Energieberatungsbericht zum Museum Liebieghaus

Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden

Stand: 27.02.2013

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

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

Impressum

Projekt	**T**eil**e**nergie**k**ennwerte von Nicht-Wohngebäuden – Methodische Grundlagen, empirische Erhebungen und systematische Analyse
Kurztitel	**TEK**
Gefördert durch	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Projektteilnehmer	• Institut Wohnen und Umwelt – IWU (Projektleitung) • Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE • Karlsruher Institut für Technologie KIT - Fachbereich Bauphysik & Technischer Ausbau fbta • ARGE-Benchmark • Energie 2000 • Ingenieurbüro Jung • Stadt Frankfurt am Main • Techem Energie-Contracting
Geschäftsadresse	Institut Wohnen und Umwelt GmbH Rheinstraße 65 64295 Darmstadt Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0 Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97
Dokument	Standardbericht_leer_1.4.doc

Hochbauamt Frankfurt am Main
Energiemanagement
Peter Dorn
Gerbermühlstraße 48
60594 Frankfurt am Main
Tel: 069 212-40743
e-mail: peter.dorn2@stadt-frankfurt.de
Hochbauamt Frankfurt am Main

27.02.2013, Frankfurt a. M.
Datum, Ort

Unterschrift, Stempel

Inhalt

1 Zusammenfassung ... 1

2 Einleitung und Aufgabenstellung ... 4

3 Projekt- und Gebäudebeschreibung ... 5

4 Bewertung des Ist-Zustandes ... 6

4.1 Gemessene Verbrauchsdaten ... 6

4.2 Lastganganalysen ... 9

4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme ... 9

4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie ... 11

4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes ... 12

4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch ... 12

4.3.2 Berechnete Energiekennwerte ... 13

5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung ... 16

6 Modernisierungsempfehlungen ... 18

6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Innendämmung mit hydraulisch Abgleich ... 18

6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Dachgeschossdämmung ... 19

6.3 Modernisierungsempfehlung 3: ... 19

6.4 Modernisierungsempfehlung 4: ... 20

6.5 Modernisierungsempfehlung 5: ... 20

6.6 Zusammenfassung und Vergleich ... 21

7 Durchgeführte Messungen ... 22

8 Anhang – Literatur ... 23

9 Anhang: Datenerhebung ... 24

9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen ... 24

9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten ... 25

10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes ... 26

11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit ... 27

12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene ... 28

13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation ... 33

14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool ... 40

14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen ... 40

14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofilen DIN V 18599 ... 40

14.3 Vereinfachte Hüllflächenermittlung 41
14.4 Teilenergiekennwertbewertung 42

15 Interner Anhang Zeitaufwand 45

1 Zusammenfassung

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

Der böhmische Textilfabrikant Baron Heinrich von Liebieg (1839–1904), Mitglied der Familie Liebieg, ließ 1896 die Villa als Altersruhesitz für sich erbauen; entworfen wurde sie von dem Münchener Architekten Leonhard Romeis.

Im Jahr 1907 erwarb die Stadt Frankfurt das Anwesen und widmete das Haus zu einem Museum für die städtische Skulpturensammlung um (aktueller Name: Liebieghaus Skulpturensammlung). Die Sammlung[1] ist eine der bedeutendsten in Europa und umfasst griechische, römische und ägyptische Skulpturen aus der Antike sowie Stücke aus Mittelalter, Renaissance, Barock und Klassizismus als auch Werke aus Ostasien.

Später erfolgte die Erweiterung Anbau Galerie Ostfügel um 1910 und der Neubau Westfügel im Jahr 1986. Die Bruttogeschossfläche BGF beträgt ca 5986 m², NGF mit ca. 4258 m² mit und die beheizte Fläche EBF ca. 3712.

Die Villa ist 4-geschossig und teilunterkellert. Die Galerien 1-gschossiger Bauweise mit Unterkellerung errichtet worden. Die übergroßen Glasdachflächen von ca. 567 m² und die hohen Ausstellungsräume sind die besonderen Merkmale der Liegenschaft. Die Beheizung und Warmwasserversorgung der Gebäude erfolgt zentral mit 2 Gaskesseln. Die Wärmeübertragung erfolgt im teilweise über Radiatoren und über die Lüftungs- u. Klimaanlage.

Ein weiteres Kennzeichen dieses Museums ist der hohe Stromverbrauch, da in der Ausstellung teilweise Tageslicht ähnliche Beleuchtung bereitgestellt wird und eine entsprechende Klimatisierung für die Exponate vorhanden sein muss.

Gallerie Westfügel

Eingangshaus

Eingangshaus Übergang zum Ostflügel

Galerie Ostflügel mit Turm

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

Tabelle 1-1: Zusammenstellung der Modernisierungsempfehlungen

Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen

zurück zu Übersicht

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	336 Außenwandbekleidungen, innen	Innenwanddämmung mit 10cm Silikatplatten	2) empfohlen	Außendämmung wegen Denkmalschutz nicht möglich
2	422 Wärmeverteilnetze	Hydraulischer Abgleich	1) sinnvoll	Spreizung von Vor- und Rücklauf zu gering; Kurzschluß in der Lüftungsanlage
3	361 Dachkonstruktionen	Dachgeschossdämmung 0,14 W/m²K	2) empfohlen	Dachdämmung zu gering; Dachgeschossdecke oberseitig dämmen auf Zielwert 0,14
4	445 Beleuchtungsanlagen	Lampenaustausch mit elektr.Vorschaltgeräten	5) sehr dringend	Stromverbrauch zu hoch zu uneffektiv
5	334 Außentüren und -fenster	Fensteraustausch inder Villa	1) sinnvoll	Alte Fenstersanieren alt oder ersetzen

Aus den Untersuchungen können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

Die Gebäudehülle weist verschiedene Schwachstellen auf.

1.) Eine Sanierung der Gebäudehülle ist wegen des Denkmalschutzes nur von innen möglich und dementsprechend mit hohen Aufwänden und Auflagen verbunden. Bei weiter steigenden Energiekosten können diese Maßnahmen wirtschaftlich werden, sind aber schon zum jetzigen Zeitpunkt ökologisch sinnvoll.

2.) Am kostengünstigen und wirtschaftlichsten ist der Hydraulische Abgleich. Eine Tages-Kurzzeitmessung der Heizung von Vor- und Rücklauftemperaturen ergab, dass die mittlere Temperaturdifferenz von 5 °C relativ zu niedrig ist. Im Mittel sollten 15°C erreichbar sein. Ein hydraulischer Abgleich im Bezug auf Pumpenleistung und Beseitigung eines Kurzschlußsystem in der Klimaanlage sowie Anpassung der Heizleistung an die Heizflächen sind notwendig.

3.) Dachgeschossdeckendämmung sollte durch 26 cm starke Wärmedämmung der WLG 035 ersetzt werden kann ohne größere Umbaumaßen die den Museumsbetrieb längerfristig beeinträchtigen durchgeführt werden.

4.) Eine Umstellung auf die LED-Technik und Lichtsteuertechnik empfiehlt sich. Die Wärmelasten von den Leuchtstoffröhren würde entfallen und somit die Kühl- und Klimaanlage im sommerlichen Betrieb entlasten.

5.) Die Fenster in der Villa sind gegen Passivhausfenster auszutauschen.

2 Einleitung und Aufgabenstellung

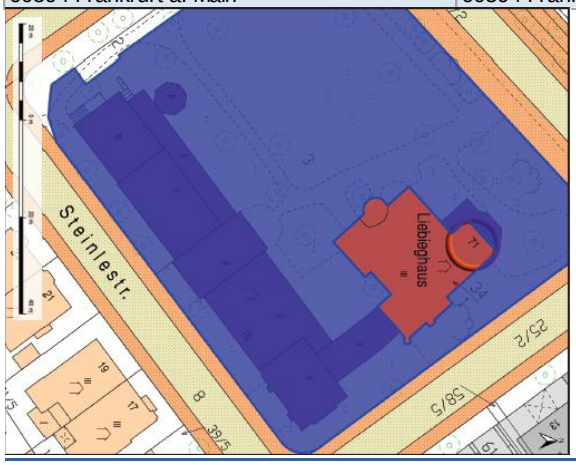
Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojektes „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (Förderkennzeichen: 0327431J Teilkennwerte) werden Werkzeuge für die energetische Analyse von bestehenden Nicht-Wohngebäude entwickelt mit dem Ziel, im Rahmen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

Der Kurzbericht umfasst:

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

3 Projekt- und Gebäudebeschreibung

1.1 Allgemeine Projektinformationen		
Museum für Skulpturensammlung _ mit einem Cafe; Büros u. Werkstätten		
Gebäude	**Eigentümer**	**Energieberatung**
Liebieghaus Skulpturensammlung	Stadt Frankfrurt	Peter Dorn
Teil des Städel Museums	Kulturamt	Hochbauamt Frankfurt a.M.
Schaumainkai (Museumsufer) 71	Brückenstraße 3-7	Gerbermühlstrasse 48
60594 Frankfurt a. Main	60594 Frankfurt a. Main	60594 Frankfurt am Main



1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften					
Gebäudekategorie		Veranstaltungsgebäude	en. Qualität Gebäudehülle H'_T	1,10	W/(m²$_{BTF}$K)
Unterkategorie		Museen, Ausstellungsgebäude	en. Qualität Lüftung H'_V	0,85	W/(m³/h K)
			Fensterant. (oberirdisch)	14	%
Baujahr Gebäude		1896	Anzahl beheiz. Geschlosse	3,6	
Energiebezugsfläche		3.712 m²	Anzahl der Zonen	15	
davon	künst. belichte	114 %	Anzahl der RLT-Anlagen	5	
	mech. belüftet	89 %	Anzahl zentr. Kälteerz.	2	
	gekühlt	86 %	Anzahl zentr. Wärmeerz.	1	
	befeuchtet	81 %			
A/V-Verhältnis		0,33 m-1			

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Die 4-geschossige Villa mit Teilunterkellerung wurde 1896 erbaut.. Später erfolgte die Erweiterung Anbau Galerie Ostfügel in 1-gschossiger Bauweise sowie das Eingangshaus, welche um ca. 1910 errichtet wurden. Der Neubau Westflügel folgte im Jahr 1986. Die Bruttogeschossfläche BGF beträgt ca. 5986 m², NGF mit ca. 4258 m² mit

und die beheizte Fläche EBF ca. 3712 m².

Die übergroßen Glasdachflächen von ca. 567 m² und die hohen Ausstellungsräume sind die besonderen Merkmale der Liegenschaft. Die Beheizung und Warmwasserversorgung der Gebäude erfolgt zentral mit 2 Gaskesseln. Die Wärmeübertragung erfolgt im teilweise über Radiatoren und über die Lüftungs- u. Klimaanlage. Dies bestehen aus großen Klimaanlagen mit Zusatzleistung, die die Radiatorenheizkörperflächen im Ausstellungsbereich unterstützen.

Ein weiteres Kennzeichen dieses Museums ist der hohe Stromverbrauch, da in der Ausstellung teilweise Tageslicht ähnliche Beleuchtung bereitgestellt wird und eine entsprechende Klimatisierung für die Exponate vorhanden sein muss.

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 gemessen Verbräuchen gegenübergestellt (Abschnitt 4.3.1).

4.1 Gemessene Verbrauchsdaten

Für die Verbrauchsanalyse werden die folgenden Verbrauchsdaten des Gebäudes herangezogen:

Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme)

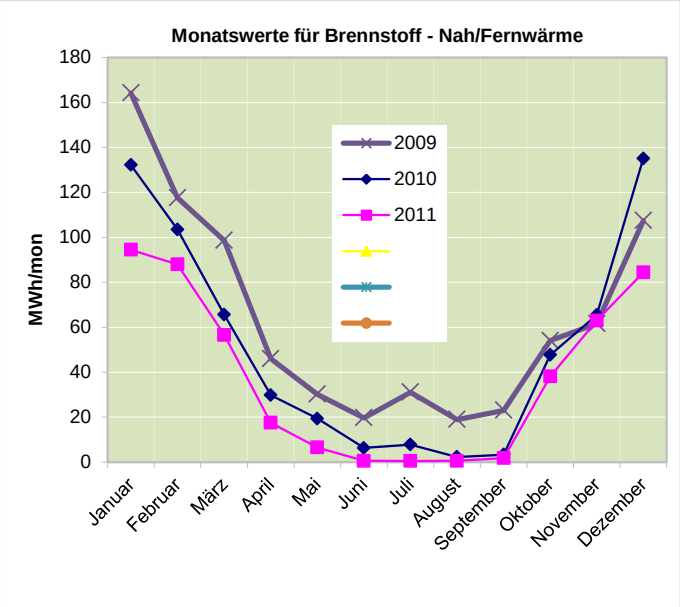
- Monatliche Verbrauchsdaten des Jahres 2009 für den Zeitraum bis zum Ende 2011

  Die Daten wurden einer Klimabereinigung gemäß [3] unterzogen.

