

Energieberatungsbericht

Museum für Moderne Kunst

Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes „Teilenergiekennwert von Nicht-Wohngebäuden

Stand: 10.01.2012
(mit Ergänzung Kurzzeitmessung)

Erstellt durch:
Hochbauamt Frankfurt am Main
Energiemanagement
Gerbermühlstraße 48
60594 Frankfurt am Main

Projektleitung: Institut Wohnen und Umwelt GmbH
Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Förderkennzeichen: 0327431J)



Impressum

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

Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main

Energiemanagement

Heidrun Scheutzlich

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

Tel: 069 212-34045

e-mail: heidrun.scheutzlich@stadt-frankfurt.de

10.10.2011, Frankfurt

Datum, Ort

Unterschrift, Stempel

Inhalt

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung und Aufgabenstellung	3
3 Projekt- und Gebäudebeschreibung	4
4 Bewertung des Ist-Zustandes	5
4.1 Gemessene Verbrauchsdaten.....	5
4.2 Lastganganalysen.....	8
4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme.....	8
4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie.....	8
4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes.....	11
4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch.....	11
4.3.2 Berechnete Energiekennwerte.....	12
5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung	15
6 Modernisierungsempfehlungen	17
6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Gebäudehüllfläche.....	17
6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Technik.....	19
6.3 Modernisierungsempfehlung 3: Beleuchtung	21
6.4 Modernisierungsempfehlung 4: Kombination aus allen drei Modernisierungsvorschlägen	22
7 Durchgeführte Messungen	24
8 Anhang – Literatur	30
9 Anhang: Datenerhebung	31
9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	31
9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten	32
10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes	33
11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit	34
12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene	35
13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation	40
Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool	48
13.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen.....	48



13.2	Differenzen zu Standardnutzungsprofile DIN V 18599	48
13.3	Vereinfachte Hüllflächenermittlung.....	49
13.4	Teilenergiekennwertbewertung	49
14	Interner Anhang – Kurzzeitmessungen	51
15	Interner Anhang Zeitaufwand	54

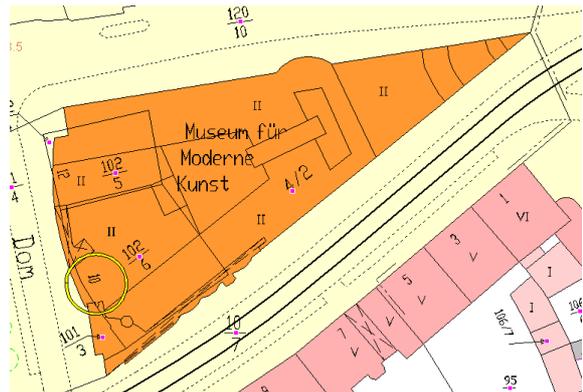
1 Zusammenfassung

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

Das Museum für Moderne Kunst, (Architekt Hans Hollein) wurde 1989 erbaut und ist das jüngste Frankfurter Museum, von den Bürgern wegen seiner Dreieckform „Tortenstein“ genannt.

Seit der Eröffnung 1991 ist das Haus, dessen postmoderne Architektur heute Modellcharakter hat, wesentlicher Bestandteil und wichtiger Anlaufpunkt des kulturellen und gesellschaftlichen Lebens in Frankfurt geworden. Mit der Gründung des MMK konnte in Frankfurt die große Lücke eines fehlenden Museums für Gegenwartskunst geschlossen werden.

Seit Bestehen des Gebäudes sind keine wesentlichen Modernisierungsmaßnahmen vorgenommen worden. Das Museum wird mit Fernwärme versorgt. Alle technischen Anlagen zur Lüftung, Klimatisierung, Luftbefeuchtung stammen aus dem Jahr 1989. Das Gebäude hat aufgrund seiner vielfältigen Ausstellungen und aus konservatorischer Sicht einen hohen Anspruch bezüglich Klimatisierung und Beleuchtung. Thermographische Untersuchungen ergaben eine generelle Undichtigkeit des Gebäudes, eine grundlegende Sanierung wird auch aufgrund vieler anderer energetischer Mängel empfohlen.



Die beheizte Nettogeschoßfläche beträgt 8.223m². Die Bewertung nach vorliegendem Energieausweis von 2009 zeigt Werte für den Heizenergieverbrauch von 264 kWh/m²a und einem Stromverbrauch von 189 kWh/m²a (gemessen über 3 Jahre) Diese liegen deutlich über vergleichbaren Referenzobjekten. Das gesamte Gebäude mit seiner technischen Ausrüstung ist seit der Erbauung und Inbetriebnahme nicht saniert worden und ist stark sanierungsbedürftig.

Der durch das TEK-Verfahren errechnete Primärenergiebedarf des Gebäudes beträgt 641 kWh/(m²a). Die Bewertung des Energieaufwands des gesamten Gebäudes wird mit ‚hoch‘ bewertet. Beleuchtung und der Kälteerzeugung liegen in der Bewertung bei ‚sehr hoch‘ Ein hoher Anteil des gesamten Energieaufwands entfällt eher auf die technische Ausstattung. Dennoch gibt es in der Gebäudehüllfläche gravierende Mängel in der Dichtheit und den wärmeschutztechnischen Anforderungen.



Im Folgenden sind als Ergebnis der Untersuchung die Modernisierungsempfehlungen als grobe Einschätzung dargelegt. Detailliertere Vorschläge sind in diesem Schritt der Gebäudeerfassung nicht möglich gewesen. Weitere Informationen dazu können den entsprechenden Kapiteln des vorliegenden Berichts entnommen werden.

Tabelle 1-1: Zusammenstellung der Modernisierungsempfehlungen

Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen				
Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster	2) empfohlen	Erneuerung aller Fenster
2	334 Außentüren und -fenster	Einbau Passivhausfenster auf dem Dach	5) sehr dringend	Auf Grund der Kondenswasserbildung und der Zusatzheizung sehr zu empfehlen
3	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmen der Außenwände	2) empfohlen	Gebäudehüllfläche entspricht mit einem U-Wert von 0,8 W/m ² K nicht den heutigen Anforderungen. (evtl. Urheberrecht beachten!)
5	338 Sonnenschutz	Automatische Regelung auf dem Dach	5) sehr dringend	der Sonnenschutz - Lamellen - der Glasaufbauten auf dem Dach sollte je nach Lichteintensität automatisch geregelt werden.
6	439 Lufttechnische Anlagen, sonstiges	Betriebszeiten anpassen	5) sehr dringend	Die Anlagen stammen aus dem Baujahr 1989
7	431 Lüftungsanlagen	Einbau WRG	5) sehr dringend	Lüftungsanlagen haben nur eine Zumischung von Außenluft, keine Wärmerückgewinnung (von 1989)
8	431 Lüftungsanlagen	Einbau von Frequenzumformern	5) sehr dringend	Einbau von Frequenzumformern
9	435 Kälteanlagen	Pumpenleistung anpassen	2) empfohlen	Einbau effizienter Pumpen
10	445 Beleuchtungsanlagen	Halogenleuchten und herkömmliche Glühlampen ersetzen durch LED	5) sehr dringend	Leuchtmittel in den Downlights und alle Glühlampen mit LED ersetzen
11	445 Beleuchtungsanlagen	Einbau effizienter Leuchtmittel	5) sehr dringend	Ersatz aller Leuchstofflampen mit effizienten Leuchtmitteln, ausstatten mit EVG
12	338 Sonnenschutz	Vorwiegend Westseite	2) empfohlen	elektronische Steuerung einbauen
13	435 Kälteanlagen	Optimierung	2) empfohlen	Einbau eines mehrstufig regelbarer Verdichters

Aus den Untersuchungen können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

Aus den Ergebnissen kristallisieren sich 3 Bereiche heraus:

Die Gebäudehülle weist deutliche Undichtigkeiten auf. Dies wurde durch Thermographieaufnahmen sichtbar gemacht. Die beiden Andienungen für Anlieferung der Exponate sind nicht durch eine Luftschleuse von den Ausstellungsräumen getrennt. Hier gibt es erhebliche Wärmeverluste nicht nur bei Anlieferung der Exponate sondern auch, wenn die Türen geschlossen sind. Nicht zuletzt die Fenster aus dem Jahr 1989 sind undicht wegen alter Dichtungen und sind aus heutiger Sicht unbedingt sanierungsbedürftig, d.h. energetisch nicht zu vertreten.

Durch die undichten Fenster werden Heizkörper in den Büroräumen generell auf die höchste Stufe gestellt, um eine akzeptable Raumtemperatur zu halten.

Auf dem Dach befinden sich Glasaufbauten, die der indirekten Beleuchtung der oberen Ausstellungsebene dienen. Diese mussten wegen Bildung von Kondenswasser nachträglich beheizt werden. Die Lamellen an den Glasflächen zur Regelung der Helligkeit werden noch von Hand gesteuert.

Die gesamte Gebäudetechnik stammt aus dem Jahr 1989. Hier muss untersucht werden, welche effizienten Nachrüstungen sinnvoll sind oder ob eine Gesamtmodernisierung zu vertreten ist.

Die Beleuchtung in den Ausstellungsräumen ist mit ineffizienten Leuchten ausgestattet. Hier sollte aus energetischer Sicht ein neues Konzept entwickelt werden, welches sowohl energetische als auch die konservatorischen Ansprüche berücksichtigt

2 Einleitung und Aufgabenstellung

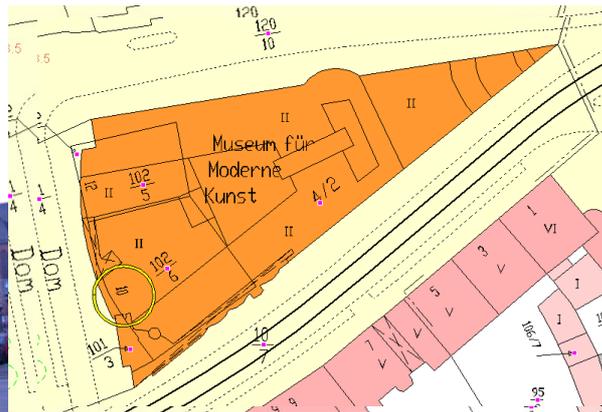
Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojektes „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (Förderkennzeichen: 0327431J Teilenergiekennwerte) werden Werkzeuge für die energetische Analyse von bestehenden Nicht-Wohngebäuden entwickelt mit dem Ziel, 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 Moderne Kunst _		
Gebäude	Eigentümer	Energieberatung
Museum für Moderne Kunst	Kulturamt	Heidrun Scheutzlich Hochbauamt/Energiemanagement
Domstraße 10 60311 Frankfurt	Brückenstr. 6 60594 Frankfurt	Gerbermühlstraße 48 60504 Frankfurt



1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften			
Gebäudekategorie	Veranstaltungsgebäude	en. Qualität Gebäudehülle H_T	1,16 W/(m ² _{BTF} ·K)
Unterkategorie	Museen, Ausstellungsgebäude	en. Qualität Lüftung H_V	1,05 W/(m ³ /h·K)
		Fensterant. (oberirdisch)	13 %
Baujahr Gebäude	1989	Anzahl beheiz. Geschosse	3,8
zonierte beheizte Nettogrundf	8.223 m ²	Anzahl der Zonen	7
davon künst. belichtet	100 %	Anzahl der RLT-Anlagen	4
mech. belüftet	100 %	Anzahl zentr. Kälteerz.	2
gekühlt	100 %	Anzahl zentr. Wärmeerz.	1
befeuchtet	100 %		
A/V-Verhältnis	0,30 m ⁻¹		

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Das Museum für Moderne Kunst, (Architekt Hans Hollein) ist das jüngste Frankfurter Museum, von den Bürgern wegen seiner Dreieckform „Tortenstück“ genannt, wurde 1989 erbaut.

Seit der Eröffnung 1991 ist das Haus, dessen postmoderne Architektur heute Modellcharakter hat, wesentlicher Bestandteil und wichtiger Anlaufpunkt des kulturellen und gesellschaftlichen Lebens in Frankfurt geworden. Mit der Gründung des MMK konnte in Frankfurt die große Lücke eines fehlenden Museums für Gegenwartskunst geschlossen werden.

Seit Bestehen des Gebäudes sind keine wesentlichen Modernisierungsmaßnahmen vorgenommen worden. Das Museum wird mit Fernwärme versorgt. Alle technischen Anlagen zur Lüftung, Klimatisierung, Luftbefeuchtung stammen aus dem Jahr 1989. Das Gebäude hat aufgrund seiner vielfältigen Ausstellungen und aus konservatorischer Sicht einen hohen Anspruch bezüglich Klimatisierung und Beleuchtung. Thermographische Untersuchungen ergaben eine



generelle Undichtigkeit des Gebäudes, eine grundlegende Sanierung wird auch aufgrund vieler anderer energetischer Mängel empfohlen.

