

Energieberatungsbericht

Museum für angewandte Kunst

Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes „Teilenergiekennwert von Nicht-Wohngebäuden

Endbericht Stand: 29.09.2011

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 – Hochbauamt• Techem Energie-Contracting
Geschäftsadresse	Institut Wohnen und Umwelt GmbH Annastraße 65 64295 Darmstadt Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0 Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97
Dokument	E:\Liegenschaften\Kulturamt\Museum-für-Angewandte-Kunst_Schaumainkai-17\TEK-Projekt\TEK-Bericht\Bericht-Museum-für-angewandte-Kunst_2011-09-05.doc

Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main

Energiemanagement

Mathias Linder

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

Tel: 069 212-30652

e-mail: mathias.linder@stadt-frankfurt.de

29.09.2011, Frankfurt

Datum, Ort

Unterschrift, Stempel

Inhalt

1 Zusammenfassung	5
2 Einleitung und Aufgabenstellung	7
3 Projekt- und Gebäudebeschreibung	8
4 Bewertung des Ist-Zustandes	9
4.1 Gemessene Verbrauchsdaten.....	9
4.2 Lastganganalysen.....	12
4.2.1 Lastganganalyse Erdgas	12
4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie.....	14
4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes.....	15
4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch.....	15
4.3.2 Berechnete Energiekennwerte.....	16
5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung	19
6 Modernisierungsempfehlungen	21
6.1 Modernisierungsempfehlung 1:.....	21
6.2 Modernisierungsempfehlung 2:.....	22
6.3 Modernisierungsempfehlung 3:.....	23
6.4 Modernisierungsempfehlung 4:.....	24
6.5 Zusammenfassung und Vergleich.....	25
7 Durchgeführte Messungen	26
8 Anhang – Literatur	29
9 Anhang: Datenerhebung	30
9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	30
10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes	32
11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit	34
12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene	35
13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation	40
14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool	47
14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen.....	47

14.2	Differenzen zu Standardnutzungsprofile DIN V 18599	47
14.3	Vereinfachte Hüllflächenermittlung.....	47
14.4	Teilenergiekennwertbewertung	48
15	Interner Anhang – Kurzzeitmessungen	49
16	Interner Anhang Zeitaufwand	51

1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Energieberatungsbericht wird das zu bewertende Gebäude mit Hilfe einer Gebäudeanalyse nach dem Verfahren Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden (TEK) untersucht. Das Museum für Angewandte Kunst Frankfurt, eines der bedeutendsten internationalen Museen seiner Art, wurde 1877 gegründet. Die heutigen Sammlungen umfassen 5000 Jahre Geschichte verschiedener Kulturen und beinhalten europäisches Kunsthandwerk vom 12. – 21. Jahrhundert, Design, Buchkunst und Graphik, Islamische Kunst, sowie Kunst und Kunsthandwerk Ostasiens. Das Museum für angewandte Kunst besteht aus folgenden Gebäudeteilen: der Villa Metzler aus dem Jahr 1803, dem Werkstattgebäude aus dem Jahr 1960 und dem Hauptgebäude aus dem Jahr 1986 (Architekt: Richard Meier).



Abbildung 1-1: Villa Metzler und Hauptgebäude des Museums für angewandte Kunst

Die beheizte Nettogeschossfläche der Liegenschaft beträgt 9.570 m². Nach dem Energieausweis aus dem Jahr 2009 liegt der Heizenergieverbrauch bei 196 kWh/m²a und der Stromverbrauch bei 179 kWh/m²a. Diese Werte liegen deutlich über den Referenzwerten nach der Energieeinsparverordnung (EnEV). Daher wurde diese Liegenschaft auch im Rahmen des TEK-Projektes untersucht. Die großen RLT-Anlagen (Anlage 1.1, 2.1 und 3.1), sowie die zugehörige MSR und GLT wurden im Jahr 2010 saniert, gegenwärtig wird der Wärmeschutz im Rahmen einer Fassadensanierung verbessert.

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

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	423 Raumheizflächen	Begrenzung Heizkörper Glasgang Villa Metzler	4) dringend	derzeit unnötig überheizt
2	433 Klimaanlage	Optimierung Betriebszeiten RLT-Anlagen	4) dringend	Bei Fertigstellung der baulichen Sanierung
3	433 Klimaanlage	Jahreszeitliches Gleiten von Temp. u. Feuchte	4) dringend	Sommer max.: 26°C, 60 % r.F., Winter min.: 20°C, 40 % r.F., Rampe max 1 %/d
4	445 Beleuchtungsanlagen	Abschalten Leuchten in Bibliothek	4) dringend	Außerhalb der Nutzungszeiten, evtl. mit Präsenzmelder
5	479 Nutzungsspezifische Anlagen, sonstiges	Zirkulationsunterbrechung WWB-Restaurant	4) dringend	Einbau Zeitschaltuhr
6	483 Zentrale Einrichtungen	Reduzierung Abblasverluste Druckerhöhung	4) dringend	Undichtiges Ventil führt zu erhöhtem Pumpenergieaufwand
7	334 Außentüren und -fenster	Dämmung der abgeklebten Fensterelemente	3) wichtig	Quadrant 3, 1.OG, Lager, Elemente sollten demontierbar sein
8	334 Außentüren und -fenster	Erneuerung der Fensterdichtungen	3) wichtig	teilweise bereits umgesetzt
9	334 Außentüren und -fenster	Verbesserung des Sonnenschutzes	3) wichtig	Möglichst außenliegende Alu-Lamelle, Abstimmung mit Gestaltschutz
10	336 Außenwandbekleidungen, innen	Dämmen der Heizkörpernischen Villa Metzler	3) wichtig	evtl. Abstimmung mit Denkmalschutz
11	435 Kälteanlagen	Optimierung der Kaltwasserpumpen	3) wichtig	Austausch Sekundär-Umwälzpumpe durch drehzahlregelte Pumpe
12	435 Kälteanlagen	Hydraulische Trennung, Abschalten im Winter	3) wichtig	alternativ: Komplettsanierung der Kältemaschinen
13	334 Außentüren und -fenster	Glasbausteine mit Verglasung ergänzen	2) empfohlen	Foyerbereich, verbessert auch die Behaglichkeit
14	353 Deckenbekleidungen	Dämmung Kellerdecke Werkstattgebäude	2) empfohlen	
15	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Einbau eines BHKW mit 120 kWel	2) empfohlen	Mit Anbindung des Museums der Weltkulturen im Rahmen der Museumserweiterung
16	423 Raumheizflächen	Fußbodenheizung für Pförner	2) empfohlen	Zur Entlastung der Klimaanlage im Winter
17	435 Kälteanlagen	Erneuerung der Kältemaschinen	2) empfohlen	Mit Anbindung des Museums der Weltkulturen im Rahmen der Museumserweiterung
18	445 Beleuchtungsanlagen	Sanierung der Beleuchtungsanlagen (EVG, LED)	2) empfohlen	Im Rahmen einer museografischen Überarbeitung
19	334 Außentüren und -fenster	Ersatz durch 3-fach-Verglasung	1) sinnvoll	Im Zuge der Außensanierung
20	335 Außenwandbekleidungen, außen	WDVS Außenwand Werkstattgebäude	1) sinnvoll	Im Zuge einer Außensanierung

Tabelle 1-1: Zusammenstellung der Modernisierungsempfehlungen

Aus den Untersuchungen können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

Die Modernisierungsempfehlung 1 (Betriebsoptimierung) sollte möglichst unverzüglich im Zuge der laufenden Baumaßnahme umgesetzt werden. Sie dient sowohl der Energieeinsparung als auch der Verbesserung der Raumluftkonditionen. Für die Modernisierungsempfehlungen 2 und 3 sollten Mittel für den nächsten Haushalt angemeldet werden. Die Modernisierungsempfehlungen 4 sind im Rahmen ohnehin erforderlicher Maßnahmen mit umzusetzen (z.B. bei Anschluss des Erweiterungsbaus des Museums der Weltkulturen).

2 Einleitung und Aufgabenstellung

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

Der Kurzbericht umfasst:

- Eine kurze Beschreibung des Projektes und des Gebäudes,
- die Bewertung des Ist-Zustands des Gebäudes,
- die Angabe von Modernisierungsmaßnahmen unter Nennung der Energieeinsparung, der Grobkosten und der sich hieraus ergebenden Wirtschaftlichkeit,
- einen Anhang mit ausführlichen Informationen zur Gebäudeanalyse.

3 Projekt- und Gebäudebeschreibung

1.1 Allgemeine Projektinformationen		
Museum für angewandte Kunst _		
Gebäude	Eigentümer	Energieberatung
Museum für angewandte Kunst	Stadt Frankfurt Kulturamt	HBA-Energiemanagement Mathias Linder
Schaumainkai 17 60594 Frankfurt	Brückenstraße 3-7 60594 Frankfurt	Gerbermühlstraße 48 60594 Frankfurt



1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften			
Gebäudekategorie	Veranstaltungsgebäude	en. Qualität Gebäudehülle H_T	1,01 W/(m ² _{BTF} ·K)
Unterkategorie	Museen, Ausstellungsgebäude	en. Qualität Lüftung H_V	0,84 W/(m ³ /h·K)
		Fensterant. (oberirdisch)	33 %
Baujahr Gebäude	1988	Anzahl beheiz. Geschosse	3,7
zonierte beheizte Nettogrundf	9.570 m ²	Anzahl der Zonen	11
davon künst. belichte	100 %	Anzahl der RLT-Anlagen	6
mech. belüftet	76 %	Anzahl zentr. Kälteerz.	2
gekühlt	58 %	Anzahl zentr. Wärmeerz.	2
befeuchtet	58 %		
A/V-Verhältnis	0,36 m ⁻¹		

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Das Museum für Angewandte Kunst Frankfurt, eines der bedeutendsten internationalen Museen seiner Art, wurde 1877 gegründet. Die heutigen Sammlungen umfassen 5000 Jahre Geschichte verschiedener Kulturen und beinhalten europäisches Kunsthandwerk vom 12. – 21. Jahrhundert, Design, Buchkunst und Graphik, Islamische Kunst, sowie Kunst und Kunsthandwerk Ostasiens. Das Museum für angewandte Kunst besteht aus folgenden Gebäudeteilen: der Villa Metzler aus dem Jahr 1803, dem Werkstattgebäude aus dem Jahr 1960 und dem Hauptgebäude aus dem Jahr 1986 (Architekt: Richard Meier).

Die großen RLT-Anlagen (Anlage 1.1, 2.1 und 3.1), sowie die zugehörige MSR und GLT wurden im Jahr 2010 saniert, gleichzeitig wurde aus konservatorischen Gründen eine Entfeuchtung eingebaut. Gegenwärtig wird der Wärmeschutz im Rahmen einer Fassadensanierung verbessert.

4 Bewertung des Ist-Zustandes

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

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

4.1 Gemessene Verbrauchsdaten

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

- Monatliche Verbrauchsdaten des MAK für den Zeitraum von 2005 bis 2010

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

Elektrische Energie

- Monatliche Verbrauchsdaten des MAK für den Zeitraum von 2005 bis 2010

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

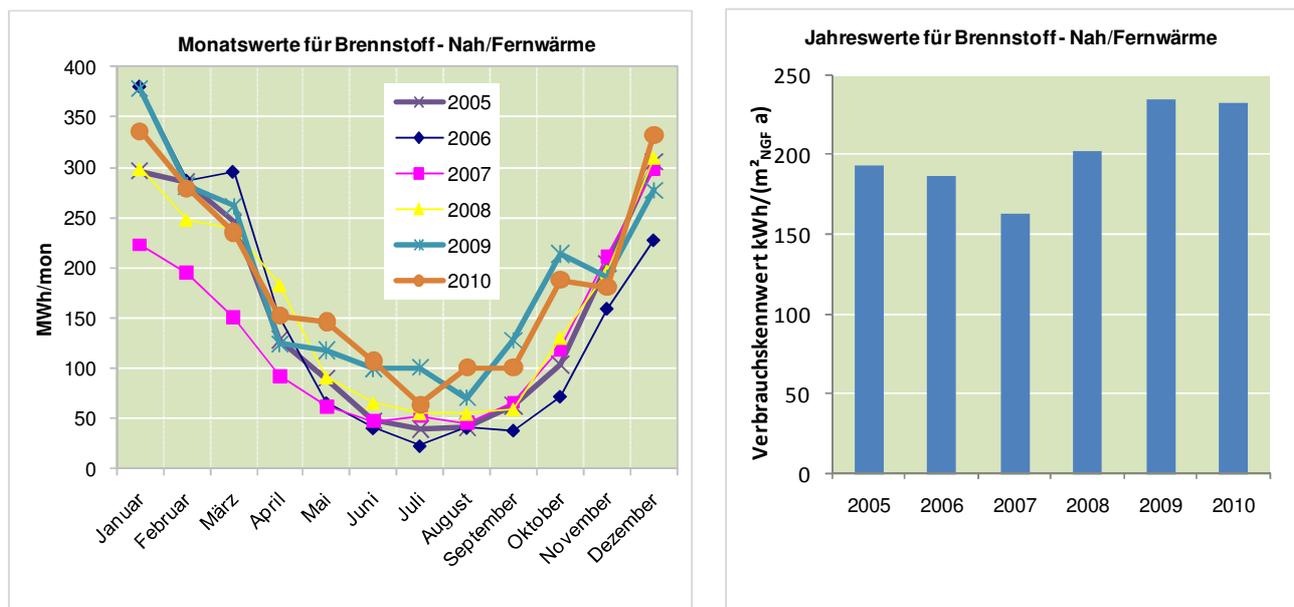


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Erdgas der letzten 6 Jahre

Man erkennt dass der Heizenergieverbrauch in den Jahren 2009 und 2010 angestiegen ist. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass im Rahmen der Fassadensanierung großflächig die Dämmung abgenommen wurde. Die Mehrverbräuche im Sommer sind durch die zusätzliche Entfeuchtung im Sommer zu erklären, da sich die konservatorischen Anforderungen des Museums erhöht haben.