Elektrische Energie

- Monatliche Verbrauchsdaten des Jahres 2009 für den Zeitraum bis Ende Dez 2011

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



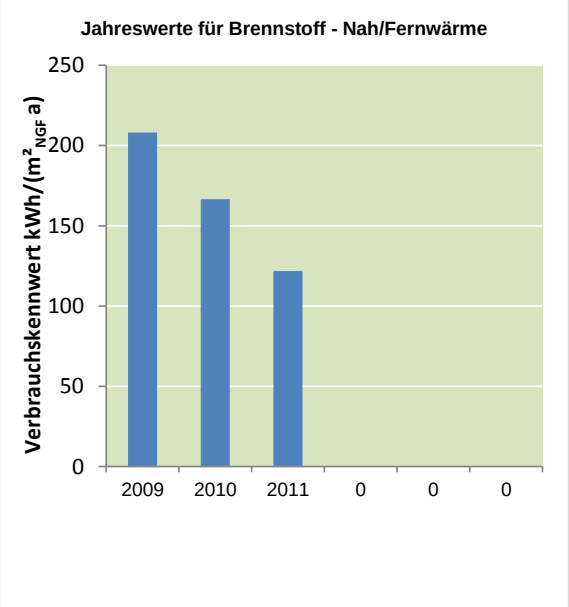
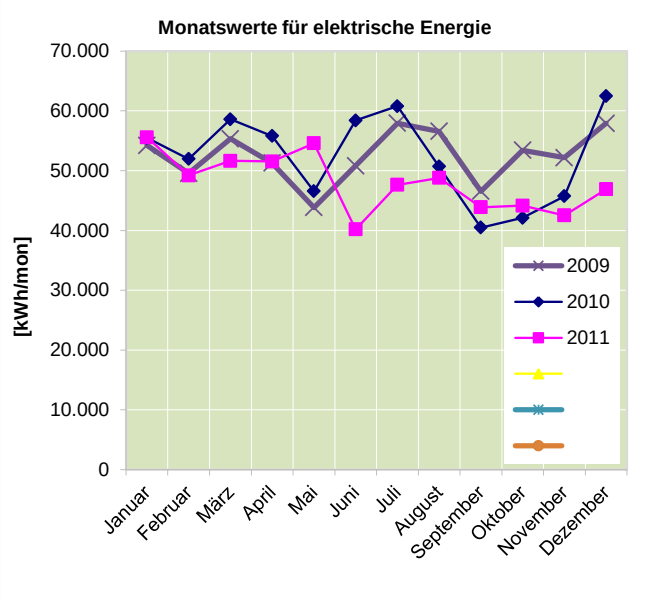


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Brennstoff der letzten 3 Jahre.

Zu bemerken ist, dass im Jahr 2010 die Steuerung der Heizungs- und Lüftungsanlage umgebaut wurde. Die Einregulierung erfolgte der Anlage erfolgte im Frühjahr 2011. Die Auswirkungen zeigen sich besonders deutlich beim Heizenergieverbrauch (siehe Abbildung oben).

Der Stromverbrauch wurde teilweise um 10 % der Vorjahreswerte gesenkt. Dieser Wert ist auch durch die manuelle Steuerung der Lichtanlage im Museumsbereich mit beeinflusst.



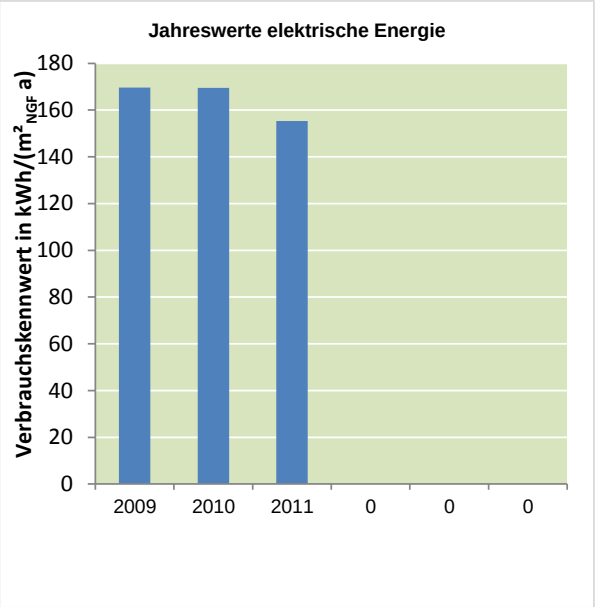


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie der letzten 3 Jahre

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 unter-

suchten Gebäudes ist dabei als Prozentwert der Referenzwerte angegeben, d. h. die Referenzwere ntsprechen 100 %.

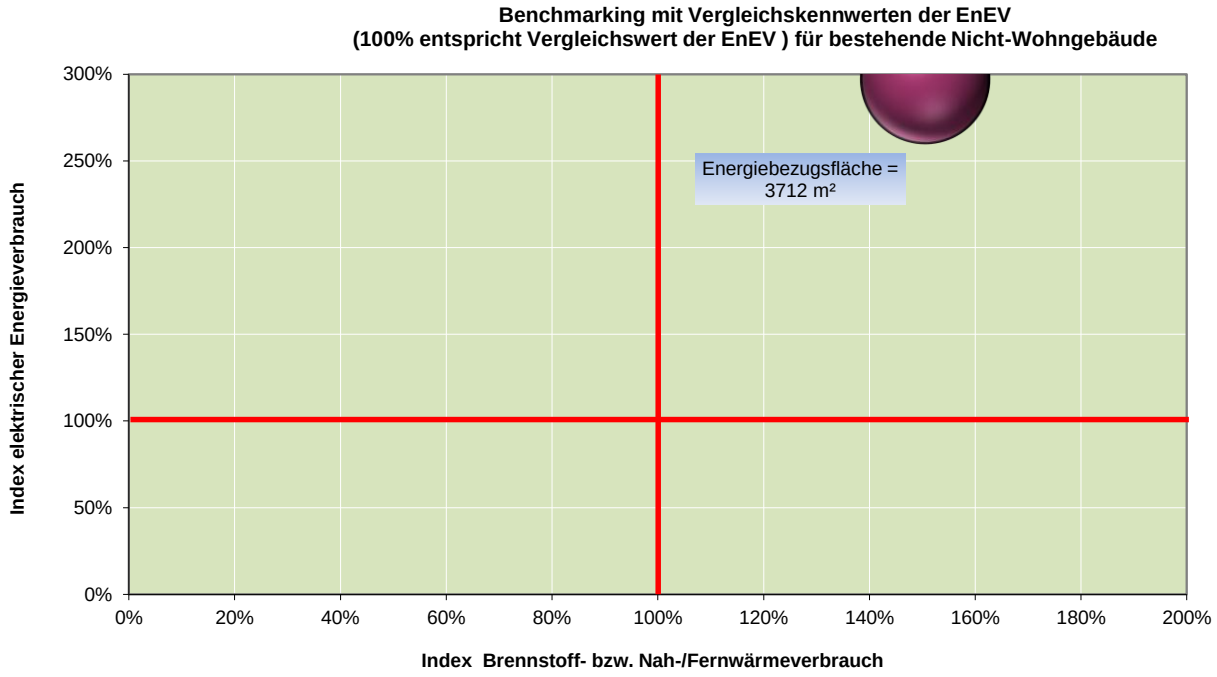


Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)

Eingaben für Benchmarking mit Vergleichswerten (für bestehende Nicht-Wohngebäude) EnEV 2009			
	Teilfläche 1	Teilfläche 2	Teilfläche 3
Nummer nach Tabelle 2.1 bzw. Tabelle 2.2 (siehe unten)	9120	2100	1300 ≤ 3500 m²
Gewählte Gebäudekategorie der EnEV	Ausstellungsgebäude	Hörsaalgebäude	Verwaltungsgeb. , normale techn. Aus.
Flächenanteil an gesamter beheizter NGF	72%	14%	14%
Vergleichswert Heizung und Warmwasser	75	90	80
Vergleichswert Strom	40	40	20

	Ist-Verbrauch	Ist-Kennwert	Vergleichswert - EnEV 2009	Verbrauchsindex
	MWh/a	kWh/(m²$_{NGF}$ a)	kWh/(m²$_{NGF}$ a)	-
Brennstoff - Nah/Fernwärme	313	118	78	151%
elektrische Energie	180	68	37	182%

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

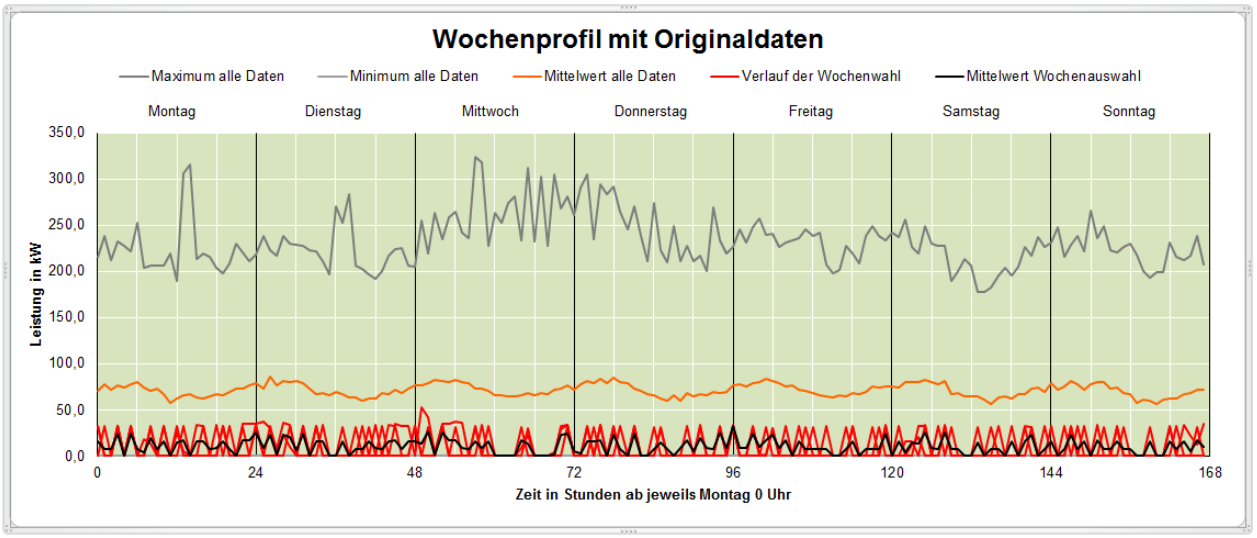
Die Verbrauchswerte aus den Jahren 2009 und 2011 liegen weit über den Vergleichswerten für Ausstellungs- und Verwaltungsgebäuden. Für die Sondernutzung und deren Nutzungsprofil gibt es zur Zeit keine statische Vergleichszahlen und Kennwerte. Da die Verwaltungsgebäude den Museum am nächsten liegt, wurde dieses gewählt. Aufgrund der mangelhaften Steuerungsmöglichkeiten, der alten Leuchtstoffröhren und hohen Beleuchtungsanforderung sind die Energiewerte des Verbrauches weit über den üblichen Kennzahlenbereich.

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:

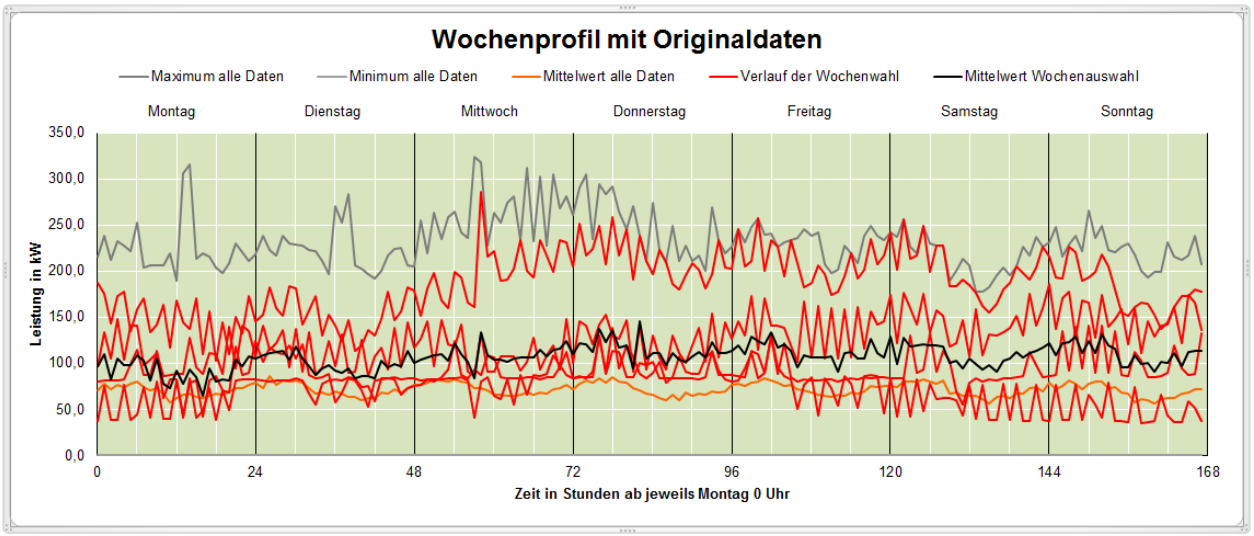
4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme