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 0). 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 MMK für den Zeitraum vom 2004 bis 2009

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

Elektrische Energie:

- Monatliche Verbrauchsdaten des MMK für den Zeitraum vom 2004 bis 2009

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

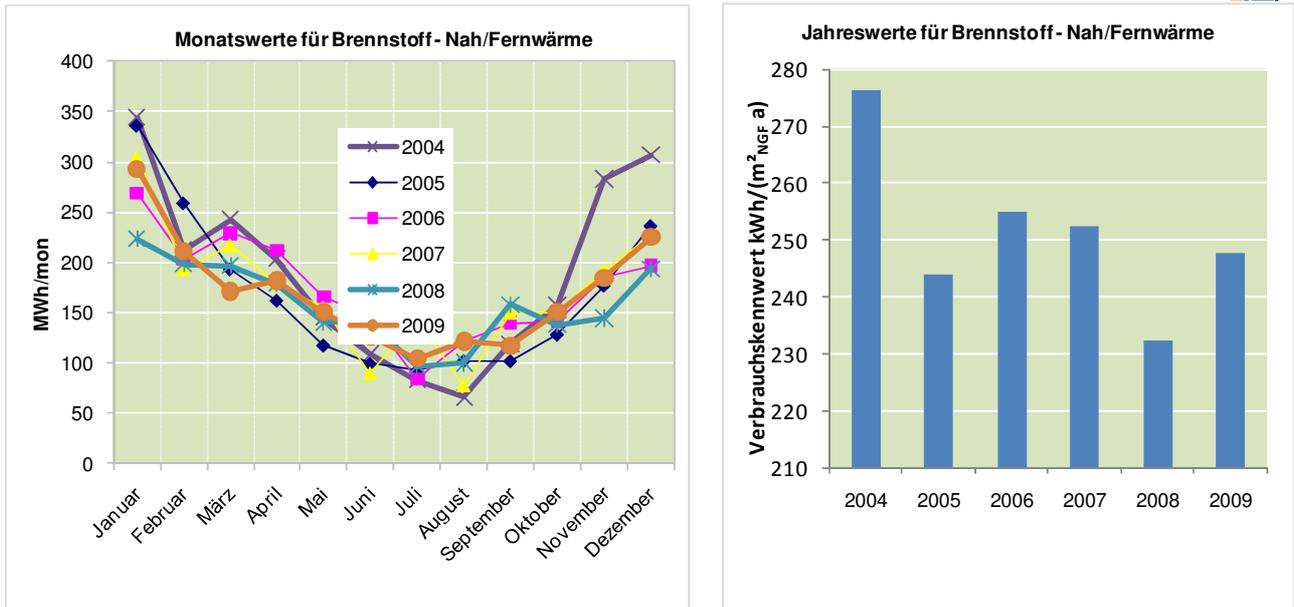


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme der letzten 6 Jahre)

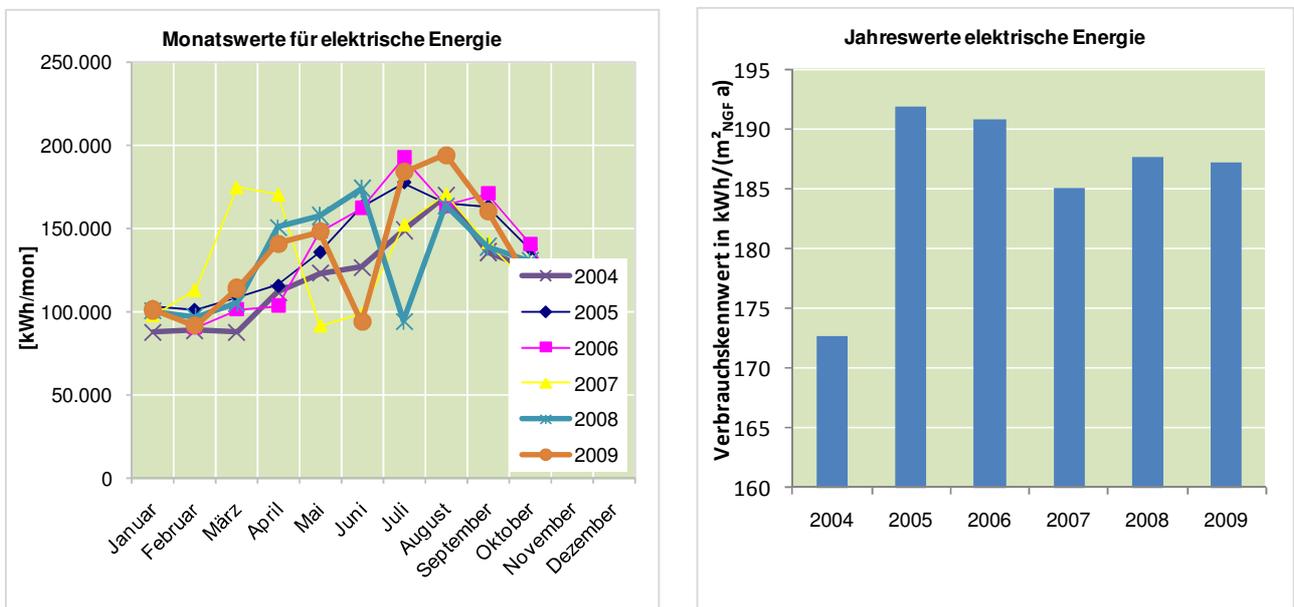


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie der letzten 6 Jahre



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

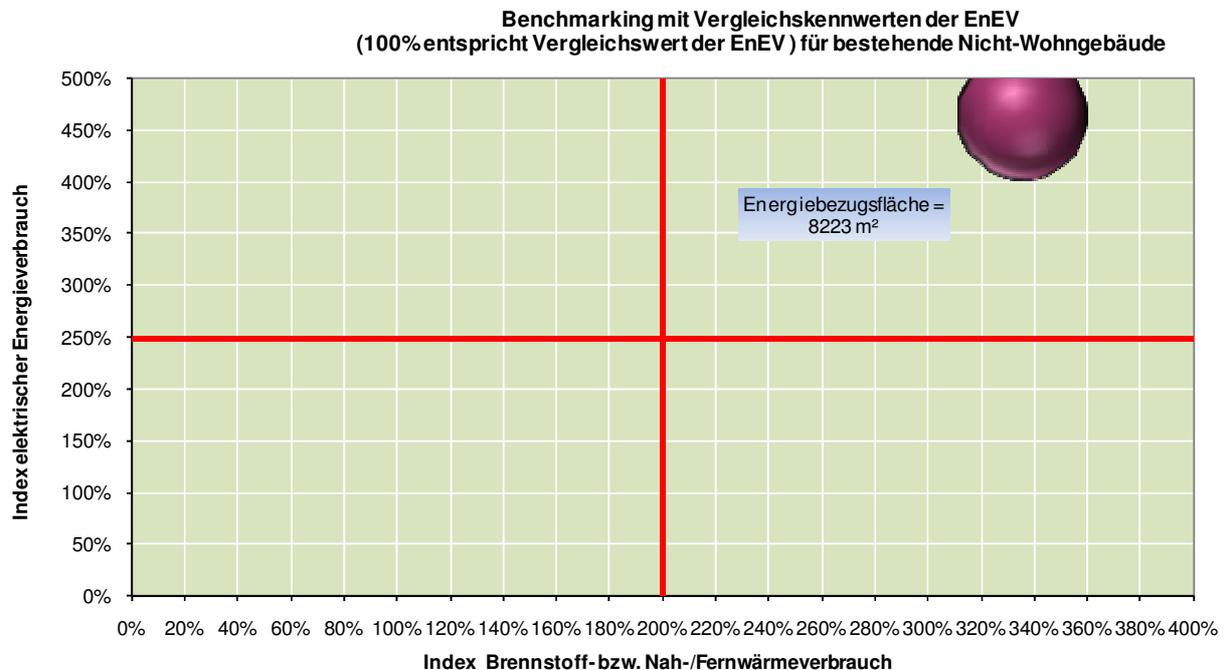


Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)

Als Vergleichskategorie wurde in Tabelle 3.1 der Bekanntmachung [3] die Gebäudekategorie „Ausstellungsgebäude“ mit der BWZK Ziffer 9120 gewählt. Diese Gebäudekategorie trifft die vorliegende Nutzung noch vergleichsweise am besten.

Der Vergleichswert Brennstoff der EnEV 2009 liegt für diese Gebäudekategorie bei 75 kWh/m²a, der Mittelwert des MMK für die Jahre 2004-2009 liegt bei 250 kWh/m²a und überschreitet den Vergleichswert damit um 335 %. Dies verdeutlicht einen großen Handlungsbedarf an der gebäudehüllfläche.

Der Vergleichswert Strom der EnEV 2009 liegt für diese Gebäudekategorie bei 40 kWh/m²a, der Mittelwert des MAK für die Jahre 2004-2009 liegt bei 204 kWh/m²a und überschreitet den Vergleichswert damit um 465 %. Zurückzuführen ist das auf den Gesamtzustand des Gebäudes.

Das MMK ist - bezüglich der Ergebnisse - offensichtlich nicht repräsentativ für diese Gebäudekategorie.

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)

Hierfür gibt es leider keine Werte in der AVE, keine Auswertung im Heidec sol vorhanden.

Elektrische Energie

- Es stehen Viertelstundenwerte des Hauptstromzählers 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 Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme

Keine Analyse möglich, siehe 4.2

4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie

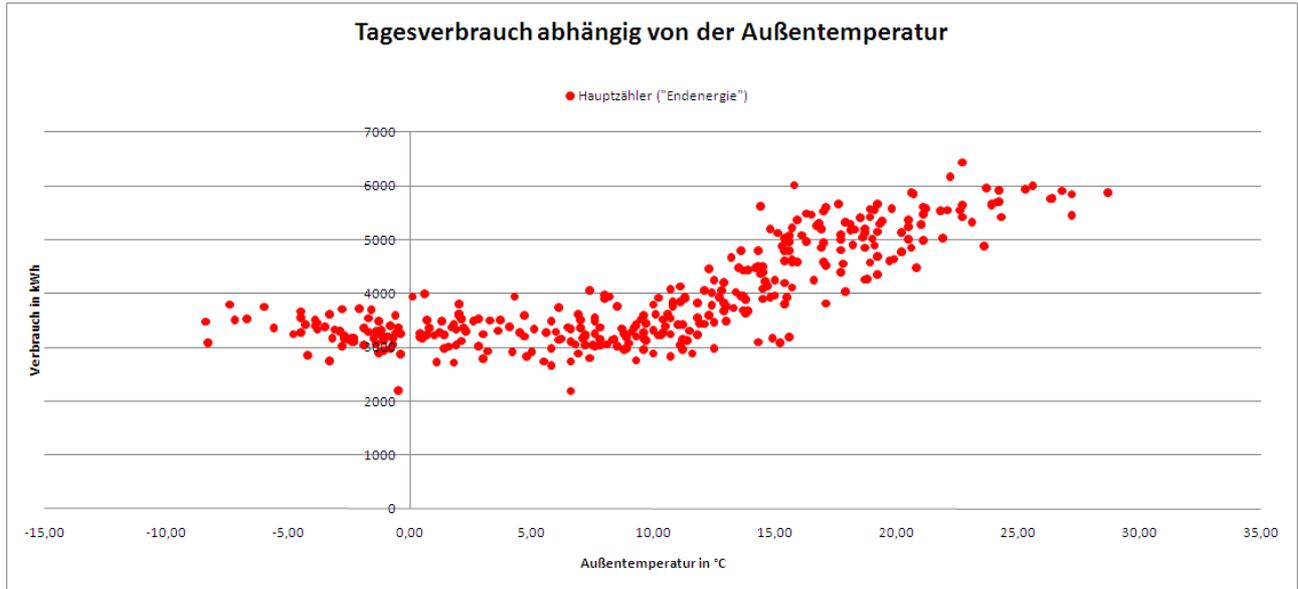
Abbildung 4-4 zeigt das Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs.

Man erkennt, dass die Grundlast im Mittel bei etwa 100 kW liegt. In der Zeit von 9 Uhr bis 20 Uhr steigt die Leistung im Mittel auf bis zu 250 kW. Montags ist Ruhetag, hier steigt sie auf ca. 200 kW an. An allen Tagen ist eine Abflachung des Plateaus zwischen 17 und 20 Uhr erkennbar. Erklärbar wäre das mit der teilweisen Abschaltung der Beleuchtung in den Büros der Mitarbeiter.

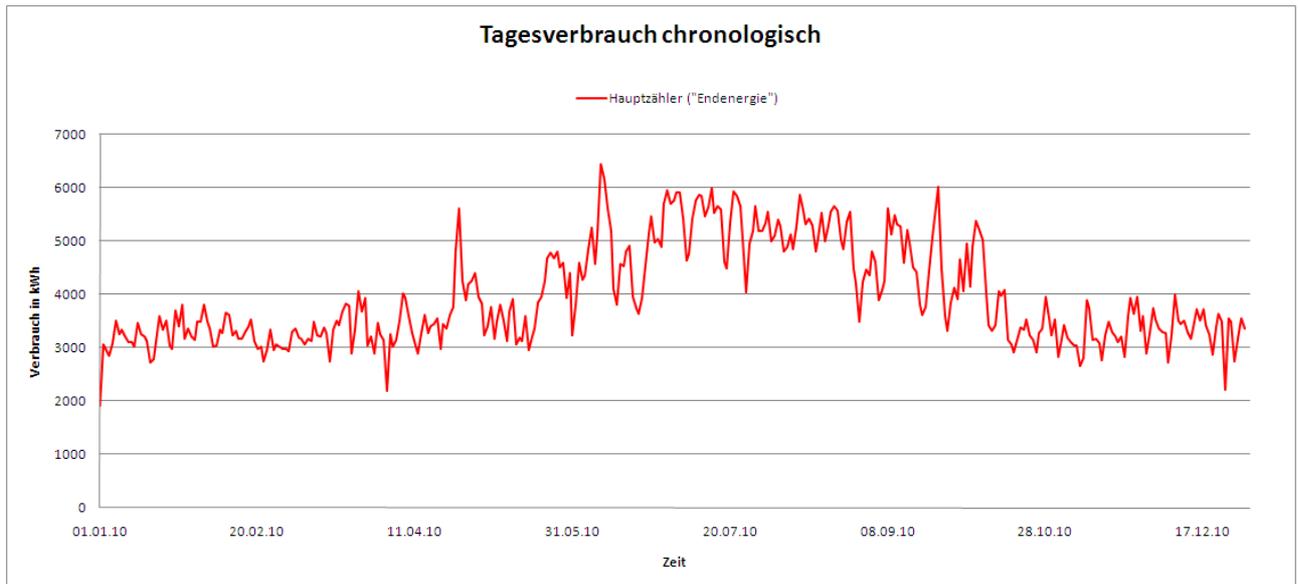
Die Grundlast entsteht durch die Luftförderung und die Pumpen für Heizung bzw. Klimatisierung. Die Spitzenlast ist auf die Beleuchtung und auf die Arbeitshilfen zurückzuführen. Der hohe Grundlastanteil ist durch die konservatorischen Anforderungen nachvollziehbar. Die Spitzenlastzeiten erscheinen jedoch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

Abbildung 4-5 ist die numerische Auswertung der Lastganganalyse aufgeführt. Dargestellt sind Kennwerte bezogen auf den gesamten ausgewerteten Zeitraum, die Nutzungszeit und die Standbyzeit (außerhalb der Nutzungszeit).