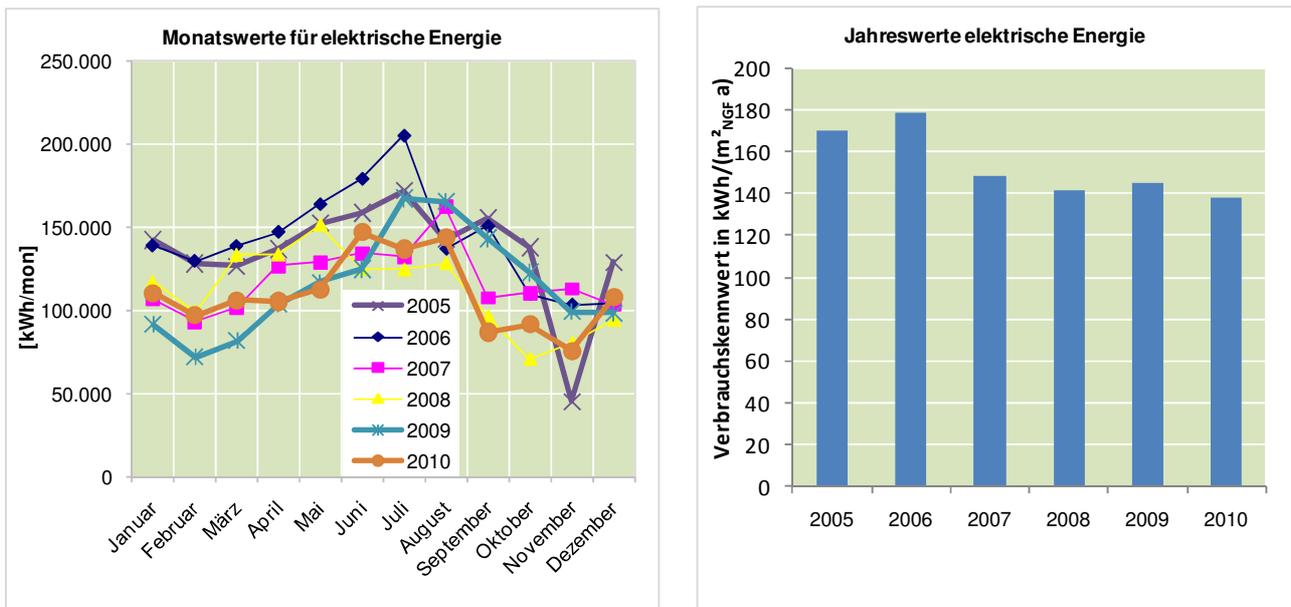


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie der letzten 5 Jahre

Es ist deutlich erkennbar, dass die höchsten Verbrauchswerte im Sommer anfallen, da in dieser Zeit gekühlt und entfeuchtet werden muss.



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 %.

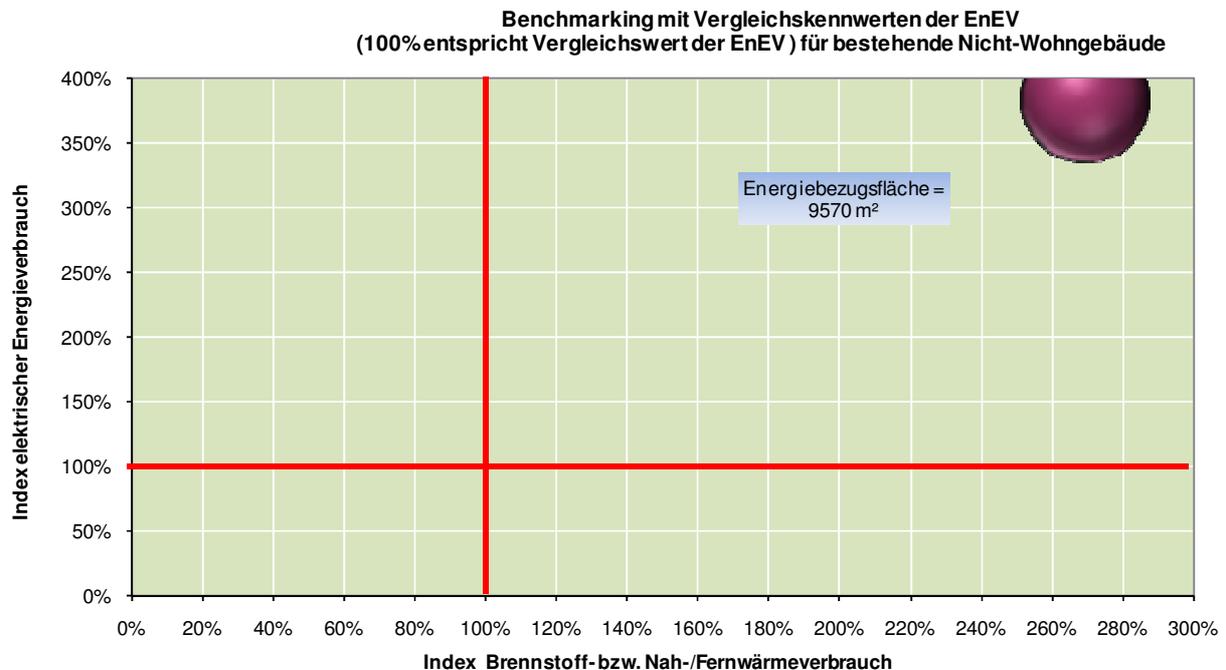


Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)

Als Vergleichskategorie wurde in Tabelle 3.1 der Bekanntmachung [3] die Gebäudekategorie „Ausstellungsgebäude“ mit der BWZK Ziffer 9120 gewählt. Diese Gebäudekategorie trifft leider nicht besonders gut. Für vollklimatisierte Museen liegen jedoch leider keine Vergleichswerte vor.

Der Vergleichswert Brennstoff der EnEV 2009 liegt für diese Gebäudekategorie bei 75 kWh/m²a, der Mittelwert des MAK für die Jahre 2005-2010 liegt bei 202 kWh/m²a und überschreitet den Vergleichswert damit um 269 %. Der Vergleichswert Strom der EnEV 2009 liegt für diese Gebäudekategorie bei 40 kWh/m²a, der Mittelwert des MAK für die Jahre 2005-2010 liegt bei 154 kWh/m²a und überschreitet den Vergleichswert damit um 384 %. Das MAK liegt als weit von den Vergleichswerten entfernt.

Die Ergebnisse zeigen, dass das MAK offensichtlich nicht repräsentativ für diese Gebäudekategorie ist. Vermutlich sind nur die wenigsten Ausstellungsgebäude, die in den Vergleichskennwert eingingen, voll klimatisiert. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Vergleichskennwerte der EnEV 2009 gegenüber der EnEV 2007 aus politischen Gründen fast halbiert wurden und somit nicht mehr Durchschnittswerte des tatsächlichen Gebäudebestandes sind. Darüber hinaus ist die großzügige Verglasung zu berücksichtigen, die zu entsprechend hohen Energieverbräuchen führt.

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:

Gas

- Es stehen Viertelstundenwerte des Gaszählers (Zählernummer: 000.449) für den Zeitraum vom 23.08.2002 bis zum 08.08.2011 in der automatischen Verbrauchserfassung der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt zur Verfügung. Für die Auswertung wurde der Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2010 gewählt.

Elektrische Energie

- Es stehen Viertelstundenwerte des Stromzählers (Zählernummer: 046.435) für den Zeitraum vom 23.08.2002 bis zum 08.08.2011 in der automatischen Verbrauchserfassung der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt zur Verfügung. Für die Auswertung wurde der Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2010 gewählt.

4.2.1 Lastganganalyse Erdgas

Abbildung 4-4 zeigt den Tagesverbrauch Erdgas abhängig von der Außentemperatur. 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).

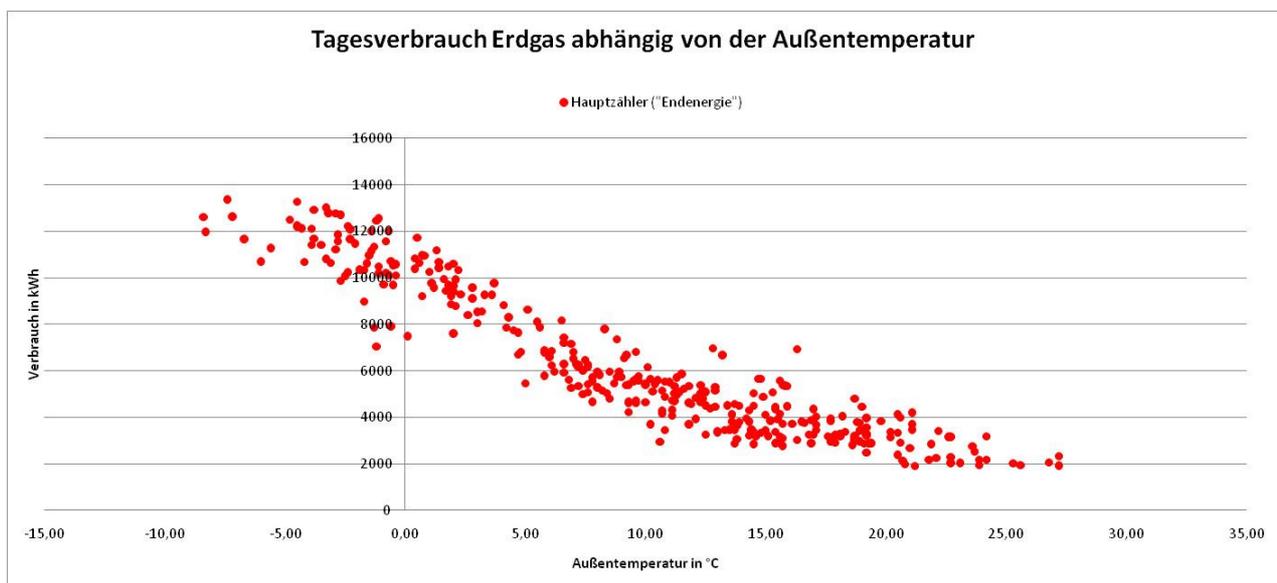


Abbildung 4-4: Tagesverbrauch Erdgas abhängig von der Außentemperatur

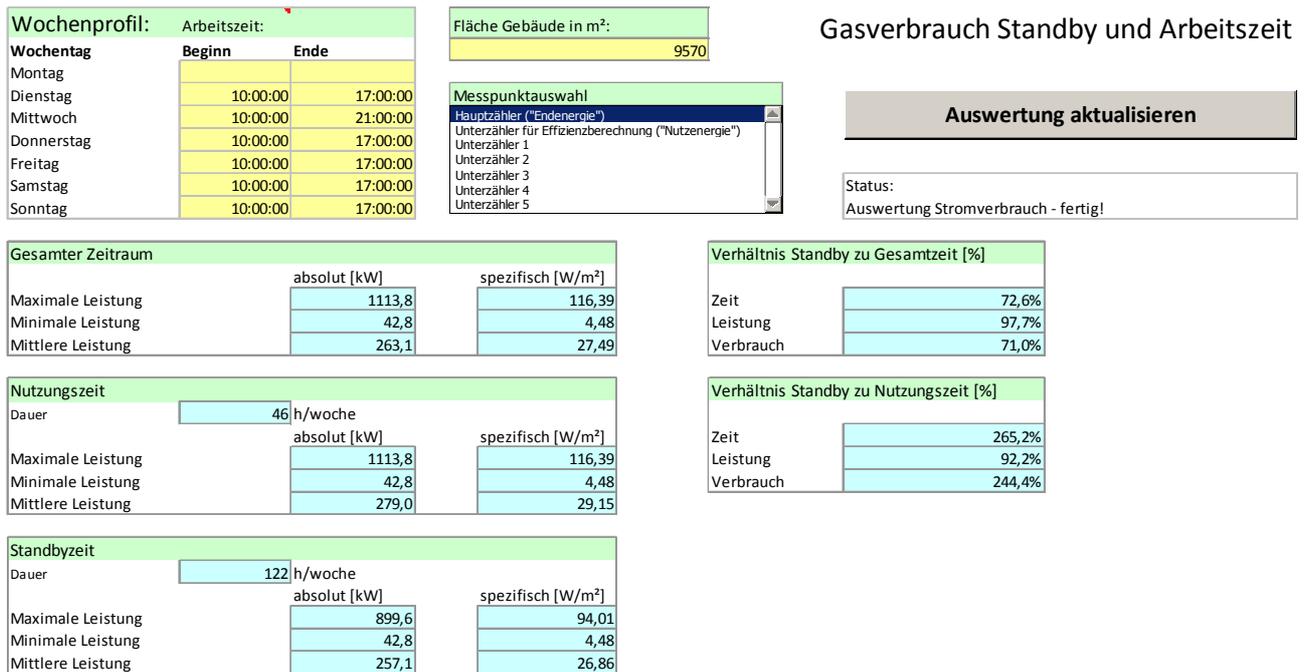


Abbildung 4-5: Auswertung des Erdgasverbrauchs in der Nutzungszeit und der Standby-Zeit des Gebäudes

Das Museum von Dienstag bis Sonntag von 10 – 17 Uhr und am Mittwoch bis 21 Uhr für Besucher geöffnet. Die konservatorischen Anforderungen für die Kunstwerke sind natürlich rund um die Uhr einzuhalten. Man erkennt, dass der Tagesverbrauch für Erdgas unabhängig von der Außentemperatur bei mindestens 2.000 kWh liegt (das sind im Schnitt 80 kW). Dies liegt unter anderem an der Notwendigkeit, die Zuluft im Sommer nach der Entfeuchtung wieder zu erwärmen. Bei der Auslegungstemperatur von -12°C liegt der Tagesverbrauch bei ca. 14.000 kWh (im Schnitt 580 kW). Dem steht eine installierte Wärmeleistung von 1.160 kW gegenüber. Die Heizzentrale hatte also ursprünglich eine Redundanz von 100 %. Einer der Kessel ist jedoch außer Betrieb, der andere Kessel wurde zwischenzeitlich durch einen modernen Gas-Brennwertkessel ersetzt.

