

**Energiekonzept für
„Steinernes Haus“
in Frankfurt/Main**

Endbericht

16.06.2003

Aufgestellt:

Ing.-Büro K. H. Wagner

Steinstraße 81

35390 Gießen

Inhaltsverzeichnis

| Abschnitt | Seite |
|---|------------|
| Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog nach Prioritäten | IV |
| I. Allgemeine Objektbeschreibung | IV |
| II. Energie-/Wasserverbrauch und -kosten | IV |
| II.1 Strom | IV |
| II.2 Erdgas | VI |
| II.3 Wasser | VII |
| III. Stammdaten des Gebäudes und betriebstechnischer Anlagen | |
| III.1 Gebäude | VIII |
| III.2 Betriebstechnische Anlagen | IX |
| III.2.1 Wärmeversorgungsanlagen | IX |
| III.2.2 Klima- und Lüftungsanlagen | IX |
| III.2.3 Kälteversorgungsanlagen | X |
| III.2.4 Elektroanlagen | XI |
| III.2.5 Wasserverbrauchseinrichtungen | XI |
| IV. Maßnahmenkatalog nach Priorität | XII |
| Konzeptteil | |
| 1. Aufgabenstellung und Grundlagen | 1 |
| 1.1 Aufgabenstellung | 1 |
| 1.2 Grundlagen und Quellen | 2 |
| 2. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs | 3 |
| 2.1 Strombedarf und -verbrauch | 3 |
| 2.1.1 Gesamtstrombedarf und -verbrauch | 3 |
| 2.1.2 Strom-Schwerpunktverbraucher | 4 |
| 2.2 Wärmeerzeugung | 11 |
| 2.2.1 Gasverbrauch der Wärmeerzeugung | 11 |
| 2.2.2 Belastungsverläufe des Heizwärmebedarfs | 12 |
| 2.3 Wasserverbrauch | 14 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3. | Stammdaten zur Liegenschaft | 16 |
| 3.1 | Allgemeine Objektbeschreibung | 16 |
| 3.2 | Gebäude und Bauteile | 16 |
| 3.2.1 | Gebäudekenndaten | 17 |
| 3.2.2 | Ermittlung des Wärmebedarf und des Heizwärmebedarfs | 19 |
| 3.2.3 | Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen | 24 |
| 3.3 | Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen | 26 |
| 3.3.1 | Stammdaten der zentralen Heizkesselanlage | 26 |
| 3.3.2 | Stammdaten der Warmwasserheiznetzes | 27 |
| 3.3.3 | Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen | 28 |
| 3.4 | Stammdaten der Klima- und Lüftungsanlagen | 30 |
| 3.4.1 | Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen | 33 |
| 3.5 | Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen | 37 |
| 3.6 | Stammdaten der Elektroanlagen | 40 |
| 3.7 | Stammdaten der Wasserverbrauchseinrichtungen | 44 |
| 4. | Wirtschaftlichkeitsberechnung für energiesparende Maßnahmen | 45 |
| 4.1 | Grundlagen und –daten der Wirtschaftlichkeitsberechnung | 45 |
| 4.2 | Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wärmeschutzmaßnahmen | 46 |
| 4.2.1 | Beschreibung der Maßnahmen und Ermittlung der Investitionskosten | 46 |
| 4.2.2 | Wärmebedarfsreduktion und Heizenergieeinsparung durch Wärmeschutzmaßnahmen | 47 |
| 4.2.3 | Jahreskostenberechnung für die Wärmeschutzmaßnahmen | 48 |
| 4.3 | Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Heizungsanlage | 50 |
| 4.3.1 | Optimierung der Heizungs-Umwälzpumpen | 50 |
| 4.4 | Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Lüftungsanlage | 53 |
| 4.4.1 | Wiederherstellen der Klappensteuerung für Mischluftbetrieb | 53 |
| 4.4.2 | Wiederherstellen der Ventilatorregelung mittels Frequenzumformer | 53 |
| 4.4.3 | Einbau einer neuen Befeuchtungsanlage | 54 |
| 4.4.4 | Erneuerung DDC und Umschalten auf GLT | 55 |
| 4.5 | Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Kälteanlage | 57 |
| 4.5.1 | Fortluftsystem für Kühlluft der Kältemaschinen | 57 |
| 4.5.2 | Verbesserung der Hydraulik auf der Kaltwasser-Primärseite | 57 |
| 4.5.3 | Anheben der Freigabetemperatur der Kältemaschine | 58 |
| 4.5.4 | Austausch der Sekundär-Kaltwasserpumpe | 58 |
| 4.5.5 | Anbringen eines äußeren Sonnenschutz an den Fenster Anbau | 59 |
| 4.6 | Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an Elektroanlagen | 60 |
| 4.7 | Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wassersparmaßnahmen | 61 |

Anhang

Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog nach Prioritäten

Die nachfolgende Zusammenfassung enthält die wesentlichen Objektdaten und Ergebnisse des Energiekonzepts für das „Steinerne Haus“ in Frankfurt.

I. Allgemeine Objektbeschreibung

Träger des Steinernen Hauses ist der Frankfurter Kunstverein. Das Steinerne Haus besteht aus einem historischen 5-geschossigen Gebäude sowie einem 4-geschossigen Anbau. Das spätgotische Patrizierhaus mit Wehrgang und Erker wurde 1464 erbaut, im 2. Weltkrieg zerstört und Ende der Fünfziger Jahre als Rekonstruktion wieder aufgebaut. Aus dieser Zeit stammt auch der Flachdachanbau.

Die Ausstellungsräume erstrecken sich vom Kellergeschoss bis ins 2.OG. Im Dachgeschoss des Altbaus ist die Lüftungs-/Kältezentrale untergebracht. Die Verwaltung befindet sich im EG-Anbau.

In 2001 gab es im „Steinernen Haus“ folgende Öffnungszeiten und Besucherzahlen:

| | |
|----------------------|--|
| Öffnungszeiten 2001: | Dienstag-Freitag 12-20 Uhr, Sams-, Sonn- und Feiertage 11-18 Uhr, Montags geschlossen, drei zusammenhängende Schließungszeiträume, insgesamt 64 Tage |
| Besucherzahlen | ca. 18.000 Personen/a, d.h. durchschnittlich ca. 59 Besucher pro Tag, 4 Ausstellungen |

In letzter Zeit wurden zunehmend Museumsbereiche außerhalb der normalen Öffnungszeiten fremd vermietet. Diese Veranstaltungen werden von bis zu 40 Personen besucht.

Eine verbindliche Nutzung bzw. Ausstellungsschwerpunkte konnten von Seiten der Museumsleitung nicht benannt werden. In den vergangenen zwei Jahren lag der Schwerpunkt auf Videoinstallationen. Für 2003 ist eine Ausstellung mit Gemälden geplant wofür ein definiertes „Raumklima“ notwendig ist.

II. Energie-/Wasserverbrauch und -kosten

In 2001 wurden insgesamt 42.900,- € für den Energie- und Wasserbezug ausgegeben. Dies entspricht spezifischen Kosten von 24,05 € pro m² Energiebezugsfläche. Den Hauptanteil haben die Stromkosten mit 67 %, die Erdgaskosten liegen bei 31 % und die Wasserkosten spielen mit 2 % eine eher untergeordnete Rolle.

II.1 Strom

Der Strombedarf des Steinernen Hauses wird ausschließlich aus dem Netz der Mainova AG gedeckt. Als Sondervertragskunde erfolgt eine monatliche Abrechnung der bezogenen Arbeit nach Hoch- und Niedertarifzeiten sowie der Leistung als Mittelwert aus den drei höchsten Monatsspitzen.

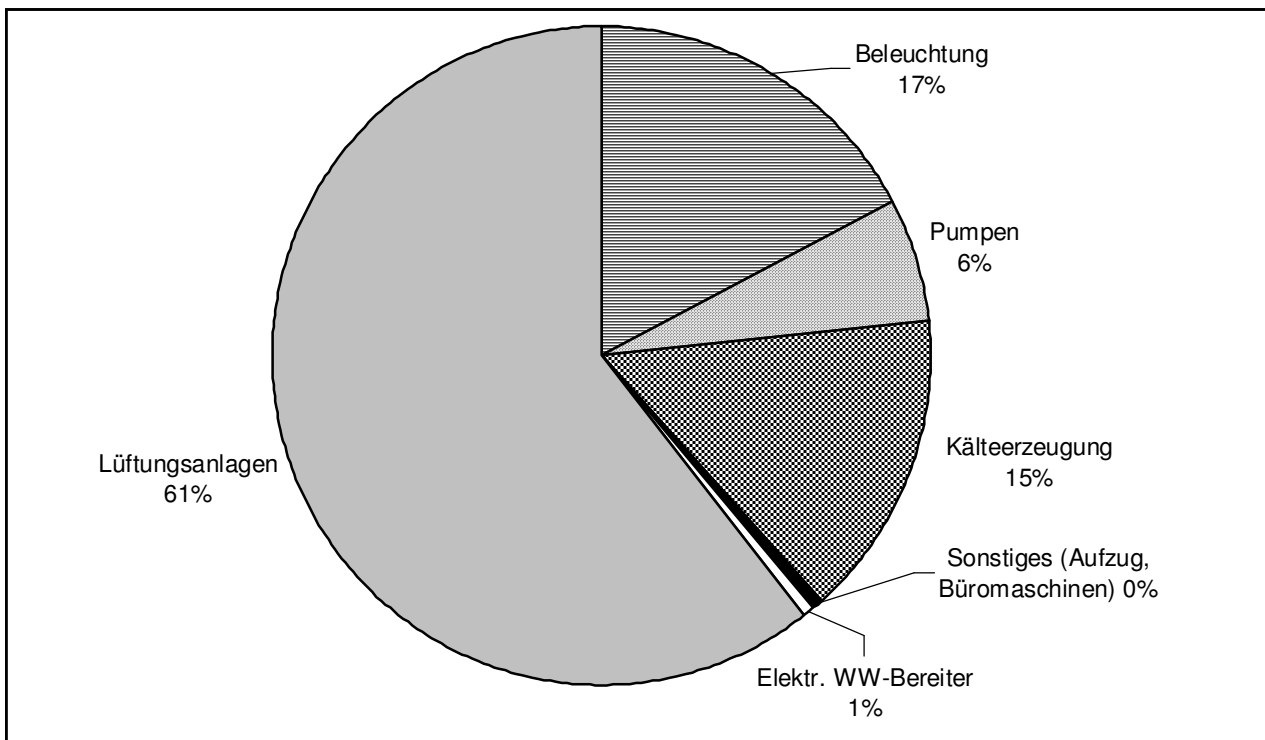
Tafel II.1 Energiekonzept „Steinerne Haus“ - Jahreswerte des Strombezugs und der Stromkosten in 1999-2001

| Jahr | Verbrauch in kWh/a | | | Leistung in kW | Stromkosten | |
|------|--------------------|-------------|---------|----------------|---------------|------------|
| | Hochtarif | Niedertarif | Gesamt | | Gesamt in EUR | in EUR/kWh |
| 1999 | 171.935 | 128.332 | 300.267 | k.A. | 35.005,- | 0,117 |
| 2000 | 165.266 | 116.095 | 281.361 | 95 | 28.445,- | 0,101 |
| 2001 | 152.327 | 109.599 | 264.971 | 95 | 28.730,- | 0,108 |

Der Stromverbrauch hat sich von 1999 bis 2001 um rund 12 % reduziert. Die spezifischen Stromkosten sind nach einer deutlichen Reduktion im Jahr 2000 von 14 % in 2001 wieder um 6,5 % gestiegen.

Der Jahres-Stromverbrauch verteilt sich auf die in Bild II.1 dargestellten Verbraucherguppen.

Bild II.1 Energiekonzept „Steinerne Haus“ – Verteilung des Jahresstromverbrauchs auf die einzelnen Verbraucherguppen



Die Lüftungsanlagen haben mit über 60 % den größten Anteil am Gesamtstromverbrauch im Steinernen Haus. Die Verbraucherguppen Beleuchtung und Kälteerzeugung haben mit 17 % bzw. 15,0 % etwa einen gleichen hohen Anteil. Der Stromverbrauchsanteil des Aufzugs und der Büromaschinen spielt mit weniger als 1 % nur eine untergeordnete Rolle.

Beim Stromverbrauch der Lüftungsanlage ist zu berücksichtigen, dass ein erheblicher Anteil des Verbrauchs als Wärmegewinn (Abwärme der Ventilatoren) in das Gebäude zurückgeführt wird. So liegt der Anteil bei einem Außenluftbetrieb in der Heizzeit bei mindestens 25 % (Zuluftventilatoren) und kann bis auf nahezu 100 % bei einem ausschließlichen Umluftbetrieb ansteigen.

II.2 Erdgas

Als Brennstoff zur Wärmeerzeugung wird im Steinernen Haus ausschließlich Erdgas H aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG eingesetzt. Die Zähleinrichtung für das Steinerne Haus ist in der „Braubachstr. 37“ installiert und erfasst monatlich den Verbrauch.

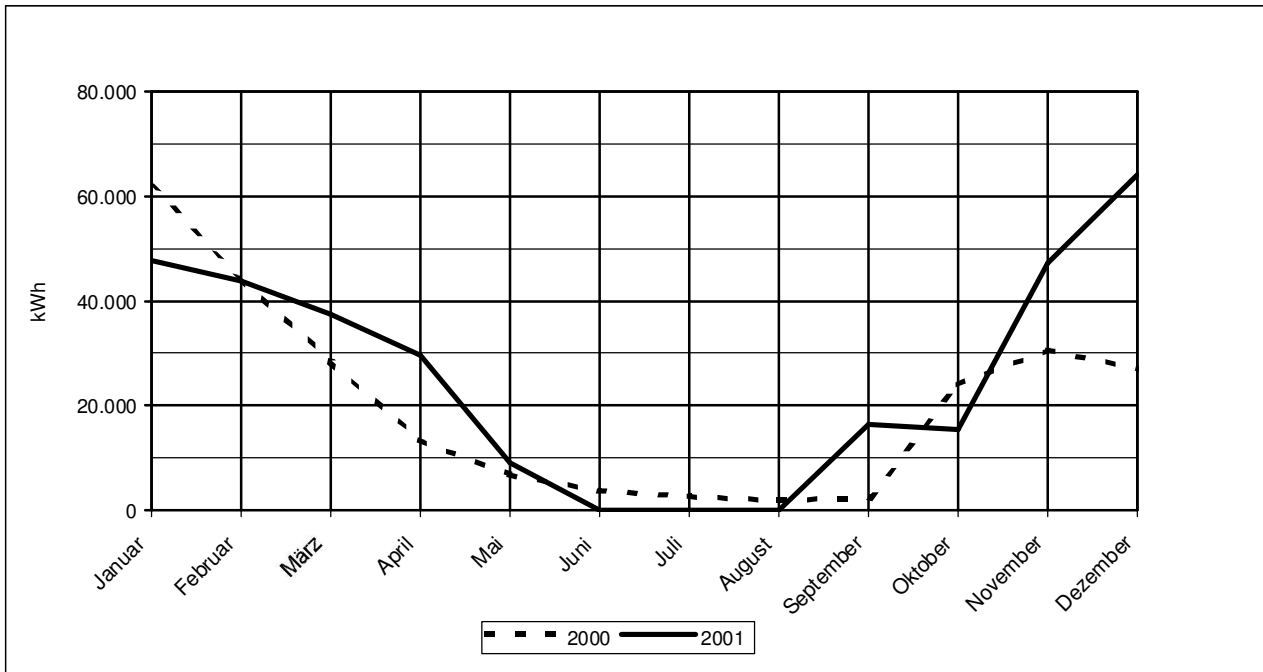
Tafel II.2. Energiekonzept „Steinerne Haus“ - Jahreswerte des Erdgasbezugs und –kosten in 2000-2001

| Jahr | Verbrauch in kWh/a | | Erdgaskosten | |
|------|--|---|---------------|--------------------------|
| | in kWh _{HO} / kWh _{HU} | in kWh _{HO} / kWh _{HU} (Witterungsbereinigt) | Gesamt in EUR | in EUR/kWh _{HO} |
| 2000 | 247.851 / 223.066 | 272.363 / 245.127 | 8.640,- | 0,0349 |
| 2001 | 310.973 / 279.876 | 311.908 / 280.717 | 13.385,- | 0,0430 |

Der Gasverbrauch ist von 2000 auf 2001 um 12,5 % gestiegen, während die Jahreskosten sogar um 35 % zunahmen, da der spezifische Gaspreis sich ebenfalls um fast 19 % erhöht hat. Der gestiegene Verbrauch zeigt deutlich, dass die installierten Heizkessel, aufgrund der massiven technischen Mängel, nur noch mit einem zunehmend schlechteren Wirkungsgrad arbeiteten.

In Bild II.2 sind die monatlichen Gasbezüge in 2000 und 2001 dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass der Gesamtverbrauch in den verbrauchsschwachen Monaten (Sommer) auf nahezu Null sinkt. Dies zeigt eine eindeutige Abhängigkeit des Gasverbrauchs vom Heizwärmebedarf, da die Warmwasserbereitung dezentral mit Strom erfolgt.

Bild II.2 Energiekonzept Steinernes Haus: Monatsverlauf des Gasverbrauchs in 2000 und 2001



II.3 Wasser

Die Wasserversorgung des Steinernen Hauses erfolgt über einen Einspeise- bzw. Messpunkt aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG. Die jährlichen Wasserverbrauchswerte sowie die Bezugskosten für 2000 und 2001 sind in der folgenden Tafel II.3 dargestellt.

Tafel II.3 Energiekonzept Steinernes Haus - Jahreswerte des Wasserbezugs und –kosten in 2000-2001

| Jahr | Verbrauch in m ³ /a | Wasserkosten | | |
|------|-----------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| | | Wasser in EUR | Kanal in EUR | Gesamt in EURO |
| 2000 | 218 | 446,05 | 384,54 | 830,59 |
| 2001 | 212 | 414,20 | 373,96 | 788,16 |

Der Wasserbezug und die –kosten sind in den Jahren 2000 und 2001 nahezu konstant geblieben. Den Hauptanteil haben die Toilettenspülungen mit über 60 %. Im Hinblick auf eine zunehmende Vermietung von Museumsbereichen für Veranstaltungen außerhalb der Öffnungszeiten ist mit einem weiteren Anstieg des Wasserverbrauchs (vornehmlich für Toilettenspülungen) zu rechnen.

III. Stammdaten des Gebäude und der betriebstechnischer Anlagen

III.1 Gebäude (vgl. Abschnitt 3.2)

Auf der Grundlage von technischen Unterlagen bzw. Angaben sowie Ortsbegehungen wurden die charakteristischen Gebäudekenndaten und Gebäudehüllflächen ermittelt.

Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Als Instrument zur planerischen Bearbeitung eines verbesserten Wärmeschutzes wurde auf den Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (1996) des Landes Hessen zurückgegriffen.

Die nach dem hessischen Leitfaden berechneten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste betragen für das Steinerne Haus rund 437.00 kWh/a, woran die Lüftungswärmeverluste einen Anteil von knapp 37 % haben.

Die jährlichen Wärmegewinne liegen bei rund 200.000 kWh. Die Solargewinne haben daran nur einen Anteil 8 % während die Inneren Wärmegewinne 92 % betragen.

Tafel III.1 Energiekonzept Steinernes Haus – Jahresheizenergiebedarf

| | | | |
|--|-----------------|----------------|----------------|
| Transmissions- und Lüftungswärmeverluste | QV | 437.140 | (kWh/a) |
| Wärmegewinne | QG | 200.190 | (kWh/a) |
| Heizwärmebedarf | QH=QV-QG | 236.950 | (kWh/a) |
| Energiekennwert Heizwärme | QH/EBF | 132,8 | (kWh/m²a) |
| Grenzwert | | 75 | (kWh/m²a) |
| Grenzwertüberschreitung | | 77 | (%) |
| Grenzwert erfüllt | Nein | | |

Der auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizenergiebedarf liegt mit 133 kWh/m²*a ca. 77 % über dem Grenzwert nach hessischen Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude.

Bewertung des Ist-Zustandes

- Der rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf beträgt rund **236,9 MWh** für die Raumbeheizung. Der Gebäudewärmebedarf liegt bei 149 kW, was einem spezifischen Wärmebedarf von 84 W pro Quadratmeter Nutzfläche entspricht.
- Der geforderte Grenzwert des spezifischen Heizenergiebedarfs nach Hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude von 75 kWh/m²*a wird bei weitem nicht erreicht, sondern mit 133 kWh/m²*a um 77 % überschritten. Aus den ermittelten Werten kann somit ein relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden, das durch bauliche Wärmeschutzmaßnahmen realisiert werden könnte.
- Einen erheblichen Schwachpunkt stellen die Außenwände (**s. Maßnahme 3.2.III**) und die einfachverglasten Fenster (**s. Maßnahme 3.2.I**) dar. Eine Optimierung des Wärmeschutzes ist anzustreben, wobei für den Altbau Auflagen des Denkmalschutzes zu berücksichtigen sind.

III.2 Betriebstechnische Anlagen

Hinsichtlich des Zustandes und der Konzeption werden die einzelnen betriebstechnischen Anlagen

des Steinernen Hauses in den folgenden Abschnitten bewertet und Hinweise auf die entsprechenden Sanierungs- bzw. Optimierungsmaßnahmen gegeben.

III.2.1 Wärmeversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.3)

- Da beide vorhandenen Wärmeerzeuger aus dem Jahr 1993 durchgerostet waren, wurde während der Bearbeitung des Energiekonzeptes ein neuer Gas-Niedertemperatur-Heizkessel mit einer Nennleistung von 130 kW installiert.
- Von den installierten Umwälzpumpen wird bisher keine mit einer Drehzahlregelung betrieben. Dies verursacht einen überhöhten Stromverbrauch. Zusätzlich muss davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Pumpen nicht optimal ausgelegt ist. Im Rahmen einer Modernisierung bzw. Austausches muss gemäß EnEV eine selbsttätig in mindestens 3 Stufen regelbare elektronische Pumpe eingebaut werden. (**s. Maßnahme 3.3.I**).
- Die mögliche Temperaturregelung einzelner Zonen durch die vorhandene Regelung erfolgt nicht, da das Personal des Steinernen Hauses nicht die Möglichkeit und auch nicht die Zeit hat, um die notwendigen Programmierungen und Steuerungen zeitnah durchzuführen. Um eine bedarfsgerechte Betriebsweise der Heizungsanlage sowie einzelner Zonen zu ermöglichen, wurde das Steinerne Haus an die übergeordnete GLT-Technik des Hochbauamtes angeschlossen.
- Es sollte auf jeden Fall das Freilegen der Heizkörper (Abdeckung durch Stell- und Trennwände) in den Ausstellungsräumen im Altbau des 1. und 2.OG erfolgen, um eine Konvektion von unten nach oben zu erreichen. Dadurch kann die Luftmenge zur Beheizung der Räume reduziert werden und so die Lufttrocknung begrenzt werden (**s. Maßnahme 3.3.II**).

III.2.2 Klima- und Lüftungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.4)

- Die RLT-Anlagen haben ihre übliche technische Nutzungsdauer noch nicht erreicht. Kurz- bis mittelfristig ist kein relevanter baulicher Sanierungsbedarf zu erwarten.
- Das Zentralgerät wird derzeit in einem „energiesparenden“ Umluftbetrieb gefahren. Es ist zu berücksichtigen, dass bei größeren Veranstaltungen, entsprechend der Versammlungsstättenverordnung, ein Mindestaußenluftanteil von $30 \text{ m}^3/\text{p}^*\text{h}$ gefordert wird. Aus diesem Grund muss die Möglichkeit eines Mischluftbetriebs gegeben sein. (**s. Maßnahme 3.4.I**)
Aufgrund der vorhandenen Undichtigkeiten der Gebäudehülle kann davon ausgegangen werden, dass ein natürlicher Luftaustausch stattfindet, der dem Norm-Mindestluftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$, d.h. $3.820 \text{ m}^3/\text{h}$, entspricht. Demnach wäre für Veranstaltungen bis max. 125 Personen ein ausreichender Mindest-Außenluftanteil gegeben und die Lüftungsanlage müsste nicht in Betrieb genommen werden
- Die Wirkungsgrade der Zu- und Abluftventilatoren des „Ausstellungsgerätes“ liegen bei mehr als 80 % und sie verfügen über eine bedarfsgerechte FU-Regelung. Jedoch werden Zu- und Abluftventilator derzeit nur über einen Impuls geregelt. Dies ist dahingehend zu ändern, dass beide

Ventilator unabhängig voneinander, in Abhängigkeit von Druckdifferenzen in dem jeweiligen Kanalsystem, geregelt werden können (**s. Maßnahme 3.4.II**).

- Die Befeuchtungsanlage kann in der derzeitigen Anlagenkonzeption nicht mehr weiterbetrieben werden. Dies ist im Hinblick auf Ausstellungen mit Exponaten, die einen exakten Raumluftzustand benötigen (z.B. Gemälde) von großen Nachteil. Aus Gründen der Bauerhaltung muss kurz- bis mittelfristig eine neue Befeuchtungsanlage errichtet werden, da derzeit die rel. Feuchte im Museum bei max. 35-40 % liegt¹.
Diese Maßnahme führt zu keiner Energie-/Wassereinsparung bzw. Reduzierung der jährlichen Energie- und Wasserkosten. (**s. Maßnahme 3.4.III**).
- Die Konzeption mit 9 regelbaren Zonen im Steinernes Haus ist sinnvoll. Einzelne Bereiche können energiesparend je nach Bedarf zu- und abgeschaltet bzw. nach Temperatur/Feuchte geregelt werden. In der Praxis wird diese bedarfsgerechte Betriebsweise nicht umgesetzt, da zum einen das technische Personal nicht die Zeit und die Möglichkeit hat die entsprechenden Einstellungen zeitnah durchzuführen und zum anderen die Regelung seit der Jahr-2000-Umstellung nicht mehr in der Lage ist, entsprechende Schaltvorgänge durchzuführen (Zeitprogramm defekt).
- Um eine bedarfsgerechte Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung) der zentralen Lüftungsanlage sowie einzelner Zonen zu erreichen, sollten die RLT-Systeme des Steinernen Hauses, wie bereits die Heizungsanlage, an die übergeordnete GLT-Technik des Hochbauamtes angeschlossen werden (**s. Maßnahme 3.4.IV**).
- Die Einzelgeräte werden bedarfsgerecht zeitabhängig (Abluftanlagen) sowie temperaturabhängig betrieben (Luftschleier) und entsprechen somit im wesentlichen dem Technischen Stand.