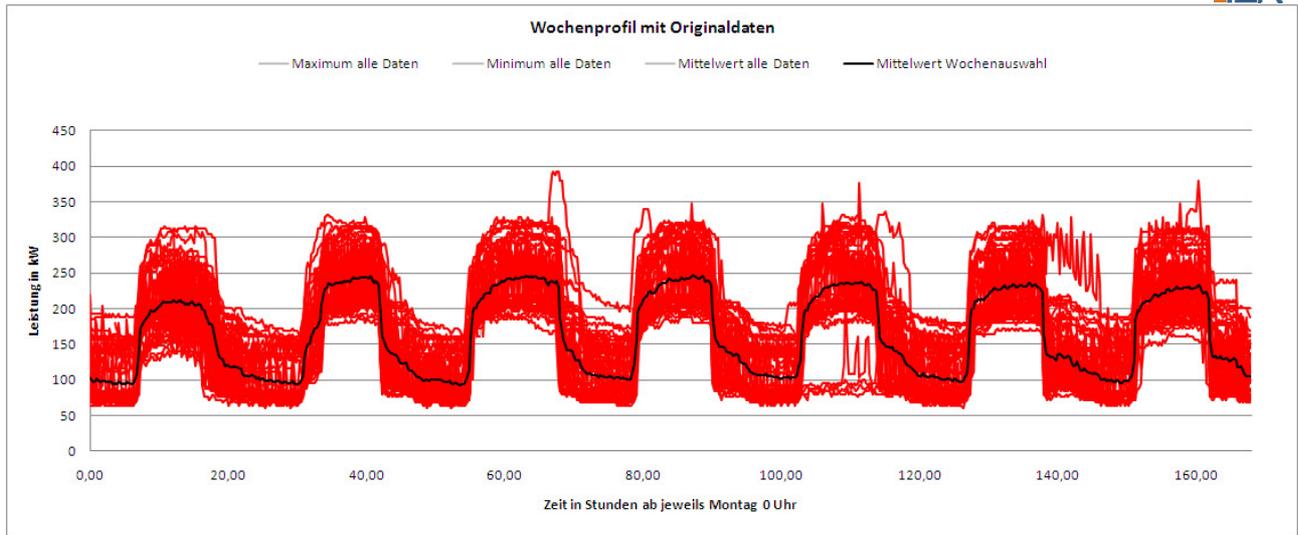
Abbildung 4-4: Tagesverbrauch des elektrischen Energieverbrauchs



Tagesverbrauch chronologisch



Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs



Man erkennt, dass die Grundlast im Mittel bei etwa 100 kW liegt. In der Zeit von 9 Uhr bis 20 Uhr steigt die Leistung im Mittel auf bis zu 250 kW. Montags ist Ruhetag, hier steigt sie auf ca. 200 kW an. An allen Tagen ist eine Abflachung des Plateaus zwischen 17 und 20 Uhr erkennbar. Erklärbar wäre das mit der teilweisen Abschaltung der Beleuchtung in den Büros der Mitarbeiter.

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.

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

Wochenprofil:

Wochentag	Beginn	Ende
Montag		
Dienstag	10:00:00	18:00:00
Mittwoch	10:00:00	21:00:00
Donnerstag	10:00:00	18:00:00
Freitag	10:00:00	18:00:00
Samstag	10:00:00	18:00:00
Sonntag	10:00:00	18:00:00

Fläche Gebäude in m²: 8223

Messpunktauswahl

- Hauptzähler ("Endenergie")
- Unterzähler für Effizienzberechnung ("Nutzenergie")
- 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	392,0	47,67	
Minimale Leistung	60,0	7,30	
Mittlere Leistung	162,9	19,82	

Nutzungszeit			
Dauer	h/woche	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
	51	392,0	47,67
Maximale Leistung		76,0	9,24
Minimale Leistung		233,2	28,36

Standbyzeit			
Dauer	h/woche	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
	117	188,0	22,86
Maximale Leistung		72,0	8,76
Minimale Leistung		132,3	16,09

Verhältnis Standby zu Gesamtzeit [%]	
Zeit	69,6%
Leistung	81,2%
Verbrauch	56,5%

Verhältnis Standby zu Nutzungszeit [%]	
Zeit	229,4%
Leistung	56,7%
Verbrauch	130,1%

Das Museum ist von Dienstag bis Sonntag von 10 – 18 Uhr und am Mittwoch bis 20 Uhr für Besucher geöffnet. Montags ist das Museum geschlossen. In dieser Zeit werden dringende Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten vorgenommen. Die konservatorischen Anforderungen für die Kunstwerke sind allerdings rund um die Uhr einzuhalten. Man erkennt, dass der Tagesverbrauch für Strom abhängig von der Außentemperatur steigt. Dies liegt an dem erhöhten Kühlungs- / und Lüftungsbedarf.

4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

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

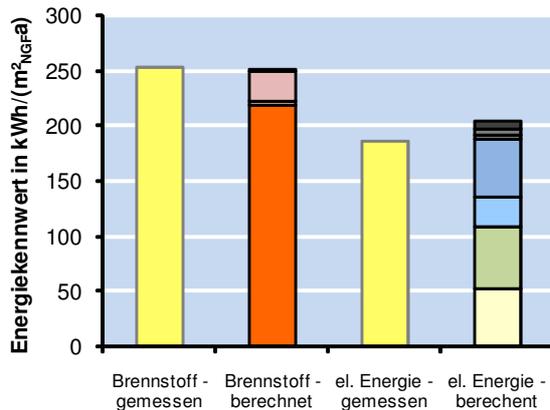
Eine Dokumentation der wichtigsten Eigenschaften und Randbedingungen des Berechnungsmodells ist im Abschnitt 13 zu finden.

4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch

Um zu überprüfen, wie gut das Berechnungsmodell den tatsächlichen Verbrauch des Gebäudes abbildet, werden zunächst in Abbildung 4-6 die berechneten Energiebedarfskennwerte (siehe Abschnitt 0) 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 *	-	7,5
Zentrale Dienste **	0,8	6,3
Arbeitshilfen	-	3,0
Dampf	26,6	0,0
Hilfsenergie Kälte	-	52,6
Kälte	0,0	28,3
Luftförderung	-	55,3
Beleuchtung	-	51,5
Warmwasser	4,8	0,0
Heizung	217,1	0,0
ges. Gebäude	249,4	204,3

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener Verbrauch	kWh/(m²a) MWh/a	251 2.066	186 1.528
berechneter Bedarf	kWh/(m²a) MWh/a	249 2.051	204 1.680
Verh. Bedarf/Verbrauch - f _{b/v}		0,99	1,10

1.4 Berechnungseinstellungen

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

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

Die Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch liegen bei Brennstoff/ Wärme etwa 1% unter dem tatsächlichen Verbrauch, das Ergebnis für den Stromverbrauch weicht mit +10% ab. Hierbei wurde im Berechnungstool der Stromverbrauch der Pumpen der Kälteanlagen mit ‚hoch‘ bewertet, setzt man hier ‚mittel‘ ein, unterschreitet der Energiebedarf mit 4% den gemessenen Verbrauch. Der genaue Stromverbrauch der Pumpen war während der Untersuchung nicht festzustellen und wurde deshalb mit ‚hoch‘ eingestuft.

4.3.2 Berechnete Energiekennwerte

Auf der Grundlage der Energiebilanzberechnung wird in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-7 die Entwicklung des Energiebedarfs von der Nutzenergie über die Endenergie (unterschieden nach Brennstoff und elektrischer Energie) bis zur Primärenergie für die unterschiedlichen Gewerke (Heizung bis Diverse Technik) dargestellt werden. In der letzten Spalte von Tabelle 4-1 sind ergänzend die 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	179,1	217,1	217,1	0,0	83,1	47,6
Warmwasser	2,7	4,8	4,8	0,0	3,4	1,1
Beleuchtung	-	-	-	51,5	133,9	32,6
Luftförderung	-	-	-	55,3	143,8	35,0
Kälte	67,2	81,1	0,0	28,3	73,5	17,9
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	52,6	136,6	33,3
Dampf	18,5	-	26,6	0,0	18,6	5830,8
Arbeitshilfen	-	-	-	3,0	7,7	1,9
Zentrale Dienste	-	-	0,8	6,3	21,5	4,2
Diverse Technik	-	-	-	7,5	19,4	4,7
gesamt	267,5	303,0	249,4	204,3	641,5	6008,9

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

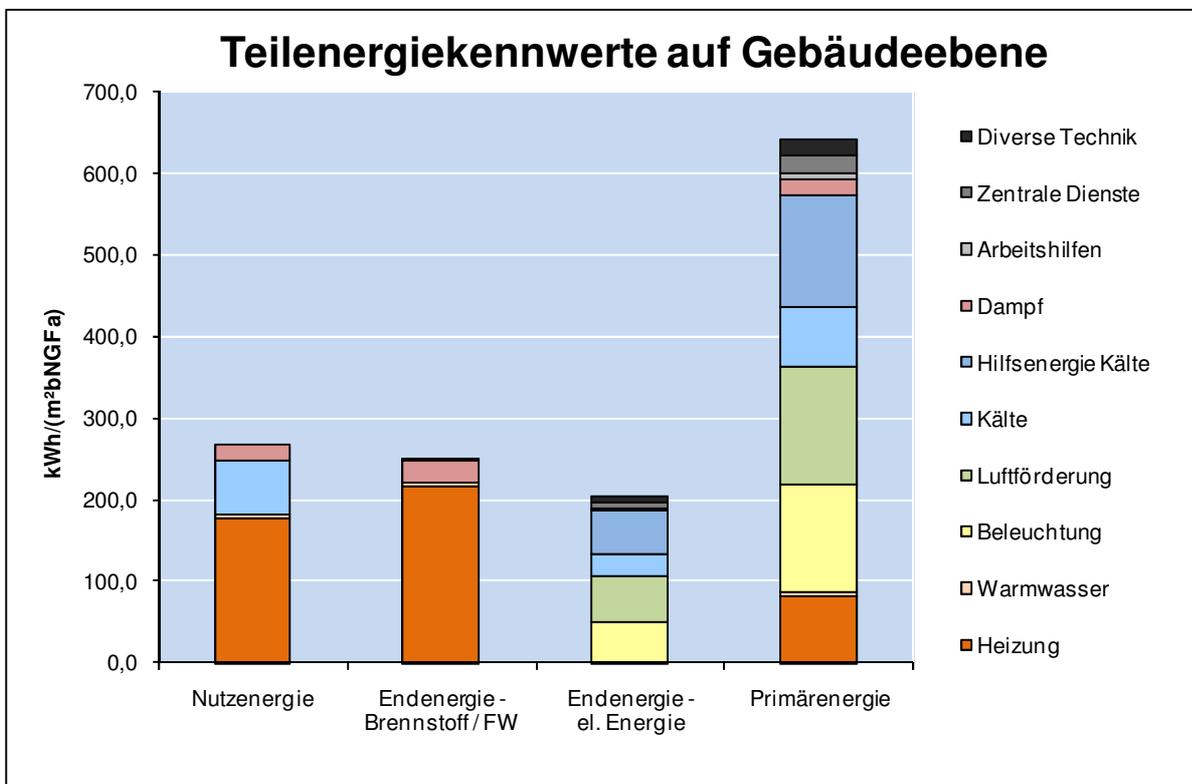


Abbildung 4-7: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand

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

Sehr hoch

Hoch

Mittel

Gering

Sehr gering

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

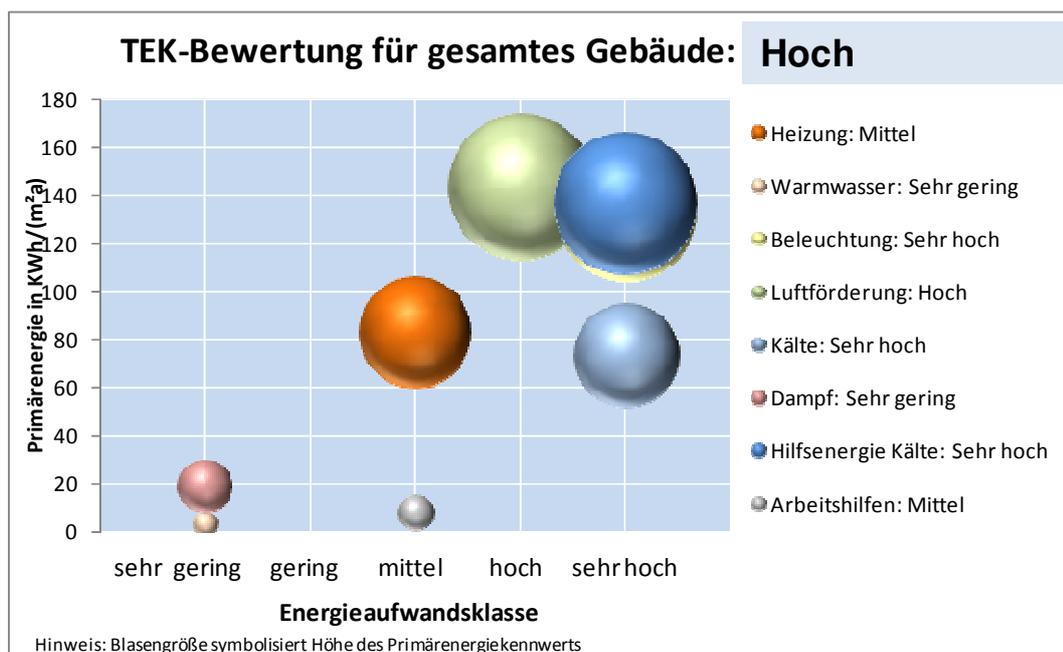


Abbildung 4-8: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung

Bei der TEK-Bewertung werden die Primärenergiekennwerte insbesondere für Beleuchtung und Kälte, sowie die Hilfsenergie für Kälte sehr hoch eingestuft. Völlig unerklärlich ist der errechnete Wert der Hilfsenergie der Kälteanlagen, was in Tabelle 4.1 deutlich zu sehen ist. In der Zeit des Entstehens des Gebäudes wurde nur wenig Wert auf Energieeffizienz gelegt. Die durch thermografische Aufnahmen deutlich zu erkennenden Undichtigkeiten und die Beheizung der Dachverglasungen spiegeln sich im Primärenergiekennwert als eher gering wider, weil Fernwärme mit einem sehr geringen Faktor bewertet wird.