Im Rahmen des Erweiterungsbaues für das Museum der Weltkulturen soll dieses Museum an die Heizzentrale des Museums für angewandte Kunst angeschlossen werden. Dafür liegt bereits ein entsprechendes Wärmeversorgungskonzept vor ([6] und [7]).

4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie

Abbildung 4-6 zeigt das Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs. Die schwarze Linie stellt den Mittelwert aller ausgewerteten Wochen dar, die roten Linien stellen alle 52 Wochen des Jahres dar. In Abbildung 4-7 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).

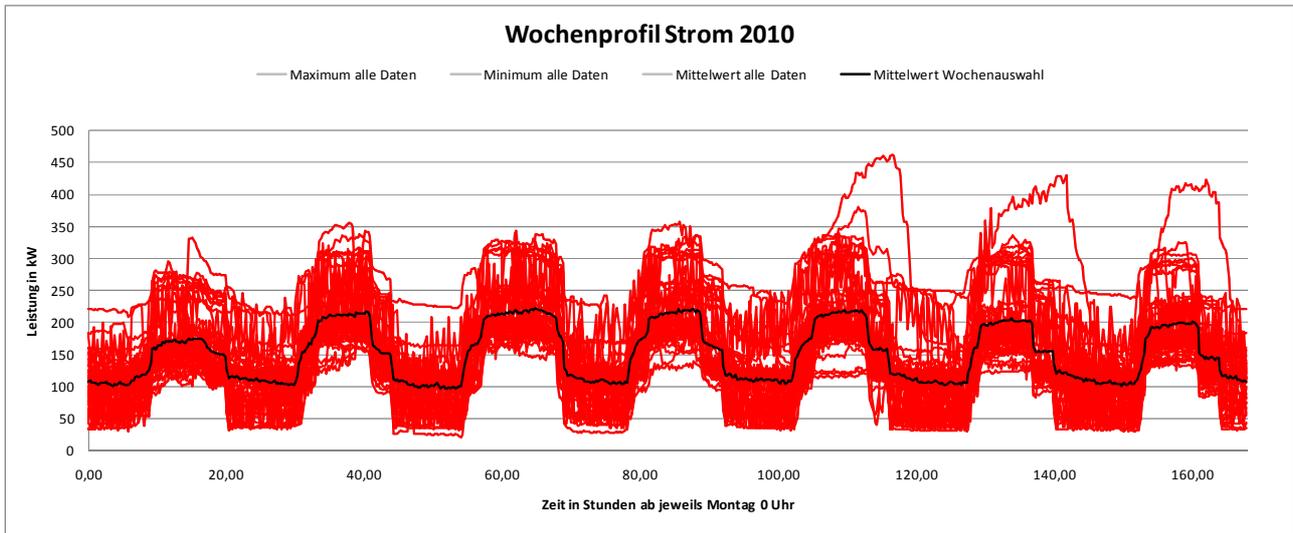


Abbildung 4-6: Wochenprofile des elektrischen Energieverbrauchs

Wochenprofil:

Wochentag	Arbeitszeit: Beginn	Ende
Montag		
Dienstag	10:00:00	17:00:00
Mittwoch	10:00:00	21:00:00
Donnerstag	10:00:00	17:00:00
Freitag	10:00:00	17:00:00
Samstag	10:00:00	17:00:00
Sonntag	10:00:00	17:00:00

Fläche Gebäude in m²: 9570

Messpunktauswahl:
Hauptzähler ("Endenergie")
Unterzähler 1
Unterzähler 2
Unterzähler 3
Unterzähler 4
Unterzähler 5

Stromverbrauch Standby und Arbeitszeit

Auswertung aktualisieren

Status:
Auswertung Stromverbrauch - fertig!

Gesamter Zeitraum		
	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
Maximale Leistung	462,0	48,28
Minimale Leistung	20,2	2,11
Mittlere Leistung	150,4	15,71

Nutzungszeit		
Dauer	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
Dauer	46 h/woche	
Maximale Leistung	442,2	46,21
Minimale Leistung	75,4	7,88
Mittlere Leistung	208,9	21,83

Standbyzeit		
Dauer	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
Dauer	122 h/woche	
Maximale Leistung	442,4	46,23
Minimale Leistung	69,8	7,29
Mittlere Leistung	128,3	13,41

Verhältnis Standby zu Gesamtzeit [%]	
Zeit	72,6%
Leistung	85,3%
Verbrauch	62,0%

Verhältnis Standby zu Nutzungszeit [%]	
Zeit	265,2%
Leistung	61,4%
Verbrauch	162,9%

Abbildung 4-7: Auswertung des elektrischen Energieverbrauchs in der Nutzungszeit und der Standby-Zeit des Gebäudes

Man erkennt, dass die Grundlast im Mittel bei etwa 100 kW liegt. In der Zeit von 9 Uhr bis 20 Uhr steigt die Leistung auf ca. 200 kW, am Montag nur auf ca. 170 kW. Außerdem ist an allen Tagen



außer Mittwoch eine Abflachung des Plateaus zwischen 17 und 20 Uhr erkennbar. Wochentags wäre das mit den Büros und Werkstätten erklärbar, am Wochenende jedoch nicht.

Die Grundlast entsteht durch die Luftförderung und die Pumpen für Heizung bzw. Klimatisierung. Die Spitzenlast ist auf die Beleuchtung und auf die Arbeitshilfen zurückzuführen. Der hohe Grundlastanteil ist durch die konservatorischen Anforderungen nachvollziehbar. Die Spitzenlastzeiten erscheinen jedoch beim Vergleich mit den Nutzungszeiten zu lang.

4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

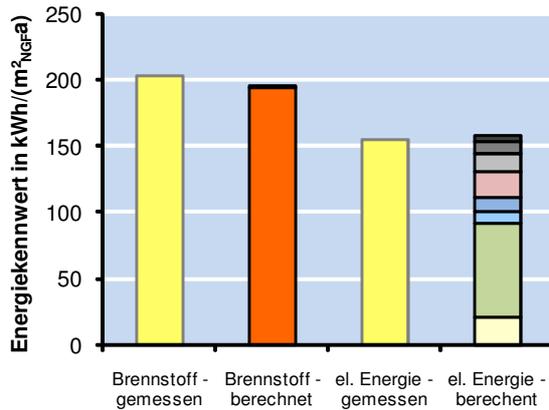
Um die Struktur des Energieverbrauchs des Gebäudes zu analysieren und Schwachstellen zu identifizieren, wird dieser über eine Energiebilanzberechnung nachvollzogen. Die Berechnung wird in Anlehnung an die DIN V 18599 durchgeführt, wobei unterschiedliche Vereinfachungen und Modifikationen bei der Berechnung 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- die berechneten Energiebedarfskennwerte (siehe Abschnitt 14) den gemessenen Energieverbrauchskennwerten (siehe Abschnitt 4.1) gegenübergestellt (Endenergieebene). Die Farblegende zur Grafik sowie die Zahlenwerte sind in der Tabelle rechts dargestellt. Die Gebäudesummen als Kennwerte in kWh/(m²a) sowie als Absolutwert in MWh/a sind in der Tabelle unten links aufgeführt. Die letzte Zeile dieser Tabelle zeigt das Verhältnis von berechnetem Bedarf zu gemessenem Verbrauch $f_{b/v}$.

1.3 Gemessene und berechnete Energiekennwerte (Endenergie; Gebäudeebene)



	berechnete Kennwerte	
	Brennstoff/FW kWh/(m² a)	el. Energie kWh/(m² a)
Diverse Technik *	-	5,3
Zentrale Dienste **	2,7	9,4
Arbeitshilfen	-	13,9
Dampf	0,0	20,1
Hilfsenergie Kälte	-	10,1
Kälte	0,0	8,4
Luftförderung	-	72,0
Beleuchtung	-	19,3
Warmwasser	0,0	0,4
Heizung	192,8	0,0
ges. Gebäude	195,5	158,7

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener Verbrauch	kWh/(m²a) MWh/a	202 1.932	154 1.471
berechneter Bedarf	kWh/(m²a) MWh/a	195 1.871	159 1.519
Verh. Bedarf/Verbrauch - f _{b/v}		0,97	1,03

1.4 Berechnungseinstellungen

TEK-Tool _ Version:	5.4
Flächen der therm. Geb.-hülle	objektspez.
Zonenzueisung Hüllfläche	(teil)manuell
Stoffwerte therm. Geb.-Hülle	objektspez.
Zonenzueisung Stoffwerte	automatisch
Nutzungszeiten	objektspez.
interne Wärmequellen	objektspez.
Raumsolltemperaturen	objektspez.

Abbildung 4-8: Vergleich von gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf

Die Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch sind sehr gering, es scheint also, dass das Rechenmodell die tatsächlichen Verhältnisse zumindest in der Summe gut wiedergibt.

4.3.2 Berechnete Energiekennwerte

Auf der Grundlage der Energiebilanzberechnung wird in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-9 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	121,6	157,3	192,8	0,0	152,4	52,8
Warmwasser	0,2	0,2	0,0	0,4	0,9	0,4
Beleuchtung	-	-	-	19,3	50,1	12,2
Luftförderung	-	-	-	72,0	187,1	45,6
Kälte	28,2	33,7	0,0	8,4	21,8	5,3
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	10,1	26,3	6,4
Dampf	17,3	-	0,0	20,1	52,2	12702,9
Arbeitshilfen	-	-	-	13,9	36,0	8,8
Zentrale Dienste	-	-	2,7	9,4	32,6	6,7
Diverse Technik	-	-	-	5,3	13,8	3,3
gesamt	167,3	191,2	195,5	158,7	573,2	12844,4

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

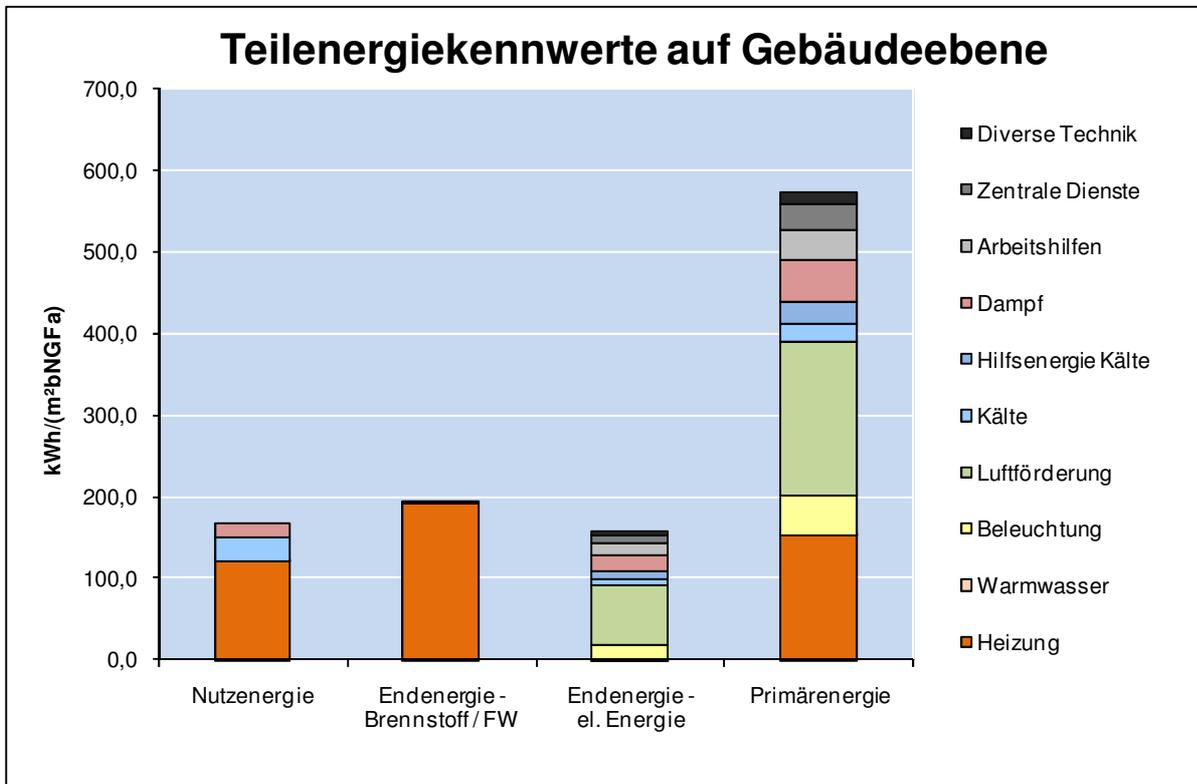


Abbildung 4-9: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand

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 4-10 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 4-10). 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.

