>

## 1 Zusammenfassung

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



Abbildung 1-1 Deutsches Architekturmuseum

Das ursprüngliche Gebäude ist eine Gründerzeitvilla mit einer ionischen Kolossalsäulen an der mainseitigen Fassade.

Das ehemalige Privatbaus (Bj. ca. 1913) wurde durch die Umwandlung zum Museum 1m Jahr 1983. Der Altbau wurde völlig entkernt. So eröffnete sich für Oswald Mathias Ungers die Chance sein Konzept von einem „Haus-im-Haus“ zu realisieren. Die zweite Schwierigkeit wurde dadurch angegangen, dass das Haus durch eine umgebende Glashalle bis an die Grundstücksgrenzen erweitert wurde, wodurch sich die Flächen vergrößerten.

Die Konzeption der gesamten Gebäudeanlage: Vom „Haus-im- Haus“ – dem gleichsam verdichteten Kern – lässt es sich nach außen hin „auffächern“.

Um den „Kern“ legt sich eine weitere Raumschale, die die Zone zwischen dem Einbau und der Außenwand des Altbaus markiert. In diesem Zwischenbereich sind die in der Definition von Louis Kahn „dienenden Räume“, die beiden Treppenhäuser und der Lastenaufzug, untergebracht. Die Treppenschächte sind

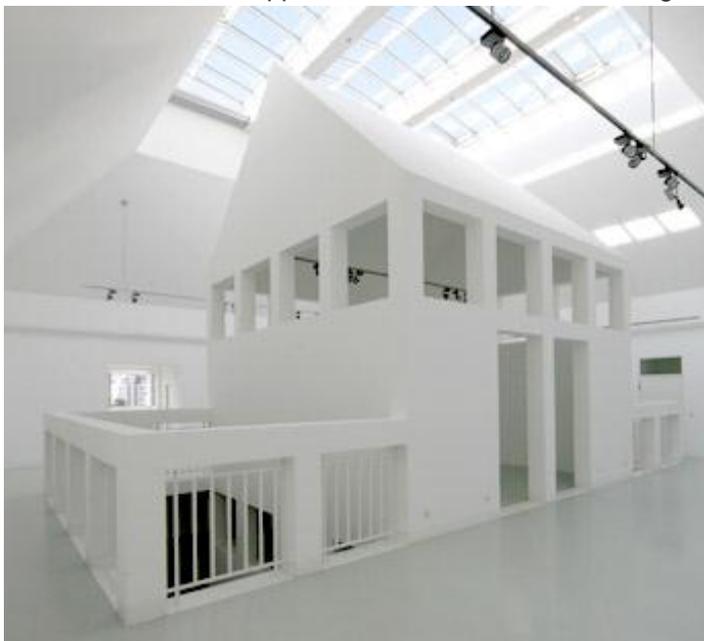


Abbildung 1-2 Ausstellungsraum „Haus-in-Haus“

zwangsläufig eng und daher wenig repräsentativ. Das Gebäude entwickelt sich in der Horizontalen als ein Gebilde aus mehreren Hüllen, während sich in der Senkrechten die Verwandlung vom Stützenraum im Souterrain zum umschlossenen Haus im vierten Obergeschoss darstellt.

Im inneren der Villa wurde während den Umbaumaßnahmen 1983 eine Stahlbetonkonstruktion eingestellt, das Haus-im-Haus. Das Haus-im-Haus ist ein quadratisches Haus aus Stahlbeton. Das innere Haus steht im Bereich des Kellergeschosses sowie des Erd- und 1. Obergeschosses auf Stahlbetonstützen. Ab dem Fußboden des 2. Obergeschoss ist das Haus-im-Haus unterseitig geschlossen. Das innere Haus erstreckt sich bis kurz unter das Glasdach des äußeren Hauses. Das Dach des inneren Hauses ist eine Satteldachkonstruktion aus Stahlbeton.

Das Dach des äußeren Hauses ist ein Dach aus Holzsparren. Das Dach ist mit Dachpfannen (Betondachziegel der Marke Tegalit) belegt. Die Dachneigung des äußeren Daches beträgt ringsum etwa 50°. Das Dach der Villa läuft nicht spitzförmig zu, sondern es ist mittig ein Plateau in Form eines Glasdaches angeordnet.

Innerhalb der Villa im Bereich der Rückseite befinden sich zwei Treppenhäuser sowie ein Aufzug. Im Keller sowie im Erdgeschoss der Villa befindet sich das sogenannte Auditorium. Das zweistöckige Auditorium ist nach oben mit Decke über Erdgeschoss geschlossen. Im KG sowie im EG befindet sich das Auditorium. Im EG befindet sich der Eingangsbereich (Foyer) mit angegliedertem Cafe. Hinter dem Eingangsbereich befinden sich die Ausstellungsräume. Die Ausstellungsräume erstrecken sich im EG über das Hauptgebäude der Villa sowie über das angebaute Nebengebäude mit Tonnendach und offenem Innenhof. Ab dem 1. Obergeschoss befinden sich Deckenöffnungen angrenzend zum Haus-im-Haus. Somit haben die Ausstellungsräumlichkeiten von 1.0G bis zum DG (=4.0G) einen Luftaustausch. Vom 1.0G kann man optisch das Glasdach des DG sehen. Im 2.0G befindet sich die Dauerausstellung des Museums. Im 3.0G befinden sich zusätzlich zur Ausstellung im Randbereich Büro- und Verwaltungsräume. Das 4. OG wird als Archiv und Abstellraum genutzt und befindet sich innerhalb der thermischen Hülle.

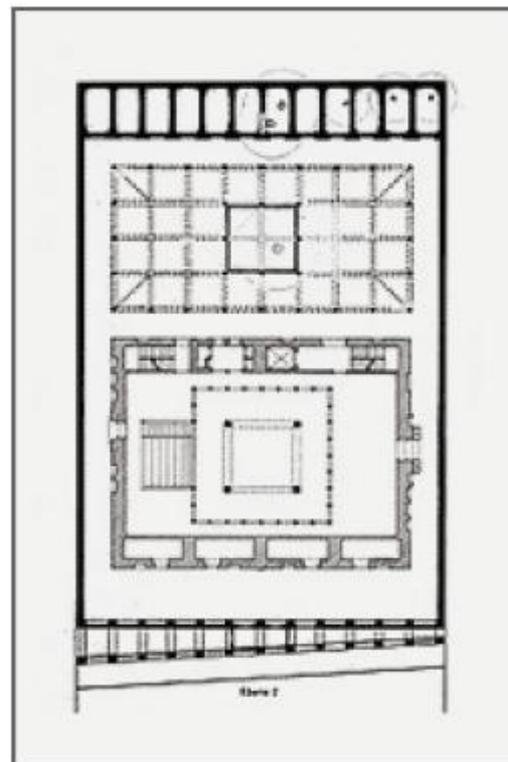
Im rückwärtigen Bereich auf Niveau des Erdgeschosses entstand während den Umbauarbeiten 1993 eine angebaute Ausstellungshalle mit Tonnendach und offenem Innenhof. Im seitlichen und vorderseitigen Bereich wurde eine mit Glas überdachte Eingangszone vor das Haus gestellt.



Abbildung 1-3 Anbau mit offenen Lichthof

Das Gebäude besteht aus 2 Teilen. Der Villa im vorderen Bereich sowie der Erweiterung im hinteren Bereich des Gebäudes. Die Villa ist vollständig unterkellert. Es folgen das EG sowie 1.0G bis 4.0G. Der Anbau mit Tonnendach und offenem Innenhof im hinteren Bereich ist nicht unterkellert. Es besteht lediglich aus einem Erdgeschoss mit einem gewölbeförmigen Dach. Der Anbau hat mittig einen Innenhof. Dieser Innenhof ist zur Zeit thermisch geöffnet. Hinter dem Innenhof befinden sich die sogenannten „Höfchen“. Hierbei handelt es sich um nach oben offene „Räume“. Diese Höfchen befinden sich außerhalb der thermischen Hülle.

Abbildung 1-4 Grundriß

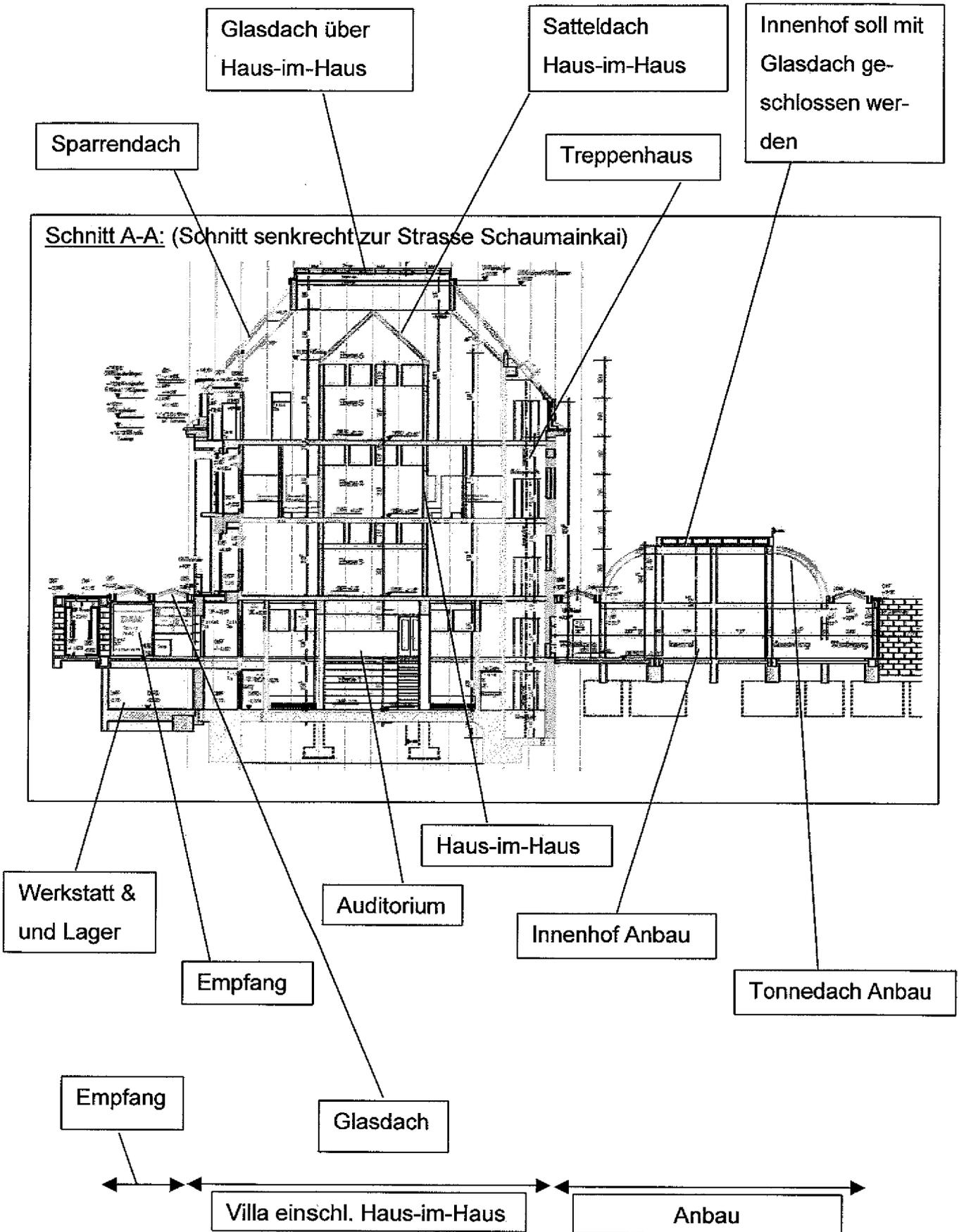


Der Gebäudekomplex besteht aus Villa und Anbau und ist ein freistehendes Gebäude mit einer Nettogrundfläche von ca. 2660 m<sup>2</sup>. Das Museum wird über eine Nahwärmeversorgung (Bj. 2010) aus dem Filmmuseum versorgt. Des Weiteren ist eine Klimaanlage eingebaut, welche das Auditorium und den Ausstellungsbe- reich klimatisch belüftet.

Die Liegenschaft steht unter Denkmalschutz. Die ausgestellten Exponate im Deutschen Architekturmuseum müssen internationalen Museumsstandards entsprechen. Folgende klimatische Museumsstandards müssen in den Räumen eingehalten werden: 19-25°C Raumtemperatur bei 45-55% relativer Luftfeuchtigkeit. Temperaturen dürfen innerhalb von 24 Stunden um 10% schwanken. Diese Standards sind bis auf den Bereich der Dauerausstellung im 2.0G im Bereich der Ausstellungsräumlichkeiten einzuhalten. Die internationalen Museumsstandards richten sich an die Ausleihgaben der Ausstellung. Die Ausstellungshalle im EG mit den beiden Korridoren bilden wichtige Ausstellungsbereiche des Museums.