5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung

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



Tabelle 5-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude

Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen

[zurück zu Übersicht](#)

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster	2) empfohlen	Erneuerung aller Fenster
2	334 Außentüren und -fenster	Einbau Passivhausfenster auf dem Dach	5) sehr dringend	Auf Grund der Kondenswasserbildung und der Zusatzheizung sehr zu empfehlen
3	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmen der Außenwände	2) empfohlen	Gebäudehüllfläche entspricht mit einem U-Wert von 0,8 W/m ² K nicht den heutigen Anforderungen. (evtl. Urheberrecht beachten!)
5	338 Sonnenschutz	Automatische Regelung auf dem Dach	5) sehr dringend	der Sonnenschutz - Lamellen - der Glasaufbauten auf dem Dach sollte je nach Lichteintensität automatisch geregelt werden.
6	439 Lufttechnische Anlagen, sonstiges	Betriebszeiten anpassen	5) sehr dringend	Die Anlagen stammen aus dem Baujahr 1989
7	431 Lüftungsanlagen	Einbau WRG	5) sehr dringend	Lüftungsanlagen haben nur eine Zumischung von Außenluft, keine Wärmerückgewinnung (von 1989)
8	431 Lüftungsanlagen	Einbau von Frequenzumformern	5) sehr dringend	Einbau von Frequenzumformern
9	435 Kälteanlagen	Pumpenleistung anpassen	2) empfohlen	Einbau effizienter Pumpen
10	445 Beleuchtungsanlagen	Halogenleuchten und herkömmliche Glühlampen ersetzen durch LED	5) sehr dringend	Leuchtmittel in den Downlights und alle Glühlampen mit LED ersetzen
11	445 Beleuchtungsanlagen	Einbau effizienter Leuchtmittel	5) sehr dringend	Ersatz aller Leuchstofflampen mit effizienten Leuchtmitteln, ausstatten mit EVG
12	338 Sonnenschutz	Vorwiegend Westseite	2) empfohlen	elektronische Steuerung einbauen
13	435 Kälteanlagen	Optimierung	2) empfohlen	Einbau eines mehrstufig regelbarer Verdichters

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.

Weiter untersucht werden folgende drei Modernisierungsempfehlungen und eine Kombination aus allen drei Empfehlungen:

Die Ergebnisse sind in folgenden Grafiken zusammengefasst.

6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Gebäudehüllfläche

Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1 -

Museum für Moderne Kunst, , Ist-Zustand							
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung		Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 1	Modernisierungsempfehlung 1	
Modernisierungsziel		Vergleich mit		-		Gebäudehüllfläche	
Jährliche Gesamtkosten							
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	0	€/a	K_K	150.000	€/a	
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	760.000	€/a	$K_{E,m}$	664.000	€/a	
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+i,m}$	0	€/a	$K_{W+i,m}$	20.000	€/a	
mittlere jährliche Gesamtkosten	K_a	760.000	€/a	K_a	834.000	€/a	
Übersicht Einzelmaßnahmen							
	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 1	Gebäudehüllfläche		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 1			M 1-1	Austausch der Fenster		
Standardmaßnahme					334_1_FE_Standard_EnEV09		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 2			M 1-2	Einbau Passivhausfenster auf dem Dach		
Standardmaßnahme					334_1_FE_PH-Qualität		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 3			M 1-3	Dämmen der Außenwände		
Standardmaßnahme					335_0_AW_WDVS_EnEV-2009-Standard		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 4			M 1-4	Automatische Regelung auf dem Dach		
Standardmaßnahme					338_Wagerechte Lamellenjalousie 45° für		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 5			M 1-5	Einbau effizienter Leuchtmittel		
Standardmaßnahme					445_1_BL_100lx_Wannen-Raster-Leuchten_IP50		
Objektspezifische Maßnahme	Ist 6			M 1-6	Vorwiegend Westseite		
Standardmaßnahme					333_1_Lamelleneffiziente vertikale Bauteile		

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener Verbrauch	kWh/(m²a) MWh/a	251 2.066	186 1.528
berechneter Bedarf	kWh/(m²a) MWh/a	196 1.608	226 1.859
Verh. Bedarf/Verbrauch - f_{bV}		0,78	1,22



Aussagen zu Ermittlung der Energieeinsparung

Die Modernisierungsempfehlung 1 umfasst die Gebäudehüllfläche.

Hierbei werden alle Fenster ausgetauscht, der bisherige U-wert beträgt 2,8 W/m²K. Eingebaut werden nach Vorschrift der EnEV 2009 Fenster mit einem U-Wert von 1,3 W/m²k. Die Glasaufbauten auf dem Dach zur indirekten Beleuchtung der oberen Ausstellungsebene werden in Passivhausqualität ausgeführt, da mit dieser Maßnahme die Zusatzheizung zur Vermeidung von Kondenswasser abgebaut werden kann. Die Einsparung durch den Abbau der Zusatzheizung wurde in die Gesamtkostenberechnung nicht mit einbezogen. Der Stromverbrauch erhöht sich bezüglich der neu einzubauenden Sonnenschutzmaßnahmen.

Empfohlen wird weiterhin die Außenwandfläche komplett zu dämmen (0,2 statt 0,8 W/m²K), wobei hier der Schutz des Urheberrechts beachtet werden muss, was die Maßnahme erheblich verteuern wird.

Empfohlen werden ebenfalls der helligkeitsgesteuerte Einbau von Sonnenschutz an der Westseite und ein automatisch geregelter Sonnenschutz der Glasaufbauten auf dem Dach.

Die Kosten hierfür wurden sowohl aus der Datenbank entnommen, als auch selbst geschätzt.



6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Technik

Abbildung 6-2: Modernisierungsempfehlung 2 -

Museum für Moderne Kunst, , Ist-Zustand						
4.0	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand	ME 2	Modernisierungsempfehlung 2	
	Modernisierungsziel		Vergleich mit	-		Technik
4.01	Jährliche Gesamtkosten					
	vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	0	€/a	K_K	109.000 €/a
	gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	760.000	€/a	$K_{E,m}$	569.000 €/a
	vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+i,m}$	0	€/a	$K_{W+i,m}$	37.000 €/a
	mittlere jährliche Gesamtkosten	K_s	760.000	€/a	K_s	715.000 €/a
4.1	Übersicht Einzelmaßnahmen	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand	ME 2	Technik	
1	Objektspezifische Maßnahme	Ist 1		M 2-1	Betriebszeiten anpassen	
	Standardmaßnahme				430_4_Vollklimaanlage_1-Jahreszeitliches-Gleiten	
2	Objektspezifische Maßnahme	Ist 2		M 2-2	Einbau WRG	
	Standardmaßnahme				439_Lüftungsanlage Einbau WRG >5000 m³/h	
3	Objektspezifische Maßnahme	Ist 3		M 2-3	Einbau von Frequenzumformern	
	Standardmaßnahme				439_Einbau_von_Frequenzumformern_>_30kW	
4	Objektspezifische Maßnahme	Ist 4		M 2-4	Pumpenleistung anpassen	
	Standardmaßnahme				435_1_Reparatur Kältemaschine	
5	Objektspezifische Maßnahme	Ist 5		M 2-5	Optimierung	
	Standardmaßnahme				435_1_wassergekühlter-Kolbenverdichter-	

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener Verbrauch	kWh/(m²a) MWh/a	251 2.066	186 1.528
berechneter Bedarf	kWh/(m²a) MWh/a	176 1.448	162 1.335
Verh. Bedarf/Verbrauch - $f_{b/v}$		0,70	0,87

1.6 Primärenergiekennwerte sowie Teilenergiekennwertbewertungen der Gewerke auf Gebäudeebene



dito

Die Modernisierungsempfehlung 2 umfasst die hauptsächlichsten Modernisierungsmöglichkeiten der Gebäudetechnik.

Hierfür wird aber empfohlen, im Zuge einer Gesamtanierung zu prüfen, ob es sinnvoller ist, eine gesamte neue Gebäudetechnik einzubauen. Die einzelnen Komponenten sind aus dem Jahr 1989 und sind aufeinander abgestimmt. Interessant und nicht verständlich ist, dass sich der Energiebedarf für die Kälteerzeugung nur gering reduziert.

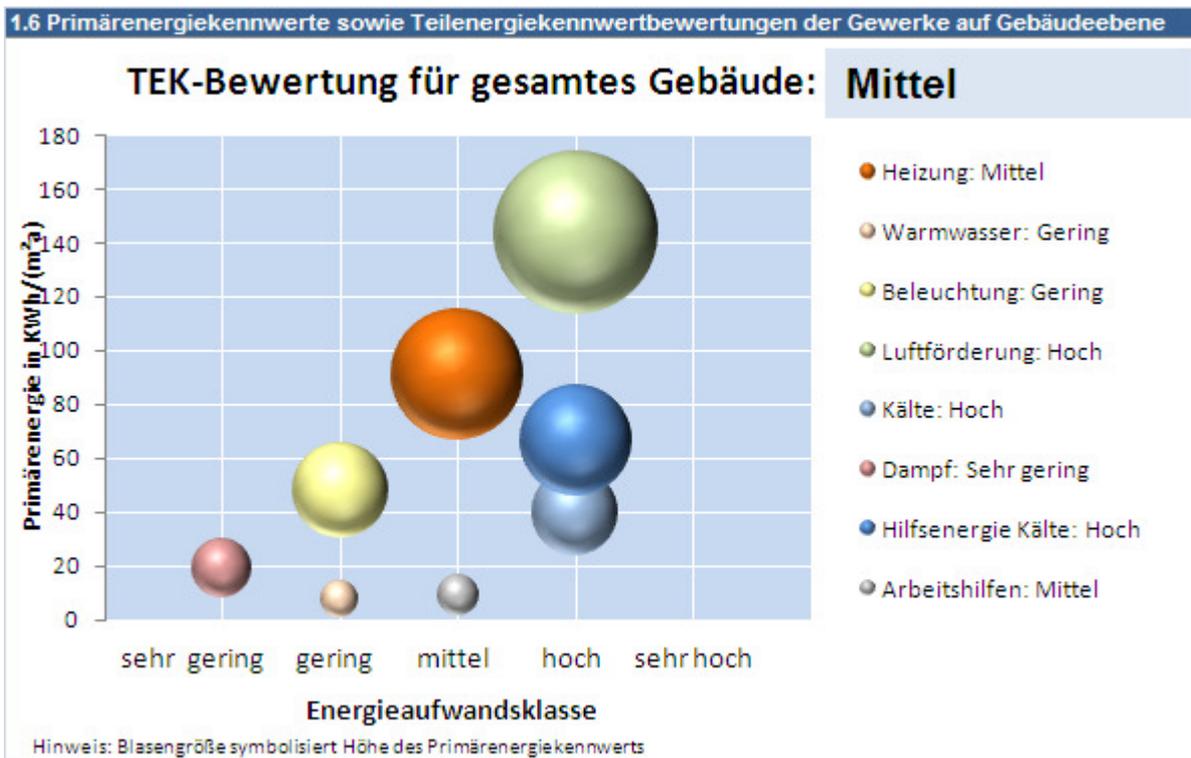
Die Kosten hierfür wurden sowohl aus der Datenbank entnommen, als auch selbst geschätzt.

6.3 Modernisierungsempfehlung 3: Beleuchtung

Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 3 -

Museum für Moderne Kunst, Ist-Zustand						
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung		Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 3	Modernisierungsempfehlung 3
Modernisierungsziel			Vergleich mit		-	Beleuchtung
Jährliche Gesamtkosten						
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten		K_K	0	€/a	K_K	22.000 €/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten		$K_{E,m}$	760.000	€/a	$K_{E,m}$	679.000 €/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten		$K_{W+i,m}$	0	€/a	$K_{W+i,m}$	6.000 €/a
mittlere jährliche Gesamtkosten		K_a	760.000	€/a	K_a	707.000 €/a
Übersicht Einzelmaßnahmen						
	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 3	Beleuchtung	
Objektspezifische Maßnahme	Ist 1			M 3-1	Halogenleuchten und herkömmliche Glühlampen ersetzen durch LED	
Standardmaßnahme					445_1_BL_500lx_LED-Röhre (100Lm/W) für Wannens-Raster-Leuchten_IP50	
Objektspezifische Maßnahme	Ist 2			M 3-2	Einbau effizienter Leuchtmittel	
Standardmaßnahme					445_1_BL_100lx_Wannen-Raster-Leuchten_IP50	

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener Verbrauch	kWh/(m²a) MWh/a	251 2.066	186 1.528
berechneter Bedarf	kWh/(m²a) MWh/a	284 2.336	132 1.083
Verh. Bedarf/Verbrauch - $f_{b/v}$		1,13	0,71



Diese Empfehlung betrifft die Beleuchtung. Hierbei werden die Reduzierung der Leuchtenanzahl in den Lichtdecken, die Leuchtstärken daraufhin abgestimmt und der Einsatz von LEDs statt Halogenbeleuchtung und Glühlampen vorgeschlagen. Interessant und logisch ist, dass der Heizenergiebedarf durch die Beleuchtungssanierung steigt, weil von den neuen Leuchtmitteln weniger Hitze abgestrahlt wird

Die Kosten hierfür wurden sowohl aus der Datenbank entnommen, als auch selbst geschätzt.