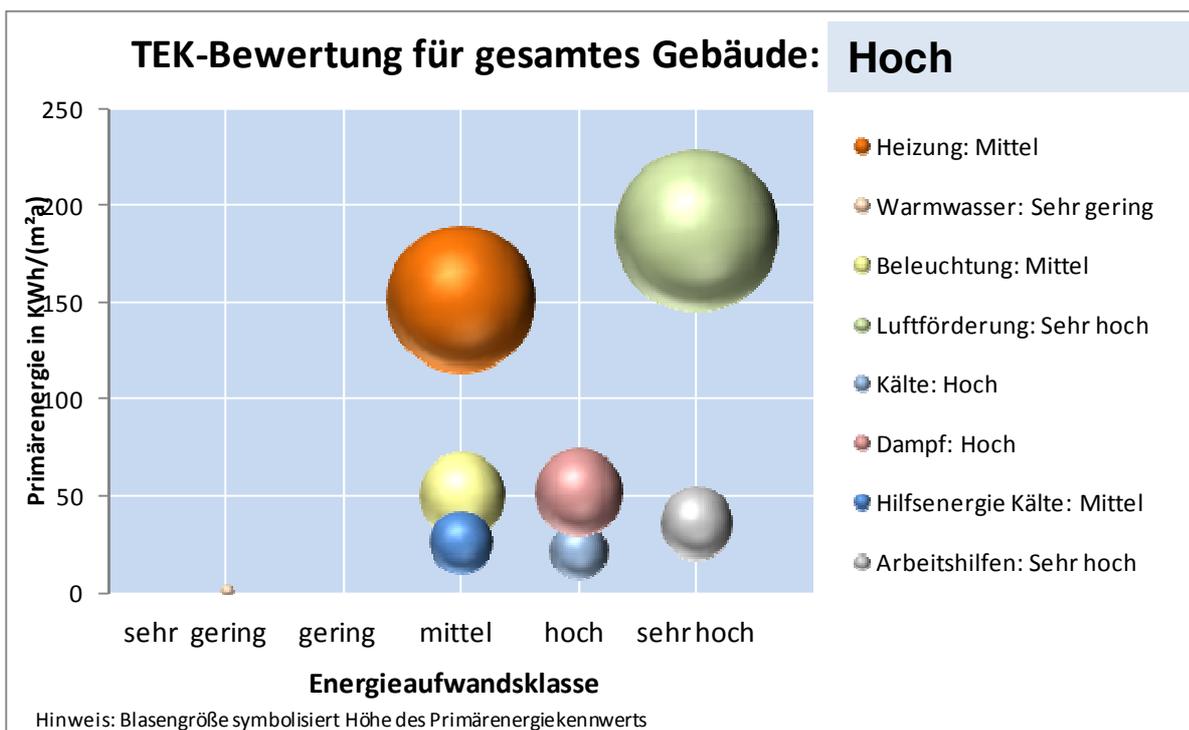


Abbildung 4-10: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung

Die Primärenergiekennwerte liegen insbesondere für Luftförderung und Heizenergie sehr hoch. Bei der TEK-Bewertung wird ebenfalls besonders die Luftförderung sehr hoch eingruppiert. Bei dem Entwurf des Gebäudes wurde offensichtlich mehr Wert auf architektonische Gestaltung als auf Energieeffizienz gelegt. Die großen Fensterflächen (und Dachverglasungen), der unzureichende und weitgehend defekte Sonnenschutz sowie die schlechte Wärmedämmung und mangelhafte



Gebäudedichtigkeit führen dazu, dass selbst mit massivem Einsatz von Lüftungs- und Klimatechnik keine befriedigenden konservatorischen Bedingungen erreicht werden.

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 Maßnahmen wurden in vier Maßnahmenpakete eingeteilt und in Abschnitt 6 näher untersucht.

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	423 Raumheizflächen	Begrenzung Heizkörper Glasgang Villa Metzler	4) dringend	derzeit unnötig überheizt
2	433 Klimaanlage	Optimierung Betriebszeiten RL-T-Anlagen	4) dringend	Bei Fertigstellung der baulichen Sanierung
3	433 Klimaanlage	Jahreszeitliches Gleiten von Temp. u. Feuchte	4) dringend	Sommer max.: 26°C, 60 % r.F., Winter min.: 20°C, 40 % r.F., Rampe max 1 %/d
4	445 Beleuchtungsanlagen	Abschalten Leuchten in Bibliothek	4) dringend	Außerhalb der Nutzungszeiten, evtl. mit Präsenzmelder
5	479 Nutzungsspezifische Anlagen, sonstiges	Zirkulationsunterbrechung WWB-Restaurant	4) dringend	Einbau Zeitschaltuhr
6	483 Zentrale Einrichtungen	Reduzierung Abblasverluste Druckerhöhung	4) dringend	Undichtes Ventil führt zu erhöhtem Pumpenergieaufwand
7	334 Außentüren und -fenster	Dämmung der abgeklebten Fensterelemente	3) wichtig	Quadrant 3, 1.OG, Lager, Elemente sollten demontierbar sein
8	334 Außentüren und -fenster	Erneuerung der Fensterdichtungen	3) wichtig	teilw eise bereits umgesetzt
9	334 Außentüren und -fenster	Verbesserung des Sonnenschutzes	3) wichtig	Möglichst außenliegende Alu-Lamelle, Abstimmung mit Gestaltschutz
10	336 Außenwandbekleidungen, innen	Dämmen der Heizkörpernischen Villa Metzler	3) wichtig	evtl. Abstimmung mit Denkmalschutz
11	435 Kälteanlagen	Optimierung der Kaltwasserpumpen	3) wichtig	Austausch Sekundär-Umwälzpumpe durch drehzahlregelte Pumpe
12	435 Kälteanlagen	Hydraulische Trennung, Abschalten im Winter	3) wichtig	alternativ: Komplettsanierung der Kältemaschinen
13	334 Außentüren und -fenster	Glasbausteine mit Verglasung ergänzen	2) empfohlen	Foyerbereich, verbessert auch die Behaglichkeit
14	353 Deckenbekleidungen	Dämmung Kellerdecke Werkstattgebäude	2) empfohlen	
15	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Einbau eines BHKW mit 120 kWel	2) empfohlen	Mit Anbindung des Museums der Weltkulturen im Rahmen der Museumserweiterung
16	423 Raumheizflächen	Fußbodenheizung für Pforner	2) empfohlen	Zur Entlastung der Klimaanlage im Winter
17	435 Kälteanlagen	Erneuerung der Kältemaschinen	2) empfohlen	Mit Anbindung des Museums der Weltkulturen im Rahmen der Museumserweiterung
18	445 Beleuchtungsanlagen	Sanierung der Beleuchtungsanlagen (EVG, LED)	2) empfohlen	Im Rahmen einer museografischen Überarbeitung
19	334 Außentüren und -fenster	Ersatz durch 3-fach-Verglasung	1) sinnvoll	Im Zuge der Außensanierung
20	335 Außenwandbekleidungen, außen	WDVS Außenwand Werkstattgebäude	1) sinnvoll	Im Zuge einer Außensanierung

Tabelle 5-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude

6 Modernisierungsempfehlungen

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

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

Die Ergebnisse sind in folgenden Grafiken zusammengefasst.

6.1 Modernisierungsempfehlung 1:

Museum für angewandte Kunst, ,		ME 1 Modernisierungsempfehlung 1	
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Betriebs-optimierung	
Modernisierungsziel		Betriebs-optimierung	
4.01	Jährliche Gesamtkosten		
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	2.000 €/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	427.000 €/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+,m}$	1.000 €/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	430.000 €/a
4.1	Übersicht Einzelmaßnahmen	ME 1	Betriebs-optimierung
1	Objektspezifische Maßnahme	M 1-1	Begrenzung Heizkörper Glasgang Villa Metzler
	Standardmaßnahme		423_Begrenzung der Thermostatventile
2	Objektspezifische Maßnahme	M 1-2	Optimierung Betriebszeiten RLT-Anlagen
	Standardmaßnahme		430_2_Teilklimaanlage_1-MSR-Regelungsoptimierung
3	Objektspezifische Maßnahme	M 1-3	Jahreszeitliches Gleiten von Temp. u. Feuchte
	Standardmaßnahme		430_4_Vollklimaanlage_1-Jahreszeitliches-Gleiten
4	Objektspezifische Maßnahme	M 1-4	Abschalten Leuchten in Bibliothek
	Standardmaßnahme		445_3_Präsenzmelder_Flure
5	Objektspezifische Maßnahme	M 1-5	Zirkulationsunterbrechung WWB-Restaurant
	Standardmaßnahme		479_Warmwasserbereitung_Zirkulationsunterbrechung
6	Objektspezifische Maßnahme	M 1-6	Reduzierung Abblasverluste Druckerhöhung
	Standardmaßnahme		480_Druckerhöhung_Reduzierung-Abblasverluste

Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1 - Betriebsoptimierung

In der Modernisierungsempfehlung 1 sind im Wesentlichen Maßnahmen zur Betriebsoptimierung und geringinvestive Maßnahmen zusammengestellt. Die Kosten wurden teils aus der Datenbank übernommen und teils selbst geschätzt.

6.2 Modernisierungsempfehlung 2:

Museum für angewandte Kunst, ,		ME 2 Modernisierungsempfehlung 2	
4.0 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung		Investitionen Prio. 1	
Modernisierungsziel			
4.01 Jährliche Gesamtkosten			
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	9.000 €/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	401.000 €/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+,m}$	3.000 €/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	413.000 €/a
4.1 Übersicht Einzelmaßnahmen		Investitionen Prio. 1	
1	Objektspezifische Maßnahme	M 2-1	Begrenzung Heizkörper Glasgang Villa Metzler
	Standardmaßnahme		423_Begrenzung der Thermostatventile
2	Objektspezifische Maßnahme	M 2-2	Optimierung Betriebszeiten RLT-Anlagen
	Standardmaßnahme		430_2_Teilklimaanlage_1-MSR-Regelungsoptimierung
3	Objektspezifische Maßnahme	M 2-3	Jahreszeitliches Gleiten von Temp. u. Feuchte
	Standardmaßnahme		430_4_Vollklimaanlage_1-Jahreszeitliches-Gleiten
4	Objektspezifische Maßnahme	M 2-4	Abschalten Leuchten in Bibliothek
	Standardmaßnahme		445_3_Präsenzmelder_Flure
5	Objektspezifische Maßnahme	M 2-5	Zirkulationsunterbrechung WWB-Restaurant
	Standardmaßnahme		479_Warmwasserbereitung_Zirkulationsunterbrechung
6	Objektspezifische Maßnahme	M 2-6	Reduzierung Abblasverluste Druckerhöhung
	Standardmaßnahme		480_Druckerhöhung_Reduzierung-Abblasverluste
7	Objektspezifische Maßnahme	M 2-7	Dämmung der abgeklebten Fensterelemente
	Standardmaßnahme		334_FE_Dämmpaneele-für-abgeklebte-Fenster
8	Objektspezifische Maßnahme	M 2-8	Erneuerung der Fensterdichtungen
	Standardmaßnahme		334_FE_Erneuerung-der Fensterdichtungen
9	Objektspezifische Maßnahme	M 2-9	Verbesserung des Sonnenschutzes
	Standardmaßnahme		334_FE_Sonnenschutz-Alu-Lamelle-außen
10	Objektspezifische Maßnahme	M 2-10	Dämmen der Heizkörpernischen Villa Metzler
	Standardmaßnahme		336_1_Innendämmung_10cm
11	Objektspezifische Maßnahme	M 2-11	Optimierung der Kaltwasserpumpen
	Standardmaßnahme		435_Austausch-Umwälzpumpe
12	Objektspezifische Maßnahme	M 2-12	Hydraulische Trennung, Abschalten im Winter
	Standardmaßnahme		435_Hydraulische-Trennung

Abbildung 6-2: Modernisierungsempfehlung 2 – Investitionen Prio. 1

In der Modernisierungsempfehlung 2 sind neben den Maßnahmen zur Betriebsoptimierung Investitionen mit höherer Priorität zusammengestellt.



6.3 Modernisierungsempfehlung 3:

Museum für angewandte Kunst, ,			
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	ME 3	Modernisierungsempfehlung 3
Modernisierungsziel		Investitionen Prio. 2	
4.01	Jährliche Gesamtkosten		
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	3.000 €/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	421.000 €/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+,m}$	1.000 €/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	425.000 €/a
4.1	Übersicht Einzelmaßnahmen	ME 3	Investitionen Prio. 2
1	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-1	Begrenzung Heizkörper Glasgang Villa Metzler 423_Begrenzung der Thermostatventile
2	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-2	Optimierung Betriebszeiten RLT-Anlagen 430_2_Teilklimaanlage_1-MSR-Regelungsoptimierung
3	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-3	Jahreszeitliches Gleiten von Temp. u. Feuchte 430_4_Vollklimaanlage_1-Jahreszeitliches-Gleiten
4	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-4	Abschalten Leuchten in Bibliothek 445_3_Präsenzmelder_Flure
5	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-5	Zirkulationsunterbrechung WWB-Restaurant 479_Warmwasserbereitung_Zirkulationsunterbrechung
6	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-6	Reduzierung Abblasverluste Druckerhöhung 480_Druckerhöhung_Reduzierung-Abblasverluste
7	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-7	Glasbausteine mit Verglasung ergänzen 334_1_FE_2-S-WSV_konventioneller-Rahmen
8	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-8	Dämmung Kellerdecke Werkstattgebäude 353_1_Dämmung_Kellerdecke_ohne-Erschwernisse
9	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 3-9	Fußbodenheizung für Pförner 423_Nachrüstung einer Fußbodenheizung

Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 3 – Investitionen Prio. 2

In der Modernisierungsempfehlung 3 sind neben den Maßnahmen zur Betriebsoptimierung Investitionen mit höherer Priorität zusammengestellt.

6.4 Modernisierungsempfehlung 4:

Museum für angewandte Kunst, ,		ME 4 Modernisierungsempfehlung 4	
4.0 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung		bedingte Maßnahmen	
Modernisierungsziel			
4.01 Jährliche Gesamtkosten			
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	104.000 €/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	354.000 €/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+i,m}$	27.000 €/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	485.000 €/a
4.1 Übersicht Einzelmaßnahmen		ME 4 bedingte Maßnahmen	
1	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-1	Begrenzung Heizkörper Glasgang Villa Metzler 423_Begrenzung der Thermostatventile
2	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-2	Optimierung Betriebszeiten RLT-Anlagen 430_2_Teilklimaanlage_1-MSR-Regelungsoptimierung
3	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-3	Jahreszeitliches Gleiten von Temp. u. Feuchte 430_4_Vollklimaanlage_1-Jahreszeitliches-Gleiten
4	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-4	Abschalten Leuchten in Bibliothek 445_3_Präsenzmelder_Flure
5	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-5	Zirkulationsunterbrechnung WWB-Restaurant 479_Warmwasserbereitung_Zirkulationsunterbrechnung
6	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-6	Reduzierung Abblasverluste Druckerhöhung 480_Druckerhöhung_Reduzierung-Abblasverluste
7	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-7	Einbau eines BHKW mit 120 kWel 421_1_BHKW
8	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-8	Erneuerung der Kältemaschinen 435_1_wassergekühlter-Kolbenverdichter- Kältemaschine 100kW Heißluftkälte
9	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-9	Sanierung der Beleuchtungsanlagen (EVG, LED) 445_1_BL_500lx_LED-Röhre (100Lm/W) für Wannens- Decken-Leuchten 3050
10	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-10	Ersatz durch 3-fach-Verglasung 334_1_FE_PH-Qualität
11	Objektspezifische Maßnahme Standardmaßnahme	M 4-11	WDVS Außenwand Werkstattgebäude 335_1_WDVS-vs-Neuanstrich_Mindestempfehlung

Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 4 – bedingte Maßnahmen

In der Modernisierungsempfehlung 4 sind neben den Maßnahmen zur Betriebsoptimierung die bedingten Maßnahmen zusammengestellt. Diese sind sinnvollerweise dann umzusetzen, wenn in den jeweiligen Bereichen ohnehin Baumaßnahmen anstehen (z.B. bei Anschluss des Erweiterungsbaus des Museums der Weltkulturen).