Abbildung 1-5 Schnitt A-A

Das Gebäude besteht zum einen aus einer 4-geschossigen Villa, die vollständig unterkellert ist und



aus einem erdgeschossigen Anbau, der als Ausstellungsraum genutzt wird. Das Nutzungsprofil des Gebäudes stellt sich wie folgt dar :

#### **Untergeschoß• :**

- Hausanschlußraum Trinkwasser, Druckerhöhung (nicht klimasiert)
- Technikzentrale Heizung, • Übergabe Nahwärme
- Lüftungsanlage (nicht klimasiert)
- Technikzentrale, Elektro/ ELA (nicht klimasiert)
- Werkstatt
- Lagerräume (nicht klimasiert)
- Auditorium (ca.200 Plätze)
- Besucher-WC-Anlagen

#### **Erdgeschoß•**

- Eingangsbereich, Cafeteria
- Lager-/ Nebenräume (nicht klimasiert)
- Wandelgänge
- Ausstellungsbereich (nicht unterkellert)
- Aufzug (nicht klimasiert)
- Lagerräume (nicht klimasiert)
- Elekt.-Unterverteilung (nicht klimasiert)

#### **1. Obergeschoß•**

- Ausstellungsbereich
- Treppenhaus (nicht klimasiert)
- Aufzug (nicht klimasiert)
- Nebenräume (nicht klimasiert)

#### **2. Obergeschoß•**

- Ausstellungsbereich
- Treppenhaus (nicht klimasiert)
- Aufzug (nicht klimasiert)
- Nebenräume (nicht klimasiert)

#### **3. Obergeschoß**

- Ausstellungsbereich
- Treppenhaus (nicht klimasiert)
- Aufzug (nicht klimasiert)
- WC-Räume (nicht klimasiert)
- Verwaltung/ Büro (nicht klimasiert)

#### **4. Dachgeschoß• (Randbereich Dachraum) (nicht klimasiert)**

- Abstellräume
- Luftraum

#### **Klimaanlage**

Die Vollklimaanlage verfügt über die Funktionen Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten. Dies ist erforderlich, um seitens der Museumsleitung vorgegebene Werte hinsichtlich Raumlufttemperaturen und Raumluftfeuchten in den Ausstellungsbereichen einzuhalten.

Das Kanalnetzsystem ermöglicht auf Grund einer variablen Umschaltung und Volumenstromregler das Auditorium als auch die Ausstellungsräume bis ins 3.OG zu be- und entlüften, bzw zu be- und entfeuchten. Die Lüftungsanlage ist in drei Abschnitte unterteilt.

Die Aufteilung ist laut Ausschreibung wie folgt:

Zone	Raum	Vzu	Vab
Zone 1	Auditorium	4000 m <sup>3</sup> /h	4000 m <sup>3</sup> /h
Zone 2	Ausstellung EG	2000 m <sup>3</sup> /h	2000 m <sup>3</sup> /h
Zone 3	Ausstellung OG1	1000 m <sup>3</sup> /h	-----
	Ausstellung OG2	1000 m <sup>3</sup> /h	-----
	Ausstellung OG3	-----	2000 m <sup>3</sup> /h

Auf Grund der geringen Platzverhältnisse im Museum ist ständige Be- und Entlüftung des Auditoriums nicht erforderlich und kann somit die Ausstellungsbereiche mit abdecken. Dadurch ist ein ausdehntes Kanalsystem mit geringen Querschnitten vorhanden, welches zur einer relativen hohen elekt. Leistungsaufnahme der Lüftermotoren führt.

### Kälteerzeugung

Um das RLT-Geät und die Putzkühldecke ist mit den Funktionen Kühlen/Entfeuchten ausgestattet, wird das Medium Kälte mit der Leistung von 37 kW über 2 Luftkühler (Kaltwasser) und einem 300l Pufferspeicher betrieben. Die Kaltwasserverteilung erfolgt in Erdgeschoß über die Gruppen Fußbodenkühlung EG, RLT-Klimaanlage und Putzkühldecke.

Im Folgen 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	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster gegen Passivhausfenster	4) dringend	Hohe Wärmeverluste wegen großen Fensteranteil
2	362 Dachfenster, Dachöffnungen	vertikale Dachfenster austauschen	1) sinnvoll	hohe Wärmeverluste im Winter und hohe Wärmelasten im Sommer
3	361 Dachkonstruktionen	Tonnendächer ; Zwischensparrendämmung verstärken	1) sinnvoll	Wärmedämmung im Dach teilweise lückenhaft
4	336 Außenwandbekleidungen, innen	Villa mit 8cm Mineraldämmplatten von innen dämmen	3) wichtig	Außendämmung wegen Denkmalschutz nicht möglich
5	422 Wärmeverteilnetze	Hydraulischer Abgleich	5) sehr dringend	Spreizung von Vor- und Rücklauf zu gering

**Tabelle 1-1: Zusammenstellung der Modernisierungsempfehlungen**

### Aus den Untersuchungen können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

Die Gebäudehülle weist verschiedene Schwachstellen auf.

Zu 1.) Die Isolierglasfenster aus dem Jahr 1983 sind teilweise nicht mehr dicht. Besonders im Straßenfrontbereich (Südseite) sind im Sommer am sonnigen Tagen hohe Wärmelasten zu erwarten. Hier empfiehlt sich ein Austausch gegen Passivhausfensterelemente.

Zu 2.) Im Empfangsbereich und im gesamten EG-Bereich der Ausstellung sind große Flächen von vertikaler Überkopfverglasung des Glasdaches eingebaut. Deshalb ist in diesem Bereich bei sommerlichen Tagen mit Überhitzungsproblem zurechnen. Diese Fenster sollten mit einer Sonnenschutzverglasung mit einem Wert  $UG= 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und einem g-Wert von  $g=0,15$  ausgewechselt werden. Die Dachoberlichter der Villa über dem Haus-im-Haus sollten ebenfalls gegen einer Sonnenschutzverglasung ausgetauscht werden.

Anhand einer thermischen Gebäudesimulation wurde berechnet, dass durch den Einbau der Sonnenschutzverglasung mit einem Temperaturrückgang im Sommer im Bereich der Zone 5 (Empfang und Ausstellung im EG) die sommerliche Raumtemperatur um ca.  $2^\circ\text{C}$  abgesenkt werden könnte. Die Folge ist eine niedrigere erforderliche Kühlleistung für diesen Gebäudebereich.

Zu 3.) Das Tonnendach der Villa und Anbau hat derzeit eine Wärmedämmung bestehend aus 10cm Mineralwolle WLG 040. Die alte Wärmedämmung sollte durch 26cm starke Wärmedämmung der WLG 035 ersetzt werden.

Zu 4.) Da für den Altbau Denkmalschutz besteht, können die Außenwände der Villa nur von innerhalb des Gebäudes wärmetechnisch verbessert werden. Es empfiehlt sich eine Innen-Wärmedämmung mit Mineraldämmplatten von ca. 10 cm mit der WLG 045.

Zu 5.) Eine Tages-Kurzzeitmessung des Heizkreises DAM im Filmmuseum von Vor- und Rücklauftemperaturen ergab, dass die mittlere Temperaturdifferenz von  $11,4^\circ\text{C}$  relativ zu niedrig ist. Im Mittel sollten  $15^\circ\text{C}$  erreichbar sein. Ein hydraulischer Abgleich im Bezug auf Pumpenleistung und Vermeidung eines Kurzschlußsystem in der Klimaanlage sowie Anpassung der Heizleistung der Heizflächen sind notwendig.

## 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 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		
Museum _ Villa mit Glasvorbauten		
Gebäude	Eigentümer	Energieberatung
Deutsches Architektur- museum Schaumaikai 43 60594 Frankfurt a. Main	Stadt Frankfurt Kulturamt Brückenstraße 3-7 60594 Frankfurt a. Main	Peter Dorn Hochbauamt Frankfurt a.M. Gerbermühlstrasse 48 60594 Frankfurt am Main



1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften			
Gebäudekategorie	Veranstaltungsgebäude	en. Qualität Gebäudehülle $H_T$	1,07 W/(m <sup>2</sup> <sub>BTF</sub> K)
Unterkategorie	Museen, Ausstellungsgebäude	en. Qualität Lüftung $H_V$	0,20 W/(m <sup>3</sup> /h K)
		Fensterant. (oberirdisch)	11 %
Baujahr Gebäude	1920	Anzahl beheiz. Geschosse	3,0
Energiebezugsfläche	2.660 m <sup>2</sup>	Anzahl der Zonen	9
davon	künst. belichte	Anzahl der RLT-Anlagen	2
	mech. belüftet	Anzahl zentr. Kälteerz.	1
	gekühlt	Anzahl zentr. Wärmeerz.	1
	befeuchtet		
A/V-Verhältnis	0,34 m-1		

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Allgemeine Hinweise zur Geschichte des Gebäudes und größeren Modernisierungen (Wird zur Anonymisierung gelöscht – genauso wie Tabellenteil 1.1 in Abbildung 3-1 und die Fotos)

Das ursprüngliche Gebäude ist eine Gründerzeitvilla aus dem Jahr 1913-20. Die Villa ist vollständig unterkellert. Die Liegenschaft steht unter Denkmalschutz.

Größere Sanierungs- und Umbaumaßnahmen erfolgten im 1983. Im Dach wurden große vertikale Dachflächen eingebracht. Das Museum wurde dabei um einen weiteren Anbau mit einem Tonnendach ergänzt. Charakteristisch für den Anbau sind die großen Fensterflächen horizontal und vertikal. Der Anbau hat mittig einen Innenhof und ist thermisch geöffnet.

2010 wurde die Lüftungs- und Klimaanlage erneuert, um dem internationalen Museumsstandards zu entsprechen. Hierbei müssen folgende klimatische Museumsstandards in den Räumen eingehalten werden: 19-25°C Raumtemperatur bei 45-55% relativer Luftfeuchtigkeit. Temperaturen dürfen innerhalb von 24 Stunden um 10% schwanken.

Das Gebäude verfügt neben den Ausstellungsräumen ein großes Auditorium von ca. 384 m<sup>2</sup>, welches ständig für Versammlungen und Vorträge genutzt wird. Das Gebäude Architekturmuseum wird über eine Technikzentrale, die im benachbarten Filmmuseum untergebracht ist, mit dem Medium PWW 80/60.C versorgt. Am Gebäudeeintritt sind Absperrschieber vorhanden.

Der Energieverbrauchsausweis aus dem Jahr 2008 weist für die Kennzahlen für Heizenergie von ca. 76 kWh/m<sup>2</sup>a und für Strom 100 kWh/m<sup>2</sup>a auf.

## 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 0) 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 DAM's für den Zeitraum vom 2008 bis 2010. Das Gebäude wird über das Nahwärmenetz des Filmmuseums versorgt. Für 2011 konnten keine Daten ermittelt werden, da die Wärme-Versorgung über von einem Fremdanbieter läuft. Da an den Heizflächen im Jahr 2011 keine Änderungen erfolgten, werden die Daten ersatzweise aus dem Jahr 2010 und 2009 genommen.

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

#### Elektrische Energie

- Monatliche Verbrauchsdaten des DAM's für den Zeitraum vom 2008 bis 2011. In 2010 wurde die Klimaanlage erneuert, so dass diese Jahreswerte nicht vollständig und nur teilweise aussagefähig für den Normalbetrieb sind. Als Vergleichsbasis zur Einsparberechnung wurden die Daten aus dem Jahr 2011 genommen.

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

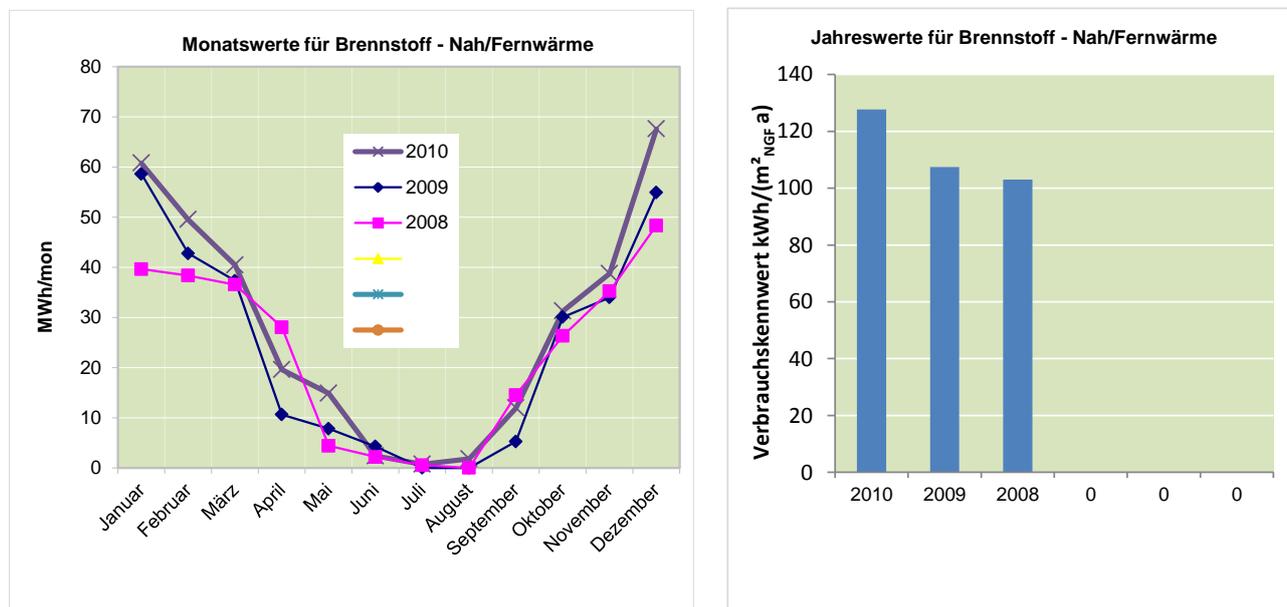


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme der letzten 6 Jahre)