6.4 Modernisierungsempfehlung 4: Kombination aus allen drei Modernisierungsvorschlägen

Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 4-

Museum für Moderne Kunst, , Ist-Zustand						
Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 4	Modernisierungsempfehlung 4	
Modernisierungsziel		Vergleich mit		-	Kobi M1-M3	
Jährliche Gesamtkosten						
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	0	€/a	K_K	540.000	€/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	760.000	€/a	$K_{E,m}$	458.000	€/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+l,m}$	0	€/a	$K_{W+l,m}$	264.000	€/a
mittlere jährliche Gesamtkosten	K_s	760.000	€/a	K_s	1.262.000	€/a



Übersicht Einzelmaßnahmen		Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand	ME 4	Kobi M1-M3
Objektspezifische Maßnahme		Ist 1		M 4-1	Austausch der Fenster
Standardmaßnahme					334_1_FE_Standard_EnEV09
Objektspezifische Maßnahme		Ist 2		M 4-2	Einbau Passivhausfenster auf dem Dach
Standardmaßnahme					334_1_FE_PH-Qualität
Objektspezifische Maßnahme		Ist 3		M 4-3	Dämmen der Außenwände
Standardmaßnahme					335_0_AW_WDVS_EnEV-2009-Standard
Objektspezifische Maßnahme		Ist 4		M 4-4	Automatische Regelung auf dem Dach
Standardmaßnahme					338_Wagerechte Lamellenjalousie 45° für
Objektspezifische Maßnahme		Ist 5		M 4-5	Betriebszeiten anpassen
Standardmaßnahme					430_4_Vollklimaanlage_1-Jahreszeitliches-Gleiten
Objektspezifische Maßnahme		Ist 6		M 4-6	Einbau WRG
Standardmaßnahme					439_Lüftungsanlage Einbau WRG >5000 m³/h
Objektspezifische Maßnahme		Ist 7		M 4-7	Einbau von Frequenzumformern
Standardmaßnahme					439_Einbau_von_Frequenzumformern_>_30kW
Objektspezifische Maßnahme		Ist 8		M 4-8	Pumpenleistung anpassen
Standardmaßnahme					435_1_Reparatur Kältemaschine
Objektspezifische Maßnahme		Ist 9		M 4-9	Halogenleuchten und herkömmliche Glühlampen ersetzen durch LED
Standardmaßnahme					445_1_BL_500lx_LED-Röhre (100lm/W) für Wannen-
Objektspezifische Maßnahme		Ist 10		M 4-10	Einbau effizienter Leuchtmittel
Standardmaßnahme					445_1_BL_100lx_Wannen-Raster-Leuchten_IP50
Objektspezifische Maßnahme		Ist 11		M 4-11	Vorwiegend Westseite
Standardmaßnahme					338_1_Lamellenraffstore_motorisch_Bussteuerung
Objektspezifische Maßnahme		Ist 12		M 4-12	Optimierung
Standardmaßnahme					435_1_wassergekühlter-Kolbenverdichter-

Die Modernisierungsempfehlung 4 bildet alle Maßnahmen zusammen ab.

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener	kWh/(m²a)	251	186
Verbrauch	MWh/a	2.066	1.528
berechneter	kWh/(m²a)	171	102
Bedarf	MWh/a	1.405	838
Verh. Bedarf/Verbrauch - f _{bv}		0,68	0,55

1.6 Primärenergiekennwerte sowie Teilenergiekennwertbewertungen der Gewerke auf Gebäudeebene

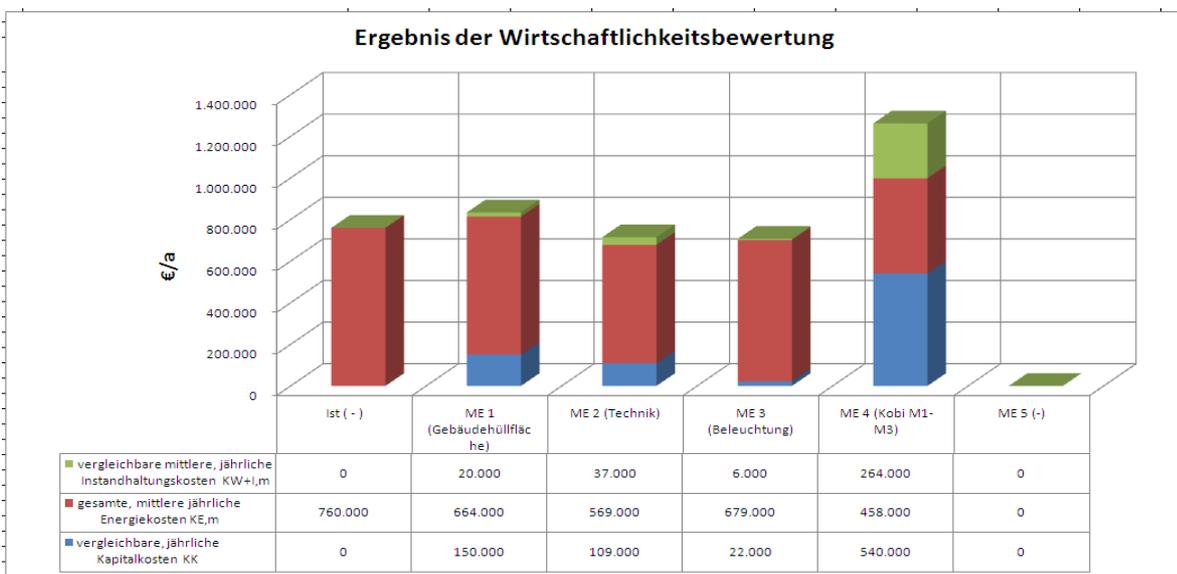


Abbildung 6-5: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbewertung

Kombiniert man die drei vorgeschlagenen Modernisierungsvorschläge, kann man 32% Heizenergie und 45% der elektrischen Energie einsparen. Daraus ergibt sich eine TEK-Bewertung als ‚gering‘.

Eine Einschätzung für nutzerbedingte Einsparungen wurde hier nicht untersucht.

7 Durchgeführte Messungen

7.1 Kurzzeitmessungen des Energieverbrauchs Lüftungsanlage 7 – Zuluft

Bei der Auswahl der gemessenen Anlage wurde die Anlage 7 ausgewählt, da dies nach den technischen Unterlagen die Anlage mit dem größten Volumenstrom darstellt. Die Messungen wurden vom 19.12.2011 bis 10.01.2012 durchgeführt, während dieses Zeitraumes wurde die Zuluftanlage nur in Stufe 1 betrieben. Die Stufe 2 wird nur selten bei z.B. Sonderveranstaltungen genutzt.

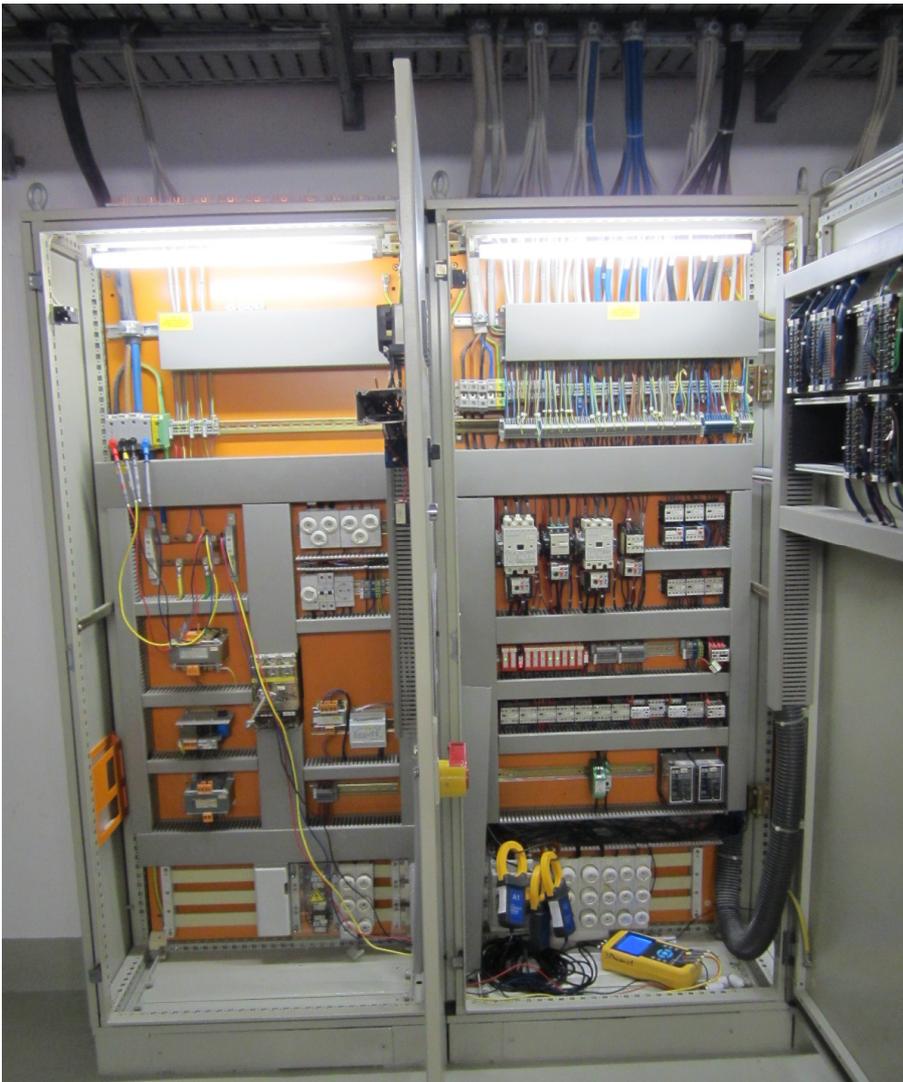


Abbildung 7.1-1: Aufbau der Messung an RLT-Anlage 7

Bei der gemessenen Lüftungsanlage 7 handelt es sich um die größte Lüftungsanlage in der Liegenschaft. Gemessen wurde die Zuluftanlage, diese wird in den technischen Unterlagen bei Betrieb in Stufe 1 mit einem Luftvolumenstrom von 22.795 m³/h und einer Nennleistung von 12 kW beschrieben. Im oben genannten Messzeitraum wurden Werte zwischen 8,37 und 8,91 kW gemessen (s. Abbildung.7.1-2).

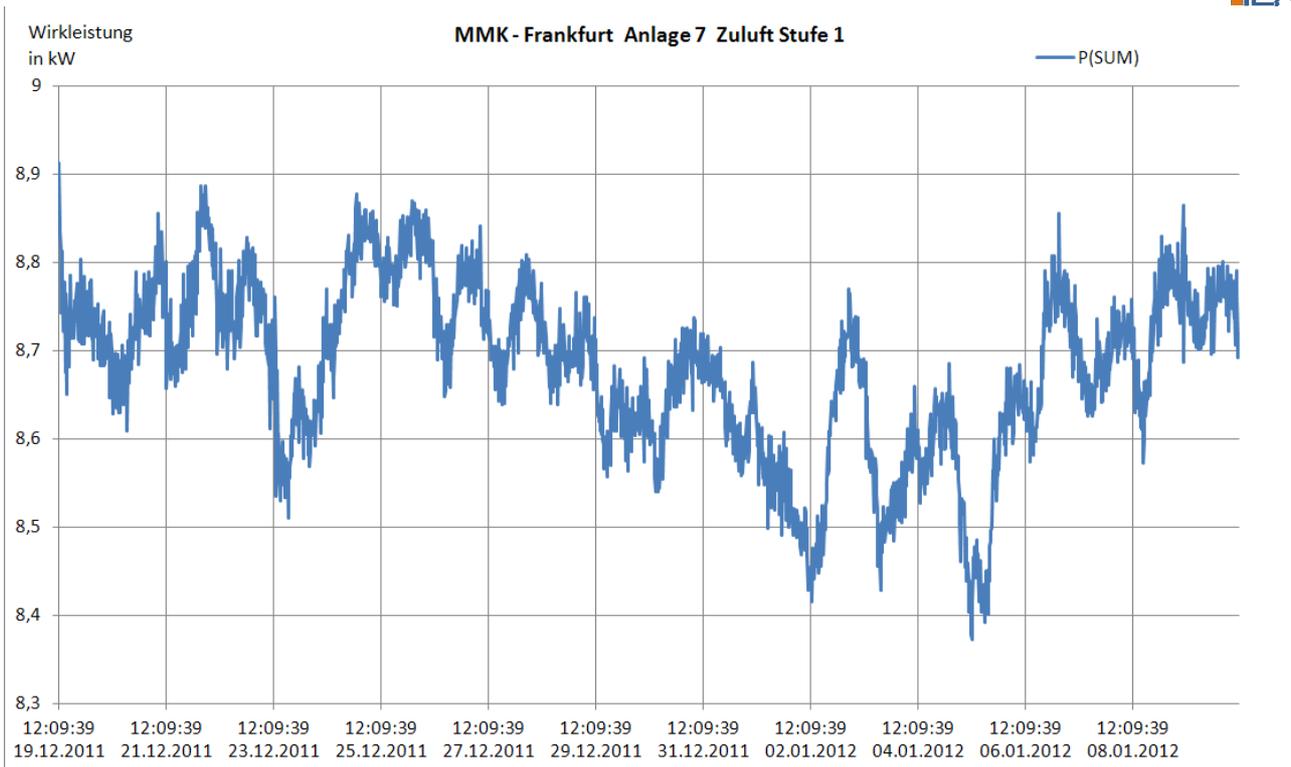


Abbildung 7.1-2: Messwerte an RLT-Anlage 7 Zuluft

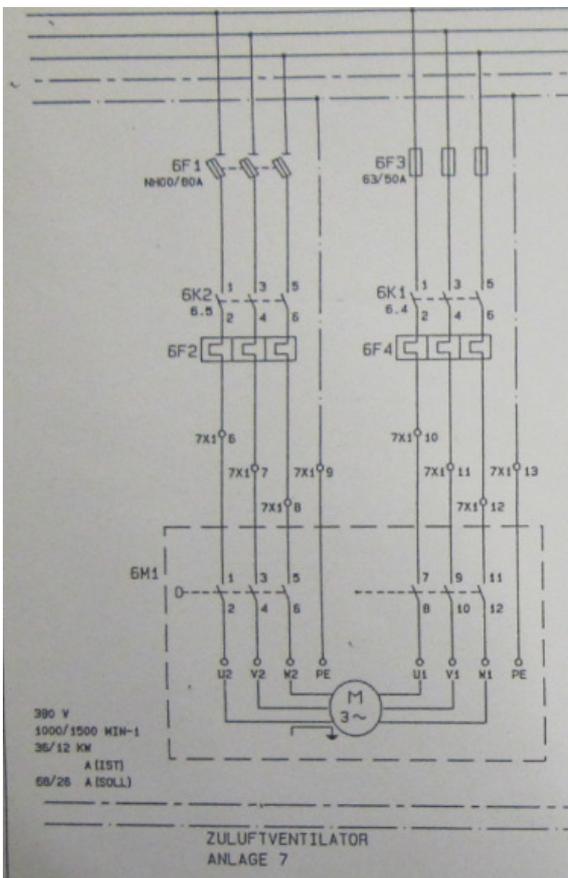


Abbildung 7.1-3: Schaltplan RLT-Anlage 7 Zuluft

Eine Umschaltung der Zuluftanlage auf Stufe 2 konnte nicht gemessen werden, da die zwei Stufen separate, direkt von den Stromschienen abgegriffene Versorgungen aufweisen. Hierzu hätte der Messaufbau neu erfolgen müssen (s. Abbildung 7.1-3).