6.5 Zusammenfassung und Vergleich

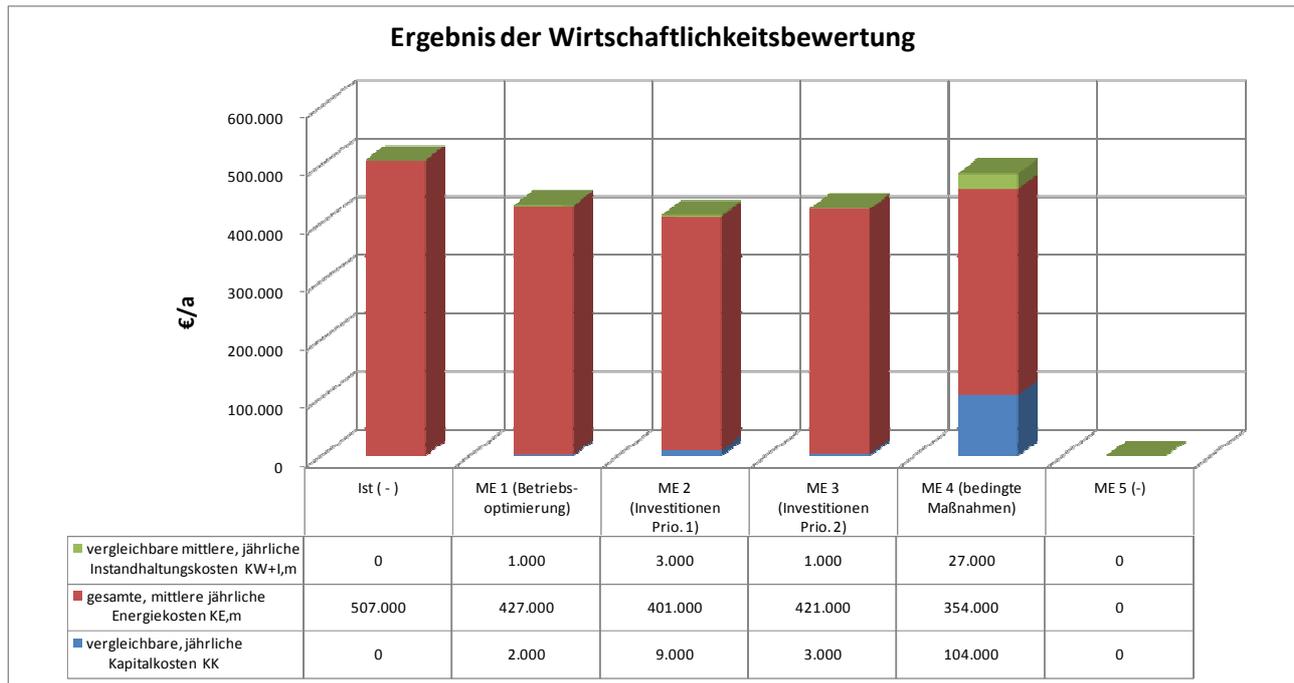


Abbildung 6-5 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen

Aus der Abbildung 6-5 ist zu entnehmen, dass alle Maßnahmenpakete gegenüber dem Ist-Zustand zu verringerten Gesamtkosten führen. Mit dem Maßnahmenpaket 4 lassen sich die gesamten mittleren jährlichen Energiekosten von 507.000 € auf 354.000 € senken. Die geringsten Gesamtkosten erreicht man mit dem Maßnahmenpaket 2. Die Gesamtkosten lassen sich jedoch noch weiter senken, wenn man die Maßnahmenpakete 2 und 3 miteinander kombiniert.

7 Durchgeführte Messungen

Die größten Einzelverbraucher im Museum für angewandte Kunst sind die Kältemaschinen, daher wurde dafür vom 17.08.2011 - 31.08.2011 eine Lastgangmessung durchgeführt. Mit der Hochrechnung der Kurzzeitmessung sollte der mit dem TEK-Tool berechnete Teilenergiekennwert überprüft werden.

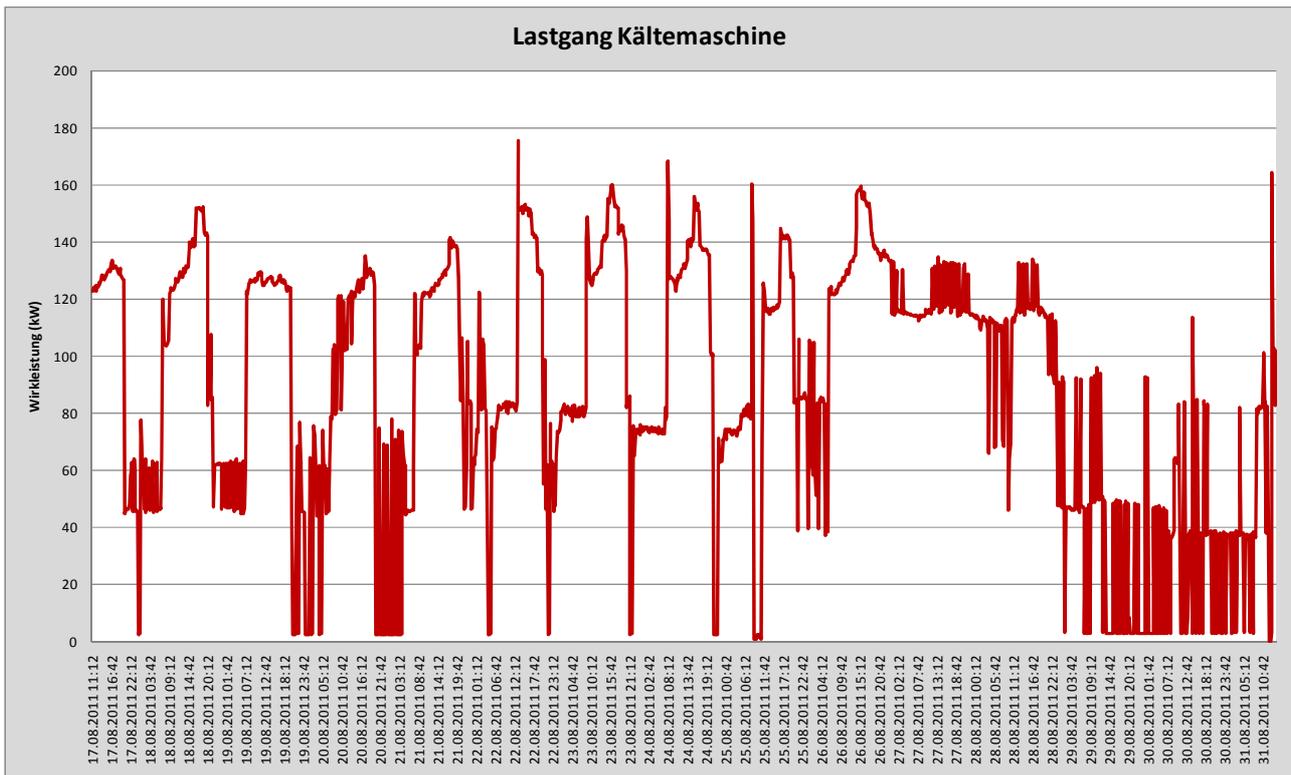


Abbildung 7-1 Leistungsaufnahme der Kältemaschinen vom 17.08.2011 - 31.08.2011

Man erkennt, dass die Leistungsaufnahme tagsüber bei ca. 130 kW und nachts bei ca. 50 kW liegt. Nur selten waren die Kältemaschinen während des Messzeitraums komplett abgeschaltet. Zur Interpretation der Lastgangmessung wurden zeitgleich auf dem Dach des Museums zwei Außentemperaturdatenlogger gesetzt. Dabei wurde ein Logger in der Sonne (Südseite) und ein Logger im Schatten (Nordseite) platziert.

Die Außenlufttemperatur schwankte während der Messperiode zwischen 11 °C (30.08. 5:30 Uhr) und 42 °C (24.08. 11:05 Uhr). Die Außenluftfeuchte schwankte zwischen 15 % (20.08. 11:50 Uhr) und 97 % (26.08. 03:20 Uhr).

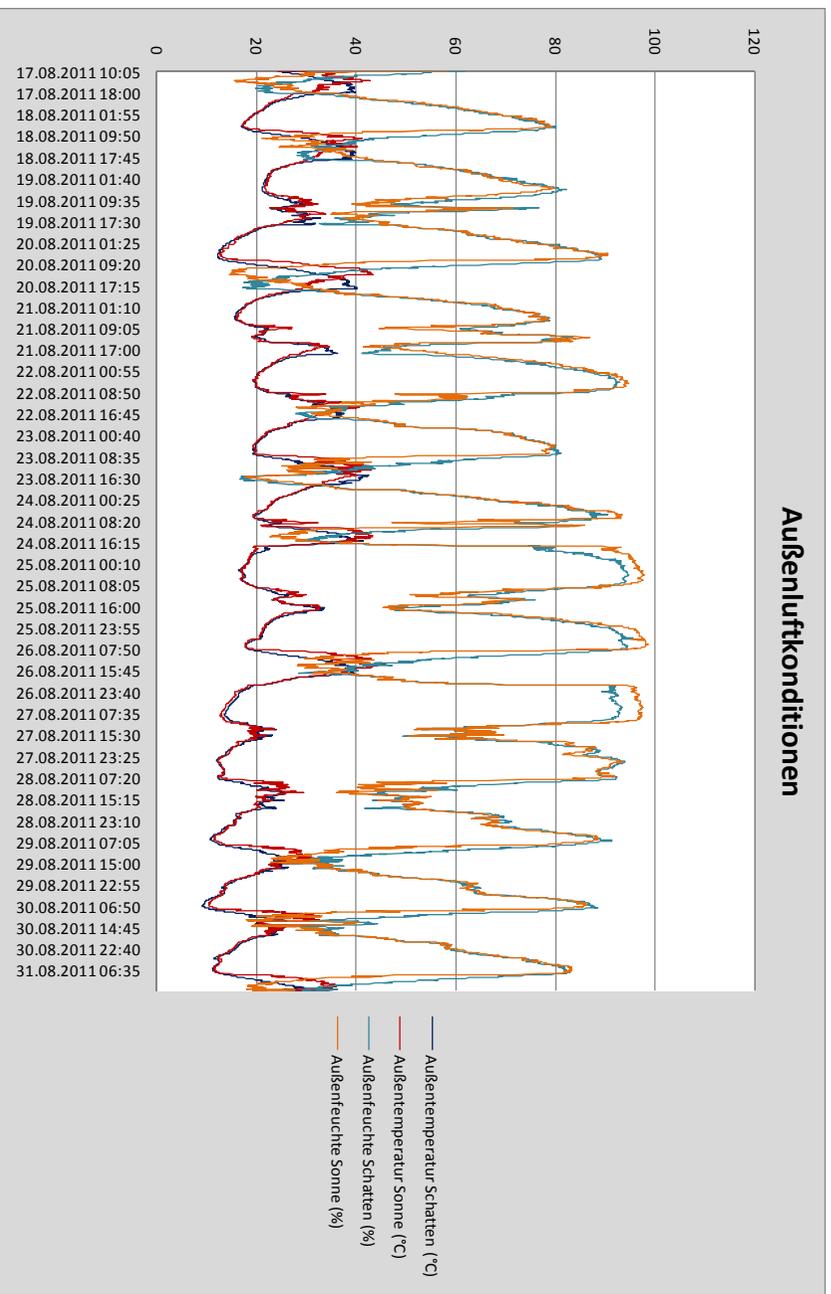
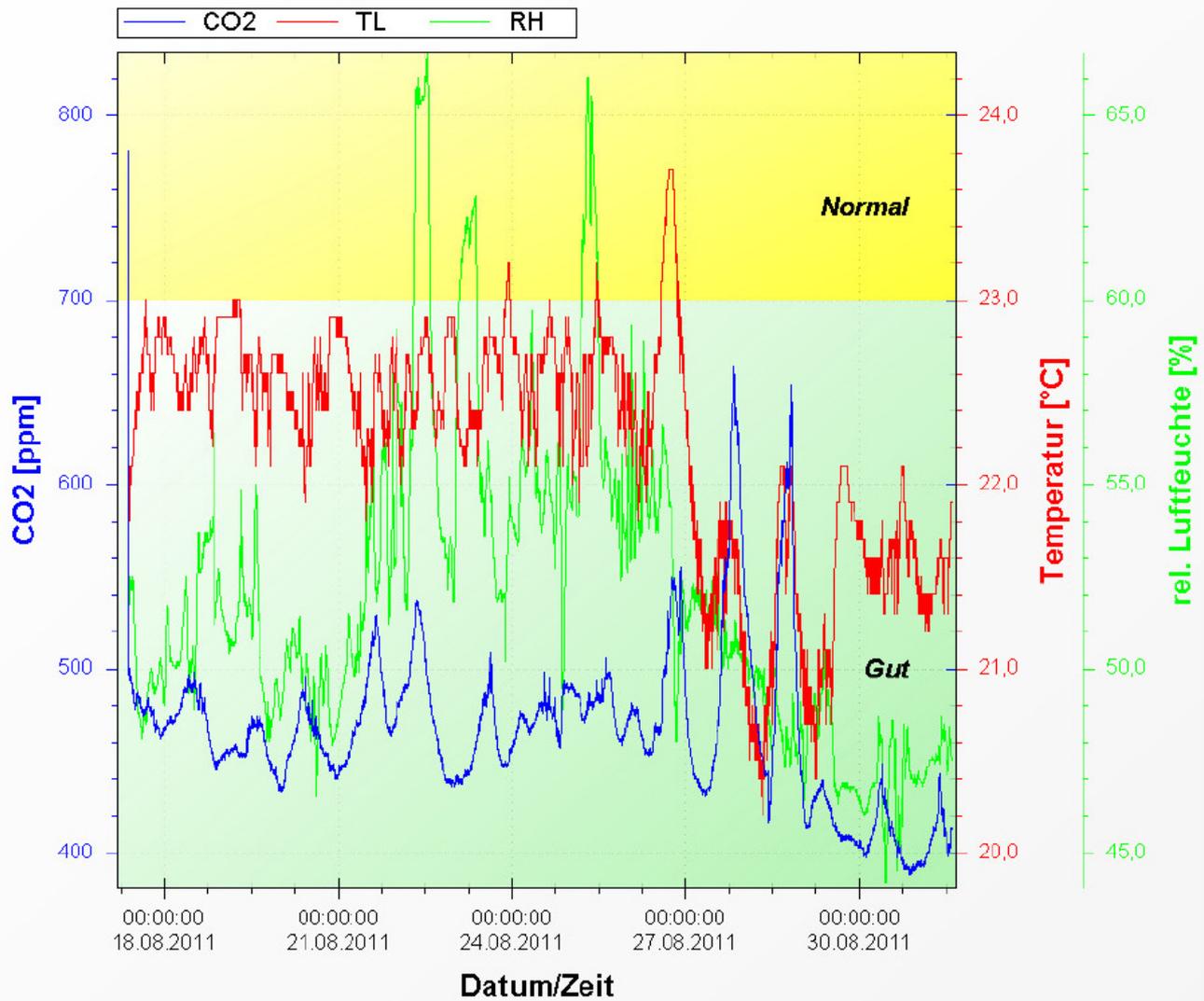