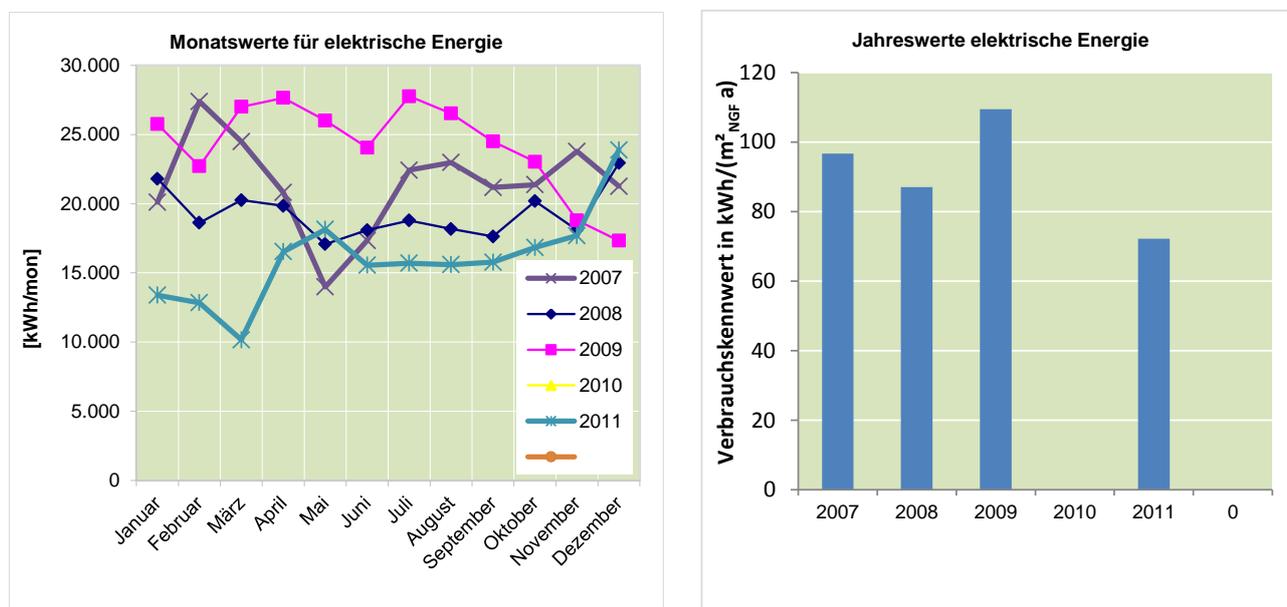
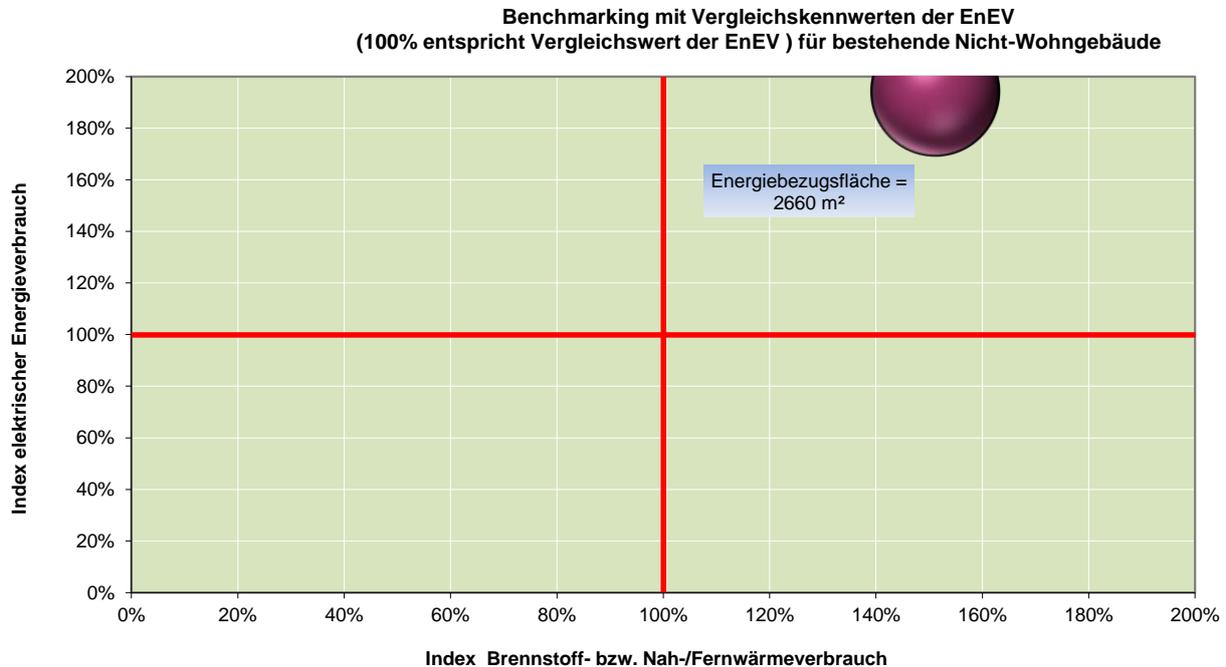


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie von 4 Jahre; das 2010 entfällt wegen Umbau der Klimaanlage und Heizungsanlage

Die Jahresmittelwerte für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme sowie elektrische Energie sind in Abbildung 4-3 den Vergleichswerten der vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwick-

lung 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 %)**

*Erläutern der gewählten Gebäudekategorie; Bewertung und Einordnung des Ergebnisses der Verbrauchsanalyse*

Der Gebäudekomplex ist ein Museum ist ein freistehendes Gebäude mit einer Nettogrundfläche von ca. 2660 m<sup>2</sup>. Die Liegenschaft steht unter Denkmalschutz. Das Gebäude besteht aus zwei Teilen Villa mit Ausstellungsräumen, Büros, Kaffeebar, Technikräumen und einer Aula für Fachvorträge während der Anbau nur ein Ausstellungsraum hat.

Die ausgestellten Exponate im Deutschen Architekturmuseum müssen internationalen Museumsstandards entsprechen. Folgende klimatische Museumsstandards müssen in den Räumen eingehalten werden: 19-25°C Raumtemperatur bei 45-55% relativer Luftfeuchtigkeit. Temperaturen dürfen innerhalb von 24 Stunden um 10% schwanken.

Der klimatisierte Bereich des Gebäudes wird durch eine Vollklimaanlage mit Wärmerückgewinnung und einem elektrischen Dampfbefeuchter betrieben. Für den Müllbereich oder kleinen Abstellräumen ist eine kleine Abluftanlage mit kleinen Ventilatoren installiert.

## 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:

Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme)

- ??

Elektrische Energie

- Gemessen wurde der gesamte Stromverbrauch des Museums. Die Daten lagen als ¼-Stundenwerte vom Energieversorger für das Jahr 2009 vor.

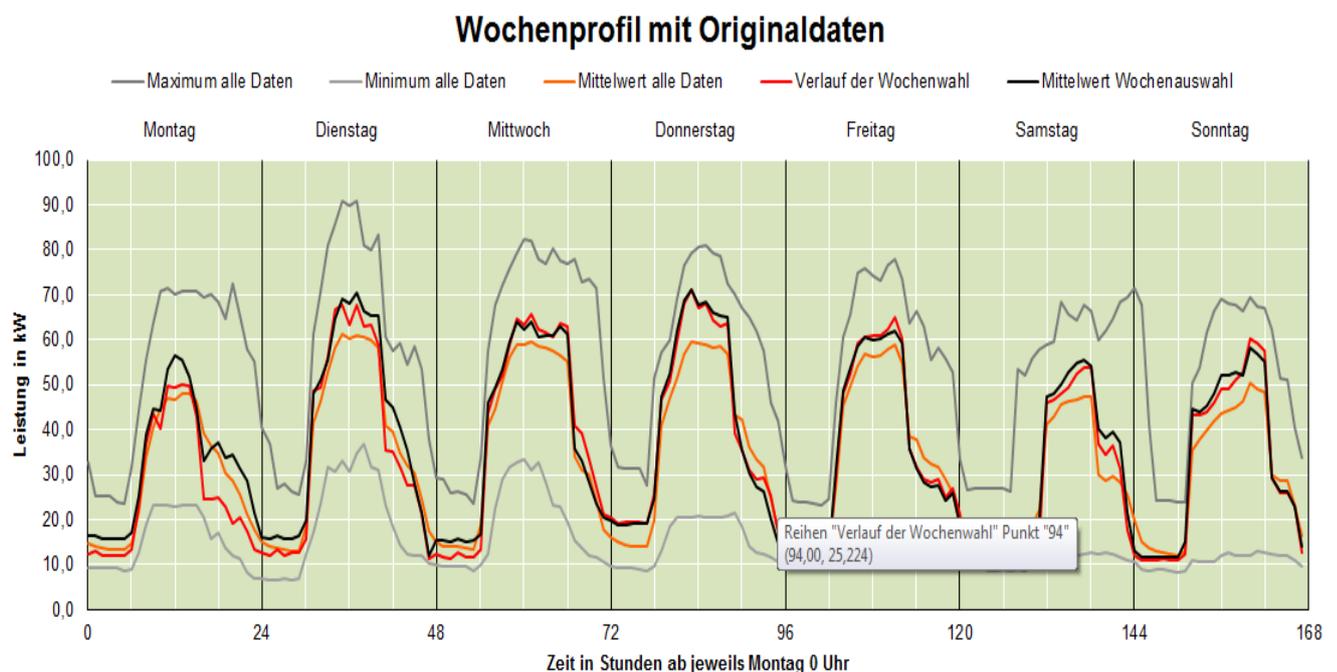
### 4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme

Keine Daten vorhanden, deshalb Kurzmessung der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen der Nahwärmearbeitung. Siehe Kapitel 7.

### 4.2.2 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**

Gesamter Zeitraum		
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]
Maximale Leistung	90,7	34,11
Minimale Leistung	6,7	2,52
Mittlere Leistung	33,5	12,58

Nutzungszeit		
Dauer	76 h/woche	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]
Maximale Leistung	90,7	34,11
Minimale Leistung	10,5	3,96
Mittlere Leistung	47,8	17,98

Standbyzeit		
Dauer	92 h/woche	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]
Maximale Leistung	65,9	24,76
Minimale Leistung	10,5	3,95
Mittlere Leistung	21,6	8,12

*Interpretation der Lastgänge für elektrische Energie und Brennstoff/Fernwärme, u. a. Tagesgang, Werktag-Wochenende, Zuordnung möglicher Verbraucher, Angaben zum Grundlastanteil und Hinweise auf Gründe und Reduktionspotenzial*

Der hohe Stromverbrauch mit einer Spitzenleistung von ca. 60-90 kW resultiert den Anforderungen an den klimatischen Museumsstandard, wo die Temperaturen in den Räumen zwischen 19-25°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 45-55% gehalten werden müssen. Je nach Besucherzahl und Belegung des Aula ist die Schwankung in den Leitungsspitzen erklärbar. Temperaturen dürfen innerhalb von 24 Stunden um 10% schwanken. Dies erklärt warum auch nachts ein relativ hoher Stromverbrauch (hoher Anteil von Kühlung) von durchschnittlich 22 kW vorhanden ist. Nur in Umbauphasen für die Ausstellung, wenn keine Klimatisierung läuft sinkt der Stromverbrauch bis auf ca. 10 kW ab. Diese Leistung dürfte die Grundleistung für die Server und Pumpen (Heizung und Zirkulation) und div. Kleingeräte darstellen.

Im Jahresmittel ist der Verbrauchswert von ca. 72 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 4-6; Seite 14) im Vergleich des Mittelwertes bei (lt. Der Datensammlung des IEMB Stand: 09.11.2006) von ca. 40 kWh/m<sup>2</sup>a als relativ zu hoch einzustufen ist.