Brennstoff Gas im Monat Juli 2010

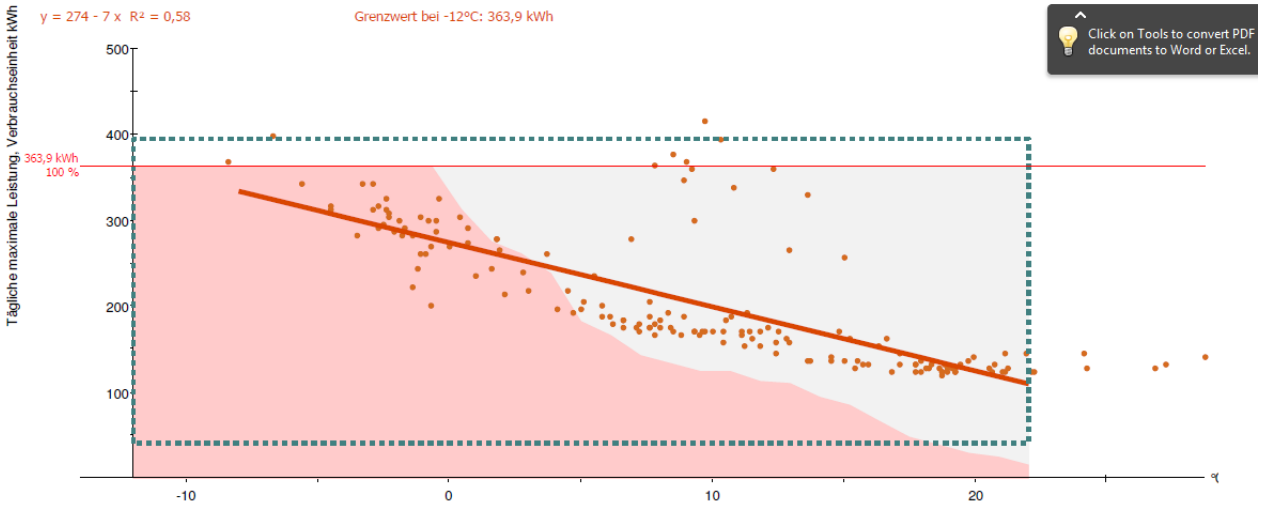


- Die Grundlast liegt bei ca 18 -20 kW während der Sommermonate

- **Brenstoffverbrauch im Monat Nov 2010**



- Die kurzfristige Spitzenleistung kann zeitweise über 400 kW betragen, was auf Grund der Stundenwerte nicht bildlich dargestellt wird, da die Werte Durchschnittszahlen sind. Das nachfolgende Bild zeigt dieses nachvollziehbar. Des Weiteren erkennt man, dass die Leistung der 2 Heizkessel von insgesamt 540 kW nicht gebraucht wird(siehe auch die Regressionsanalyse). Auffallend ist auch die starke Taktung der 2 Heizkessel. Dies wird die Kurzzeitmessung im Detail (siehe Anhang 10) deutlich dargestellt.



- Die Regressionsanlyse zeigt, dass die maximale Heizleistung bei ca. 370 kW liegt. Die Auslegung auf 440 kW der Heizungsanlage würde demnach auch ausreichen, zu mal die die Anlage nicht hydraulisch abgeglichen ist. Der Einsatz eines BHKW's bietet hier sich an, da die Grundlast an Wärme von ca 10-20 kW gegeben ist.

4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie

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

Elektrische Energie aus dem Jahr 2010

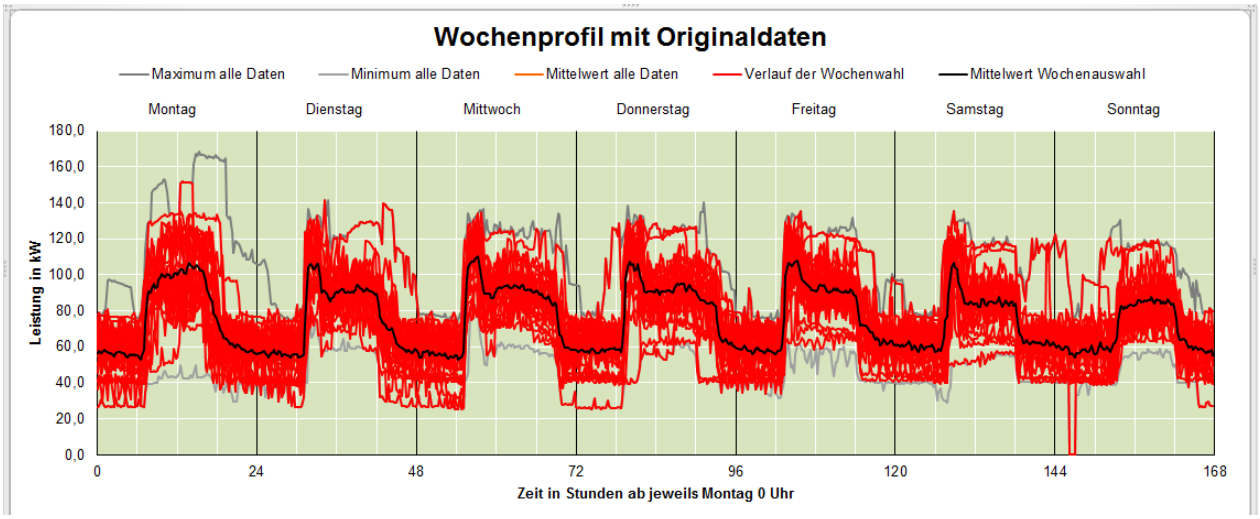


Abbildung 4-4: Wochenprofile des elektrischen Energieverbrauchs

Aus den Profildaten erkennt man, dass eine stetige Grundlast an Strom von ca. 40 kW (Bild 4-5) verbraucht wird. Die Hauptverursacher sind die Pumpen der Heizungs-, Kühl- und Klimatisierungsanlagen. Besonders Tagsüber steigt der Stromverbrauch wegen der Tageslichteinstrahlung und der Beleuchtungsanlage der Ausstellung stark an. Die Grundlast im Ausstellungsbetrieb liegt dann bei ca. 110 kW.

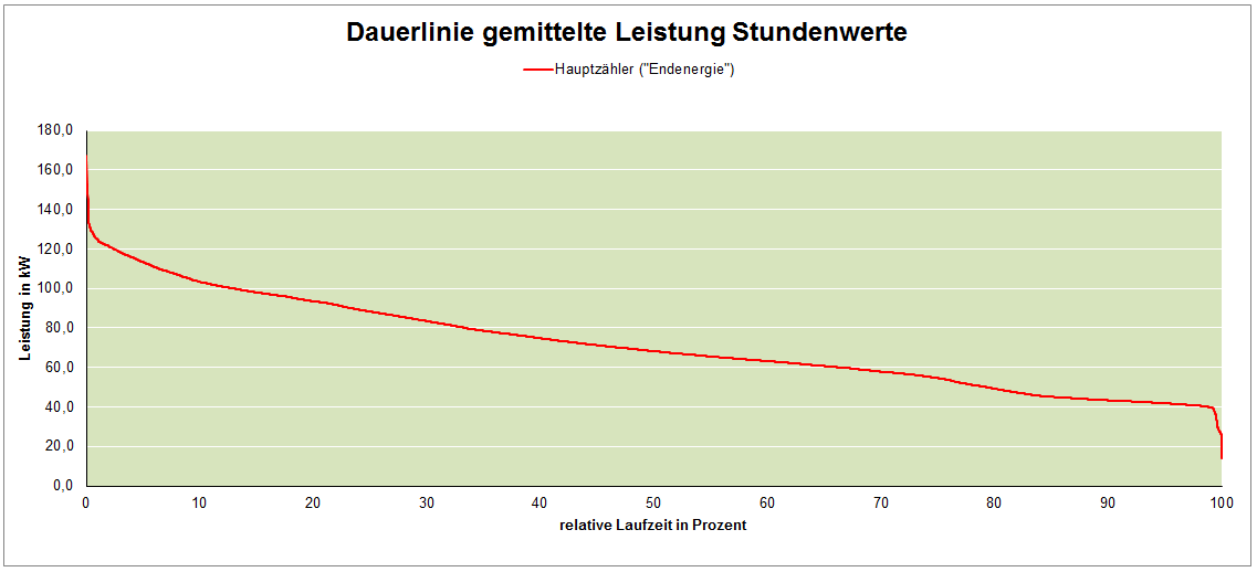


Abbildung 4-5: Auswertung des elektrischen Energieverbrauchs in der Nutzungszeit und der Standby-Zeit des Gebäudes

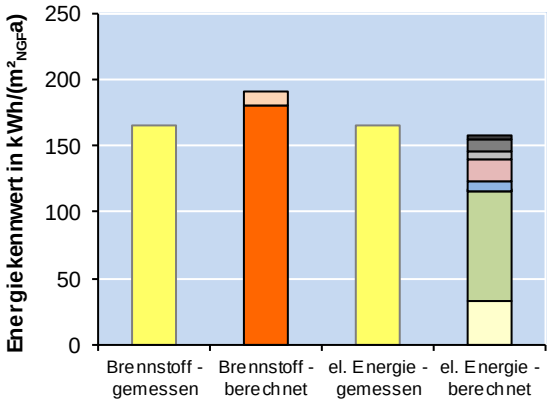
4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

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

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

4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch

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



1.3 Gemessene und berechnete Energiekennwerte (Endenergie; Gebäudeebene)

	berechnete Kennwerte Brennstoff/FW kWh/(m² a)	el. Energie kWh/(m² a)
Diverse Technik *	-	3,3
Zentrale Dienste **	0,0	8,5
Arbeitshilfen	-	7,0
Dampf	0,0	15,5
Hilfsenergie Kälte	-	8,4
Kälte	0,0	0,0
Luftförderung	-	82,2
Beleuchtung	-	33,0
Warmwasser	11,1	0,0
Heizung	180,7	0,0
ges. Gebäude	191,8	157,9

		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener Verbrauch	kWh/(m²a)	165	165
	MWh/a	614	612
berechneter Bedarf	kWh/(m²a)	192	158
	MWh/a	712	586
Verh. Bedarf/Vebrauch - $f_{b/v}$		1,16	0,96

1.4 Berechnungseinstellungen

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

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

Die Verbrauchswerte aus den Jahren 2009 bis 2011 liegen weit über den Vergleichswerten für Ausstellungs- und Verwaltungsgebäuden. Aufgrund der mangelhaften Steuerungsmöglichkeiten, der übergroßen Glasdächer der alten Leuchtstoffröhren und hohen Beleuchtungsanforderung sind die Energiewerte des Verbrauches weit über den üblichen Kennzahlenbereich. Vergleichszahlen in der EnEV liegen für diese Art von Nutzung und Betrieb nicht vor.

Erst die Optimierung der Anlagentechnik und der Betriebsführung lassen hohe Einsparungen erwarten.

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 CO2-Emissionen auf Gebäudeebene						
	Nutzenergie		Endenergie		Primär-	CO_2-
	Zonen/RLT	Erzeuger	Brennstoff	el. Energie	energie	Emission
			kWh/(m² a)			kg/(m² a)
Heizung	105,1	141,9	180,7	0,0	183,3	49,8
Warmwasser	5,7	8,7	11,1	0,0	11,3	3,0
Beleuchtung	-	-	-	33,0	85,7	20,9
Luftförderung	-	-	-	82,2	213,7	52,0
Kälte	186,7	230,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	8,4	22,0	5,3
Dampf	13,4	-	0,0	15,5	40,3	9816,1
Arbeitshilfen	-	-	-	7,0	18,3	5,7
Zentrale Dienste	-	-	0,0	8,5	22,2	5,4
Diverse Technik	-	-	-	3,3	8,5	2,1
gesamt	310,8	380,9	191,8	157,9	605,2	9960,3

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

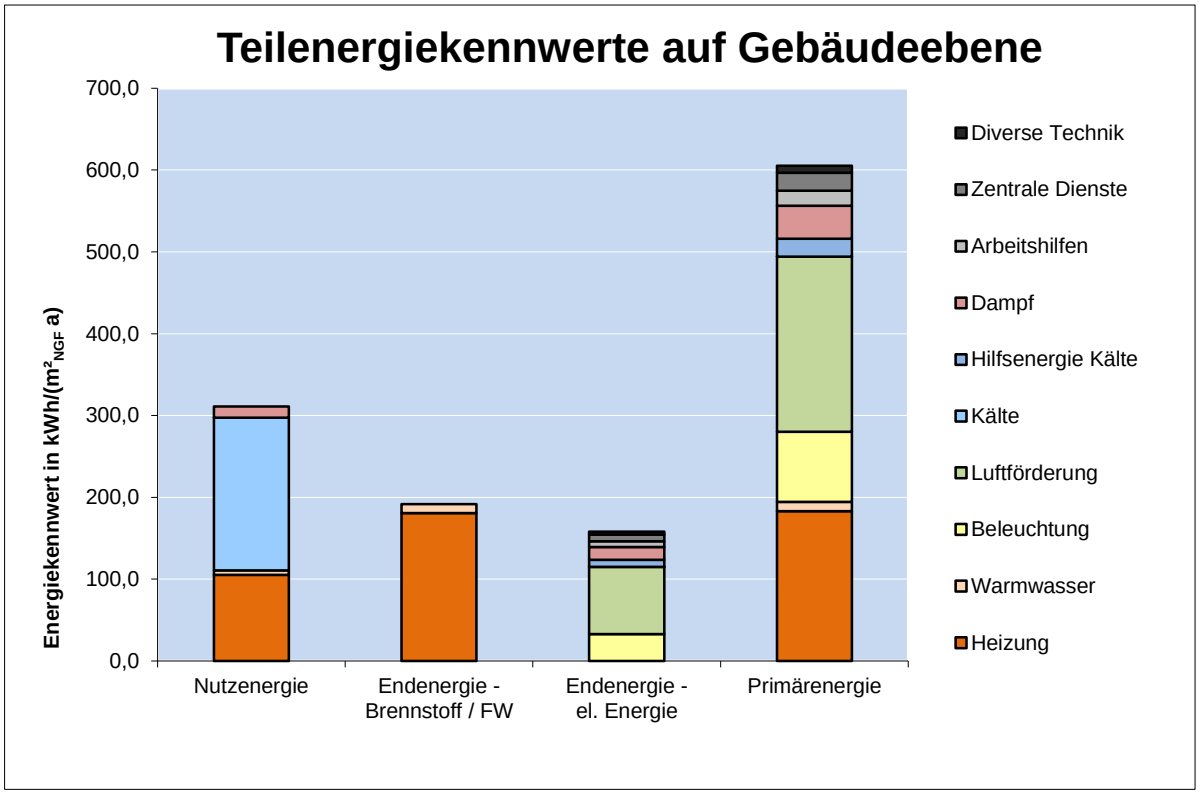


Abbildung 4-7: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand

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.

