

# Energieberatungsbericht

Schirn Kunsthalle - Frankfurt am Main

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

Stand: 20.02.2012

Erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main

Energiemanagement

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

Projektleitung: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Förderkennzeichen: 0327431J)

## Impressum

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Projekt           | Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden – Methodische Grundlagen, empirische Erhebungen und systematische Analyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kurztitel         | TEK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Gefördert durch   | Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Projektteilnehmer | <ul style="list-style-type: none"><li>• Institut Wohnen und Umwelt – IWU (Projektleitung)</li><li>• Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE</li><li>• Karlsruher Institut für Technologie KIT - Fachbereich Bauphysik &amp; Technischer Ausbau fbta</li><li>• ARGE-Benchmark</li><li>• Energie 2000</li><li>• Ingenieurbüro Jung</li><li>• Stadt Frankfurt am Main</li><li>• Techem Energie-Contracting</li></ul> |
| Geschäftsadresse  | <p>Institut Wohnen und Umwelt GmbH<br/>Rheinstraße 65<br/>64295 Darmstadt</p> <p>Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0<br/>Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97</p>                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Dokument          | Standardbericht-FFm_Schirn-Kunsthalle_1.3.doc                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

### Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Hochbauamt Frankfurt am Main  
Energiemanagement

Dipl.-Ing. (FH) Armin Latsch

Gerbermühlstraße 48

60594 Frankfurt am Main

Tel: 069 212-

e-mail: armin.latsch@stadt-frankfurt.de

20.02.2012, Frankfurt a. M.

Datum, Ort

Unterschrift, Stempel



## Inhalt

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Zusammenfassung</b>                                              | <b>1</b>  |
| <b>2 Einleitung und Aufgabenstellung</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>3 Projekt- und Gebäudebeschreibung</b>                             | <b>6</b>  |
| <b>4 Bewertung des Ist-Zustandes</b>                                  | <b>12</b> |
| 4.1 Gemessene Verbrauchsdaten                                         | 12        |
| 4.2 Lastganganalysen                                                  | 16        |
| 4.2.1 Lastganganalyse elektrische Energie                             | 16        |
| 4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes       | 17        |
| 4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch           | 18        |
| 4.3.2 Berechnete Energiekennwerte                                     | 19        |
| <b>5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung</b>             | <b>22</b> |
| <b>6 Modernisierungsempfehlungen</b>                                  | <b>24</b> |
| 6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Austausch Lüftungsmotoren            | 24        |
| 6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Beleuchtungsanlage                   | 26        |
| 6.3 Modernisierungsempfehlung 3: Dachfensteraustausch                 | 30        |
| 6.4 Modernisierungsempfehlung 4: Innendämmung                         | 31        |
| 6.5 Modernisierungsempfehlung 5: Außendämmung in Passivhausqualität   | 32        |
| 6.6 Zusammenfassung und Vergleich                                     | 33        |
| 6.7 Weitere Maßnahmenvorschläge                                       | 33        |
| <b>7 Durchgeführte Messungen</b>                                      | <b>35</b> |
| <b>8 Anhang – Literatur</b>                                           | <b>39</b> |
| <b>9 Anhang: Datenerhebung</b>                                        | <b>40</b> |
| 9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen                 | 40        |
| 9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten                                 | 41        |
| <b>10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes</b>          | <b>41</b> |
| <b>11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit</b>                  | <b>43</b> |
| <b>12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene</b>                      | <b>44</b> |
| <b>13 Anhang: TEK - Kurzdokumentation</b>                             | <b>49</b> |
| <b>14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool</b> | <b>55</b> |
| 14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen             | 55        |
| 14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofilen DIN V 18599              | 55        |

|           |                                                  |           |
|-----------|--------------------------------------------------|-----------|
| 14.3      | Vereinfachte Hüllflächenermittlung .....         | 55        |
| 14.4      | Teilenergiekennwertbewertung .....               | 56        |
| 14.5      | Allgemeine Anmerkungen zum Projekt .....         | 57        |
| <b>15</b> | <b>Interner Anhang – Kurzzeitmessungen .....</b> | <b>58</b> |
| <b>16</b> | <b>Interner Anhang Zeitaufwand .....</b>         | <b>59</b> |

## 1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Energieberatungsbericht wird das zu bewertende Gebäude mit Hilfe einer Gebäudeanalyse nach dem Verfahren Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden (TEK) untersucht. Bei der untersuchten Liegenschaft, der Schirn Kunsthalle Frankfurt am Main handelt es sich um eine Liegenschaft mit den folgenden Hauptnutzungen:

1. Museumsbereich (Ausstellung) mit Verwaltung, Werkstatt und Bilderdepot
2. Musikschule Frankfurt e.V. mit Übungsräumen und Verwaltung
3. Kunstbuchhandlung
4. Café-Bar-Restaurant TABLE



Abbildung 1-1: Schrägluftbild der Schirn (Quelle: Wikipedia.de, Dontworry)



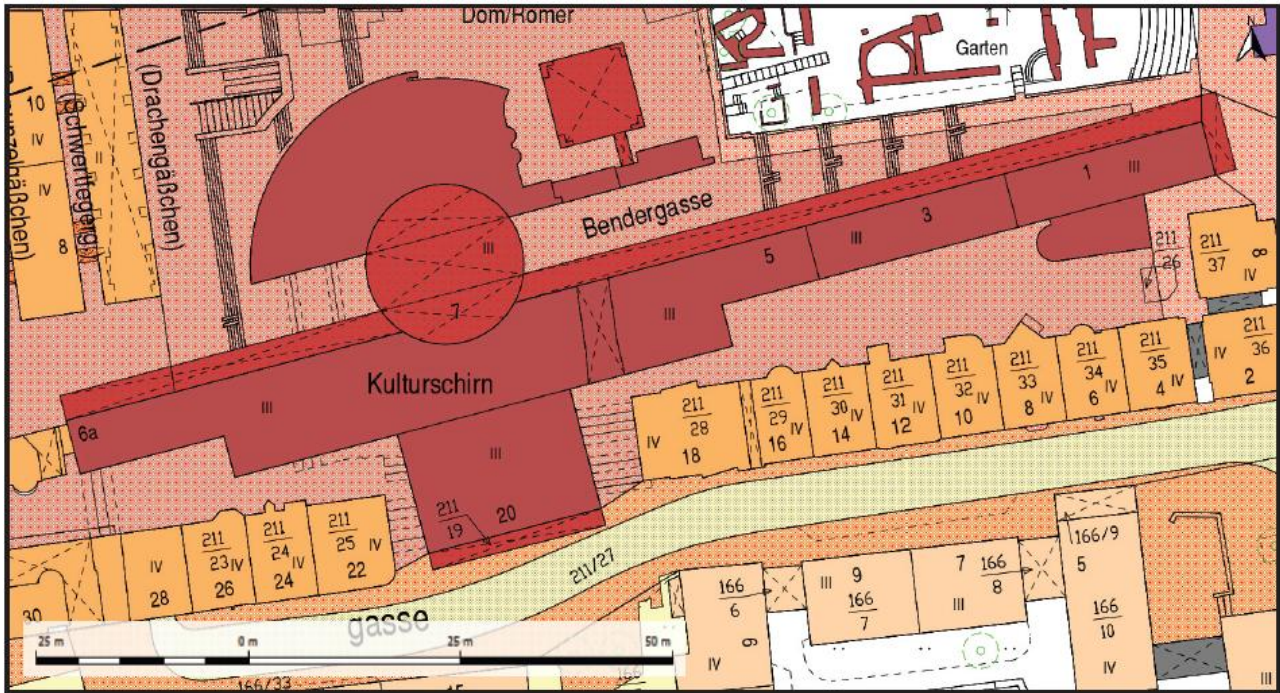


Abbildung 1-2: Lageplan der Schirn

Die Liegenschaft hat eine beheizte Nettogrundflächen von ca. 6.600 m<sup>2</sup> und eine Länge von ca. 140 Metern. Sie weist einen Energieverbrauch von ca. 1800 MWh thermisch und 450 MWh elektrisch auf.

Die Liegenschaft hat in den Ausstellungs-, Werkstatt- und im Bilderdepotbereich eine Vollklimatisierung. Also in den Bereichen, in denen sich Exponate befinden können. In den Ausstellungsbereichen werden die Beleuchtungsanlage, die Raumaufteilungen und die Abdunkelung an die mehrmals jährlich wechselnden Ausstellungen angepasst.

Im Folgenden sind als Ergebnis der Untersuchung die Modernisierungsempfehlungen dargelegt.

#### Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen

[zurück zu Übersicht](#)

| Lfd. Nr. | Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung   | Maßnahmenbeschreibung                                                                     | Wichtigkeit (von 1 bis 5) | Bemerkungen                                                                         |
|----------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 431 Lüftungsanlagen                    | Austausch der Motoren (Bj. 1984) gegen effiziente Motoren (mind. IE2)                     | 4) dringend               | Austausch soll erfolgen                                                             |
| 2        | 431 Lüftungsanlagen                    | Reduzierung bzw. Abschaltung der Lüftung im Foyerbereich während der Nichtnutzungsstunden | 2) empfohlen              | In enger Abstimmung mit den Personal der dortigen Arbeitsplätze                     |
| 3        | 445 Beleuchtungsanlagen                | Einsatz von LED Lampen für die Ausstellungsbereiche                                       | 4) dringend               | Innovative LED-Technik mit den erhöhten Anforderungen                               |
| 4        | 445 Beleuchtungsanlagen                | Bewegungsmelder für Beleuchtungsanlagen Werkstätten, Depot                                | 2) empfohlen              | Hohe Anschlussleistung der Beleuchtungsanlage                                       |
| 5        | 334 Außentüren und -fenster            | Dachfenster des Ausstellungsbereich gegen Passivhaus-Fenster tauschen                     | 3) wichtig                | Kondenswasserbildung bei niedrigen Außentemperaturen                                |
| 6        | 335 Außenwandbekleidungen, außen       | Gebäudehülle in Passivhausqualität                                                        | 1) sinnvoll               | Nur im Zusammenhang mit kompletten einer Fassaden sanierung, z. Zt. noch kein Thema |
| 7        | 429 Wärmeversorgungsanlagen, sonstiges | Blockieren der Thermostatventile in den Treppenhäusern                                    | 2) empfohlen              | Die Thermostatventil stehen häufig auf Stufe "5"                                    |
| 8        | 429 Wärmeversorgungsanlagen, sonstiges | Absenken der Raumtemperatur im Foyerbereich                                               | 2) empfohlen              | In enger Abstimmung mit den Personal der dortigen Arbeitsplätze                     |
| 9        | 431 Lüftungsanlagen                    | Reinigung der Zuluftgitter für die Außenluftversorgung Anlage 13.R                        | 2) empfohlen              | Hinweis von Lüftungswartungs-firma                                                  |
| 10       | 336 Außenwandbekleidungen, innen       | Innendämmung 14 cm                                                                        | 1) sinnvoll               | Abschnittsweise                                                                     |
| 11       | 334 Außentüren und -fenster            | Fensteraustausch in PH-Standard                                                           | 1) sinnvoll               | In Verbindung mit Dämmmaßnahmen                                                     |

Tabelle 1-1: Zusammenstellung der Modernisierungsempfehlungen

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

Detaillinformationen können dem Kapitel 6 – Modernisierungsempfehlungen entnommen werden.

#### 1) RLT –Anlagen

Die in der Liegenschaft befindlichen großen Lüftungsanlagen wurden 1984 erbaut. Die Mess- und Regeltechnik der Anlagen wurde bereits erneuert, in einem zweiten Schritt sollen auch die Lüftungsgeräte erneuert werden. Hierbei sollten hocheffiziente Motoren und hocheffiziente Ventilatoren eingesetzt werden. Die grobe Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt unter Berücksichtigung der Kapitaldienste jährliche Einsparungen von 25.000 € auf. In diesem Zusammenhang sollte auch wieder eine Wärmerückgewinnung aktiviert werden.

#### 2) LED-Strahler für den Ausstellungsbereich

Im Ausstellungsbereich besteht die Beleuchtungsanlage etwa zur Hälfte aus mit Halogenlampen bestückten Leuchten. Mittlerweile gibt es für Museumszwecke Strahler mit der sich schnellentwickelnden LED-Technik. Auch der Austausch der Strahler im Ausstellungsbereich ließ sich wirtschaftlich darstellen. Hier sollten zunächst Musterleuchten beschafft werden und auf die Eignung im Ausstellungsbereich der Schirn hin geprüft werden. Die Stromschienen-Systeme lassen einen unkomplizierten Austausch der Leuchten zu.

#### 3) Austausch der Dachfenster über dem Ausstellungsbereich

An den Dachfenstern im Ausstellungsbereich kommt es zu Kondenswasserbildungen, was zum Herabtropfen von Wasser in die Ausstellung führt. Daher wurde separat der Austausch der Dachfenster hin zu Passivhausfenstern betrachtet. Die Betrachtung dieser Investition verfehlte knapp

die Wirtschaftlichkeit, dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Kosten für den aufwendigen Fensteraustausch nur grob abgeschätzt werden konnten. Hier empfiehlt es sich konkrete Angebote von Fachfirmen einzuholen. Zudem ist zu bedenken, dass durch die Investition das herabtropfende Kondenswasser vermieden werden kann, was zu einer deutlichen Aufwertung des Ausstellungsreiches führt.

#### **4 + 5) Dämmung der Fassade**

Die Untersuchung einer Dämmung der gesamten Fassade erwies sich sowohl bei einer Innendämmung als auch bei einer Außendämmung, bei den zugrunde gelegten Parametern, zurzeit nicht als wirtschaftlich. Falls jedoch die Fassade der Schirn zu einem späteren Zeitpunkt einmal im größeren Umfang saniert werden sollte, wird sich die Außendämmung gemäß Kapitel 6 wahrscheinlich wirtschaftlich darstellen lassen.

#### **6) Weitere Maßnahmen**

Wirtschaftlich nicht weiter betrachtet, aber dennoch empfehlenswert sind die folgenden kleineren Maßnahmen anzusehen. Detailinformationen hierzu können ebenfalls dem Kapitel 6 – Modernisierungsempfehlungen unter 6.6 entnommen werden.

- Begrenzung der Thermostatventile auf Stufe „1“ in den außenliegenden, von den Hauptnutzungsbereichen abgeteilten Treppenhäusern. Die Thermostatventile werden in diesen Bereichen immer wieder hochgedreht, teilweise bis auf die höchste Einstellung „5“. Bei den bestehenden Ventilen ist dies nicht nachhaltig möglich, sie müssten ausgetauscht werden.
- Zurzeit ist die Lüftungsanlage zur Versorgung des Foyerbereichs permanent in Betrieb, dabei in den Nachtstunden nur auf Stufe eins. Für diese Zeit sollte über ein Stoßbetrieb bzw. die Abschaltung der Lüftungsanlage nachgedacht werden, da hier nur der Arbeitsplatz des Sicherheitsdienstes belegt ist. Das Vorgehen in dieser Sache sollte nur in enger Abstimmung mit dem Sicherheitspersonal erfolgen.
- Während zweier Begehungen fielen im Eingangsbereich (Foyer EG) relativ hohe Raumtemperaturen von 23 -24 °C auf. Der genannte Bereich wird sowohl über statische Konvektoren als auch über die Lüftungsanlage beheizt. Hier sollte geprüft werden inwiefern ein Absenken der Raumtemperatur möglich ist. Auch diese Maßnahme sollte nur in enger Abstimmung mit dem Personal der dortigen Arbeitsplätze erfolgen
- Nach einem Hinweis der Wartungsfirma war zur Zeit der Untersuchung das Zuluftgitter der zentralen Außenluftversorgung (Anlage 13.R) stark verschmutzt. Es ist davon auszugehen, dass durch den dadurch zusätzlich entstehenden Druckabfall eine höhere Leistungsabnahme der Ventilatormotoren der Anlage 13.R erfolgt. Hier sollte geprüft werden, ob kürzere Reinigungsintervalle möglich sind.



## 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.

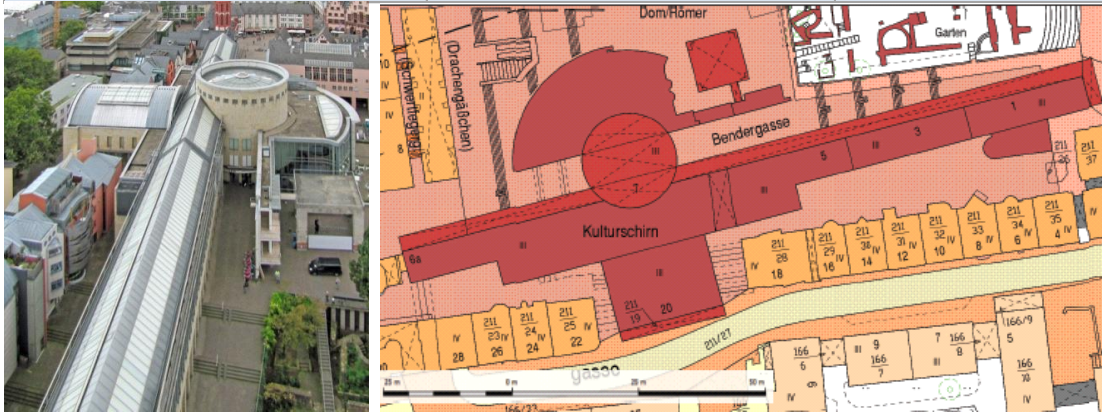
### 3 Projekt- und Gebäudebeschreibung

**Wichtiger Hinweis:** Die zur Durchführung des Projektes verwendeten Pläne dürfen aus Sicherheitsgründen nicht an Dritte weitergegeben werden.

#### 1.1 Allgemeine Projektinformationen

##### Kunstmuseum, Musikschule \_ mit Café

| Gebäude                                                                        | Eigentümer                                                                                          | Energieberatung                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schirn Kunsthalle<br>Frankfurt am Main<br>Römerberg<br>60311 Frankfurt am Main | Liegenschaftsamt<br>der Stadt Frankfurt am Main<br>Berliner Straße 33-35<br>60311 Frankfurt am Main | Energiemanagement - Hochbau<br>Armin Latsch<br>Gerbermühlstraße 48<br>60594 Frankfurt am Main |



#### 1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften

|                     |                             |                                      |                              |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Gebäudekategorie    | Veranstaltungsgebäude       | en. Qualität Gebäudehülle H'         | 1,09 W/(m² <sub>BTF</sub> K) |
| Unterkategorie      | Museen, Ausstellungsgebäude | en. Qualität Lüftung H' <sub>v</sub> | 1,23 W/(m³/h K)              |
|                     |                             | Fensterant. (oberirdisch)            | 26 %                         |
| Baujahr Gebäude     | 1985                        | Anzahl beheiz. Geschosse             | 4,6                          |
| Energiebezugsfläche | 6.630 m²                    | Anzahl der Zonen                     | 10                           |
| davon               | künst. belichtet            | Anzahl der RLT-Anlagen               | 8                            |
|                     | mech. belüftet              | Anzahl zentr. Kälteerz.              | 3                            |
|                     | gekühlt                     | Anzahl zentr. Wärmeerz.              | 1                            |
|                     | befeuchtet                  |                                      |                              |
| A/V-Verhältnis      | 0,29 m-1                    |                                      |                              |

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Die Entwurfsphase des Gebäudekomplexes begann 1983, die Eröffnungsfeier der Schirn fand am 28.02.1986 statt. Die Ausführung erfolgte als mit Kalksandstein ausgemauerte Betongitterstruktur. Die Liegenschaft wurde nahe des Römerbergs, auf einer Kuppe erbaut, der höchste Punkt des bebauten Geländes ist der Eingang zur Kulturschirn, also in der Rotunde. Daraus resultiert eine sich stetig ändernde Fassadenhöhe. Unter der Fassadenoberfläche aus hellbraunen Sandsteinplatten wurden 6 cm Dämmwolle eingebracht. Die Schirn Kunsthalle weist im Wesentlichen die vier bereits oben genannten Nutzungen auf. Der Arbeitsplatz des Sicherheitsdienstes am Haupteingang im Foyer ist rund um die Uhr mit mindestens einer Person besetzt. Dieser Bereich wird bei niedrigen Außentemperaturen zusätzlich mit einem kleinen elektrischen Heizgerät erwärmt. Eine Nachtabsenkung durch die Heizungsreglung findet nur in Bereichen außerhalb des Ausstellungsgebietes statt.