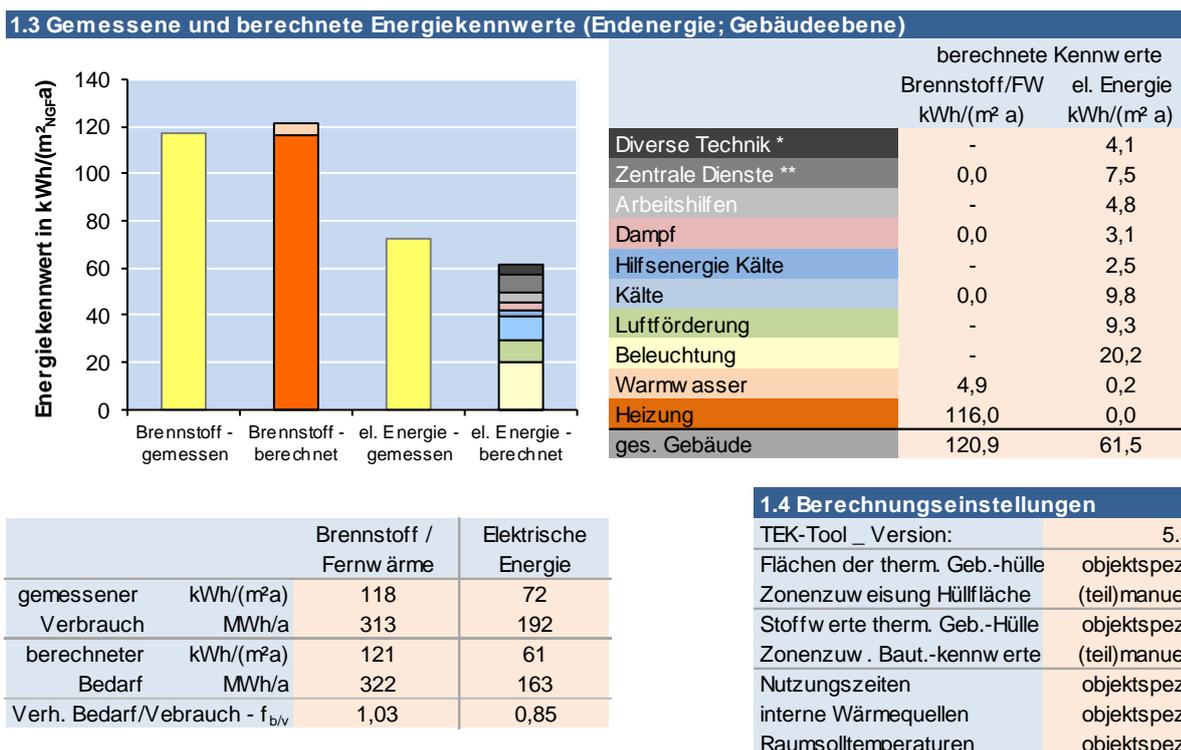
### 4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

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 4-7 die berechneten Energiebedarfskennwerte (siehe Abschnitt 14) den gemessenen Energieverbrauchskennwerten (siehe Abschnitt 0) 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.



**Abbildung 4-7: Vergleich von gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf**

*Diskussion der Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch.*

Der hohe Heizenergiebedarf des denkmalgeschützten Gebäudes resultiert auf Grund der vielen horizontalen Fensterflächen sowie der offen und geschossübergreifenden Höhen. Die Wärme steigt vom Untergeschoss EG bis ins Dachgeschoss und entweicht teilweise über die horizontalen Fensterflächen und über die schwach gedämmte Dachhaut.

### 4.3.2 Berechnete Energiekennwerte

Auf der Grundlage der Energiebilanzberechnung wird in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-8 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	el. Energie		
	kWh/(m <sup>2</sup> a)					
Heizung	100,9	116,0	116,0	0,0	150,8	47,9
Warmwasser	1,4	5,1	4,9	0,2	7,0	2,5
Beleuchtung	-	-	-	20,2	52,6	12,8
Luftförderung	-	-	-	9,3	24,1	5,9
Kälte	29,5	36,3	0,0	9,8	25,5	6,2
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	2,5	6,4	1,6
Dampf	2,7	-	0,0	3,1	8,0	1957,2
Arbeitshilfen	-	-	-	4,8	12,5	3,0
Zentrale Dienste	-	-	0,0	7,5	19,4	4,7
Diverse Technik	-	-	-	4,1	10,7	2,6
gesamt	134,4	157,4	120,9	61,5	316,9	2044,4

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

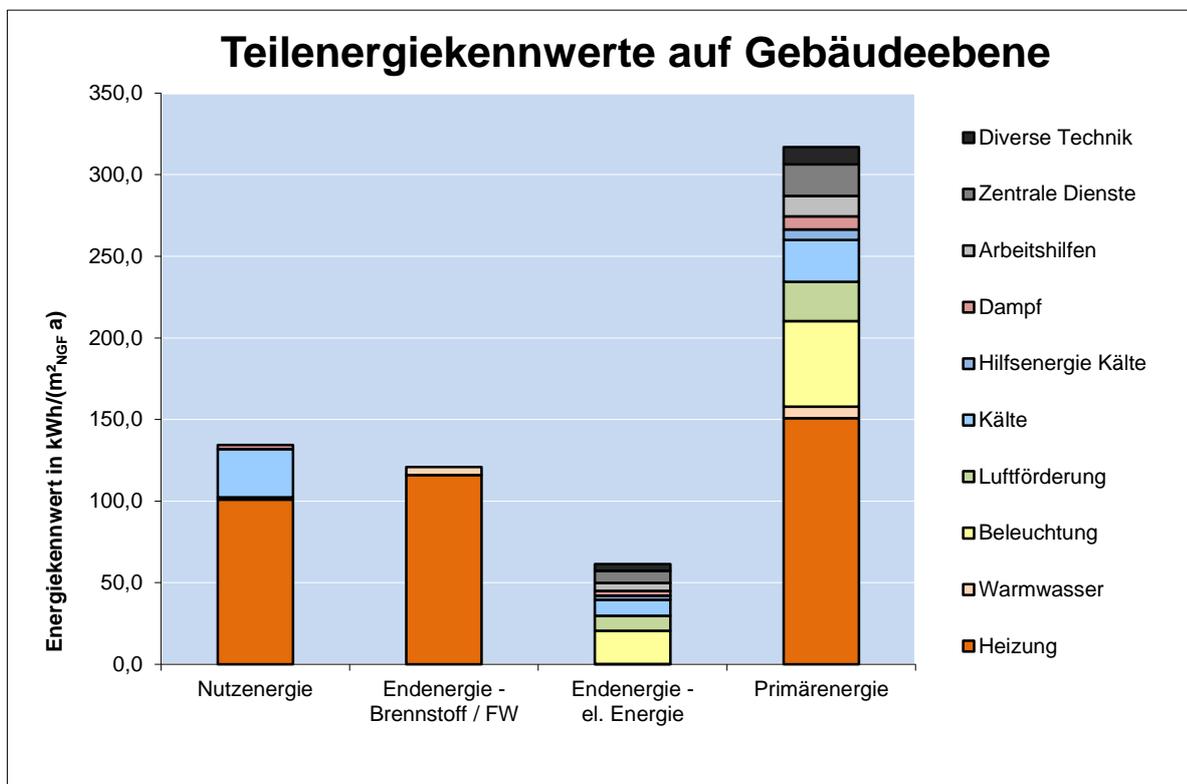
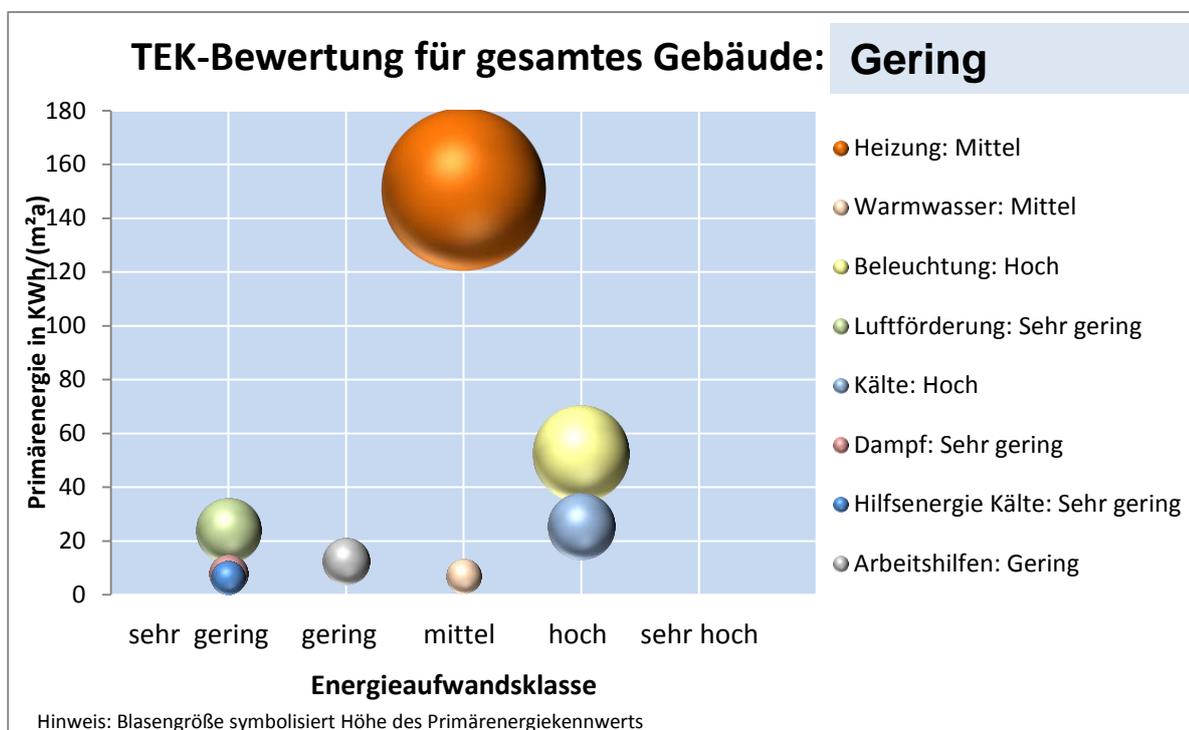


Abbildung 4-8: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand

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 4-9 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 4-9). 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 4-9: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung**

*Diskussion der Kennwerte (insbesondere Primärenergie) sowie der Bewertung für das gesamte Gebäude. Gründe für Bewertungsergebnis. Dito für die drei größten Anteile des Primärenergiebedarfs. Angabe zu sonstigen energetischen Besonderheiten des Gebäudes.*

Der hohe Heiz- und Kühlenergiebedarf des denkmalgeschützten Gebäudes resultiert auf Grund der vielen horizontalen Fensterflächen sowie der offen und geschossübergreifenden Höhen. Die Wärme steigt vom Untergeschoss EG bis ins Dachgeschoss und entweicht teilweise über die horizontalen Fensterflächen und über die schwach gedämmte Dachhaut.

Der Strombedarf ist für ein Museum insgesamt hoch. Der größte Anteil hat die Beleuchtung. An dieser Stelle kann langfristig auf LED-Leuchtmittel umgestellt werden, wenn die entsprechenden Lichtfarben mit wirtschaftlichen Preisen auf dem Markt vorhanden sind. Weiteren großen Anteil hat Klimatisierung, die den klimatischen Anforderungen des Museumsstandards genügen muss.

## 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 bzw. Maßnahmenempfehlungen aus diesen und anderen Maßnahmen sind in Abschnitt 6 näher untersucht.

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

Abbildung manuell einfügen aus TEK-5.4 Tabellenblatt 3.6 in\_Maßnahmen bzw. TEK-5.5 Tabellenblatt 3.6\_in\_Maßnahmen

Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen				
Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	<a href="#">334 Außentüren und -fenster</a>	Austausch der Fenster gegen Passivhausfenster	4) dringend	Hohe Wärmeverluste wegen großen Fensteranteil
2	<a href="#">362 Dachfenster, Dachöffnungen</a>	vertikale Dachfenster austauschen	1) sinnvoll	hohe Wärmeverluste im Winter und hohe Wärmelasten im Sommer
3	<a href="#">361 Dachkonstruktionen</a>	Tonnendächer ; Zwischensparrendämmung verstärken	1) sinnvoll	Wärmedämmung im Dach teilweise lückenhaft
4	<a href="#">336 Außenwandbekleidungen, innen</a>	Villa mit 8cm Mineraldämmplatten von innen dämmen	3) wichtig	Außendämmung wegen Denkmalschutz nicht möglich
5	<a href="#">422 Wärmeverteilnetze</a>	Hydraulischer Abgleich	5) sehr dringend	Spreizung von Vor- und Rücklauf zu gering

[zurück zu Übersicht](#)

## 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 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:

Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1 - Ersatz der Fenster mit Passivhausfenster

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand	ME 1	Modernisierungsempfehlung 1		
Modernisierungsziel	Vergleich mit	-		Fenster		
<b>Jährliche Gesamtkosten</b>						
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	l/a	$K_K$	9.000	l/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	94.000	l/a	$K_{E,m}$	91.000	l/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	3.000	l/a	$K_{W+I,m}$	1.000	l/a
<b>mittlere jährliche Gesamtkosten</b>	<b><math>K_{\bullet}</math></b>	<b>97.000</b>	<b>l/a</b>	<b><math>K_{\bullet}</math></b>	<b>101.000</b>	<b>l/a</b>
<b>Energiebedarf</b>						
Endenergiebedarf Wärme 1		322	MWh/a		305	MWh/a
Endenergiebedarf Wärme 2		-	MWh/a		-	MWh/a
Endenergiebedarf Strom		163	MWh/a		165	MWh/a

Die Einzelmaßnahmen ist mit einem  $U_w = 0,95$  ausgelegt, so dass eine Förderung über die KfW-Bank möglich ist. Der Heizenergiebedarf würde sich von 360 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 348 kWh/(m<sup>2</sup>a) oder um 9,6 % absinken. Unter Kostengesichtspunkten ist diese Maßnahme bei den jetzigen Energieeinstandspreisen auf die Lebensdauer von 25 Jahren bezogen noch nicht wirtschaftlich. Auch der Strombedarf für die Klimatisierung und Beleuchtung steigen um ca. 1,2 % leicht an. Der m<sup>2</sup>-Preis ist mit 520 €/m<sup>2</sup> für ein Passivhausfenster aus Holz angegeben incl. Einbau angegeben. Nebenarbeiten wie Gerüst, Beiputzarbeiten, ect. sind nicht enthalten.