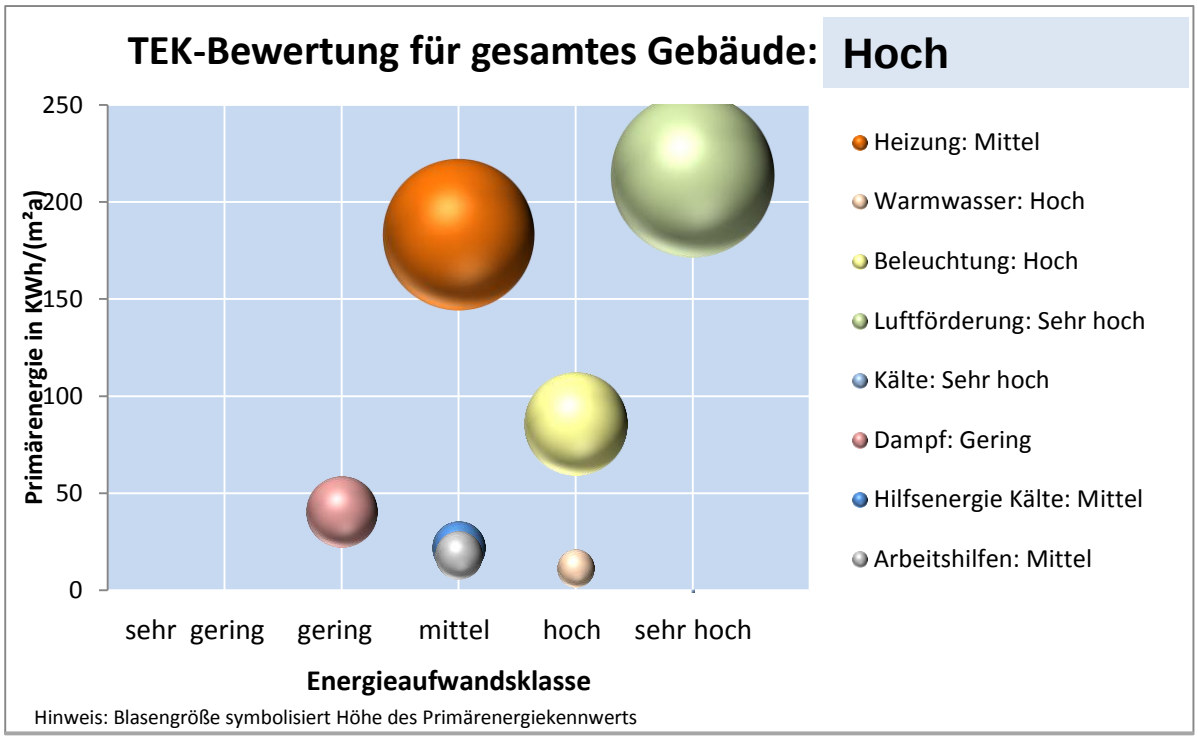


Abbildung 4-8: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung

Um dem internationalen Museumsstandards zu entsprechen, müssen folgende klimatische Museumsstandards in den Räumen eingehalten werden: 19-25°C Raumtemperatur bei 45-55% relativer Luftfeuchtigkeit. Temperaturen dürfen innerhalb von 24 Stunden um 10% schwanken. Diese Anforderungen das die elektrischen Verdampfer der Kühlanlagen viel Strom verbrauchen, um die klimatischen Bedingungen zu erfüllen. Dies Weiteren sind die Anforderungen gleichmäßiges Tageslicht zu jeder Uhrzeit für Ausstellung bereit zu stellen mit hohen Beleuchtungsaufwand verbun-

den. Das alte Beleuchtungssystem in den Glasdächern mit der Vielzahl der Neonröhren ist nicht mehr zeitgemäß.

Der hohe Wärmeverbrauch resultiert zu einem aus langgestreckten und verwinkelten Gebäudeform die entsprechende der Baualtersklasse und Baumaterialen einen hohen Energiebedarf /-verbrauch verursacht.

5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung

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

Tabelle 5-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude

Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen

zurück zu Übersicht

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	336 Außenwandbekleidungen, innen	Innenwanddämmung mit 10cm Silikatplatten	2) empfohlen	Außendämmung wegen Denkmalschutz nicht möglich
2	422 Wärmeverteilnetze	Hydraulischer Abgleich	1) sinnvoll	Spreizung von Vor- zund Rücklauf zu gering; Kurzschluß in der Lüftungsanlage
3	361 Dachkonstruktionen	Dachgeschossdämmung 0,14 W/m²K	2) empfohlen	Dachdämmung zu gering; Dachgeschossdecke oberseitig dämmen auf Zielwert 0,14
4	445 Beleuchtungsanlagen	Lampenaustausch mit elektr.Vorschaltgeräten	5) sehr drin-gend	Stromverbrauch zu hoch zu uneffektiv
5	334 Außentüren und -fenster	Fensteraustausch inder Villa	1) sinnvoll	Alte Fenstersanieren alt oder ersetzen

6 Modernisierungsempfehlungen

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

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

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

6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Innendämmung mit hydraulisch Abgleich

Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1 -

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 1	Modernisierungsempfehlung 1
Modernisierungsziel		**Vergleich mit**	-		**Hydr./Dämm**
Jährliche Gesamtkosten					
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	0	€/a	K_K	30.000
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	254.000	€/a	$K_{E,m}$	220.000
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	21.000	€/a	$K_{W+I,m}$	4.000
mittlere jährliche Gesamtkosten	**K_a**	**275.000**	**€/a**	**K_a**	**254.000**
Energiebedarf					
Endenergiebedarf Wärme 1		712	MWh/a		593
Endenergiebedarf Wärme 2		-	MWh/a		
Endenergiebedarf Strom		586	MWh/a		526

Eine Sanierung der Gebäudehülle ist wegen des Denkmalschutzes nur von innen möglich und dementsprechend mit hohen Aufwänden und Auflagen verbunden. Bei weiter steigenden Energiekosten können diese Maßnahmen wirtschaftlich werden, sind aber schon zum jetzigen Zeitpunkt ökologisch sinnvoll.

Die Einzelmaßnahmen ist je nach Wandaufbau mit einem U-Wert zwischen =< 0,45 ausgelegt, so das eine Förderung über die KfW-Bank mit 300,- €/m² Nettogrundfläche möglich ist. Der Heizenergiebedarf würde um ca. 8 % absinken, da es sich um Teilflächen handelt. Unter Kostengesichtspunkten ist diese Maßnahme bei den jetzigen Energieeinstandspreisen auf die Lebensdauer von 40 Jahren bezogen noch nicht wirtschaftlich, aber empfehlenswert mit der Förderung der Zuschüsse der KfW-Bank.

In Verbindung mit einem hydraulischen Abgleich könnte der Effekt wesentlich gesteigert werden, sodass mit einer Einsparung bis 16 % von der Ausgangsvarinate zu rechnen ist.

6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Dachgeschossdämmung

Abbildung 6-2: Modernisierungsempfehlung 2 -

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		ME 2	Modernisierungsempfehlung 2	
Modernisierungsziel		Vergleich mit	-		Dach	
Jährliche Gesamtkosten						
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	0	€/a	K_K	4.000	€/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	254.000	€/a	$K_{E,m}$	246.000	€/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	21.000	€/a	$K_{W+I,m}$	0	€/a
mittlere jährliche Gesamtkosten	**K_a**	**275.000**	**€/a**	**K_a**	**250.000**	**€/a**
Energiebedarf						
Endenergiebedarf Wärme 1		712	MWh/a		667	MWh/a
Endenergiebedarf Wärme 2		-	MWh/a			MWh/a
Endenergiebedarf Strom		586	MWh/a		585	MWh/a

Dachgeschossdeckendämmung sollte durch 26 cm starke Wärmedämmung der WLG 035 ersetzt werden kann ohne größere Umbaumaßen die den Museumsbetrieb längerfristig beeinträchtigen durchgeführt werden. Die Maßnahme spart ca. 9 % Heizkosten ein und ist kostengünstig und sehr wirtschaftlich. Die Stromverbrauch steigt im Gegenzug leicht an, da mehr Kühlung im Eingangsgebäude benötigt wird.

6.3 Modernisierungsempfehlung 3:

Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 3 – Umstellung der Beleuchtungsanlage

dit

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Ist	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		Modernisierungsempfehlung 3	
Modernisierungsziel		Vergleich mit	-	LED	
Jährliche Gesamtkosten					
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	K_K	0	€/a	17.000	€/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	$K_{E,m}$	254.000	€/a	244.000	€/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	$K_{W+I,m}$	21.000	€/a	0	€/a
mittlere jährliche Gesamtkosten	**K_a**	**275.000**	**€/a**	**261.000**	**€/a**
Endenergiebedarf Wärme 1		712	MWh/a	757	MWh/a
Endenergiebedarf Wärme 2		-	MWh/a		MWh/a
Endenergiebedarf Strom		586	MWh/a	500	MWh/a

Eine Umstellung auf die LED-Technik und Lichtsteuertechnik empfiehlt sich, da der Strombedarf von 585 MWh/a auf 500 MWh/a fällt und was einer Einsparung von ca. 86 MWh/a entspricht. Da der Stromverbrauch für die Lampen reduziert sich um ca. 60 % von 31 MWh/a auf ca. 12 MWh/a. Die Haupteinsparung kommt von den entfallenen Wärmelasten der Leuchtstoffröhren KVG und Halogenleuchten und belasten somit nicht mehr die Kühl- und Klimaanlage im sommerlichen Betrieb. Im Gegenzug steigt der Heizwärmebedarf um 44 MWh/a an und muss der Stromeinsparung entgegen gerechnet werden. Zu beachten ist hierbei, dass die Heizkosten pro kWh nur ca. 1/3 der Stromkosten pro kWh betragen.

6.4 Modernisierungsempfehlung 4:

Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 4- Austausch/Rekonstruktion der alten Fenster in der Villa

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		Modernisierungsempfehlung 4	
Modernisierungsziel	**Vergleich mit**	-	**Fenster**	
Jährliche Gesamtkosten				
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	0	€/a	6.000	€/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	254.000	€/a	250.000	€/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	21.000	€/a	1.000	€/a
mittlere jährliche Gesamtkosten	**275.000**	**€/a**	**257.000**	**€/a**
Energiebedarf				
Endenergiebedarf Wärme 1	712	MWh/a	690	MWh/a
Endenergiebedarf Wärme 2	-	MWh/a		MWh/a
Endenergiebedarf Strom	586	MWh/a	585	MWh/a

Die Fenster in der Villa sind gegen Passivhausfenster oder überarbeitete Kastenfenster auszutauschen. Der Austausch der alten Fenster ist teilweise problematisch, da die Villa unter Denkmalschutz steht und dadurch auf Standardbauteile nicht ohne weiteres zurückgegriffen werden kann. Aber hier eröffnet sich die Change die alten Kastenfenster mit Passivhausbauelementen zu rekonstruieren. Die Maßnahme ist teilweise nicht wirtschaftlich, da verschiedene Fenster in der ursprünglichen Villa aus Denkmalschutzgründen unter hohen Kostenaufwand speziell ersetzt werden müssen.