Im Ausstellungsbereich der Schirn Kunsthalle finden wechselnde Ausstellungen statt, ein **Ausstellungswechsel** auf der gesamten Ausstellungsfläche erfolgt ca. dreimal pro Jahr, mit einer gesamten Dauer der Umbauarbeiten von ca. 15 Wochen. Die Bereiche in der die Ausstellungen stattfinden werden dazu in der Regel komplett umgebaut. Es werden temporär Wände aufgestellt, Räume verkleinert bzw. ganze Fensterfronten inklusive Heizkörpern abgetrennt.

Während der Umbauphase erfolgt die Belüftung der Räume ohne Exponate überwiegend ohne Klimatisierung.

Im Ausstellungsbereich werden über mehrere Trommelschreiber permanent die Raumtemperatur und die relative Luftfeuchte aufgezeichnet. Den Aufzeichnungen sind eine durchschnittliche Temperatur von ca. 19 °C zu entnehmen.

In der Regel werden verschiedene Ausstellungen gleichzeitig gezeigt, der Ausstellungswechsel erfolgt dann zeitversetzt. Während der Umbauphasen befinden sich keine Exponate in den Ausstellungsbereichen, daher werden die Technischen Anlagen soweit wie möglich zurückgefahren.

Die **Fenster** im Ausstellungsbereich der Schirn (2. OG) sind zu 90 % der Zeit durch innenliegende, weiße Rollos bzw. durch Gipskartonwände total verdunkelt. Das Rollomaterial besteht aus dicken, lichtundurchlässigen Kunststoffplanen. Im TEK-Tool wurden daher die g-Werte aller Fenster für diese Bereiche mit 0,4 angenommen. Durch die Verdunklung ist eine kontrollierte Beleuchtung der Exponate möglich und es können verschiedenste Lichtszenarien realisiert werden. In diesem Zusammenhang bestehen für die Ausleuchtung von Exponaten häufig begrenzte Beleuchtungsstärken um Schäden an den Exponaten zu vermeiden.

An den Dachfenstern des Ausstellungsbereiches kommt es bei bestimmten klimatischen Umständen zur Kondenswasserbildung, das Kondenswasser tropft in den Ausstellungsbereich. Hier existieren neben den anscheinend mangelhaften Fenstern unter Umständen auch Wärmebrücken.

Die Ausstellungen werden von Kuratoren entworfen, die **Beleuchtungsanlage** als Schienensystem mit ca. 200 mobilen Leuchten wird dem jeweiligen Beleuchtungskonzept angepasst. Beleuchtungsstärken auf den Exponaten müssen genau eingehalten werden. Als Leuchtmittel werden zurzeit in der Hauptsache Halogenleuchtmittel und Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (HIT bzw. HQI) zu je etwa 50 % -teilweise auch in Konturenstahlern- verwendet. Dies hat die Begründung in der Farbbrillanz und ästhetische Gründe was die Geometrie der Leuchten betrifft.



Abbildung 3-2: Beispiel für eine Beleuchtungsanlage im Ausstellungsbereich

### **Besonderheit Lichtwände im Foyer**

Ab 2002 ist der Foyerbereich mit Treppenhaus im EG und OG mit großflächigen Lichtwänden ausgestattet, diese werden mit T8 und T5 Leuchtstofflampen betrieben.

Die Effizienz dieser Beleuchtungsanlagen ist eher als gering anzusetzen, ist aber aus Gründen der Raumwirkung so gewünscht.

Im „Foyerauge“ befinden sich 440 T5 Leuchtstofflampen à 28 W die mit einem RGB-System (für Farbszenarien) in der Regel auf 33 % abgedimmt sind (Gesamtleistung ca. 4100 W).

Die Umlaufenden Lichtwände im EG und OG T8 Leuchtstofflampen (38W und 58 W mit EVG und VVG) ausgestattet. Die Lampenanzahl ist unbekannt, über die Länge der Wände und der Leuchtenreihen übereinander wurde sie auf ca. 7500 W geschätzt.



Abbildung 3-3: Verschiedene Lichtwände im Foyerbereich EG und 1. OG

Die Außenbeleuchtung wird über Zeitschaltuhr und Dämmerungsschalter gesteuert.

Unter großen Teilen der Schirn befindet sich eine zurzeit nicht genutzte **Tiefgarage**, deren Versorgung und Belüftung ursprünglich aus dem technischen Rathaus heraus erfolgte.

### Die raumluftechnischen Anlagen

In der Liegenschaft existieren 27 Lüftungsanlagen mit unterschiedlichen Funktionen, die 27 Lüftungsanlagen wurden je nach Nutzung bzw. Funktionen den zehn Zonen zugeordnet.

Für die Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen liegen Anlagenschemata und eine Zusammenstellung in Papierform vor, diese enthalten allerdings keine Angaben über die elektrischen Nennleistungen der Lüftungsanlagen. Eine Anfrage beim Anlagenbetreiber „Betrieb TGA Römer“ war nicht erfolgreich, auch hier liegen keine Daten dbzgl. vor. Es wurden daher durch Begehungen die Datenschilder -insofern vorhanden- an den Anlagen abgelesen. Anschließend noch fehlende Daten kleinerer Anlagen wurden abgeschätzt. Die Raumlufbefeuchtung erfolgt über Rieselbefeuchter.

Die Anlage „13.R Zentrale Außenluftversorgung (West) U2“, die aus zwei großen Ventilatoren besteht, ist in den technischen Unterlagen mit jeweils 43.425 m<sup>3</sup>/h als maximal Luftmengen angegeben. Hier konnten keine Nennleistungsangaben ermittelt werden, dadurch hätte hier eine Nennleistung abgeschätzt werden müssen. Durch die Kurzzeitmessungen, über einen Messzeitraum von 14 Tagen, konnte allerdings eine maximale Leistungsaufnahme im Betrieb von ca. 8 kW für einen Motor, also für die zwei Lüftermotoren von 16 kW ermittelt werden (siehe auch Kapitel Kurzzeitmessungen).

Die Anlage 13.R versorgt als zentrale Außenluftversorgung in der Hauptsache die RLT-Anlagen der Zone 1 - Ausstellung, daher wurde sie dieser Zonen mit der elektrischen Nennleistung zuge-



ordnet, die Luftmengen der Anlage 13.R wurden dabei nicht berücksichtigt. Die zwei Ventilatoren werden über Frequenzumformer (FU) druckgeregelt angesteuert und halten dadurch einen konstanten Druck in den Außenluftkanälen der Anlagen.

Die FU-geregelten Motoren der Klimaanlage fahren wegen der Exponate in der Ausstellung bzw. im Depot über das Jahr relativ konstante Raumlufumbedingungen. Die Regelung der FUs erfolgt über die folgenden Parameter: Raumtemperatur, relative Luftfeuchte, CO<sub>2</sub>-Gehalt.

Dadurch ist es ohne Messungen über alle Jahreszeiten nur schwer möglich die Leistungsaufnahmen der RLT-Motoren zu bestimmen. Im TEK-Tool wurden daher im Bezug auf den gesamten elektrischen Energiebedarf der Liegenschaft die Leistungsabnahmen der Lüftungsanlagen abgeschätzt. In den besuchsfreien Zeiten fahren die RLT-Anlagen in den Stützbetrieb, nach Öffnung in den Regelbetrieb. Im Depotbereich werden temporär Exponate eingelagert, dadurch wird die RLT-Anlage hier sehr unterschiedlich betrieben.

Die Rotationswärmetauscher (Econovent), die sich hauptsächlich in den RLT-Anlagen der Zone 1 – Ausstellung befinden, wurden aus hygienischen Gründen stillgelegt.

### **Kälteanlagen**

Die Kälteerzeugung erfolgt über zwei gleitendfahrende Kältemaschinen:

Kältemaschine 1: 380 V / 90 A angegeben 53 kW, Kälteleistung ca. 150 kW, Bj. 1999

Kältemaschine 2: 380 V / 190 A etwa 110 kW, Kälteleistung ca. 300 kW, Bj. 1985

Die Kältemaschinen werden anscheinend nur wenig in Anspruch genommen da die klimatisierten Bereiche in der Regel totalverdunkelt werden.

### **Allgemeines zu den haustechnischen Anlagen**

Im Jahr 2010 wurde ein Großteil der MSR-Technik erneuert und in Januar 2011 eine Aufschaltung auf die zentrale Gebäudeleittechnik (Wonderware) durchgeführt.

Die Betriebsführung der Gebäudetechnik der Heizungs- Lüftungs- und Klimaanlage erfolgt durch den „Betrieb TGA Römer“, dem technischen Personal in der Schirn werden in der GLT nur Leserechte gewährt.

### **Café-Bar-Restaurant TABLE**

Im Restaurant befinden sich noch ineffiziente Glühlampen, die während des Gastbetriebs gedimmt zum Einsatz kommen. Die Glühlampen sollen für das Ambiente im Gastraum erhalten bleiben.



**Abbildung 3-4:** Ineffiziente Beleuchtung im Restaurant

### Allgemeine Bemerkungen

Die Schirn ist von der SCHIRN KUNSTHALLE FRANKFURT GmbH angemietet, Eigentümer ist das Liegenschaftsamt, die Verwaltung der Finanzmittel erfolgt über das Kulturamt.

Da es sich um keine direkte städtische Nutzung handelt, lagen dem Energiemanagement bzw. dem Hochbauamt Frankfurt nur wenige Daten über die Liegenschaft vor. Dies galt sowohl für technische Daten, brauchbare Pläne als auch Verbrauchsdaten.

In diesem Zusammenhang vielen Dank an die haustechnische Abteilung der Schirn, dem „Betrieb TGA Römer“ und den Mitarbeitern der Gebäudesicherheit für die Unterstützung.

Insbesondere aber für die Pläne, Daten und Informationen von Hr. Kammer und Hr. Teltz.

Aufgrund der Komplexität des Gebäudes und der schlechten Datenlage wurde das für das Projekt veranschlagte Zeitbudget wesentlich überschritten.

## 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 1) und der zeitaufgelöste Lastgang des Gebäudes analysiert (Abschnitt 4.2). Nach dieser ersten Grobbewertung erfolgt eine Bewertung der Effizienz auf der Grundlage einer Bilanzberechnung (Abschnitt 4.3.2). Um die Realitätsnähe der Berechnung zu überprüfen, werden dabei zunächst die Berechnungsergebnisse den gemessenen Verbräuchen gegenübergestellt (Abschnitt 4.3.1).

### 4.1 Gemessene Verbrauchsdaten

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

- Monatliche Verbrauchsdaten des Wärmebezugs für den Zeitraum vom Januar 2006 bis Dezember 2009

#### Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung der Schirn erfolgte bis 2010 aus dem Technischen Rathaus. Von April bis November 2010 wurde das Technische Rathaus allerdings bis zum Erdgeschoss abgerissen. Ein weiterer Abriss, der das Erdgeschoss, die Untergeschosse und Teile der Tiefgarage umfasst, begann im Mai 2011.

Die Versorgung aus dem Technischen Rathaus erfolgte dadurch noch bis Mai 2010.

Daher wurden nur die Verbrauchswerte bis Ende 2009 der TEK-Betrachtung zugrunde gelegt. Die Energieverbrauchsermittlung für Abrechnungszwecke der Schirn betreffend erfolgte durch einen Prozentschlüssel der messtechnisch ermittelt wurde. Dieser wurde auch für die Verbrauchsdaten zugrunde gelegt.

Eine Anfrage im Dezember 2010 beim zuständigen Amt ergab, dass Monatsverbräuche für die Schirn vorliegen, es wurde allerdings nicht auf den Verteilerschlüssel verwiesen. Durch diese Heizverbrauchsermittlung sind größere Abweichungen gegenüber den tatsächlichen Verbräuchen möglich. Nach Mai 2010 erfolgte die Wärmeversorgung temporär über einen mobilen Wärmeerzeuger und schließlich aus den Fernwärmenetz der Mainova.

Die Daten wurden einer Klima- und Ortsbereinigung gemäß [3] unterzogen.

#### Elektrische Energie

- Monatliche Verbrauchsdaten des Bezugs elektrischer Energie für den Zeitraum vom Januar 2008 bis Dezember 2010

#### Elektrizitätsversorgung

Die Elektrizitätsversorgung der Schirn erfolgte aus dem Historischen Museum, dieses wurde mittlerweile ebenfalls abgerissen. Von der Mainova wurde deshalb eine provisorische Versorgung erstellt. Für die elektrische Versorgung des gesamten Gebäudekomplexes gab es immer nur eine Zuleitung die über einen EVU-Zähler gezählt wurde bzw. wird. Im UG der Schirn befinden sich dann die Unterzählungen der einzelnen Nutzungsbereiche. Die Versorgungssituation wurde vor Ort nachvollzogen. Ablesungen der Unterzählungen existieren nicht.

Der Strombezug und auch die Leistungsspitzen des Jahres 2010 erscheinen für die Gebäudegröße und die technische Ausstattung als zu gering. Daher wurden nochmals Versorgungssituation und Verbrauchsangaben mit Lastgangdaten von der Mainova und Versorger Abrechnungen eruiert. Die Verbrauchsdaten erwiesen sich als korrekt.

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

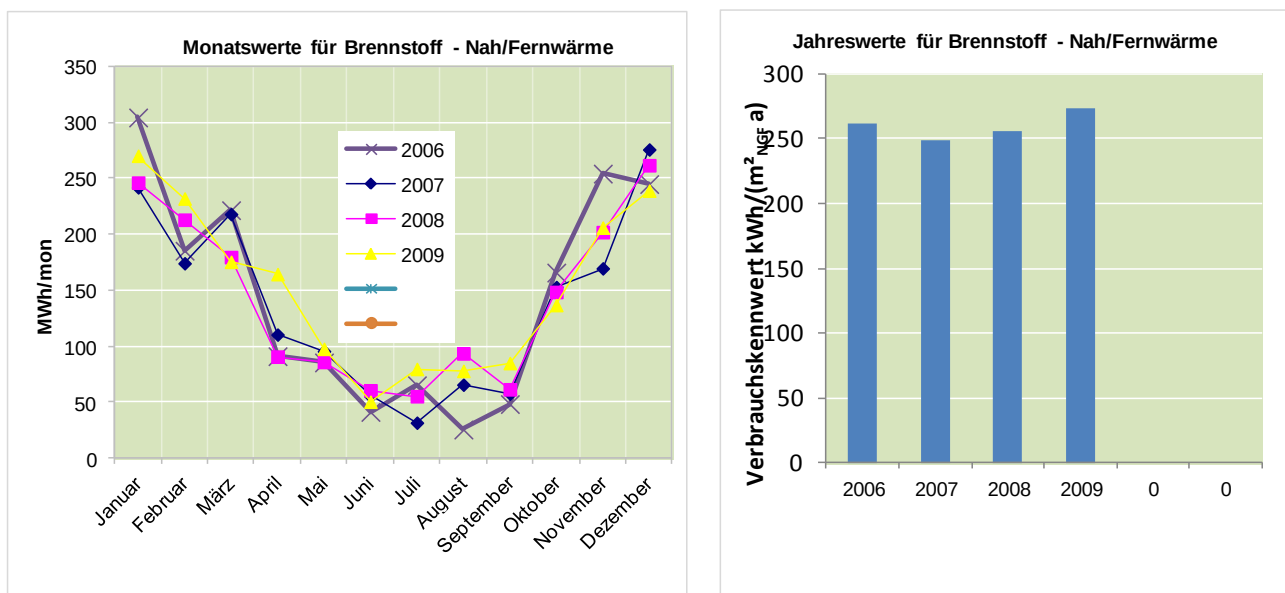


Abbildung 4-1: Witterungs- und Ortsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme der letzten 6 Jahre)

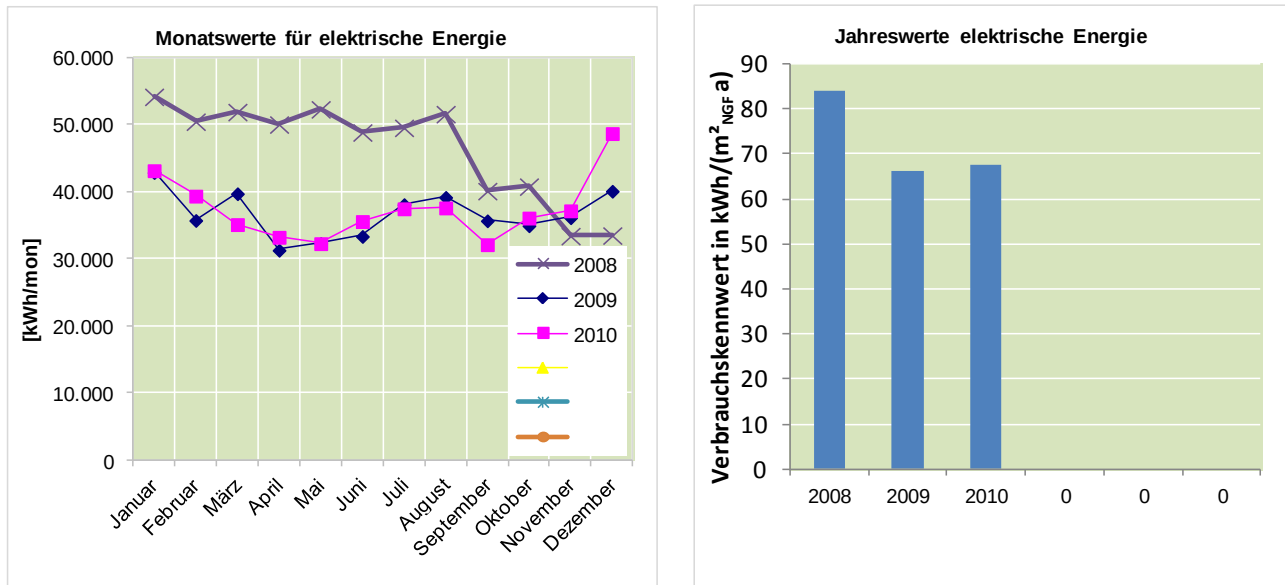


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie der letzten 5 Jahre

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 %.