Bei steigenden Energiekosten (ab ca. 1,00 €/L Heizöl) ist diese Maßnahme sinnvoll und wirtschaftlich, zumal die Instandhaltungskosten für die Altfenster hier nicht berücksichtigt wurden.

*Aussagen zu Ermittlung der Energieeinsparung.*

*Aussagen zur Aussagekraft der Grobkostenschätzung und Verwendbarkeit der in der Datenbank DB-Kosten.xmlm auf dem Sharepoint tabellierten Standardkosten.*

## 6.2 Modernisierungsempfehlung 2:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung		Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		Modernisierungsempfehlung 2	
Modernisierungsziel		Vergleich mit		-	Dach	
Jährliche Gesamtkosten						
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	l/a		4.000	l/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	94.000	l/a		91.000	l/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	3.000	l/a		0	l/a
<b>mittlere jährliche Gesamtkosten</b>	<b><math>K_*</math></b>	<b>97.000</b>	<b>l/a</b>		<b>95.000</b>	<b>l/a</b>
Standardmaßnahme					-	
Objektspezifische Maßnahme	Ist 4				-	
Standardmaßnahme					-	
Objektspezifische Maßnahme	Ist 5				-	
Standardmaßnahme					-	
Energiebedarf						
Endenergiebedarf Wärme		322	MWh/a		308	MWh/a
Endenergiebedarf Wärme 2		-	MWh/a			MWh/a
Endenergiebedarf Strom		163	MWh/a		164	MWh/a

Abbildung 6-2: Modernisierungsempfehlung 2 -

Die Einzelmaßnahmen ist mit einem  $U = < 0,14$  ausgelegt. Der Aufbau ist eine Zwischensparrendämmung mit einer Untersparrenisolierung. Die alte Dämmung muss entfernt und durch neue Materialien ersetzt werden. Um eine Förderung bei der KfW zu bekommen müsste die Dämmstärke wesentlich verstärkt werden auf den  $U_{Wert} = < 0,14$ .

Zusätzlich werden die Dachfenster (horizontal) ausgetauscht.

Der Heizenergiebedarf würde sich von 322 kWh/(m²a) auf 308 kWh/(m²a) oder um 5% absinken. Unter Kostengesichtspunkten ist diese Maßnahme bei den jetzigen Energieeinstandspreisen auf die Lebensdauer von 40 Jahren bezogen noch nicht wirtschaftlich, aber empfehlenswert um die Wärmebrücken in der Villa-Dach zu reduzieren.

### Modernisierungsempfehlung 3:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand	Modernisierungsempfehlung 3
Modernisierungsziel	Vergleich mit	-	Wand
<b>Jährliche Gesamtkosten</b>			
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	15.000
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	94.000	88.000
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	3.000	2.000
<b>mittlere jährliche Gesamtkosten</b>	<b><math>K_{\bullet}</math></b>	<b>97.000</b>	<b>105.000</b>
<b>Energiebedarf</b>			
Endenergiebedarf Wärme 1		322	290
Endenergiebedarf Wärme 2		-	
Endenergiebedarf Strom		163	165

Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 3 -

Die Einzelmaßnahmen sind je nach Wandaufbau mit einem  $U_{\text{wert}}$  zwischen  $\leq 0,45$  ausgelegt, so dass eine Förderung über die KfW-Bank mit 300,- €/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche möglich ist. Der Heizenergiebedarf würde sich von 322 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 290 kWh/(m<sup>2</sup>a) oder um 10 % absinken. Unter Kostengesichtspunkten ist diese Maßnahme bei den jetzigen Energieeinstandspreisen auf die Lebensdauer von 40 Jahren bezogen noch nicht wirtschaftlich, aber empfehlenswert mit der Förderung der Zuschüsse der KfW-Bank; und um die Wärmebrücken in der Villa-Dach zu reduzieren. Der Strombedarf für die Klimatisierung und Beleuchtung steigt um ca. 1,2 % an.

### 6.3 Modernisierungsempfehlung 4:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand	Modernisierungsempfehlung 4
Modernisierungsziel	Vergleich mit		Hydraulik
<b>Jährliche Gesamtkosten</b>			
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	2.000
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	94.000	90.000
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	3.000	0
<b>mittlere jährliche Gesamtkosten</b>	<b><math>K_{\bullet}</math></b>	<b>97.000</b>	<b>92.000</b>
<b>Energiebedarf</b>			
Endenergiebedarf Wärme 1		322	306
Endenergiebedarf Wärme 2		-	
Endenergiebedarf Strom		163	162

Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 4-

Die Kurzzeitanalyse zeigte eine geringe Spreizung der Vortemperaturen von ca. 10 °C auf (siehe 7.1). Um die Heizungsanlage zu optimieren ist ein hydraulischer Abgleich der Heiz- u. Kühlsysteme sowie der Trinkwasserverteilung notwendig. Innerhalb der Heizungsanlage muss jeder Heizkörper und Heizkreis einer Flächenheizung bei einer festgelegten Vorlauftemperatur der Heizungsanlage genau mit der Wärmemenge versorgt werden, die benötigt wird, um die für die einzelnen Räume gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. Das wird durch genaue Nachberechnung, Überprüfung und Einstellung der jetzt bestehenden Anlagensteuerung erreicht. Gegebenenfalls müssen die erforderlichen Armaturen im Rohrnetz nachgerüstet (etwa voreinstellbare Thermostatventile oder Strangdifferenzdruckregler) werden. Der hydraulische Abgleich ist eine Aufgabe für Heizungsfachbetriebe.

Ist eine Anlage abgeglichen, ergeben sich mehrere Vorteile: Die Anlage kann mit optimalem Anlagendruck und damit mit optimal niedriger Volumenmenge betrieben werden. Daraus resultieren ggfs. niedrigere Anschaffungskosten der Umwälzpumpe sowie niedrigere Energie- und Betriebskosten.

Für eine Förderung der Heizungsmodernisierung durch die KfW und das Marktanreizprogramm zur Nutzung erneuerbarer Energien (MAP) der BAFA ist der hydraulische Abgleich eine Voraussetzung.

Die Einzelmaßnahmen ist auch ohne Förderung durch die KfW-Bank sehr wirtschaftlich.

wurde aus den Erfahrungswerten angenommen, dass der Heizenergiebedarf von 322 kWh/(m²a) bis auf 309 kWh/(m²a) absinkt oder bis zu 5 % Einsparung bringt.

### 6.4 Modernisierungsempfehlung 5:

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung		Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bes.	Modernisierungsempfehlung 5	
Modernisierungsziel		Vergleich mit		Gesamt	
<b>Jährliche Gesamtkosten</b>					
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0		16.000	l/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	94.000		78.000	l/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	3.000		2.000	l/a
<b>mittlere jährliche Gesamtkosten</b>	<b><math>K_A</math></b>	<b>97.000</b>		<b>96.000</b>	<b>l/a</b>
<b>Übersicht Einzelmaßnahmen</b>					
	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bes.	Gesamt		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 1		Austausch der Fenster gegen Passivhausfenster		
Standardmaßnahme			334_LFE_PH-Qualität n. KfW		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 2		vertikale Dachfenster austauschen		
Standardmaßnahme			362_Austausch von Dachflächenfenster n KfW		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 3		Tonnendächer ; Zwischensparrendämmung verstärken		
Standardmaßnahme			364_Dämmung_Satteldach		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 4		Villa mit 8cm Mineraldämmplatten von innen dämmen		
Standardmaßnahme			336_1_Innendämmung_10cm		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 5		Hydraulischer Abgleich		
Standardmaßnahme			422_2_Hydraulischer Abgleich		
<b>Energiebedarf</b>					
Endenergiebedarf Wärme 1		322		233	MWh/a
Endenergiebedarf Wärme 2		-			MWh/a
Endenergiebedarf Strom		163		166	MWh/a

Abbildung 6-5: Modernisierungsempfehlung 5 -

Das Gesamtpaket beinhaltet alle Einzelmaßnahmen von 1 – 4. Der Heizenergiebedarf würde sich von 322 kWh/(m²a) auf 233 kWh/(m²a) oder um 28 % absinken. Unter Kostengesichtspunkten ist dieses Paket bei den jetzigen Energieeinstandspreisen auf die Lebensdauer der verschiedenen Bauteile bezogen noch nicht wirtschaftlich. Der Strombedarf für die Klimatisierung und Beleuchtung steigt leicht um ca. 2 % an.

Sofern bei der energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Gebäuden oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz der Zielwert eines Jahres-Primärenergiebedarfs (QP) von 160 % nachweislich nicht erreicht werden kann, ist eine Antragstellung für ein KfW-Effizienzhaus Denkmal dennoch möglich. Voraussetzung dafür ist, dass mit den geplanten energetischen Maßnahmen unter Berücksichtigung der

Auflagen des Denkmalschutzes bzw. zum Schutz der besonders erhaltenswerten Bausubstanz eine optimale Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten ( $H^{\tau}$ ) nachweislich erreicht wird.

Im Übrigen gelten für Gebäudeteile ohne Auflagen des Denkmalschutzes bzw. zum Schutz besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Anforderungen der EnEV2009.

## 6.5 Zusammenfassung und Vergleich

Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbewertung Deutsches Architektur-, museum, Basis		Ist (-)	ME 1 (Fenster)	ME 2 (Dach)	ME 3 (Wand)	ME 4 (Hydraulik)	ME 5 (Gesamt)	
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	$K_K$	0	3.000	4.000	15.000	2.000	16.000	l/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	34.000	31.000	31.000	88.000	90.000	78.000	l/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+l,m}$	3.000	1.000	0	2.000	0	2.000	l/a
mittlere jährliche Gesamtkosten	$K_{\Sigma}$	37.000	101.000	35.000	105.000	92.000	96.000	l/a

Mittlere jährliche Kapital-, Energie- und Instandhaltungskosten

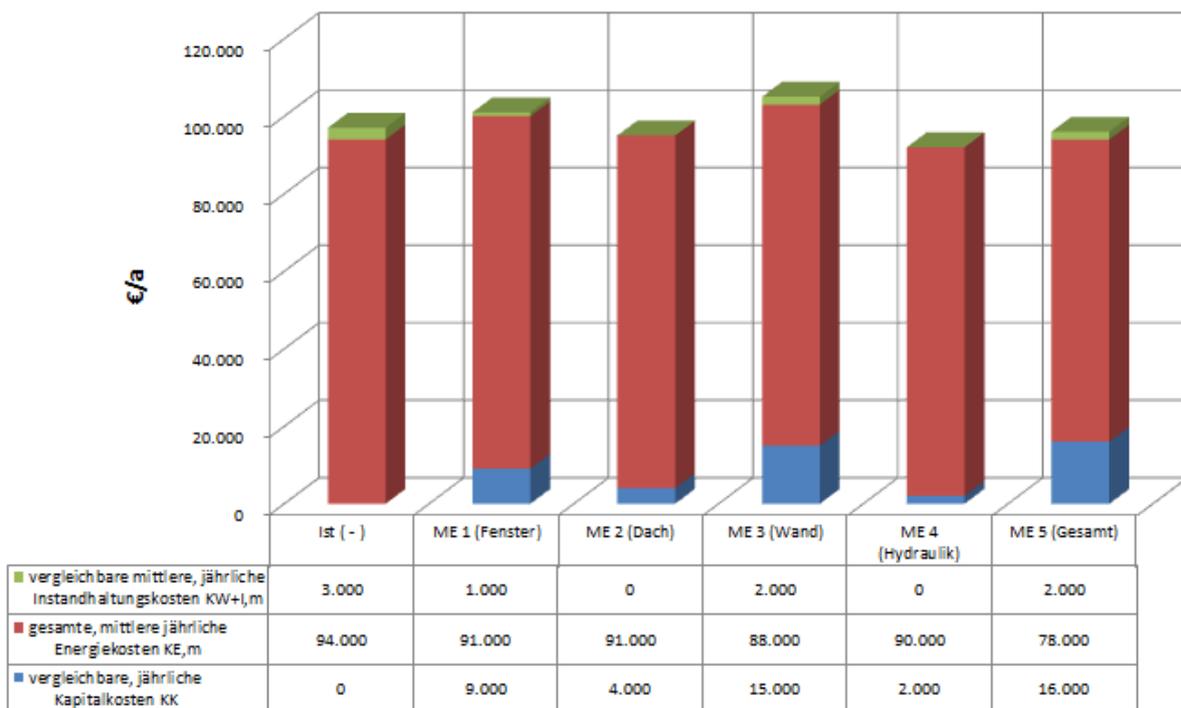


Abbildung 6-6 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen

Der Vergleich zeigt, dass die Maßnahme 4 (hydraulischer Abgleich der Heiz- u. Kühlsysteme) die wirtschaftlichste Variante als Einzelmaßnahme ist. Nur mit Förderungszuschüssen der KfW-Bank können sich einzelne Maßnahmen (wie z.B. Dachdämmung ME2) finanziell für die Stadt Frankfurt rechnen.

## 7 Durchgeführte Messungen

Beschreibung der Motivation und des Ziels der Messung, der gemessenen Größen, des Messzeitraums; Darstellen und Interpretieren der Messungen. Abbildungen sind in diesem Abschnitt manuell einzufügen.