Abbildung 7-2 Außenluftkonditionen vom 17.08.2011 - 31.08.2011

Zusätzlich wurden die Innenraumkonditionen (Temperatur, Feuchte und CO₂) im Ausstellungsbe-
reich gemessen. Die Temperatur schwankte in der Messperiode zwischen 20,2 und 23,7°C, die
Feuchte zwischen 44 und 67 % und die CO₂-Konzentration zwischen 400 und 660 ppm. Daraus ist
erkennbar, dass insbesondere die Temperatur- und Feuchteregelung noch optimierungsbedürftig
ist.

Wöhler CDL 210



Die Hochrechnung der Kurzzeitmessung und der Vergleich mit dem TEK-Tool ist unter Anhang 15 aufgeführt.

8 Anhang – Literatur

- [1] Knissel, Jens und Hörner, Michael: Bewertung des Stromeinsatzes in Nicht-Wohngebäuden mit der Teilkennwertmethode; HLH Bd. 56, Dez. 2005, S. 66-70
- [2] VDI 3807-4: VDI 3807-4:2008-08 Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie; Beuth Verlag, Berlin 2008
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand; Berlin, 2009
- [4] Knissel, Jens: Methodische Grundlagen der Teilenergiekennwertanalyse von Nicht-Wohngebäuden mit dem TEK-Tool; Teilbericht im Rahmen des Forschungsprojekts „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (FKZ :03274331J) gefördert vom BMWi/PTJ; Darmstadt 2011
- [5] Ing.-Büro Wagner: Energiekonzept für das „Museum für Angewandte Kunst“; Endbericht 17.12.2003, verfügbar unter www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de
- [6] EWT-Ingenieure: Wärmeversorgungskonzept Museumsufer; Schlussbericht 10.06.2008, verfügbar unter www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de
- [7] EWT-Ingenieure: Wärmeversorgungskonzept Museumsufer; Ergänzungsbericht 18.10.2008, verfügbar unter www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

9 Anhang: Datenerhebung

9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

Als Unterlagen standen aus dem Gebäudewirtschaftssystem des Hochbauamtes (IPASS) gescannte Pläne in relativ schlechter Qualität zur Verfügung. Außerdem stand ein Energiekonzept aus dem Jahr 2003 zur Verfügung, dem die Flächen und U-Werte für die Gebäudehülle entnommen werden konnte.

Beschreibung	Aktualität (- / 0 / +)	Bemerkung
<input checked="" type="checkbox"/> Architektenpläne <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Grundrisse, 1:200 <input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Schnitte, 1:200 <input checked="" type="checkbox"/> Ansichten 	+	Qualität der Scans relativ schlecht. Maße schwer erkennbar
<input type="checkbox"/> Baubeschreibung		-
<input type="checkbox"/> EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung		-
<input checked="" type="checkbox"/> Energiekonzept <ul style="list-style-type: none"> <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 		Aus 2003
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Gebäudehülle <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Bauteilkatalog <input type="checkbox"/> Sonstiges 		
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Wärmeversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Schemata <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss 		Anlagen und Funktionsbeschreibung
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen	+	Anlagenbeschreibung vorhanden und genutzt für Name des Kompressors



<input checked="" 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 checked="" 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	+	Sehr gute Dokumentation vorhanden, genutzt: RLT-Schema, Komponentenbeschreibung Ventilatoren
<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		

10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes

Ergänzend zu Abschnitt 4.2 sind im Folgenden die Dauerlinie des elektrischen Energieverbrauchs (Abbildung 10-1) sowie der Tagesverbrauch an elektrischer Energie im Zeitverlauf (Abbildung 10-2) dargestellt.

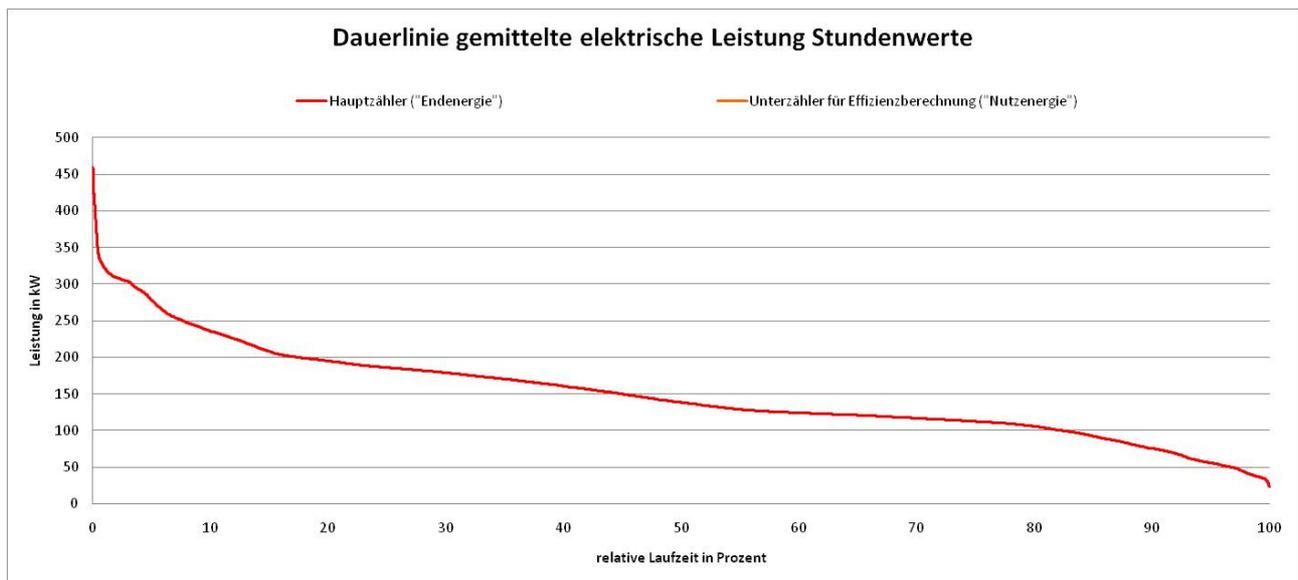


Abbildung 10-1: Dauerlinie des gesamten elektrischen Energieverbrauchs des Gebäudes

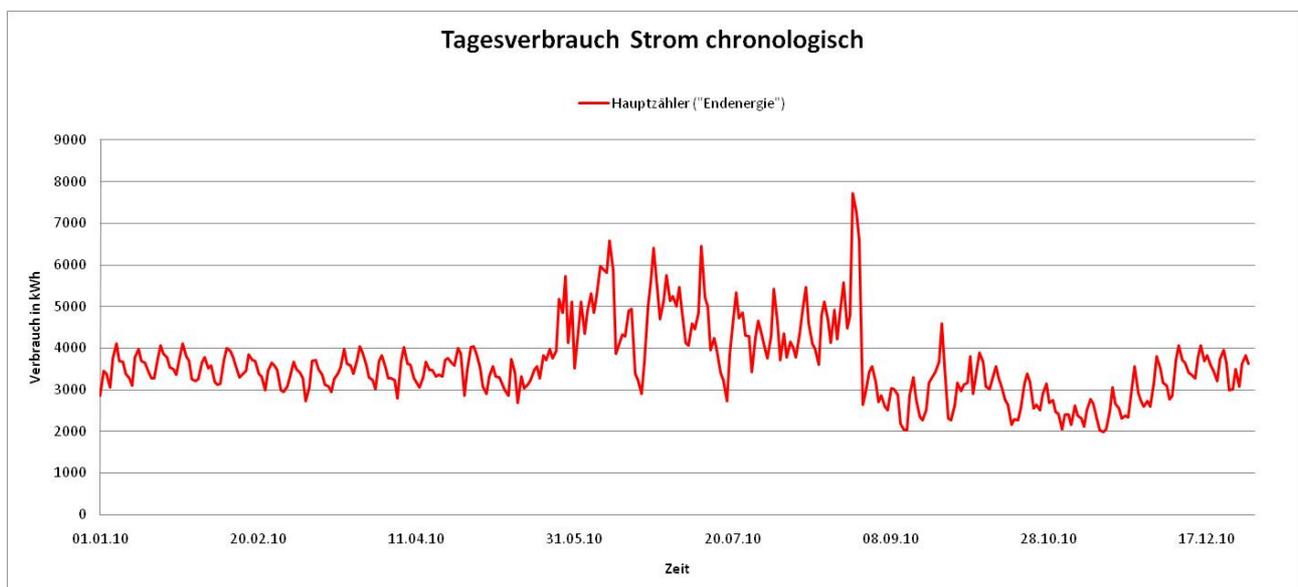


Abbildung 10-2: Tagesverbräuche an elektrischer Energie des untersuchten Gebäudes im Zeitverlauf

An der Dauerlinie erkennt man, dass Leistungen über 300 kW nur selten im ausgewerteten Zeitraum erforderlich sind. Über ein Lastmanagement bzw. eine angepasste Betriebsweise der Lüftungsanlagen könnten diese Leistungsspitzen vermutlich reduziert werden. Abgesehen von den



Spitzen sind zwei wesentliche Niveaus des Energieverbrauchs in der Dauerlinie zu erkennen. Diese entsprechen den Nutzungs- bzw. die Standby-Zeiträumen (siehe Abbildung 4-7).

Im Tagesgang bilden sich die Wochenzyklen deutlich ab. Ende Mai bis Anfang September zeigt sich ein Anstieg des Tagesverbrauchs. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass im Sommer ein zusätzlicher Kühlbedarf entsteht.

Die Grundlast des Gebäudes liegt im Normalbetrieb bei ca. 3.000 kWh pro Tag, im September und Oktober jedoch nur bei 2.000 kWh.

12 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) Ausstellungsbereich Voll	27 Ausstellung	3.000	1	Mittel	186,1	468,4	397	68,1	57,4	1.188
2) Lager, Depot klimatisiert	41 Lagerhalle	1.000	2	Sehr hoch	265,9	297,4	894	35,8	46,6	767
3) Foyer, Rampe klimatisiert	27 Ausstellung	1.000	1	Mittel	212,8	479,3	444	68,1	57,4	1.188
4) Werkstätten	22.2 Gew erbe	700	2	Hoch	187,7	107,0	1.754	34,6	154,5	224
5) Vortragsraum	23 Zuschauer	220	3	Mittel	269,7	593,1	455	92,4	575,7	161
6) Restaurant, Küche	13 Restaurant	500	1	Sehr gering	43,8	#WERT!	#WERT!	86,7	266,4	325
7) Bibliothek	28 Bibliothek, L	350	1	Hoch	288,2	1618,8	178	43,7	136,1	321
8) Verwaltung, Büros	01 Einzelbüro	1.300	2	Hoch	189,9	102,1	1.859	42,1	82,2	512
9) Sanitärbereiche + Putzräu	16 WC, Sanitä	250	2	Gering	109,4	42,6	2.566	100,8	222,0	454
10) Flure, Treppenhaus nich	19 Verkehrsflä	250	2	Hoch	181,0	#DIV/0!	#DIV/0!	46,9	20,8	2.259
11) Technikflächen	20 Lager, Tecf	1.000	2	Hoch	175,6	#DIV/0!	#DIV/0!	57,6	29,2	1.970

Tabelle 12-1: Bewertung auf Zonenebene - Heizung



3.2 Beleuchtung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m²	Nr. Beleuch- tungsanlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew ert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Ausstellungsbereich Voll	27 Ausstellung	3.000	1	Sehr hoch	37,3	21,0	1.774	8,8	5,1	1.730
2) Lager, Depot klimatisiert	41 Lagerhalle	1.000	2	Sehr gering	9,2	5,6	1.650	20,1	6,1	3.311
3) Foyer, Rampe klimatisiert	27 Ausstellung	1.000	3	Sehr hoch	32,7	16,7	1.951	8,8	5,1	1.730
4) Werkstätten	22.2 Gewerbe	700	4	Sehr gering	12,7	6,9	1.840	25,9	12,2	2.113
5) Vortragsraum	23 Zuschauer	220	5	Sehr gering	0,6	4,9	120	1,7	6,2	272
6) Restaurant, Küche	13 Restaurant	500	6	Sehr gering	11,0	5,5	1.998	24,6	7,0	3.541
7) Bibliothek	28 Bibliothek, L	350	7	Sehr gering	14,9	7,0	2.137	34,2	14,3	2.401
8) Verwaltung, Büros	01 Einzelbüro	1.300	8	Sehr gering	7,7	6,6	1.162	17,0	18,3	928
9) Sanitärbereiche + Putzräu	16 WC, Sanitä	250	9	Sehr gering	0,0	4,0	0	3,0	9,5	312
10) Flure, Treppenhaus nich	19 Verkehrsflä	250	10	Sehr gering	0,0	4,5	0	1,0	4,8	218
11) Technikflächen	20 Lager, Tech	1.000	10	Mittel	0,9	4,5	190	0,6	3,2	196