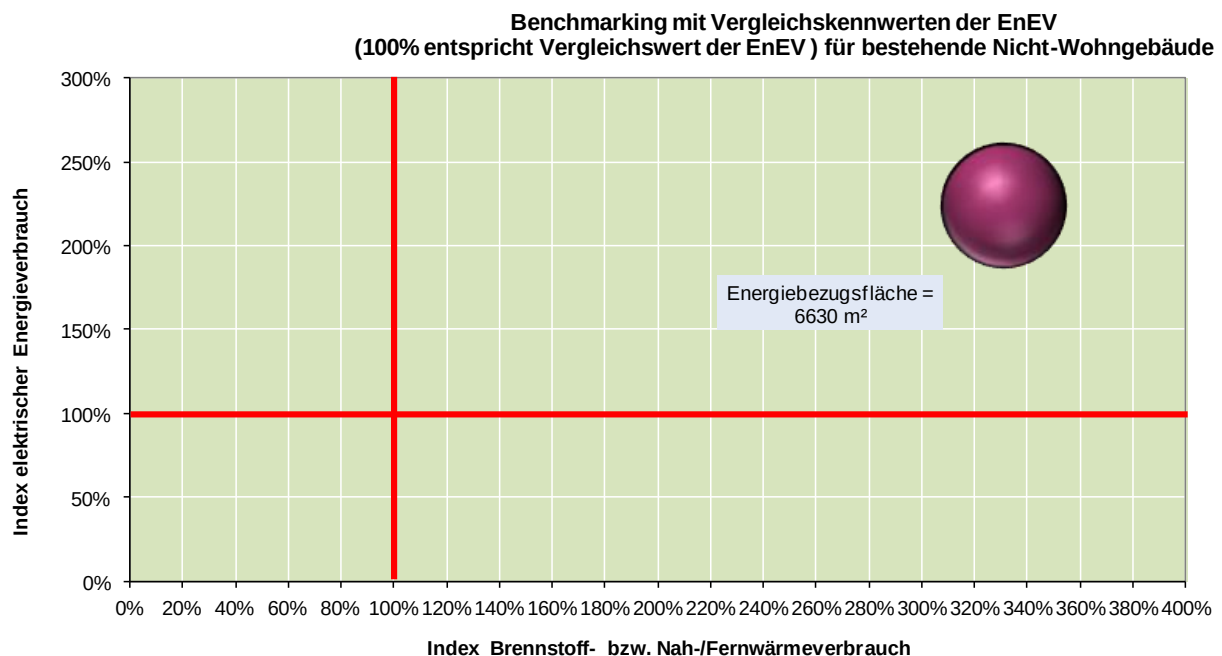


Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)





Für die Liegenschaft wurde hauptsächlich die Gebäudekategorie „9100 – Gebäude für kulturelle und musische Zwecke“ als zutreffendste Kategorie gewählt, der Museumsbereich (36%) als Ausstellungsgebäude, der Restaurantbereich (7%) als Speisegaststätt/Restaurant.

Bei Betrachtung der spezifischen Verbrauchswerte im obigen Diagramm stellt sich eine sehr ineffiziente Liegenschaft dar. Allerdings sind die Benchmarkvergleichswerte nach der EnEV 2009 (Erhebung aus Gebäudebeständen) mit 78 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Heizenergie und 32 kWh/(m<sup>2</sup>a) für den Elektrizitätsbedarf sehr niedrig angesetzt worden! Diese Werte können von diesem komplexen, aus mehreren Teilen bestehenden, 1985 errichteten Gebäude mit hoher technischer Ausstattung nicht erreicht werden.

## 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:

Elektrische Energie: Lastgangdaten der Mainova AG,  $\frac{1}{4}$  Stundenwerte des gesamten Jahres 2010

### 4.2.1 Lastganganalyse elektrische Energie

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

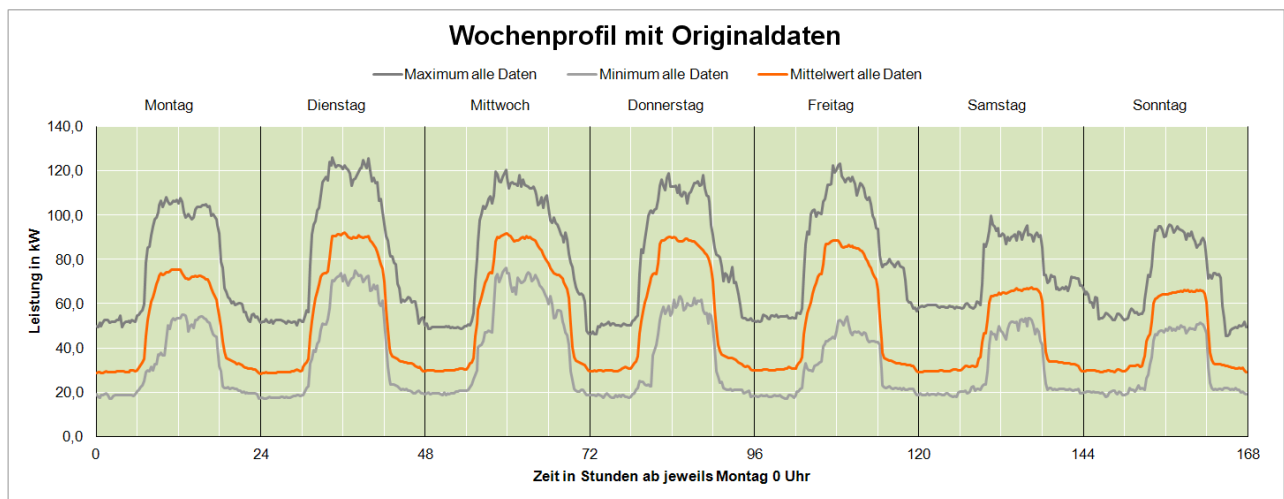


Abbildung 4-4: Wochenprofile des elektrischen Energieverbrauchs 2010

Die Maxima, Minima und Mittelwerte der Wochenprofile lassen eine relativ gleichmäßige Betriebsführung über die Wochen und das Jahr erkennen. Die Lastreduzierung am Montag lässt sich auf die montags geschlossene Ausstellung zurückführen, die Reduzierungen am Wochenende auf die in dieser Zeit geschlossene Musikschule und die nicht besetzten Verwaltungsbereiche.

Die Schwankungen zwischen den Maxima und den Minima von ca. 40 kW sind sowohl jahreszeitlich bedingt, als auch durch die reduzierte Nutzung des Gebäudes in den Ferienzeiten.

Bei der Lastganganalyse fällt es auf, dass die Verbrauchsspitze von 126 kW nicht, wie so oft bei klimatisierten Gebäuden, während der Sommermonate auftritt sondern im Winter. In den Sommermonaten liegen die Spitzen bei ca. 95 kW. Dies ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass die klimatisierten Ausstellungsbereiche der Schirn in der Regel totalverdunkelt sind (abgeschätzter g-Wert = 0,4) und damit keine direkte Sonneneinstrahlung im gesamten klimatisierten, oberen Stockwerk stattfindet. Darüber hinausgehend werden nur noch geringfügige Bereiche klimatisiert. Die gleitend betriebenen Kältemaschinen mit einer maximalen elektrischen Gesamtleistung von 163 kW elektrisch werden also nur wenig beansprucht.

| Wochenprofil: Arbeitszeit: |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Wochentag                  | Beginn   | Ende     |
| Montag                     | 08:00:00 | 23:00:00 |
| Dienstag                   | 08:00:00 | 23:00:00 |
| Mittwoch                   | 08:00:00 | 23:00:00 |
| Donnerstag                 | 08:00:00 | 23:00:00 |
| Freitag                    | 08:00:00 | 23:00:00 |
| Samstag                    | 10:00:00 | 19:00:00 |
| Sonntag                    | 10:00:00 | 19:00:00 |

| Gesamter Zeitraum |              |                                |
|-------------------|--------------|--------------------------------|
|                   | absolut [kW] | spezifisch [W/m <sup>2</sup> ] |
| Maximale Leistung | 126,1        | 20,43                          |
| Minimale Leistung | 17,0         | 2,75                           |
| Mittlere Leistung | 49,1         | 7,96                           |

| Nutzungszeit      |              |                                |
|-------------------|--------------|--------------------------------|
| Dauer             | 75 h/woche   |                                |
|                   | absolut [kW] | spezifisch [W/m <sup>2</sup> ] |
| Maximale Leistung | 126,1        | 20,43                          |
| Minimale Leistung | 17,4         | 2,83                           |
| Mittlere Leistung | 67,7         | 10,98                          |

| Standbyzeit       |              |                                |
|-------------------|--------------|--------------------------------|
| Dauer             | 93 h/woche   |                                |
|                   | absolut [kW] | spezifisch [W/m <sup>2</sup> ] |
| Maximale Leistung | 33,1         | 5,37                           |
| Minimale Leistung | 17,0         | 2,75                           |
| Mittlere Leistung | 34,1         | 5,53                           |

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

Bei Betrachtung der Lastdaten in der Nutzungszeit und in der Stand-by-Zeit lässt sich erkennen, dass sich die Maxima in der Nutzungszeit befinden und die Minima in der Nichtnutzungszeit. Dies lässt auf eine gute Betriebsführung schließen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sich die im Wochenprofil eingegebenen Arbeitszeiten aus mehreren, sich von den Nutzungszeiten her stark unterscheidenden, Zonen zusammensetzen. Also der jeweils an dem Wochentag früheste Nutzungsbeginn und die späteste Nutzung der Liegenschaft darstellen.

### 4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

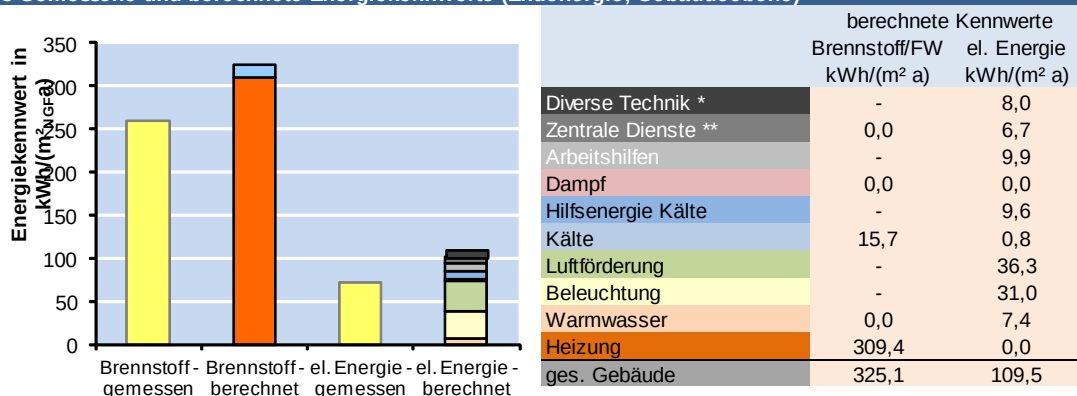
Um die Struktur des Energieverbrauchs des Gebäudes zu analysieren und Schwachstellen zu identifizieren, wird dieser über eine Energiebilanzberechnung nachvollzogen. Die Berechnung wird in Anlehnung an die DIN V 18599 durchgeführt, wobei unterschiedliche Vereinfachungen und Modifikationen bei der Berechnung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



|                               | Brennstoff /<br>Fernwärme          | Elektrische<br>Energie |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| gemessener Verbrauch          | kWh/(m²a)<br>260<br>MWh/a<br>1.723 | 73<br>482              |
| berechneter Bedarf            | kWh/(m²a)<br>325<br>MWh/a<br>2.155 | 110<br>726             |
| Verh. Bedarf/Verbrauch - fb/v | 1,25                               | 1,51                   |

1.4 Berechnungseinstellungen

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| TEK-Tool _ Version:          | 5.5         |
| Flächen der therm. Geb.-hüll | 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

In Beriech der Wärmversorgung liegt der Verbrauch nur etwa 7 % über dem Bedarf, dies stellt eine tolerierbare Abweichung dar.

Bei der elektrischen Energie liegt der Bedarf ca. 50 % über dem Verbrauch. Aufgrund dessen wurden die Verbrauchsdaten nochmals überprüft und als korrekt angesehen. Die größten Anteile im elektrischen Energiebedarf liegen bei der Luftförderung und bei der Beleuchtung. Hier wurden die Anschlussleistungen und die Betriebszeiten ebenfalls nochmals überprüft und als plausibel angesehen. Grundsätzlich besteht bei dem TEK-Tool die Problematik, dass komplexe RLT-Anlagen nicht in dem Tool abgebildet werden können, da jeder Zone nur eine Anlage zugewiesen werden

kann. Es müssen also bei komplexen RLT-Anlagen immer verschiedenen Anlagen, meist mit verschiedenen Funktionen, zusammengefasst werden. Dies kann als eine Ursache für die Differenz angesehen werden.

Bei den Beleuchtungsanlagen entstehen Abweichungen, da die Betriebszeiten sich an den Nutzungszeiten (= Konditionierung) der Zone orientieren, tatsächlich aber z. B. im Werkstattbereich wesentlich kürzer in Betrieb sind.

#### 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg/(m<sup>2</sup>a) differenziert nach Gewerken und für das gesamte Gebäude dargestellt.

| 1.5 Teilenergiekennwerte und CO <sub>2</sub> -Emissionen auf Gebäudeebene |             |          |                                      |             |                    |                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|--------------------------------------|-------------|--------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                                           | Nutzenergie |          | Endenergie                           |             | Primär-<br>energie | CO <sub>2</sub> -<br>Emission<br>kg/(m <sup>2</sup> a) |
|                                                                           | Zonen/RLT   | Erzeuger | Brennstoff<br>kWh/(m <sup>2</sup> a) | el. Energie |                    |                                                        |
| Heizung                                                                   | 218,2       | 243,0    | 309,4                                | 0,0         | 313,9              | 84,6                                                   |
| Warmwasser                                                                | 4,5         | 4,5      | 0,0                                  | 7,4         | 19,2               | 0,5                                                    |
| Beleuchtung                                                               | -           | -        | -                                    | 31,0        | 80,5               | 19,6                                                   |
| Luftförderung                                                             | -           | -        | -                                    | 36,3        | 94,5               | 23,0                                                   |
| Kälte                                                                     | 99,8        | 120,8    | 15,7                                 | 0,8         | 42,8               | 0,0                                                    |
| Hilfsenergie Kälte                                                        | -           | -        | -                                    | 9,6         | 24,9               | 6,1                                                    |
| Dampf                                                                     | 0,0         | -        | 0,0                                  | 0,0         | 0,0                | 0,0                                                    |
| Arbeitshilfen                                                             | -           | -        | -                                    | 9,9         | 25,7               | 6,5                                                    |
| Zentrale Dienste                                                          | -           | -        | 0,0                                  | 6,7         | 17,3               | 4,2                                                    |
| Diverse Technik                                                           | -           | -        | -                                    | 8,0         | 20,8               | 5,1                                                    |
| gesamt                                                                    | 322,5       | 368,3    | 325,1                                | 109,5       | 639,4              | 149,5                                                  |

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



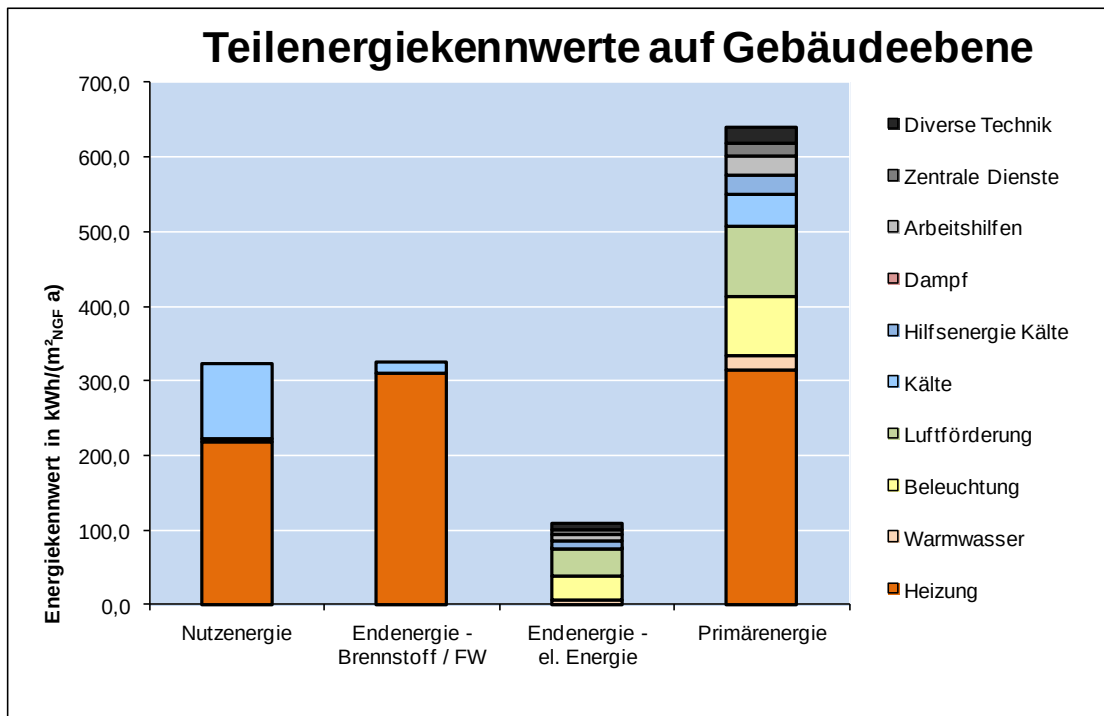


Abbildung 4-7: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand

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.

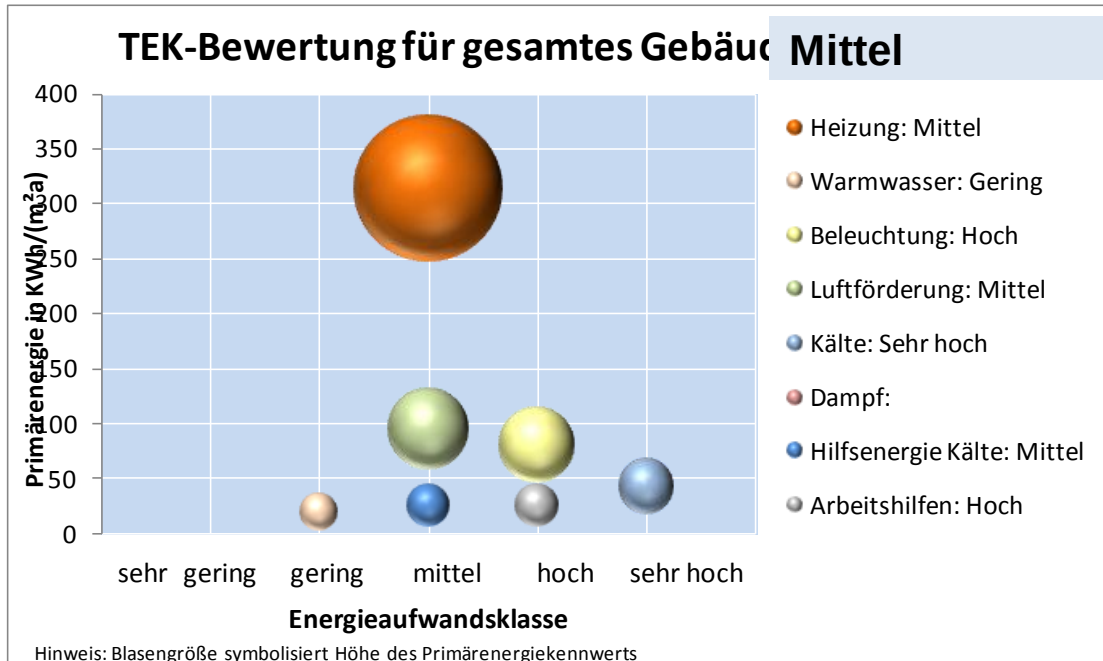


Abbildung 4-8: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung

Der Größte Energieverbrauch im Bereich der Teilenergiekennwerte liegt im Heizungsbereich und liegt relativ in einem mittleren Bereich. Dies erscheint plausibel und im Zuge dessen wurden auch Wärmedämmmaßnahmen bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt.