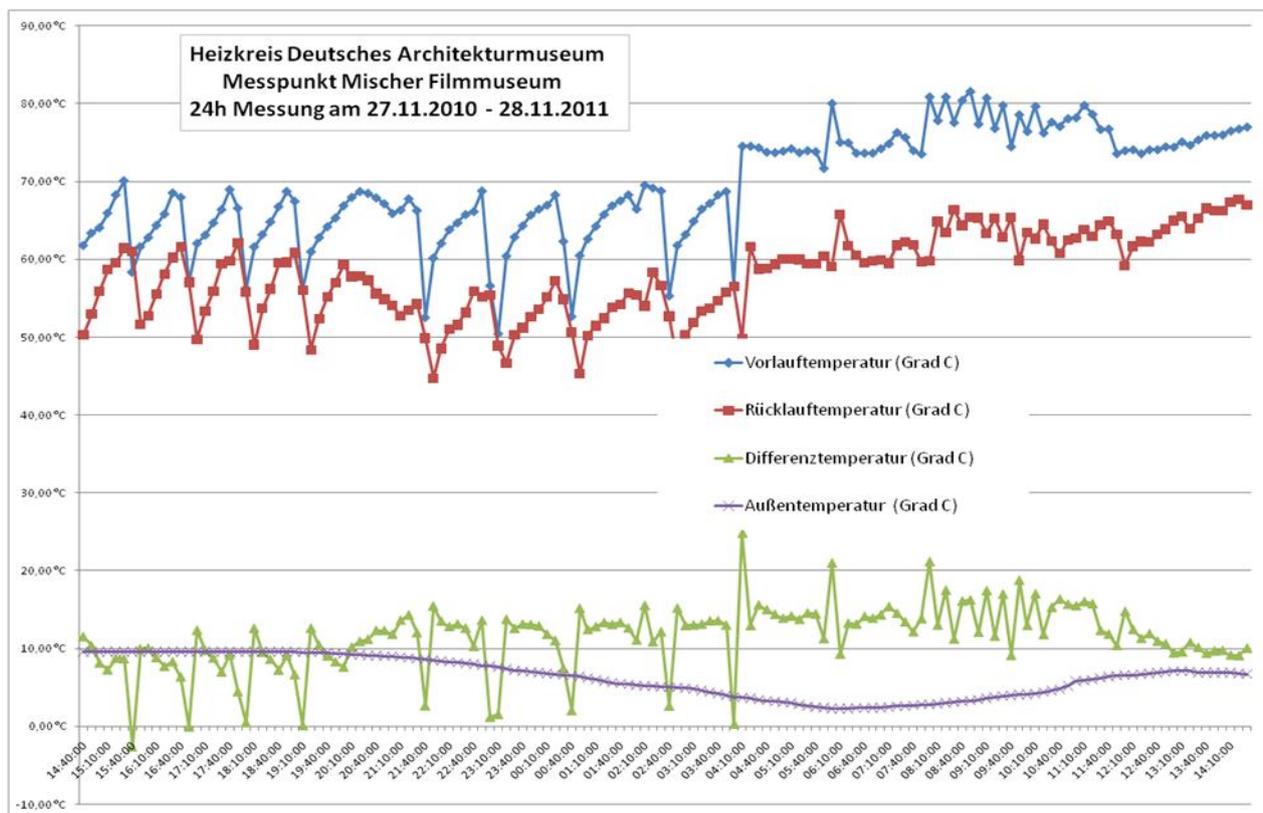
- **Ermittlung ob ein hydraulischer Abgleich der Heiz- u. Kühlsysteme notwendig ist.**

Die Heizzentrale des Filmmuseums versorgt zusätzlich die Liegenschaft Deutsches Architekturmuseum. Zwei Brennwertkessel von je 480 kW. Um eine Aussage über die Effektivität der Heizungsanlage machen zu können, wurde ein Datenlogger für die Kurzzeitmessung von Vor- und Rücklauftemperaturen gesetzt, um das Betriebsverhalten grafisch darzustellen und Hinweise mögliche hydraulische Fehler zu finden.

- **Ermittlung der Grundlast für Strom für Wärme- und Kühlverteilung**

Der Gesamt-Stromverbrauch weist eine relative hohe Grundlast auf. Die Messung an der Stromverteilung soll die Anteile von Grundlast und Spitzenbedarf ermitteln.

### 7.1 Temperaturspreizung der Heizkreisverteilung Nah-/Fernwärme



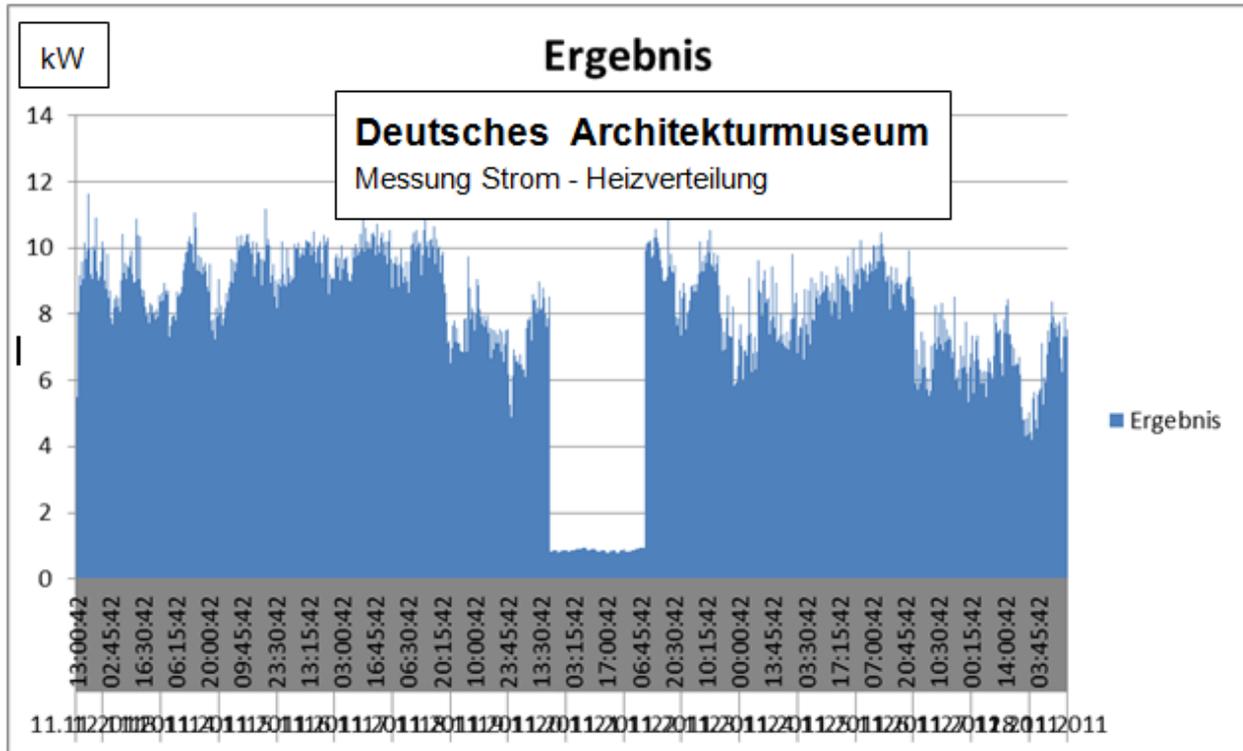
#### Auffälligkeiten

- 1.) hohe Vorlauf- und Rücklauftemperaturen ; deshalb keine Brennwertausnutzung möglich
- 2.) Spreizung im Abgesenkten Bereich nur 10°C
- 3.) Im Abgesenkten Bereich starke Schwankungen
- 4.) Taktungen im 90 min Rhythmus im abgesenkten Bereich; angepasste Verbrauchsabnahme
- 5.) Spreizung im Hochtemperaturbereich von ca. 15°C noch zu niedrig

#### Gründe / Ergebnis:

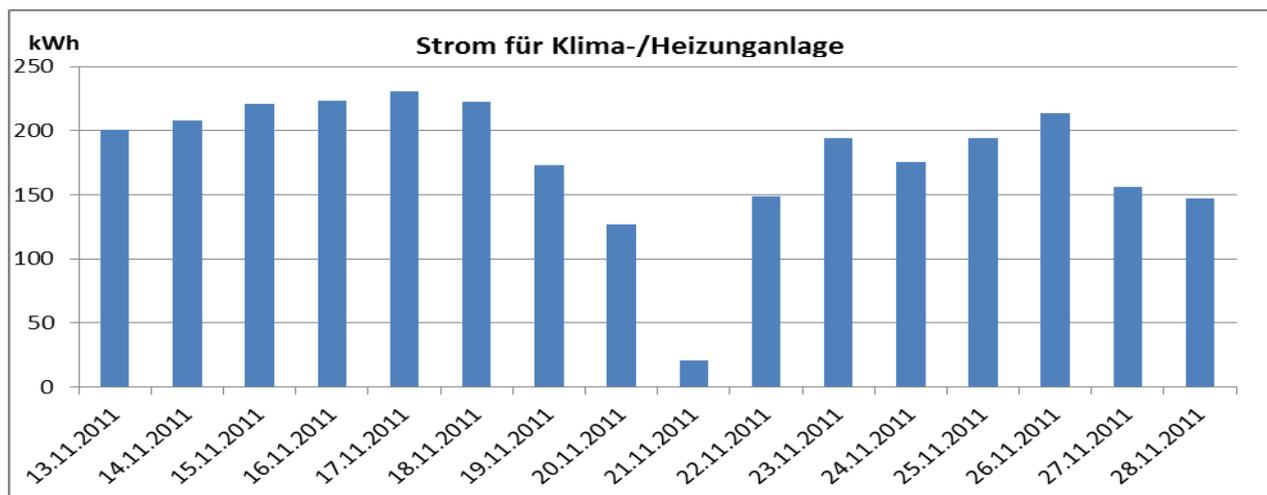
**Zwei gebäudemäßig getrennte Regelkreise , die nicht aufeinander abgestimmt oder datentechnisch miteinander verbunden sind.**

## 7.2 Strom-Messung Wärmeverteilung und Klimaanlage



Die Messung an der Stromverteilung der Steuerungs-Regeltechnik incl. der Pumpen und Lüftungsanlage zeigt eine durchschnittliche Last von ca. 8 kW im Zeitraum vom 11.11.11 – bis 28.11.11. In diesem Zeitraum lief eine Ausstellung, die am Nachmittag 17 Uhr endete. Die Klimaanlage wurde dann für 39 Stunden abgeschaltet, sodass nur noch der Heizbetrieb lief. Die Grundlast hierfür beträgt weniger als 1 kW. Am Montag um 8 Uhr den 21.11 wurde die Anlage um 8 Uhr wieder angefahren.

Aus den Einzelwerten erkennt man, dass die hohen Spitzen auch in den Abendstunden vorhanden sind, da noch Veranstaltungen in der Aula stattfinden und die Klimaanlage benötigt wird. Des Weiteren erkennt man, dass die Klimaanlage teilweise 24h voll durchläuft, ohne dass diese zurück gefahren wird.



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

## 9 Anhang: Datenerhebung

### 9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

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

??

Beschreibung	Aktualität (- / 0 / +)	Bemerkung
<input type="checkbox"/> Architektenpläne <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Grundrisse, 1:200</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Schnitte, 1:200</li> <li><input type="checkbox"/> Ansichten</li> </ul>	+	In PDF
<input type="checkbox"/> Baubeschreibung		-
<input type="checkbox"/> EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung		Verbrauchsausweis-
<input type="checkbox"/> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Raumbuch, Flächenangaben</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben für Gesamtgebäude nach Kategorien DIN 277</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Angaben geschossweise</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben nach Nutzungszonen</li> </ul>		-
<input checked="" type="checkbox"/> Technische Unterlagen Gebäudehülle <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Bauteilkatalog</li> <li><input type="checkbox"/> Sonstiges</li> </ul>		Siehe Gesamtkostenberechnung und Aufnahme
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Wärmeversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Schemata</li> <li><input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung</li> <li><input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss</li> </ul>		Aufnahme vor Ort
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen	+	Aufnahme vor Ort

<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 type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Lüftungsgesuch <input type="checkbox"/> Abnahmemessungen <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	+	Aufnahme vor Ort
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Beleuchtungsanlage <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		Nicht gesucht, da nicht gebraucht
<input type="checkbox"/> Wartungsunterlagen <input type="checkbox"/> Verträge <input type="checkbox"/> Protokolle		Vermutlich vorhanden, nicht gebraucht
<input type="checkbox"/> Sonstige Unterlagen		Bestandsaufnahme Schmidt-Reuter

## 9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten

Nr.	Größe	Angenommene Ausprägung	Bemerkung
	Heizwärmeverbrauch		Verbräuche waren für 2011 nicht erhältlich, es wurden die regelmäßigen Verbräuche 2009 und 2010 angesetzt, da dbzgl. keine Änderungen baulicherseits und in der Nutzung durchgeführt wurden.