Tabelle 12-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung



3.3 Luftförderung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nr. RLT- anlage	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) Ausstellungsbereich Voll	27 Ausstellung	3.000	1	Sehr hoch	105,2	20,1	5.235	14,6	1,7	8.760
2) Lager, Depot klimatisiert	41 Lagerhalle	1.000	2	Sehr hoch	63,7	7,3	8.736	7,3	0,8	8.760
3) Foyer, Rampe klimatisiert	27 Ausstellung	1.000	1	Sehr hoch	105,2	20,1	5.235	14,6	1,7	8.760
4) Werkstätten	22.2 Gewerbe	700	0							
5) Vortragsraum	23 Zuschauer	220	3	Gering	48,2	24,1	2.000	50,0	33,3	1.500
6) Restaurant, Küche	13 Restaurant	500	4	Gering	69,4	17,8	3.900	72,0	15,0	4.800
7) Bibliothek	28 Bibliothek, L	350	1	Sehr hoch	420,7	80,4	5.235	28,0	6,7	4.200
8) Verwaltung, Büros	01 Einzelbüro	1.300	0							
9) Sanitärbereiche + Putzräu	16 WC, Sanitä	250	5	Sehr gering	10,4	3,5	3.000	24,4	7,5	3.250
10) Flure, Treppenhaus nich	19 Verkehrsflä	250	0							
11) Technikflächen	20 Lager, Tech	1.000	6	Sehr hoch	9,2	2,6	3.600	0,2	0,1	3.250

Tabelle 12-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung

3.4 Kälte										
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) Ausstellungsbereich Voll	27 Ausstellung	3.000	1	Hoch	15,8	60,8	259	3,8	8,2	463
2) Lager, Depot klimatisiert	41 Lagerhalle	1.000	2	Gering	3,4	24,7	139	2,3	8,4	277
3) Foyer, Rampe klimatisiert	27 Ausstellung	1.000	1	Hoch	15,3	61,7	248	3,8	8,2	463
4) Werkstätten	22.2 Gewerbe	700	2							
5) Vortragsraum	23 Zuschauer	220	3	Gering	11,3	41,8	271	13,6	60,7	225
6) Restaurant, Küche	13 Restaurant	500	1							
7) Bibliothek	28 Bibliothek, L	350	1	Mittel	33,5	177,7	189	19,8	20,3	977
8) Verwaltung, Büros	01 Einzelbüro	1.300	2							
9) Sanitärbereiche + Putzräu	16 WC, Sanitä	250	2							
10) Flure, Treppenhaus nich	19 Verkehrsflä	250	2							
11) Technikflächen	20 Lager, Tech	1.000	2							

Tabelle 12-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte



3.5 Dampfzufuhr

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	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) Ausstellungsbereich Voll	27 Ausstellung	3.000	1	Hoch	29,4	375,3	78	20,7	34,5	599
2) Lager, Depot klimatisiert	41 Lagerhalle	1.000	2	#WERT!	21,4	191,7	112	#WERT!	#WERT!	#WERT!
3) Foyer, Rampe klimatisiert	27 Ausstellung	1.000	1	Hoch	29,4	375,3	78	20,7	34,5	599
4) Werkstätten	22.2 Gewerbe	700	2							
5) Vortragsraum	23 Zuschauer	220	3	Gering	53,8	409,6	131	70,7	689,5	103
6) Restaurant, Küche	13 Restaurant	500	1							
7) Bibliothek	28 Bibliothek, L	350	1	Sehr hoch	117,6	1501,4	78	39,6	137,9	287
8) Verwaltung, Büros	01 Einzelbüro	1.300	2							
9) Sanitärbereiche + Putzräume	16 WC, Sanitär	250	2							
10) Flure, Treppenhaus	nicht 19 Verkehrsfläche	250	2							
11) Technikflächen	20 Lager, Tech	1.000	2							

Tabelle 12-5: Bewertung auf Zonenebene Dampfzufuhr

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	0,592	5.669	0,90	-
Dach	0,331	3.169	0,37	-
Kellerdecke	0,325	3.106	0,49	-
Fenster O,S,W	0,215	2.062	1,90	0,34
Fenster N	0,080	769	1,94	0,35
Fenster hor.	0,017	164	1,83	0,35
ges. Gebäude	1,561	14.939	0,91	0,34

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften	
spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	5,34 m³/(m²h)
Raumsolltemperatur Heizung	20,3 °C
Raumsolltemperatur Kühlung	23,0 °C
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	259 Lux
Nutzungszeit	2.536 h/a
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	75 Wh/(m²d)

2.1.5 Luftförderung	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	127.910	129.240	m³/h
Dimensionierungsfaktor	382%	386%	
installierte Leistung	78,20	55,22	kW
spezifische Ventilatorleistung	2,20	1,54	kW/(m³ s)
Vollbetriebszeit	5190	5123	h/a
Endenergiebedarf	42,4	29,6	kWh/(m²a)
Primärenergiebedarf	110,3	76,9	kWh/(m²a)

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)	
Nutzenergiebedarf	121,8 kWh/(m²a)
davon Warmwasser	0,2 kWh/(m²a)
zusätzliche Verluste Verteilung*	35,8 kWh/(m²a)
Erzeugernutzwärmeabgabe	157,5 kWh/(m²a)
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	3.482 kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	33%
Erzeugeraufwandszahl	1,23 -
Endenergie Wärmeerzeugung	193,2 kWh/(m²a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Wärmeerzeugung	153,3 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	kWh/(m ² _{NGF} a)		
	Heizung	Kälte	Dampf
Raumsystem	86,3	19,2	-
RLT-Anlage	35,2	9,1	17,3
Summe	122	28	-

max. Heiz- bzw. Kühllast	W/m ² _{NGF}	
	Heizung	Kälte
Raumsystem	164	37
RLT-Anlage	115	105
Summe	280	143

2.1.4 Beleuchtung

installierte Leistung	112 kW
mittlere Bew ertungsleistung	11,7 W/m ²
Vollbetriebszeit	1.650 h/a
Endenergie Beleuchtung	19 kWh/(m ² a)
Primärenergie Beleuchtung	50 kWh/(m ² a)

2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	28,2 kWh/(m ² a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	5,5 kWh/(m ² a)
Erzeugernutzkälteabgabe	33,7 kWh/(m ² a)
maximale thermische Kälteleistung	1.365 kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	28%
Jahreskälteleistungszahl	0,00 -
Endenergie Kälteerzeugung	#NV kWh/(m ² a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergieenergie Kälteerzeugung	21,8 kWh/(m ² a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	10,1
Teilkennwert Kalt-/Kühlwasser-Verteilung	51,4 kWh/(KW a)

2.1.8 Dampferzeugung

Endenergiefaktor	1,16 -
Endenergie Dampferzeugung	10 kWh/(m ² a)
Primärenergie Dampferzeugung	26 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 13-2: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 2

2.2.2 Zoneninformationen

9.570 m² Grundfläche aller beheizten Zonen				Konditionierung (1=vorhanden)			Nutzenergie			
5.570 m² Grundfläche aller gekühlten Zonen							Heizung		Kälte	
Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche m²	RLT-Anlage Nr	Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Zone+RLT	Erzeuger	Zone+RLT	Erzeuger
Kennwerte bezogen gesamte beheizt bzw . gekühlte Fläche		9.570					122	157	49	58
Zone 1	Ausstellungsbereich Vollklima 27 Ausstellung	3.000	1	1 /	1	1 / 1	116,1	151,8	53,4	63,7
Zone 2	Lager, Depot klimatisiert 41 Lagerhalle	1.000	2	1 / 1	1	1 / 1	181,2	216,9	11,4	13,5
Zone 3	Foyer, Rampe klimatisiert 27 Ausstellung	1.000	1	1 /	1	1 / 1	137,9	173,6	51,9	61,9
Zone 4	Werkstätten 22.2 Gew erbe	700		1 / 1		/	117,4	153,2		
Zone 5	Vortragsraum 23 Zuschauer	220	3	1 /	1	1 / 1	184,3	220,1	37,8	46,7
Zone 6	Restaurant, Küche 13 Restaurant	500	4	1 /	1	/	0,0	35,8		
Zone 7	Bibliothek 28 Bibliothek, L	350	1	1 /	1	1 / 1	199,4	235,2	109,9	130,6
Zone 8	Verwaltung, Büros 01 Einzelbüro	1.300		1 / 1		/	119,1	154,9		
Zone 9	Sanitärbereiche + Putzräume 16 WC, Sanitär	250	5	1 / 1	1	/	53,5	89,2		
Zone 10	Flure, Treppenhaus nicht klim 19 Verkehrsflä	250		1 / 1		/	111,9	147,6		
Zone 11	Technikflächen 20 Lager, Tech	1.000	6	1 / 1	1	/	107,5	143,2		
Zone 12										

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 13-3: Übersicht Zonen



2.2.3 Beleuchtungsanlagen

9.570 m ² Grundfläche aller belichtete Zonen										
Zonenname	Zonen- fläche m ²	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungs- stärke Lux	elektrische Bewertungsleistung			Regelung	Endenergie- bedarf kWh/(m ² a) ¹		
				W/m ² ¹	W/(m ² 100lux)	Ermittlung				
Kennwerte bezogen gesamte belichtete Fläche		9.570	255	12	5			19		
Zone 1	Ausstellungsbereich Vollklima	3.000	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	200	21,0	10,5	Lamp. zählen	man.	37	
Zone 2	Lager, Depot klimatisiert	1.000	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	150	5,6	3,7	Lamp. zählen	man.	9	
Zone 3	Foyer, Rampe klimatisiert	1.000	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	200	16,7	8,4	Lamp. zählen	man.	33	
Zone 4	Werkstätten	700	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	500	6,9	1,4	Lamp. zählen	man.	13	
Zone 5	Vortragsraum	220	5 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	200	4,9	2,5	berechnet	man.	1	
Zone 6	Restaurant, Küche	500	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	200	5,5	2,8	berechnet	man.	11	
Zone 7	Bibliothek	350	7 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	500	7,0	1,4	Lamp. zählen	man.	15	
Zone 8	Verwaltung, Büros	1.300	8 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	500	6,6	1,3	Lamp. zählen	man.	8	
Zone 9	Sanitärbereiche + Putzräume	250	9 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	200	4,0	2,0	Lamp. zählen	man.	0	
Zone 10	Flure, Treppenhaus nicht klim	250	10 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	100	4,5	4,5	Lamp. zählen	man.	0	
Zone 11	Technikflächen	1.000	10 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	100	4,5	4,5	Lamp. zählen	man.	1	
Zone 12										

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 ¹	Zuluft		Abluft		Dimensionie- rungsfaktor ²	spezifische Leistungauf. kW/(m³/s)	Endenergie kWh/(m²a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN 18599 kWh/(m³/h a)	
				max. Vol- umenstrom m³/h	max. elektr. Leistung kW	max. Vol- umenstrom m³/h	max. elektr. Leistung kW					
Kennwerte bezogen gesamte mechanisch b		7.320			127.910	78,20	129.240	55,22	432%	1,87	94,10	29,75
RLT 1	1/3/7 Ausstellung, Foyer, Bibl	4.350	Hz+Kühlreg.	Dmpf / kein)	101.510	64,00	92.500	44,50	940%	2,01	82%	33,36
RLT 2	2 Depot	1.000	Hz+Kühlreg.	Dmpf / kein)	9.600	4,50	10.690	2,79	960%	1,29	9%	29,83
RLT 3	5 Vortragsraum	220	Hz+Kühlreg.	Dmpf / kein)	5.000	3,30	5.000	2,00	57%	1,91	2%	24,37
RLT 4	6 Restaurant, Küche	500	Heizreg.	kein / kein)	11.800	6,40	3.600	2,50	131%	2,08	5%	0,00
RLT 5	9 Sanitärbereiche	250	kein	kein / kein)			5.350	0,87	143%	0,59	0%	0,00
RLT 6	11 Technikflächen	1.000	kein	kein / kein)			12.100	2,56	8067%	0,76	1%	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 13-5: Übersicht RLT-Anlagen



2.2.5 Dezentrale Wärmeerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m ²	Leistung kW	Erzeugerauf- w andszahl	Endenergie kWh/(m ² a) ¹
Heizung				
Elektrische Direktheizung				
Elektrische Speicherheizung				
Warmwasser				
el. Durchlauferhitzer				
el. Kleinspeicher	4.500	-	1,70	1

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

9.570	m ²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen					
0	m ²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen Fläche					
Bezeichnung		Erzeugerart	Baujahr	thermische Nennleistung ² kW	Erzeugerauf- w andszahl		Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil
					Heizung	Warmwasser	
Kennwerte bezogen gesamte zentral beheizte Fläche				1.162	1,23	1,23	193
Wärmeerz. 1	Kessel 1	Niedertemperaturkessel vor 1995 (Gas; Heiz)	1983	581	1,23	1,23	50%
Wärmeerz. 2	Kessel 2	Niedertemperaturkessel vor 1995 (Gas; Heiz)	1983	581	1	1	50%
Wärmeerz. 3							

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

Tabelle 13-6: Übersicht Wärmeerzeuger

2.2.7 Dezentrale Kälteerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m 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)

5.570 m ² Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche								
Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr	thermische Kälteleistung ² kW	Nennkälte- leistungszahl	mittlerer Teil- lastfaktor	Teilennwert Kälteerzeugung	Erzeuger- aufwandszahl	Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil
Kennwerte bezogen gesamte zentral gekühlte Fläche			490,0	0,00	0,00	0,0	0,00	14,4
Erz. 1	Kältemaschine 1 Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - mehrstufig	1984	245,0	3,10	1,30	4,0	0,25	100%
Erz. 2	Kältemaschine 2 Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - mehrstufig	1984	245,0			0,0		

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

Die Summe der vom TEK-Tool berechneten Kennwerte passen sehr gut mit den tatsächlich gemessenen Verbrauchswerten überein. Die Hochrechnung der Kurzzeitmessung zeigt jedoch, dass der Kältebedarf zu niedrig eingeschätzt wird. Überhaupt nicht plausibel ist die Tatsache, dass der Hilfsenergiebedarf für die Kälte höher ist, als die eigentliche Kälteerzeugung. Im Gegenzug wurde die Luftförderung entsprechend zu hoch eingeschätzt. Die Volumenstromregelung „variabel (Kühllast)“ führte in der verwendeten TEK-Version 5.4 zu völlig unplausiblen Ausgaben (Kennwert Luftförderung = 0). Daher wurde die Volumenstromregelung auf „variabel (Zeit oder Nutzung)“ gesetzt.