III.2.3 Kälteversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.5)

- Die Erzeugerleistung der luftgekühlten Kaltwassersätze entspricht bei einer Lufteintrittstemperatur von 30° C der Kühlerleistung der RLT-Anlage „Ausstellung“. Bei höheren Außentemperaturen entspricht die Erzeugerleistung nicht mehr der Verbraucherleistung.
- Durch das Einblasen der warmen Fortluft der Kältemaschinen ergeben sich in die Dachzentrale vornehmlich in den Sommermonaten hohe Temperaturen, die zu einem zeitweisen Ausfall der Steueranlage führen. Dieser Effekt wird durch die nachträglich installierten Radialventilatoren in der Dachzentrale nicht relevant vermindert.
Wird zusätzlich Fortluft der RLT-Anlage „Ausstellung“ in die Dachzentrale geblasen, kann es zu einer Leistungsreduzierung der Kältemaschinen kommen, da die Kältemaschinen-Ventilatoren nicht mehr die gesamte benötigte Luftmenge fördern können (erhöhter Gegendruck) um diese ausreichend zu kühlen (**s. Maßnahme 3.5.I**).
- Durch den Pufferspeicher werden die unterschiedlichen Druckverhältnisse auf der Primär- und

Sekundärseite des Kaltwassersystems zum größten Teil ausgeglichen.

Auf der Primärseite, mit nur einer Pumpe für beide Kältemaschinen, kann es jedoch beim Betrieb von nur einer Maschine zu undefinierten Mischtemperaturen kommen. Hier sollten für jeden Erzeuger elektrische Absperrklappen vorgesehen werden (**s. Maßnahme 3.5.II**).

- Die Umwälzpumpe im Sekundär-Kaltwassernetz wird ungeregt betrieben, was zu einem überhöhten Strombedarf für den Anlagenbetrieb führt (**s. Maßnahme 3.5.IV**).
- Der Kältebedarf des Steinernen Hauses kann durch Reduzierung von äußeren Wärmelasten, z.B. durch das Anbringen eines äußeren Sonnenschutzes verringert werden (**s. Maßnahme 3.5.V**).

III.2.4 Elektroanlagen (vgl. Abschnitt 3.6)

Die Beleuchtungssysteme im Steinernen Haus lassen sich wie folgt bewerten:

- Die installierte spezifische Beleuchtungsleistung liegt mit 33 W/m² weit über den Richtwerten des Hessischen Leitfadens Elektrische Energie im Hochbau (LEE) in Höhe von 10 W/m² (=300 lx). Von dieser Beleuchtung sind aber in der Regel nur 30 % eingeschaltet, so dass die Beleuchtungsstärke für Ausstellungsräume nicht überschritten wird.
- Die Strahler wurden komplett umgerüstet auf energiesparende Kompaktlampen.
- Die Helligkeit in den Ausstellungsräumen kann durch Gruppenschaltungen und dimmbare Installationsschienen (um die jeweiligen Carres) geregelt werden.
- Die 985 Leuchtstofflampen sind noch mit konventionellen Vorschaltgeräten, die einen schlechten Wirkungsgrad aufweisen, bestückt. Hier sollten neue freistrahrende Lichtleisten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) eingebaut werden (**s. Maßnahme 3.6.I**).

III.2.5 Wasserverbrauchseinrichtungen (vgl. Abschnitt 3.7)

- Die Objekte befinden sich in einem guten Zustand, Wasserverluste durch Undichtigkeiten wurden nicht festgestellt.
- Die Toilettenspülungen im UG besitzen keine Wassersparfunktion. Diese sollten nachgerüstet werden (**s. Maßnahme 3.7.I**).

IV. Maßnahmenkatalog nach Priorität

Bei einer Erstellung eines Maßnahmenkataloges wurden folgende Prioritäten beachtet:

- Betriebssicherheit
- Wirtschaftlichkeit

¹ Einzelne Messwerte der DDC aus den vergangenen 6 Jahren

- Technische Realisierbarkeit und zukünftige Entwicklung der Nutzung
- Rationeller und umweltschonender Energieeinsatz

Im Hinblick auf die genannten Prioritäten ergibt sich der nachfolgende Maßnahmenkatalog für eine umfassende Sanierung und Optimierung der Gebäudehülle sowie der Betriebstechnischen Anlagen im Steinernen Haus.

Maßnahmen 1. Priorität

Maßnahme I.1:

Maßnahmenbezeichnung **3.4.IV – Erneuerung der DDC und Aufschaltung auf die GLT des Hochbauamtes**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.4 und 4.4*

Art der Maßnahme *Investiv und organisatorisch*

Beschreibung: *Kompletterneuerung der vorhandenen DDC-Anlage mit neuer Automationsstation und Aufschalten auf die GLT der Abteilung TGM des Hochbauamtes zur Betriebsführung und -überwachung.*

Grund *Erneuerung DDC Bauerhaltung – Aufschaltung energetisch und wirtschaftlich sinnvoll*

Investition: *47.500,- €*

Nutzungszeit: *12 Jahre*

Energieeinsparung: *Strom: 11.400 kWh/a – Erdgas 56.900 kWh*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *6.115,- €/a*

Amortisation *10,8*

Zeitpunkt der Realisierung: *In 2003-2004*

Maßnahme I.2:

Maßnahmenbezeichnung **3.4.III – Einbau einer neuen Befeuchtungsanlage**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.4 und 4.4*

| | |
|---|--|
| Art der Maßnahme | <i>Investiv</i> |
| Beschreibung: | <i>Befeuchtung von zwei Zonen (Ausstellung 1.OG und 2.OG) mit elektrischen Dampfbefeuchtern (Kanaleinbau).</i> |
| Grund | <i>Bauerhaltung – Komfortanforderung rel. Feuchte 50 %</i> |
| Investition: | <i>25.500,- €</i> |
| Nutzungszeit: | <i>15 Jahre</i> |
| Energieeinsparung: | <i>Keine – Mehrverbrauch an Wasser 40 m³/a und Strom 28.500 kWh/a</i> |
| Energie- und Umweltfolge- Kostenreduzierung: | <i>Keine- Mehrkosten für entsalztes Wasser und Strom: 2.500,- €/a</i> |
| Amortisation | <i>-</i> |
| Zeitpunkt der Realisierung: | <i>Nach Realisierung einer zonengeregelten Betriebsweise der Lüftungsanlage (=Umsetzung der Maßnahme 3.4).</i> |

Maßnahme I.3:

| | |
|--|--|
| Maßnahmenbezeichnung | <i>3.7.I – Einbau von Wasserspartastern in Toilettenspülung Besucher WC</i> |
| Erläuterungen im Konzept: | <i>Abschnitt 3.7 und 4.7</i> |
| Art der Maßnahme | <i>Investiv</i> |
| Beschreibung: | <i>Nachrüstung von Wasserspartastern (oder Spülkastenaustausch) an den Spülkästen der Besucher-Toiletten (5 St.)</i> |
| Grund | <i>Wirtschaft sinnvoll</i> |
| Investition: | <i>500,- €</i> |
| Nutzungszeit: | <i>15 Jahre</i> |
| Wassereinsparung: | <i>22,3 m³/a</i> |
| Wasser- und Umweltfolge- Kostenreduzierung: | <i>125,- € / a</i> |
| Amortisation | <i>4,7 Jahre</i> |
| Zeitpunkt der Realisierung: | <i>In 2003</i> |

Maßnahme I.4:

Maßnahmenbezeichnung ***3.3.I – Austausch der Heizungs-Umwälzpumpen***

| | |
|-----------------------------|--|
| Erläuterungen im Konzept: | <i>Abschnitt 3.3.3 und 4.3</i> |
| Art der Maßnahme | <i>Investiv</i> |
| Beschreibung: | <i>Austausch der Umwälzpumpen für die statische Heizung (dp-Regelung) und die Lüftungsanlagen (dT-Regelung) durch elektronisch drehzahlgeregelte Pumpen.</i> |
| Grund | <i>Wirtschaftlich sinnvoll und Auflage EnEV (bei Ersatz)</i> |
| Investition: | <i>4.310,- €</i> |
| Nutzungszeit: | <i>15 Jahre</i> |
| Energieeinsparung: | <i>Strom - 6.160 kWh/a und 0,7 kW</i> |
| Energie- und Umweltfolge- | |
| Kostenreduzierung: | <i>795,- € / a</i> |
| Amortisation | <i>6,8 Jahre</i> |
| Zeitpunkt der Realisierung: | <i>Vor der Heizperiode 2003/2004</i> |

Maßnahme I.5:

Maßnahmenbezeichnung **3.3.II – Freilegen der Heizkörper in den Ausstellungsräumen des 1. und 2.OG Altbau**

| | |
|-----------------------------|---|
| Erläuterungen im Konzept: | <i>Abschnitt 3.3.3</i> |
| Art der Maßnahme | <i>Organisatorisch</i> |
| Beschreibung: | <i>Freilegen der Heizkörper durch Schlitze in den Abtrennwänden oder Wegstellen von Stellwänden um eine Konvektion von unten nach oben zu erhalten.</i> |
| Grund | <i>Erhöhung des statischen Anteils an der Raumbeheizung, Verringerung der zuzuführenden Luftmenge sowie des Befeuchtungsbedarfs</i> |
| Investition: | <i>Keine</i> |
| Nutzungszeit: | <i>15 Jahre</i> |
| Energieeinsparung: | <i>Strom 2.060 kWh/a</i> |
| Energie- und Umweltfolge- | |
| Kostenreduzierung: | <i>180,- € / a</i> |
| Amortisation | <i>sofort</i> |
| Zeitpunkt der Realisierung: | <i>Vor der Heizperiode 2003/2004</i> |

Maßnahmen 2. Priorität

Maßnahme II.1:

Maßnahmenbezeichnung **3.4.II – Wiederherstellen der Ventilatorregelung mittels Frequenzumformer**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.4 und 4.4*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Trennen der vorhandenen Regelung und Ansteuerung jedes Ventilators mit einem separaten Steuerimpuls*

Grund *Bauerhaltung sowie energetisch und wirtschaftlich sinnvoll*

Investition: *2.500,- €*

Nutzungszeit: *15 Jahre*

Energieeinsparung: *Strom - 4.805 kWh/a*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *485 €/a*

Amortisation *6,3*

Zeitpunkt der Realisierung: *In 2003-2004*

Maßnahme II.2:

Maßnahmenbezeichnung **3.4.I – Wiederherstellen der Klappensteuerung für Mischluftbetrieb der Lüftungsanlage „Ausstellung“**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.4 und 4.4*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Reparatur der Ansteuerung der Motoren für die Mischluftklappen*

Grund *Bauerhaltung und gesetzliche Auflagen (Versammlungsstätten-Richtlinie)*

Investition: *In Maßnahme „3.4.IV – Erneuerung der DDC und Aufschaltung auf die GLT des Hochbauamtes“ enthalten*

Nutzungszeit: *15 Jahre*

Energieeinsparung: *Keine*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *-*

Amortisation *-*

Zeitpunkt der Realisierung: *In 2003*

Maßnahme II.3:

Maßnahmenbezeichnung **3.2.I - Austausch der einfachverglasten Fenster**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2.3 und 4.2*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Austausch der einfachverglasten Fenster des Anbaus (30 m²) durch Wärmeschutzverglasung (u-Wert 1,1 W/m²*K) sowie Anbringen einer Zusatzscheibe an der EV im Altbau.*

Grund *Baulicher Sanierungsbedarf*

Investition: *21.600,- €*

Nutzungszeit: *25 Jahre*

Energieeinsparung: *Erdgas - 26.250 kWh/a*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *1.140,- €/a*

Amortisation *keine*

Zeitpunkt der Realisierung: *2003-2004*

Maßnahme II.4:

Maßnahmenbezeichnung **3.5.I – Fortluftsystem im Dachgeschoss für Kühlluft der Kältemaschinen**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.5 und 4.5*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Einbau von 16 Axial-Schubventilatoren vor den Dachöffnungen (Gauben), die bei hohen Raumtemperaturen oder Max-Stufe der Kältemaschinen eingeschaltet werden.*

Grund *Bauerhaltung und Versorgungssicherheit*

Investition: *17.500,- €*

Nutzungszeit: *20 Jahre*

Energieeinsparung: *Strom - 1.625 kWh/a – 2,0 kWe*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *270,- €/a*

Amortisation *-*

Zeitpunkt der Realisierung: *In 2003-2004*

Maßnahme II.5:

Maßnahmenbezeichnung **3.5.II – Verbesserung der hydraulischen Bedingungen auf der Kaltwasser-Primärseite**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.5 und 4.5*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Einbau von Motor-Absperrklappen im Kaltwassersystem, um ein Durchströmen der Kältemaschinen außerhalb der Nutzungszeiten zu vermeiden.*

Grund *Bauerhaltung und Versorgungssicherheit*

Investition: *3.000,- €*

Nutzungszeit: *20 Jahre*

Energieeinsparung: *Keine*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *-*

Amortisation *-*

Zeitpunkt der Realisierung: *In 2003-2004*

Maßnahme II.6:

Maßnahmenbezeichnung **3.5.III – Anheben der Freigabetemperatur der Kältemaschinen**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.5 und 4.5*

Art der Maßnahme *Organisatorisch*

Beschreibung: *Schrittweise Anhebung der Freigabetemperatur für die Kältemaschinen von derzeit 12 °C bis auf 20 °C Außenlufttemperatur*

Grund *Bauerhaltung und Verlängerung der Lebensdauer*

Investition: *-*

Nutzungszeit: *-*

Energieeinsparung: *Strom 1.330 kWh/a bis 3.275 kWh/a*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *100,- €/a bis 275,- €/a*

Amortisation *sofort*

Zeitpunkt der Realisierung: *Nach Umsetzung der Maßnahme 3.4 und einer Betriebsführung durch das Hochbauamt.*

Maßnahme II.7:

Maßnahmenbezeichnung **3.2.II – Dämmung Heizkörpernischen**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2.3 und 4.2*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Anbringen von 15 m² Hartschaumverbundplatten (Dicke 6 cm) an der Innenseite der Heizkörpernischen im 1.OG des Altbaus.*

Grund *Wirtschaftlich sinnvoll*

Investition: *250,- €*

Nutzungszeit: *25 Jahre*

Energieeinsparung: *Erdgas - 1.100 kWh/a*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *60,- € / a*

Amortisation *5,3 Jahre*

Zeitpunkt der Realisierung: *Vor der Heizperiode 2003/2004*

Maßnahme II.8:

Maßnahmenbezeichnung **3.5.V – Anbringen Sonnenschutz an Fenstern Anbau**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.5 und 4.5*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Anbringen außenliegender hinterlüfteter Jalousien (95 m²) an den Fenstern des Anbaus im 1.OG und 2.OG mit außenhelligkeitsabhängiger Steuerung.*

Grund *Energetisch sinnvoll, konservatorische Vorteile durch Absenken der Temperaturspitzen in den Ausstellungsräumen.*

Investition: *14.010,- €*

Nutzungszeit: *15 Jahre*

Energieeinsparung: *Strom - 4.340 kWh/a und 5,5 kW*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *1.080,- € / a*

Amortisation *keine*

Zeitpunkt der Realisierung: *In 2003- 2004*

Maßnahmen 3. Priorität

Maßnahme III.1:

Maßnahmenbezeichnung **3.5.IV – Austausch der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpe**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.5 und 4.5*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Austausch der Sekundär-Umwälzpumpe durch eine elektronisch drehzahlgeregelte Pumpe.*

Grund *Energetisch sinnvoll und Auflage EnEV (bei Ersatz)*

Investition: *2.910,- €*

Nutzungszeit: *15 Jahre*

Energieeinsparung: *Strom - 1.690 kWh/a und 0,45 kW*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *265,- € / a*

Amortisation *18,5 Jahre*

Zeitpunkt der Realisierung: *Bei Ersatzbeschaffung*

Maßnahme III.2:

Maßnahmenbezeichnung **3.6.I – Einbau freistrahrender Lichtleisten mit EVG**

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.6 und 4.6*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Ausbau der 985 Leuchtstoffröhren mit konventionellen Vorschaltgeräten und Einbau neuer freistrahrender Lichtleisten mit elektronischen Vorschaltgeräten*

Grund *Energetisch sinnvoll*

Investition: *54.200,- €*

Nutzungszeit: *15 Jahre*

Energieeinsparung: *Strom - 7.900 kWh/a und 12,3 kW*

Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: *2.590,- € / a*

Amortisation *-*

Zeitpunkt der Realisierung: *Bei Ersatzbeschaffung*

Maßnahme III.3:

Maßnahmenbezeichnung 3.2.IIIa – Außenwandwärmedämmung Anbau

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2.3 und 4.2*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Anbringen eines 14 cm dicken Wärmedämmverbundsystems an der Außenwand des Anbaus (Verbesserung des u-Wertes von 1,45 auf 0,24 W/m²*K).*

Grund *Energetisch sinnvoll*

Investition: *62.700,- € (28.500,- €)*

Nutzungszeit: *25 Jahre*

Energieeinsparung: *Erdgas - 55.700 kWh/a*

Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: *2.180,- € / a*

Amortisation *keine*

Zeitpunkt der Realisierung: *Bei anstehender Sanierung der Außenfassade, da in diesem Fall nur die Mehrkosten = 28.500,- € für das Anbringen des WDVS zu berücksichtigen sind*

Maßnahmenbezeichnung 3.2.IIIb – Innendämmung der Außenwand des Anbaus

Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2.3 und 4.2*

Art der Maßnahme *Investiv*

Beschreibung: *Anbringen eines 6 cm dicken Wärmedämmung an der Innenwand des Anbaus (Verbesserung des u-Wertes von 1,45 auf 0,43 W/m²*K). Um die Forderungen der EnEV einzuhalten müsste eine 9 cm Dämmung (u-Wert 0,33 W/m²*K) angebracht werden.*

Grund *Energetisch und eingeschränkt wirtschaftlich sinnvoll*

Investition: *24.500,- € (bei 9 cm 26.500,- €)*

Nutzungszeit: *25 Jahre*

Energieeinsparung: *Erdgas - 46.400 kWh/a (bei 9 cm 51.800 kWh/a)*

Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: *2.330,- € / a (bei 9 cm 2.460,- €/a)*

Amortisation *18,6 Jahre (bei 9 cm = 17,8 Jahre)*

Zeitpunkt der Realisierung: *Kann zusammen mit dem Austausch der Fenster in 2004-2004 reali-*

siert werden. Vorteil dieser Maßnahem ist, dass hierbei keine Bedenken bzw. Auflagen des Denkmalschutzes berücksichtigt werden müssen.

1. Aufgabenstellung und Grundlagen

1.1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der Stadt Frankfurt, Abteilung Hochbau-Energiemanagement, war für das Steinerne Haus in Frankfurt ein Energiekonzept zu erstellen.

Auf der Grundlage des vorgegebenen Arbeitsprogramms zum Energiekonzept wurden für das Steinerne Haus mögliche Energiesparmaßnahmen für die einzelnen Verbrauchssektoren untersucht, die zu einer rationellen Energieverwendung und entsprechender Umweltentlastung beitragen sollen.

Im wesentlichen waren bei der Erstellung des Energiekonzeptes folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

• Aufnahme des Ist-Zustandes

- Ermittlung, Darstellung und Beurteilung der Stammdaten für Gebäude und betriebstechnische Anlagen
- Ermittlung und Beurteilung des Wärme-, Strom-, Kälte und Wasserbedarfs

• Untersuchung des Energieeinsparpotentials

- Aufstellung von Maßnahmen zur Einsparung von Verbrauch und Kosten bei Heizenergie, Strom und Wasser, u.a.
 - Nichtinvestive u. organisatorische Maßnahmen,
 - Verbesserung der Wärmedämmung (Auflagen EnEV),
 - Verbesserung oder Ersatz der Regelungstechnik für Lüftung, Pumpen, Beleuchtung
 - Optimierung technischer Anlagen (Hzg., Lüftung, Klima, Kälte, Beleuchtung, Wasser)
 - Optimierung Energielieferverträge

• Ermittlung und Darstellung der Wirtschaftlichkeit für anstehende Sanierungsmaßnahmen sowie wirtschaftliche Maßnahmen

- Berechnung der Energie- und Wassereinsparung
- Darstellung der Wirtschaftlichkeit auf Basis der Gesamtkostenberechnung
- Erarbeitung einer Prioritätenliste und Erstellung eines Maßnahmenkataloges
- Auswirkungen der Energiesparmaßnahmen auf den Primärenergiebedarf, die Schadstoffemissionen sowie die Anschlussleistung

Begleitet wurde die Bearbeitung des Energiekonzeptes von einer Arbeitsgruppe bestehend aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Hochbauamtes, des Amtes für Wissenschaft und Kunst sowie des Museums.

1.2 Grundlagen

Grundlagen des Energiekonzeptes bilden im wesentlichen:

- Angaben von Mitarbeitern des Museums sowie der Hochbauabteilung der Stadt Frankfurt
- Verbrauchsaufzeichnungen des Energieversorgungsunternehmens Mainova
- Bestands- und Planungsunterlagen (u.a. Baubeschreibungen, Funktionsbeschreibungen, Erläuterungsberichte sowie Baupläne und technische Zeichnungen)
- Ergebnisse von Objektbegehungen und Datenaufnahmen vor Ort

Die Auswertung der Ergebnisse der Stammdatenermittlung sowie die energetischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Berechnungen erfolgten im wesentlichen auf der Basis

- der Energiesparverordnung (EnEV) vom 01.02.2002
- der VDI-Richtlinie 2067 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“,
- der VDI-Richtlinie 2071 „Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen“,
- der VDI-Richtlinie 3808 „Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen“,
- der VDI-Richtlinie 3814 „Gebäudeleittechnik“,
- der DIN 1946 „Lüftungstechnische Anlagen“,
- der DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“,
- der DIN 4710 „Meteorologische Daten“,
- dem hessischen Leitfaden „Elektrische Energie im Hochbau“,
- dem hessischen Leitfaden „Heizenergie im Hochbau“
- sowie Verfahren der Fachliteratur
 - u.a.: Recknagel, Sprenger, Schramek: „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 96/97“, Oldenbourg Verlag.

Auf zusätzlich verwendete Quellen wird in den entsprechenden Textpassagen verwiesen.

2. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs

2.1 Strombedarf- und -verbrauch

2.1.1 Gesamtstrombedarf und -verbrauch

Der Strombedarf des Steinernen Hauses wird ausschließlich aus dem Netz der Mainova AG gedeckt. Auf der Niederspannungsseite des Mainova-Netzes ist eine Messeinrichtung installiert, die den Gesamtstrombezug erfasst. Als Sondervertragskunde erfolgt eine Abrechnung der bezogenen Arbeit nach Hoch- und Niedertarifzeiten sowie der Leistung als Mittelwert aus den drei höchsten Monatsspitzen. In monatlichen Abrechnungen werden die entsprechenden Daten dokumentiert und sind in der Tafel 2.1.1 für die Jahre 1999 bis 2001 mit den entsprechenden Jahreskosten für den Strombezug dargestellt.

Tafel 2.1.1 Energiekonzept Steinernes Haus: Monatswerte des Strombezugs sowie Jahresstrombezugskosten 1999-2001

| Monat | 1999 | | | 2000 | | | | 2001 | | | |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| | HT-Arbeit in kWh | NT-Arbeit in kWh | Arbeit, ges in kWh | HT-Arbeit in kWh | NT-Arbeit in kWh | Arbeit, ges in kWh | Leistung in kW | HT-Arbeit in kWh | NT-Arbeit in kWh | Arbeit, ges in kWh | Leistung in kW |
| Jan | 26.114 | 18.329 | 44.443 | 10.740 | 6.762 | 17.502 | 80 | 1.692 | 1.353 | 3.045 | 59 |
| Feb | 14.708 | 10.376 | 25.084 | 12.828 | 8.016 | 20.844 | 77 | 9.548 | 4.310 | 13.858 | 62 |
| März | 15.000 | 9.000 | 24.000 | 16.428 | 10.887 | 27.315 | 96 | 14.022 | 8.993 | 23.015 | 69 |
| April | 16.821 | 12.399 | 29.220 | 17.625 | 11.286 | 28.911 | 90 | 14.954 | 11.700 | 26.654 | 73 |
| Mai | 17.639 | 13.209 | 30.848 | 21.789 | 18.548 | 40.337 | 94 | 13.641 | 8.814 | 22.455 | 95 |
| Juni | 6.428 | 5.070 | 11.498 | 11.585 | 9.405 | 20.990 | 90 | 14.391 | 11.328 | 25.719 | 91 |
| Juli | 15.684 | 14.135 | 29.819 | 13.821 | 11.148 | 24.969 | 68 | 18.035 | 16.368 | 34.403 | 83 |
| Aug | 20.871 | 17.628 | 38.499 | 18.738 | 15.701 | 34.439 | 95 | 21.795 | 18.636 | 40.431 | 88 |
| Sep | 20.345 | 16.370 | 36.715 | 14.925 | 10.866 | 25.791 | 78 | 10.512 | 6.899 | 17.411 | 97 |
| Okt | 18.816 | 12.941 | 31.757 | 11.463 | 7.215 | 18.678 | 77 | 14.535 | 9.674 | 24.209 | 86 |
| Nov | 15.756 | 10.547 | 26.303 | 5.424 | 3.261 | 8.685 | 54 | 10.197 | 5.603 | 15.800 | 72 |
| Dez | 9.867 | 6.657 | 16.524 | 9.900 | 3.000 | 12.900 | 54 | 10.697 | 7.274 | 17.971 | 62 |
| Gesamt Spitze, mittel | 171.935 | 128.332 | 300.267 | 165.266 | 116.095 | 281.361 | 95 | 152.327 | 109.599 | 264.971 | 95 |
| Jahres gesamt- Kosten | 35.005,- | | | 28.445,- | | | | 28.730,- | | | |
| Spezif. Strom- preis in | 0,117 | | | 0,101 | | | | 0,108 | | | |

Der Vergleich der Werte zeigt, dass der Gesamtstrombedarf des Steinernen Hauses von 1999 bis 2001 kontinuierlich um jährlich ca. 6 % gesunken ist. Die Leistungsspitzen in den Sommermonaten liegen um ca. 30 kW höher als in den Wintermonaten und sind auf die Kälteerzeugung, die stark witterungsabhängig ist, zurückzuführen.

Der überhöhte Verbrauchswert im Januar 1999 könnte an dem Verschieben der Ablesetage (aufgrund der Weihnachts- und Neujahrsfeiertage) liegen. Der niedrige Stromverbrauch im Januar 2001 ist mit einer durchgehenden Schließung des Museums in diesem Zeitraum zu erklären.