Die Messung des gesamten Lüftungsanlagenverbrauchs einer im TEK-Tool ausgewiesenen Zone war nicht möglich, da für die Zone Ausstellung RLT-Anlagen zusammengefasst werden mussten und diese aus verschiedenen Schaltschränken versorgt werden.



Prognose Luftförderung

Messwerte:

Datum	Zeit	Energie- verbrauch Luftförderung kWh/d	Nutzung ja/nein
20.12.2011	00:09:39	208,9	ja
21.12.2011	00:09:39	209,7	ja
22.12.2011	00:09:39	210,6	ja
23.12.2011	00:09:39	208,0	ja
24.12.2011	00:09:39	207,3	nein
25.12.2011	00:09:39	215,0	ja
26.12.2011	00:09:39	211,0	ja
27.12.2011	00:09:39	208,0	ja
28.12.2011	00:09:39	206,0	ja
29.12.2011	00:09:39	210,0	ja
30.12.2011	00:09:39	215,0	ja
31.12.2011	00:09:39	216,0	nein
01.01.2012	00:09:39	212,0	nein
02.01.2012	00:09:39	200,0	nein
03.01.2012	00:09:39	209,0	ja
04.01.2012	00:09:39	210,0	ja
05.01.2012	00:09:39	202,0	ja
06.01.2012	00:09:39	216,0	ja
07.01.2012	00:09:39	216,0	ja
08.01.2012	00:09:39	216,0	ja
09.01.2012	00:09:39	216,0	nein
30.12.2011		210,60	

Einteilung Typtage			1
			Einteilung 1 (WT,WE)
			Energieverbrauch
Bez. Typtag	Zeitanteil	Mittelwert	Messdaten
WT	0,69	209,35	
WE	0,31	213,72	
	1,00	210,70	

Prognosen

Energieverbrauch	76905 kWh/Jahr
Luftförderung	13,58 kWh/m²Jahr

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der spezifischen Wert hat keine Aussagekraft, da – wie oben erwähnt- nur Teile der gesamten RLT-Anlagen der Zone Ausstellung gemessen werden konnten. Daher kann hier eine weitere Diskussion der Prognosen nicht als sinnvoll erachtet werden.



Das Nennleistungsminimum lag in Messzeitraum bei 8,37 kW am 05.01.2012 um 12:09:39 Uhr, das Maximum bei 8,91 kW am 19.12.2011 um 12:09:39 Uhr.

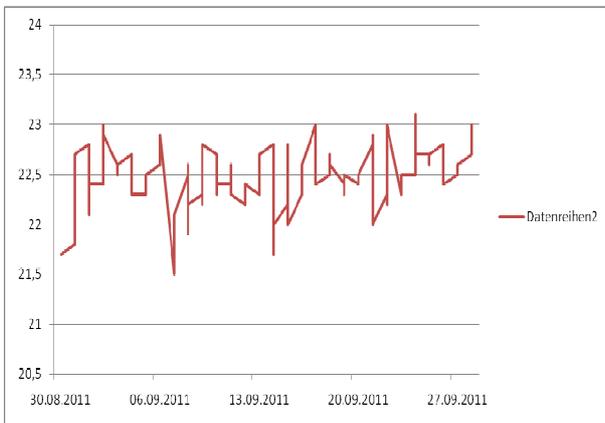
Die geringen Abweichungen zwischen dem Maximal- und dem Minimalwert erklären sich durch die permanent notwendige Konditionierung des Ausstellungsbereiches. Da die Lüftungsanlage 7 nur zweistufig betrieben werden kann, läuft sie ständig mindestens mit Stufe 1.

7.2 Messungen der Innen- und Außentemperatur mit relativer Feuchte

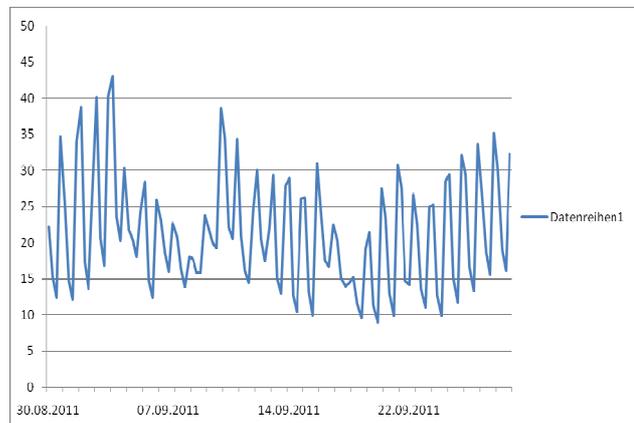
Es wurde die Innen- und Außentemperatur und die dazugehörige relative Feuchte über 4 Wochen im September 2011 gemessen.

Ergebnisse:

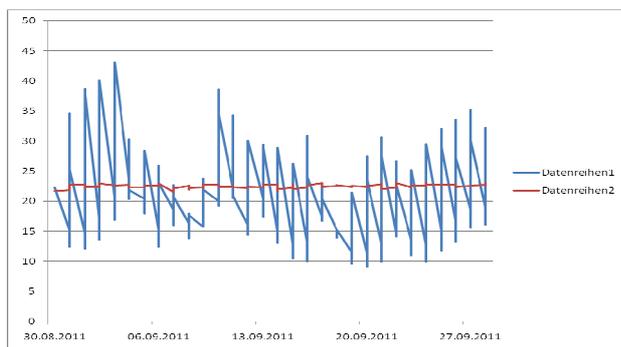
7.1. Abbildung Innentemperatur



7.2. Abbildung Außentemperatur



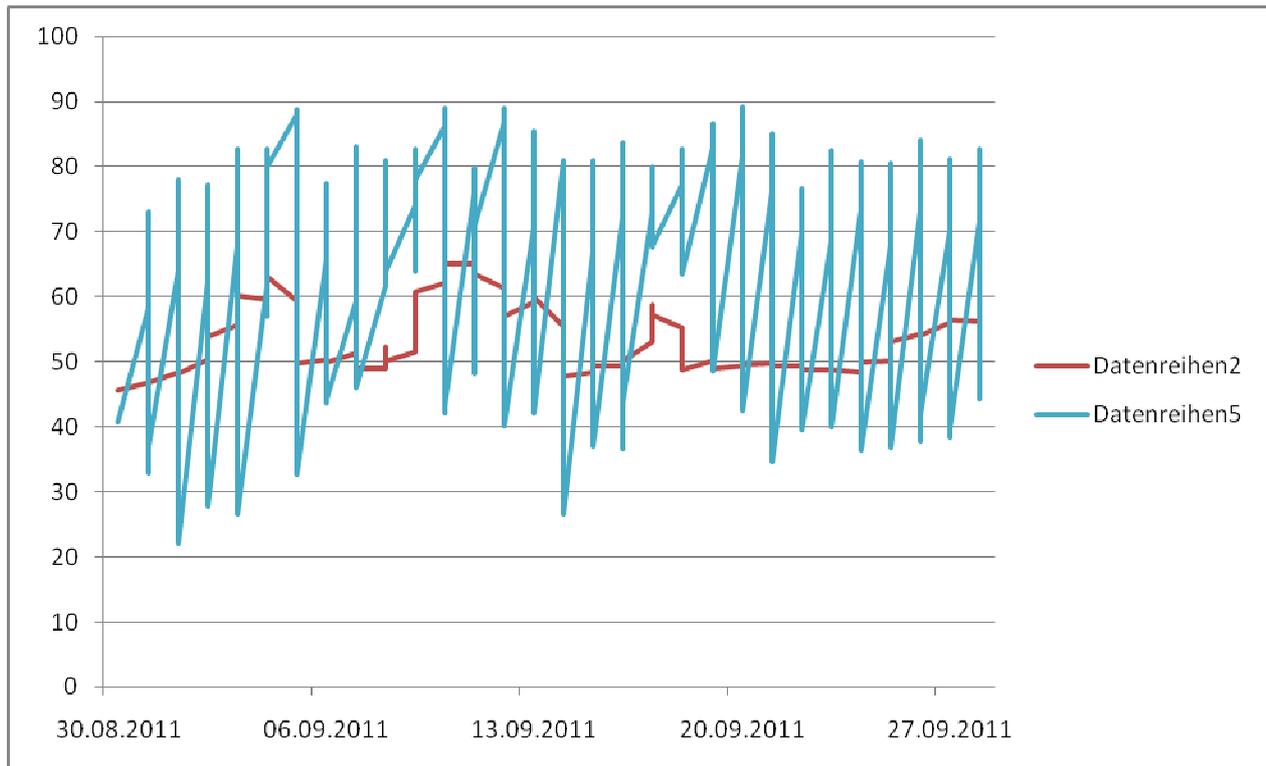
Die Abb. 7.1 zeigt auf, dass die Innentemperatur zwischen 21,5° und 23° schwankt. Legt man alle Unzulänglichkeiten der Einflussfaktoren für die Temperatur zu Grunde, (Sonneneinstrahlung, Außentemperatur, Besucherzahlen) sind die Schwankungen schon aus kuratorischer Sicht zu diskutieren. Wünschenswert ist auf jeden Fall eine gleichbleibende Temperatur.



Die Außentemperatur in diesem Zeitraum war hochsommerlich warm. Wobei die Temperaturen von über 30° durch Abstrahlungen und Überhitzung auf dem Dach (Schatten) zurückzuführen sind.

7.3. Vergleich Außen- Innentemperatur

7.4. Feuchtigkeit Innen und außen



Diese Abbildung zeigt deutlich einen gravierenden Unterschied zwischen niedrigster und höchster Luftfeuchtigkeit des Ausstellungsbereiches – hier rot dargestellt. (Schwankungen von 45 bis 65%)

Um Temperatur und Luftfeuchtigkeit exakt regeln zu können, bedarf es vorwiegend der Optimierung der Gebäudetechnik, evtl. der Sensoren des Raumklimas, und die Sanierung der gesamten GLT was in den Modernisierungsmaßnahmen ansatzweise formuliert worden ist. Eine tiefergehende Untersuchung sollte fachspezifischen Firmen vorbehalten sein.

Anmerkungen

Da das MMK mit der Heizenergie nicht auf die automatische Verbrauchserfassung aufgeschaltet ist, konnten hier keine Messdaten erfasst werden.

Die GLT in der Liegenschaft gibt bedauerlicher Weise keine Auskunft über die Betriebsstunden der einzelnen Komponenten der Gebäudetechnik. (lt. Aussage der Technik)

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

9 Anhang: Datenerhebung

9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

Baueingabepläne 1989/ Beleuchtungspläne ohne Angaben der Werte für Leuchtmittel

Alle Pläne ohne Maßstab, schlecht leserlich

Beschreibung	Aktualität (- / 0 / +)	Bemerkung
<input checked="" type="checkbox"/> Architektenpläne <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Grundrisse, <input checked="" type="checkbox"/> Schnitte, <input checked="" type="checkbox"/> Ansichten 		Baueingabepläne ohne Maßstab
<input type="checkbox"/> Baubeschreibung		
<input type="checkbox"/> EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung		
<input type="checkbox"/> <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 		
<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 type="checkbox"/> Schemata <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss 		
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Schemata 		



<input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen RLT-Anlagen <input type="checkbox"/> Schemata <input checked="" type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Lüftungsgesuch <input type="checkbox"/> Abnahmemessungen <input checked="" type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		Dokumentation vorhanden,
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Beleuchtungsanlage <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input checked="" type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
<input type="checkbox"/> Wartungsunterlagen <input type="checkbox"/> Verträge <input type="checkbox"/> Protokolle		
<input type="checkbox"/> Sonstige Unterlagen		

9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten

Auflistung der wesentlichen fehlenden Daten und Angabe zu den hierfür getroffenen Annahmen.

Nr.	Größe	Angenommene Ausprägung	Bemerkung
		Beleuchtung	Anzahl grob geschätzt
		Technik	Keine genaue Beschreibung

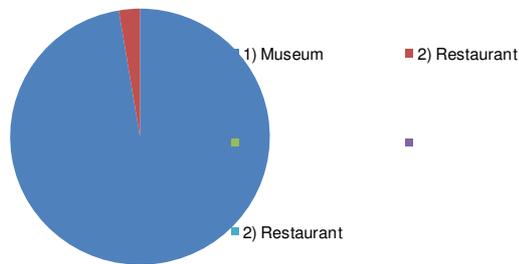
10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes

Weitere Analysen bzw. Auswertungen in Bezug auf den Lastgang konnten nicht durchgeführt werden.