Weiter stellen die Teilenergieverbräuche im Bereich Beleuchtung und Luftförderung einen hohen Anteil dar. Auf die Luftförderung wurde im vorhergehenden Kapitel schon eingegangen. Der Beleuchtungsverbrauch stellt sich auch relativ betrachtet als hoch dar, dies kann auf die weiter oben beschriebenen ineffizienten Beleuchtungsanlagen im Ausstellungs- und Cafébereich zurückgeführt werden. Die Bereiche Beleuchtung und Luftförderung wurden mit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen aufgenommen.

Der Energieverbrauch Kälte wird spezifisch als sehr hoch eingeordnet. Dies ist auf die großen klimatisierten Bereich im Ausstellungs- und Bürobereich zurückzuführen, die für die gewählte Gebäudekategorie ungewöhnlich sind.

## 5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung

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



## Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen

[zurück zu Übersicht](#)

| Lfd. Nr. | Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung   | Maßnahmenbeschreibung                                                                     | Wichtigkeit (von 1 bis 5) | Bemerkungen                                                                         |
|----------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 431 Lüftungsanlagen                    | Austasch der Motoren (Bj. 1984) gegen effiziente Motoren (mind. IE2)                      | 4) dringend               | Austausch soll erfolgen                                                             |
| 2        | 431 Lüftungsanlagen                    | Reduzierung bzw. Abschaltung der Lüftung im Foyerbereich während der Nichtnutzungsstunden | 2) empfohlen              | In enger Abstimmung mit den Personal der dortigen Arbeitsplätze                     |
| 3        | 445 Beleuchtungsanlagen                | Einsatz von LED Lampen für die Ausstellungsbereiche                                       | 4) dringend               | Innovative LED-Technik mit den erhöhten Anforderungen                               |
| 4        | 445 Beleuchtungsanlagen                | Bewegungsmelder für Beleuchtungsanlagen Werkstätten, Depot                                | 2) empfohlen              | Hohe Anschlussleistung der Beleuchtungsanlage                                       |
| 5        | 334 Außentüren und -fenster            | Dachensterne des Ausstellungsbereich gegen Passivhaus-Fenster tauschen                    | 3) wichtig                | Kondenswasserbildung bei niedrigen Außentemperaturen                                |
| 6        | 335 Außenwandbekleidungen, außen       | Gebäudehülle in Passivhausqualität                                                        | 1) sinnvoll               | Nur im Zusammenhang mit kompletten einer Fassaden sanierung, z. Zt. noch kein Thema |
| 7        | 429 Wärmeversorgungsanlagen, sonstiges | Blockieren der Thermostatventile in den Treppenhäusern                                    | 2) empfohlen              | Die Thermostatventil stehen häufig auf Stufe "5"                                    |
| 8        | 429 Wärmeversorgungsanlagen, sonstiges | Absenken der Raumtemperatur im Foyerbereich                                               | 2) empfohlen              | In enger Abstimmung mit den Personal der dortigen Arbeitsplätze                     |
| 9        | 431 Lüftungsanlagen                    | Reinigung der Zuluftgitter für die Außenluftversorgung Anlage 13.R                        | 2) empfohlen              | Hinweis von Lüftungswartungsfirma                                                   |
| 10       | 336 Außenwandbekleidungen, innen       | Innendämmung 14 cm                                                                        | 1) sinnvoll               | Abschnittsweise                                                                     |
| 11       | 334 Außentüren und -fenster            | Fenster austausch in PH-Standard                                                          | 1) sinnvoll               | In Verbindung mit Dämmmaßnahmen                                                     |

Tabelle 5-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude

## 6 Modernisierungsempfehlungen

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

Aus den möglichen Maßnahmen werden 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.

Folgende Parameter wurden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen angesetzt:

| Schirn Kunsthalle, Frankfurt am Main, Basis            |            |             |       |
|--------------------------------------------------------|------------|-------------|-------|
| Allgemeine Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung |            |             |       |
| Kalkulationszinssatz (nominal)                         | p          | 6,0%        | %/a   |
| Betrachtungszeitraum (maximale Nutzungsdauer)          | n          | 40          | a     |
| Annuitätsfaktor                                        | $a_{p,n}$  | 6,6%        | %/a   |
| Preissteigerungsrate Endenergie Wärme 1 (nominal)      | $s_{W1}$   | 4,0%        | %/a   |
| Mittelwertfaktor Wärme 1                               | $m_{W1}$   | 1,84        |       |
| Preissteigerungsrate Endenergie Wärme 2 (nominal)      | $s_{W2}$   | 4,0%        | %/a   |
| Mittelwertfaktor Wärme 2                               | $m_{W2}$   | 1,84        |       |
| Preissteigerungsrate Endenergie Strom (nominal)        | $s_E$      | 1,5%        | %/a   |
| Mittelwertfaktor Strom                                 | $m_E$      | 1,23        |       |
| Preissteigerungsrate Endenergie Sonstige (nominal)     | $s_S$      | 4,0%        | %/a   |
| Mittelwertfaktor Sonstige                              | $m_S$      | 1,84        |       |
| Preissteigerungsrate Wartung / Inspektion (nominal)    | $s_{WI}$   | 2,0%        | %/a   |
| Mittelwertfaktor Wartung / Inspektion                  | $m_{WI}$   | 1,33        |       |
| Preissteigerungsrate Instandsetzung (nominal)          | $s_{Inst}$ | 1,0%        | %/a   |
| Mittelwertfaktor Instandsetzung                        | $m_{Inst}$ | 1,15        |       |
| Durchschnittspreis Endenergie Wärme 1                  | $k_{W1}$   | 0,09        | €/kWh |
| Durchschnittspreis Endenergie Wärme 2                  | $k_{W2}$   | -           | €/kWh |
| Durchschnittspreis Endenergie Strom                    | $k_S$      | 0,21        | €/kWh |
| Energiebedarf                                          |            | Ist-Zustand |       |
| Endenergiebedarf Wärme 1                               | $Q_1$      | 1.600.000   | kWh/a |
| Endenergiebedarf Wärme 2                               | $Q_2$      |             | kWh/a |
| Endenergiebedarf Strom                                 | W          | 719.000     | kWh/a |
| Energiekosten im 1. Jahr                               | $K_{E,0}$  | 288.195     | €/a   |
| mittlere, jährliche Energiekosten                      | $K_{E,m}$  | 441.462     | €/a   |

Bem.: Energiepreise aus kommunalem Energiepreisvergleich 4/2011 für Frankfurt

### 6.1 Modernisierungsempfehlung 1:Austausch Lüftungsmotoren



Die größten wirtschaftlichen Einsparpotentiale in der Liegenschaft liegen im Bereich der Lüftungsanlagen. Die Regelung (DDC und GLT) hierfür wurde im Jahr 2010 bereits erneuert. Die Lüftungsmotoren und die Laufräder weisen allerdings ein Alter von ca. 27 Jahren auf (Baujahr 1984). Nach den Erfahrungen des Energiemanagement Frankfurt liegen die Einsparpotentiale beim Austausch durch neue effiziente Motoren und Hocheffizienzlaufräder bei mind. 25%. Bei der Neubeschaffung sollte darauf geachtet werden, dass die Motoren mindestens dem IE-Code IE2 oder aber höher entsprechen (siehe Abbildung 6-2 unten). Bei den neuen Laufrädern sollte es sich um hocheffiziente Ventilatoren handeln.

Mit dem Austausch der oben genannten Komponenten sollten auch die aus hygienischen Gründen stillgelegte Wärmerückgewinnung (Rotationswärmetauscher - Econovent) instandgesetzt bzw. erneuert werden. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde dies nicht betrachtet, da zum Einen die Investitionskosten und die Einsparungen nur schwer abgeschätzt werden können (Einbau in bestehende Kanalstrukturen, Anlagen mit FU-Betrieb und gleitendem Umluft- Außenluftanteil) und zum anderen der Umluftbetrieb bei gleichzeitiger Wärmerückgewinnung im TEK-Tool 5.5 nicht dargestellt werden kann.

| Schirn Kunsthalle, Frankfurt am Main, Basis             |             |                                       |                                       |             |                                                                       |            |  |
|---------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|------------|--|
| Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung             | Ist         | Bauteil bzw. Anlage im Bestand        | ME 1 Modernisierungsempfehlung 1      |             |                                                                       |            |  |
| <b>Modernisierungsziel</b>                              |             | <b>Vergleich mit</b>                  | -                                     |             | <b>Austausch Lüftungsmotoren</b>                                      |            |  |
| <b>Jährliche Gesamtkosten</b>                           |             |                                       |                                       |             |                                                                       |            |  |
| vergleichbare, jährliche Kapitalkosten                  | $K_K$       | 0                                     | €/a                                   | $K_K$       | 11.000                                                                | €/a        |  |
| gesamte, mittlere jährliche Energiekosten               | $K_{E,m}$   | 441.000                               | €/a                                   | $K_{E,m}$   | 427.000                                                               | €/a        |  |
| vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten | $K_{W+I,m}$ | 29.000                                | €/a                                   | $K_{W+I,m}$ | 7.000                                                                 | €/a        |  |
| <b>mittlere jährliche Gesamtkosten</b>                  | $K_a$       | <b>470.000</b>                        | <b>€/a</b>                            | $K_a$       | <b>445.000</b>                                                        | <b>€/a</b> |  |
|                                                         |             |                                       |                                       |             |                                                                       |            |  |
| <b>Übersicht Einzelmaßnahmen</b>                        | <b>Ist</b>  | <b>Bauteil bzw. Anlage im Bestand</b> | <b>ME 1 Austausch Lüftungsmotoren</b> |             |                                                                       |            |  |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 1       |                                       |                                       | M 1-1       | Austausch der Motoren (Bj. 1984) gegen effiziente Motoren (mind. IE2) |            |  |
| Standardmaßnahme                                        |             |                                       |                                       |             | 430_Erneuerung_Lüftermotor_und_Laufrad                                |            |  |

Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1 -



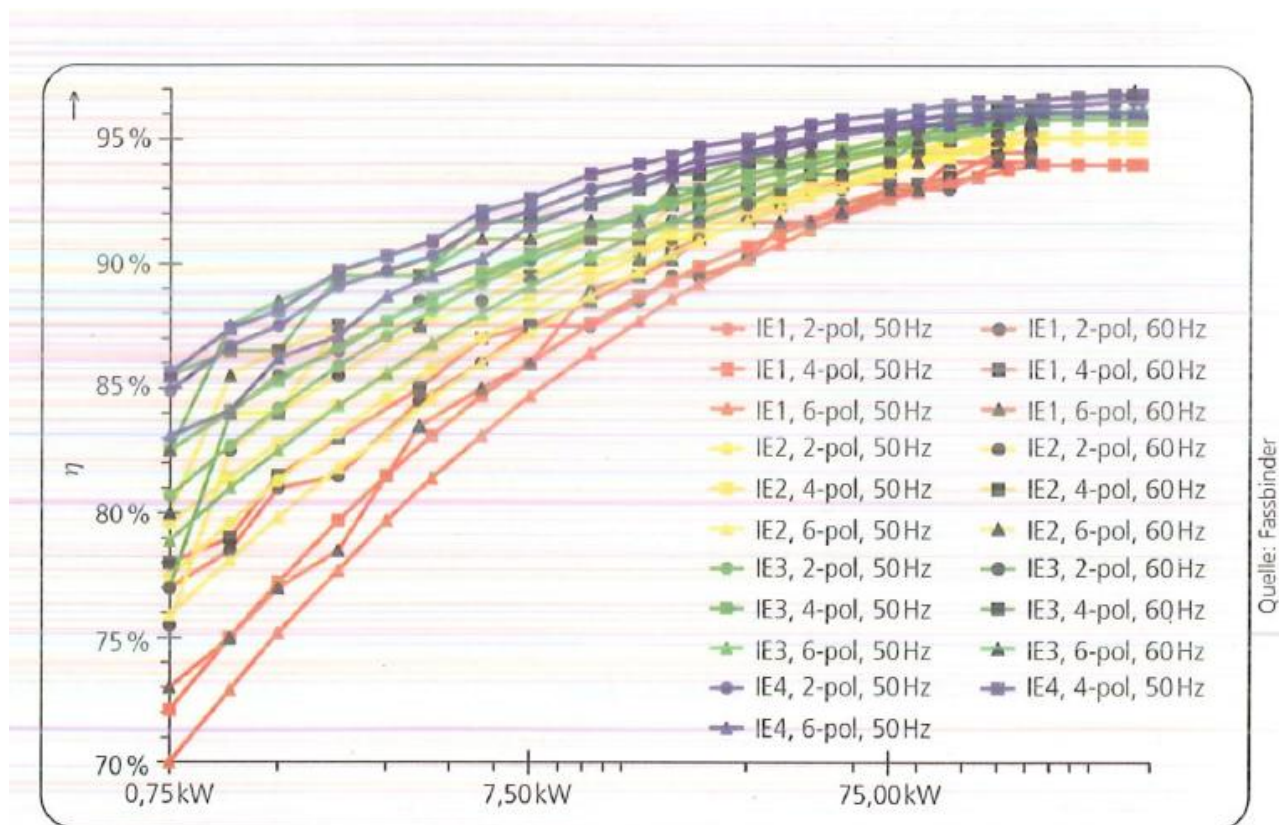


Abbildung 6-2: Wirkungsgradkurven nach IE-Code (IE4 vorläufig)

## 6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Beleuchtungsanlage

Im Bereich der Ausstellung werden zurzeit zu ca. 50 % Halogenleuchtmittel und zu ca. 50% Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (HIT bzw. HQI) verwendet. Da die HIT-Lampen bereits eine relativ hohe Effizienz erreichen (ca. 65 lm/W), sollten zunächst nur die Leuchten mit den Halogenleuchtmitteln (mit ca. 15 lm/W) erneuert werden. Auf die speziellen konservatorischen Anforderungen, die dabei zu beachten sind, wurde bereits weiter oben im Bericht eingegangen. Für die erneuerten Leuchten bietet es sich an, die mittlerweile schon weitentwickelte und sich noch rasant weiterentwickelnde LED-Technik einzusetzen. Diese haben neben einer wesentlich längeren Lebensdauer den Vorteil, dass das weiße LED-Licht frei von Ultraviolett- und Infrarotanteilen und daher konservatorisch vorteilhaft ist. Daher kann bei den LED-Leuchten, im Gegensatz zum Bestand, auf den Einsatz von IR- bzw. UV-Filtern verzichtet werden.

Im Folgenden drei Beispiele für LED-Lampen die sich prinzipiell für den Ausstellungsbereich eignen.

### 1. Logotec Fluter mit LED von Erco,

wurde auch in der Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet



[www.erco.com/logotec](http://www.erco.com/logotec)

Lampenbestückung: LED 13 W, 1080 lm, neutralweiß

Effizienz: 83 lm/W bei neutralweiß

Kosten: 640 €/Stück, Internetrecherche am 10.01.2012

Der Einsatz dieses Strahlers würde eine Reduzierung der Leistung von 100 Watt auf 13 Watt bedeuten, der Lichtstrom würde sich dabei allerdings von etwa 1500 Lumen auf 1080 Lumen reduzieren. Die Auswirkungen für die Ausstellung müsste mit Musterleuchten überprüft werden. Dieser Strahler wurde den wirtschaftlichen Betrachtungen zugrunde gelegt.

## 2. Alternativ: Optec Strahler mit LED von Erco



[www.erco.com/optec](http://www.erco.com/optec)

Lampenbestückung: LED 13 W, 1080 lm, neutralweiß

Effizienz: 83 lm/W bei neutralweiß

Kosten: 680 €/Stück, Internetrecherche am 10.01.2012

## 3. Alternativ: Arcos 3 LED von Zumtobel



[www.zumtobel.com/arcos](http://www.zumtobel.com/arcos)

Lampenbestückung: LED 25 W, 1200 lm, RA 80

Effizienz: 48 lm/W bei RA 80

Nachteil der neuen, für den Ausstellungsbereich geeigneten LED-Technologie ist der relativ hohe Preis. Dennoch zeigte sich in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, dass durch die hohen Betriebsstunden -hervorgerufen durch die hohen Betriebsstunden in den verdunkelten Ausstellungsbereichen- sich die Umrüstung wirtschaftlich darstellen lässt.

| Schirn Kunsthalle, Frankfurt am Main, Basis             |                         |                                |            |                                                            |            |
|---------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------|------------------------------------------------------------|------------|
| Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung             | Ist                     | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |            | Modernisierungsempfehlung 2                                |            |
| Modernisierungsziel                                     |                         | Vergleich mit                  | -          | LED Beleuchtung                                            |            |
| Jährliche Gesamtkosten                                  |                         |                                |            |                                                            |            |
| vergleichbare, jährliche Kapitalkosten                  | $K_K$                   | 0                              | €/a        | 5.000                                                      | €/a        |
| gesamte, mittlere jährliche Energiekosten               | $K_{E,m}$               | 441.000                        | €/a        | 440.000                                                    | €/a        |
| vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten | $K_{W+I,m}$             | 29.000                         | €/a        | 2.000                                                      | €/a        |
| <b>mittlere jährliche Gesamtkosten</b>                  | <b><math>K_a</math></b> | <b>470.000</b>                 | <b>€/a</b> | <b>447.000</b>                                             | <b>€/a</b> |
| Übersicht Einzelmaßnahmen                               |                         |                                |            |                                                            |            |
|                                                         | Ist                     | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |            | LED Beleuchtung                                            |            |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 3                   |                                |            | Einsatz von LED Lampen für die Ausstellungsbereiche        |            |
| Standardmaßnahme                                        |                         |                                |            | 445_LED-Strahler_für_Museen_1100lm                         |            |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 4                   |                                |            | Bewegungsmelder für Beleuchtungsanlagen Werkstätten, Depot |            |
| Standardmaßnahme                                        |                         |                                |            | 445_3_Präsenzmelder_Flure                                  |            |

Abbildung 6-2: Modernisierungsempfehlung 2 –

In der TEK-Tool-Berechnung betrugen die Einsparungen 30 MWh/a, eine rechnerische Überprüfung ergab eine Einsparung von 20 MWh/a. Diese wurde auch der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zugrunde gelegt. Da im Museumsbereich sehr spezielle Anforderungen existieren, sollten zunächst probenhalber einige Musterleuchten beschafft werden um sie auf die Museumstauglichkeit hin zu



testen. Mit den flexiblen Stromschienensystemen der Beleuchtungsanlage im Ausstellungsbereich kann der Austausch der Leuchten schnell und unkompliziert erfolgen.