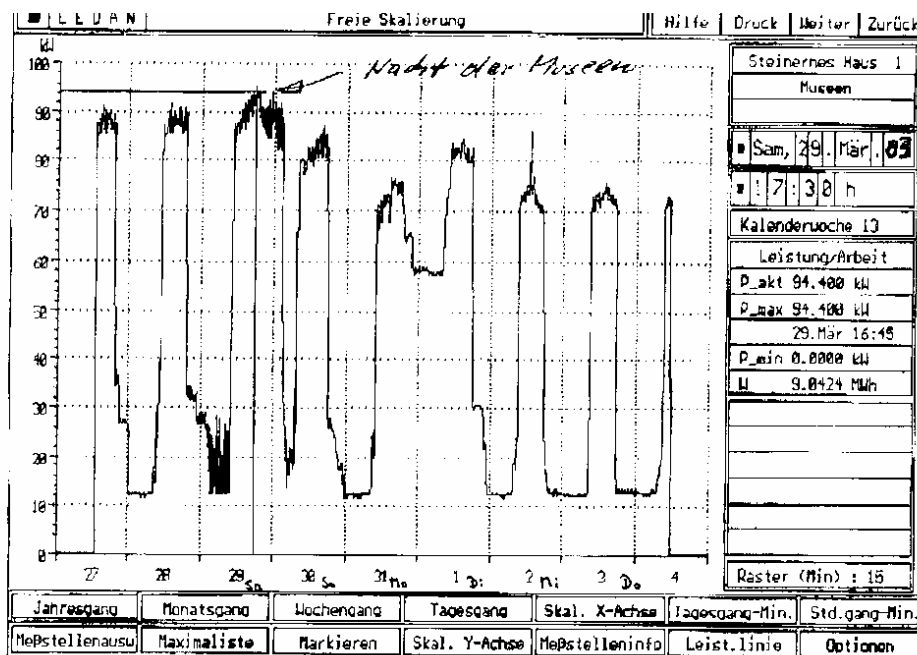
Die monatliche Grundlast liegt bei ca. 10.000 kWh. Bei 720 Betriebsstunden pro Monat errechnet sich hieraus eine Grundlastleistung von 14 kW.

Die Gesamtstromkosten haben sich von 1999 bis 2001 um 6.275 EUR (18 %) reduziert. Die spezifischen Stromkosten sind nach einer deutlichen Reduktion von 14 % im Jahr 2000 in 2001 wieder um 6,5 % gestiegen.

2.1.2 Strom-Schwerpunktverbraucher

Zur Ermittlung der Stromverbrauchsstruktur im Steinernen Haus wurde vom Hochbauamt der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement für den Zeitraum vom 28.03.03 bis 04.04.03 eine schreibende Leistungsmessung für den Wirkstrombezug durchgeführt. Das Ergebnis des Wochenverlaufs ist in Bild 2.1.1 dargestellt.

Bild 2.1.2 Energiekonzept Steinernes Haus: Gemessener Wochenverlauf der Stromlastgänge vom 28.03.03 (Freitag) bis 04.04.03 (Freitag)



Der Stromlastverlauf ist direkt abhängig von der Öffnungszeit des Museums. Mit Öffnungsbeginn werden die Hauptverbraucher Lüftung und Beleuchtung in Betrieb gesetzt und nach der Schließung fällt die Stromlast ziemlich schnell ab.

Der Wochenverlauf zeigt eine Grundlast außerhalb der Öffnungszeiten des Museums von ca. 12 kW für Lüftung, Pumpen und Notbeleuchtung. Die Lastverläufe während der Öffnungszeiten sind relativ konstant bei 80-90 kW. Relevante Unterschiede an den Wochentagen sind nicht zu erkennen.

Vom 29.03. auf den 30.03. fand die „Nacht der Museen“ statt, d.h., das Steinerne Haus war durchgehend geöffnet. Vom 31.03 auf den 01.04. fand nach Auskunft der Mitarbeiter des Steinernen Hauses eine weitere Veranstaltung statt.

Die Strom-Schwerpunktverbraucher mussten, anhand entsprechender technischer Dokumentationen, identifiziert werden.

Beleuchtung

Wie im Abschnitt 2.6.1 dargestellt, wurden durch Datenaufnahme (Leistung, Leuchten, Vorschaltgeräte, Betriebszeiten) von Beleuchtungsanlagen die Jahresstromverbräuche rechnerisch ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tafel 2.1.2 dargestellt.

Tafel 2.1.2a Energiekonzept Steinernes Haus: Jahresstromverbrauch Beleuchtungsanlagen

| Bezeichnung | Lampentyp | Leuchtenzahl | VG | Leistung Leuchte in W | Gesamt in kW | Einschaltfaktor (-) | Einschaltzeit in h/a | Wirk-Arbeit in kWh/a |
|----------------------|------------------|--------------|------------|-----------------------|--------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Untergeschoss | | | | | | | | |
| WC-Herren | Leuchtstofflampe | 1 | KVG | 46 | 0,046 | 0,4 | 710 | 33 |
| | Kompaktlampe | 9 | integriert | 11 | 0,099 | 0,4 | 710 | 70 |
| WC-Damen | Leuchtstofflampe | 1 | KVG | 46 | 0,046 | 0,4 | 710 | 33 |
| | Kompaktlampe | 5 | integriert | 11 | 0,055 | 0,4 | 710 | 39 |
| Behinderten-WC | Kompaktlampe | 9 | integriert | 11 | 0,099 | 0,4 | 710 | 70 |
| Ausstellung | Leuchtstofflampe | 86 | KVG | 46 | 3,956 | 1 | 1.775 | 7.022 |
| Treppenaufgang UG | Kompaktlampe | 13 | integriert | 7 | 0,091 | 0,85 | 1.509 | 137 |
| Summe | | | | | 4,392 | | | 7.404 |
| Erdgeschoss | | | | | | | | |
| Ausstellung (Theke) | Leuchtstofflampe | 70 | KVG | 46 | 3,22 | 0,3 | 533 | 1.715 |
| | Glühlampe | 20 | | 100 | 2 | 1 | 1.775 | 3.550 |
| Lager (Kapelle) | Glühlampe | 3 | ohne | 150 | 0,45 | 1 | 1.775 | 799 |
| Foyer | Leuchtstofflampe | 13 | KVG | 46 | 0,598 | 1 | 1.775 | 1.061 |
| Eingang | Kompaktlampe | 4 | integriert | 11 | 0,044 | 1 | 1.775 | 78 |
| Garderobe | Kompaktlampe | 15 | integriert | 11 | 0,165 | 0,4 | 710 | 117 |
| 5 Büros | Leuchtstofflampe | 10 | EVG | 30 | 0,3 | 1 | 1.775 | 533 |
| Flur | Leuchtstofflampe | 14 | KVG | 46 | 0,644 | 0,8 | 1.420 | 914 |
| Treppenaufgang EG | Kompaktlampe | 13 | integriert | 7 | 0,091 | 0,85 | 1.509 | 137 |
| Summe | | | | | 7,512 | | | 8.904 |

Tafel 2.1.2b Energiekonzept Steinernes Haus: Jahresstromverbrauch Beleuchtungsanlagen

| Bezeichnung | Lampentyp | Leuchtenzahl | VG | Leistung Leuchte in W | Gesamt in kW | Einschalt-Faktor (-) | Einschaltzeit in h/a | Wirk-Arbeit in kWh/a |
|------------------------|------------------|--------------|------------|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1. Obergeschoss | | | | | | | | |
| Foyer | Leuchtstofflampe | 13 | KVG | 46 | 0,598 | 0,3 | 533 | 318 |
| | Kompaktlampe | 15 | integriert | 22 | 0,33 | 1 | 1.775 | 586 |
| Ausstellung rechts | Leuchtstofflampe | 266 | KVG | 46 | 12,236 | 0,3 | 533 | 6.516 |
| | Kompaktlampe | 25 | integriert | 22 | 0,55 | 1 | 1.775 | 976 |
| Ausstellung links | Leuchtstofflampe | 114 | KVG | 46 | 5,244 | 0,3 | 533 | 2.792 |
| | Kompaktlampe | 24 | integriert | 22 | 0,528 | 1 | 1.775 | 937 |
| Treppenaufgang OG | Kompaktlampe | 11 | integriert | 7 | 0,077 | 0,85 | 1.509 | 116 |
| Summe | | | | | 19,563 | | | 12.242 |
| 2. Obergeschoss | | | | | | | | |
| Ausstellung rechts | Leuchtstofflampe | 234 | KVG | 71 | 16,614 | 0,3 | 533 | 8.847 |
| | Kompaktlampe | 38 | integriert | 22 | 0,836 | 1 | 1.775 | 1.484 |
| Vorraum | Leuchtstofflampe | 162 | KVG | 71 | 11,502 | 0,3 | 533 | 6.125 |
| Bibliothek | Leuchtstofflampe | 12 | KVG | 71 | 0,852 | 0,3 | 533 | 454 |
| | Kompaktlampe | 6 | integriert | 44 | 0,264 | 1 | 1.775 | 469 |
| Summe | | | | | 30,068 | | | 17.378 |
| Gesamt | | | | | 61,535 | | | 45.928 |

Der rechnerische Strombedarf für die Beleuchtungsanlagen des Steinernen Hauses liegt bei jährlich ca. 46.000 kWh/a. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtstrombedarf in 2001 von ca. 17 %.

Pumpen

Die Leistungswerte der Umwälzpumpen für das Heizungs- und das Kältesystem wurden im Rahmen von Begehungen vor Ort aufgenommen und in Abschnitt 2.2 und 2.5 dokumentiert. Die gesamte erfasste Umwälzpumpenleistung liegt bei 4,3 kW. Derzeit sind keine geregelten Pumpen installiert. Die Berechnung des jährlichen Stromverbrauchs ist in Tafel 2.1.3 dargestellt.

Tafel 2.1.3a Energiekonzept Steinernes Haus: Jahresstromverbrauch von Umwälzpumpen

| Heizkreisbezeichnung | Elektr. Leistungsaufnahme in kW | Betriebszeit in Laststufen | | | | Strombedarf in kWh/a |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|----------------------|
| | | 100% | 80% | 60% | 50% | |
| Statische Heizkreise | | | | | | |
| Primärpumpe Kessel 1 | 0,19 | 6.432 h | 0 | 0 | 0 | 1.190 |
| Heizkreise | 0,65 | 6.432 h | 0 | 0 | 0 | 4.181 |
| RLT-Anlagen | | | | | | |
| Primärpumpe RLT-Anlage | 0,65 | 6.432 h | 0 | 0 | 0 | 4.181 |

| | | | | | | |
|---------------------------|-------------|---------|---|---|---|---------------|
| Sekundärpumpe Ausstellung | 0,15 | 6.432 h | 0 | 0 | 0 | 965 |
| GESAMT HEIZUNG | 1,64 | | | | | 10.516 |

Tafel 2.1.3b Energiekonzept Steinernes Haus: Jahresstromverbrauch von Umwälzpumpen

| Heizkreisbezeichnung | Elektr. Leistungs- Aufnahme in kW | Betriebszeit in Laststufen | | | | Strombedarf in kWh/a |
|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------------------------|
| | | 100% | 80% | 60% | 50% | |
| Kälte | | | | | | |
| <i>Primärpumpen</i> | 1,35 | 2.328 h | 0 | 0 | 0 | 3.143 |
| <i>Sekundärpumpen</i> | 1,35 | 2.328 h | 0 | 0 | 0 | 3.143 |
| GESAMT KÄLTE | 2,70 | | | | | 6.286 |

Nach Auswertung der Laufzeiten ergibt sich ein Jahresgesamtstromverbrauch für die Heizungs-Umwälzpumpen von **10.516 kWh** und für die Kältepumpen von **6.286 kWh/a**. Zusammen haben die Umwälzpumpen mit einem Jahresstromverbrauch von rund 16.800 kWh einen Anteil von 6,3 % am Gesamtstromverbrauch 2001 des Steinernen Haus.

Zentrale Kälteerzeugung

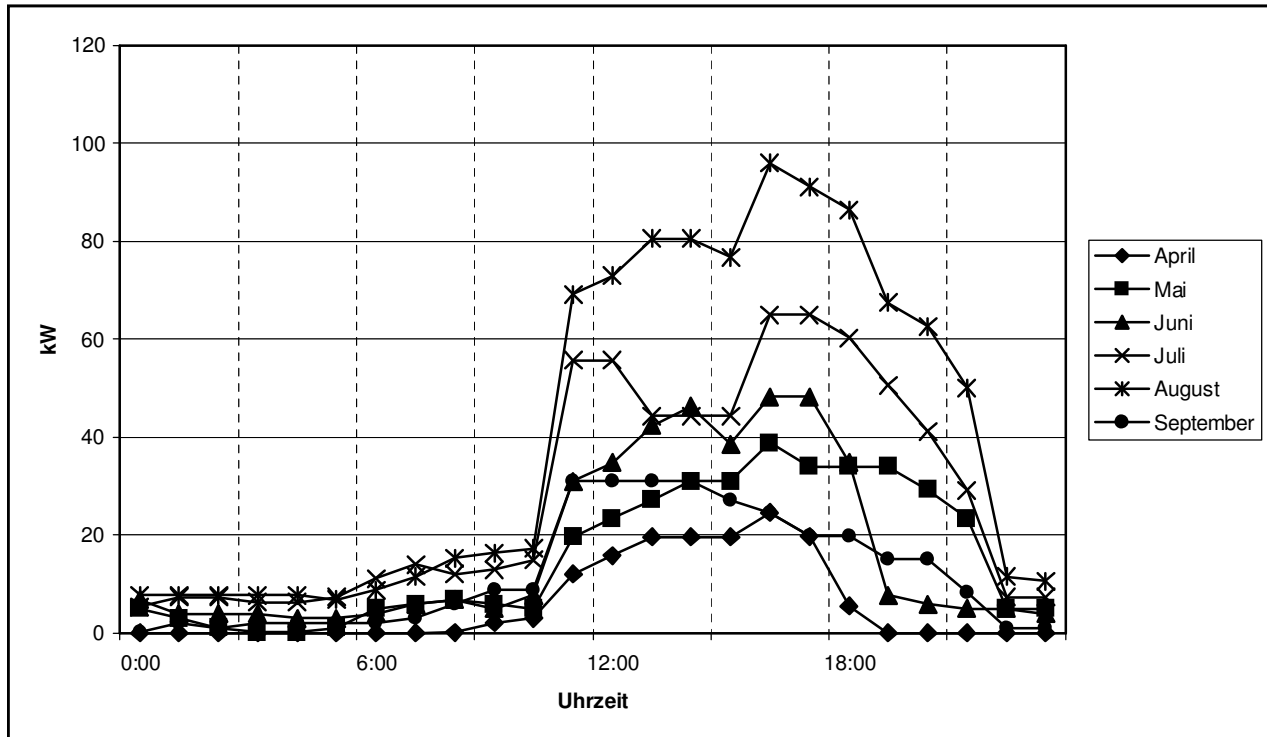
Der durchschnittliche Jahreskältebedarf zur Raumklimatisierung kann rechnerisch durch die Erstellung von Belastungsverläufen ermittelt werden. Zur Bestimmung der Belastungsverläufe sowie des Jahreskältebedarfs zur Raumklimatisierung des Steinernen Hauses wurden im Rahmen des Energiekonzeptes folgende Faktoren berücksichtigt:

- Stundenwerte der Außenlufttemperaturen für Frankfurt gemäß Testreferenzjahr
- stündliche Luftraten der Klimaanlage
- Zu- und Ablufttemperaturen
- Mischluftraten

Aufgrund der durchschnittlichen Außenlufttemperaturen kann davon ausgegangen werden, dass relevanter Kältebedarf für die Raumklimatisierung im Zeitraum April-September anfällt. Dementsprechend wird nur dieser Zeitraum bei der Bilanzierung des Jahreskältebedarfs berücksichtigt.

In Bild 2.1.1 sind repräsentative Taglastgänge des Kältebedarfs für die Monate April-September (jeweils der 15.) dargestellt.

Bild 2.1.1 Energiekonzept Steinernes Haus: Taglastgänge des Kältebedarfs zur Raumklimatisierung



Die an dieser Stelle repräsentativ dargestellten Belastungsverläufe des Kältebedarfs zeigen, dass die maximalen Lastspitzen in den Nachmittagsstunden der Monate Juli + August (gegen 16⁰⁰ Uhr) anfallen. Die monatlichen Werte des Kältebedarfs sind in der Tafel 2.1.4 bilanziert.

Tafel 2.1.4 Energiekonzept Steinernes Haus: Monatswerte des Kältebedarfs zur Raumklimatisierung

| | | April | Mai | Juni | Juli | August | September | Gesamt |
|-------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------------|
| Kältebedarf | in kWh | 5.115 | 11.370 | 16.030 | 18.765 | 17.535 | 12.040 | 80.855 |

Der rechnerisch ermittelte Jahreskältebedarf zur Raumklimatisierung beträgt 80.855 kWh. Die nach VDI-Richtlinie 2078 berechnete maximale Kühllast des Gebäudes liegt bei 101,6 kW. Daraus errechnen sich folgende Vollbenutzungsstunden für die Kälteversorgung:

$$\text{Vollbenutzungsstunden Kälte: } \frac{80.855 \text{ kWh/a}}{101,6 \text{ kW}} = 796 \text{ h/a}$$

Unter Berücksichtigung der Vollbenutzungsstunden und der Stromaufnahme der Kältemaschinen 2 x

25,2 kW) ergibt sich folgender jährlicher Stromverbrauch für die Kälteerzeugung:

Stromverbrauch Kälte: $50,4 \text{ kW} \times 796 \text{ h/a} = 40.120 \text{ kWh/a}$

Für das Steinerne Haus ist von einem Jahresgesamtstromverbrauch für die Kälteerzeugung zur Raumklimatisierung von **40.120 kWh** auszugehen.

Aufzüge

Im Steinernen Haus ist ein Aufzug installiert. Aufzeichnungen über die jährlichen Fahrten liegen nicht vor. Nach Schätzungen ist von jährlich ca. 15.000 Fahrten (60 Fahrten pro Tag, bei 250 Öffnungstagen) auszugehen.

Anhand von gemessenen vergleichbaren Aufzugsanlagen durch Aufzugshersteller, kann vom einem durchschnittlichen Strombedarf pro Fahrt von 55 Wh ausgegangen werden. Bezogen auf die Gesamtfahrtanzahl des Aufzugs ergibt sich somit ein **Jahresstromverbrauch von 825 kWh**.

Elektrische Warmwasserbereiter

Derzeit sind nur drei der sechs installierten Untertisch Warmwasserbereiter in Betrieb. Jedes dieser Geräte verfügt über eine elektrische Anschlussleitung von 2 kW. Warmwasser wird im Steinernen Haus für Haus-, Reinigungs-, Putz- und Kochzwecke benötigt. Zur Berechnung des Strombedarfs für die Warmwasserbereitung werden folgende Ansätze gewählt:

| | |
|--|--|
| WW-Bedarf: | 100 Liter pro Tag – Bei 270 Nutzungstagen ergibt sich ein Jahresbedarf von 27 m ³ . |
| Temperaturdifferenz (Kalt- zu Warmwasser): | 35 K |
| Spezif. Wärmekapazität von Wasser: | 1,163 kWh/m ³ *K |
| Nutzungsgrad Untertischspeicher: | 60 % bei Teilentladung ² |

Daraus errechnet sich folgender jährlicher Stromverbrauch für die elektrische Warmwasserbereitung im Steinernen Haus:

Stromverbrauch WW-Bereitung: $27 \text{ m}^3/\text{a} \times 1,163 \text{ kWh/m}^3\text{K} \times 35 \text{ K} / 0,60 = 1.830 \text{ kWh/a}$

Stromverbrauch der Lüftungsanlagen

Der Stromverbrauch, der beim Betrieb der RLT-Anlagen im Steinernen Haus anfällt, wird nicht explizit durch Zähleinrichtungen erfasst.

Über die Anschlussleistungen der Ventilatoren sowie die entsprechenden Betriebsstunden kann der Stromverbrauch der Lüftungsanlagen näherungsweise errechnet werden. Hiernach ergeben sich die

² vgl.: Handbuch „Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen, Bundesamt für Konjunkturforschung, Impuls für das bauliche Energiesparen, Bern

in der Tafel 2.1.5 dargestellten Werte.

Tafel 2.1.5 Energiekonzept Steinernes Haus: Jahresstromverbrauch der Lüftungsanlagen

| Anlagen- Bezeichnung | Ventilatorleistung Zuluft | | Ventilatorleistung Abluft | | Betriebszeit | | Strombedarf in kWh/a |
|-------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | Volllast in kW | Teillast in kW | Volllast in kW | Teillast in kW | Volllast in h/d | Teillast in h/d | |
| Ausstellung | 22,00 | 7,70 | 18,50 | 6,48 | 1.369 | 7.391 | 160.205 |
| WC-Bereich UG | | | 0,01 | | 2.190 | | 31 |
| WC-Damen/Herren | | | 0,01 | | 2.190 | | 31 |
| Aufzug | | | 0,01 | | 5.840 | | 82 |
| Luftschleieranlage | 0,67 | | | | 1.072 | | 718 |
| Dachzentrale | | | 0,37 | | 2.300 | | 851 |
| GESAMT | 22,67 | 7,70 | 18,91 | 6,48 | | | 161.918 |

Der Gesamtstrombedarf der Lüftungsanlagen des Steinernen Hauses kann somit in einer Größenordnung von ca. 162.000 kWh/a veranschlagt werden. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtstromverbrauch von knapp 61 %.

Stromverbrauch der PC-Arbeitsplätze

Wie in Abschnitt 2.6 beschrieben verfügen die vier PC-Arbeitsplätze über eine Gesamtanschlussleistung von 480 Watt. Bei einer jährlichen Nutzungsdauer von 1.000 h errechnet sich daraus ein jährlicher Stromverbrauch von 480 kWh.

Zusammenfassung

In der Tafel folgenden Tafel 2.1.6 sind die rechnerisch ermittelten Jahresstromverbrauchswerte für die einzelnen Verbrauchergruppen noch einmal zusammengestellt.

Tafel 2.1.6 Energiekonzept Steinernes Haus: Zusammenstellung der Jahresstromverbräuche und –leistung der einzelnen Stromverbraucher

| Verbrauchergruppe | Jahresstrombedarf in kWh/a | Anteil Gesamt in % | Install. Leistung in kW | Leistungsanteil Grundlast in kW |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Beleuchtung | 45.928 | 17,2 | 61,5 | 2,5 |
| Pumpen | 16.804 | 6,3 | 4,5 | 1,6 |
| Kälteerzeugung | 40.120 | 15,0 | 53,1 | Kein Dauerbetrieb |
| Aufzug | 825 | 0,3 | 16,0 | Kein Dauerbetrieb |
| Elektr. WW-Bereiter | 1.830 | 0,7 | 12,0 | Kein Dauerbetrieb |

| | | | | |
|--------------------|------------------|------|---------------|-------------------|
| RLT-Anlagen | 161.918 | 60,4 | 41,8 | 9,8 |
| PC-Arbeitsplätze | 480 | 0,1 | 0,48 | Kein Dauerbetrieb |
| Befeuchtungsanlage | nicht in Betrieb | | 3,8 | |
| GESAMT | 267.905 | | 193,18 | 13,9 |

Die Lüftungsanlagen haben mit über 60 % den größten Anteil am Gesamtstromverbrauch im Steinernen Haus. Die Verbrauchergruppen Beleuchtung und Kälteerzeugung haben mit 17,2 % bzw. 15,0 % einen vergleichbaren Anteil. Der Stromverbrauchsanteil der Aufzüge spielt nur eine untergeordnete Rolle.

Aufgrund des Dauerbetriebs haben die Lüftungsanlagen auch bei der in Abschnitt 2.1.1 ermittelten durchschnittliche Grundlastleistung von 14 kW mit 8,9 kW den größten Anteil.

Beim Stromverbrauch der Lüftungsanlagen ist zu berücksichtigen, dass ein erheblicher Anteil des Verbrauchs als Wärmegewinn (Abwärme der Ventilatoren) in das Gebäude zurückgeführt wird. So liegt der Anteil bei einem Außenluftbetrieb in der Heizzeit bei mindestens 25 % (Zuluftventilatoren) und kann bis auf nahezu 100 % bei einem ausschließlichen Umluftbetrieb ansteigen.

Der rechnerisch ermittelte Jahresstrombedarf in Höhe von 267.905 kWh deckt sich nahezu mit dem gemessenen und abgerechneten Verbrauch für das Steinernen Haus im Jahre 2001 von 264.970 kWh.

2.2 Wärmeerzeugung

2.2.1 Gasverbrauch der Wärmeerzeugung

Als Brennstoff zur Wärmeerzeugung wird im Steinernen Haus ausschließlich Erdgas H aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG eingesetzt.

Die Zählleinrichtung für das Steinernen Haus ist in der „Braubachstr. 37“ installiert und erfasst monatlich den Verbrauch. Laut Erdgasliefervertrag ist eine Kesselleistung von 363 kW angemeldet. Installiert waren jedoch bis zum derzeitigen Umbau nur 266 kW. Im Rahmen der Kesselsanierung ist die Anpassung des Gaslieferungsvertrages auf die neue reduzierte Anschlussleistung von ca. 130 kW vorzunehmen.

Aus den monatlichen Verbrauchsabrechnungen wurden folgende Jahreswerte berechnet.