6.5 Modernisierungsempfehlung 5:

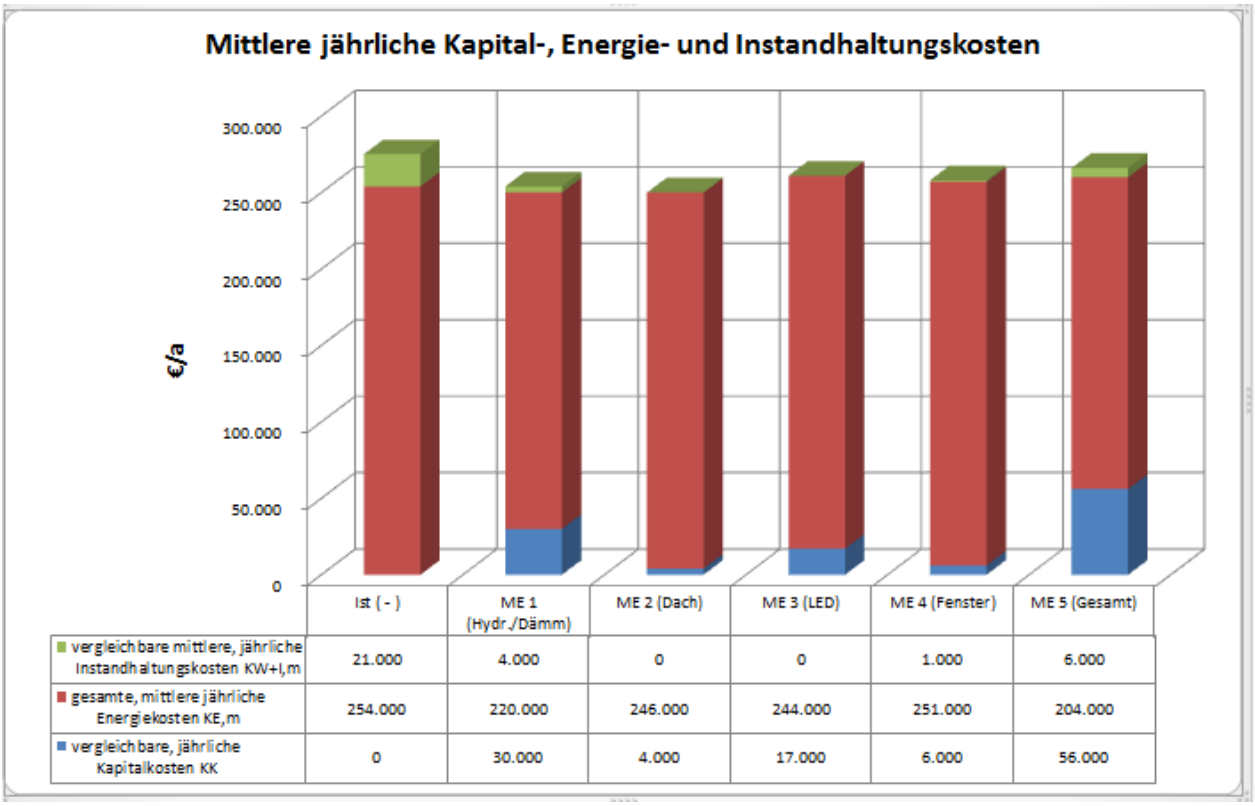
Abbildung 6-5: Modernisierungsempfehlung 5 – Gesamt Paket der voran gegangenen Maßnahmen

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung	Bauteil bzw. Anlage im Bestand		Modernisierungsempfehlung 5	
Modernisierungsziel	**Vergleich mit**	-	**Gesamt**	
Jährliche Gesamtkosten				
vergleichbare, jährliche Kapitalkosten	0	€/a	56.000	€/a
gesamte, mittlere jährliche Energiekosten	254.000	€/a	204.000	€/a
vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten	21.000	€/a	6.000	€/a
mittlere jährliche Gesamtkosten	**275.000**	**€/a**	**266.000**	**€/a**
Energiebedarf				
Endenergiebedarf Wärme 1	712	MWh/a	594	MWh/a
Endenergiebedarf Wärme 2	-	MWh/a		MWh/a
Endenergiebedarf Strom	586	MWh/a	449	MWh/a

Das Gesamtpaket bildet ein Optimum was mittelfristig umgesetzt werden könnte. Als weitere Maßnahme könnte man dann über den Einsatz eines BHKW's nachdenken (siehe Kap. 4.2.1) wenn die Maßnahmen abgeschlossen sind und, eine neue Dauergrundlast-Analyse an Wärme und Strom erfolgt ist.

6.6 Zusammenfassung und Vergleich

Abbildung 6-6 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen



Kommentare und Interpretationshilfen, wenn erforderlich

Die Maßnahme M2 (Dachgeschossdämmung) sollte sofort durchgeführt werden und ist sofort wirtschaftlich, da diese von den Maßnahmen von den Investitionen den geringsten Aufwand und den höchsten Kapitalrückfluss bringt.

Als weitere investive Maßnahme (M1) sollte die Heizungsanlage und die Klimaanlage überprüft und etwaige hydraulische Kurzschlüsse und Fehleinstellungen beseitigt werden. Die Pumpen gegen Hocheffizienzpumpen ausgetauscht und hydraulischer Abgleich durchgeführt werden. Die Innendämmung kann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

Da die Strompreise durch die absehbare Erhöhung der EEG-Umlage steigen und die Effizienz der Beleuchtung des Museums nicht mehr heutigen neusten technischen Stand entspricht, empfiehlt es sich die Umrüstung jetzt schon vorzunehmen, obwohl die „mittleren jährlichen Gesamtkosten“ höher sind als im jetzigen Istzustand.

Wenn das Gesamtpaket durchgeführt ist und die Anlagentechnik auf die neue Situation sich eingeschwungen hat, sollte man den Einsatz eines BHKW’s überprüfen.

7 Durchgeführte Messungen

Die Stromdaten wurden als ¼-Stundenwerte vom Energieversorger über den Zeitraum von 3-Jahren zur Verfügung gestellt. Hieraus konnten monatliche Verbrauchwerte, Lastprofile und Kennlinien über die ganze Liegenschaft erstellt werden.

Für die Heizung konnte anhand eines Datenlogger am Gaszählers und Datenübertragung an unser EDV-System HEIDEC SOL wurden die ¼-Stundenwerte über einen von Zeitraum von 3-Jahren zur Verfügung gestellt. Hieraus konnten aus den hinterlegten Funktionen Lastprofile und Kennlinien sowie eine Regressionsanalyse abgerufen werden. Anhand diese Analyse kann geschlossen werden in wieweit die Heizungsanlage über die 3-Jahre Leistungsmäßig ausgelastet war und welche Leistung bei einer Neuanschaffung der Heizung zu wählen ist.

Um eine Aussage über die **Effektivität der Heizungsanlage** machen zu können, wurde eine Kurzzeitmessung von **Vor- und Rücklauftemperaturen** mit Hilfe eines Datenloggers vorgenommen, um das Betriebsverhalten und Hinweise mögliche hydraulische Fehler zu finden. Siehe hierzu Kapitel 10.

8 Anhang – Literatur

[1] Knissel, Jens und Hörner, Michael: Bewertung des Stromeinsatzes in Nicht-Wohngebäuden mit der Teilkennwertmethode; HLH Bd. 56, Dez. 2005, S. 66-70

[2] VDI 3807-4: VDI 3807-4:2008-08 Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie; Beuth Verlag, Berlin 2008

[3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand; Berlin, 2009

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

9 Anhang: Datenerhebung

9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

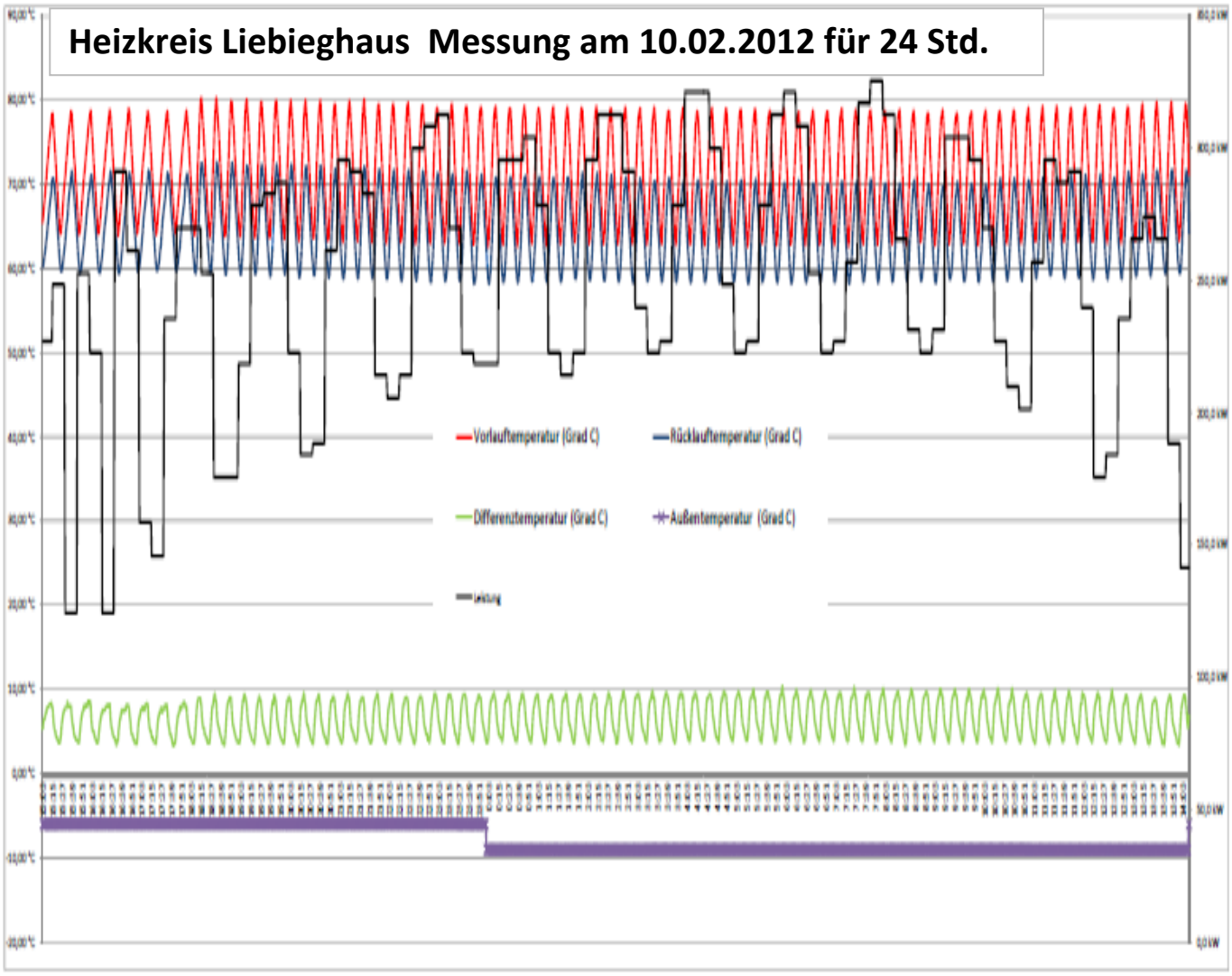
Beschreibung	Aktualität (- / 0 / +)	Bemerkung
☐ Architektenpläne ☑ bemaßte Grundrisse, 1:200 ☑ bemaßte Schnitte, 1:200 ☐ Ansichten	+	Fotos für die Ansichten
☐ Baubeschreibung		-
☐ EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung		-
☐ ☑ Raumbuch, Flächenangaben ☐ Angaben für Gesamtgebäude nach Kategorien DIN 277 ☐ Angaben geschossweise ☐ Angaben nach Nutzungszonen		Siehe beigefügte Dateien
☐ Technische Unterlagen Gebäudehülle ☐ Bauteilkatalog ☐ Sonstiges		Nicht vorhanden
☐ Technische Unterlagen Wärmeversorgungs-anlagen ☐ Schemata ☐ Anlagen- und Funktionsbeschreibung ☐ Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		Anlagen und Funktionsbe-schreibung
☐ Technische Unterlagen Kälteversorgungsan-lagen ☐ Schemata	+	Nicht vorhanden nur Bilder von der Steuerung

☐ Anlagen- und Funktionsbeschreibung ☐ Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
☐ Technische Unterlagen RLT-Anlagen ☐ Schemata ☐ Anlagen- und Funktionsbeschreibung ☐ Lüftungsgesuch ☐ Abnahmemessungen ☐ Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
☐ Technische Unterlagen Beleuchtungsanlage ☐ Anlagen- und Funktionsbeschreibung ☐ Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		Nicht gesucht, da nicht gebraucht
☐ Wartungsunterlagen ☐ Verträge ☐ Protokolle		Vermutlich vorhanden, nicht gebraucht
☐ Sonstige Unterlagen		

9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten

Nr.	Größe	Angenommene Ausprägung	Bemerkung

10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes



Auffälligkeiten

1.) hohe Vorlauf- und Rücklauftemperaturen ; deshalb keine Brennwertausnutzung möglich

2.) Spreizung im Abgesenkten Bereich nur 6-9°C

3.) Im Abgesenkten Bereich starke Schwankungen

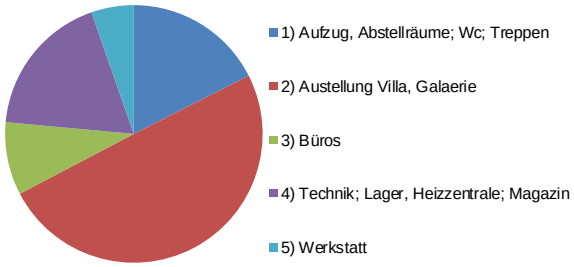
4.) hohe Taktungen

5.) Spreizung im Hochtemperaturbereich noch zu niedrig

Gründe :
Zwei getrennte Regelkreise (Klimaanlage Nachheizung und Heizflächen), die nicht aufeinander abgestimmt sind.