Mit in den Empfehlungen bzgl. des Ausstellungsbereichs wurde auch der Einsatz von Bewegungsmeldern im Werkstatt und Depot-Bereich wirtschaftlich betrachtet. Die genannten Bereiche werden zeitweise nur sporadisch genutzt und haben aufgrund der dort ausgeführten Tätigkeiten und des fehlenden Tageslichtes eine relativ hohe Anschlussleistung.

### 6.3 Modernisierungsempfehlung 3: Dachfensteraustausch

Im Bereich der Ausstellung – Zone 1 besteht ein hoher Dachfensteranteil der sich aus 320 Scheiben, mit einer Fläche von insgesamt ca. 764 m<sup>2</sup> zusammensetzt, allerdings die weitaus meiste Zeit verdunkelt ist.

Bei bestimmten Witterungslagen entsteht an diesen Fenstern Kondensat, welches in den Ausstellungsbereich herunter tropft. Dies lässt neben schlechtdämmenden Fenstern auch auf Wärmebrücken in diesem Bereich schließen. In Anbetracht dieser Problematik soll bei dieser Modernisierungsempfehlung der Austausch der bestehenden Fenster hin zu Fenstern im Passivhausstandard grob untersucht werden. Die genauen Kosten müssen allerdings von Spezialfirmen mittels konkreter Angebote ermittelt werden. Ein entscheidender Kostenfaktor ist dabei der Austausch der Fenster an und für sich. Bei der Andienung von außen, würde eine Firsthöhe von bis zu ca. 22 m bei einer Auskragung von mindestens 8 m bis zum First zu bewerkstelligen sein. Auf ein Schutzgerüst kann wahrscheinlich verzichtet werden, da sich auf dem Dach unterhalb der Fenster eine Laufanlage befindet. Sollte die Andienung von innen her erfolgen, muss mit einer lichten Raumhöhe von bis zu 8,7 m gerechnet werden. Die Fenster könnten unproblematisch mit dem Lastenaufzug in bzw. aus dem Ausstellungsbereich gebracht werden. Allerdings gestaltet sich der Ein- und Ausbau u. U. schwieriger. Aufgrund dieser nur schwer kalkulierbaren Ausbau- und Einbringungskosten und der speziellen Ausführung als Dachfenster wurde mit einem Preis von 650 €/m<sup>2</sup> Brutto-Fensterfläche gerechnet. Dies wurde im WiBe-Tool mit einem Zuschlag von 65 % gegenüber der Preisangabe für Passivhausfenster mit konventioneller Einbausituation berücksichtigt.

Wie erwähnt muss dieser angenommene, spezifische Preis auf jeden Fall durch konkrete Vergleichsangebote von Fachfirmen überprüft werden!



Abbildung 6-3a: Dachfenster der Schirn

| Schirn Kunsthalle, Frankfurt am Main, Basis             |             |                                |     |  | ME 3                        |                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-----|--|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung             | Ist         | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |     |  | Modernisierungsempfehlung 3 |                                                                     |     |
| Modernisierungsziel                                     |             | Vergleich mit                  |     |  | Dachfensteraustausch        |                                                                     |     |
| Jährliche Gesamtkosten                                  |             |                                |     |  |                             |                                                                     |     |
| vergleichbare, jährliche Kapitalkosten                  | $K_K$       | 0                              | €/a |  | $K_K$                       | 39.000                                                              | €/a |
| gesamte, mittlere jährliche Energiekosten               | $K_{E,m}$   | 441.000                        | €/a |  | $K_{E,m}$                   | 430.000                                                             | €/a |
| vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten | $K_{W+I,m}$ | 29.000                         | €/a |  | $K_{W+I,m}$                 | 4.000                                                               | €/a |
| mittlere jährliche Gesamtkosten                         | $K_a$       | 470.000                        | €/a |  | $K_a$                       | 473.000                                                             | €/a |
| Übersicht Einzelmaßnahmen                               | Ist         | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |     |  | ME 3                        | Dachfensteraustausch                                                |     |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 5       |                                |     |  | M 3-5                       | Dachstern des Ausstellungsbereich gegen Passivhaus-Fenster tauschen |     |
| Standardmaßnahme                                        |             |                                |     |  |                             | 334_1_FE_PH-Qualität                                                |     |

Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 3 -

## 6.4 Modernisierungsempfehlung 4: Innendämmung

Hier soll zunächst die praktikablere Lösung der Innendämmung untersucht werden, alternativ dazu erfolgt in Modernisierungsempfehlung 5 die Betrachtung der Außenwanddämmung.

Die Innendämmung soll mit einer Dämmstärke von 14 cm ausgeführt werden. Mit der Gesamtkostenberechnung des Energiemanagements Frankfurt wurde dies als wirtschaftlichste Dämmstärke ermittelt. Dabei wurden Kosten von 80 €/m<sup>2</sup> für die genannte Dämmstärke zugrunde gelegt. Die dadurch entstehende Reduzierung der NGF dürfte bei den großen Räumen nicht so ins Gewicht fallen. Im Ausstellungsbereich – Zone 1 werden ohnehin häufig bei den Außenwandbereichen von innen temporäre Wände vorgebaut. Bei den Übungsräumen der Musikschule handelt es sich um tiefe Räume mit einem geringen Außenwandanteil. Die Durchführung der Innendämmung könnte sukzessive, bei der Musikschule und den Bürobereichen von Raum zu Raum und im Ausstellungsbereich bei Ausstellungswechsel erfolgen. In Zuge der Wanddämmung sollen auch die Fenster hin zum Passivhausstandard ausgetauscht werden, dies ist in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit berücksichtigt. Hier wurde ein Abschlag von 10 % zur Geltung gebracht, da es sich um eine große Menge und viele baugleiche Fenster (z. B. im Ausstellungsbereich oder Übungsräume Musikschule) handelt. Wichtig, bei der Planung und Ausführung von Innendämmmaßnahmen, ist eine exakte bauphysikalische Untersuchung des Wandaufbaus und die korrekte Umsetzung der sich daraus ergebenden Vorgaben.

Gemäß den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2011 der Stadt Frankfurt sollen für die Innendämmung möglichst mineralische Baustoffe zum Einsatz kommen. Standard Mineralschaumplatten mit WLG 045. Die Anschlussdetails sind von einem Bauphysiker zu planen und zu berechnen. Ebenfalls aus der Gesamtkostenberechnung ergibt sich die Außenwand mit Innendämmung ein U-Wert von 0,20 W/m<sup>2</sup>K.



| Schirn Kunsthalle, Frankfurt am Main, Basis             |             |                                |     |             |        |                                  |     |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-----|-------------|--------|----------------------------------|-----|
| Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung             | Ist         | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |     |             | ME 4   | Modernisierungsempfehlung 4      |     |
| Modernisierungsziel                                     |             | Vergleich mit                  | -   |             |        | Innendämmung                     |     |
| Jährliche Gesamtkosten                                  |             |                                |     |             |        |                                  |     |
| vergleichbare, jährliche Kapitalkosten                  | $K_K$       | 0                              | €/a | $K_K$       |        | 76.000                           | €/a |
| gesamte, mittlere jährliche Energiekosten               | $K_{E,m}$   | 441.000                        | €/a | $K_{E,m}$   |        | 409.000                          | €/a |
| vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten | $K_{W+I,m}$ | 29.000                         | €/a | $K_{W+I,m}$ |        | 9.000                            | €/a |
| mittlere jährliche Gesamtkosten                         | $K_a$       | 470.000                        | €/a | $K_a$       |        | 494.000                          | €/a |
|                                                         |             |                                |     |             |        |                                  |     |
| Übersicht Einzelmaßnahmen                               | Ist         | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |     |             | ME 4   | Innendämmung                     |     |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 10      |                                |     |             | M 4-10 | Innendämmung 14 cm               |     |
| Standardmaßnahme                                        |             |                                |     |             |        | 336_2_Innendämmung_14cm          |     |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 11      |                                |     |             | M 4-11 | Fenster austausch in PH-Standard |     |
| Standardmaßnahme                                        |             |                                |     |             |        | 334_1_FE_PH-Qualität             |     |

Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 4-

## 6.5 Modernisierungsempfehlung 5: Außendämmung in Passivhausqualität

Als Alternative zur Innendämmung wird im Folgenden die Dämmung der Außenwand betrachtet. Dies ist allerdings zurzeit nicht sinnvoll, da sich die Fassadenoberfläche aus Sandstein, abgesehen von Ausnahmen, noch in einem guten Zustand befindet und in absehbarer Zeit auch nicht saniert werden soll. Sollte dies doch irgendwann angedacht werden macht diese Modernisierungsempfehlung Sinn. Ein Fensteraustausch hin zum Passivhausstandard ist auch hier vorgesehen und in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit berücksichtigt. Zudem muss bei einer dem Passivhausstandard entsprechenden und damit luftdichten Gebäudehülle auch das Lüftungskonzept für die gesamte Liegenschaft betrachtet werden. Wegen der Komplexität dieser Betrachtung bleibt dieser Bereich bei der Modernisierungsempfehlung 5 allerdings unberücksichtigt. Eine Berücksichtigung würde den Rahmen des Modernisierungsvorschlags, auch in Anbetracht des schon entstandenen hohen Arbeitsaufwandes, sprengen.

Als U-Wert im gedämmten Zustand wurde gemäß den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2011 der Stadt Frankfurt 0,16 W/m<sup>2</sup>K angesetzt.

| Schirn Kunsthalle, Frankfurt am Main, Basis             |             |                                |     |             |                                    |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-----|-------------|------------------------------------|
| Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung             | Ist         | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |     | ME 5        | Modernisierungsempfehlung 5        |
| Modernisierungsziel                                     |             | Vergleich mit                  | -   |             | Außendämmung                       |
| Jährliche Gesamtkosten                                  |             |                                |     |             |                                    |
| vergleichbare, jährliche Kapitalkosten                  | $K_K$       | 0                              | €/a | $K_K$       | 87.000 €/a                         |
| gesamte, mittlere jährliche Energiekosten               | $K_{E,m}$   | 441.000                        | €/a | $K_{E,m}$   | 408.000 €/a                        |
| vergleichbare mittlere, jährliche Instandhaltungskosten | $K_{W+l,m}$ | 29.000                         | €/a | $K_{W+l,m}$ | 9.000 €/a                          |
| mittlere jährliche Gesamtkosten                         | $K_a$       | 470.000                        | €/a | $K_a$       | 504.000 €/a                        |
| Übersicht Einzelmaßnahmen                               |             |                                |     |             |                                    |
|                                                         | Ist         | Bauteil bzw. Anlage im Bestand |     | ME 5        | Außendämmung                       |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 6       |                                |     | M 5-6       | Gebäudehülle in Passivhausqualität |
| Standardmaßnahme                                        |             |                                |     |             | 335_0_AW_WDVS_Passivhausstandard   |
| Objektspezifische Maßnahme                              | Ist 11      |                                |     | M 5-11      | Fenster austausch in PH-Standard   |
| Standardmaßnahme                                        |             |                                |     |             | 334_1_FE_PH-Qualität               |

Abbildung 6-5: Modernisierungsempfehlung 5 -

## 6.6 Zusammenfassung und Vergleich

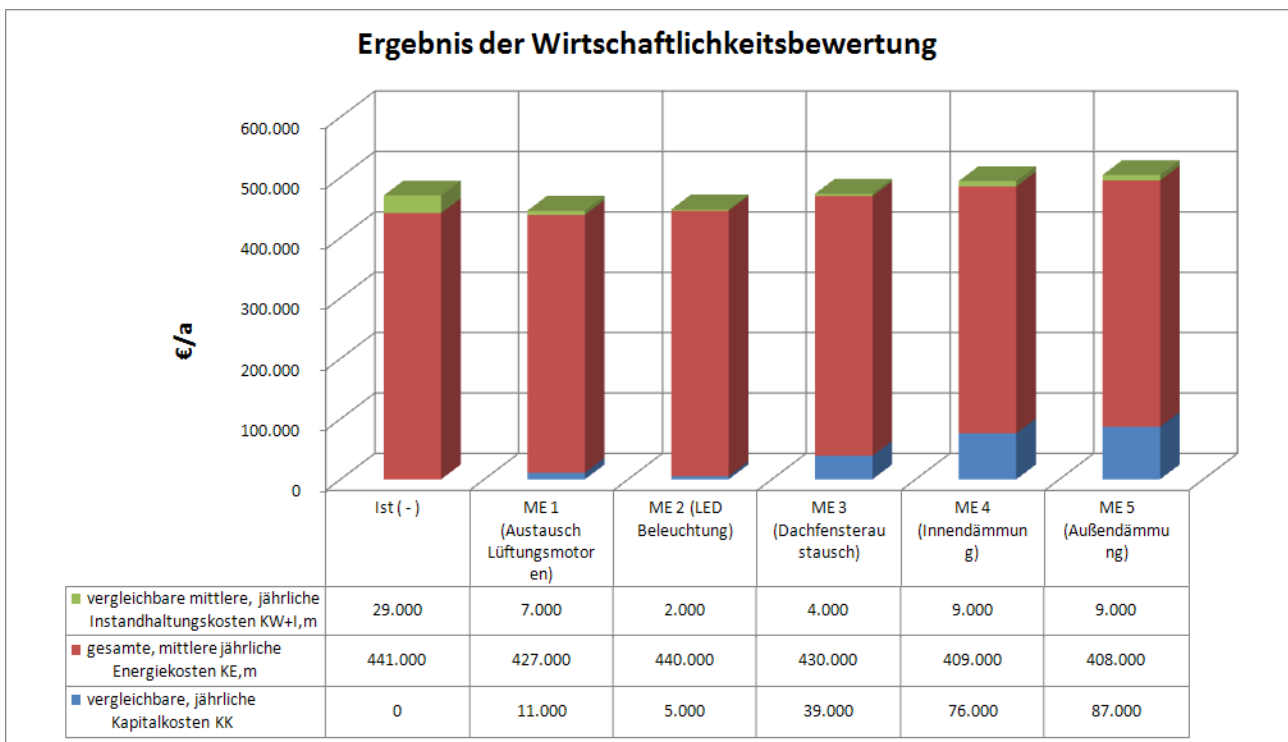


Abbildung 6-6 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen

## 6.7 Weitere Maßnahmenvorschläge

Folgende kleinere Maßnahmen erscheinen ebenfalls durchaus sinnvoll, wurden aber im Zuge der Betrachtung mit dem TEK-WiBe-Tool nicht näher untersucht, da die für das Projekt veranschlagte

Zeit schon deutlich überschritten wurde, mit dem Tool nur maximal 5 Empfehlungen erarbeitet werden können und zudem der Aufwand der TEK-WiBe-Tool-Berechnung im Verhältnis zu dem erwarteten Einsparpotentialen zu hoch war.

#### 1. **Begrenzung der Thermostatventile in Treppenhäusern**

Begrenzung der auf Stufe „1“ in den außenliegenden, von Bereichen mit höheren Raumtemperaturen abgetrennten Treppenhäusern. Die Thermostatventile werden in diesen Bereichen, nach Aussage des Betriebspersonals, immer wieder hochgedreht, teilweise bis auf die höchste Einstellung „5“. Dadurch werden zwar die Heizkörper auf hohe Temperaturen gebracht, können aber die Treppenhäuser letztendlich nicht erwärmen, was auch nicht sinnvoll wäre. Bei den vorhandenen Thermostatventilen der Firma MNG ist eine Begrenzung nicht nachhaltig möglich. Diese kann zwar vorgenommen werden, allerdings können die Begrenzungsstifte ohne Werkzeug schnell wieder entfernt werden. Die bestehenden Ventilkörper sind für die heutigen Thermostatköpfe der Firma Honeywell bzw. beim Einsatz von Adaptern auch für die von anderen Herstellern geeignet. Hier sollten Angebote von Fachfirmen eingeholt werden.

#### 2. **Reduzierung der Betriebszeiten Lüftungsanlage Foyer in den Nachtstunden**

Zurzeit ist die Lüftungsanlage zur Versorgung des Foyerbereichs ständig in Betrieb. Tagsüber von 8:00 bis 22:00 Uhr läuft sie auf Stufe zwei (Stufe 2: Pn-zu=10 kW, Pn-ab=6 kW, Stufe 1 unbekannt) und in den restlichen Nachtstunden auf Stufe eins. Hier sollte über ein Stoßbetrieb bzw. die Abschaltung der Lüftungsanlage während der Nichtnutzungsstunden, in denen nur der Arbeitsplatz des Sicherheitsdienstes besetzt ist, nachgedacht werden. Ggf. sollten die Änderungen der Betriebsweise mit Messungen der Lufttemperatur und des CO<sub>2</sub>-Gehaltes begleitet werden. Veränderungen der Einstellungen sollten nur in enger Abstimmung mit dem Sicherheitspersonal erfolgen.

#### 3. **Reduzierung der Raumtemperaturen im Foyer**

Während der Begehungen fielen im Haupteingangsbereich – Foyer EG relativ hohe Raumtemperaturen auf (Temperatur am 31.11.2011, 10:30 Uhr mit Oberflächenmessung an innenliegenden Säulen ca. 24 °C und Lufttemperaturmessung am 15.12.2011, 16:00 Uhr mit Sekundenthermometer ca. 23 °C). Der genannte Bereich wird sowohl über statische Konvektoren als auch über die Lüftungsanlage beheizt. Hier sollte geprüft werden inwiefern ein Absenken der Raumtemperatur möglich ist. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass im Eingangsbereich zu den Öffnungszeiten des Gebäudes ein permanenter Publikumsverkehr stattfindet und es daher zu Zugserscheinungen kommt. Auch diese Maßnahme sollte nur in enger Abstimmung mit dem Personal der dortigen Arbeitsplätze erfolgen. Im TEK-Tool konnte für diesen als Kategorie Verkehrsflächen definierten Bereich keine Temperaturänderungen simuliert werden, da das Tool hier Temperaturvorgaben nach DIN annimmt.

#### 4. **Kürzere Reinigungsintervalle am Zuluftgitter der Anlage 13.R**

Weiter erfolgte ein Hinweis eines Servicemitarbeiters der Wartungsfirma. Demnach war zu diesem Zeitpunkt das Zuluftgitter der zentralen Außenluftversorgung (Zuluftkanal Anlage 13.R) stark verschmutzt. Es ist davon auszugehen, dass sich durch den dadurch zusätzlich entste-

henden Druckabfall am Gitter eine höhere Leistungsabnahme der Ventilatormotoren der Anlage 13.R einstellt. Hier sollte geprüft werden, ob kürzere Reinigungsintervalle sinnvoll sind.