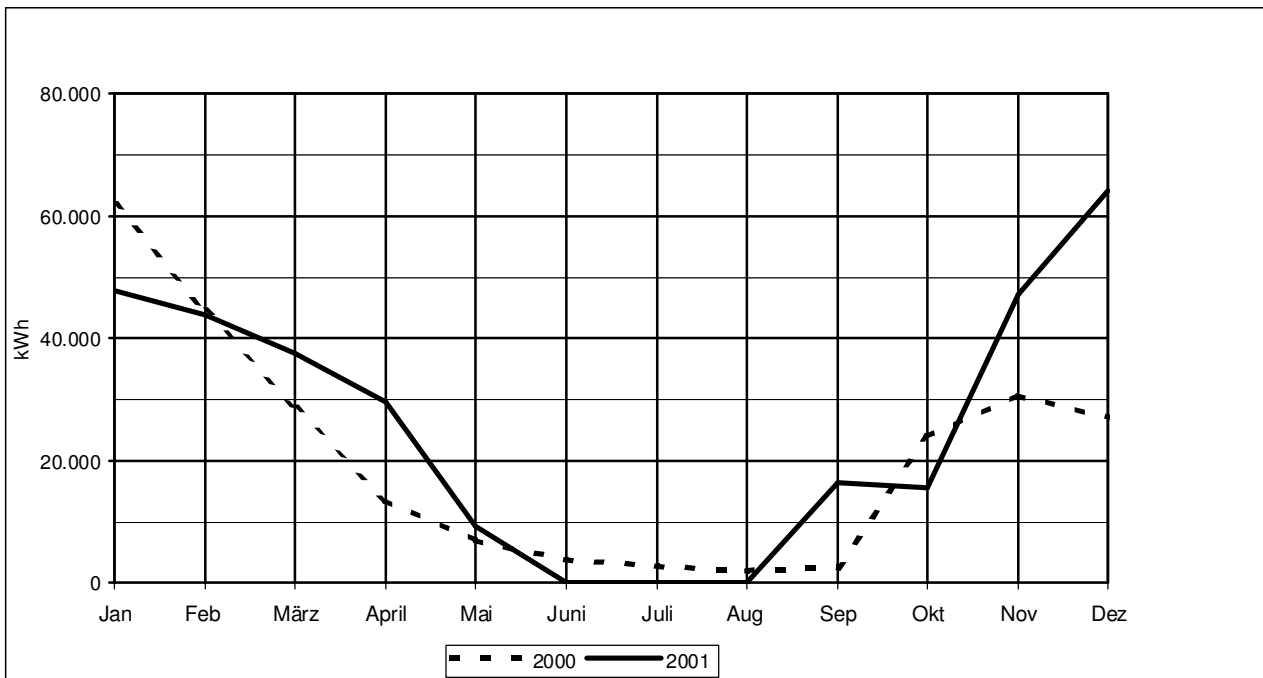
Tafel 2.2.1 Energiekonzept „Steinernes Haus“ - Jahreswerte des Erdgasbezugs und –kosten in 2000-2001

| Jahr | Verbrauch in kWh/a | | Erdgaskosten | |
|------|--|---|---------------|--------------------------|
| | in kWh _{HO} / kWh _{HU} | in kWh _{HO} / kWh _{HU} (Witterungsbereinigt) | Gesamt in EUR | in EUR/kWh _{HO} |
| 2000 | 247.851 / 223.066 | 272.363 / 245.127 | 8.640,- | 0,0349 |
| 2001 | 310.973 / 279.876 | 311.908 / 280.717 | 13.385,- | 0,0430 |

Der Gasverbrauch ist von 2000 auf 2001 um 12,5 % gestiegen, während die Jahreskosten sogar um 35 % zunahmen, da der spezifische Gaspreis sich ebenfalls um fast 19 % erhöht hat. Der gestiegene Verbrauch zeigt deutlich, dass die installierten Heizkessel, aufgrund der technischen Mängel, nur noch mit einem zunehmend schlechteren Wirkungsgrad arbeiteten.

Im folgenden Bild sind die monatlichen Gasbezüge in 2000 und 2001 dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass der Gesamtverbrauch in den verbrauchsschwachen Monaten (Sommer) auf nahezu Null sinkt. Dies zeigt eine eindeutige Abhängigkeit des Gasverbrauchs vom Heizwärmebedarf, da die Warmwasserbereitung dezentral mit Strom erfolgt.

Bild 2.2.1 Energiekonzept Steinernes Haus: Monatsverlauf des Gasverbrauchs in 2000 und 2001



2.2.2 Belastungsverläufe des Heizwärmebedarfs

Der tatsächliche Heizwärmebedarf der statischen Heizungen sowie der RLT-Anlagen des Steinernen Hauses wird nicht durch Wärmemengenzählungen erfasst.

Ein Verfahren zur möglichst realitätsnahen Ermittlung von Lastverläufen und Bedarfswerten des Wärmebedarfs stellt die Erstellung von typischen Tagesganglinien gemäß der VDI Richtlinie 2067 Blatt 7 „Blockheizkraftwerke“ dar.

Im Rahmen des Energiekonzeptes wurden die typischen Tagesganglinien des Heizwärmebedarfs für das Steinerne Haus auf der Basis folgender Grundlagen ermittelt:

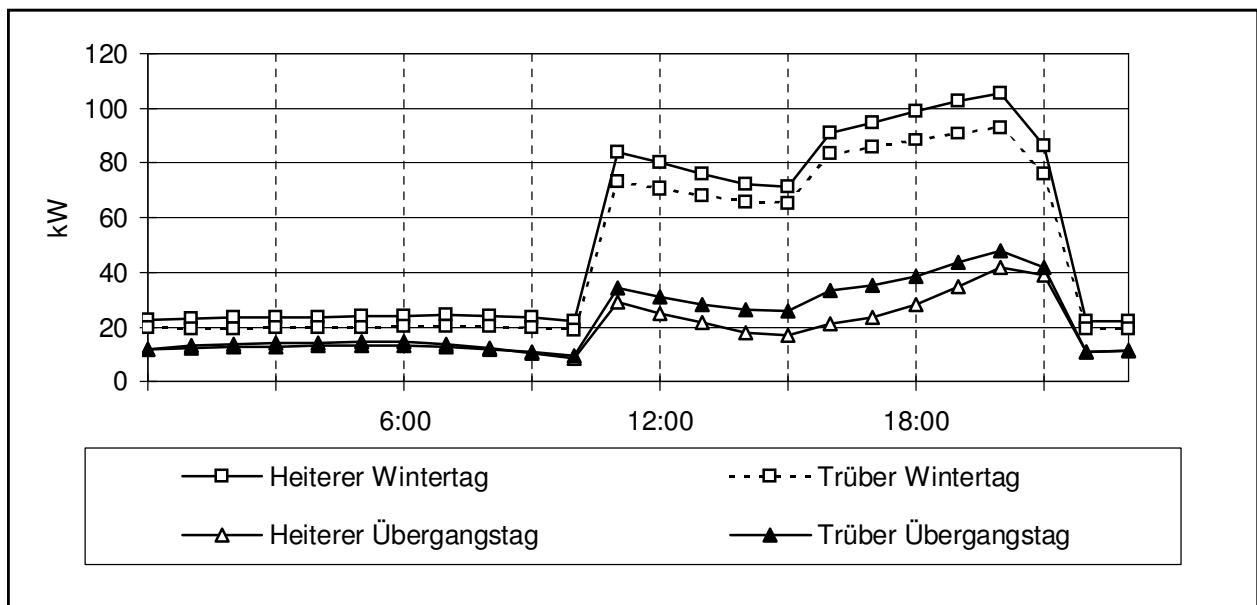
- Temperaturverläufe für typische Tage nach DIN 4710 „Meteorologische Daten“
- Monatswerte des Erdgasbezugs (Abrechnungen Mainova AG)
- Gebäudewärmebedarf (vgl. auch Abschnitt 2.2)
- Stammdaten und Betriebszeiten der RLT-Anlagen (vgl. auch Abschnitt 2.4)

Die Datenaufnahme im Rahmen des Teil-Energiekonzeptes zeigte keine relevanten Betriebsunterschiede zwischen Werk- und Sonn-/Feiertagen. Unterschiede zwischen Voll- und Teillastbetrieb ergeben sich nur im Tagesverlauf.

Unter Berücksichtigung der genannten Voraussetzungen wurden Tagesganglinien für folgende typischen Tage erstellt (vgl. Bild 2.2.2):

- Heiterer und trüber Wintertag
- Heiterer und trüber Übergangstag
- Heiterer und trüber Sommertag

Bild 2.2.2 Energiekonzept Steinernes Haus: Typische Tagesganglinien des Heizwärmebedarfs



Bei der Bilanzierung der Tagesganglinien zeigte sich, dass in den typischen Sommertagen kein relevanter Heizwärmebedarf anfällt. Dementsprechend wurden diese Tagarten in der grafischen Darstellung nicht berücksichtigt. In den Wintermonaten fallen die Bedarfsmaxima, in Abhängigkeit von der Außentemperatur sowie dem Vollastbetrieb der RLT-Anlagen, gegen 19⁰⁰ Uhr an.

Eine Bilanzierung des Heizwärmebedarfs für die typischen Tage sowie für das Gesamtjahr ist in der Tafel 2.2.2 enthalten.

Tafel 2.2.2 Energiekonzept Steinernes Haus: Jahresbilanz des Heizwärmebedarfs

| Tagart | Tagzahl | Tagesbedarf | Jahresbedarf |
|--------------------|---------|-------------|--------------|
| Heiterer Wintertag | 76 | 1.264 | 96.100 |

| | | | |
|-----------------------|----|-------|----------------|
| Trüber Wintertag | 75 | 1.116 | 94.830 |
| Heiterer Übergangstag | 80 | 365 | 29.180 |
| Trüber Übergangstag | 42 | 444 | 18.650 |
| Gesamt | | | 238.760 |

Der bilanzierte durchschnittliche Jahresheizwärmebedarf für die Gebäudeheizung (statisch und RLT-Anlagen) beträgt somit **238.760 kWh/a**.

2.3 Wasserverbrauch

Die Wasserversorgung des Steinernen Hauses erfolgt über einen Einspeise- bzw. Messpunkt aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG.

Die jährlichen Wasserverbrauchswerte sowie die Bezugskosten für 2000 und 2001 sind in der folgenden Tafel 2.3.1 dargestellt.

Tafel 2.3.1 Energiekonzept Steinernes Haus - Jahreswerte des Wasserbezugs und –kosten in 2000-2001

| Jahr | Verbrauch in m ³ /a | Wasserkosten | | |
|------|-----------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| | | Wasser in EUR | Kanal in EUR | Gesamt in EURO |
| 2000 | 218 | 446,05 | 384,54 | 830,59 |
| 2001 | 212 | 414,20 | 373,96 | 788,16 |

Der Wasserbezug und die –kosten sind in den Jahren 2000 und 2001 nahezu konstant geblieben. Seit Einbau eines neuen Wasserzählers am 02.09.02 wurden bis zum 09.11.02 39,15 m³ Wasser bezogen. Daraus errechnet sich ein spezifischer Verbrauch von 650 Liter pro Tag.

Eine tägliche Überprüfung der Zählerstände³ sowie Rückfragen bei der Mainova ergaben, dass keine zusätzlichen Verbrauchseinrichtungen über den Zähler des Steinernes Hauses abgerechnet werden.

Die Tafel 2.3.2 zeigt die Verteilung des Wasserverbrauchs auf die unterschiedlichen Nutzer.

Tafel 2.3.2 Energiekonzept Steinernes Haus – Verteilung des täglichen Wasserverbrauchs auf die Hauptnutzungsbereiche

| | Toilette | | | | Urinal | | | | Handwaschbecken | | | |
|--------------|----------|---------|----------|-----|--------|---------|----------|-----|-----------------|---------|---------|-----|
| | Nutzer | l/Spül. | Spül/p*d | l/d | Nutzer | l/Spül. | Spül/p*d | l/d | Nutzer | l/Wasch | Wa./p*d | l/d |
| Besu- | | | | | | | | | | | | |
| Damen | 20 | 9 | 1 | 180 | 0 | 3 | 0 | 0 | 20 | 3 | 1 | 60 |
| Herren | 10 | 9 | 1 | 90 | 10 | 3 | 1 | 30 | 20 | 3 | 1 | 60 |

³ Zur Kontrolle wurden im Zeitraum vom 16.11. bis 25.11.02 die Zählerstände morgens und abends abgelesen.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|------------|---|---|---|-----------|---|---|---|------------|
| Personal | | | | | | | | | | | | |
| Damen | 4 | 6 | 2 | 48 | 0 | 3 | 0 | 0 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| Herren | 4 | 6 | 1 | 24 | 4 | 3 | 2 | 24 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| GESAMT | | | | 342 | | | | 54 | | | | 192 |

Den größten Anteil am Wasserbrauch im Steinernen Haus haben die Toilettenspülungen mit rund 50 %. Zu den in Tafel 2.3.2 aufgeführten Wasserbrauchsmengen kommen noch rund 60 Liter pro Tag für Koch- und Reinigungszwecke.

Im Hinblick auf eine zunehmende Vermietung von Museumsbereichen außerhalb der Öffnungszeiten ist mit einem weiteren Anstieg des Wasserverbrauchs (vornehmlich für Toilettenspülungen) zu rechnen.

3. Stammdaten zur Liegenschaft

3.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Träger des Steinernen Hauses ist der Frankfurter Kunstverein. Das Steinerne Haus besteht aus einem historischen 5-geschossigen Gebäude sowie einem 4-geschossigen Anbau. Das spätgotische Patrizierhaus mit Wehrgang und Erker wurde 1464 erbaut, im 2. Weltkrieg zerstört und Ende der Fünfziger Jahre als Rekonstruktion wieder aufgebaut. Aus dieser Zeit stammt auch der Flachdachanbau.

Die Ausstellungsräume erstrecken sich vom Kellergeschoss bis ins 2.OG. Im Dachgeschoss des Altbaus ist die Lüftungs-/Kältezentrale untergebracht. Die Verwaltung befindet sich im EG-Anbau.

In den letzten beiden Jahren gab es im „Steinernen Haus“ folgende Öffnungszeiten und Besucherzahlen:

| | |
|----------------------|--|
| Öffnungszeiten 2000: | Dienstag-Sonntag 11-20 Uhr, Montags geschlossen sechs zusammenhängende Schließungszeiträume , insges. 136 Tage |
| Besucherzahlen | ca. 16.000 Personen/a , ca. 53 Besucher pro Tag, 5 Ausstellungen |
| Öffnungszeiten 2001: | Dienstag-Freitag 12-20 Uhr, Sams-, Sonn- und Feiertage 11-18 Uhr, Montags geschlossen, drei zusammenhängende Schließungszeiträume, insgesamt 64 Tage |
| Besucherzahlen | ca. 18.000 Personen/a, ca. 59 Besucher pro Tag, 4 Ausstellungen |

In letzter Zeit wurden zunehmend Museumsbereiche außerhalb der normalen Öffnungszeiten fremd vermietet. Diese Veranstaltungen werden von bis zu 40 Personen besucht.

Eine verbindliche Nutzung bzw. Ausstellungsschwerpunkte konnten von Seiten der Museumsleitung nicht benannt werden. In den vergangenen zwei Jahren lag der Schwerpunkt auf Videoinstallationen. Für 2003 ist eine Ausstellung mit Gemälden geplant wofür ein definiertes „Raumklima“ notwendig ist.

3.2 Gebäude und Bauteile

Das Baualter des Altbaus des heutigen Steinernen Hauses (Markt 44) geht bis in das 15. Jahrhundert zurück. Nach der Zerstörung im 2. Weltkrieg begann 1958 der Wiederaufbau mit einer Erweiterung durch die Errichtung eines 4-geschossigen Anbaus in östlicher Richtung. Der Altbau besitzt größtenteils eine historische Fassade. Außer dem Einbau von Isolierverglasung und der teilweisen Dämmung der Dachfläche (Boden und Schrägen im Altbau) sind keine energetisch relevante bautechnischen Sanierungen bekannt.

3.2.1 Gebäudekenndaten

Die Bestandspläne zur Berechnung der Hüllflächen bzw. die Baubeschreibungen zum Aufbau der Gebäudehüllflächen der einzelnen Bauteile, lagen nur unvollständig vor. Für die Ermittlung der Flächen/Volumen wurden den Konzepterstellern folgende Unterlagen bzw. Angaben zur Verfügung gestellt:

- Gebäudegrundrisse / Schnitte (nicht maßstäblich)
- Flucht- und Rettungswegpläne
- Bauphysikalisches Gutachten des Ing.-Büro Heinrichs aus Groß-Gerau vom November 1990
- Wärmebedarfsberechnung vom Oktober 1990

Die Berechnung der übrigen Flächen und Baukonstruktionen mußte durch Inaugenscheinnahme vor Ort und in Gesprächen mit dem Auftraggeber/Nutzer erfolgen.

Gebäudeflächen und -volumen

Zur Berechnung des Heizenergiebedarfs war die Ermittlung aller Flächen der vollständigen Umhüllung des beheizten Gebäudevolumens notwendig. Im einzelnen wurden folgende Werte ermittelt:

Energiebezugsfläche (EBF): Summe aller Wohn- und Nutzflächen gemäß DIN 277 Teil 2, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist.

Beheiztes Gebäudevolumen: Von der Gebäudehülle eingeschlossenes genutztes und beheiztes Nettoluftvolumen. Es ergibt sich als Produkt aus der EBF und der Raumhöhe

A/V-Verhältnis: Das Verhältnis der errechneten wärmeübertragenden Umfassungsfläche zum beheizten Gebäudevolumen

Außenwand und Dach: Flächen gegen Außenluft oder hinterlüftete Konstruktionen.

Grund: Bodenflächen gegen Erdreich und Flächen gegen unbeheizte Räume im Keller

Außenwand gegen Erdreich: Wandflächen beheizter Räume gegen Erdreich

Angrenzende Bauteile: Fläche gegen Bauteile mit wesentlich niedriger Raumtemperatur (z.B. Treppenhäuser, Lagerräume, etc.)

Auf Basis der o.g. Unterlagen bzw. Angaben sowie Ortsbegehungen wurden die charakteristischen Gebäudekenndaten und Gebäudehüllflächen ermittelt und in der Tafel 3.2.1 zusammengestellt.

Tafel 3.2.1a Energiekonzept „Steinernes Haus“ - Gebäudekenndaten

| Gebäude | | Steinernes Haus |
|--|-------------------|-----------------|
| Reale Energiebezugsfläche | in m ² | 1.769,3 |
| Beheiztes Gebäudevolumen | in m ³ | 7.643,2 |
| Summe wärmeübertragende Umfassungsfläche | in m ² | 3.094,0 |
| A/V-Verhältnis | | 0,41 |

Tafel 3.2.1b Energiekonzept „Steinernes Haus“ - Gebäudekenndaten

| | | |
|-----------------|-------------------|---------|
| Außenwandfläche | in m ² | 1.366,8 |
|-----------------|-------------------|---------|

| | | |
|--------------------------|-------------------|-------|
| Dachfläche | in m ² | 660,6 |
| Grundfläche | in m ² | 619,6 |
| Außenwand gegen Erdreich | in m ² | 237,6 |
| Fensterflächen | | |
| - Ost | in m ² | 29,8 |
| - West | in m ² | 8,3 |
| - Nord | in m ² | 32,0 |
| - Süd | in m ² | 139,4 |

Gemäß Aufgabenstellung durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt wurden für die Liegenschaft sämtliche erfassten Gebäudedaten in die städtischen Erfassungsblätter für die Gebäudedatenbank übertragen.

Wärmedurchgangskoeffizienten

Die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten (u-Werte) der Gebäudehüllflächen wurde, unter Zugrundelegung der Baubeschreibung (soweit vorhanden), gemäß den Richtlinien der DIN-EN ISO 6946 (11/96) und DIN EN ISO 10077-1 (11/2000) durchgeführt.

Konnte die Zusammensetzung der Bauteile nicht genau ermittelt werden, so dienten die in Tafel 3.2.2 aufgeführten Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz als Grundlage für die weiteren Berechnungen.

Tafel 3.2.2 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Mindestanforderung an den baulichen Wärmeschutz von 1949-1990⁴

| Norm/Verordnung | ab | k _{min} in W/m ² K | | | | |
|----------------------------|------|--|---------|------|-----------|-------------|
| | | Wand | Fenster | Dach | Dachboden | Kellerdecke |
| DIN 4108 | 1952 | 1,56 | 5,2 | 1,46 | 0,8 | 1,01 |
| DIN 4108 | 1969 | 1,56 | 5,2 | 1,10 | 0,8 | 1,01 |
| erg. Best. DIN 4108 | 1974 | 1,56 | 3,5 | 0,89 | 0,68 | 0,83 |
| WschVO | 1977 | 1,06 | 3,5 | 0,45 | 0,45 | 0,80 |
| Neufassung DIN 4108 | 1981 | 1,39 | 3,5/3,1 | 0,79 | 0,9 | 0,81 |
| WschVO gültig 1984-2001 | 1982 | 0,75 | 3,1 | 0,30 | 0,30 | 0,55 |

In der Tafel 3.2.3 sind die u-Werte der jeweiligen Gebäudebauteile und dem entsprechenden Flächenanteil zusammengefasst.

⁴ vgl.: Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1994

Tafel 3.2.3 Energiekonzept „Steinernes Haus“ – u-Werte und Flächen der Gebäudebauteile

| Gebäudeteil | u-Wert in W/m ² *K | Flächenanteil in m ² |
|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Außenwand Altbau (Dicke ca. 1,00 m) | 0,59 | 795,1 |
| Außenwand Anbau | 1,58 | 571,7 |
| Dachboden/-schräge Altbau | 0,73 | 419,6 |
| Flachdach Anbau | 1,14 | 241,0 |
| Grundfläche - Kellerdecke) | 2,05 | 254,1 |
| Grundfläche - Kellerfußboden) | 1,23 | 365,5 |
| Außenwand gegen Erdreich Altbau | 0,49 | 112,4 |
| Außenwand gegen Erdreich Anbau | 1,68 | 125,2 |
| Fenster/Außentüren | | |
| Einfachverglasung / Isolierverglasung | 5,0 / 3,2 | |
| - Ost | | 10,8 / 19,1 |
| - West | | 0,0 / 8,3 |
| - Nord | | 30,0 / 2,0 |
| - Süd | | 78,8 / 60,7 |

3.2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs sowie des Heizwärmebedarfs

Ermittlung des Wärmebedarfs

Unter Zugrundelegen der ermittelten Gebäudehüllflächen bzw. -volumina und den entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizienten (u-Werte) werden für die einzelnen Bauteile bzw. Gebäude überschlagsmäßig der Gesamtwärmebedarf nach der A/V-Methode⁵ ermittelt. Gemäß dieser Methode wird der maximale Wärmebedarf wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned}
 Q_N &= \text{Normwärmebedarf in Watt} \\
 &= (\Sigma(u * A * f)_{\text{Bauteil}} + 0,33 * n * V) * dT \\
 u &= \text{Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil in W/m}^2\text{K} \\
 A &= \text{Umfassungsfläche Bauteil in m}^2 \\
 f &= \text{Minderungsfaktor 0,5 bei Bauteilen gegen Erdreich oder} \\
 &\quad \text{unbeheizte/niedriger beheizte Räume} \\
 0,33 &= \text{Spez. Wärmekapazität von Luft in Wh/m}^3\text{K} \\
 n &= \text{Stündlicher Luftwechsel in h}^{-1} \\
 V &= \text{Beheiztes Gebäudevolumen in m}^3 \\
 dT &= \text{Temperaturdifferenz (innen - außen) in K}
 \end{aligned}$$

Für das Steinerne Haus errechnet sich ein Gebäudewärme-Leistungsbedarf von rund **149 kW**, der spezifische Wärmebedarf liegt bei 84 W/m².

⁵ vgl.: Recknagel/Sprenger/Schrameck: Taschenbuch der Heizung und Klimatechnik 94/95, Oldenbourg-Verlag, München 1994

Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Als Instrument zur planerischen Bearbeitung eines verbesserten Wärmeschutzes steht der Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (1996) des Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit zur Verfügung. Diese Leitfaden basiert auf der bewährten Norm des schweizerischen Ingenieur und Architekten Vereins (SIA 380/1 - Energie im Hochbau“). Ein Gebäude lässt sich als ein dynamisches System beschreiben, das durch unterschiedliche Wärmeströme definiert ist. Dies sind einerseits die Wärmeverluste durch die Außenfläche des Gebäudes (Transmission) und durch den Austausch von Innen- gegen Außenluft (Lüftung), andererseits die Wärmegewinne durch die solare Einstrahlung und durch die Wärmeabgabe von Personen und Geräten. Hinzu kommt der Wärmestrom, der dem Gebäude über die Heizanlage zugeführt wird, um die Innentemperatur auf dem gewünschten Niveau zu halten. Dieser wird als **Nutzheizenergiebedarf** bezeichnet.

Um den ermittelten Wert für den Nutzheizenergiebedarf nutzerunabhängig und somit vergleichbar zu machen, sind dem Berechnungsverfahren Standardwerte für die Nutzung der Gebäude vorgegeben. Durch die Ermittlung der **Heizenergiekennzahl** wird darüber hinaus ein Wert eingeführt, der ein Maß für die „thermische Güte“ eines Gebäudes darstellt. Des weiteren steht durch die Ermittlung der Energiebilanz ein Instrument zur Verfügung, mit dem der Wärmeschutz des Gebäudes ökonomisch optimiert werden kann.

Für das Steinerne Haus wurde, entsprechend dem beschriebenen Berechnungsgang des Leitfadens „Energiebewusste Gebäudeplanung“, der Heizenergiebedarf ermittelt. Die Berechnungen und die Ergebnisse sind im folgenden dargestellt.