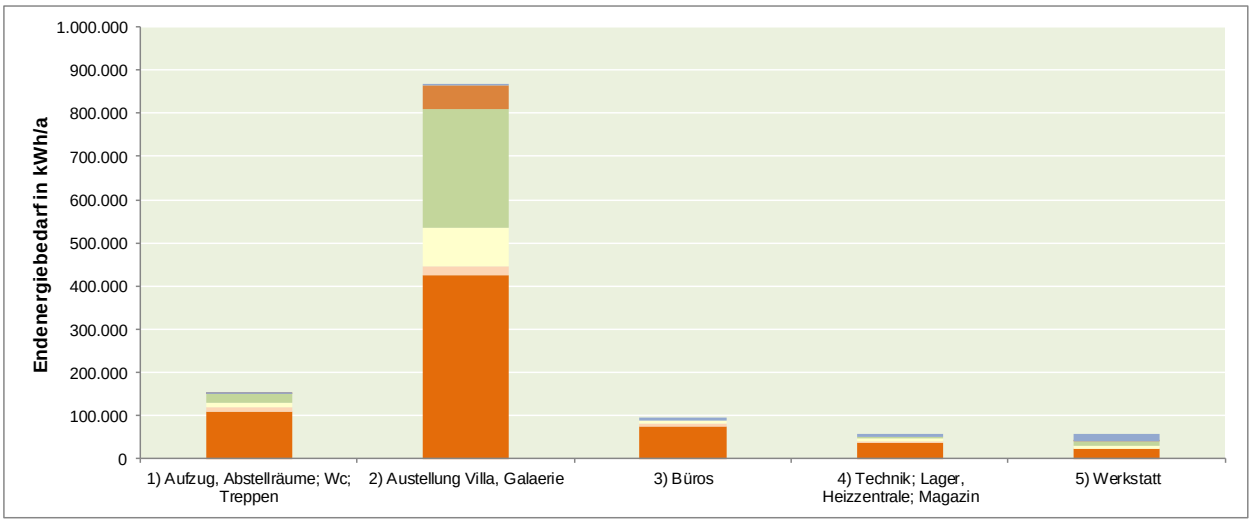
11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



	Fläche m²	Anteil an beh. NGF
1) Aufzug, Abstellräume; Wc; Treppen	743	20%
2) Austellung Villa, Galaerie	2.107	57%
3) Büros	387	10%
4) Technik; Lager, Heizzentrale; Magazin	771	21%
5) Werkstatt	226	6%
	4.234	114%

2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

Bezeichnung	1) Aufzug, Abstellräume; Wc; Treppen		2) Austellung Villa, Galaerie		3) Büros		4) Technik; Lager, Heizzentrale; Magazin		5) Werkstatt	
Fläche der Nutzungseinheit	743 m²		2107 m²		387 m²		771 m²		226 m²	
	TEK-Bew ert. -	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew ert. -	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew ert. -	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew ert. -	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew ert. -	PE-Kennw ert kWh/(m²a)
Arbeitshilfen	Sehr gering	0	Sehr gering	2	Hoch	18	Sehr hoch	10	Mittel	69
Dampf	Sehr gering	3	Gering	26		0		0	Sehr gering	1
Kälte	Sehr hoch	0		0		0		0		0
Luftförderung	Hoch	27	Sehr hoch	131		0	Sehr hoch	1	Mittel	42
Beleuchtung	Mittel	15	Sehr hoch	42	Gering	17	Sehr hoch	11	Mittel	33
Warmw asser	Sehr hoch	11	Sehr hoch	10	Hoch	19	Mittel	4	Sehr gering	6
Heizung	Mittel	149	Mittel	202	Hoch	193	Mittel	48	Mittel	102

Abbildung 11-1: Bewertung je Nutzungseinheit

12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene

3.1 Heizung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche	Nutz.-	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
		m²	einheit	TEK-Bewert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Abstellraum	18 Nebenfläch	342	1	Mittel	136,9	92,0	1.488	56,2	26,1	2.151
2) Aufzug	18 Nebenfläch	45	1	Mittel	109,9	62,1	1.772	56,2	26,1	2.151
3) Ausstellung	27 Ausstellung	1.500	2	Mittel	202,3	272,7	742	79,3	66,3	1.197
4) Büro	02 Gruppenbü	387	3	Hoch	193,5	111,4	1.737	50,6	95,2	531
5) Küche	14 Küche	15	2	Sehr gering	48,4	968,7	50	366,4	1430,0	256
6) Magazin	41 Lagerhalle	70	4							
7) Sozialraum	17 sonstige Au	63	1	Mittel	176,5	483,4	365	55,3	137,3	403
8) Technikraum	20 Lager, Tech	248	4	Mittel	147,6	82,3	1.794	66,2	33,7	1.964
9) Wc	16 WC, Sanitäi	89	1	Gering	137,1	222,1	617	116,9	256,9	455
10) Werkstatt	22.2 Gewerbe	224	5	Mittel	78,4	181,9	431	38,8	178,8	217
11) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	189	1	Hoch	183,2	94,9	1.931	54,3	23,9	2.269
12) Austellung Villa	27 Ausstellung	592	2	Mittel	205,0	412,7	497	79,3	66,3	1.197
13) Werkstattschrank Chiem	20 Lager, Tech	2	5	Sehr hoch	2704,8	1400,6	1.931	66,2	33,7	1.964

Tabelle 12-1: Bewertung auf Zonenebene - Heizung

3.2 Beleuchtung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche	Nr. Beleuch-	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
		m²	tungsanlage	TEK-Bewert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Abstellraum	18 Nebenfläch	342	5	Hoch	5,3	7,8	681	1,9	3,0	615
2) Aufzug	18 Nebenfläch	45	5	Sehr hoch	5,8	7,8	739	1,9	3,0	615
3) Ausstellung	27 Ausstellung	1.500	1	Sehr hoch	39,8	20,6	1.927	9,7	4,8	2.035
4) Büro	02 Gruppenbü	387	3	Gering	17,3	14,5	1.197	17,4	15,4	1.132
5) Küche	14 Küche	15	1	Sehr gering	63,2	20,6	3.060	97,8	19,5	5.014
6) Magazin	41 Lagerhalle	70	6	Hoch	40,0	14,5	2.754	7,4	5,7	1.300
7) Sozialraum	17 sonstige Au	63	6	Mittel	45,8	14,5	3.154	32,0	9,3	3.427
8) Technikraum	20 Lager, Tech	248	6	Sehr hoch	4,6	14,5	317	1,3	3,0	426
9) Wc	16 WC, Sanitäi	89	5	Mittel	18,4	7,8	2.352	5,4	9,0	605
10) Werkstatt	22.2 Gewerbe	224	4	Mittel	33,1	19,3	1.710	28,2	11,5	2.453
11) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	189	5	Hoch	20,3	7,8	2.607	4,0	4,5	894
12) Austellung Villa	27 Ausstellung	592	1	Hoch	48,1	20,6	2.332	23,9	4,8	5.015
13) Werkstattschrank Chiem	20 Lager, Tech	2	6	Sehr hoch	2,3	14,5	155	0,6	3,0	209

Tabelle 12-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung

3.3 Luftförderung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche	Nr. RLT-	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
		m²	anlage	TEK-Bewert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Abstellraum	18 Nebenfläch	342	1	Sehr hoch	13,8	1,6	8.736	0,4	0,1	3.250
2) Aufzug	18 Nebenfläch	45	2	Sehr hoch	8,1	0,9	8.736	0,4	0,1	3.250
3) Ausstellung	27 Ausstellung	1.500	2	Sehr hoch	107,5	12,3	8.736	14,6	1,7	8.760
4) Büro	02 Gruppenbü	387	0							
5) Küche	14 Küche	15	5	Gering	337,9	73,5	4.596	337,5	75,0	4.500
6) Magazin	41 Lagerhalle	70	0							
7) Sozialraum	17 sonstige Au	63	3	Sehr hoch	154,0	97,1	1.586	19,0	5,8	3.250
8) Technikraum	20 Lager, Tech	248	3	Sehr hoch	3,3	2,1	1.586	0,4	0,1	3.250
9) Wc	16 WC, Sanitäi	89	5	Gering	56,3	12,3	4.596	40,6	12,5	3.250
10) Werkstatt	22.2 Gewerbe	224	5	Mittel	37,5	8,2	4.596	20,8	8,3	2.500
11) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	189	1	Sehr hoch	0,1	0,0	8.736	0,0	0,0	3.250
12) Austellung Villa	27 Ausstellung	592	1	Sehr hoch	183,8	21,0	8.736	14,6	1,7	8.760
13) Werkstattschrank Chiem	20 Lager, Tech	2	4	Sehr hoch	524,2	60,0	8.736	0,4	0,1	3.250

Tabelle 12-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung

3.4 Kälte

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche	Nutz.-	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
		m²	einheit	TEK-Bewert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Abstellraum	18 Nebenfläch	342	1	Sehr gering	0,0	0,0	748	0,0	0,0	100
2) Aufzug	18 Nebenfläch	45	1	Sehr gering	0,0	0,0	8.760	0,0	0,0	100
3) Ausstellung	27 Ausstellung	1.500	2	Sehr gering	0,0	0,0	2.285	0,0	0,0	450
4) Büro	02 Gruppenbü	387	3							
5) Küche	14 Küche	15	2							
6) Magazin	41 Lagerhalle	70	4							
7) Sozialraum	17 sonstige Au	63	1	Sehr hoch	1,0	5,8	164	0,0	0,0	419
8) Technikraum	20 Lager, Tech	248	4	Sehr gering	0,0	0,0	19	0,0	0,0	206
9) Wc	16 WC, Sanitäi	89	1							
10) Werkstatt	22.2 Gewerbe	224	5	Sehr gering	0,0	0,0	802	0,0	0,0	697
11) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	189	1	Sehr gering	0,0	0,0	748	0,0	0,0	110
12) Austellung Villa	27 Ausstellung	592	2	Sehr gering	0,0	0,0	371	0,0	0,0	450
13) Werkstattschrank Chiem	20 Lager, Tech	2	5							

Tabelle 12-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte

3.5 Dampfbefeuchtung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche	Nutz.-	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
		m²	einheit	TEK-Bewert.	kWh/(m²a)	W/m²	h/a	kWh/(m²a)	W/m²	h/a
1) Abstellraum	18 Nebenfläch	342	1	Sehr hoch	6,2	19,7	315	0,6	2,6	222
2) Aufzug	18 Nebenfläch	45	1	Sehr gering	0,3	9,4	31	0,6	2,6	222
3) Ausstellung	27 Ausstellung	1.500	2	Sehr gering	4,0	125,4	31	20,7	34,5	599
4) Büro	02 Gruppenbü	387	3							
5) Küche	14 Küche	15	2	Sehr gering	9,3	1028,7	9	477,4	1551,5	308
6) Magazin	41 Lagerhalle	70	4							
7) Sozialraum	17 sonstige Au	63	1							
8) Technikraum	20 Lager, Tech	248	4							
9) Wc	16 WC, Sanitäi	89	1	Sehr gering	1,5	246,9	6	57,5	258,6	222
10) Werkstatt	22.2 Gewerbe	224	5	Sehr gering	1,0	171,4	6	29,5	172,4	171
11) Treppenhaus	19 Verkehrsflä	189	1	Sehr hoch	0,0	0,2	219	0,0	0,0	222
12) Austellung Villa	27 Ausstellung	592	2	Sehr hoch	82,7	378,3	219	20,7	34,5	599
13) Werkstattschrank Chiem	20 Lager, Tech	2	5							

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) spezifisch m^2_{BTF}/m^2_{NGF}	Bauteilfläche (BTF) absolut m^2_{BTF}	U-Wert W/(m²K)	g_tot -
Außenwand	0,923	3.428	1,27	-
Dach	0,425	1.577	0,62	-
Kellerdecke	0,469	1.743	0,73	-
Fenster O,S,W	0,120	447	2,00	0,54
Fenster N	0,030	112	1,87	0,53
Fenster hor.	0,140	519	1,78	0,80
ges. Gebäude	2,108	7.826	1,10	0,67

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften

spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	2,81	m³/(m²h)
Raumsolltemperatur Heizung	19,2	°C
Raumsolltemperatur Kühlung	26,0	°C
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	194	Lux
Nutzungszeit	3.624	h/a
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	74	Wh/(m²d)

2.1.5 Luftförderung

	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	43.000	41.800	m³/h
Dimensionierungsfaktor	447%	435%	
installierte Leistung	23,76	18,46	kW
spezifische Ventilatorleistung	1,99	1,59	kW/(m³ s)
Vollbetriebszeit	7450	6938	h/a
Endenergiebedarf	47,7	34,5	kWh/(m²a)
Primärenergiebedarf	124,0	89,7	kWh/(m²a)

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zental + dezer

Nutzenergiebedarf	110,8	kWh/(m²a)
davon Warmwasser	5,7	kWh/(m²a)
zusätzliche Verluste Verteilung*	39,9	kWh/(m²a)
Erzeugernutzwärmeabgabe	150,6	kWh/(m²a)
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	896	kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	60%	
Erzeugeraufwandszahl	1,27	-
Endenergie Wärmeerzeugung	191,8	kWh/(m²a)
davon elektrische Energie	0	%
Primärenergie Wärmeerzeugung	194,5	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/(m²$_{NGF}$a)		
Raumsystem	101,6	39,6	-
RLT-Anlage	3,5	147,0	13,4
Summe	105	187	-
max. Heiz- bzw. Kühllast	Heizung	Kälte	
	W/m²$_{NGF}$		
Raumsystem	101	106	
RLT-Anlage	85	21	
Summe	186	127	