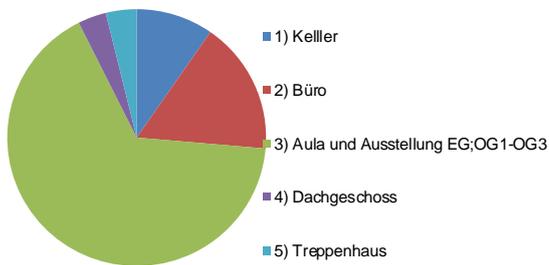
--	--	--	--

## 10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes

Siehe Kapitel 7

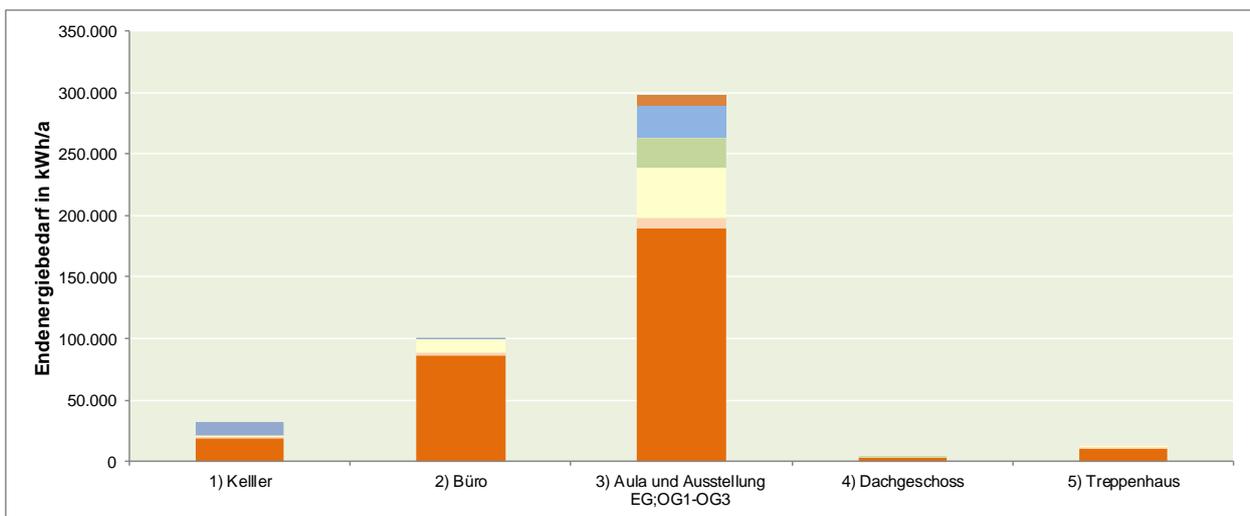
# 11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

## 2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



	Fläche m²	Anteil an beh. NGF
1) Keller	257	10%
2) Büro	444	17%
3) Aula und Ausstellung EG;OG1-OG3	1.762	66%
4) Dachgeschoss	94	4%
5) Treppenhaus	102	4%
	2.660	100%

## 2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



## 2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

Bezeichnung	1) Keller		2) Büro		3) Aula und Ausstellung EG;OG1-OG3		4) Dachgeschoss		5) Treppenhaus	
	Fläche der Nutzungseinheit	257 m²	444 m²	1762 m²	94 m²	102 m²	TEK-Bew. ert.	PE-Kennw. ert kWh/(m²a)	TEK-Bew. ert.	PE-Kennw. ert kWh/(m²a)
Arbeitshilfen	-	Sehr hoch	42	Sehr gering	5	-	0	0	-	0
Dampf	0	0	0	0	5	Sehr gering	5	0	0	0
Kälte	0	0	0	0	15	Hoch	15	0	0	0
Luftförderung	2	Sehr hoch	2	0	14	Sehr gering	14	3	3	0
Beleuchtung	5	Hoch	5	23	24	Hoch	24	0	Mittel	7
Warmwasser	2	Gering	2	6	5	Mittel	5	0	Sehr hoch	14
Heizung	75	Gering	75	193	107	Gering	107	35	Mittel	105

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) Ausstellungsraum EG	27 Ausstellung	623	3	Mittel	153,7	117,2	1.311	65,3	54,5	1.197
2) Auditorium	23 Zuschauer	384	3	Sehr gering	53,1	137,3	387	87,6	548,7	160
3) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	102	5	Mittel	104,6	77,3	1.354	44,7	19,7	2.269
4) Ausstellungsraum OG 1- C 27 Ausstellung	755	3	Gering	96,8	71,5	1.353	65,3	54,5	1.197	
5) Büroräume	02 Gruppenbü	109	2	Mittel	84,2	58,5	1.439	41,6	78,4	531
6) Nebenräume/Sozialräume 15 Küche, Lag	335	2	Mittel	228,9	150,3	1.523	62,6	211,7	296	
7) Technikräume	20 Lager, Tech	225	1	Gering	74,5	51,3	1.451	54,5	27,7	1.964

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) Ausstellungsraum EG	27 Ausstellung	623	1	Hoch	22,4	10,2	2.204	10,2	4,8	2.142
2) Auditorium	23 Zuschauer	384	2	Hoch	25,5	10,6	2.400	10,3	4,4	2.367
3) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	102	3	Mittel	7,4	3,6	2.049	3,3	4,5	742
4) Ausstellungsraum OG 1- C 27 Ausstellung	755	4	Hoch	23,5	10,3	2.277	10,4	4,8	2.179	
5) Büroräume	02 Gruppenbü	109	5	Sehr gering	23,1	16,5	1.400	31,4	15,4	2.038
6) Nebenräume/Sozialräume 15 Küche, Lag	335	6	Gering	22,8	10,7	2.134	17,3	12,2	1.420	
7) Technikräume	20 Lager, Tech	225	7	Hoch	2,2	8,3	269	1,1	3,0	362

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) Ausstellungsraum EG	27 Ausstellung	623	1	Sehr gering	2,6	0,8	3.399	14,6	1,7	8.760
2) Auditorium	23 Zuschauer	384	1	Gering	52,5	15,4	3.399	50,0	33,3	1.500
3) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	102	0							
4) Ausstellungsraum OG 1- C 27 Ausstellung	755	1	Sehr gering	2,6	0,8	3.399	14,6	1,7	8.760	
5) Büroräume	02 Gruppenbü	109	0							
6) Nebenräume/Sozialräume 15 Küche, Lag	335	0								
7) Technikräume	20 Lager, Tecf	225	2	Sehr hoch	2,7	0,3	8.736	0,2	0,1	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) Ausstellungsraum EG	27 Ausstellung	623	3	Sehr hoch	30,0	55,2	544	3,6	8,1	450
2) Auditorium	23 Zuschauer	384	3	Sehr gering	4,3	17,1	250	13,5	60,5	223
3) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	102	5							
4) Ausstellungsraum OG 1- C 27 Ausstellung	755	3	Mittel	7,7	21,9	350	3,6	8,1	450	
5) Büroräume	02 Gruppenbü	109	2							
6) Nebenräume/Sozialräume 15 Küche, Lag	335	2								
7) Technikräume	20 Lager, Tecf	225	1							

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

### 3.5 Dampfbefeuchtung

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) Ausstellungsraum EG	27 Ausstellung	623	3	Sehr gering	0,9	6,3	143	20,7	34,5	599
2) Auditorium	23 Zuschauer	384	3	Sehr gering	18,1	126,6	143	70,7	689,5	103
3) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	102	5							
4) Ausstellungsraum OG 1- C 27 Ausstellung	27 Ausstellung	755	3	Sehr gering	0,9	6,3	143	20,7	34,5	599
5) Büroräume	02 Gruppenbü	109	2							
6) Nebenräume/Sozialräume 15 Küche, Lag	15 Küche, Lag	335	2							
7) Technikräume	20 Lager, Tech	225	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 $m^2_{BTF}/m^2_{NGF}$	absolut $m^2_{BTF}$	W/(m²K)	-
Außenwand	0,575	1.529	0,92	-
Dach	0,501	1.332	0,75	-
Kellerdecke	0,388	1.033	0,77	-
Fenster O,S,W	0,057	152	2,80	0,50
Fenster N	0,015	40	2,65	0,50
Fenster hor.	0,161	429	2,16	0,50
ges. Gebäude	1,697	4.514	1,03	0,50

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften	
spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	8,59 m³/(m²h)
Raumsolltemperatur Heizung	17,9 °C
Raumsolltemperatur Kühlung	26,0 °C
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	208 Lux
Nutzungszeit	2.629 h/a
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	66 Wh/(m²d)

2.1.5 Luftförderung	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	4.700	5.300	m³/h
Dimensionierungsfaktor	26%	29%	
installierte Leistung	3,00	4,10	kW
spezifische Ventilatorleistung	2,30	2,78	kW/(m³ s)
Vollbetriebszeit	3399	3529	h/a
Endenergiebedarf	3,8	5,4	kWh/(m²a)
Primärenergiebedarf	10,0	14,1	kWh/(m²a)

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)	
Nutzenergiebedarf	102,3 kWh/(m²a)
davon Warmwasser	1,4 kWh/(m²a)
zusätzliche Verluste Verteilung*	18,9 kWh/(m²a)
Erzeugernutzwärmeabgabe	121,1 kWh/(m²a)
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	340 kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	106%
Erzeugeraufwandanzahl	1,00 -
Endenergie Wärmeerzeugung	121,1 kWh/(m²a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Wärmeerzeugung	157,8 kWh/(m²a)

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	98,8	27,3	-
RLT-Anlage	2,1	2,3	2,7
Summe	101	30	-

max. Heiz- bzw. Kühllast	Heizung	Kälte
	W/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	
Raumsystem	82	74
RLT-Anlage	16	6
Summe	98	80

### 2.1.4 Beleuchtung

installierte Leistung	27 kW
mittlere Bew ertungsleistung	10,1 W/m <sup>2</sup>
Vollbetriebszeit	1.995 h/a
Endenergie Beleuchtung	20 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergie Beleuchtung	53 kWh/(m <sup>2</sup> a)

### 2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	29,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	6,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Erzeugernutzkälteabgabe	36,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
maximale thermische Kälteleistung	213 kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	4%
Jahreskälteleistungszahl	3,70 -
Endenergie Kälteerzeugung	9,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
davon elektrische Energie	100 %
Primärenergieenergie Kälteerzeugung	25,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	2,5
Teilkennwert Kalt-/Kühlw asserverteilung	30,6 kWh/(KW a)

### 2.1.8 Dampferzeugung

Endenergiefaktor	1,16 -
Endenergie Dampferzeugung	3 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergie Dampferzeugung	8 kWh/(m <sup>2</sup> a)

\*) Ein Teil der Verteilverluste reduziert den Nutzenergiebedarf Heizung

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

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

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

**2.2.2 Zoneninformationen**

2.660 m <sup>2</sup> Grundfläche aller beheizten Zonen				Konditionierung ( 1=vorhanden)			Nutzenergie				
1.762 m <sup>2</sup> Grundfläche aller gekühlten Zonen							Heizung		Kälte		
Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche m <sup>2</sup>	RLT-Anlage Nr	Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Zone+RLT	Erzeuger	Zone+RLT	Erzeuger	
Kennwerte bezogen auf die gesamte beheizte bzw. gekühlte Fläche		2.660					101	116	45	55	
Zone 1	Ausstellungsraum EG	27 Ausstellunç	623	1	1 / 1	1	1 / 1	138,6	153,7	89,9	110,6
Zone 2	Auditorium	23 Zuschauer	384	1	1 / 1	1	1 / 1	38,0	53,1	13,3	16,4
Zone 3	Treppenhaus	19 Verkehrsflä	102		1 / 1		/	89,5	104,6		
Zone 4	Austellungsraum OG 1- OG3	27 Ausstellunç	755	1	1 / 1	1	1 / 1	81,7	96,8	23,0	28,4
Zone 5	Büroräume	02 Gruppenbü	109		1 / 1		/	69,1	84,2		
Zone 6	Nebenräume/Sozialräume	15 Küche, Lag	335		1 / 1		/	213,8	228,9		
Zone 7	Technikräume	20 Lager, Tect	225	2	1 / 1	1	/	59,4	74,5		

1) Flächenbezug: Zonenfläche

**Tabelle 13-3: Übersicht Zonen**

### 2.2.3 Beleuchtungsanlagen

2.660 m <sup>2</sup> Grundfläche aller belichteten Zonen									
Zonenname	Zonenfläche m <sup>2</sup>	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungsstärke Lux	elektrische Bewertungsleistung			Regelung	Endenergiebedarf kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>	
				W/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	W/(m <sup>2</sup> 100lux)	Ermittlung			
Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche		2.660	208	10	5			20	
Zone 1	Ausstellungsraum EG	623	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	200	10,2	5,1	Lamp. zählen	man.	22
Zone 2	Auditorium	384	2 / Halogenleuchte	200	10,6	5,3	Lamp. zählen	man.	26
Zone 3	Treppenhaus	102	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	100	3,6	3,6	Lamp. zählen	man.	7
Zone 4	Ausstellungsraum OG 1- OG3	755	4 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem V	200	10,3	5,2	Lamp. zählen	man.	23
Zone 5	Büroräume	109	5 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem V	500	16,5	3,3	Lamp. zählen	man.	23
Zone 6	Nebenräume/Sozialräume	335	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	300	10,7	3,6	Lamp. zählen	man.	23
Zone 7	Technikräume	225	7 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	100	8,3	8,3	Lamp. zählen	man.	2