GEBÄUDEDATEN

| GEBÄUDEDATEN | | | |
|--|----------|---------|----------------------|
| Energiebezugsfläche | EBF | 1.784,8 | m ² |
| davon mechanisch belüftete Fläche | ca. 85 % | 1.517,1 | m ² |
| Personenbelegung | | 59 | P |
| Durchschnittliche Raumhöhe | H | 4,28 | m |
| Luftvolumen (=EBF * Raumhöhe) | V | 7.643 | m ³ |
| Luftwechselrate unbelüftete Räume | β | 0,5 | (h ⁻¹) |
| Luftwechselrate mechanisch belüftete Räume | β | 0,85 | (h ⁻¹) |
| Grenzwert nach Hessischen Leitfaden | | 75 | KWh/m ² a |

TRANSMISSIONS- UND LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE

Der Transmissionswärmebedarf wird berechnet aus den Wärmeverlusten von Wand, Dach, Fenster

und Boden an die Außenluft, an das Erdreich bzw. an unbeheizte Räume. Die Lüftungswärmeverluste berechnen sich aus dem Außenluftwechsel, dem beheizten Gebäudevolumen sowie der Außen- und Raumlufttemperatur.

| Transmissionswärmeverluste | Bauteilbezeichnung | Fläche in m ² | u-Wert in W/m ² K | Gt in kWh/a | Verluste | |
|--|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------|----------|---------|
| | | | | | in kWh/a | in % |
| Außenwand | AW 1 - 1,00 m (Altbau) | 780,30 | 0,59 | 81 | 37.317 | 13,6% |
| | AW 2 - 36,5 cm (Anbau) | 571,70 | 1,45 | 81 | 66.993 | 24,4% |
| | AW 3 - 0,30 m (Altbau Nische) | 14,80 | 1,39 | 81 | 1.664 | 0,6% |
| Fenster | AF-Ost – Isolierverglasung (IV) | 19,06 | 3,20 | 81 | 4.940 | 1,8% |
| | AF-West – IV | 8,30 | 3,20 | 81 | 2.151 | 0,8% |
| | AF-Nord – IV | 2,00 | 3,20 | 81 | 518 | 0,2% |
| | AF-Süd – IV | 60,65 | 3,20 | 81 | 15.720 | 5,7% |
| | AF-Ost – Einfachverglasung (EV) | 10,76 | 5,00 | 81 | 4.358 | 1,6% |
| | AF-West – EV | 0,00 | 5,00 | 81 | 0 | 0,0% |
| | AF-Nord – EV | 30,00 | 5,00 | 81 | 12.150 | 4,4% |
| | AF-Süd – EV | 78,75 | 5,00 | 81 | 31.894 | 11,6% |
| | | | | | | |
| Dach | Flachdach | 241,00 | 1,14 | 64,8 | 22.193 | 8,1% |
| | Dachboden | 419,58 | 0,73 | 64,8 | 24.807 | 9,0% |
| Fußboden | Kellerdecke | 254,10 | 2,05 | 40,5 | 21.053 | 7,7% |
| | Kellerfußboden | 365,45 | 1,23 | 40,5 | 18.235 | 6,6% |
| Erdberührende Wände | AW 1 - 1,50 cm (erdberührend) | 108,20 | 0,49 | 40,5 | 2.164 | 0,8% |
| | AW 2 - Brüstung 0,40 cm | 4,20 | 1,56 | 40,5 | 265 | 0,1% |
| | AW 3 - 40 cm (Anbau) | 125,19 | 1,54 | 40,5 | 7.786 | 2,8% |
| Summe Transmissionswärmeverluste QT | | | | | 274.211 | (kWh/a) |

| Lüftungswärmeverluste QL | β (1/h) | V (m ³) | c (Wh/m ³ K) | Gt (kWh/a) | | |
|------------------------------------|------------------|------------------------|----------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Unbelüftete Fläche | 0,5 | 1.146 | 0,33 | 81 | 15.323 | (kWh/a) |
| Mechanisch belüftete Fläche | 0,85 | 6.497 | 0,33 | 81 | 147.608 | (kWh/a) |
| Summe Lüftungswärmeverluste | | | | | 162.930 | (kWh/a) |
| Summe Verluste | | | | | 437.141 | (kWh/a) |

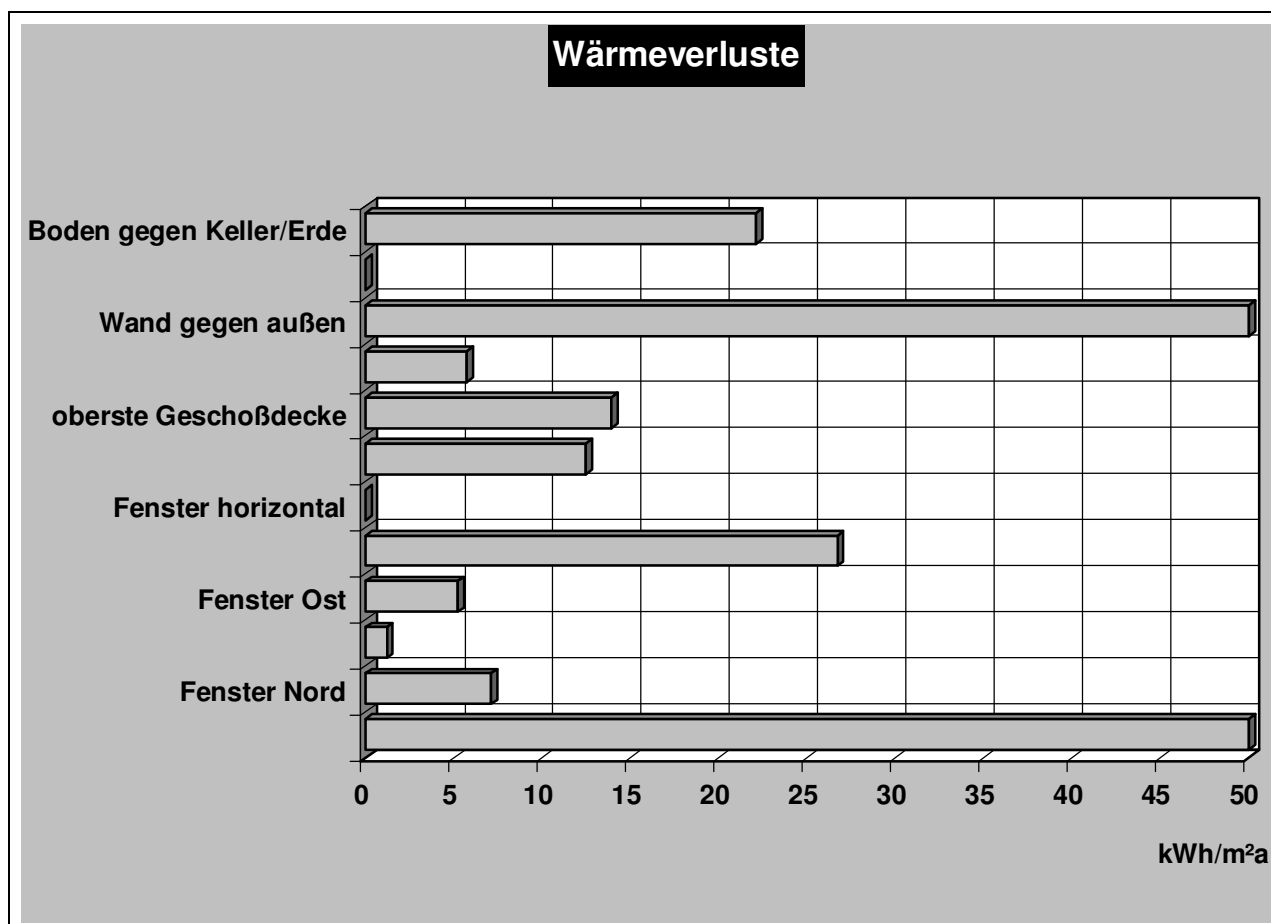
Die nach dem hessischen Leitfaden berechneten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste betragen für das „Steinerne Haus“ rund 437.00 kWh/a, woran die Lüftungswärmeverluste einen Anteil von knapp 37 % haben.

Bei den Transmissionswärmeverlusten liegt der höchste Anteil bei den Außenwänden (38,6 %), wobei die Außenwand des Anbaus mit einem Verlustanteil von fast 25 % herausragt.

Die einfachverglaste Fenster haben einen Anteil von 17,6 % an den Transmissionswärmeverlusten.

Die Dachflächen liegen bei einem Verlustanteil von 17 % und Kellerfußboden/-decke haben einen Verlustanteil in Höhe von jeweils 14,3 %.

Bild 3.2.1 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Verteilung der Wärmeverluste



WÄRMEGEWINNE

Bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs werden folgende Wärmegewinne berücksichtigt:

Freie Wärme aus Sonnenstrahlung durch Fenster: Wird berechnet aus der Fenstergröße, der Art des Fensters (Energiedurchlassgrad) und der Orientierung mit der entsprechenden Globalstrahlung.

Freie Wärme aus Elektroanlagen: Wird aus dem für Raumheizung verwertbaren Teil des Elektrizitätsverbrauchs für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen der während der Heizperiode innerhalb des beheizten Gebäudevolumens abgegeben wird, bestimmt. Hierbei ist von entscheidender Bedeutung, dass der Elektrizitätsbedarf der zentralen Lüftungsanlage (ca. 160.000 kWh/a) fast komplett als Wärmegewinn (als Abwärme der Ventilatoren) während der Heizzeit genutzt werden kann, da diese fast ausschließlich im Umluftbetrieb gefahren wird.

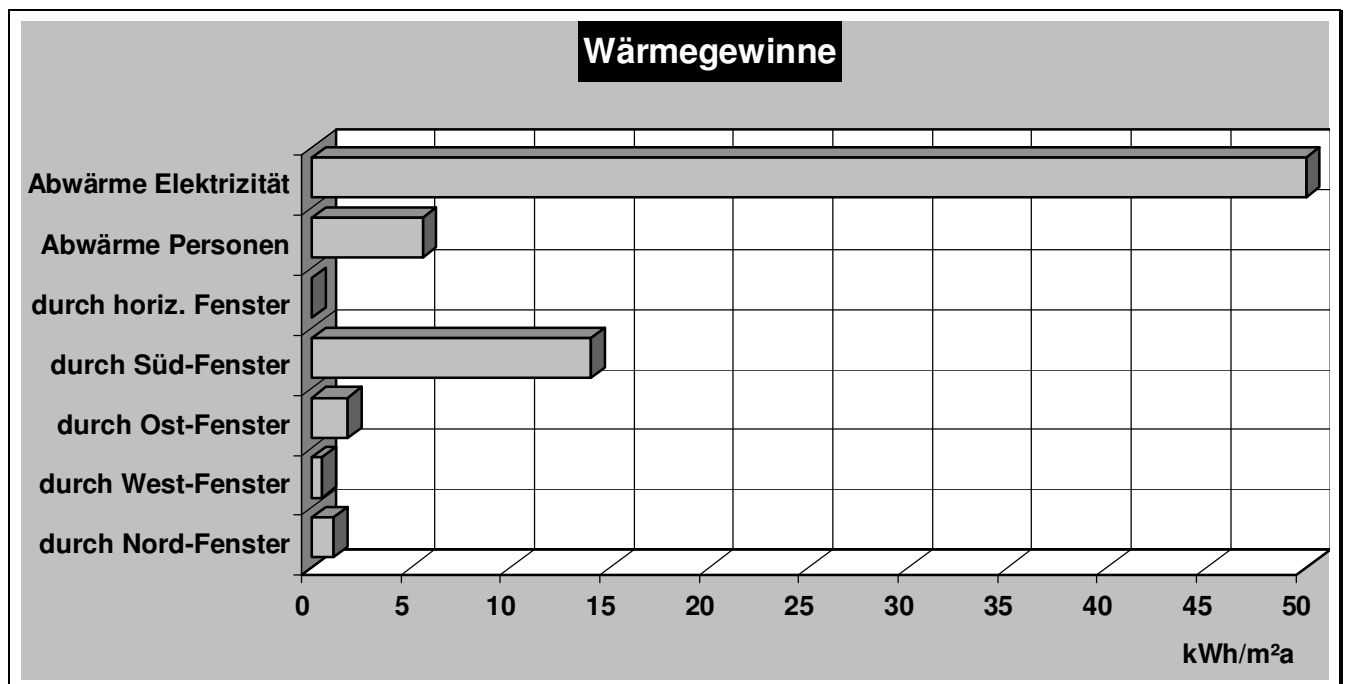
Freie Wärme von Personen: Wird mit der Wärmeabgabe (abhängig von der Tätigkeit) sowie der

Anwesenheitszeit während der Heizzeit berechnet.

| | r | Fensterfläche (m ²) | g-Wert | Strahlung (kWh/m ² a) | Gewinne (kWh/a) |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------------------|
| Horizontal | 0,68 | 0,0 | 0,70 | 331 | 0 |
| Nord | 0,68 | 2,0 | 0,70 | 121 | 115 |
| West | 0,68 | 8,3 | 0,70 | 217 | 857 |
| Ost | 0,68 | 19,1 | 0,70 | 212 | 1.923 |
| Süd | 0,68 | 60,7 | 0,70 | 353 | 10.191 |
| Nord | 0,68 | 30,0 | 0,80 | 121 | 1.975 |
| West | 0,68 | 0,0 | 0,80 | 217 | 0 |
| Ost | 0,68 | 10,8 | 0,80 | 212 | 1.241 |
| Süd | 0,68 | 78,8 | 0,80 | 353 | 15.123 |
| Summe Solargewinne | QS | | | | 31.425 |
| Freie Wärme Elektrizität | QE | | | | 198.203 |
| Freie Wärme Personen | QP | | | | 9.959 |
| Wärmebedarf Brauchwassererwärmung | Qwa | | | | 0 |
| Summe Innere Wärmegewinne | QI=QE+QP-Qwa | | | | 208.162 |
| Summe Freie Wärme | QF=QS+QI | | | | 239.587 |
| Gewinnfaktor Freie Wärme | $x=1-0,3*QF/QV$ | | | | 0,836 |
| Wärmegewinne | QG=x*QF | | | | 200.193 |

Für das Steinerne Haus errechnen sich jährliche Wärmegewinne in Höhe von rund 200.000 kWh. Die Solargewinne haben daran einen Anteil 8 % und die Inneren Wärmegewinne von 92 %.

Bild 3.2.2 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Verteilung der Wärmegewinne



HEIZWÄRMEBEDARF

Der Heizwärmebedarf ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf für Transmission und Lüftung abzüglich der Wärmegewinne.

| Heizwärmebedarf | QH=QV-QG | 236.948 | (kWh/a) |
|---------------------------|-------------|---------|------------------------|
| Energiekennwert Heizwärme | QH/EBF | 132,8 | (kWh/m ² a) |
| Grenzwert | | 75 | (kWh/m ² a) |
| Grenzwertüberschreitung | | 77 | (%) |
| Grenzwert erfüllt | nein | | |

Der auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizenergiebedarf liegt mit 133 kWh/m²*a ca. 77 % über dem Grenzwert nach hessischen Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude.

3.2.3 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Sanierungsmaßnahmen

Der derzeitige Wärmeschutz und der Heizenergiebedarf des Steinerne Hauses können wie folgt bewertet werden:

- Der rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf beträgt rund **236,9 MWh** für die Raumbeheizung. Der Gebäudewärmebedarf liegt bei 149 kW, was einem spezifischen Wärmebedarf von 84 W pro Quadratmeter Nutzfläche entspricht.
- Der geforderte Grenzwert des spezifischen Heizenergiebedarfs nach Hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude von 75 kWh/m²*a wird bei weitem nicht erreicht, sondern mit 133 kWh/m²*a um 77 % überschritten. Aus den ermittelten Werten kann somit ein relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden, das durch bauliche Wärmeschutzmaßnahmen realisiert werden könnte.
- Einen erheblichen Schwachpunkt stellen die Außenwände (s. Maßnahme 3.2.III) und die einfachverglasten Fenster (s. Maßnahme 3.2.I) dar. Eine Optimierung des Wärmeschutzes ist anzustreben, wobei für den Altbau die Auflagen des Denkmalschutzes berücksichtigt werden müssen.

Maßnahme 3.2.I: Austausch der einfachverglasten Fenster

Aus Gründen der Bauerhaltung sollten in den kommenden Jahren die einfachverglasten Fenster saniert bzw. ausgetauscht werden. Hierbei ist zwischen Alt- und Anbau zu unterscheiden. Im Anbau können die 30 m² einfachverglasten Fenster durch 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung (U=1,1 W/m²*K) ersetzt werden.

Die einfachverglasten Fenster des Altbaus (89,7 m²) können aus Gründen des Denkmalschutzes nicht ausgetauscht werden. Hier könnte auf der Innenseite eine Zusatzscheibe auf den bestehenden Bügelrahmen aufgebracht werden. Der U-Wert würde sich auf 2,5 W/m²*K verbessern,

Maßnahme 3.2.II: Dämmung der Heizkörpernischen im Altbau

Ohne größeren Aufwand könnten die durch Stell- und Trennwände verdeckten Heizkörpernischen

(15 m²) im 1. Obergeschoss des Altbaus gedämmt werden. Diese relativ einfache Maßnahme kann durch Anbringen einer Gipskarton-Hartschaumverbundplatte (6 cm) an der Innenwand realisiert werden

Maßnahme 3.2.III

a) Außenwandwärmmedämmung des Anbaus

Der energetisch größte Effekt könnte mit einer Wärmmedämmung der Anbau-Außenwand erreicht werden. Durch das Anbringen eines 14 cm Wärmdämmverbund-Systems könnte der u-Wert von derzeit 1,45 W/m²*K auf 0,24 W/m²*K verbessert werden.

b) Wärmmedämmung der Innenwand des Anbaus

Da die Außenfassade des Anbaus ebenfalls unter Denkmalschutz steht, können diesbezügliche Bedenken durch eine Innenwanddämmung umgangen werden. Durch das Anbringen einer 6 cm Innendämmung mit vorgesetzter Gipskartonplatte kann der u-Wert der Außenwand von derzeit 1,45 W/m²*K auf 0,43 W/m²*K verbessert werden.

3.3 Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen

Die Wärmeversorgung der statischen Heizungen sowie der Raumluf-Technischen-(RLT)Anlagen erfolgt über ein zentrales Warmwasser-Heiznetz. Für die Wärmeerzeugung werden zwei Warmwasser-Heizkessel eingesetzt.

Die Brauchwasserbereitung erfolgt dezentral über Elektro-Untertischspeicher

3.3.1 Stammdaten der zentralen Heizkesselanlage

Die gesamte zentrale Erzeugungs-, Verteil- und Regelanlage einschließlich Schaltschrank des Steinernes Hauses befindet sich in der Heizzentrale im Untergeschoss des Altbaus. Im Jahr 1993 fand eine umfangreiche Anlagensanierung statt, bei der zwei neue Heizkessel installiert wurden. Diese waren so konzipiert, dass Sie wechselseitig betrieben werden konnten, d.h., die Kessel wurden redundant ausgelegt, um eine erhöhte Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Tafel 3.3.1 zeigt die Stammdaten der zentralen Heizkesselanlage.

Tafel 3.3.1 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Stammdaten der zentralen Heizkesselanlage

| Standort: | Heizzentrale im UG | |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 1 | 2 |
| Wärmeerzeuger-Nr. | 1 | 2 |
| Hersteller/Typ | Viessmann Paromat Triplex | Viessmann Paromat Triplex |
| Bauart | Öl-/Gas-Heizkessel | Öl-/Gas-Heizkessel |
| Baujahr | 1993 | 1993 |
| Nennwärmeleistung | 120 kW | 120 kW |
| Brenner-Nr. | 1 | 1 |
| Hersteller/Typ | Klöckner KL 16 Z | Klöckner KL 16 Z |
| Bauart | Gebläsebrenner | Gebläsebrenner |
| Baujahr | 1993 | 1993 |
| Brennstoff | Erdgas | Erdgas |
| Regelung | 2-stufig (60 % / 100 %) | 2-stufig (60 % / 100 %) |

Unter Zugrundelegung des in Abschnitt 3.2.2 ermittelten jährlichen Heizwärmebedarfs in Höhe von 236.948 kWh und dem tatsächlichen Verbrauchswert in 2001 von 280.717 kWh (vgl. Abs. 2.2) errechnet sich daraus ein Jahresnutzungsgrad der Gesamtanlage von 84,4 %. D.h. 15,6 % der eingesetzten Energie geht durch Erzeugungs- und Verteilungsverluste ungenutzt verloren.

Zum Zeitpunkt der Datenaufnahme war ein Kessel bereits durchgerostet und nicht mehr in Betrieb, der zweite Kessel wurde notdürftig instand gesetzt. Mehrere Flammrohre wurden hierbei geschweißt. Der Kessel konnte nicht mehr mit Nennleistung betrieben werden.

Eine Überprüfung der Betriebszeiten der Brennstufen ergab, dass seit Dezember 2001 der verbliebene Heizkessel über 95 % der Betriebszeit auf Stufe 1 (ca. 60 kW) lief und nur 5 % auf Stufe 2 (ca.

100 kW)

Da beide vorhandenen Wärmeerzeuger aus dem Jahr 1993 durchgerostet sind, wurde während der Bearbeitung des Energiekonzeptes ein neuer Gas-Niedertemperaturheizkessel mit einer Nennleistung von 130-170 kW installiert. Auf die geplante Modulation im Hauptnutzungsbereich von 20 bis 60 kW mit einer Spitze von max. 130 kW ist der Kessel, nach Rückfrage beim Hersteller, nur eingeschränkt nutzbar. Die minimal zulässige Kesselleistung liegt bei 65 kW, eine niedrigere Belastung kann zum Unterschreiten des Taupunkts (Gefahr von Korrosion) führen.

Eine redundante Auslegung bzw. Verteilung der Wärmeleistung auf 2 Heizkessel ist nicht notwendig, da durch einen entsprechenden Wartungsvertrag gesichert ist, dass bei Ausfall der Anlage eine kurzfristige Störungsbeseitigung erfolgt. Des weiteren wäre eine Zweikesselanlage mit erheblichen Mehrkosten verbunden.

3.3.2 Stammdaten des Warmwasserheiznetzes

Die Anlage ist als Warmwasserheizsystem mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 90 °C konzipiert. Sie ist in zwei Heizkreise unterteilt, wobei ein Heizkreis für die Versorgung der Lüftungsanlage vorgesehen ist und der zweite Heizkreis die statischen Heizflächen versorgt.

Heizkreis Lüftung (60 °C / 40 °C)

Der Heizkreis „Lüftung“ wird mit einer konstanten Vorlauftemperatur betrieben, die Einstellung der notwendigen Lüfterhitzertemperaturen erfolgt örtlich durch Mischventile an den einzelnen Erhitzern. Es ist ein Vorerhitzer für das zentrale Lüftungsgerät mit einer Wärmeleistung von 96 kW installiert. Um eine bedarfsgerechte Betriebsweise und Temperaturregelung der Ausstellungsräume zu ermöglichen, sind 11 Nacherhitzer für die einzelnen Zonen mit einer Gesamtheizleistung von 31 kW eingebaut. Weiterhin wird eine Luftschleieranlage für den Windfang im EG mit einer Heizleistung von 32 kW versorgt.

Statischer Heizkreis (90 °C / 70 °C)

Der Heizkreis für die statischen Heizflächen wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur geregelt. Alle Heizkörper sind mit Thermostatventilen ausgestattet. Zum Teil sind die Heizkörper im 1. und 2. Obergeschoss an der Außenwand hinter Stellwänden installiert.

In der Tafel 3.3.2 sind die Stammdaten der Heizkreise mit den dazugehörigen Umwälzpumpen zusammengestellt.

Tafel 3.3.2 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Stammdaten der Warmwasserheizkreise

| Standort/Heizkreisbezeichnung | Hersteller/Typ Umwälzpumpe | Leistungsaufnahme (Einzelpumpe) in W | Regelung |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|------------------|
| Primärverteilung | | | |
| - Kessel I | Wilo MOT S 40 / 4 | 185 (III) | 3-stufig manuell |
| - Kessel II | Wilo MOT S 40 / 4 | 185 (III) | 3-stufig manuell |
| Hauptverteiler | | | |
| - Lüftungsanlage | 2 x Wilo TOP S 50 – 7 | 650 (III) | Haupt/Reserve |
| - Statische Heizflächen | 2 x Wilo TOP S 50 – 7 | 650 (III) | Haupt/Reserve |
| RLT-Anlage „Ausstellung“ - Erhitzer | Wilo RP 25/100 | 150 W (max.) | keine |

3.3.3 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Hinsichtlich seines Zustandes und seiner Konzeption ist das Warmwasserheizsystem im Steinernen Haus wie folgt zu bewerten:

- Im Rahmen der Kesselsanierung wurden die trockengelaufene Erhitzerpumpe des Lüftungsgerätes „Ausstellung“ sowie das 3-Wege-Ventil (undicht) ausgetauscht.
- Einzelne Rohrleitungen und Armaturen waren nicht ausreichend gedämmt. Diese wurden im Rahmen der Kesselsanierung nachträglich wärmegeklämmt
- Von den installierten Umwälzpumpen wird bisher keine mit Drehzahlregelung betrieben. Dies verursacht einen überhöhten Stromverbrauch. Zusätzlich muss davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Pumpen nicht optimal ausgelegt ist. Im Rahmen einer Modernisierung bzw. Austausches muss gemäß EnEV eine selbsttätig in mindestens 3 Stufen regelbare elektronische Pumpe eingebaut werden. (s. Maßnahme 3.3.I)
- Die mögliche Temperaturregelung einzelner Zonen durch die vorhandene Regelung erfolgt nicht. Das Technische Personal des Steinernen Hauses hat nicht die Möglichkeit und auch nicht die Zeit, um die notwendigen Programmierungen und Steuerungen zeitnah durchzuführen. Um eine bedarfsgerechte Betriebsweise der Heizungsanlage sowie einzelner Zonen zu ermöglichen, wurde dies an die übergeordnete GLT-Technik des Hochbauamtes angeschlossen. (s. auch Maßnahme 3.4.IV).
- Es sollte auf jeden Fall das Freilegen der Heizkörper (Abdeckung durch Stell- und Trennwände) in den Ausstellungsräumen im Altbau des 1. und 2.OG erfolgen, um eine Konvektion von unten nach oben zu erreichen. Dadurch kann die Luftmenge zur Beheizung der Räume reduziert werden und so die Lufttrocknung begrenzt werden (s. Maßnahme 3.3.II).

Maßnahme 3.3.I: Austausch der Heizungs-Umwälzpumpen

Die Heizungsumwälzpumpen haben mit einer Nutzungsdauer von 10 Jahren fast das Ende der technischen Nutzungszeit von 12 Jahren erreicht. Aus Gründen der Bauerhaltung steht in absehbarer Zeit eine Sanierung an. Entsprechend der EnEV werden die Doppelpumpen für Heizung und Lüftung sowie die Erhitzerpumpe durch elektronische drehzahlgeregelte Umwälzpumpen ersetzt.

**Maßnahme 3.3.II: Freilegen der Heizkörper in den Ausstellungsräumen
des 1. und 2.OG Altbau**

Durch das Freilegen der Heizkörper in den Ausstellungsräumen des 1. und 2.OG Altbau kann der Anteil der statischen Beheizung gegenüber der Luftheizung erhöht werden. Die Realisierung stellt eine organisatorische Maßnahme mit nur geringen Investitionen dar.

3.4 Stammdaten der Klima- und Lüftungsanlagen

Die Be- und Entlüftung sowie die Klimatisierung von Raumbereichen des Steinernes Hauses erfolgt mit Raumlufttechnischen(RLT)-Anlagen, die hinsichtlich ihrer verfahrenstechnischen Merkmale als Zentralanlagen-System mit zentraler Luftförderung und Luftaufbereitung mit Nachbereitung in Einzelzonen einordnen sind.

Die Heizwärmeversorgung der RLT-Anlagen erfolgt über das zentrale Warmwasser-Heizsystem.

Gemäß der Definition der DIN 1946 können RLT-Anlagen in Bezug auf ihre thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen in Gruppen eingeteilt werden.