Zum Einen ist die Liegenschaft nicht komplett an die automatische Verbrauchsanalyse angeschlossen, zum Anderen, ist es nicht möglich, mit der GLT Aufzeichnungen über Betriebsstunden der einzelnen Komponenten zu generieren.

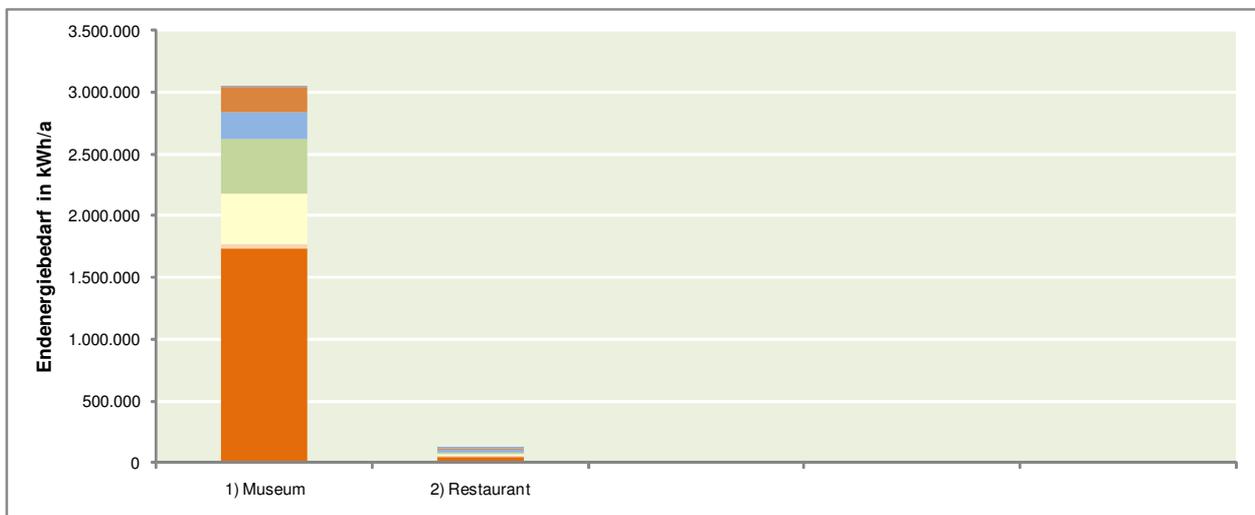
11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



	Fläche m ²	Anteil an beh. NGF
1) Museum	8.008	97%
2) Restaurant	215	3%
	8.223	100%

2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

Bezeichnung	1) Museum		2) Restaurant		#WERT!		#WERT!		#WERT!			
	Fläche der Nutzungseinheit	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	
	8008 m ²	-	kWh/(m ² a)	215 m ²	-	kWh/(m ² a)						
Arbeitshilfen		Sehr gering	1	Sehr hoch	82							
Dampf		Sehr gering	26	Sehr gering	62							
Kälte		Sehr hoch	27	Sehr hoch	65							
Luftförderung		Hoch	54	Gering	93							
Beleuchtung		Sehr hoch	51	Mittel	56							
Warmwasser		Gering	4	Sehr gering	18							
Heizung		Mittel	216	Mittel	241							

Abbildung 11-1: Bewertung je Nutzungseinheit

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-Bewert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Ausstellung	27 Ausstellung	5.665	1	Mittel	208,0	290,3	717	101,0	85,1	1.188
2) Restaurant/Küche/Lager	13 Restaurant	215	2	Mittel	240,8	667,2	361	128,6	395,0	325
3) WC Sanitär/Sozialräume	16 WC, Sanitär	200	1	Hoch	692,5	1620,4	427	149,4	329,1	454
4) Lager beheizt	15 Küche, Lag	400	1	Mittel	206,3	506,5	407	99,8	329,3	303
5) Technik	20 Lager, Tech	1.037	1	Mittel	142,6	92,3	1.546	85,4	43,3	1.970
6) Theater (Bühne, Zuschau	25 Theaterbüh	156	1	Mittel	223,3	523,1	427	101,6	75,1	1.352
7) Büro	01 Einzelbüro	550	1	Hoch	275,5	469,5	587	62,4	121,8	512

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) Ausstellung	27 Ausstellung	5.665	1	Sehr hoch	70,3	27,2	2.582	8,9	5,1	1.764
2) Restaurant/Küche/Lager	13 Restaurant	215	2	Mittel	55,9	20,8	2.692	42,4	5,2	8.124
3) WC Sanitär/Sozialräume	16 WC, Sanitär	200	3	Sehr gering	0,0	3,3	0	2,4	9,5	249
4) Lager beheizt	15 Küche, Lag	400	4	Sehr gering	0,0	36,9	0	39,9	9,7	4.103
5) Technik	20 Lager, Tech	1.037	5	Sehr hoch	3,9	20,0	194	0,6	3,2	200
6) Theater (Bühne, Zuschau	25 Theaterbüh	156	6	Sehr gering	28,6	17,0	1.685	137,0	23,5	5.831
7) Büro	01 Einzelbüro	550	7	Sehr gering	8,7	5,7	1.540	33,6	18,3	1.835

Tabelle 12-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung

3.3 Luftförderung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m²	Nr. RLT- anlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew.ert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Ausstellung	27 Ausstellung	5.665	2	Hoch	44,3	23,4	1.897	14,6	1,7	8.760
2) Restaurant/Küche/Lager	13 Restaurant	215	4	Gering	92,7	48,8	1.897	72,0	15,0	4.800
3) WC Sanitär/Sozialräume	16 WC, Sanitär	200	2	Sehr hoch	332,3	175,1	1.897	40,6	12,5	3.250
4) Lager beheizt	15 Küche, Lag	400	1	Mittel	130,4	68,7	1.897	56,3	12,5	4.500
5) Technik	20 Lager, Tech	1.037	1	Hoch	1,3	0,7	1.897	0,4	0,1	3.250
6) Theater (Bühne, Zuschau	25 Theaterbüh	156	3	Sehr hoch	97,3	51,3	1.897	0,8	0,3	3.000
7) Büro	01 Einzelbüro	550	2	Sehr hoch	88,6	46,7	1.897	10,8	3,3	3.250

Tabelle 12-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung



3.4 Kälte										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew ert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) Ausstellung	27 Ausstellung	5.665	1	Sehr hoch	33,0	64,0	516	3,8	8,2	463
2) Restaurant/Küche/Lager	13 Restaurant	215	2	Sehr hoch	64,9	108,1	600	20,7	29,1	711
3) WC Sanitär/Sozialräume	16 WC, Sanitär	200	1	Sehr hoch	46,8	248,1	189	6,9	19,8	349
4) Lager beheizt	15 Küche, Lag	400	1	Mittel	23,4	77,1	303	16,9	24,2	697
5) Technik	20 Lager, Tech	1.037	1	Gering	1,3	8,5	155	1,0	4,7	205
6) Theater (Bühne, Zuschau	25 Theaterbüh	156	1	Hoch	25,9	80,0	324	7,3	12,4	591
7) Büro	01 Einzelbüro	550	1	Mittel	13,4	79,9	167	7,9	13,1	601

Tabelle 12-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte

3.5 Dampfbefeuchtung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew ert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) Ausstellung	27 Ausstellung	5.665	1	Sehr gering	21,5	310,4	69	76,7	128,1	599
2) Restaurant/Küche/Lager	13 Restaurant	215	2	Sehr gering	62,1	936,4	66	378,3	1152,5	328
3) WC Sanitär/Sozialräume	16 WC, Sanitär	200	1	Gering	161,3	2328,3	69	213,4	960,4	222
4) Lager beheizt	15 Küche, Lag	400	1	Sehr gering	47,8	690,4	69	295,5	960,4	308
5) Technik	20 Lager, Tech	1.037	1	Sehr gering	0,5	6,9	69	2,1	9,6	222
6) Theater (Bühne, Zuschau	25 Theaterbüh	156	1	Sehr hoch	52,3	754,5	69	3,9	19,2	205
7) Büro	01 Einzelbüro	550	1	Gering	43,0	620,9	69	56,9	256,1	222

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	0,982	8.074	0,82	-
Dach	0,241	1.980	0,42	-
Kellerdecke	0,257	2.117	0,92	-
Fenster O,S,W	0,129	1.060	2,80	0,35
Fenster N	0,022	180	2,80	0,35
Fenster hor.	0,132	1.088	2,80	0,35
ges. Gebäude	1,763	14.499	1,10	0,35

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften	
spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	3,24 m³/(m²h)
Raumsolltemperatur Heizung	21,0 °C
Raumsolltemperatur Kühlung	21,6 °C
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	227 Lux
Nutzungszeit	2.808 h/a
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	40 Wh/(m²d)

2.1.5 Luftförderung	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	147.640	144.020	m³/h
Dimensionierungsfaktor	555%	541%	
installierte Leistung	124,20	115,50	kW
spezifische Ventilatorleistung	3,03	2,89	kW/(m³ s)
Vollbetriebszeit	1897	1897	h/a
Endenergiebedarf	28,7	26,6	kWh/(m²a)
Primärenergiebedarf	74,5	69,3	kWh/(m²a)

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)	
Nutzenergiebedarf	181,8 kWh/(m²a)
davon Warmwasser	2,7 kWh/(m²a)
zusätzliche Verluste Verteilung*	40,1 kWh/(m²a)
Erzeugernutzwärmeabgabe	221,9 kWh/(m²a)
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	3.575 kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	23%
Erzeugeraufwandszahl	1,00 -
Endenergie Wärmeerzeugung	221,9 kWh/(m²a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Wärmeerzeugung	86,4 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 ² _{NGF} a)		
Raumsystem	121,1	54,6	-
RLT-Anlage	58,0	12,6	18,5
Summe	179	67	-

max. Heiz- bzw. Kühllast		
	Heizung	Kälte
	W/m ² _{NGF}	
Raumsystem	173	73
RLT-Anlage	161	113
Summe	334	185

2.1.4 Beleuchtung

installierte Leistung	201 kW
mittlere Bewertungsleistung	24,4 W/m ²
Vollbetriebszeit	2.110 h/a
Endenergie Beleuchtung	52 kWh/(m ² a)
Primärenergie Beleuchtung	134 kWh/(m ² a)

2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	67,2 kWh/(m ² a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	13,9 kWh/(m ² a)
Erzeugernutzkälteabgabe	81,1 kWh/(m ² a)
maximale thermische Kälteleistung	1.525 kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	172%
Jahreskälteleistungszahl	2,87 -
Endenergie Kälteerzeugung	28,3 kWh/(m ² a)
davon elektrische Energie	100 %
Primärenergieenergie Kälteerzeugung	73,5 kWh/(m ² a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	52,6
Teilkennwert Kalt-/Kühlwasser-Verteilung	196,9 kWh/(KW a)

2.1.8 Dampferzeugung

Endenergiefaktor	1,44 -
Endenergie Dampferzeugung	27 kWh/(m ² a)
Primärenergie Dampferzeugung	19 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

8.223 m²		Grundfläche aller beheizten Zonen			Konditionierung (1=vorhanden)			Nutzenergie			
8.223 m²		Grundfläche aller gekühlten Zonen									
Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche m²	RLT-Anlage Nr	Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Heizung Zone+RLT	Erzeuger	Kälte Zone+RLT	Erzeuger	
Kennwerte bezogen gesamte beheizt bzw . gekühlte Fläche							kWh/(m²a) ¹				
Zone 1	Ausstellung	27 Ausstellung	5.665	2	1 / 1	1	1 / 1	170,0	208,0	78,6	94,7
Zone 2	Restaurant/Küche/Lager	13 Restaurant	215	4	1 / 1	1	1 / 1	202,8	240,8	154,1	186,0
Zone 3	WC Sanitär/Sozialräume	16 WC, Sanitär	200	2	1 / 1	1	1 / 1	654,5	692,4	109,7	134,3
Zone 4	Lager beheizt	15 Küche, Lag	400	1	1 / 1	1	1 / 1	168,3	206,3	55,2	67,0
Zone 5	Technik	20 Lager, Tech	1.037	1	1 / 1	1	1 / 1	104,6	142,6	3,1	3,8
Zone 6	Theater (Bühne, Zuschauer,	25 Theaterbüh	156	3	1 / 1	1	1 / 1	185,3	223,3	61,3	74,4
Zone 7	Büro	01 Einzelbüro	550	2	1 / 1	1	1 / 1	237,5	275,5	31,4	38,4
Zone 8											
Zone 9											
Zone 10											

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 13-3: Übersicht Zonen

2.2.3 Beleuchtungsanlagen									
8.223	m²	Grundfläche aller belichtete Zonen							
Zonenname	Zonen- fläche m²	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungs- stärke Lux	elektrische Bew ertungsleistung			Regelung	Endenergie- bedarf kWh/(m²a) ¹	
Kennw erte bezogen gesamte belichtete Fläche				W/m² ¹	W/(m² 100lux)	Ermittlung			
Zone 1	Ausstellung	5.665	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	200	27,2	13,6	Lamp. zählen	man.	70
Zone 2	Restaurant/Küche/Lager	215	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	200	20,8	10,4	Lamp. zählen	man.	56
Zone 3	WC Sanitär/Sozialräume	200	3 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem E	200	3,3	1,7	Lamp. zählen	man.	0
Zone 4	Lager beheizt	400	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	300	36,9	12,3	Lamp. zählen	man.	0
Zone 5	Technik	1.037	5 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	100	20,0	20,0	Lamp. zählen	man.	4
Zone 6	Theater (Bühne, Zuschauer,	156	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG	1000	17,0	1,7	Lamp. zählen	dim-red	29
Zone 7	Büro	550	7 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem K	500	5,7	1,1	Lamp. zählen	man.	9
Zone 8									
Zone 9									
Zone 10									