1) Flächenbezug: Zonenfläche

**Tabelle 13-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen**

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

Bezeichnung	belüftete Fläche m²	Heiz-/Kühlregister	Befeuchter / WRG <sup>1</sup>	Zuluft		Abluft		Dimensionierungsfaktor <sup>2</sup>	spezifische Leistungsauf. kW/(m³/s)	Endenergie kWh/(m²a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN V 18599 kWh/(m³/h a)	
				max. Vol- umenstrom m³/h	max. elektr. Leistung kW	max. Vol- umenstrom m³/h	max. elektr. Leistung kW					
				Kennwerte bez. a. d. ges. mech. bel. Fläche								2,113
RLT 1	Lüftungsanlage EG	1.762	Hz+Kühlreg. Dmpf / WF) 0,7%	4.700	3,00	4.700	4,00	26%	2,68	96%	34,33	
RLT 2	Technikräume	351	kein / kein)			600	0,10	1255%	0,60	4%	0,00	
RLT 3												
RLT 4												
RLT 5												
RLT 6												
RLT 7												
RLT 8												
RLT 9												
RLT 10												
RLT 11												
RLT 12												
RLT 13												
RLT 14												
RLT 15												
RLT 16												
RLT 17												
RLT 18												
RLT 19												
RLT 20												

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 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	257	-	1,00	2
el. Kleinspeicher				

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

2.660	m <sup>2</sup>	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen						
1.762	m <sup>2</sup>	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen						
Bezeichnung		Erzeugerart		Baujahr	thermische Nennleistung <sup>2</sup> kW	Erzeugerauf- wandszahl		Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) bzw. Anteil
						Heizung	Warmwasser	
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral beheizte Fläche					360	1,00	1,00	121
Wärmeerz. 1	Nahwärme	Fernwärme		2010	360	1,00	1,00	100%
Wärmeerz. 2								
Wärmeerz. 3								
Wärmeerz. 4								
Wärmeerz. 5								
Wärmeerz. 6								
Wärmeerz. 7								
Wärmeerz. 8								
Wärmeerz. 9								
Wärmeerz. 10								
Wärmeerz. 11								
Wärmeerz. 12								
Wärmeerz. 13								
Wärmeerz. 14								
Wärmeerz. 15								
Wärmeerz. 16								
Wärmeerz. 17								
Wärmeerz. 18								
Wärmeerz. 19								
Wärmeerz. 20								

1) Flächebezug: die vom Erzeuger beheizte Teilfläche (bestimmt über den Deckungsanteil)

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 m²	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m²a) <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)**

		1.762 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
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral gekühlte Fläche			-	10,0	0,00	0,00	0,0	0,00	14,8
Erz. 1	Lüftungsanlage	Luftgekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei unbekannt)	2010	10,0	2,80	1,32	3,7	0,27	100%
Erz. 2									
Erz. 3									
Erz. 4									
Erz. 5									
Erz. 6									
Erz. 7									
Erz. 8									
Erz. 9									
Erz. 10									
Erz. 11									
Erz. 12									
Erz. 13									
Erz. 14									
Erz. 15									
Erz. 16									
Erz. 17									
Erz. 18									
Erz. 19									
Erz. 20									

1) Flächebezug: die vom Erzeuger gekühlte Teilfläche (bestimmt über den Deckungsanteil)

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

*Möglichkeiten zur Plausibilitätsprüfung, Welche Anpassungen waren erforderlich*

Anpassung der durchschnittlichen Raumtemperaturen

Basis	$f_{bN} = ??$

### 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	Diskutiere Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		

Standardnutzungsprofil	Diskutiere Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		

Standardnutzungsprofil	Diskutiere 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 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.

ges. Hüllfläche	-10%	ges. Fassadenfl.	14%	ges. Fensterfl.	-23%
<b>Bauteilkennwerte des gesamten Gebäudes für den gewählten Modus zur Beschreibung der Gebäudehülle</b>					
	Süd	Ost	West	Nord	Horizontal
Verglasung + Rahmen: U-Wert [W/(m²K)]	2,69	2,69	2,69	2,69	2,00
Verglasung: g-senkrecht	0,78	0,78	0,78	0,78	0,67
Verglasung + Sonnenschutz: g tot	0,78	0,78	0,78	0,78	0,06
Außenwand: U-Wert [W/(m²K)]					1,70
Dach / oberste Geschossdecke: U-Wert [W/(m²K)]					0,39
Kellerdecke/-fußboden: U-Wert [W/(m²K)]					1,07

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

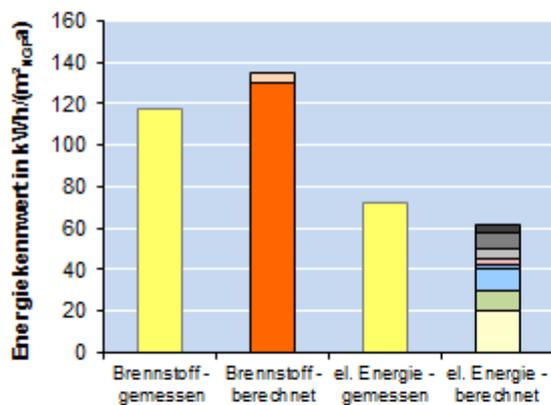
*Abbildung manuell einfügen*

Das Gebäude hat atypisch große horizontale Fensterflächen, welche in der vereinfachten Form der Berechnung zu starken Abweichungen führen.

### 1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften

Gebäudekategorie	Veranstaltungsgebäude	en. Qualität Gebäudehülle $H'_{\gamma}$	1,36 $W/(m^2_{BTP}K)$
Unterkategorie	Museen, Ausstellungsgebäude	en. Qualität Lüftung $H'_{\nu}$	0,19 $W/(m^2/h K)$
Baujahr Gebäude	1920	Fensterant. (oberirdisch)	11 %
Energiebezugsfläche	2.660 $m^2$	Anzahl beheiz. Geschosse	3,0
davon	künst. belichte	Anzahl der Zonen	9
	mech. belüftet	Anzahl der RLT-Anlagen	2
	gekühlt	Anzahl zentr. Kälteerz.	1
	befeuchtet	Anzahl zentr. Wärmeeerz.	1
AV-Verhältnis	0,31 $m^{-1}$		

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



	berechnete Kennwerte	
	Brennstoff/FW kWh/(m² a)	el. Energie kWh/(m² a)
Diverse Technik *	-	4,1
Zentrale Dienste **	0,0	7,5
Arbeitshilfen	-	4,8
Dampf	0,0	3,1
Hilfsenergie Kälte	-	1,6
Kälte	0,0	10,9
Luftförderung	-	9,3
Beleuchtung	-	20,2
Warmwasser	4,9	0,2
Heizung	129,6	0,0
ges. Gebäude	134,5	61,7

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener Verbrauch	kWh/(m²a) MWh/a	118 313	72 192
berechneter Bedarf	kWh/(m²a) MWh/a	134 358	62 164
Verh. Bedarf/Verbrauch - $f_{bV}$		1,14	0,85

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

\*\*) Zentrale EDV; Küchen; Schwachstromanlagen; Kaffeemaschinen; Kühlschränke

### 1.4 Berechnungseinstellungen

TEK-Tool_ Version:	5.5
Flächen der therm. Geb.-hülle	vereinfacht
Zonenzuweisung Hüllfläche	(teil)manuell
Stoffwerte therm. Geb.-Hülle	vereinfacht
Zonenzuw. Baut.-kennwerte	(teil)manuell
Nutzungszeiten	objektspez.
interne Wärmequellen	objektspez.
Raumsolltemperaturen	objektspez.

*Erläutern von Differenzen und Aufzeigen der Gründe sofern möglich.*

Die Verbrauchswerte liegen ca +/- 15 % von den berechneten Werten entfernt. Dies ist durch die Nutzungsführung und Eigenschaften des Gebäudes zu begründen, die von den DIN-Normen abweichen. Desweiteren sind durch die Umbaumaßnahmen die Verbrauchswert nur bedingt verwendbar. Wünschenswert wäre gewesen, wenn das Gebäude für 3 Jahre keine bauliche Veränderung erfahren hätte.

### 14.4 Teilenergiekennwertbewertung

vereinfacht

1.5 Teilenergiekennwerte und CO2-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	136,0	151,2	151,2	0,0	196,5	62,2
Warmwasser	1,4	5,0	4,7	0,2	6,8	2,4
Beleuchtung	-	-	-	14,5	37,6	9,2
Luftförderung	-	-	-	7,8	20,3	4,9
Kälte	56,9	70,2	0,0	18,6	48,3	11,7
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	0,8	2,1	0,5
Dampf	0,4	-	0,0	0,4	1,1	258,7
Arbeitshilfen	-	-	-	5,3	13,9	3,4
Zentrale Dienste	-	-	0,0	7,5	19,4	4,7
Diverse Technik	-	-	-	4,1	10,6	2,6
gesamt	194,7	226,4	155,9	59,2	356,5	360,4

objektspezifisch

1.5 Teilenergiekennwerte und CO2-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	115,7	130,8	130,8	0,0	170,0	53,9
Warmwasser	1,4	5,0	4,7	0,2	6,8	2,4
Beleuchtung	-	-	-	14,1	36,6	8,9
Luftförderung	-	-	-	7,8	20,3	4,9
Kälte	60,5	74,6	0,0	19,7	51,3	12,5
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	1,7	4,4	1,1
Dampf	0,4	-	0,0	0,4	1,1	258,7
Arbeitshilfen	-	-	-	5,3	13,9	3,4
Zentrale Dienste	-	-	0,0	7,5	19,4	4,7
Diverse Technik	-	-	-	4,1	10,6	2,6
gesamt	177,9	210,3	135,5	60,8	334,3	353,2

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

berechneter Wärme 16 % Differenz (Heizung) nicht mehr im akzeptablen Bereich

berechnetem Strom 0,4% Differenz

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.

*Aussagen, wo Bewertung zutreffend und hilfreich und wo nicht.*

Abweichungen gibt es beim Berechnen des Brennstoffverbrauches. Dies kann durch die Summe der Toleranzen von den geschätzten U-Werten und von der Effizienz der vorhandenen Anlagentechnik kommen.

## 15 Interner Anhang – Kurzzeitmessungen

### *Angaben zu Motivation und Ziel*

Die Stromkurzzeitmessung diente zur Ermittlung der Grundlast und Spitzenwerte der Wärmeverteilung und der Lüftungsanlage. Damit sollte herausgefunden werden, ob auf Grund des Regelungsverhalten und Anlagenkonfiguration noch weiteres Optimierungspotenzial besteht.

z.B. Sind die Pumpen leistungsgesteuert.

Gibt es außergewöhnliche Leistungsspitzen

### *Angaben zu erfassten Messgrößen und verwendeter Messtechnik*

Strommessgerät für Drehstrom. Messung in kWh (Umrechnung der ¼-Stundenwerte auf kWh)

*Gewähltes Verfahren, Eingabegrößen, Ergebnisse*

*Bewertung: Hilfreich, belastbar?*

Aufgrund der vielen Einflußfaktoren konnten nur sinnvoll die Leistungsspitzen überprüft werden. Aussagefähiger und sinnvoller ist die Messung von Vorlauf- und Rücklauftemperaturen. Siehe Kapitel 7

## 16 Interner Anhang Zeitaufwand

<b>Tab. 1: Zeitaufwand für die Gebäudeanalysen</b>			
Projektbeschreibung	-		Museum_ Villa mit Glasvorbauten
Gebäude	-		Deutsches Architektur- _ museum
Energiebezugsfläche	m <sup>2</sup>		2.660
<b>Zeitaufwand für Bearbeitung in h</b>			
Lfd. Nr.	Aufwand in h	Rationalisierungsfaktor	Beschreibung
	<b>14,00</b>	<b>0%</b>	<b>Datenbeschaffung</b>
1	6,00	0%	Beschaffen und auswerten existierender Unterlagen
2	8,00	0%	Vor-Ort-Termin
	<b>162,00</b>	<b>0%</b>	<b>Gebäudeanalyse mit TEK-Tool</b>
3	8,00	0%	Zonierung, Zonenflächen
4	6,00	0%	Objektspezifische Hüllfläche bestimmen
5	56,00	0%	Softwareeingabe
6	60,00	0%	Plausibilitätsprüfung
7	32,00	0%	Modernisierungsempfehlungen
	<b>53,00</b>	<b>0%</b>	<b>Weitere Untersuchungen</b>
8	8,00	0%	Verbrauchsanalysen
9	5,00	0%	Lastganganalysen
10	10,00	0%	Kurzzeitmessungen
11	30,00	0%	Dokumentation und Präsentation
	<b>21,00</b>	<b>89%</b>	<b>Sonstiges</b>
12	3,00	100%	Umstellung auf MSOFFICE 10
13	6,00	100%	Umstellung auf neue Versionen TEK
14	12,00	80%	Nacharbeit
	<b>250,00</b>	<b>7%</b>	<b>Gesamt</b>

**Tabelle 16-1: Zeitaufwand für Gebäudeanalysen**

### *Bemerkungen*

Die Einarbeitungszeit für Tool-Module ist überproportional groß.

Bearbeitungshilfen wären noch zu verbessern.

Ladezeit der Excel-Tools zu lange, da die Dateigrößen überdurchschnittlich groß sind.