Thermodynamische Luftbehandlungsfunktionen sind:

| | | |
|---|---|-------------|
| H | = | Heizen |
| K | = | Kühlen |
| B | = | Befeuchten |
| E | = | Entfeuchten |

Nach der DIN 1946 sind:

| | |
|-------------------|---|
| Klimaanlagen: | RLT-Anlagen/-Geräte mit vier Luftbehandlungsfunktionen |
| Teilklimaanlagen: | RLT-Anlagen/-Geräte mit zwei oder drei Luftbehandlungsfunktionen |
| Lüftungsanlage: | RLT-Anlagen/-Geräte mit keiner oder einer Luftbehandlungsfunktion |

3.4.1 Stammdaten der Klima- und Teilklimaanlagen

Zentralgerät „Ausstellung“ (Anlage 1)

Gemäß DIN 1946 handelt sich bei diesem kombinierten Zu- und Abluftgerät um eine Teilklimaanlage mit 2 Luftbehandlungsfunktionen (Heizen, Kühlen). Das Gerät wurde 1993 im Dachgeschoss des Altbaus installiert. Beim gleichzeitigen Betrieb aller 9 nachgeschalteten Regelzonen wird ein maximaler Volumenstrom von 23.300 m³/h benötigt. Wird eine Regelzone zugefahren, so verringert sich die Gesamtluftmenge durch Drehzahländerung der Ventilatoren mittels Frequenzumrichter.

Die Einhaltung der Raumsolltemperaturen von 21 °C wird durch die entsprechende Fahrweise des Vorerhitzers (VE), des Kühlers sowie der Nacherhitzer (NE) gewährleistet. Die Inbetriebnahme der Vorerhitzerpumpe erfolgt bei einer Außentemperatur von < 15 °C, die Kühlerpumpe wird bei einer Außentemperatur von mehr als 12 °C in Betrieb gesetzt.

Die Anlage verfügt über eine Mischluftkammer, die einen Umluftbetrieb ermöglicht, wobei der Außenluft(AUL)-Anteil variabel, bei einem Mindestanteil von 15 % (3.500 m³/h), gefahren werden kann. Durch eine Erhöhung des AUL-Anteils bis auf 30 % kann eine Entfeuchtung der Bereiche realisiert werden. Derzeit ist jedoch die Außenluftklappe nicht geöffnet, d.h., es wird ausschließlich im Umluftbetrieb gefahren, d.h., dem Gebäude wird über die Lüftungsanlage keine Frischluft zugeführt.

Die Fortluft hat keine direkten Anschluss ins Freie, sondern wird in die Dachzentrale geblasen und

von dort durch eine größere Anzahl von Öffnungen im Dach und in den Giebelseiten gedrückt (Summe der Querschnittsfläche ca. 2 m²). Grund hierfür waren wohl während der Errichtung der Anlage Auflagen des Denkmalschutzes, die einen Fortluftkanal im Sichtbereich des historischen Gebäudes nicht akzeptierten. Durch diese Konstruktion ergibt sich bei einem höheren Außenluftanteil ein erheblicher Überdruck in der Dachzentrale.

Zonenanlagen „Ausstellung“ (Anlage 2-11)

Dem Zentralgerät sind 9 Zonenanlagen jeweils mit Nacherhitzer und Befeuchtung nachgeschaltet (s. Tafel 3.3.1). Die Nacherhitzer sollen ein Raumtemperatur von 21 °C gewährleisten.

Ultraschallbefeuchtung

Die Befeuchtung kann für jeden Bereich (Regelzone) durch eine Ultraschallbefeuchtungs(USB)-anlage als Kanaleinbau erfolgen. Die Feuchteregelung ist so konzipiert, dass bei Außentemperaturen (AT) von weniger als 5 °C die USB freigeben wird, um eine mindest. relative Feuchte von 15 % bis 20 % sicherzustellen. Ab einer AT > 5 °C erfolgt die Feuchteregelung stetig, um die geforderte rel. Feuchte von 50 % bei allen Regelzonen zu halten.

Die Betriebskosten einer USB-Anlage sind relativ hoch, da mineralfreies, d.h. vollentsalztes Wasser (VE-Wasser) benötigt wird. Der Energieaufwand ist relativ gering, für 1 kg Befeuchterleistung werden 50 W elektr. Leistung benötigt.

Nach Rücksprache mit ehemaligen Angestellten des Steinernen Hauses sowie des Anlagenerbauers (Fa. Klimabau Frankfurt) ist die Befeuchtungsanlage seit ca. 4 Jahren nicht mehr in Betrieb. Grund war der unzureichende Betrieb, d.h. mit den nachgeschalteten USB wurde zu keiner Zeit ein konstantes Raumklima von ca. 50 % rel. Feuchte erreicht. Diese Erkenntnis deckt sich mit Erfahrungen aus vergleichbaren Objekten mit USB.

Vom Hersteller der USB-Anlagen (Fa. Hygromatik) wurde auf Anfrage mitgeteilt, dass diese aus o.g. Gründen seit mehreren Jahren keine USB-Anlagen mehr bauen und Ersatzteile kaum noch zu bekommen sind. Es ist davon auszugehen, dass die USB völlig verdrückt sind und nur mit hohem Aufwand gangbar gemacht werden können.

Die vorhandene Wasseraufbereitungsanlage (Enthärtungsanlage mit Umkehrosmose) ist außer Betrieb könnte aber weiterhin genutzt werden.

Luftschleieranlage (Anlage L 1)

Das Türluftschleiergerät befindet sich im Eingangsbereich des Erdgeschosses (Windfang). Die Temperaturregelung ist dreistufig und erfolgt über einen Raumfühler. Der Sollwert liegt im Winter bei mindestens 15°C.

WC-Bereich UG (Anlage 9)

Der Abluftventilator für die drei WC-Räume im UG (Damen, Herren, Behinderte) ist im Keller untergebracht. Die Abluftabsaugung erfolgt mittels Tellerventilen (TV), die Zuluftnachströmung über unterschneidene Türen. Die Freigabe des Abluftventilators erfolgt stündlich für 1 min. sowie durch Bewe-

gungsmelder (Präsenzmelder) in allen Räumen mit 1 Min. Nachlauf.

WC-Bereich EG (Anlage 13)

In den zwei WC-Räumen (Damen, Herren) befindet sich je ein Minilüfter. Die Zuluftnachströmung erfolgt auch hier durch unterschrittene Türen. Die Freigabe erfolgt alle 4 Stunden für 4 Min. sowie durch Bewegungsmelder (Präsenzmelder) mit 4 Min. Nachlauf.

Aufzug UG (Anlage 14)

Der Abluftventilator für den Aufzug-Triebwerkraum befindet sich im angrenzenden Nebenraum. Die Ansaugung erfolgt über ein Welldrahtgitter, die Nachströmung über einen Brandschutzbaustein. Die Freigabe erfolgt mittels Raumthermostat ($t_{max} 30\text{ °C}$).

Dachzentrale

In der Dachzentrale des Altbaus wurden in den vergangenen Jahren zwei Abluftanlagen mit jeweils einem Radial-Rohrventilator ($700\text{ m}^3/\text{h}$) mit Kanalsystem und Außenluftanschluss installiert, um einen definierten Transport der Fortluft von RLT-Gerät und Kältemaschinen nach außen zu erreichen. Die Freigabe erfolgt mittels Raumthermostat.

In der Tafel 3.4.1 sind die wesentlichen Daten der Teilklima- und Lüftungsanlagen im Steinernen Haus zusammengestellt.

Tafel 3.4.1 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Stammdaten der Klima- und Lüftungsanlagen

| Standort / Anlage | Anlage / Versorgungsbereich | Luftmengen | | Ventilator-Motorleistung | | VE in kW | NE in kW | Kühler in kW | BF in kg/h |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| | | Zuluft in m^3/h | Abluft in m^3/h | Zuluft in kW | Abluft in kW | | | | |
| Zentralanlage | | | | | | | | | |
| DG / Zentralgerät | Ausstellung gesamt | 23.300 | 23.300 | 22,0 | 18,5 | 96,0 | | 102,5 | |
| Zonenanlage | | | | | | | | | |
| DG / 1 | Ausstellung UG | 1.300 | 1.300 | | | | 1,8 | | 3,9 |
| DG / 2 | Ausstellung EG | 1.400 | 1.400 | | | | 1,9 | | 3,9 |
| DG / 3 | Foyer EG | 2.400 | 2.400 | | | | 2,8 | | 7,8 |
| DG / 4 | Vortragsraum 1.OG | 3.800 | 3.800 | | | | 5,2 | | 12,0 |
| DG / 5 | Vorraum 1.OG | 2.400 | 2.400 | | | | 3,2 | | 7,8 |
| DG / 6 | Ausstellung 1.OG | 3.500 | 3.500 | | | | 4,8 | | 10,4 |
| DG / 7-10.1+10.2 | Vorr./Bibliothek 2.OG | 3.000 | 3.000 | | | | 4,0 | | 10,4 |
| DG / 8 | Ausstellung 2.OG | 3.800 | 3.800 | | | | 6,0 | | 14,4 |
| DG / 11 | Vitrine EG | 1.700 | 1.700 | | | | 1,9 | | 5,2 |

| Standort / Anlage | Anlage / | Luftmengen | Ventilator- | VE | NE | Kühler | BF |
|-------------------|----------|------------|-------------|----|----|--------|----|
|-------------------|----------|------------|-------------|----|----|--------|----|

| | Versorgungsbereich | Zuluft | | Motorleistung | | in kW | in kW | in kW | in kg/h |
|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | in m ³ /h | Abluft in m ³ /h | Zuluft in kW | Abluft in kW | | | | |
| Einzelgeräte | | | | | | | | | |
| UG / 9 | WC-Bereich UG | | 500 | | 0,014 | | | | |
| EG / 13 | WC Damen/Herren EG | | 2 x 60 | | | | | | |
| UG / 14 | Aufzug | | 600 | | 0,014 | | | | |
| EG / L1 | Luftschleieranlage EG | 5.000 | | 0,67 | | 32,0 | | | |
| DG | Dachzentrale | | 2 x 700 | | 2 x 0,185 | | | | |
| GESAMT | | | | 22,67 | 19,15 | 128,0 | 31,6 | 102,5 | 75,8 |

Im Steinernen Haus wird eine Zentral-Teilklimaanlagen mit nachgeschalteten Zonen sowie 4 Einzelanlagen betrieben. Die klimatisierte Gesamtzuluftmenge beträgt 23.300 m³/h. Für die Zu- und Abluftförderung sind Ventilatoren mit einer Gesamtmotorleistung von ca. 42 kW installiert.

Ohne Berücksichtigung des Wärmegewinns durch den Mischluftbetrieb wird im Maximalfall eine Leistung von insgesamt 128 kW benötigt um die Zuluft der Klima- und Luftschleieranlage aufzuheizen. Die benötigte Kühlleistung beträgt insgesamt 102,5 kW.

Für die Befeuchtung der Luft ist eine Befeuchterleistung von 76 kg/h installiert, was einer elektrischen Anschlussleistung von 3,8 kW entspricht.

3.4.2 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Auf der Basis, der im Energiekonzept ermittelten Daten, können die RLT-Anlagen im Steinernen Haus hinsichtlich ihres Zustandes und ihrer Konzeption wie folgt bewertet werden:

- Die RLT-Anlagen haben ihre übliche technische Nutzungsdauer noch nicht erreicht. Kurz- bis mittelfristig ist kein relevanter baulicher Sanierungsbedarf zu erwarten. Das Regeventil sowie die Vorerhitzerpumpe des Ausstellungsgerätes sind defekt und wurden zu Beginn der Heizperiode ausgetauscht.
- Das Zentralgerät wird derzeit in einem „energiesparenden“ Umluftbetrieb gefahren. Es ist zu berücksichtigen, dass bei größeren Veranstaltungen, entsprechend der Versammlungsstättenverordnung, ein Mindestaußenluftanteil von 30 m³/p*h gefordert wird. Aus diesem Grund muss die Möglichkeit eines Mischluftbetriebs gegeben sein. (s. Maßnahme 3.4.1)
Aufgrund der vorhandenen Undichtigkeiten der Gebäudehülle kann davon ausgegangen werden, dass ein natürlicher Luftaustausch stattfindet, der dem Norm-Mindestluftwechsel von 0,5 h⁻¹, d.h. 3.820 m³/h, entspricht. Demnach wäre für Veranstaltungen bis max. 125 Personen ein ausreichender Mindest-Außenluftanteil gegeben und die Lüftungsanlage müsste aus diesem Grund nicht in Betrieb genommen werden.
- Die Wirkungsgrade der Zu- und Abluftventilatoren des Ausstellungsgerätes liegen bei mehr als 80 % und verfügen über eine bedarfsgerechte FU-Regelung. Jedoch werden Zu- und Abluftventilator derzeit nur über einen Impuls geregelt. Dies ist dahingehend zu ändern, dass beide Ventilator un-

abhängig voneinander, in Abhängigkeit von Druckdifferenzen in dem jeweiligen Kanalsystem, geregelt werden können (s. Maßnahme 3.4.II).

- Die Befeuchtungsanlage kann in der derzeitigen Anlagenkonzeption nicht mehr weiterbetrieben werden. Dies ist im Hinblick auf Ausstellungen mit Exponaten, die einen exakten Raumlufzustand benötigen (z.B. Gemälde) von großen Nachteil. Aus Gründen der Bauerhaltung muss kurz- bis mittelfristig eine neue Befeuchtungsanlage errichtet werden, da derzeit die relative Feuchte im Museum bei max. 35-40 % liegt⁶ (s. Maßnahme 3.4.III).
- Die Konzeption mit 9 regelbaren Zonen im Steinernes Haus ist sinnvoll. Einzelne Bereiche können energiesparend je nach Bedarf zu- und abgeschaltet bzw. nach Temperatur/Feuchte geregelt werden. In der Praxis wird diese bedarfsgerechte Betriebsweise nicht umgesetzt, da zum einen das technische Personal nicht die Zeit und die Möglichkeit hat die entsprechenden Einstellungen zeitnah durchzuführen und zum anderen die Regelung seit der Jahr-2000-Umstellung nicht mehr in der Lage ist, entsprechenden Schaltvorgänge durchzuführen (Zeitprogramm defekt).
- Um eine bedarfsgerechte Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung) der zentralen Lüftungsanlage sowie einzelner Zonen zu erreichen, sollte das Steinerne Haus, wie bereits die Heizungsanlage, an die übergeordnete GLT-Technik des Hochbauamtes angeschlossen werden (s. Maßnahme 3.4.IV).
- Durch das Ausblasen der Fortluft in die Dachzentrale entsteht dort ein undefinierter Raumlufzustand (Überdruck). Diese Tatsache ist für die luftgekühlten Kältemaschinen, die Ihre Fortluft ebenfalls in die Zentrale blasen, von erheblichen Nachteil, da die Ventilatoren dadurch nur eine verminderte Luftmenge zur Kühlung fördern können. Dies kann zu einer Leistungsreduzierung der Kältemaschinen führen. (vgl. Abschnitt 3.5).
- Die Einzelgeräte werden bedarfsgerecht zeitabhängig (Abluftanlagen) sowie temperaturabhängig betrieben (Luftschleier) und sind als in Ordnung zu bewerten.

Maßnahme 3.4.I: Wiederherstellen der Klappensteuerung für Mischluftbetrieb

Die Reparatur der Klappensteuerung für die Mischluftfunktion der Lüftungsanlage „Ausstellung“ ist aus Gründen der Bauerhaltung zu realisieren. Allerdings führt dies im Vergleich zum derzeitigen Umluftbetrieb zu keiner Energieeinsparung sondern ist als reine Bauerhaltsmaßnahme zu verstehen.

Maßnahme 3.4.II: Wiederherstellen der Ventilatorregelung mittels Frequenzumformer

Durch das Trennen der FU-Ventilatorregelungen mit zwei separaten Steuerimpulsen kann eine bedarfsgerechtere FU-Ventilatorregelung mit Reduzierung des Stromverbrauchs realisiert werden.

Maßnahme 3.4.III: Einbau einer neuen Befeuchtungsanlage

Ein Weiterbetrieb der installierten USB kann nur mit hohem Aufwand (komplettes Reinigen der Be-

⁶ Einzelne Messwerte der DDC aus den vergangenen 6 Jahren

feuchtungsanlage inkl. Wanne) realisiert werden. Ob mit dieser Anlage ein gewünschtes Feuchteniveau in den Räumen erreicht werden kann ist, aus den Erfahrungen der Vergangenheit, mehr als fraglich. Des weiteren sind Ersatzteile für diese Anlage kaum noch zu erhalten. Aus diesen Gründen sollte eine neue Befeuchtungsanlage installiert werden.

Eine zentrale Befeuchtungsanlage für die Lüftungsanlage „Ausstellung“ würde Sinn machen, da die Zonentrennung im Gebäude durch die offene Bauweise kaum gegeben ist, jedoch kann aus Platzgründen im zentralen Zuluftkanal eine Befeuchtungskammer mit Wanne und Nacherhitzer (bei adiabater Sprühbefeuchtung) nicht installiert werden.

Demnach muss die dezentrale Zonenlösung beibehalten werden. Bei einer adiabaten Sprühbefeuchtung müssten neue Nacherhitzer installiert werden, um die abgekühlte Zuluft wieder zu erwärmen. Hierfür reicht der vorhandene Platz nicht aus und es besteht auch keine zusätzliche Kapazität an Heizleistung.

Aus den o.g. Gründen bleibt nur die elektrische Dampfbefeuchtung (Heizstab) mit VE-Wasser. Diese haben den Nachteil, einer relativ hohen elektrischen Abschlussleistung. Würden alle 9 Zonen mit Dampfbefeuchtern ausgestattet, so wäre eine elektrische Anschlussleistung von 100 kW notwendig. Diese Leistung kann aber am vorhandenen Hausanschluss nicht mehr abgenommen werden. Diese ist auf 120 kW begrenzt. Bei einer derzeitigen Spitze von 95 kW in den Sommermonaten bzw. 80 kW in den Wintermonaten, kann maximal eine zusätzliche elektrische Leistung von 30 kW installiert werden. Bei höheren Leistungen müsste eine separate Trafostation gebaut werden.

Aus den genannten Gründen wird vorgeschlagen, die Befeuchtung auf 2 Zonen (Ausstellung 1.OG und Ausstellung 2.OG) im Gebäude zu beschränken und diese auch entsprechend von den übrigen Bereichen durch dichtschießende Türen zu trennen. Für diese beiden Bereiche wären Dampfbefeuchter mit elektrischen Leistungen von 13 kW bzw. 19,5 kW notwendig.

Maßnahme 3.4.IV: Aufschalten der Lüftungsanlage „Ausstellung“ auf GLT

Seit dem „Jahr 2000-Wechsel“ arbeitet die vorhandene DDC-Anlage im Steinernen Haus nur noch ungenügend. Eine Umrüstung des vorhandenen Systems ist nicht mehr möglich. Eine Sanierung z.B. der Zeitschaltprogramme ist Gründen der Bauerhaltung unumgänglich.

Das Aufschalten der Lüftungsanlage „Ausstellung“ auf die übergeordnete Gebäudeleittechnik (GLT) des Hochbauamtes hätte u.a. folgende Vorteile:

- Realisierung komplizierter Zeitschaltpläne
- Zyklisches Schalten bzw. gleitendes Einschalten von Heizungs-, Lüftungs- und Kälteanlagen (HLK-Anlagen)
- Energieoptimierter Betrieb der Wärme- und Kälteerzeugung.

Gerade im Hinblick auf die mögliche Zonenschaltung der Lüftungsanlage hätte diese Maßnahme

entscheidende energetische und wirtschaftliche Vorteile. Würde die Maßnahme 3.3 mit zwei zu befeuchtende Zonen im Steinernen Haus, realisiert, könnten die übrigen Bereiche, z.B. außerhalb der Öffnungszeiten des Museums oder komplett weggeschaltet werden.

Da die Lüftungsanlage „Ausstellung“ derzeit im Umluftbetrieb betrieben wird und es nicht zu Beschwerden bezüglich der Luftqualität kommt, kann davon ausgegangen werden, dass durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle ein ausreichender Luftwechsel gegeben ist. Demnach müssten die Bereiche, die nicht befeuchtet werden müssen, nur bei größeren Veranstaltungen in Abhängigkeit von der Luftqualität (CO₂-Fühler) bzw. in Spitzenzeiten zur Nachheizung betrieben werden. Die erhöhte Grundbeheizung könnte durch Anheben der Heizkurven der vorhandenen statischen Heizkörper erfolgen.

3.5 Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen

Die Kälteversorgung der Klimaanlage „Ausstellung“ im Steinernen Haus erfolgt über ein Kaltwassersystem (7 °C/13 °C) mit zwei luftgekühlten Kaltwassersätzen. Diese befinden sich in der Dachzentrale des Altbaus. Um die Anlage auch im Winter fahren zu können, wurde dem Kaltwasserkreislauf Frostschutzmittel zugesetzt.

Jede Kältemaschine hat zwei Leistungsstufen, so dass eine 4-stufige Leistungsregelung sowie ein wechselseitiger Betrieb möglich ist. Das Kaltwassersystem verfügt über einen Pufferspeicher mit 500 Liter Inhalt und je eine Kaltwasserumwälzpumpe auf der Erzeuger(Primär)seite und Verbraucher(Sekundär)seite.

Die Freigabe der Kältemaschinen erfolgt in Abhängigkeit von der Anforderung der einzelnen Regelzonen ($t_{\text{raum}} > 21 \text{ °C}$) und wenn die Außentemperatur (AT) über 12 °C liegt. Steigt die Pufferspeichertemperatur (unten) über 10 °C so erfolgt eine Inbetriebsetzung der Kältemaschinen. Liegt die Speichertemperatur (unten) bei 7 °C, schalten diese wieder ab.

Der Luftvolumenstrom zur Kühlung der Kältemaschinen wird über zwei Kanalanschlüsse außen angesaugt und nach der Kondensatorkühlung der KM in die Zentrale geblasen.

Die wesentlichen Stammdaten der Klima-Kälteanlage sind in der Tafel 3.5.1 aufgeführt.

Tafel 3.5.1 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Stammdaten der Kälteversorgungsanlage

| Bezeichnung/Bauart Erzeuger | luftgekühlter Kaltwassersatz |
|--|---|
| Anzahl | 2 Stück |
| Hersteller/Typ | TRANE CGCA 028P |
| Baujahr | 1993 |
| Kälteleistung bei Lufteintrittstemperatur von 40 °C / 30 ° | 47,1 kW / 53,2 kW |
| Leistungsaufnahme Verdichter | 22,2 kW / 20,4 kW |
| Motorleistung Kondensatorlüfter | 4,8 kW |
| Drehzahl Ventilator | 912 U/min |
| Luftmenge | 16.130 m ³ /h (dp=250 Pa) |
| Kältemittel | 11,0 kg R 22 |
| Kaltwasserpumpen | |
| Anzahl Primärkreis / Sekundärkreis | 1 / 1 |
| Hersteller/Typ | Grundfos UPK 65-120 |
| Baujahr | 1993 |
| Volumenstrom/Förderhöhe | Primär 14,7 m ³ /h – 7 mWS / Sekundär 14,7 m ³ /h – 4 mWS |
| Leistungsaufnahme Pumpenmotor | 1,35 kW |

Bewertung Ist-Zustand und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Auf der Basis der erhobenen Daten kann die bauliche und konzeptionelle Situation der Klima-Kälteanlagen im Steinernen Haus wie folgt bewertet werden:

- Die Erzeugerleistung der luftgekühlten Kaltwassersätze entspricht bei einer Luftertrittstemperatur von 30 °C der Kühlerleistung der RLT-Anlage „Ausstellung“. Bei höheren Außentemperaturen entspricht die Erzeugerleistung nicht mehr der Verbraucherleistung.
- Durch das Einblasen der warmen Fortluft der Kältemaschinen ergeben sich in die Dachzentrale vornehmlich in den Sommermonaten hohe Temperaturen, die zu einem zeitweisen Ausfall der Schaltanlage führen.

Dieser Effekt wird durch die nachträglich installierten Radialventilatoren in der Dachzentrale mit einer Abluftmenge von 1.400 m³/h nicht relevant vermindert.

Wird zusätzlich Fortluft der RLT-Anlage „Ausstellung“ (3.500 – 7.000 m³/h) in die Dachzentrale geblasen, kann es zu einer Leistungsreduzierung der Kältemaschinen kommen, da die Kältemaschinen-Ventilatoren nicht mehr die gesamte benötigte Luftmenge von jeweils 16.200 m³/h fördern können (erhöhter Gegendruck) um diese ausreichend zu kühlen (s. Maßnahme

- ~~3.5.II)~~ Durch den Pufferspeicher werden die unterschiedlichen Druckverhältnisse auf Primär- und Sekundärseite zum größten Teil ausgeglichen.

Auf der Primärseite des Kaltwassersystems, mit nur einer Pumpe für beide Kältemaschinen, kann es jedoch beim Betrieb von nur einer Maschine zu undefinierten Mischtemperaturen kommen. Hier sollte für jeden Erzeuger eine elektrische Absperrklappen vorgesehen werden (s. Maßnahme 3.5.II).

- Die Umwälzpumpe im Sekundär-Kaltwassernetz wird unregelt betrieben, was zu einem überhöhten Strombedarf für den Anlagenbetrieb führt (s. Maßnahme 3.5.IV).
- Der Kältebedarf des Steinernen Hauses kann durch Reduzierung von äußeren Wärmelasten, z.B. durch das Anbringen eines äußeren Sonnenschutzes verringert werden (s. Maßnahme 3.5.V).

Maßnahme 3.5.I: Fortluftsystem für Kühlluft der Kältemaschinen

Um die hohen Temperaturen in den Sommermonaten in der Dachzentrale durch das Einblasen der Kühlluft der Kältemaschinen zu vermeiden, sind Axial-Schubventilatoren (16 Stk. á 1.700 m³/h) vor den Dachöffnungen (Gauben) zu installieren. Diese werden in Abhängigkeit von der Raumtemperatur oder den Ventilatorstufen der Kältemaschinen in Gruppen geschaltet. Dadurch haben die Kältemaschinenventilatoren einen geringeren externen statischen Druck zu überwinden, die Kühlung der Maschinen ist sichergestellt und die Leistungsaufnahme der Ventilatoren reduziert sich (1 kW pro 100 Pa).