## 7 Durchgeführte Messungen

### Kurzzeitmessungen

Zunächst wurden in der Gebäudeleittechnik angezeigte Tageverbrauchswerte einzelner Anlagen überprüft. Die Daten stellten sich allerdings bei näherer Betrachtung als unplausibel heraus, so dass für die Ermittlung der Tagesverbräuche doch Messungen vor Ort durchgeführt werden mussten.

Es bestand keine Möglichkeit die Energieverbräuche der RLT einzelner Zonen zu messen, da die Versorgung der im TEK-Tool in einer Zone zusammengefassten Lüftungsanlagen aus verschiedenen Schaltschränken heraus erfolgt.

Daher wurde die Anlage 13.R (zentrale Außenluftversorgung) zur Messung herangezogen. Diese Anlage, mit den in den Unterlagen größten angegebenen Volumenstrom von  $2 \times 43.425 \text{ m}^3/\text{h}$ , verfügt über zwei baugleiche Ventilatoren die über druckgeregelte Frequenzumformer betrieben werden. Zudem sind von dieser großen Anlage weder in den technischen Unterlagen noch an den Geräten selbst Nennleistungsdaten angegeben.



Abbildung 7-1: Lüftungsanlagen „13.R Zentrale Außenluftversorgung (West) U2“



Abbildung 7-2: Lüftungsanlage „13.R Zentrale Außenluftversorgung (West) U2“

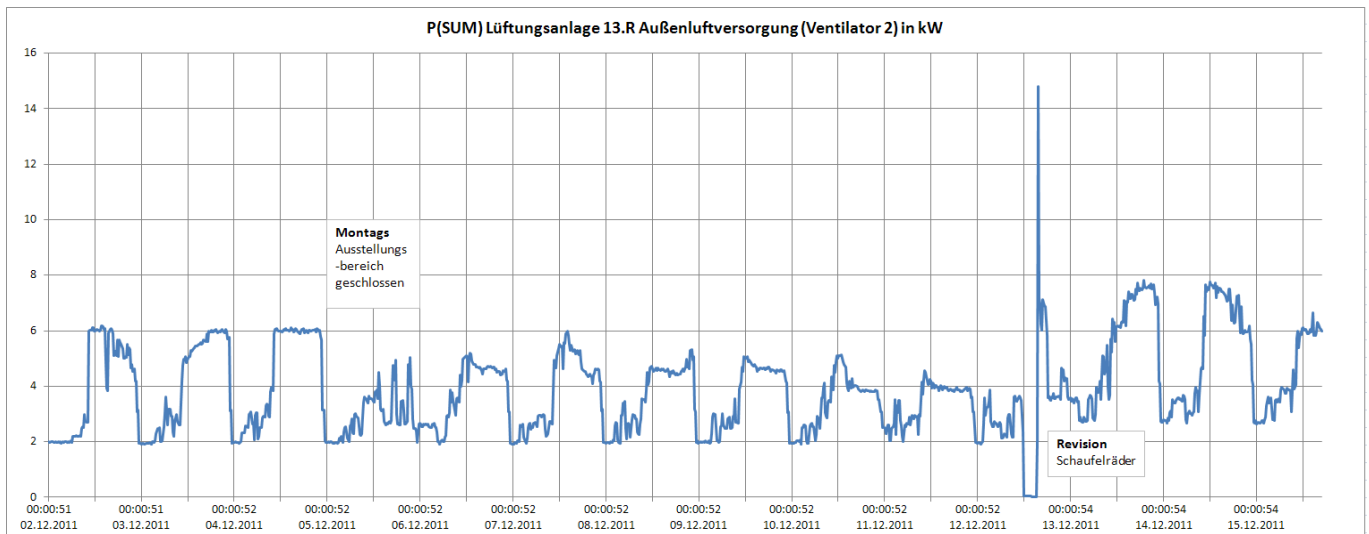


Abbildung 7-3: Lastgangmessung „13.R Zentrale Außenluftversorgung (West) U2“

Die Anlage wird über Frequenzumformer druckabhängig gesteuert. Das heißt die von der Anlage 13.R versorgten Zuluftanlagen, die wiederum hauptsächlich die Zone 1-Ausstellung versorgen, erhalten dadurch einen konstanten Druck in den Außenluftkanälen. Der Lastgang der zentralen Außenluftversorgung zeigt deutlich den Stützbetrieb in den Nachtstunden, also das Reduzieren der Luftmengen in den Zeiten ohne Publikumsverkehr. Nach der Revision der Schaufelräder am 12.12.11 stiegen die elektrischen Leistungen zunächst für zwei Tage an, die Ursache hierfür konnte nicht geklärt werden.



| <b>Prognose Luftförderung</b>                                            |            |                                                      |                        |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------|------------------------|
| Schirn Anlage 13.R Außenluftversorgung (Ventilator 2 - FU druckgeregelt) |            |                                                      |                        |
| <b>Messwerte:</b>                                                        |            |                                                      |                        |
| Datum                                                                    | Zeit       | Energie-<br>verbrauch<br>Luftförderung<br>g<br>kWh/d | Besuchertag<br>ja/nein |
| 02.12.2011                                                               | 00:00:00   | 93,43                                                | ja                     |
| 03.12.2011                                                               | 00:00:00   | 97,20                                                | ja                     |
| 04.12.2011                                                               | 00:00:00   | 105,60                                               | ja                     |
| 05.12.2011                                                               | 00:00:00   | 70,20                                                | nein                   |
| 06.12.2011                                                               | 00:00:00   | 89,10                                                | ja                     |
| 07.12.2011                                                               | 00:00:00   | 90,20                                                | ja                     |
| 08.12.2011                                                               | 00:00:00   | 86,50                                                | ja                     |
| 09.12.2011                                                               | 00:00:00   | 85,60                                                | ja                     |
| 10.12.2011                                                               | 00:00:00   | 82,20                                                | ja                     |
| 11.12.2011                                                               | 00:00:00   | 81,00                                                | ja                     |
| 12.12.2011                                                               | 00:00:00   | 72,70                                                | nein                   |
| 13.12.2011                                                               | 00:00:00   | 128,20                                               | ja                     |
| 14.12.2011                                                               | 00:00:00   | 125,00                                               | ja                     |
| 08.12.2011                                                               |            | 92,84                                                |                        |
| <b>Einteilung Typtage</b>                                                |            |                                                      |                        |
| 1                                                                        |            |                                                      |                        |
| Einteilung 1 (WT,WE)                                                     |            |                                                      |                        |
| Energieverbrauch                                                         |            |                                                      |                        |
| Bez. Typtag                                                              | Zeitanteil | Mittelwert Messdaten                                 |                        |
| WT                                                                       | 0,69       | 93,44                                                |                        |
| WE                                                                       | 0,31       | 91,50                                                |                        |
|                                                                          | 1,00       | 92,84                                                |                        |
| <b>Prognosen</b>                                                         |            |                                                      |                        |
| Energieverbrauch                                                         |            | 33886 kWh/Jahr                                       |                        |
| Luftförderung                                                            |            | 18,83 kWh/m²Jahr                                     |                        |

Abbildung 7-4: Prognose „13.R Zentrale Außenluftversorgung (West) U2“

Der für den Ventilator 1 der Anlage 13.R in der Prognose errechnete Energieverbrauch beträgt 33.886 kWh pro Jahr. Die beiden Ventilatoren der Anlage werden parallel betrieben, daher kann von etwa gleichen Verbräuchen der Anlage ausgegangen werden. Für die gesamte Anlage 13.R resultiert daraus ein Verbrauch von etwa 68 MWh/a. Dieser spezielle Bedarfswert wurde allerdings durch das TEK-Tool nicht berechnet, da für die Zone 1 insgesamt sechs RLT-Analgen zusammen gefasst werden mussten. Daher kann keine Aussage über die Plausibilität des Wertes gemacht werden.

## 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
- [5] Magistrat der Stadt Frankfurt am Main - Hochbauamt: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2011; Februar 2011, verfügbar unter [www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de](http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de)
- [6] Magistrat der Stadt Frankfurt am Main - Hochbauamt: Gesamtkostenberechnung; 2011, verfügbar unter [www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de](http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de)

## 9 Anhang: Datenerhebung

### 9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

- Grundrisse, Schnitte, Ansichten teilweise unvollständig oder nicht lesbar als PDF-Dateien, teilweise auch mit unkorrekter Darstellung
- Grundrisse als dwg-Dateien ohne Flächenangaben
- Technische Anlagenschematas für RLT- und Kälteanlagen ohne elektrische Nennleistungsangaben.
- Technische Anlagenschematas der Heizkreise
- Wärmeschutznachweis

| Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Aktualität<br>(- / 0 / +) | Bemerkung                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Architektenpläne<br><input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Grundrisse, 1:200<br><input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Schnitte, 1:200<br><input checked="" type="checkbox"/> Ansichten                                                                                                            | +                         | Unvollständig und teilweise nur schlecht lesbar                 |
| <input type="checkbox"/> Baubeschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                           | -                                                               |
| <input type="checkbox"/> EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung                                                                                                                                                                                                                                            |                           | -Wärmeschutznachweis mit nicht nachvollziehbaren Flächenangaben |
| <input type="checkbox"/> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Raumbuch, Flächenangaben</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben für Gesamtgebäude nach Kategorien DIN 277</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben geschossweise</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben nach Nutzungszonen</li> </ul> |                           | -                                                               |
| <input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Gebäudehülle <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Bauteilkatalog</li> <li><input type="checkbox"/> Sonstiges</li> </ul>                                                                                                                                     |                           |                                                                 |
| <input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Wärmeversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Schemata</li> <li><input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung</li> <li><input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche</li> </ul>                      |                           |                                                                 |

| im Grundriss                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen<br><input checked="" type="checkbox"/> Schemata<br><input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung<br><input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss                                                                             | + | Ohne elektrische Nennleistungsangaben |
| <input type="checkbox"/> Technische Unterlagen RLT-Anlagen<br><input checked="" type="checkbox"/> Schemata<br><input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung<br><input type="checkbox"/> Lüftungsgesuch<br><input type="checkbox"/> Abnahmemessungen<br><input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss | + | Ohne elektrische Nennleistungsangaben |
| <input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Beleuchtungsanlage<br><input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung<br><input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss                                                                                                                                  |   |                                       |
| <input type="checkbox"/> Wartungsunterlagen<br><input type="checkbox"/> Verträge<br><input type="checkbox"/> Protokolle                                                                                                                                                                                                                        |   |                                       |
| <input type="checkbox"/> Sonstige Unterlagen                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |                                       |

## 9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten

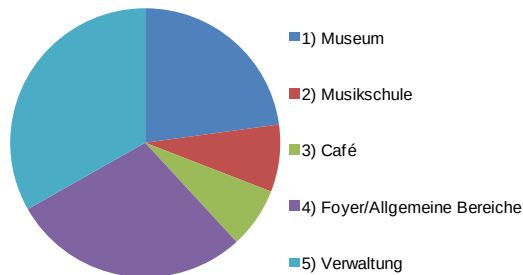
| Nr. | Größe | Angenommene Ausprägung | Bemerkung                                                                                          |
|-----|-------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | kW    |                        | Abschätzung kleinerer Lüftungsanlagen, da sich keine Nennleistungsangaben an den Geräten befanden. |
|     |       |                        |                                                                                                    |

## 10 Anhang: Weitere Analysen zum Lastgang des Gebäudes

Siehe Kapitel 4.2 - Lastganganalysen

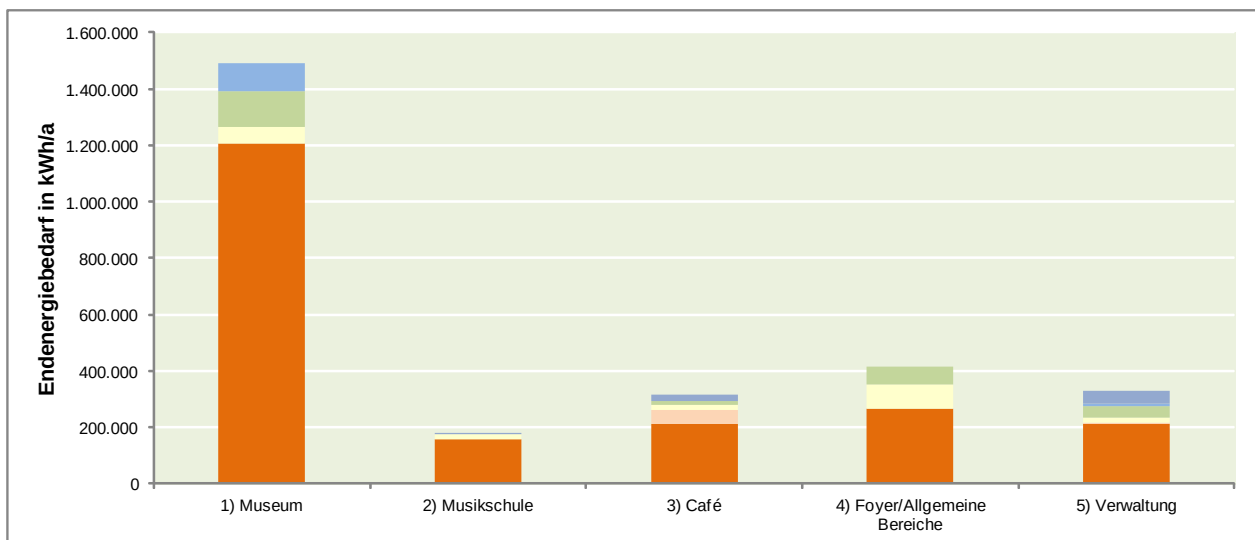
## 11 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

### 2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



|                              | Fläche<br>m <sup>2</sup> | Anteil an<br>beh. NGF |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1) Museum                    | 1.804                    | 27%                   |
| 2) Musikschule               | 636                      | 10%                   |
| 3) Café                      | 575                      | 9%                    |
| 4) Foyer/Allgemeine Bereiche | 2.266                    | 34%                   |
| 5) Verwaltung                | 2.622                    | 40%                   |
|                              | 7.903                    | 119%                  |

### 2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



### 2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

| Bezeichnung                | 1) Museum                                           | 2) Musikschule                                      | 3) Café                                             | 4) Foyer/Allgemeine Bereiche                        | 5) Verwaltung                                       |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Fläche der Nutzungseinheit | 1804 m <sup>2</sup>                                 | 636 m <sup>2</sup>                                  | 575 m <sup>2</sup>                                  | 2266 m <sup>2</sup>                                 | 2622 m <sup>2</sup>                                 |
|                            | TEK-Bewert. PE-Kennwert<br>- kWh/(m <sup>2</sup> a) | TEK-Bewert. PE-Kennwert<br>- kWh/(m <sup>2</sup> a) | TEK-Bewert. PE-Kennwert<br>- kWh/(m <sup>2</sup> a) | TEK-Bewert. PE-Kennwert<br>- kWh/(m <sup>2</sup> a) | TEK-Bewert. PE-Kennwert<br>- kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Arbeitshilfen              | - 0                                                 | Gering 2                                            | Sehr hoch 42                                        | - 0                                                 | Mittel 16                                           |
| Dampf                      | 0                                                   | 0                                                   | 0                                                   | 0                                                   | 0                                                   |
| Kälte                      | Sehr hoch 55                                        | 0                                                   | 0                                                   | 0                                                   | Sehr hoch 4                                         |
| Luftförderung              | Hoch 70                                             | 0                                                   | Sehr gering 18                                      | Sehr hoch 27                                        | Mittel 16                                           |
| Beleuchtung                | Sehr hoch 32                                        | Hoch 34                                             | Sehr hoch 38                                        | Sehr hoch 37                                        | Sehr gering 7                                       |
| Warmwasser                 | 0                                                   | 0                                                   | Mittel 81                                           | 0                                                   | Sehr gering 1                                       |
| Heizung                    | Hoch 669                                            | Mittel 244                                          | Mittel 369                                          | Gering 117                                          | Mittel 81                                           |

Abbildung 11-1: Bewertung je Nutzungseinheit



## 12 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene

| 3.1 Heizung                              |               |              |                    |                            |           |       |       |                         |       |       |
|------------------------------------------|---------------|--------------|--------------------|----------------------------|-----------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| Nr. und Name                             | Std.-nutzung  | Fläche<br>m² | Nutz. -<br>einheit | Ist-Wert Zone (Endenergie) |           |       |       | Vergleichswert - gering |       |       |
|                                          |               |              |                    | TEK-Bewert.                | kWh/(m²a) | W/m²  | h/a   | kWh/(m²a)               | W/m²  | h/a   |
| 1) Schirn Ausstellung 2.OG27 Ausstellung |               | 1.804        | 1                  | Hoch                       | 668,5     | 998,5 | 670   | 144,9                   | 121,0 | 1.197 |
| 2) Schirn Verwaltung                     | 02 Gruppenbü  | 583          | 5                  | Mittel                     | 236,6     | 474,3 | 499   | 92,4                    | 173,9 | 531   |
| 3) Musikschule 1.OG                      | 08 Klassenzin | 636          | 2                  | Mittel                     | 243,8     | 166,2 | 1.467 | 100,7                   | 344,4 | 292   |
| 4) Musikschule Verwaltung                | 02 Gruppenbü  | 342          | 5                  | Gering                     | 115,1     | 99,6  | 1.156 | 92,4                    | 173,9 | 531   |
| 5) Foyer EG - 1. OG u. Buc19 Verkehrsflä |               | 762          | 4                  | Mittel                     | 231,1     | 337,1 | 686   | 99,1                    | 43,7  | 2.269 |
| 6) WC's                                  | 16 WC, Sanitä | 113          | 4                  | Mittel                     | 344,6     | 707,0 | 487   | 213,5                   | 469,2 | 455   |
| 7) Werkstätten/Depot 2. UC22.2 Gewerbel  |               | 424          | 5                  | Gering                     | 81,8      | 501,3 | 163   | 70,8                    | 326,5 | 217   |
| 8) Café                                  | 13 Restaurant | 575          | 3                  | Mittel                     | 369,2     | 439,8 | 840   | 183,5                   | 563,2 | 326   |
| 9) Technikräume, Lager 1.U20 Lager, Tecl |               | 1.273        | 5                  |                            |           |       |       |                         |       |       |
| 10) Nebenräume, Flure, Trä19 Verkehrsflä |               | 1.391        | 4                  | Sehr gering                | 36,7      | 24,8  | 1.480 | 99,1                    | 43,7  | 2.269 |