2.1.4 Beleuchtung		
installierte Leistung	71	kW
mittlere Bewertungsleistung	19,1	W/m²
Vollbetriebszeit	1.725	h/a
Endenergie Beleuchtung	33	kWh/(m²a)
Primärenergie Beleuchtung	86	kWh/(m²a)

2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)		
Nutzenergiebedarf	186,7	kWh/(m²a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	43,6	kWh/(m²a)
Erzeugernutzkälteabgabe	230,2	kWh/(m²a)
maxmale thermische Kälteleistung	472	kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	14%	
Jahreskälteleistungszahl	14333,11	-
Endenergie Kälteerzeugung	0,0	kWh/(m²a)
davon elektrische Energie	100	%
Primärenergieenergie Kälteerzeugung	0,0	kWh/(m²a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	8,4	
Teilkennwert Kalt-/Kühlwasserverteilung	66,3	kWh/(KW a)

2.1.8 Dampferzeugung		
Endenergiefaktor	1,16	-
Endenergie Dampferzeugung	8	kWh/(m²a)
Primärenergie Dampferzeugung	20	kWh/(m²a)

*) 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

3.712	m²	Grundfläche aller beheizten Zonen
3.204	m²	Grundfläche aller gekühlten Zonen

	Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche	RLT-Anlage	Konditionierung (1=vorhanden) Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Nutzenergie Heizung Zone+RLT	Heizung Erzeuger	Kälte Zone+RLT	Kälte Erzeuger
			m²	Nr				kWh/(m²a)[1]			
Kennwerte bezogen auf die gesamte beheizte bzw. gekühlte Fläche			4.234					105	142	216	267
Zone 1	Abstellraum	18 Nebenfläch	342	1	1 / 1	1	1 / 1	70,7	107,5	2,2	2,7
Zone 2	Aufzug	18 Nebenfläch	45	2	1 / 1	1	1 / 1	49,5	86,3	26,2	32,4
Zone 3	Ausstellung	27 Ausstellung	1.500	2	1 / 1	1	1 / 1	122,1	158,9	434,4	536,1
Zone 4	Büro	02 Gruppenbü	387		1 / 1		/	115,2	152,0		
Zone 5	Küche	14 Küche	15	5	1 / 1	1	/ 1	1,2	38,0		
Zone 6	Magazin	41 Lagerhalle	70		/ 1		/				
Zone 7	Sozialraum	17 sonstige Au	63	3	1 / 1	1	1 /	101,8	138,6	31,3	40,7
Zone 8	Technikraum	20 Lager, Tech	248	3	1 / 1	1	1 /	79,2	116,0	0,6	0,8
Zone 9	Wc	16 WC, Sanitäi	89	5	1 / 1	1	/ 1	70,9	107,7		
Zone 10	Werkstatt	22.2 Gewerbe	224	5	1 / 1	1	1 / 1	24,8	61,6	74,1	88,9
Zone 11	Treppenhaus	19 Verkehrsflä	189	1	1 / 1	1	1 / 1	107,1	143,9	0,0	0,0
Zone 12	Austellung Villa	27 Ausstellung	592	1	1 / 1	1	1 / 1	124,2	161,0	34,5	42,6
Zone 13	Werkstattschrank Chiemie	20 Lager, Tech	2	4	1 / 1	1	/	2087,8	2124,7		

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 13-3: Übersicht Zonen

2.2.3 Beleuchtungsanlagen

4.234 m² Grundfläche aller belichteten Zonen

	Zonenname	Zonen-fläche m²	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichung	Beleuchtungs-stärke Lux	elektrische Bewertungsleistung W/m² [1]	W/(m² 100lux)	Ermittlung	Regelung	Endenergie-bedarf kWh/(m²a) [1]
Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche		4.234		216	17	8			29
Zone 1	Abstellraum	342	5 / Halogenglühlampe	100	7,8	7,8	Lamp. zählen	man.	5
Zone 2	Aufzug	45	5 / Halogenglühlampe	100	7,8	7,8	Lamp. zählen	man.	6
Zone 3	Ausstellung	1.500	1 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem V	200	20,6	10,3	Lamp. zählen	dim-aus	40
Zone 4	Büro	387	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	14,5	2,9	Lamp. zählen	man.	17
Zone 5	Küche	15	1 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem V	500	20,6	4,1	Lamp. zählen	dim-aus	63
Zone 6	Magazin	70	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	150	14,5	9,7	Lamp. zählen	man.	40
Zone 7	Sozialraum	63	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	300	14,5	4,8	Lamp. zählen	man.	46
Zone 8	Technikraum	248	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	14,5	14,5	Lamp. zählen	man.	5
Zone 9	Wc	89	5 / Halogenglühlampe	200	7,8	3,9	Lamp. zählen	man.	18
Zone 10	Werkstatt	224	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	19,3	3,9	Lamp. zählen	man.	33
Zone 11	Treppenhaus	189	5 / Halogenglühlampe	100	7,8	7,8	Lamp. zählen	man.	20
Zone 12	Austellung Villa	592	1 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem V	200	20,6	10,3	Lamp. zählen	dim-aus	48
Zone 13	Werkstattschrank Chiemie	2	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	14,5	14,5	Lamp. zählen	man.	2

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 13-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen

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

	Bezeichnung	belüftete Fläche m²	Heiz-/ Kühlregister	Befeuchter / WRG [1]	Zuluft max. Volumenstrom m³/h	Zuluft max. elektr. Leistung kW	Abluft max. Volumenstrom m³/h	Abluft max. elektr. Leistung kW	Dimensionierungsfaktor [2] -	spezifische Leistungsauf. kW/(m³/s)	Endenergie kWh/(m²a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN V 18599 kWh/(m³/h a)
Kennwerte bez. a. d. ges. mech. bel. Fläche		3.310			43.000	23,76	41.800	18,46	447%	1,79	92,18	25,23
RLT 1	Lüftungsanlage Ost	1.123	Hz+Kühlreg.	Dmpf / WF) 0,7	14.200	7,50	14.200	5,50	1149%	1,65	37%	31,10
RLT 2	Lüftungsanlanlage West	1.546	Hz+Kühlreg.	Dmpf / WF) 0,7	16.500	11,00	16.500	7,50	549%	2,02	53%	26,48
RLT 3	Lüftungsgerät Vortragsraum	311	Hz+Kühlreg.	kein / W) 0,75	7.000	3,00	5.800	3,60	1471%	1,86	3%	14,17
RLT 4	Lüftung Chemieschrank	2	kein	kein / kein)	200	0,06	200	0,06	66667%	1,08	0%	13,63
RLT 5	RLT Werkstatt / Wc	328	Heizreg.	0,75	5.100	2,20	5.100	1,80	104%	1,41	6%	10,05
RLT 6												
RLT 7												
RLT 8												
RLT 9												
RLT 10												
RLT 11												
RLT 12												
RLT 13												
RLT 14												
RLT 15												
RLT 16												
RLT 17												
RLT 18												
RLT 19												
RLT 20												

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

2) Nennvolumenstrom bezogen auf hygischen Mindestaußenluftbedarf der versorgten Zonen

Tabelle 13-5: Übersicht RLT-Anlagen

2.2.5 Dezentrale Wärmeerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m²	Leistung kW	Erzeugeraufwandszahl	Endenergie kWh/(m²a) [1]
Heizung				
Elektrische Direktheizung				
Elektrische Speicherheizung				
Warmwasser				
el. Durchlauferhitzer				
el. Kleinspeicher				

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

3.712	m²	Grundfläche allller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen
3.310	m²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen

	Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr	thermische Nennleistung [2] kW	Erzeugeraufwandszahl Heizung	Erzeugeraufwandszahl Warmwasser	Endenergie kWh/(m²a) bzw. Anteil
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral beheizte Fläche				540	1,27	1,27	192
Wärmeerz. 1	Heizanlange	Konstanttemperaturkessel vor 1995 (Gas; H	1988	540	1,27	1,27	100%
Wärmeerz. 2							
Wärmeerz. 3							
Wärmeerz. 4							
Wärmeerz. 5							
Wärmeerz. 6							
Wärmeerz. 7							
Wärmeerz. 8							
Wärmeerz. 9							
Wärmeerz. 10							
Wärmeerz. 11							
Wärmeerz. 12							
Wärmeerz. 13							
Wärmeerz. 14							
Wärmeerz. 15							
Wärmeerz. 16							
Wärmeerz. 17							
Wärmeerz. 18							
Wärmeerz. 19							
Wärmeerz. 20							

1) Flächebezug: die vom Erzeuger beheizte Teilfläche (bestimmte über den Deckungsanteil)
2) Vor Ort ermittelt, d.h. kein Berechnungsergebnis

Tabelle 13-6: Übersicht Wärmeerzeuger

2.2.7 Dezentrale Kälteerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m²	Leistung kW	Erzeugeraufwandszahl	Endenergie kWh/(m²a) [1]
Kompaktklimagerät (Fenster, Wand)				
Split-System - ein/aus	311	12,61	0,30	0,2
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 Kälteerzeugen gekühlte Fläche

3.204 m² Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche

	Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr -	thermische Kälteleistung [2] kW	Nennkälteleistungszahl -	mittlerer Teillastfaktor -	Teilkennwert Kälteerzeugung -	Erzeugeraufwandszahl -	Endenergie kWh/(m²a) bzw. Anteil
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral gekühlte Fläche				85,0	0,00	0,00	0,0	#DIV/0!	0,0
Erz. 1	Kältemaschine	Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei unb	2007	43,0	4,60		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
Erz. 2	Kühlmaschine 2	ühlt - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei unbekannt)	2007	42,0	4,60		0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
Erz. 3									
Erz. 4									
Erz. 5									
Erz. 6									
Erz. 7									
Erz. 8									
Erz. 9									
Erz. 10									
Erz. 11									
Erz. 12									
Erz. 13									
Erz. 14									
Erz. 15									
Erz. 16									
Erz. 17									
Erz. 18									
Erz. 19									
Erz. 20									

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

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

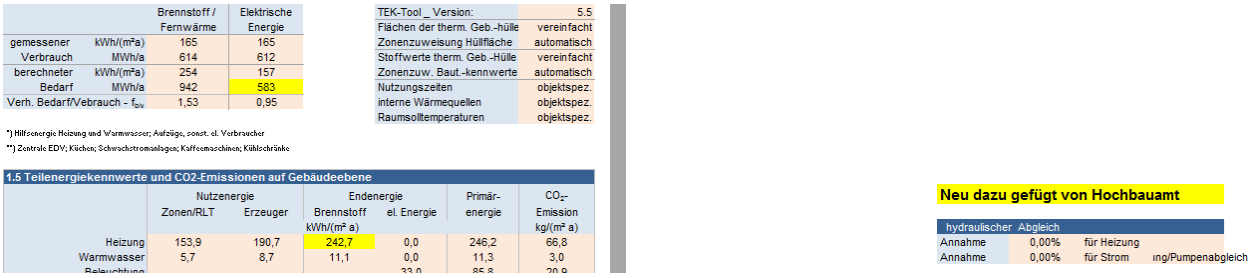
Tabelle 13-7: Übersicht Kälteerzeuger

14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool

14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen

Basis	$f_{b/v}$ =??
Serverraum liegt außerhalb der Hüllfläche und musste in die Hüllfläche genommen werden, damit das Klimageräte zugewiesen werden konnte	

14.2 Hydraulischer Abgleich eingefügt



		Brennstoff / Fernwärme	Elektrische Energie
gemessener	kWh/(m²a)	165	165
Verbrauch	MWh/a	614	612
berechneter	kWh/(m²a)	254	157
Bedarf	MWh/a	942	583
Verh. Bedarf/Vebrauch - f_{bv}		1,53	0,95

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

*) Hilfsenergie Heizung und Warmwasser; Aufzüge, sonst. el. Verbraucher
**) Zentrale EDV; Küchen; Schwachstromanlagen; Kaffeemaschinen; Kühlschränke

1.5 Teilenergiekennwerte und CO2-Emissionen auf Gebäudeebene

	Nutzenergie Zonen/RLT	Nutzenergie Erzeuger	Endenergie Brennstoff kWh/(m² a)	Endenergie el. Energie	Primär-energie	CO_2-Emission kg/(m² a)
Heizung	153,9	190,7	242,7	0,0	246,2	66,8
Warmwasser	5,7	8,7	11,1	0,0	11,3	3,0
Beleuchtung				33,0	85,8	20,9

Neu dazu gefügt von Hochbauamt

hydraulischer	Abgleich		
Annahme	0,00%	für Heizung	
Annahme	0,00%	für Strom	ung/Pumpenabgleich

Abbildung aus Blatt 4.1_out_Ergebnisse

Für die Maßnahme Hydraulischer Abgleich fehlte eine Eingabemöglichkeit. Die gelb unterlegten Felder in der Tabelle sind die Berechnungsformel abgeändert.