Maßnahme 3.5.II Verbesserung der hydraulischen Bedingungen auf der Kaltwasser-Primärseite

Um einen sicheren und konstanten Betrieb der Kältemaschinen zu erreichen, sollte das Durchströmen der jeweils abgeschalteten Kältemaschine durch Einbau von zwei Motor-Absperrklappen verhindert werden. Diese Maßnahme stellt keine Energiesparmaßnahme dar, sondern ist aus Gründen der Bauerhaltung bzw. Verbesserung der Betriebssicherheit zu empfehlen.

Maßnahme 3.5.III Anheben der Freigabetemperatur der Kältemaschinen

Derzeit werden die Kältemaschinen bei einer Außenlufttemperatur von 12 °C freigegeben, d.h., der Pufferspeicher wird auf einer Solltemperatur von 7 °C gehalten. Da das Steinerne Haus über große innere Speichermassen (z.B. dicke Außenwände) verfügt, ist nicht unmittelbar davon auszugehen, dass bei dieser Außentemperatur ein Kühlbedarf besteht. Aus diesem Grund sollte eine schrittweise Anhebung der Einschalttemperatur bis ca. 20 °C erfolgen, um festzustellen, wann eine Komforteinbuße auftritt

Maßnahme 3.5.IV Austausch der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpe

Entsprechend dem Austausch der Heizungs-Umwälzpumpen (vgl. Maßnahme 3.3.I) wird für den Sekundär-Kaltwasserkreis eine elektronische drehzahlgeregelte Umwälzpumpe vorgesehen.

Maßnahme 3.5.V Anbringen eines äußeren Sonnenschutzes an den Fenstern des Anbaus

Durch das Anbringen eines äußeren Sonnenschutzes an den Fenstern der klimatisierten Räume des Anbaus kann der Kältebedarf für diese Bereiche gesenkt werden. Daraus ergibt sich eine Reduzierung des Stromleistungsbedarfs sowie des Stromverbrauchs durch Kältemaschinen.

Zu realisieren ist dies für die Fensterbereiche Ausstellung und Vorraum im 1.OG sowie Vorraum/Ausstellung im 2.OG durch außenliegende hinterlüftete Jalousien. Der Sonnenschutz ist außenlichtabhängig zu schalten.

3.6 Stammdaten der Elektroanlagen

Die Elektroversorgung des Steinernen Hauses erfolgt aus dem Versorgungsnetz der Mainova. Die Niederspannungseinspeisung mit dem HT/NT-Zähler sowie der Hauptverteilung befindet sich im Untergeschoss des Altbaus.

Beleuchtungsanlagen

Die Beleuchtung der Ausstellungsräume, der Verkehrswege und der Büroräume erfolgt durch die in der Tafel 3.6.1 aufgeführten Systeme.

Tafel 3.6.1a Energiekonzept „Steinernes Haus“ - Stammdaten der Beleuchtungssysteme

| Bereich | Leuchtentyp | Anzahl | Vorschalt-Gerät (VG) | Lampenart | Lampennenn-Leistung inkl. VG | |
|------------------------------|----------------|--------|----------------------|------------------|------------------------------|----------------|
| | | | | | Einzel in Watt | Gesamt in Watt |
| Untergeschoss | | | | | | |
| WC-Herren | Deckenleuchte | 1 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 46 |
| | Deckenstrahler | 9 | integriert | Kompaktlampe | 11 | 99 |
| WC-Damen | Deckenleuchte | 1 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 46 |
| | Deckenstrahler | 5 | integriert | Kompaktlampe | 11 | 55 |
| Behinderten-WC | Deckenstrahler | 9 | integriert | Kompaktlampe | 11 | 99 |
| Ausstellung | Deckenleuchte | 86 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 3.956 |
| Treppenaufgang UG | Wandstrahler | 13 | integriert | Kompaktlampe | 7 | 91 |
| Summe Untergeschoss | | | | | | 4.392 |
| Erdgeschoss | | | | | | |
| Ausstellung (Theke) | Deckenleuchte | 70 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 3.220 |
| | Deckenstrahler | 20 | | | 100 | 2.000 |
| Lager (Kapelle) | Deckenstrahler | 3 | ohne | Glühlampe | 150 | 450 |
| Foyer | Deckenleuchte | 13 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 598 |
| Eingang | Deckenstrahler | 4 | integriert | Kompaktlampe | 11 | 44 |
| Garderobe | Deckenstrahler | 15 | integriert | Kompaktlampe | 11 | 161 |
| 5 Büros | Deckenleuchte | 10 | EVG | Leuchtstofflampe | 30 | 300 |
| Flur | Deckenleuchte | 14 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 644 |
| Treppenaufgang EG | Wandstrahler | 13 | integriert | Kompaktlampe | 7 | 91 |
| Summe Erdgeschoss | | | | | | 7.508 |
| 1. Obergeschoss | | | | | | |
| Foyer | Deckenleuchte | 13 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 598 |
| | Einbauleuchte | 15 | integriert | Kompaktlampe | 2 x 11 | 330 |
| Ausstellung rechts | Deckenleuchte | 266 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 12.264 |
| | Einbauleuchte | 25 | integriert | Kompaktlampe | 2 x 11 | 550 |
| Ausstellung links | Deckenleuchte | 114 | KVG | Leuchtstofflampe | 36+10 | 5.244 |
| | Einbauleuchte | 24 | integriert | Kompaktlampe | 2 x 11 | 528 |
| Treppenaufgang OG | Wandstrahler | 11 | integriert | Kompaktlampe | 7 | 77 |
| Summe 1. Obergeschoss | | | | | | 19.591 |

Tafel 3.6.1a Energiekonzept „Steinernes Haus“ - Stammdaten der Beleuchtungssysteme

| Bereich | Leuchtentyp | Anzahl | Vorschalt- Gerät (VG) | Lampenart | Lampennenn- Leistung inkl. VG | |
|------------------------------|---------------|--------|--------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------|
| | | | | | Einzel in Watt | Gesamt in Watt |
| 2. Obergeschoss | | | | | | |
| Ausstellung rechts | Deckenleuchte | 234 | KVG | Leuchtstofflampe | 58+13 | 16.614 |
| | Einbauleuchte | 38 | integriert | Kompaktlampe | 2 x 11 | 836 |
| Vorraum | Deckenleuchte | 162 | KVG | Leuchtstofflampe | 58+13 | 11.502 |
| Bibliothek | Deckenleuchte | 12 | KVG | Leuchtstofflampe | 58+13 | 852 |
| | Einbauleuchte | 6 | integriert | Kompaktlampe | 4 x 11 | 264 |
| Summe 2. Obergeschoss | | | | | | 30.068 |
| Summe Steinernes Haus | | | | | | 61.562 |

Die Beleuchtungssysteme im Steinernen Haus lassen sich wie folgt bewerten:

- Die installierte Anschlussleistung der Leuchten beträgt rund 61,5 kW. Die installierte spezifische Beleuchtungsleistung liegt mit 33 W/m² weit über den Richtwerten des Hessischen Leitfadens Elektrische Energie im Hochbau (LEE) in Höhe von 10 W/m² (=300 lx). Von dieser Beleuchtung sind aber in der Regel nur 30 % eingeschaltet, so dass die Beleuchtungsstärke für Ausstellungsräume nicht überschritten wird.
- Die Strahler wurden komplett umgerüstet auf energiesparende Kompaktlampen.
- Die Helligkeit in den Ausstellungsräumen kann durch Gruppenschaltungen und dimmbare Installationsschienen (um die jeweiligen Carres) geregelt werden.
- Die 985 Leuchtstofflampen sind noch mit konventionellen Vorschaltgeräten, die einen schlechten Wirkungsgrad aufweisen, bestückt. Hier sollten neue freistrahrende Lichtleisten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) eingebaut werden (s. Maßnahme 3.6.I)

Maßnahme 3.6.I: Einbau von freistrahenden Lichtleisten mit EVG

Durch den Einbau freistrahrender Lichtleisten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) kann die Lichtausbeute in den Ausstellungsräumen erhöht werden und der Strombedarf durch eine bessere Energienutzung der EVG gesenkt werden.

Elektrische Warmwasserbereiter

Für die Warmwasserbereitung stehen im Steinernen Haus die in der folgenden Tafel 3.6.2 zusammengestellten elektrischen Untertischgeräte zur Verfügung.

Tafel 3.6.2 Energiekonzept Steinernes Haus - Stammdaten der elektrischen WW-Bereiter

| Bereich | Typ | Anzahl | Leistung In kW | Zustand |
|----------------|--------------------------|--------|-------------------|--|
| WC Herren (UG) | 5 l – Untertischspeicher | 2 | je 2 kW | Beide nicht in Betrieb |
| WC-Damen | 5 l - Untertischspeicher | 2 | je 2 kW | 1 Speicher defekt |
| Behinderten-WC | 5 l - Untertischspeicher | 1 | 2 kW | Eingestellte Betriebstemp. 30° (max. 85 °C) |
| Büroküche | 5 l - Untertischspeicher | 1 | 2 kW | Eingestellte Betriebstemp. „E“ |
| GESAMT | | | 12 kW | |

Im WC-Herrenbereich sind die WW-Bereiter ausgeschaltet und im Damen-WC ist ein Speicher defekt. Nach Aussage von Mitarbeitern des Steinernes Hauses ist es durch diesen energetisch „sinnvollen“ Betrieb bisher zu keinen Beschwerden gekommen, so dass keine Änderung oder Sanierung angestrebt wird.

PC-Arbeitsplätze

In der Verwaltung des Steinernen Hauses gibt es drei PC-Arbeitsplätze, die nach LEE eine Anschlussleistung von 120 Watt pro Arbeitsplatz aufweisen, woraus sich eine Gesamtleistung von 480 Watt errechnet. Es wurden keine Energieoptimierungsmaßnahmen festgestellt.

Aufzugsanlage

Im Steinernen Haus ist ein Aufzug eingebaut der über eine elektrische Anschlussleistung von 16 kW verfügt. Die Anlage befindet sich in einem funktionssicheren Zustand, Optimierungsmaßnahmen sind nicht gegeben.

Zusammenstellung der Elektroverbraucher

In der Tafel 3.6.3 sind alle relevanten Stromverbraucher mit den entsprechenden Leistungsdaten im Steinernen Haus zusammengefasst.

Tafel 3.6.3 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Elektrische Anschlussleistungen relevanter Stromverbraucher

| Geräte | Elektrische Leistung in kW |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Ventilatoren der Lüftungsgeräte | 41,8 |
| Kältemaschinen | 53,1 |
| Befeuchtungsanlage | 3,8 |
| Umwälzpumpen Heizung | 1,8 |
| Umwälzpumpen Kälte | 2,7 |
| Beleuchtung | 61,6 |
| Elektr. Warmwasserbereiter | 12,0 |
| PC-Arbeitsplätze | 0,48 |
| Aufzugsanlage | 16,0 |
| GESAMT | 193,28 |

Im Steinernen Haus ist eine elektrische Anschlussleistung von 193,3 kW installiert. Die gemessene und abgerechnete Leistungsspitze, die im Sommer auftritt, liegt bei 95 kW.

3.7 Stammdaten der Wasserverbrauchseinrichtungen

Die Wasserversorgung des Steinernen Hauses erfolgt ebenfalls aus dem Versorgungsnetz der Mainova. In der Tafel 3.7.1 sind die relevanten Wasserverbraucher zusammengestellt.

Tafel 3.7.1 Energiekonzept Steinernes Haus - Stammdaten der Wasserverbrauchseinrichtungen

| Bereich | Objekt | Anzahl | Spezif. Verbrauch pro Vorgang |
|---------------------|----------------------------------|--------|-------------------------------|
| | | | in l |
| WC-Herren (UG) | Waschtisch | 2 | 3 |
| | Urinal kontaktlos (Aquamatt) | 4 | 4 |
| | Toilette ohne Spartaste (9 Li- | 2 | 9 |
| WC-Damen (UG) | Waschtisch | 2 | 3 |
| | Toilette ohne Spartaste (9 Li- | 2 | 9 |
| Behinderten-WC (UG) | Waschtisch | 1 | 3 |
| | Toilette ohne Spartaste (9 Li- | 1 | 9 |
| Personalküche (EG) | Espressomaschine | 1 | k.A. |
| | Kaffeemaschine | 2 | k.A. |
| Personal-WC (EG) | Waschtisch | 2 | 3 |
| | Toilette mit Spartaste (6 Liter) | 2 | 6 |

Bezüglich des Zustandes der Wasserverbrauchseinrichtungen im Steinernen Haus kann folgendes festgehalten werden:

- Die Objekte befinden sich in einem guten Zustand, Wasserverluste durch Undichtigkeiten wurden nicht festgestellt.
- Die Toilettenspülungen im UG besitzen keine Wassersparfunktion. Diese sollten nachgerüstet werden.

Maßnahme 3.7.1: Einbau von Wasserspartastern in die Toilettenspülungen im UG

Die Toilettenspülungen im Besucherbereich stellen im Steinernen Haus den größten Wasserverbraucher dar (vgl. Abschnitt 2.3). Aus diesem Grund ist der Wasserverbrauch in den Spülkästen auf maximal 6 Liter pro Spülung durch Taster und Begrenzungseinrichtungen in den Spülkästen zu begrenzen.

4. Wirtschaftlichkeitsberechnung für energiesparende Maßnahmen

4.1 Grundlagen und -daten der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfolgen auf der Grundlage der „Gesamtkostenberechnung“ des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement.

Diese setzen sich aus den **Kapitalkosten**, den **Betriebskosten** und den **Umweltfolgekosten** zusammen. Zur Charakterisierung des Gebäudes sind darüber hinaus wesentliche Kenngrößen des Gebäudes mit aufgeführt, die Grundlage für die Gesamtkostenermittlung waren.

Nach dem Verfahren wird für jede Maßnahme bzw. Energieversorgungsvariante die Kosteneinsparung bzw. Kostenerhöhung gegenüber dem Ist-Zustand errechnet.

Bestandteile der Gesamtkostenberechnung sind:

- **Kapitalkosten**, die sich aus den Investitionskosten unter Berücksichtigung von Kapitalzinsen und Preissteigerung, bezogen auf die rechnerische Nutzungszeit bzw. eine gewählte Betrachtungszeit nach dem Verfahren der nachträglichen Annuität errechnen. Zusätzlich wird der Instandhaltungsaufwand berücksichtigt. Die Investitionssummen für die untersuchten energiesparenden Maßnahmen wurden Firmenangaben entnommen sowie aus spezifischen Kostenwerten aus Vergleichsprojekten sowie Ausschreibungsergebnissen errechnet.

Für die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurde von der Stadt Frankfurt ein einheitlicher Kapitalzinssatz von 6,0 % und eine Preissteigerung von 3 % vorgegeben.

$K_K =$ Kapitalkosten in €/a

$= I \cdot a$

$I =$ Investitionskosten in € (ermittelt nach Firmenangaben, Ergebnissen von Vergleichsausschreibungen, etc.). Die Baunebenkosten wurden pauschal mit 15 % veranschlagt.

$a =$ Annuitätsrate in 1/a (ermittelt aus $p =$ Kapitalzins und erwarteter Anlagennutzungszeit in Jahren)

Sollten für einzelne energiesparende Maßnahmen Fördermittel in Form von Investitionszuschüssen oder zinsverbilligten Darlehen in Anspruch genommen werden können, so ist in den entsprechenden Abschnitten ein Vermerk auf das Förderprogramm enthalten und in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt.

- **Betriebskosten**, die sich aus Heiz-, Strom und Wasserkosten zusammensetzen. Die **Ökosteuer**, die ab dem 01.04.1999 auf die Energieträger Erdgas und Strom erhoben wird, ist berücksichtigt. Des weiteren werden die Kosten für die Wartung und Instandhaltung sowie Bedienung und Betreuung von technischen Anlagen berücksichtigt.

Zur Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten wurden folgende spezifischen Brutto-Energiepreise (Stand September 2002) angesetzt:

Brutto-Gaspreise

Arbeitspreis: Brutto: 2,80 Ct/kWh_{HO} (3,083 Ct/kWh_{HU})

Grundpreis: 7,69 €/kW/a

Spezifische Brutto-Strompreise

| | |
|------------------------------------|---|
| Arbeitspreis HT und NT-Wirkarbeit: | 0,0502 €/kWh |
| Stromsteuer: | 0,0232 €/kWh |
| Leistungspreis: | 106,76 €/kW*a (Mittelwert aus den drei höchsten Monatsleistungen) |
| Verrechnungspreis: | 385,54 €/a |
| Niederspannungszuschlag: | 6,5 % (auf Kosten für Arbeit und Leistung) |
| Vertragsrabatt: | 6,0 % (auf Kosten für Arbeit und Leistung) |

Spezifische Brutto-Wasserpreise

| | |
|-----------------|-----------------------|
| Wasserpreis | 1,97 €/m ³ |
| Abwassergebühr: | 1,76 €/m ³ |

Wenn man die Summe der heutigen Betriebskosten mit dem Mittelwertfaktor multipliziert, erhält man die mittleren Betriebskosten über den Betrachtungszeitraum. Dieser ist abhängig von Kapitalzins, Preissteigerung und Betrachtungszeitraum für die untersuchte Maßnahme.

- **Umweltfolgekosten**, wobei das Hochbauamt der Stadt Frankfurt hierfür 50 € pro Tonne CO₂ und 1 €/m³ Wasser ansetzt.

4.2 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wärmeschutzmaßnahmen

4.2.1 Beschreibung der Maßnahmen und Ermittlung der Investitionskosten

Die Maßnahmenvorschläge werden hinsichtlich ihrer Priorität bei der Bauerhaltung in folgende Kategorien eingestuft:

- Energetisch und wirtschaftlich sinnvolle Maßnahmen
- Maßnahmen aufgrund baulichen Sanierungsbedarfs
- Maßnahmen zur energetischen Optimierung

Aus der Beurteilung der spezifischen Wärmekenndaten des Gebäudebestandes sowie Begehungen vor Ort wurden in Abschnitt 3.2.3 folgende Sanierungsvorschläge abgeleitet:

Maßnahme 3.2.I: Austausch der einfachverglasten Fenster

Aus Gründen der Bauerhaltung müssen in den kommenden Jahren die einfachverglasten Fenster saniert werden. Hierbei ist zwischen Alt- und Anbau zu unterscheiden. Im Anbau können die insgesamt 30 m² einfachverglasten Fenster mit Metallrahmen durch 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung (u-Wert=1,1 W/m²*K) ersetzt werden. Die Investitionskosten hierfür belaufen sich auf 12.600,- €.

Die einfachverglasten Fenster des Altbaus (89,5 m²) können aus Gründen des Denkmalschutzes nicht ausgetauscht werden. Hier könnte auf der Innenseite eine Zusatzscheibe auf den bestehenden Bügelrahmen aufgebracht werden. Der u-Wert würde sich auf 2,5 W/m²*K verbessern, die Kosten hierfür liegen bei 9.000 €.

Maßnahme 3.2.II: Dämmung der Heizkörpernischen im Altbau

Ohne größeren Aufwand könnten die durch Stell- und Trennwände verdeckten Heizkörpernischen

(15 m²) im 1.Obergeschoss des Altbaus gedämmt werden. Diese relativ einfache Maßnahme, bei der einer Gipskarton-Hartschaumverbundplatte (6 cm) an der Innenwand angebracht würde, erfordert eine Investition von 250 €.

Maßnahme 3.2.III Wanddämmung Anbau

a) Außendämmung der Außenwand des Anbaus

Dämmung der Außenwände durch ein sogenanntes Wärmeverbund(WDV)-System, d.h. aufbringen einer 14 cm starken verputzten Dämmschicht (Polystyrol 040). Der u-Wert der Außenwand beträgt dann 0,24 W/m²K und erfüllt damit die Anforderungen der gültigen Energieeinsparverordnung. Die zu dämmende Gesamtfläche der Außenwand beträgt ca. 570 m².

Die Kosten für das WDV-System für die rund 570 m² Außenwand liegen bei 62.700 €. Sollte jedoch die Sanierung der Außenfassade notwendig werden, so liegen die Mehrkosten für das Anbringen des WDV-Systems nur bei 28.500 €.

b) Innendämmung der Außenwand des Anbaus

Dämmung der Außenwände durch Anbringen einer 6 cm dicken Wärmedämmung mit Gipskartonplatte von innen. Diese Dämmdicke ist bauphysikalisch unbedenklich (Taupunktunterschreitung im Bauteil), jedoch wird die Anforderung der EnEV mit einem u-Wert von 0,35 W/m²*K nicht eingehalten, ad der u-Wert dieser Maßnahme bei 0,43 W/m²*K liegt. Die Kosten des Innendämmsystems für die Außenwand liegen bei 24.500 €.

Mit einer Dämmdicke von 9 cm wird die EnEv-Anforderung erreicht, jedoch sollte eine bauphysikalische Beurteilung erfolgen. Die Mehrkosten gegenüber einer 6 cm dicken Dämmung liegen spezifisch bei 3,50 €/m² bzw. 2.000,- €.

4.2.2 Wärmebedarfsreduktion und Heizwärmeeinsparung durch Wärmeschutzmaßnahmen

Durch die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Wärmeschutzmaßnahmen reduziert sich der Transmissionswärmebedarf des Steinernen Hauses und als Folge davon der Heizwärmebedarf. Nachfolgend werden in Tafel 4.2.1 die genannten energetischen Effekte für die betrachteten Wärmeschutzmaßnahmen dargestellt. Die Berechnungsgänge sind in Anhang 4.2.1 dargestellt

Tafel 4.2.1 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Wärmebedarfsreduktion und Heizwärmeeinsparung durch Wärmeschutzmaßnahmen

| Priorität | Baulicher | Wirtschaftlich | Wirtschaftlich | Energetisch |
|-----------|-----------|----------------|----------------|-------------|
|-----------|-----------|----------------|----------------|-------------|

| | | Sanierungsbedarf | sinnvoll | Sinnvoll | | sinnvoll |
|------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------|---------------------------------|
| Bauteil | | Fenster | Innenwand | Innenwand Anbau | | Außenwand |
| Maßnahme | | 3.2.I Austausch EV-Fenster | 3.2.II Dämmung Heizkörpernischen | 3.2.IIIb Innendämmung mit Gipskarton | | 3.2.IIIa Wärmedämmverbundsystem |
| Dämmstärke | in cm | | 6 | 6 | 9 | 14 |
| Fläche | in m ² | 119,5 | 15,0 | 570 | 570 | 570 |
| k-Wert, Ist | W/m ² K | 5,00 | 1,39 | 1,45 | 1,45 | 1,45 |
| k-Wert, Soll | W/m ² K | 1,1 (Anbau) / 2,5 (Altbau) | 0,49 | 0,43 | 0,33 | 0,24 |
| Wärmebedarfs-Reduktion | kW | 11,1 | 0,4 | 18,5 | 20,5 | 22,1 |
| Jahresheizwärme-Einsparung | kWh/a | 23.605 | 980 | 42.205 | 46.600 | 50.105 |
| Spezifische Heiz-Kennzahl | kWh/m ² a | 120 | 132 | 109 | 107 | 105 |
| Endenergie-einsparung | kWh/a | 26.250 | 1.090 | 46.425 | 51.800 | 55.700 |
| CO ₂ -Reduzierung | in t/a | 6,4 | 0,26 | 11,30 | 12,50 | 13,47 |

Die Auswertung der Berechnungen führt zu folgenden wesentlichen Ergebnissen:

- Eine Außenwanddämmung des Anbaus würde mit einer Wärmebedarfsreduktion von 22,1 kW und einer Heizwärmeeinsparung von ca. 50.000 kWh/a den größten absoluten Effekt erzielen.
- Die energetische Sanierung der einfachverglasten Fenster würde den höchsten spezifischen Effekt mit einer Heizwärmeeinsparung von ca. 195 kWh/m²a bringen.

4.2.3 Jahreskostenberechnung für die Wärmeschutzmaßnahmen

Für die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen und energetisch berechneten Wärmeschutzmaßnahmen wurden Gesamtkostenrechnungen durchgeführt und in Tafel 4.2.2 zusammengestellt. Für die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen von baulichen Wärmeschutzmaßnahmen gelten folgende Ausgangsdaten:

- Betrachtungszeit: 25 Jahre
- Annuität: 0,078 (bei einem Zinssatz von 6,0 %)
- Wartung/Instandhaltung: 1 %
- Mittelwertfaktor: 1,38

Tafel 4.2.2 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Gesamtkostenrechnung der baulichen Wärmeschutzmaßnahmen

| Priorität | | Baulicher | Wirtschaftlich | Wirtschaftlich | Energetisch sinnvoll | | |
|-----------------------------|------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Sanierungsbedarf | sinnvoll | sinnvoll | Sinnvoll | | |
| Bauteil | | Fenster | Innenwand | Innenwand Anbau | Außenwand Anbau | | |
| Maßnahme | IST | Austausch EV-Fenster | Dämmung Heiz- körpernischen | Innendämmung 6 cm | 9 cm | Wärmedämmverbund System | |
| Investitionskosten | € | 21.600,- | 250,- | 24.500,- | 26.500,- | 62.700,- (28.500,-) | |
| Kapitalkosten | €/a | 1.685,- | 20,- | 1.910,- | 2.070,- | 4.890,- (2.223,-) | |
| Mittlere Betriebskosten | | | | | | | |
| Wartung/Instandhaltung | €/a | 216,- | 3,- | 245,- | 265,- | 627,- (285,-) | |
| Heizkosten | €/a | 8.117,- | 7.308,- | 8.083,- | 6.670,- | 6.520,- | 6.400,- |
| Heutige Betriebskosten | €/a | 8.117,- | 7.524,- | 8.086,- | 6.915,- | 6.785,- | 7.027,- (6.685,-) |
| Mittlere Betriebskosten | €/a | 11.202,- | 10.383,- | 11.158,- | 9.550,- | 9.370,- | 9.697,- (9.226,-) |
| Umweltfolgekosten | | | | | | | |
| CO ₂ -Emissionen | €/a | 3.186,- | 2.865,- | 3.172,- | 2.620,- | 2.560,- | 2.512,- |
| Gesamtkosten | €/a | 14.387,- | 14.933,- | 14.350,- | 14.070,- | 14.000,- | 17.100,- (13.960,-) |
| Amortisationszeit | | | | | | | |
| Basis Ist-Zustand | in a | - | 5,3 | 18,6 | 17,8 | - | (17,8) |

(Werte in Klammern = Nur Berücksichtigung der Mehrkosten für das Anbringen eines WDVS bei Sanierung der Außenwand)

Die Ergebnisse der Gesamtkostenrechnung für die untersuchten Wärmeschutzmaßnahmen lassen sich wie folgt zusammenfassen und sind entsprechend der Priorität aufgeführt:

- 1.) Der Austausch der Fenster ist im Rahmen der Bauerhaltung in den nächsten Jahren notwendig. Für die Investition in Höhe von 21.600,- € errechnet sich zwar keine Wirtschaftlichkeit, aber durch das Vorziehen dieser „Ohne-Hin-Maßnahme“ könnten die jährlichen Heizenergiekosten um rund 10 % reduziert werden.
- 2.) Eine Innendämmung an den Heizkörpernischen ist zwar „wirtschaftlich“, hat aber im Hinblick auf die absolute Energiekosteneinsparung nur einen geringen Effekt.
- 3.) Das Anbringen einer Außenwanddämmung am Anbau stellt eine energetisch sehr sinnvolle Maßnahme (Reduzierung des jährlichen Heizenergiebedarfs um 21 %) dar. Aufgrund der hohen Investition lässt sich aber keine Wirtschaftlichkeit nachweisen. Sollte diese Maßnahme aber im Zusammenhang mit Bauerhaltungs- oder Renovierungsarbeiten durchgeführt werden, dann errechnet sich eine Amortisationszeit der Mehrkosten für das Anbringen eines WDVS innerhalb des Betrachtungszeitraums von 25 Jahren, da ein Großteil der Investition der Gerüststellung und der notwendigen Arbeitszeit für die Sanierung zuzuordnen sind.
- 4.) Die Innenwanddämmung des Anbaus liegt mit einer Amortisationszeit von 18,6 Jahren innerhalb der Nutzungszeit und ist demnach als eingeschränkt wirtschaftlich zu bewerten. Diese Maßnahme stellt eine Alternative zur Außendämmung dar, da hierbei keine Auflagen des Denkmalschutzes berücksichtigt werden müssen. Durch eine Erhöhung der Dämmstoffdicke von 6 cm auf 9 cm (Vorgabe EnEV) verbessert sich die Wirtschaftlichkeit auf 17,8 Jahre.