Tabelle 12-1: Bewertung auf Zonenebene - Heizung



### 3.2 Beleuchtung

| Nr. und Name                               | Std.-nutzung  | Fläche<br>m² | Nr. Beleuch-<br>tungsanlage | Ist-Wert Zone (Endenergie) |           |      |       | Vergleichswert - gering |      |       |
|--------------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|-----------|------|-------|-------------------------|------|-------|
|                                            |               |              |                             | TEK-Bewert.                | kWh/(m²a) | W/m² | h/a   | kWh/(m²a)               | W/m² | h/a   |
| 1) Schirn Ausstellung 2.OG 27 Ausstellung  |               | 1.804        | 1                           | Sehr hoch                  | 32,3      | 10,4 | 3.120 | 10,6                    | 4,8  | 2.228 |
| 2) Schirn Verwaltung                       | 02 Gruppenbü  | 583          | 2                           | Sehr gering                | 7,3       | 7,9  | 925   | 14,4                    | 15,4 | 937   |
| 3) Musikschule 1.OG                        | 08 Klassenzin | 636          | 3                           | Hoch                       | 34,0      | 17,3 | 1.962 | 8,8                     | 7,9  | 1.112 |
| 4) Musikschule Verwaltung 02 Gruppenbü     |               | 342          | 2                           | Sehr gering                | 7,9       | 7,9  | 999   | 12,8                    | 15,4 | 834   |
| 5) Foyer EG - 1. OG u. Buc 19 Verkehrsflä  |               | 762          | 4                           | Sehr hoch                  | 45,6      | 19,6 | 2.322 | 1,9                     | 4,5  | 415   |
| 6) WC's                                    | 16 WC, Sanitä | 113          | 5                           | Mittel                     | 19,6      | 7,5  | 2.603 | 5,1                     | 9,0  | 571   |
| 7) Werkstätten/Depot 2. UC 22.2 Gewerbe    |               | 424          | 6                           | Gering                     | 24,6      | 14,4 | 1.710 | 25,1                    | 11,5 | 2.180 |
| 8) Café                                    | 13 Restaurant | 575          | 7                           | Sehr hoch                  | 37,9      | 12,3 | 3.079 | 10,1                    | 4,9  | 2.066 |
| 9) Technikräume, Lager 1.L 20 Lager, Techn |               | 1.273        | 8                           | Mittel                     | 0,9       | 6,5  | 138   | 0,6                     | 3,0  | 186   |
| 10) Nebenräume, Flure, Tre 19 Verkehrsflä  |               | 1.391        | 9                           | Sehr hoch                  | 34,5      | 12,2 | 2.839 | 4,0                     | 4,5  | 900   |

Tabelle 12-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung

| 3.3 Luftförderung                          |               |              |                    |                            |           |      |       |                         |      |       |
|--------------------------------------------|---------------|--------------|--------------------|----------------------------|-----------|------|-------|-------------------------|------|-------|
| Nr. und Name                               | Std.-nutzung  | Fläche<br>m² | Nr. RLT-<br>anlage | Ist-Wert Zone (Endenergie) |           |      |       | Vergleichswert - gering |      |       |
|                                            |               |              |                    | TEK-Bewert.                | kWh/(m²a) | W/m² | h/a   | kWh/(m²a)               | W/m² | h/a   |
| 1) Schirn Ausstellung 2.OG 27 Ausstellung  |               | 1.804        | 1                  | Hoch                       | 70,0      | 91,9 | 763   | 14,6                    | 1,7  | 8.760 |
| 2) Schirn Verwaltung                       | 02 Gruppenbü  | 583          | 2                  | Gering                     | 15,8      | 7,9  | 2.000 | 10,8                    | 3,3  | 3.250 |
| 3) Musikschule 1.OG                        | 08 Klassenzin | 636          | 0                  |                            |           |      |       |                         |      |       |
| 4) Musikschule Verwaltung                  | 02 Gruppenbü  | 342          | 4                  | Sehr gering                | 5,3       | 2,6  | 2.000 | 10,8                    | 3,3  | 3.250 |
| 5) Foyer EG - 1. OG u. Buc 19 Verkehrsflä  |               | 762          | 5                  | Sehr hoch                  | 50,4      | 16,1 | 3.120 | 0,0                     | 0,0  | 3.250 |
| 6) WC's                                    | 16 WC, Sanitä | 113          | 6                  | Hoch                       | 208,7     | 47,8 | 4.368 | 40,6                    | 12,5 | 3.250 |
| 7) Werkstätten/Depot 2. UC 22.2 Gewerbe    |               | 424          | 7                  | Sehr gering                | 6,6       | 28,8 | 231   | 20,8                    | 8,3  | 2.500 |
| 8) Café                                    | 13 Restaurant | 575          | 8                  | Sehr gering                | 17,8      | 4,9  | 3.600 | 72,0                    | 15,0 | 4.800 |
| 9) Technikräume, Lager 1. U 20 Lager, Tech |               | 1.273        | 3                  | Sehr hoch                  | 22,4      | 6,2  | 3.640 | 0,4                     | 0,1  | 3.250 |
| 10) Nebenräume, Flure, Tre 19 Verkehrsflä  |               | 1.391        | 0                  |                            |           |      |       |                         |      |       |

Tabelle 12-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung



### 3.4 Kälte

| Nr. und Name                               | Std.-nutzung  | Fläche<br>m <sup>2</sup> | Nutz.-<br>einheit | Ist-Wert Zone (Endenergie) |                        |                  |     | Vergleichswert - gering |                  |     |
|--------------------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|------------------|-----|-------------------------|------------------|-----|
|                                            |               |                          |                   | TEK-Bewert.                | kWh/(m <sup>2</sup> a) | W/m <sup>2</sup> | h/a | kWh/(m <sup>2</sup> a)  | W/m <sup>2</sup> | h/a |
| 1) Schirn Ausstellung 2.OG 27 Ausstellung  |               | 1.804                    | 1                 | Sehr hoch                  | 55,2                   | 80,2             | 688 | 0,0                     | 0,0              | 450 |
| 2) Schirn Verwaltung                       | 02 Gruppenbü  | 583                      | 5                 | Sehr hoch                  | 5,4                    | 22,0             | 244 | 0,0                     | 0,0              | 545 |
| 3) Musikschule 1.OG                        | 08 Klassenzim | 636                      | 2                 |                            |                        |                  |     |                         |                  |     |
| 4) Musikschule Verwaltung 02 Gruppenbü     |               | 342                      | 5                 | Sehr hoch                  | 5,5                    | 25,2             | 217 | 0,0                     | 0,0              | 545 |
| 5) Foyer EG - 1. OG u. Buc 19 Verkehrsflä  |               | 762                      | 4                 |                            |                        |                  |     |                         |                  |     |
| 6) WC's                                    | 16 WC, Sanitä | 113                      | 4                 |                            |                        |                  |     |                         |                  |     |
| 7) Werkstätten/Depot 2. UC 22.2 Gewerbe    |               | 424                      | 5                 | Sehr hoch                  | 10,6                   | 34,0             | 311 | 0,0                     | 0,0              | 697 |
| 8) Café                                    | 13 Restaurant | 575                      | 3                 |                            |                        |                  |     |                         |                  |     |
| 9) Technikräume, Lager 1.L 20 Lager, Techn |               | 1.273                    | 5                 |                            |                        |                  |     |                         |                  |     |
| 10) Nebenräume, Flure, Tre 19 Verkehrsflä  |               | 1.391                    | 4                 |                            |                        |                  |     |                         |                  |     |

Tabelle 12-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte

| 3.5 Dampfbefeuchtung                      |               |              |                   |                            |           |         |         |                         |         |     |
|-------------------------------------------|---------------|--------------|-------------------|----------------------------|-----------|---------|---------|-------------------------|---------|-----|
| Nr. und Name                              | Std.-nutzung  | Fläche<br>m² | Nutz.-<br>einheit | Ist-Wert Zone (Endenergie) |           |         |         | Vergleichswert - gering |         |     |
|                                           |               |              |                   | TEK-Bewert.                | kWh/(m²a) | W/m²    | h/a     | kWh/(m²a)               | W/m²    | h/a |
| 1) Schirn Ausstellung 2.OG 27 Ausstellung |               | 1.804        | 1                 | #DIV/0!                    | 0,0       | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!                 | #DIV/0! | 599 |
| 2) Schirn Verwaltung                      | 02 Gruppenbü  | 583          | 5                 |                            |           |         |         |                         |         |     |
| 3) Musikschule 1.OG                       | 08 Klassenzin | 636          | 2                 |                            |           |         |         |                         |         |     |
| 4) Musikschule Verwaltung 02 Gruppenbü    |               | 342          | 5                 |                            |           |         |         |                         |         |     |
| 5) Foyer EG - 1. OG u. Buc 19 Verkehrsflä |               | 762          | 4                 |                            |           |         |         |                         |         |     |
| 6) WC's                                   | 16 WC, Sanit  | 113          | 4                 |                            |           |         |         |                         |         |     |
| 7) Werkstätten/Depot 2. UC 22.2 Gewerbe   |               | 424          | 5                 | #DIV/0!                    | 0,0       | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!                 | #DIV/0! | 171 |
| 8) Café                                   | 13 Restaurant | 575          | 3                 |                            |           |         |         |                         |         |     |
| 9) Technikräume, Lager 1.L 20 Lager, Tec  |               | 1.273        | 5                 |                            |           |         |         |                         |         |     |
| 10) Nebenräume, Flure, Tr 19 Verkehrsflä  |               | 1.391        | 4                 |                            |           |         |         |                         |         |     |

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                                        | absolut                   |                                 |       |
|               | $\text{m}^2_{\text{BTF}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ | $\text{m}^2_{\text{BTF}}$ | $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ | -     |
| Außenwand     | 0,820                                             | 5.438                     | 0,50                            | -     |
| Dach          | 0,250                                             | 1.658                     | 0,44                            | -     |
| Kellerdecke   | 0,413                                             | 2.735                     | 0,50                            | -     |
| Fenster O,S,V | 0,116                                             | 769                       | 3,00                            | 0,63  |
| Fenster N     | 0,169                                             | 1.122                     | 2,92                            | 0,70  |
| Fenster hor.  | 0,127                                             | 842                       | 2,32                            | 0,42  |
| ges. Gebäude  | 1,895                                             | 12.564                    | 0,98                            | 0,60  |

#### 2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom   | 4,04 $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ |
| Raumsolltemperatur Heizung                | 19,4 °C                                |
| Raumsolltemperatur Kühlung                | 21,1 °C                                |
| Wartungswert der Beleuchtungsstärke       | 189 Lux                                |
| Nutzungszeit                              | 3.246 h/a                              |
| Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen) | 46 $\text{Wh}/(\text{m}^2\text{d})$    |

| 2.1.5 Luftförderung            | Zuluftvent. | Abluftvent. |                                    |
|--------------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| Nennvolumenstrom               | 187.950     | 206.150     | $\text{m}^3/\text{h}$              |
| Dimensionierungsfaktor         | 790%        | 867%        |                                    |
| installierte Leistung          | 116,52      | 95,27       | kW                                 |
| spezifische Ventilatorleistung | 2,23        | 1,66        | $\text{kW}/(\text{m}^3 \text{ s})$ |
| Vollbetriebszeit               | 1057        | 1236        | h/a                                |
| Endenergiebedarf               | 18,6        | 17,8        | $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  |
| Primärenergiebedarf            | 48,3        | 46,2        | $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  |

#### 2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)

|                                            |                                         |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Nutzenergiebedarf                          | 222,7 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ |
| davon Warmwasser                           | 4,5 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$   |
| zusätzliche Verluste Verteilung*           | 24,8 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  |
| Erzeugernutzwärmeabgabe                    | 247,5 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ |
| Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3) | 3.119 kW                                |
| Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.) | 16%                                     |
| Erzeugeraufwandszahl                       | 1,28 -                                  |
| Endenergie Wärmeerzeugung                  | 316,8 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ |
| davon elektrische Energie                  | 2 %                                     |
| Primärenergie Wärmeerzeugung               | 333,1 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ |

Tabelle 13-1: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 1

### 2.1.3 Nutzenergie Raum- und RLT-System

|                          | Nutzenergiebedarf Heizung und Kühlung |       |       |
|--------------------------|---------------------------------------|-------|-------|
|                          | Heizung                               | Kälte | Dampf |
|                          | kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a) |       |       |
| Raumsystem               | 91,9                                  | 64,2  | -     |
| RLT-Anlage               | 126,3                                 | 35,6  | 0,0   |
| Summe                    | 218                                   | 100   | -     |
| max. Heiz- bzw. Kühllast |                                       |       |       |
|                          | Heizung                               | Kälte |       |
|                          | W/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>       |       |       |
| Raumsystem               | 139                                   | 69    |       |
| RLT-Anlage               | 223                                   | 123   |       |
| Summe                    | 362                                   | 193   |       |

### 2.1.4 Beleuchtung

|                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| installierte Leistung       | 91 kW                     |
| mittlere Bewertungsleistung | 13,7 W/m <sup>2</sup>     |
| Vollbetriebszeit            | 2.252 h/a                 |
| Endenergie Beleuchtung      | 31 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Primärenergie Beleuchtung   | 80 kWh/(m <sup>2</sup> a) |

### 2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)

|                                             |                              |
|---------------------------------------------|------------------------------|
| Nutzenergiebedarf                           | 99,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung   | 21,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| Erzeugernutzkälteabgabe                     | 120,8 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| maximale thermische Kälteleistung           | 1.278 kW                     |
| Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.) | 39%                          |
| Jahreskälteleistungszahl                    | 7,34 -                       |
| Endenergie Kälteerzeugung                   | 16,4 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| davon elektrische Energie                   | 5 %                          |
| Primärenergie Kälteerzeugung                | 42,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| Endenergie Hilfsenergie Kälte               | 9,6                          |
| Teilkennwert Kalt-/Kühlwasserverteilung     | 52,7 kWh/(KW a)              |

### 2.1.8 Dampferzeugung

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Endenergiefaktor             | 0,00 -                   |
| Endenergie Dampferzeugung    | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Primärenergie Dampferzeugung | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a) |

\*) Ein Teil der Verteilverluste reduziert den Nutzenergiebedarf Heizung

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

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

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



## 2.2.2 Zoneninformationen

|                                                                 |                            |                                   |                        |                      |                         |                  |                                |                              |       |                            |       |  |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------|-------|----------------------------|-------|--|
| 6.630                                                           | m²                         | Grundfläche aller beheizten Zonen |                        |                      |                         |                  |                                |                              |       |                            |       |  |
| 3.153                                                           | m²                         | Grundfläche aller gekühlten Zonen |                        |                      |                         |                  | Konditionierung ( 1=vorhanden) |                              |       | Nutzenergie                |       |  |
| Zonenname                                                       |                            | Standard-<br>nutzung              | Zonen-<br>fläche<br>m² | RLT-<br>Anlage<br>Nr | Heizung /<br>Warmwasser | mech.<br>Lüftung | Kälte<br>Befeuchtung           | Heizung<br>Zone+RLT Erzeuger |       | Kälte<br>Zone+RLT Erzeuger |       |  |
|                                                                 |                            |                                   |                        |                      |                         |                  |                                | kWh/(m²a) <sup>1</sup>       |       |                            |       |  |
| Kennwerte bezogen auf die gesamte beheizte bzw. gekühlte Fläche |                            |                                   | 7.903                  |                      |                         |                  |                                | 218                          | 243   | 210                        | 254   |  |
| Zone 1                                                          | Schirn Ausstellung 2.OG    | 27 Ausstellung                    | 1.804                  | 1                    | 1 /                     | 1                | 1 / 1                          | 500,3                        | 525,1 | 342,7                      | 414,3 |  |
| Zone 2                                                          | Schirn Verwaltung          | 02 Gruppenbü                      | 583                    | 2                    | 1 / 1                   | 1                | 1 /                            | 161,0                        | 185,8 | 16,1                       | 19,9  |  |
| Zone 3                                                          | Musikschule 1.OG           | 08 Klassenzin                     | 636                    |                      | 1 /                     |                  | /                              | 166,7                        | 191,5 |                            |       |  |
| Zone 4                                                          | Musikschule Verwaltung 1.O | 02 Gruppenbü                      | 342                    | 4                    | 1 / 1                   | 1                | 1 /                            | 65,6                         | 90,4  | 16,5                       | 20,3  |  |
| Zone 5                                                          | Foyer EG - 1. OG u. Buchla | 19 Verkehrsflä                    | 762                    | 5                    | 1 /                     | 1                | /                              | 156,7                        | 181,6 |                            |       |  |
| Zone 6                                                          | WC´s                       | 16 WC, Sanitä                     | 113                    | 6                    | 1 /                     | 1                | /                              | 245,8                        | 270,7 |                            |       |  |
| Zone 7                                                          | Werkstätten/Depot 2. UG    | 22.2 Gewerbel                     | 424                    | 7                    | 1 / 1                   | 1                | 1 / 1                          | 39,4                         | 64,2  | 66,9                       | 82,2  |  |
| Zone 8                                                          | Café                       | 13 Restaurant                     | 575                    | 8                    | 1 / 1                   | 1                | /                              | 265,2                        | 290,0 |                            |       |  |
| Zone 9                                                          | Technikräume, Lager 1.UG u | 20 Lager, Tec                     | 1.273                  | 3                    | / 1                     | 1                | /                              |                              |       |                            |       |  |
| Zone 10                                                         | Nebenräume, Flure, Trepper | 19 Verkehrsflä                    | 1.391                  |                      | 1 /                     |                  | /                              | 4,0                          | 28,8  |                            |       |  |

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 13-3: Übersicht Zonen

### 2.2.3 Beleuchtungsanlagen

|                                                     |                            |                                     |                                           |                                |                                                                                 |      |              |          |                                                 |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|----------|-------------------------------------------------|
| 7.903                                               | m²                         | Grundfläche aller belichteten Zonen |                                           |                                |                                                                                 |      |              |          |                                                 |
|                                                     |                            |                                     |                                           |                                |                                                                                 |      |              |          |                                                 |
| Zonenname                                           |                            | Zonen-<br>fläche<br>m²              | Beleuchtungssystem<br>Nr. / Bezeichnung   | Beleuchtungs-<br>stärke<br>Lux | elektrische<br>Bewertungsleistung<br>W/m² <sup>1</sup> W/(m² 100lux) Ermittlung |      |              | Regelung | Endenergie-<br>bedarf<br>kWh/(m²a) <sup>1</sup> |
| Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche |                            | 7.903                               |                                           | 216                            | 12                                                                              | 5    |              |          | 26                                              |
| Zone 1                                              | Schirm Ausstellung 2.OG    | 1.804                               | 1 / Halogenleuchte                        | 200                            | 10,4                                                                            | 5,2  | Lamp. zählen | man.     | 32                                              |
| Zone 2                                              | Schirm Verwaltung          | 583                                 | 2 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem | 500                            | 7,9                                                                             | 1,6  | Lamp. zählen | man.     | 7                                               |
| Zone 3                                              | Musikschule 1.OG           | 636                                 | 3 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem | 300                            | 17,3                                                                            | 5,8  | Lamp. zählen | man.     | 34                                              |
| Zone 4                                              | Musikschule Verwaltung 1.O | 342                                 | 2 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem | 500                            | 7,9                                                                             | 1,6  | Lamp. zählen | man.     | 8                                               |
| Zone 5                                              | Foyer EG - 1. OG u. Buchla | 762                                 | 4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG   | 100                            | 19,6                                                                            | 19,6 | Lamp. zählen | man.     | 46                                              |
| Zone 6                                              | WC's                       | 113                                 | 5 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem | 200                            | 7,5                                                                             | 3,8  | Lamp. zählen | man.     | 20                                              |
| Zone 7                                              | Werkstätten/Depot 2. UG    | 424                                 | 6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG   | 500                            | 14,4                                                                            | 2,9  | Lamp. zählen | man.     | 25                                              |
| Zone 8                                              | Café                       | 575                                 | 7 / Glühlampe                             | 200                            | 12,3                                                                            | 6,2  | Lamp. zählen | man.     | 38                                              |
| Zone 9                                              | Technikräume, Lager 1.UG u | 1.273                               | 8 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG   | 100                            | 6,5                                                                             | 6,5  | Lamp. zählen | man.     | 1                                               |
| Zone 10                                             | Nebenräume, Flure, Trepper | 1.391                               | 9 / Leuchtstofflampe kompakt mit externem | 100                            | 12,2                                                                            | 12,2 | Lamp. zählen | man.     | 35                                              |