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 13-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen

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

Bezeichnung	belüftete Fläche m ²	Heiz-/Kühlregister	Befeuchter / WRG ¹	Zuluft		Abluft		Dimensionierungsfaktor ²	spezifische Leistungsauf. kW/(m ³ /s)	Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN 18599 kWh/(m ³ /h a)	
				max. Vol- umenstrom m ³ /h	max. elektr. Leistung kW	max. Vol- umenstrom m ³ /h	max. elektr. Leistung kW					
Kennwerte bezogen gesamte mechanisch b		8.223			147.640	124,20	144.020	115,50	555%	2,96	55,30	24,71
RLT 1	Lager beheizt/ Anlagen 1, 15	1.437	Hz+Kühlreg.	Dmpf / kein)	13.240	18,20	12.290	10,00	215%	3,98	12%	29,57
RLT 2	Austellung, Büro, Sanitär	6.415	Hz+Kühlreg.	Dmpf / kein)	119.900	96,00	117.930	97,00	725%	2,92	81%	24,52
RLT 3	Theater	156	Hz+Kühlreg.	Dmpf / kein)	5.500	4,00	5.500	4,00	11752%	2,62	3%	23,02
RLT 4	Restaurant	215	Hz+Kühlreg.	Dmpf / kein)	9.000	6,00	8.300	4,50	233%	2,18	4%	21,14

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				

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

8.223	m ²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen						
8.223	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					807	1,00	1,00	222
Wärmeerz. 1		Fernwärme	Fernwärme	1989	807	1,00	1,00	100%
Wärmeerz. 2								

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

Tabelle 13-6: Übersicht Wärmeerzeuger

2.2.7 Dezentrale Kälteerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m 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)

8.223 m ² Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche		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		-	3.412,0	0,00	0,00	0,0	0,00	28,3
Erz. 1	Kälteerzeuger 1 Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei unbekannt)	1989	1706,0	3,10	0,92	2,8	0,35	50%
Erz. 2	Kälteerzeuger 2 - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei unbekannt)	1989	1706,0	3,10	0,92	2,9	0,35	50%
Erz. 3								

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

Tabelle 13-7: Übersicht Kälteerzeuger



Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool

13.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen

Die vom TEK-Tool berechneten Kennwerte stimmen einigermaßen mit den tatsächlich gemessenen Verbrauchswerten überein. Nicht plausibel ist die Tatsache, dass der Hilfsenergiebedarf für die Kälte gleich hoch der eigentlichen Kälteerzeugung ist. Die Luftförderung wurde hoch eingeschätzt. Die Auswahlkriterien in der Version 5.4 zur Bewertung von Luftförderung, Kälte, Dampferzeugung und RTL-Anlagen ist zum Teil verwirrend und lässt Fragen offen.

Basis	$f_{b/v} = ??$

13.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofile DIN V 18599

Die Standardnutzungen nach DIN V 18599 entsprechen im Wesentlichen den vorgefundenen Nutzungen in den Zonen. Wenn die inneren Wärmequellen, die Nutzungszeiten, und die Raumsolltemperaturen von objektspezifisch auf DIN 18599 umgestellt werden, dann ändern sich die vom TEK-Tool berechneten Kennwerte lediglich unmerklich.

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

Standardnutzungsprofil	Diskutierte Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		

Standardnutzungsprofil	Diskutierte Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		

Standardnutzungsprofil	Diskutierte Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		



13.3 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 0-1 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.

Tabelle 0-1: Prozentuale Abweichung von vereinfacht ermittelten Hüllflächen und detailliert ermittelten Hüllflächen (bezogen auf die detailliert ermittelte Hüllfläche)

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)	-10%		-65%	29%	107%
Außenwand (Außenluft)					-74%
Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)					-32%
Dach bzw. oberste Geschossdecke					-62%
Kellerdecken/-fußbodenfläche					42%
ges. Hüllfläche	-35%	ges. Fassadenfl.	-46%	ges. Fensterfl.	29%

Die Differenz zwischen den beiden Verfahren unterscheidet sich um knapp 50 %, eventuell spielt hier eine Rolle, dass das Gebäude im Grundriss dreieckig ist und keine 4 Seiten aufweist

13.4 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 „mittel“ 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 sehr hoch und der Kälte ebenfalls mit sehr hoch ist völlig unverständlich, der Hilfsenergiebedarf für die Kälte liegt mit 52,6 kWh/m²a fast doppelt so hoch wie der eigentliche Kältebedarf mit 28,3 kWh/m²a an sich. Eingangs wurde darauf hingewiesen, dass die Auswahl der Pumpenleistung im Tool, wesentliche Unterschiede für die Bewertung der TEK-Werte aufweist..

14 Interner Anhang – Kurzzeitmessungen

Ausführungen zu den Kurzzeitmessungen:

"7.1 Kurzzeitmessungen des Energieverbrauchs Lüftungsanlage 7 – Zuluft" und

"7.2 Messungen der Innen- und Außentemperatur mit relativer Feuchte"

bitte dem Kapitel 7 entnehmen, die durchgeführten Messungen wurden dort interpretiert.

Fotos Fassade, Anlagentechnik, Beleuchtung, Grundrisse



Fassade West



Fassade Süd



Fassade Nord



Ostseite



Beheizte Glasaufbauten auf dem Dach für indirekte Beleuchtung der obersten Ausstellungsebene.



Lichtdecken und innere Beleuchtung



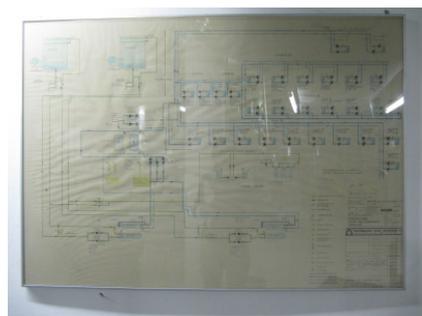
Technik



Kältemaschine 1



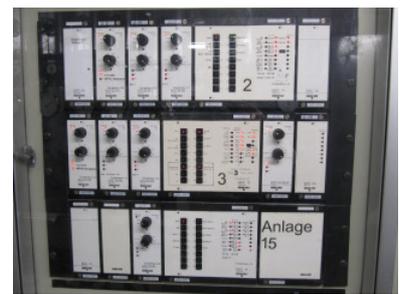
Lüftung



Kälte- Kühlwasserkreislauf

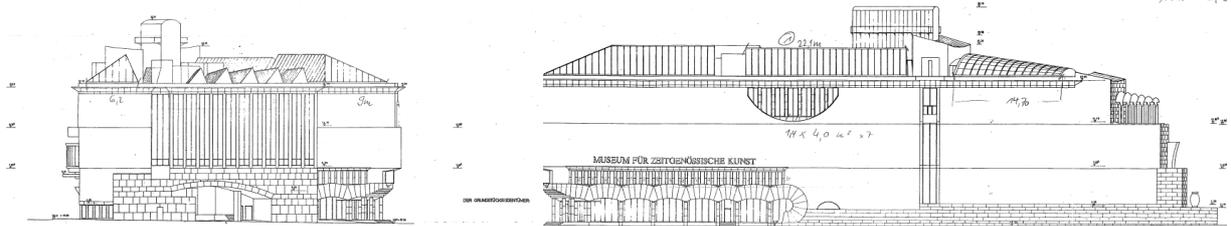


Heizungsverteilung



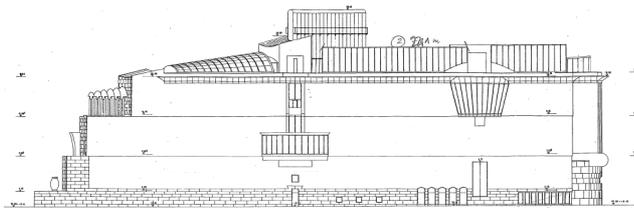
Beispiel: Schaltung Lüftung

Grundrisse, Ansichten, Schnitte

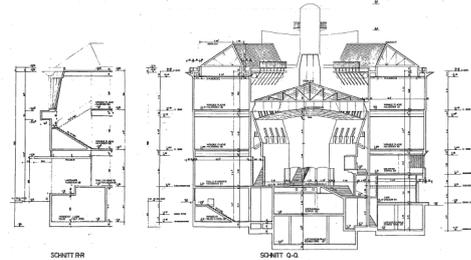


West

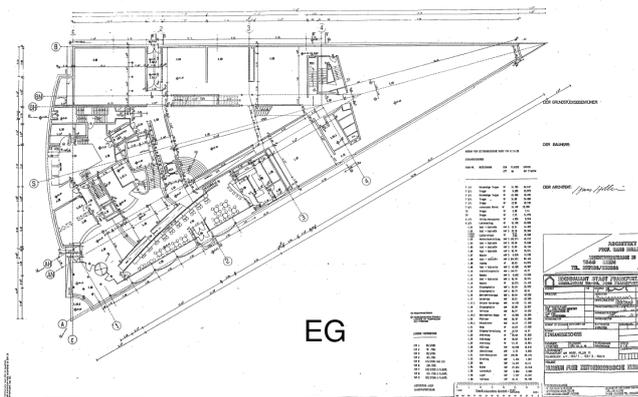
Süd



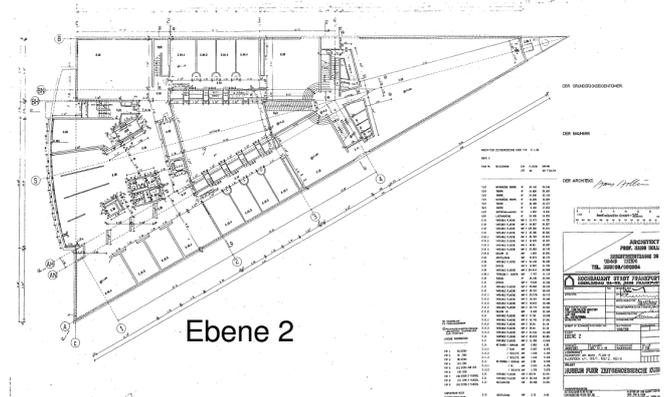
Nord



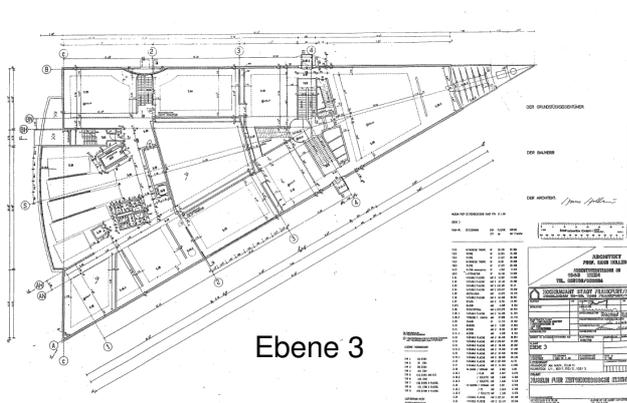
Schnitte



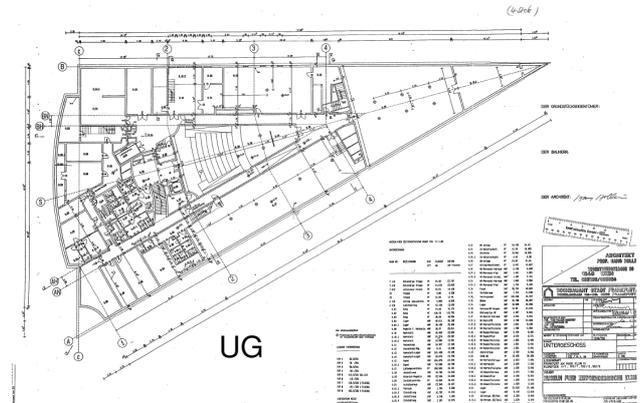
EG



Ebene 2



Ebene 3



UG

15 Interner Anhang Zeitaufwand

Tab. 1: Zeitaufwand für die Gebäudeanalysen			
Projektbeschreibung	-		Museum für Moderne Kunst
Gebäude	-		Museum für Moderne Kunst
Energiebezugsfläche	m ²		8.223
Zeitaufwand für Bearbeitung in h			
Lfd. Nr.	Aufwand in h	Rationalisierungsfaktor	Beschreibung
10,00		1,20	Datenbeschaffung
1	3,00	1,67	Beschaffen und auswerten existierender Unterlagen
2	7,00	1,00	Vor-Ort-Termin
60,00		0,55	Gebäudeanalyse mit TEK-Tool
3	13,00	1,00	Zonierung, Zonenflächen
4	13,00	0,50	Objektspezifische Hüllfläche bestimmen
5	24,00	0,19	Softwareeingabe
6	9,00	1,00	Plausibilitätsprüfung
7	1,00	0,00	Modernisierungsempfehlungen
16,00		1,38	Weitere Untersuchungen
8	1,00	0,00	Verbrauchsanalysen
9	4,00	2,25	Lastganganalysen
10	5,00	2,00	Kurzzeitmessungen
11	6,00	0,50	Dokumentation und Präsentation
2,00		0,00	Sonstiges
12	2,00	0,00	
13	0,00	0,00	
14	0,00	0,00	
88,00		0,76	Gesamt

Tabelle 15-1: Zeitaufwand für Gebäudeanalysen

Der Zeitaufwand für die Gebäudeanalyse wurde beeinflusst durch die enorme Datenmenge.

Das Löschen von Zonen innerhalb des logistischen Aufbaus des Tools hat das Tool ‚zerschossen‘, sodass in der Version 5.4 eine komplette Datenneueingabe notwendig war und sich der Aufwand entsprechend erhöhte.

Der eigentliche, komplette Aufwand zur Bearbeitung des Tools ist insgesamt höher, da es am Anfang viele Fragen zur Klärung, Ausfüllen des Tools und Bedienung gab und das Gesamtprojekt mit Wirtschaftlichkeitsberechnung und Bericht mehrmals korrigiert, verändert und vervollständigt wurde.