14.3 Differenzen zu Standardnutzungsprofilen DIN V 18599

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

Standardnutzungsprofil	Diskutiere Angabe	Zonenbezeichnung
Erläuterung der Differenzen		
Ausstellungsräume Klimatisierung	Keine Kennwerte vorhanden	Ausstellung
Siehe 14.2. Hydraulisch Agleich		
Hohes Einsparungspotenztial, und wirtschaftliche Maßnahme		
		Ganze Liegenschaft betroffen

14.4 Vereinfachte Hüllflächenermittlung

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

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

Ergebnisse (in der Berechnung verwendet)

Thermische Hüllfläche des gesamten Gebäudes für den gewählten Modus zur Beschreibung der Gebäudehülle

	Thermische Gebäudehülle in m² (Außenmaßbezug)				
	Süd	Ost	West	Nord	Horizontal / ohne
Fensterfläche (Rohbaumaß)	269,1	59,0	88,4	134,6	525,6
Außenwand (Außenluft)					3319
Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)					1307
Dach bzw. oberste Geschossdecke					976,2
Kellerdecken/-fußbodenfläche					1196,7

Auswertung für TEK-Projekt: Prozentuale Differenz von "in Berechnung verwendet" zu "objektspez. thermischen Hüllfläche"

	Thermische Gebäudehülle in m² (Außenmaßbezug)				
	Süd	Ost	West	Nord	Horizontal
Fensterfläche (Rohbaumaß)	11%	-36%	-21%	20%	1%
Außenwand (Außenluft)					23%
Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)					79%
Dach bzw. oberste Geschossdecke					-38%
Kellerdecken/-fußbodenfläche					-31%

ges. Hüllfläche	1%	ges. Fassadenfl.	27%	ges. Fensterfl.	0%

Bauteilkennwerte des gesamten Gebäudes für den gewählten Modus zur Beschreibung der Gebäudehülle

	Süd	Ost	West	Nord	Horizontal
Verglasung + Rahmen: U-Wert [W/(m²K)]	1,85	2,69	2,69	2,69	2,54
Verglasung: g-senkrecht	0,72	0,78	0,78	0,78	0,72
Verglasung + Sonnenschutz: g tot	0,72	0,78	0,78	0,78	0,31
Außenwand: U-Wert [W/(m²K)]					1,62
Dach / oberste Geschossdecke: U-Wert [W/(m²K)]					0,33
Kellerdecke/-fußboden: U-Wert [W/(m²K)]					1,20

Erläutern von Differenzen und Aufzeigen der Gründe sofern möglich.

Aufgrund der ausgefallenden Architektur der Galerien und gestreckten Gebäudeform sind die Fensteranteile in der Ost-/West-Ausrichtung geringer als in der Grobabschätzung errechnet. Im Gegensatz zu den horizontalen Dachfenstern sind diese wesentlich größer als im vereinfachten Verfahren. Die Abweichung der Fensterflächen führt dann auch zu Verschiebungen der gesamten Fassadenflächen.

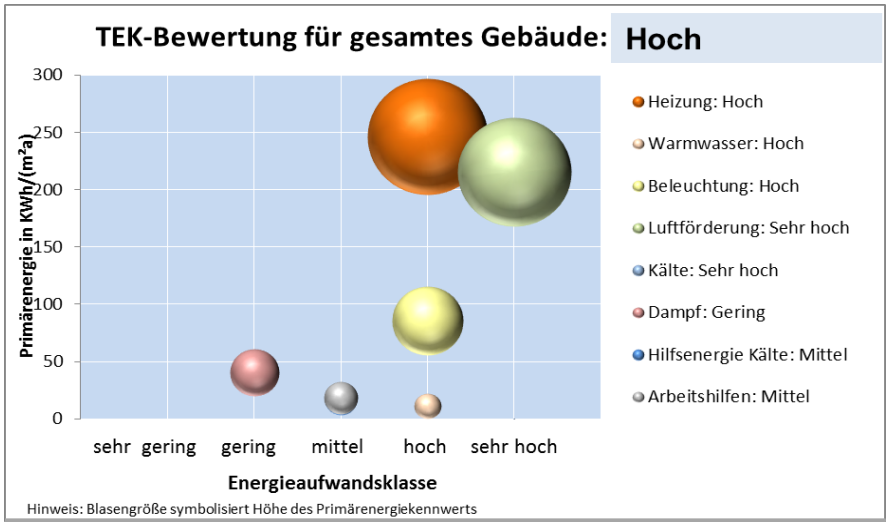
14.5 Teilenergiekennwertbewertung

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.

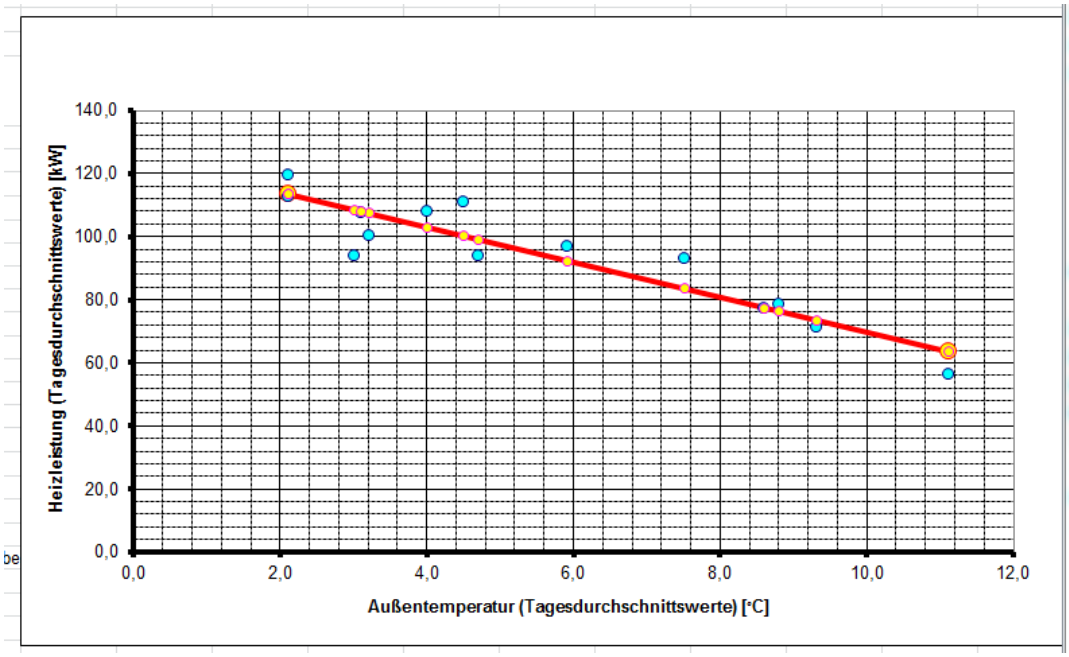


Die Liegenschaft steht unter Denkmalschutz. Die ausgestellten Exponate im Liebighaus müssen internationalen Museumsstandards entsprechen. Folgende klimatische Museumsstandards müssen in den Räumen eingehalten werden: 19-25°C Raumtemperatur bei 45-55% relativer Luftfeuchtigkeit. Temperaturen dürfen innerhalb von 24 Stunden um 10% schwanken. Diese Standards sind im Bereich der Ausstellungsräumlichkeiten einzuhalten. Vergleichswerte die diesen Standard abbilden sind nicht vorhanden. Deshalb ist ein direkter Vergleich derzeit nicht möglich.

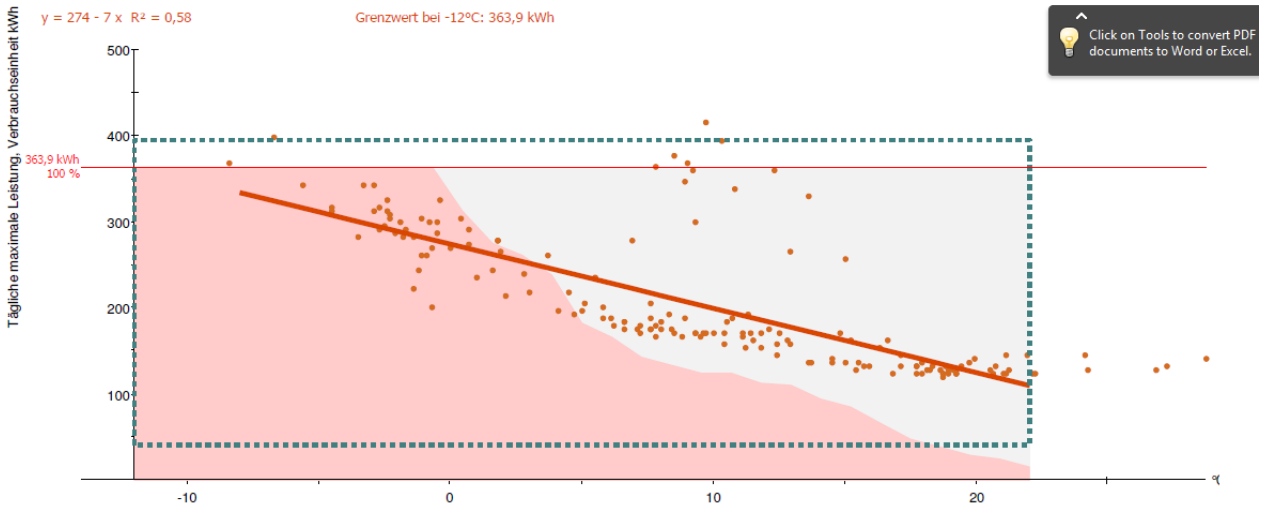
Interner Anhang – Kurzzeitmessungen

Die Stromdaten wurden als ¼-Stundenwerte vom Energieversorger über den Zeitraum von 3-Jahren zur Verfügung gestellt. Hieraus konnten Lastprofile und Kennlinien relativ leicht erstellt und verschiedene Zeiträume untersucht werden.

Anhand eines Datenlogger am Gaszählers und Datenübertragung an unser EDV-System wurden die ¼-Stundenwerte über einen von Zeitraum von 3-Jahren zur Verfügung gestellt. Hieraus konnten Lastprofile und Kennlinien relativ leicht erstellt werden.



Kurzanalysetool für Heizenergie ist nicht verwendbar, Jahreswerte sind aussagefähiger



Um eine Aussage über die Effektivität der Heizungsanlage machen zu können, wurde ein Datenlogger für die Kurzzeitmessung von Vor- und Rücklauftemperaturen gesetzt. Dieses Verfahren ist als Ergänzung zu den Lastprofilen zu sehen, um eine abschließende Beurteilung abgeben zu können.

Um eine Aussage über die Effektivität der Heizungsanlage machen zu können, wurde ein Datenlogger für die Kurzzeitmessung von Vor- und Rücklauftemperaturen gesetzt. Dieses Verfahren ist als Ergänzung zu den Lastprofilen zu sehen, um eine abschließende Beurteilung abgeben zu können.

1.) sind hohe Vorlauf- und Rücklauftemperaturen vorhanden sind, um auf die
auf die Höhe der Brennwertausnutzung zu schließen.

2.) die Spreizung von Vor-und Rücklauf zeigt auf, ob hydraulisch Kurzschlüsse vorliegt oder zu hohe Volumenumsätze/Pumpenleistungen vorhanden sind.

3.) Im Abgesenkten Bereich starke Schwankungen

4.) hohe Taktungsrate gibt Hinweise auf Heizkesselüberdimensionierung, Steuerung oder bzw der Abpufferung oder

5.) ob ein Hydraulischer Abgleich fehlt.

6.) Hinweise auf die Einstellungen der Heizkurve (Heizgrenztemperatur, usw.) und Nachtabsenkung (Eingestelltes Nutzungsprofil)

Interner Anhang Zeitaufwand

Tab. 1: Zeitaufwand für die Gebäudeanalysen		
Projektbeschreibung	-	Museum für Skulpturensammlung _ mit einem Cafe; Büros u. Werkstätten
Gebäude	-	Liebieghaus Skulpturensammlung _ Teil des Städel Museums
Energiebezugsfläche	m²	3.712

Zeitaufwand für Bearbeitung in h

Lfd. Nr.	Aufwand in h	Rationalisie-rungsfaktor	Bescheibung
	40,00	**0%**	**Datenbeschaffung**
1	32,00	0%	Beschaffen und auswerten existierender Unterlagen
2	8,00	0%	Vor-Ort-Termin
	80,00	**53%**	**Gebäudeanalyse mit TEK-Tool**
3	8,00	20%	Zonierung, Zonenflächen
4	32,00	50%	Objektspezifische Hüllfäche bestimmen
5	16,00	50%	Softwareeingabe
6	24,00	70%	Plausibilitätsprüfung
7	0,00	0%	Modernisierungsempfehlungen
	46,00	**21%**	**Weitere Untersuchungen**
8	14,00	0%	Verbrauchsanalysen
9	8,00	20%	Lastganganalysen
10	16,00	50%	Kurzzeitmessungen
11	8,00	0%	Dokumentation und Präsentation
	25,00	**94%**	**Sonstiges**
12	8,00	90%	Softwareumstellung auf Office10
13	2,00	70%	Durcharbeiten der Dokumentation
14	15,00	100%	Nachbeittung
	191,00	**40%**	**Gesamt**

Tabelle 0-1: Zeitaufwand für Gebäudeanalysen