14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofile DIN V 18599

Die zugewiesenen Standardnutzungen nach DIN V 18599 entsprechen im Wesentlichen den vorgefundenen Nutzungen in den Zonen. Wenn die Nutzungszeiten, die inneren Wärmequellen und die Raumsolltemperaturen von objektspezifisch auf DIN 18599 umgestellt werden, dann ändern sich die vom TEK-Tool berechneten Kennwerte lediglich um 1,5 – 2 %. Dies ist vor allem auf die atypischen Nutzungszeiten von Bibliothek und Vortragsraum zurückzuführen.

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 14-1 sind die Differenzen als Prozentwert zur detaillierten Ermittlung dargestellt. Die prozentualen Abweichungen zwischen den detailliert und den vereinfacht ermittelten Flächen sind gering, besonders, wenn man die sehr komplexe Geometrie der verteilten Baukörper betrachtet.

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)	-9%	4%	4%	9%	-11%	
Außenwand (Außenluft)						-32%
Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)						1038%
Dach bzw. oberste Geschossdecke						-13%
Kellerdecken/-fußbodenfläche						-6%
ges. Hüllfläche	-4%	ges. Fassadenfl.	1%	ges. Fensterfl.	3%	

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

Die vom TEK-Tool berechneten Energiekennwerte unterscheiden sich zwischen der detaillierten und der vereinfachten Flächenberechnung um nur ca. 1%.

14.4 Teilenergiekennwertbewertung

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

Die Teilenergiekennwertbewertung geht von den für die Zonen gewählten Standardnutzungen aus. Die Wahl der Standardnutzungen hat damit für die Teilenergiekennwertbewertung entscheidende Bedeutung. Da die Teilenergiekennwerte zunächst nur für die Standardnutzungen gelten, müssen die Teilenergiekennwertbewertungen vor dem Hintergrund der gewählten Standardnutzungen und den realen Randbedingungen vom Energieberater auf Plausibilität geprüft werden.

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

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

Die Einstufung der Hilfsenergie Kälte mit mittel und der Kälte mit hoch überrascht, wenn man bedenkt, dass der Hilfsenergiebedarf für die Kälte mit 10,1 kWh/m²a sogar über dem eigentlichen Kältebedarf mit 8,4 kWh/m²a liegt. Außerdem überrascht, dass der Heizenergiebedarf mit fast 200 kWh/m²a lediglich mit mittel bewertet wird.



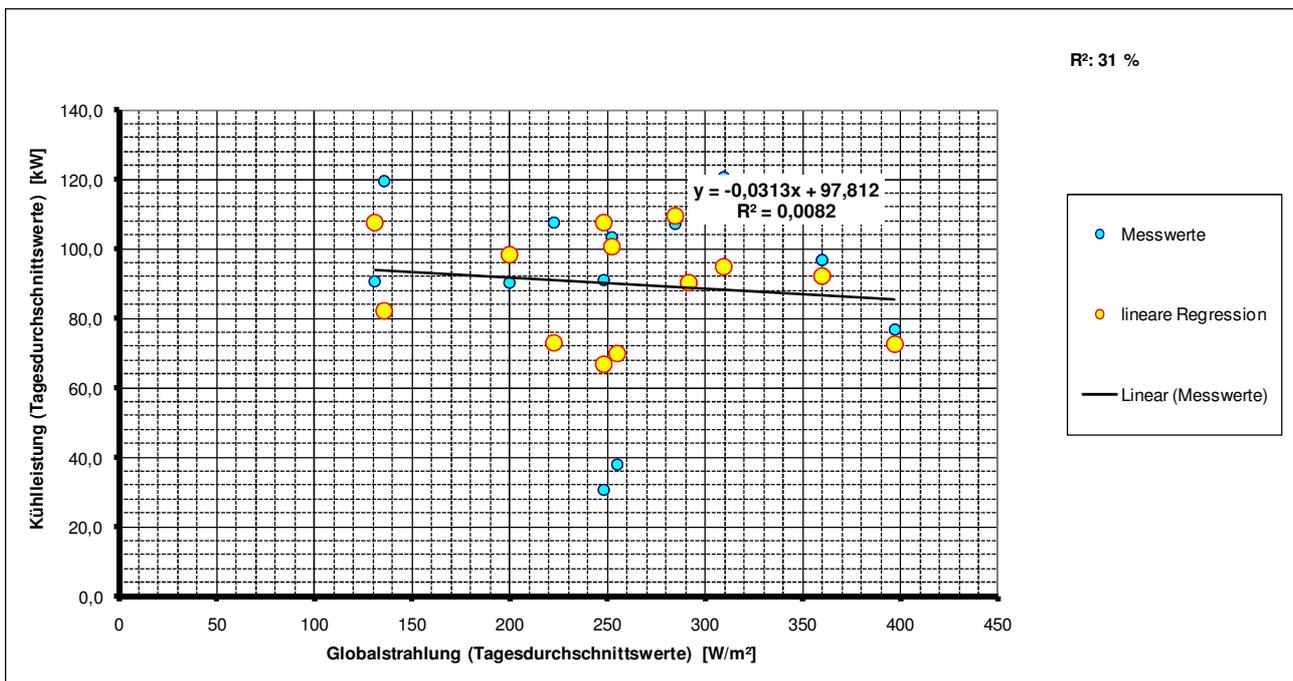
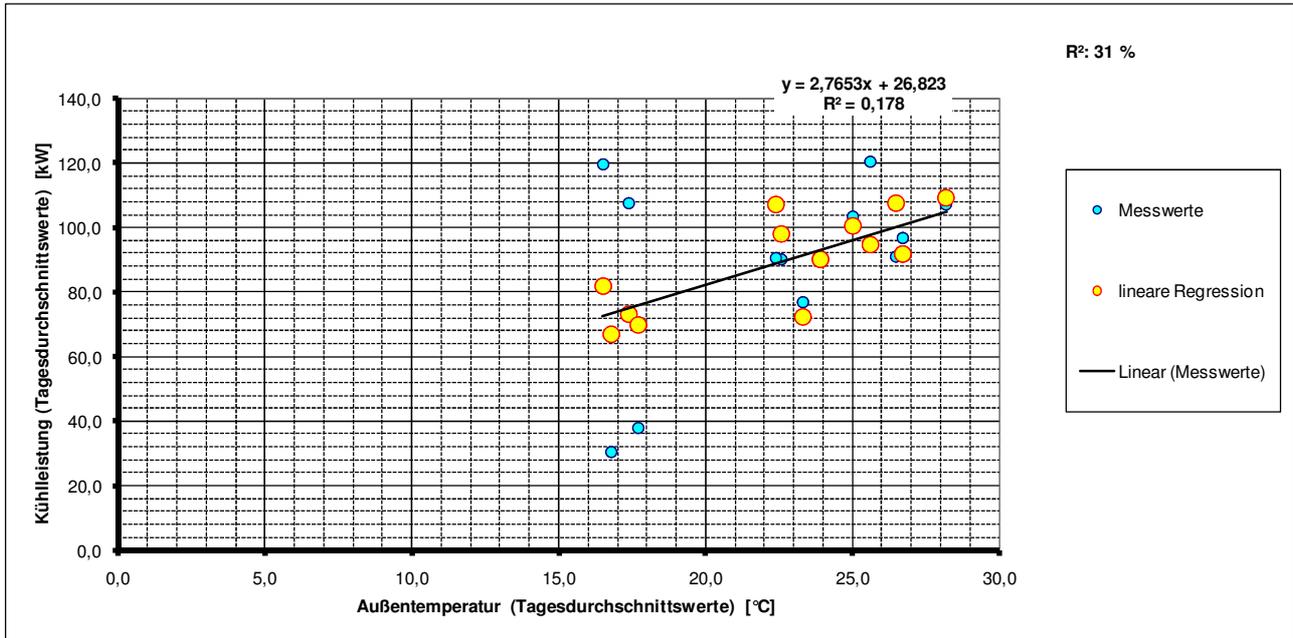
15 Interner Anhang – Kurzzeitmessungen

Die größten Einzelverbraucher im Museum für angewandte Kunst sind die Kältemaschinen, daher wurde dafür vom 17.08.2011 - 31.08.2011 eine Lastgangmessung durchgeführt. Mit der Hochrechnung der Kurzzeitmessung sollte der mit dem TEK-Tool berechnete Teilenergiekennwert überprüft werden.

Prognose Kühlenergie				
Lineare Regression (mit Einstrahlung)				
Messwerte:				
Tagesdurchschnittswerte				
Datum	Messwert Antriebs- leistung Kälte kW	Aussen- temperatur °C	Global- strahlung W/m ²	
18.08.2011	96,75	26,70	360	
19.08.2011	89,83	23,90	291	
20.08.2011	76,83	23,30	397	
21.08.2011	90,29	22,60	200	
22.08.2011	90,96	26,50	248	
23.08.2011	107,08	28,20	285	
24.08.2011	103,33	25,00	253	
25.08.2011	90,42	22,40	131	
26.08.2011	120,42	25,60	310	
27.08.2011	119,58	16,50	136	
28.08.2011	107,50	17,40	223	
29.08.2011	37,92	17,70	255	
30.08.2011	30,42	16,80	248	
18.08.2011	96,75	26,70	360	
19.08.2011	89,83	23,90	291	
20.08.2011	76,83	23,30	397	
21.08.2011	90,29	22,60	200	
22.08.2011	90,96	26,50	248	
23.08.2011	107,08	28,20	285	
24.08.2011	103,33	25,00	253	
25.08.2011	90,42	22,40	131	
26.08.2011	120,42	25,60	310	
27.08.2011	119,58	16,50	136	
28.08.2011	107,50	17,40	223	
29.08.2011	37,92	17,70	255	
30.08.2011	30,42	16,80	248	
Durchschnitt	23.08.2011	90	22,71	262
Auswahl				
Klimadatensatz	12			
Beschreibung	TRY12 Oberrheingraben und unteres Neckartal Mannheim			
Kühlgrenztemperatur:	15 °C			
Prognose				
Prog. mittlere Leistung:	25,2 kW			
Prognose Antriebsenergie	220864 kWh/a			
Kälteerzeugung:	23	±	6	kWh/m ² a

Die Tagesdurchschnittswerte der gemessenen elektrischen Leistung für die Kältemaschine vom 18.08.-30.08.2011 wurden in die Tabelle eingetragen. Dazu kam die mittlere Außentemperatur, die

auf dem Dach im Schatten gemessen wurde und die aus den Sonnenscheinstunden des DWD abgeschätzte Globalstrahlung. Die Regressionsgeraden zeigen, dass die Kälteleistung im wesentlichen von der Außentemperatur und kaum von der Globalstrahlung abhängt.



Das Tool zur Hochrechnung der Kurzzeitmessung rechnet aus diesen Daten eine Stromaufnahme zur Kälteerzeugung von 23 +/- 6 kWh/m²a hoch. Das TEK-Tool berechnet hingegen die Hilfsenergie für die Kälteerzeugung mit 10,1 kWh/m²a und die eigentliche Kälteerzeugung mit 8,4 kWh/m²a, also deutlich weniger. Das bedeutet, dass das TEK-Tool an dieser Stelle angepasst werden muss.



16 Interner Anhang Zeitaufwand

Tab. 1: Zeitaufwand für die Gebäudeanalysen			
Projektbeschreibung	-		Museum für angewandte Kunst
Gebäude	-		Museum für angewandte Kunst
Energiebezugsfläche	m ²		9.570
Zeitaufwand für Bearbeitung in h			
Lfd. Nr.	Aufwand in h	Rationalisierungsfaktor	Beschreibung
7,00		0,14	Datenbeschaffung
1	5,00	0,20	Beschaffen und auswerten existierender Unterlagen
2	2,00	0,00	Vor-Ort-Termin
23,00		0,17	Gebäudeanalyse mit TEK-Tool
3	2,00	0,00	Zonierung, Zonenflächen
4	2,00	0,00	Objektspezifische Hüllfläche bestimmen
5	6,00	0,25	Softwareeingabe
6	6,00	0,00	Plausibilitätsprüfung
7	7,00	0,36	Modernisierungsempfehlungen
19,00		0,17	Weitere Untersuchungen
8	1,00	0,00	Verbrauchsanalysen
9	1,00	0,00	Lastganganalysen
10	6,00	0,00	Kurzzeitmessungen
11	11,00	0,29	Dokumentation und Präsentation
0,00		0,00	Sonstiges
12	0,00	0,00	
13	0,00	0,00	
14	0,00	0,00	
49,00		0,17	Gesamt

Tabelle 16-1: Zeitaufwand für Gebäudeanalysen

Insgesamt konnte das Projekt im vorgegebenen Zeitrahmen abgewickelt werden. Dabei war sicherlich hilfreich, dass zahlreiche Parameter (z.B. Hüllflächen, U-Werte, Anzahl und Leistung der Lampen) aus dem bereits erstellten Energiekonzept entnommen werden konnten.