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 13-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen

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

|                                            |                                    |                    |                               | Zuluft                                 |                             | Abluft                                 |                             |                                     |                                                     |                                                  |                                                          |
|--------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Bezeichnung                                | belüftete Fläche<br>m <sup>2</sup> | Heiz-/Kühlregister | Befeuchter / WRG <sup>1</sup> | max. Volumenstrom<br>m <sup>3</sup> /h | max. elektr. Leistung<br>kW | max. Volumenstrom<br>m <sup>3</sup> /h | max. elektr. Leistung<br>kW | Dimensionierungsfaktor <sup>2</sup> | spezifische Leistungsauf.<br>kW/(m <sup>3</sup> /s) | Endenergie<br>kWh/(m <sup>2</sup> a) bzw. Anteil | Teilkennwert<br>DIN V 18599<br>kWh/(m <sup>3</sup> /h a) |
| Kennwerte bez. a. d. ges. mech. bel. Fläch | 5.876                              |                    |                               | 187.950                                | 116,52                      | 206.150                                | 95,27                       | 790%                                | 1,93                                                | 41,00                                            | 42,42                                                    |
| <b>RLT 1</b> Schirn Ausstellung 2.OG       | 1.804                              | Hz+Kühlreg.        | Sp-nr / W) 0,6                | 131.000                                | 94,00                       | 131.000                                | 71,70                       | 3631%                               | 2,28                                                | 52%                                              | 83,90                                                    |

1) Sp-nr = Sprühbefeuchter nicht regelbar; Sp-r = Sprühbefeuchter regelbar; Dmpf = Dampfbefeuchter; 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<br>m <sup>2</sup> | Leistung<br>kW | Erzeugerauf-<br>wandszahl | Endenergie<br>kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup> |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
| Heizung                     |                                |                |                           |                                                   |
| Elektrische Direktheizung   |                                |                |                           |                                                   |
| Elektrische Speicherheizung |                                |                |                           |                                                   |
| Warmwasser                  |                                |                |                           |                                                   |
| el. Durchlauferhitzer       | 2.622                          | -              | 1,00                      | 1                                                 |
| el. Kleinspeicher           | 575                            | -              | 1,70                      | 81                                                |

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

| 6.630                                                     | m²       | Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen                 |         |                                               |                                                    |                                        |
|-----------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 0                                                         | m²       | Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen |         |                                               |                                                    |                                        |
| Bezeichnung                                               |          | Erzeugerart                                                                   | Baujahr | thermische<br>Nennleistung <sup>2</sup><br>kW | Erzeugerauf-<br>wandszahl<br>Heizung    Warmwasser | Endenergie<br>kWh/(m²a)<br>bzw. Anteil |
| Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral beheizte Fläche |          |                                                                               |         | 500                                           | 1,27    1,27                                       | 309                                    |
| Wärmeerz. 1                                               | Nahwärme | Konstanttemperaturkessel vor 1995 (Gas; H                                     |         | 500                                           | 1,27    1,27                                       | 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<br>m <sup>2</sup> | Leistung<br>kW | Erzeugerauf-<br>wandszahl | Endenergie<br>kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
| Kompaktklimagerät (Fenster, Wand)<br>Split-System - ein/aus<br>Split-System - stetig geregelt<br>Multi-Split-System - ein/aus<br>Multi-Split-System - stetig geregelt<br>VRF-System variabler Kühlmassenstrom | 925                            | 79,40          | 0,27                      | 5,4                                               |

### 2.2.8 Zentrale Kälteerzeuger (bezogen gesamte von zentralen Kälteerzeugern gekühlte Fläche)

| 3.153 m <sup>2</sup>                                      |                                                                               | Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche |                                                |                             |                               |                               |                           |                                                     |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| Bezeichnung                                               | Erzeugerart                                                                   | Baujahr                                     | thermische<br>Kälteleistung <sup>2</sup><br>kW | Nennkälte-<br>leistungszahl | mittlerer Teil-<br>lastfaktor | Teilkenwert<br>Kälteerzeugung | Erzeuger-<br>aufwandszahl | Endenergie<br>kWh/(m <sup>2</sup> a)<br>bzw. Anteil |
| Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral gekühlte Fläche |                                                                               | -                                           | 605,0                                          | 0,00                        | 0,00                          | 0,0                           | #DIV/0!                   | 0,0                                                 |
| Erz. 1                                                    | Kältemaschine 1 Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei un)   | 1999                                        | 150,0                                          | 4,00                        |                               | 0,0                           | #DIV/0!                   | #DIV/0!                                             |
| Erz. 2                                                    | Kältemaschine 2 Wassergekühlt - Schraubenverdichter mit Steuerschieberegulung | 1985                                        | 300,0                                          | 4,50                        | 1,13                          | 4,5                           | 0,20                      | #DIV/0!                                             |

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

Tabelle 13-7: Übersicht Kälteerzeuger

## 14 Interner Anhang: Energetische Bilanzierung mit dem TEK-Tool

### 14.1 Anmerkungen zu Plausibilitätsprüfung und Anpassungen

Die Summe der vom TEK-Tool berechneten Kennwerte passen gut mit den tatsächlich gemessenen Verbrauchswerten überein. Mit der Vermeidung der Eingabe des Umluftbetriebes bei den Lüftungsanlagen ist auch die unplausible Abhängigkeit des Heizenergiebedarfs von den eingegebenen Raumtemperaturen im Ausstellungsbereich vermieden worden.

Siehe dazu auch 4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch

### 14.2 Differenzen zu Standardnutzungsprofilen DIN V 18599

|                                    |           | Brennstoff /<br>Fernwärme | Elektrische<br>Energie |                                    |           | Brennstoff /<br>Fernwärme | Elektrische<br>Energie |
|------------------------------------|-----------|---------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------------|------------------------|
| gemessener                         | kWh/(m²a) | 260                       | 73                     | gemessener                         | kWh/(m²a) | 260                       | 73                     |
| Verbrauch                          | MWh/a     | 1.723                     | 482                    | Verbrauch                          | MWh/a     | 1.723                     | 482                    |
| berechneter                        | kWh/(m²a) | 241                       | 108                    | berechneter                        | kWh/(m²a) | 272                       | 99                     |
| Bedarf                             | MWh/a     | 1.600                     | 719                    | Bedarf                             | MWh/a     | 1.803                     | 656                    |
| Verh. Bedarf/Verbrauch - $f_{b/v}$ |           | 0,93                      | 1,49                   | Verh. Bedarf/Verbrauch - $f_{b/v}$ |           | 1,05                      | 1,36                   |
| Objektspezifische Nutzung          |           |                           |                        | Nutzung nach DIN 18599             |           |                           |                        |

**Abbildung 14-2-1:** Gegenüberstellung der objektspezifischen Nutzung und der Standardnutzungen nach DIN V 18599

Die oben gezeigte Gegenüberstellung der objektspezifischen Nutzung und der Standardnutzungen nach DIN V 18599, bei Umstellung der Nutzungszeiten, der inneren Wärmequellen und der Raum-solltemperaturen, zeigt deutliche Abweichungen. Beim Brennstoffbedarf liegt die Nutzung nach DIN V 18599 ca. 13 % über dem Bedarf der objektspezifischen Nutzung, beim Elektrischen Energiebedarf liegt die DIN 18599-Nutzung ca. 10 % drunter.

Die Schirn verfügt über sehr unterschiedliche Nutzungsbereiche: Ausstellung, Musikschule, Kunstbuchhandlung, Restaurant und Verwaltung.

Die speziellen Wochentagnutzung, Feriennutzung, Ausstellungsschließungen während Umbau und Feiertagsnutzungen unterscheiden sich anscheinend von den Standardnutzungen nach DIN V 18599. Die Nutzung des zentralen Foyerbereichs der wiederum von verschiedenen Nutzern .. mit einer permanent besetzten Arbeitsplatz des Sicherheitsdienstes.

### 14.3 Vereinfachte Hüllflächenermittlung

Zur überschlägigen Ermittlung der Hüllfläche ist im Zuge des Forschungsprojektes ein Verfahren zur vereinfachten Hüllflächenermittlung entwickelt worden. Dieses soll im Rahmen der Gebäudeanalysen getestet werden. Deswegen werden ergänzend zur vereinfachten Hüllflächenermittlung die tatsächlichen Hüllflächen ermittelt und die Differenzen ermittelt. In Tabelle 14-1 sind die Differenzen als Prozentwert zur detaillierten Ermittlung dargestellt. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die Auswirkungen der objektspezifischen und vereinfachten Hüllflä-

chenermittlung auf das Verhältnis Bedarf/Verbrauch sowie End- und Primärenergiekennwerte und die Gesamtbewertung für das Gebäude dargestellt.

| 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)                                                                                               | 71%                                           | 48%              | 799% | -12%            | -26%       |
| Außenwand (Außenluft)                                                                                                   |                                               |                  |      |                 | 45%        |
| Außenwand (Erdreich oder unbeheizt)                                                                                     |                                               |                  |      |                 | 71%        |
| Dach bzw. oberste Geschossdecke                                                                                         |                                               |                  |      |                 | 13%        |
| Kellerdecken/-fußbodenfläche                                                                                            |                                               |                  |      |                 | -39%       |
| ges. Hüllfläche                                                                                                         | 16%                                           | ges. Fassadenfl. | 35%  | ges. Fensterfl. | 12%        |

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

In der obigen Tabelle lässt sich erkennen, dass sich die kompliziertere Gebäude Struktur der Schirn nicht vereinfacht ermitteln lässt. Die extreme Abweichung bei den West-Fensterflächen konnte nicht erklärt werden. Probehaltig wurden unter 2.3\_in\_Hüllflächenverteilung alle West-Fensterflächen auf „keine zugewiesen“ gesetzt, allerdings blieb die Anzeige der 799 % bestehen.

## 14.4 Teilenergiekennwertbewertung

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

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

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

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

## 14.5 Allgemeine Anmerkungen zum Projekt

### Erkenntnisse

1) Um mit dem TEK-Tool zurechtzukommen, muss man sich sehr intensiv damit beschäftigen! Es ist kein Tool für die intuitive Anwendung, man muss es mindestens einmal von vorne bis hinten „durchgespielt“ haben. Zu berücksichtigen ist dabei, dass es sich um ein Forschungsprojekt handelt.

2) Für Gebäude mit komplexer technischer Ausstattung ist das TEK-Tool nicht geeignet: Wie schon auf den IWU-Workshops angesprochen, sind komplexen RLT-Anlagen prinzipiell nicht mit dem TEK-Tool darzustellen.

Zum Beispiel befinden sich in den vollklimatisierten Zonen zusätzlich Heizkörper mit Thermostatventilen, dies kann im Tool nicht so eingegeben werden (Beheizung durch Lüftung oder statisch).

### Ermittlung der Daten

Auch mit dem letztendlich vorliegenden Unterlagen war ein Arbeiten teilweise nur schwer möglich, da die z. B. die Bemaßungen in den Plänen oft unlesbar oder aber Schnitte unplausibel waren.

Insgesamt war es schwierig die verschiedenen Nutzungen des komplexen Gebäudes einigermaßen effizient im TEK Tool zu erfassen.

Jede einzelne Nutzung verfügt wieder über allgemeine untergenutzte Bereiche wie WC-Räume, Lager, etc., zudem existieren noch gemeinsame Nutzungen wie z. B. der Foyerbereich.

Von den untergenutzten Bereichen sind die Ausstattungen wie zum Beispiel die Beleuchtungsanlage, die Be- und Entlüftung aber auch die Nutzung des Öfteren sehr unterschiedlich. So werden z. B. temporär auch Allgemeinbereiche des Gebäudes in Ausstellungen der Schirn eingebunden.

Es wurden daher für die Datenerhebung für das TEK-Tool Bereiche die von der Ausstattung, Konditionierung und Nutzung an ehesten zusammenpassen, zusammengelegt.

Bei diesem architektonisch aufwendigen Gebäude gibt es ständig differierende Raumhöhen, Sprünge in Decken, offene Dachbereiche, Lufträume im Café, teilweise Fenster mit Brüstung, Verglasung bis zum Boden, zwei separate Fenster übereinander und z. B. eine 12 m hohe Glasfassade im Restaurantbereich usw.. Dies war auch nicht im TEK-Tool abzubilden.

Durch täglich variierende Arbeitszeiten in einzelnen Zonen sind die Betriebszeiten von verschiedenen Anlagen unterschiedlich. So werden die Werkstätten ohne Tageslicht von Beginn bis Ende der möglichen Nutzung konditioniert wohingegen die aufwendige Beleuchtungsanlage wesentlich geringere Betriebszeiten aufweist. Auch hier treten im Tool Ungenauigkeiten auf.



## **15 Interner Anhang – Kurzzeitmessungen**

Siehe Kapitel 7 - Durchgeführte Messungen

## 16 Interner Anhang Zeitaufwand

| Tab. 1: Zeitaufwand für die Gebäudeanalysen |              |                              |                                                   |
|---------------------------------------------|--------------|------------------------------|---------------------------------------------------|
| Projektbeschreibung                         | -            |                              | Kunstmuseum, Musikschule _ mit Café               |
| Gebäude                                     | -            |                              | Schirn Kunsthalle _ Frankfurt am Main             |
| Energiebezugsfläche                         | m²           |                              | 6.630                                             |
| Zeitaufwand für Bearbeitung in h            |              |                              |                                                   |
| Lfd. Nr.                                    | Aufwand in h | Rationalisierungs-<br>faktor | Bescheibung                                       |
|                                             | 31,50        | 0%                           | Datenbeschaffung                                  |
| 1                                           | 20,00        | 0%                           | Beschaffen und auswerten existierender Unterlagen |
| 2                                           | 11,50        | 0%                           | Vor-Ort-Termin                                    |
|                                             | 62,70        | 0%                           | Gebäudeanalyse mit TEK-Tool                       |
| 3                                           | 13,80        | 0%                           | Zonierung, Zonenflächen                           |
| 4                                           | 12,40        | 0%                           | Objektspezifische Hüllfläche bestimmen            |
| 5                                           | 10,50        | 0%                           | Softwareeingabe                                   |
| 6                                           | 11,00        | 0%                           | Plausibilitätsprüfung                             |
| 7                                           | 15,00        | 0%                           | Modernisierungsempfehlungen                       |
|                                             | 52,45        | 0%                           | Weitere Untersuchungen                            |
| 8                                           | 5,00         | 0%                           | Verbrauchsanalysen                                |
| 9                                           | 4,00         | 0%                           | Lastganganalysen                                  |
| 10                                          | 19,95        | 0%                           | Kurzzeitmessungen                                 |
| 11                                          | 23,50        | 0%                           | Dokumentation und Präsentation                    |
|                                             | 2,00         | 0%                           | Sonstiges                                         |
| 12                                          | 2,00         | 0%                           | Überarbeitung 08.02.2012                          |
| 13                                          | 0,00         | 0%                           |                                                   |
| 14                                          | 0,00         | 0%                           |                                                   |
|                                             | 148,65       | 0%                           | Gesamt                                            |

Tabelle 16-1: Zeitaufwand für Gebäudeanalysen

### Bemerkungen zum Zeitaufwand

Die Intension des Energiemanagement Frankfurt bei der Durchführung des TEK-Projektes war es, dass gleich welche Daten- und Plangrundlagen für die zu untersuchenden Liegenschaften bestehen, das TEK-Tool an ihnen getestet werden soll. Dadurch sollte das Tool auf die Praxis-tauglichkeit bei beliebigen Liegenschaften überprüft werden.

Die veranschlagte Zeit zur Bearbeitung des vorliegenden Projektes wurde deutlich überschritten.

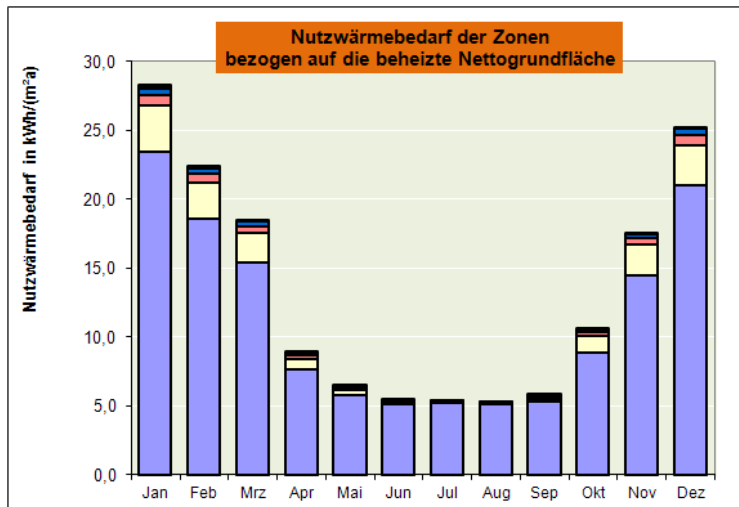
Die Rationalisierungsfaktoren liegen bei 0 %, da der hohe Zeitbedarf nicht durch Unkenntnisse bzgl. des TEK-Projektes verursacht wurde, sondern allgemeiner Natur war.

Die Gründe liegen zum einen in der Komplexität der Liegenschaft, der aufwendigen Architektur (Rondunde, Café, Teilgeschosse), der Hügellage (ständig variierende Gebäudehöhen), der hohen technischen Ausstattung und der schlechten Datenlage. So mussten alleine für die Datenbeschaffung Pläne Verbräuche aus verschiedensten Quellen viele Stunden aufgewendet werden. Letztendlich lagen von einigen Bereichen immer noch nur unvollständige Pläne im schlechten Zustand vor. Aufgrund dieser mangelhaften Grundlagen musste viel Zeit für die Datenerfassung aufgebracht werden. Auch die Verbrauchsdaten aus verschiedenen Quellen mussten aufwendig auf die Plausibilität hin überprüft werden.

Zum Anderen bestanden Probleme mit den Rechenalgorithmen des Tools

Dies wurde dem IWU bereits in einer E-Mail vom 12. Dezember 2011 mitgeteilt:

- Zone1 = Ausstellung (lila) wird ein viel zu hoher spez. Nutzwärmebedarf beaufschlagt > 90%:



- Wird die Raumtemperatur der Zone 1 – Ausstellung die „mittlere Raumtemperatur im Heizfall“ von 19 auf 15 ° C herabgesetzt steigt der Heizenergieverbrauch exorbitant.

- Umstellung Anlage 1 Ausstellung von“ variabel Zeit Nutzung“ auf“ bedarfsabhängig CO2 bzw. VOC-Sensor“ Geringere Verbrauchsteigerungen bei Temperaturabsenkung!

Die daraufhin erfolgten Anmerkungen von Seiten des IWU wurden eingearbeitet.