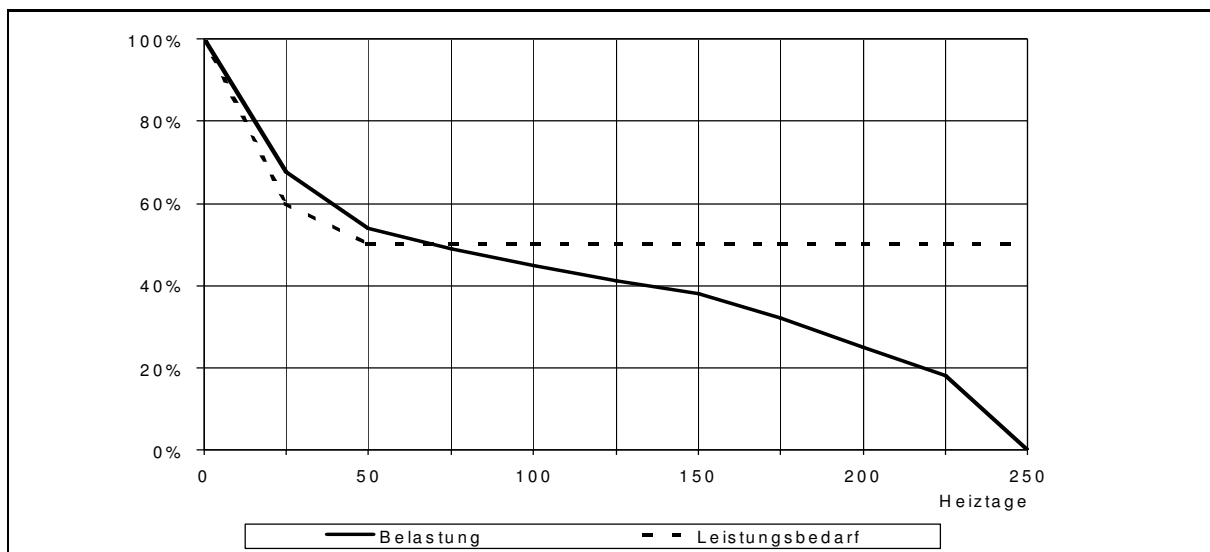
4.3 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Heizungsanlage

4.3.1 Optimierung der Heizungsumwälzpumpen (Maßnahme 3.3.I)

Zur Sicherstellung der ganzjährigen Wärmeversorgung von Gebäuden müssen Umwälzpumpen in Heizsystemen grundsätzlich für den maximalen Bedarf ausgelegt werden. Der Maximalbedarf tritt aber im Jahresverlauf nur in einer sehr begrenzten Zeitspanne auf. Durch eine Leistungsanpassung der Umwälzpumpen und eine Leistungsregelung vermindert sich deren Leistungsbedarf.

Im Regelfall können Umwälzpumpen durch übliche Drehzahlregelungen auf ca. 60 % ihrer Nenn-drehzahl heruntergeregelt werden. Der Leistungsbedarf reduziert sich dabei auf weniger als 50 % der Maximalleistung. Bild 4.3.1 zeigt den Belastungsgrad einer Heizungsanlage sowie den Leistungsbedarf einer geregelten Umwälzpumpe während der Heizperiode.

Bild 4.3.1 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Belastungsgrad von Heizungsanlagen und Leistungsbedarf geregelter Umwälzpumpen während der Heizperiode



Auf Basis des in Abschnitt 4.1.6 dargestellten Belastungs- und Leistungsbedarfsverlaufes (vgl. Bild 4.3.1) wurden für die Umwälzpumpen im Ist- und Soll-Zustand Berechnungen zum Leistungsbedarf durchgeführt (vgl. Tafel 4.2.1). Hierbei wurden folgende Grundlagen berücksichtigt:

- Für statische Heizgruppen wurde der Einsatz der Pumpe mit integrierter Differenzdruckregelung geprüft.
- Die Primärumwälzpumpe für die RLT-Anlagen benötigt eine Differenztemperaturregelung. Die Ansteuerung der Elektronikpumpe könnte durch die vorhandene DDC-Regelung über ein 0-10V Signal realisiert werden.

Tafel 4.3.1 Energiekonzept Steinernes Haus: Jahresstrombedarf von Umwälzpumpen

im Ist- und Soll-Zustand

| Standort/ Heizkreisbezeichnung | Maßnahme | Ist-Zustand | | Soll-Zustand | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | Strom- verbrauch in kWh/a | Leistungs- bedarf in kW | Stromverbrauch in kWh/a | Leistungs- bedarf in kW |
| Primärpumpe Kessel | Unberücksichtigt | 1.190 | 0,19 | 1.190 | 0,19 |
| Statischer Heizkreis | Neue dP geregelte Pumpe | 4.181 | 0,65 | 1.100 | 0,30 |
| Primärpumpe RLT-Anlage | Neue dT geregelte Pumpe | 4.181 | 0,65 | 1.100 | 0,30 |
| RLT-Nacherhitzerpumpe | Keine Änderung | 965 | 0,15 | 965 | 0,15 |
| GESAMT | | 10.517 | 1,64 | 4.355 | 0,94 |
| Einsparung gegen Ist | | | | 6.162 | 0,70 |

Durch den Einbau von drehzahlgeregelten Pumpen könnte der jährliche Strombedarf um rund 6.160 kWh vermindert werden. Dies entspricht einer Reduzierung des jährlichen Gesamtstromverbrauchs des Steinernen Hauses um 2,2 %. Durch die bedarfsgerechte Auslegung würde der maximale Gesamtleistungsbedarf der Pumpen nur geringfügig um 0,70 kW verringert.

Investitionskosten

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme bei den Heizkreisumwälzpumpen ergeben sich die in Tafel 4.3.2 zusammengestellten Investitionskosten.

Tafel 4.3.2 Energiekonzept Steinernes Haus: Investitionskosten für den Einsatz drehzahl geregelter Heizungspumpen

| | | Installation von drehzahlgeregelten Umwälzpumpen (Gesamtzahl: 2) |
|-------------------------------|---------------|--|
| Demontage-/Montagekosten | in EUR | 200,- |
| DDC für dT-Regelung | in EUR | 525,- |
| Kosten für Pumpen | in EUR | 2.575,- |
| Bau- u. Baunebenkosten (15 %) | in EUR | 415,- |
| Mehrwertsteuer (16 %) | in EUR | 595,- |
| Brutto-Gesamtkosten | in EUR | 4.310,- |

Reduzierung Stromverbrauch und -kosten

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4.1 aufgeführten spezifischen Strompreise sowie den in Tafel 4.3.2 dargestellten Stromverbräuche ergeben sich folgende Jahresstromkosten für Ist-Zustand und Optimierung.

Tafel 4.3.3 Energiekonzept Steinerne Haus: Stromkosten für Ist-Zustand und Optimierung der Heizungsumwälzpumpen

| | | Ist-Zustand | Optimierung |
|-----------------------|----------|--------------|--------------|
| Kosten für Wirkarbeit | in EUR/a | 528,- | 219,- |
| Ökosteuer | in EUR/a | 210,- | 87,- |
| Leistungskosten | in EUR/a | 175,- | 100,- |
| Zuschlag | in EUR/a | 5,- | 2,- |
| GESAMT | in EUR/a | 918,- | 408,- |
| Einsparung gegen Ist | in EUR/a | | 510,- |

Durch die Optimierung der Heizungsumwälzpumpen mittels Einbau elektronisch geregelter Pumpen können die jährlichen Stromkosten um 42 % bzw. 510,- € reduziert werden.

Jahreskostenberechnung

In der Tafel 4.3.4 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die Heizungsumwälzpumpen im Steinernen Haus aufgeführt. (Berechnungsblatt s. Anhang 4.3.1)

Tafel 4.3.4 Energiekonzept Steinernes Haus: Gesamtkostenberechnung für den Einsatz von Heizungsumwälzpumpen

| Maßnahme | | IST-Zustand | Elektronisch geregelte Pumpen |
|-----------------------------|---------------|----------------|-------------------------------|
| Investitionskosten | in € | | 4.315,- |
| Kapitalkosten | in €/a | | 445,- |
| Mittlere Betriebskosten | | | |
| Instandhaltung/Wartung | in €/a | | 45,- |
| Stromkosten | | 915,- | 405,- |
| Heutige Betriebskosten | in €/a | 915,- | 450,- |
| Mittlere Betriebskosten | in €/a | 1.135,- | 560,- |
| Umweltfolgekosten | | | |
| CO ₂ -Emissionen | in €/a | 360,- | 140,- |
| Gesamtkosten | in €/a | 1.495,- | 1.145,- |
| Amortisationszeit | | | |
| Basis Ist-Zustand | in a | | 6,8 |

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch den Einbau von drehzahlgeregelten Heizungs-Umwälzpumpen im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand um jährlich 350,- € gesenkt werden können. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen und sollte umgehend realisiert werden.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Lüftungsanlage

4.4.1 Wiederherstellen der Klappensteuerung für Mischluftbetrieb (Maßnahme 3.4.I)

Die Reparatur der Klappensteuerung für die Mischluftfunktion der Lüftungsanlage „Ausstellung“ ist aus Gründen der Bauerhaltung und gesetzlichen Forderungen (Versammlungsstätten-Richtlinie) zu realisieren. Die Brutto-Investitionskosten für das Wiederherstellen der Mischluftfunktion durch die Ansteuerung der Klappenmotoren sind in den Gesamt-Investitionskosten der Maßnahmen 3.4.IV (Erneuerung DDC und Aufschalten der Lüftungsanlage „Ausstellung“ auf die GLT) enthalten. Allerdings führt dies im Vergleich zum derzeitigen Umluftbetrieb zu keiner Energieeinsparung sondern ist als reine Bauerhaltsmaßnahme zu verstehen.

4.4.2 Wiederherstellen der Ventilatorregelung mittels Frequenzumformer (Maßnahme 3.4.II)

Durch das Trennen der FU-Ventilatorregelungen mit zwei separaten Steuerimpulsen kann eine bedarfsgerechtere FU-Ventilatorregelung mit Reduzierung des Stromverbrauchs realisiert werden. Die Brutto-Investitionskosten hierfür liegen bei 2.500,- €.

Nach „Hessischem Leitfaden Elektrische Energie (LEE)“ kann durch eine kontinuierliche bedarfsgerechte Regelung im Vergleich zu einer teilweise kontinuierlichen Regelung 3 % jährlich an Strom eingespart werden. Bei einem Jahres-Stromverbrauch von 160.205 kWh für die zentrale Lüftungsanlage „Ausstellung“ (vgl. Tafel 2.1.5) errechnet sich eine jährliche Stromreduzierung von 4.805 kWh.

Die Gesamtkostenberechnung (vgl. Anhang 4.4.2) führt zu dem Ergebnis, dass die jährlichen Gesamtkosten für die Sanierungsmaßnahme um rund 150,- € niedriger liegen als im Ist-Zustand. Dies entspricht einer Amortisationszeit von 6,3 Jahren. Die Maßnahme ist demnach, neben der Bauerhaltung, als energetisch und wirtschaftlich sinnvoll anzusehen und zu empfehlen.

4.4.3 Einbau einer neuen Befeuchtungsanlage (Maßnahme 3.4.III)

Wie in Abschnitt 3.4.2 beschrieben wird der Einbau von elektrischen Dampfbefeuchtern für nur zwei Zonen empfohlen. Die Brutto-Investitionskosten für diese Maßnahme können wie folgt angesetzt werden.

Tafel 4.4.1 Energiekonzept Steinernes Haus: Investitionskosten für eine Dampfbefeuchtungsanlage

| | | Investition |
|---|--------|-------------|
| 2 Elektr. Dampfbefeuchter (Kanaleinbau) | in EUR | 7.000,- |
| Rohrleitungen, Armaturen und Zubehör | in EUR | 1.500,- |
| Elektrischer Anschluss | in EUR | 5.000,- |
| Demontage, Sonstiges | in EUR | 3.500,- |
| Bau- u. Baunebenkosten (15 %) | in EUR | 2.500,- |
| Mehrwertsteuer (16 %) | in EUR | 3.500,- |

| | | |
|----------------------------|---------------|-----------------|
| Brutto-Gesamtkosten | in EUR | 25.500,- |
|----------------------------|---------------|-----------------|

Die Sanierung der Befeuchtungsanlage stellt eine Komfortverbesserung des Steinernes Hauses dar und ist für den Museumsbetrieb notwendig. Mit der Realisierung dieser Maßnahme ist eine Erhöhung der jährliche Strom- und Wasserkosten verbunden. Durch die Schaffung von nur zwei Zonen die befeuchtet werden, kann jedoch der Kostenaufwand in einem günstigeren Rahmen gehalten werden, als bei einer Gesamtbefeuchtungslösung.

Für die beschriebene Maßnahme ist von einem jährlichen Bedarf an entsalztem Wasser zur Befeuchtung von 40 m³ und für Strom von 28.500 kWh auszugehen. Die jährlichen Kosten hierfür belaufen sich auf rund 2.500 €. Dies entspricht einer Steigerung der jährlichen Gesamtenergie- und Wasserkosten des Steinernes Hauses um 5 %.

Die energetisch sinnvollere Befeuchtungsvariante mittels adiabater Sprühbefeuchtung ist aus baulichen Gründen nicht möglich (s. Abschnitt 3.4.2).

4.4.4 Erneuerung DDC und Aufschalten der Lüftungsanlage „Ausstellung“ auf die GLT (Maßnahme 3.4.IV)

Im Folgenden wird die Erneuerung und Aufschaltung der vorhandenen DDC-Anlage im Steinernen Haus auf die übergeordnete GLT der Abteilung Technisches Gebäudemanagement des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt untersucht und bewertet.

Investitionskosten

In Tafel 4.4.2 ist die Kostenschätzung für die notwendigen Investitionen zum Erneuern und Aufschalten der DDC-Anlage aufgeführt.

Tafel 4.4.2 Energiekonzept Steinernes Haus: Investitionskosten für Erneuerung der DDC und Aufschalten auf die GLT

| Kostengruppe | | Kosten |
|-------------------------------|---------------|-----------------|
| 1. Erneuerung DDC | | |
| 1.1 Feldgeräte | in EUR | 1.500,- |
| 1.2 Automationsstation DDC | in EUR | 20.500,- |
| 1.3 Umbau Schaltschrank | in EUR | 9.600,- |
| 2. Aufschaltung GLT-Rechner | in EUR | 4.000,- |
| Bau- u. Baunebenkosten (15 %) | in EUR | 5.300,- |
| Mehrwertsteuer (16 %) | in EUR | 6.600,- |
| Brutto-Gesamtkosten | in EUR | 47.500,- |

Die Gesamtkosten für die untersuchte Maßnahme belaufen sich auf ca. 47.500,- €.

Die Gesamtkostenberechnung für die untersuchte Maßnahme wird anhand folgender Leistungsmerkmale untersucht und dargestellt:

Realisierung nutzungsnaher Zeitschaltpläne: Wegschalten der nicht befeuchteten Zonen außerhalb der Öffnungszeiten (21.00 Uhr abends bis 9.00 Uhr morgens)

Energieoptimierter Betrieb: Herunterschalten des Ventilators auf Min.-Betrieb in Stromspitzenlastzeiten.

Energieeinsparung

Auf Grundlage der vorhandenen Anlagendaten, den unterschiedlichen Betriebszeiten sowie dem Test-Referenzjahr für Frankfurt erfolgte die Erstellung typischer Tagesganglinien für den Ist-Zustand sowie für die Optimierungsvariante. In der folgenden Tafel 4.4.3 sind die Heizenergie-, Kälte- und Strombedarfsmengen für den Ist-Zustand sowie für die Maßnahme zusammengefasst.

Tafel 4.4.3 Energiekonzept Steinernes Haus: Energiesparung durch Wegschalten von nicht befeuchteten Zonen außerhalb der Öffnungszeiten

| | | Ist-Zustand | Aufschaltung DDC | Einsparung gegen Ist | |
|----------------------------|----------|-------------|------------------|----------------------|--------|
| Heizenergiebedarf | in kWh/a | 238.700 | 187.500 | 51.200 | 21,4 % |
| Kälteenergiebedarf | in kWh/a | 80.855 | 73.300 | 7.555 | 9,3 % |
| Strombedarf ⁷ | in kWh/a | 40.280 | 36.650 | 3.630 | |
| Strombedarf (Ventilatoren) | in kWh/a | 160.200 | 152.450 | 7.750 | 4,8 % |
| Stromleistungsbezug | in kW | 22 | 7 | 15 | 68,1 % |

Durch das Wegschalten nicht befeuchteter Zonen außerhalb der Öffnungszeiten des Steinernen Hauses kann der Heizenergiebedarf um über 20 % reduziert werden. Der Strombedarf für die Ventilatoren und die Kälteerzeugung kann um knapp 11.400 kWh bzw. 5,7 % verringert werden. Durch den energieoptimierten Betrieb mittels GLT kann in Spitzenlastzeiten die Lüftungsanlage „Ausstellung“ im Min.-Bereich betrieben werden. Dadurch reduziert sich der Spitzenlastbezug um 15 kW.

Jahreskostenberechnung

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme wurde eine Jahres-Gesamtkostenrechnung durchgeführt und die Ergebnisse in Tafel 4.2.2 zusammengestellt. Die entsprechende Berechnung ist im Anhang 4.4.4 dargestellt.

Tafel 4.4.4 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Gesamtkostenrechnung für die Erneuerung der DDC und Aufschaltung auf die GLT

| Maßnahme | | IST-Zustand | Erneuerung / Aufschaltung DDC |
|-----------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------|
| Investitionskosten | in € | | 47.500,- |
| Kapitalkosten | in €/a | | 5.665,- |
| Mittlere Betriebskosten | | | |
| Heizkosten | in €/a | 8.170,- | 6.415,- |
| Stromkosten | | 17.085,- | 14.630,- |
| Heutige Betriebskosten | in €/a | 25.255,- | 21.045,- |
| Mittlere Betriebskosten | in €/a | 30.140,- | 25.115,- |
| Umweltfolgekosten | | | |
| CO ₂ -Emissionen | in €/a | 10.035,- | 8.950,- |
| Gesamtkosten | in €/a | 40.175,- | 39.730,- |
| Amortisationszeit | | | |
| Basis Ist-Zustand | in a | | 10,8 |

Die Untersuchung der beiden Varianten führt zu annähernd gleichen Jahresgesamtkosten, d.h., die Investition für die Erneuerung der DDC sowie das Aufschalten auf die GLT werden die durch die Reduzierung der Betriebs- und Umweltfolgekosten amortisiert.

Berücksichtigt man, dass mit einer funktionstüchtigen DCC bzw. GLT gegebenenfalls weitere Optimierungsmaßnahmen ohne weiteren Aufwand realisiert werden können, dann ist diese Maßnahme nicht nur aus Gründen der Bauerhaltung sondern auch aus energetischen und Wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen.

Weiterhin kann durch eine übergeordnete Betriebsführung mittels DDC/GLT das Zusammenwirken von Heizungs- und Lüftungsanlage ermöglicht werden.

Beispiel: Da es derzeit durch den Umluftbetrieb der Lüftungsanlage „Ausstellung“ offensichtlich zu keinen Luftqualitätsproblemen kommt. (vgl. Abschnitt 3.4.2), kann die Luftzufuhr der nicht befeuchteten Zonen bis zu einer Außenlufttemperatur von ca. +5 °C, wo rund 60 % des Heizwärmebedarfs anfallen, weggeschaltet werden. Die Beheizung könnte durch die statischen Heizkörper erfolgen. Hierzu müsste die Heizkurve entsprechend bedarfsgerecht angehoben werden.

⁷ Annahme einer Kältezahll von 2 für die vorhandenen Kältemaschinen

4.5 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Kälteanlage

Folgende Maßnahmen wurden in Abschnitt 3.6 beschrieben sind vorrangig aus Gründen der Bauhaltung und Versorgungssicherheit zu realisieren.

4.5.1 Fortluftsystem für Kühlluft der Kältemaschinen (Maßnahme 3.5.I)

Die Kosten für diese Maßnahme liegen bei 17.500 €. Die Maßnahme ist vorrangig aus Gründen der Bauunterhaltung und Versorgungssicherheit zu empfehlen, hat aber auch einen energetisch Effekt bezüglich einer reduzierten Stromleistungsaufnahme und Wirkstromverbrauch der Kältemaschinen. Dagegen muss allerdings der Mehrverbrauch der Ventilatoren gerechnet werden. Bei einer Reduzierung des externen Gegendrucks in der Dachzentrale um 300 Pa wird die Stromleistungsaufnahme der Kältemaschinen um 3 kW gesenkt. Die 16 zu installierenden Ventilatoren verfügen über eine elektrische Leistungsaufnahme von zusammen 0,96 kW. Bei einer Laufzeit von knapp 800 Stunden pro Jahr errechnet sich daraus eine jährliche Stromreduzierung von 1.625 kWh bzw. 2 kW.

Im Anhang 4.5.1 ist das Berechnungsblatt für die Jahresgesamtkostenberechnung für diese Maßnahme dargestellt. Die jährlichen Kapitalkosten in Höhe von 1.525,- € werden durch die Verringerung der Betriebs- und Umweltfolgekosten nicht gedeckt, so dass eine Wirtschaftlichkeit nicht besteht.

4.5.2 Verbesserung der hydraulischen Bedingungen auf der Kaltwasser-Primärseite (Maßnahme 3.5.II)

Um einen sicheren und konstanten Betrieb der Kältemaschinen zu erreichen, sollte das Durchströmen der jeweils abgeschalteten Kältemaschine durch Einbau von zwei Motor-Absperrklappen verhindert werden. Diese Maßnahme mit Kosten in Höhe von 3.000,- € stellt keine Energiesparmaßnahme dar, sondern ist aus Gründen der Bauhaltung bzw. Verbesserung der Betriebssicherheit zu empfehlen.

4.5.3 Anheben der Freigabetemperatur der Kältemaschinen (Maßnahme 3.5.III)

Durch diese organisatorische Maßnahme kann zum einen die Lebensdauer von Pumpen und Kältemaschinen erhöht werden, zum anderen wird der zu klimatisierende Zeitraum verkürzt, was zu einer Reduzierung des Kälteverbrauchs führt.

Auf Grundlage der in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen Tageslastgänge wurden Simulationen dahingehend durchgeführt, dass die Kälteleistung erst dann berechnet wird, wenn die Außentemperatur über der Freigabetemperatur liegt. In Tafel 4.5.1 sind die Kälte- und Stromeinsparpotentiale für verschiedene Freigabetemperaturen im Vergleich zum Ist-Zustand (Freigabetemperatur = 12 °C) dargestellt.

Tafel 4.5.1 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Energie- und Kosteneinsparung für unterschiedliche Freigabetemperaturen der Kälteversorgung

| Freigabetemperatur | Kälteenergie in kWh/a | Stromverbrauch in kWh/a | Stromkosten Wirkarbeit | Einsparung gegen Ist | |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|-------------|
| | | | | Stromverbrauch | Stromkosten |

| | | | in €/a | in kWh/a | in €/a |
|---------------------|--------|--------|---------|----------|--------|
| Ist-Zustand = 12 °C | 80.855 | 40.110 | 2.945,- | | |
| 13°C | 78.180 | 38.780 | 2.845,- | 1.330 | 100,- |
| 14°C | 76.130 | 37.770 | 2.775,- | 2.340 | 170,- |
| 15°C | 73.300 | 36.360 | 2.670,- | 3.750 | 275,- |

Durch diese einfache organisatorische Maßnahme mittels DDC-Technik können pro Grad Erhöhung der Freigabetemperatur des Kältesystems ca. 70-100 € pro Jahr an Stromkosten eingespart werden. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen. Sie sollte jedoch erst nach der Aufschaltung der DDC auf die übergeordnete GLT realisiert werden, um eine effektive Kontrolle und Korrektur von Ist- und Sollwerten durchführen zu können.

4.5.4 Austausch der Sekundär-Kaltwasserpumpe (Maßnahme 3.5.IV)

Für die Maßnahme 3.5.IV „Austausch der Sekundär-Kaltwasserpumpe durch eine elektronisch drehzahlgesteuerte Umwälzpumpe“ wurden entsprechend der Variante 3.3.I „Optimierung der Heizungs-umwälzpumpen“ die Investitionskosten, die Stromeinsparung und Stromkostenreduzierung ermittelt und eine Jahreskostenberechnung erstellt. Die Ergebnisse sind in der Tafel 4.5.2 zusammengestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt ist im Anhang 4.5.1 enthalten.

Tafel 4.5.2 Energiekonzept „Steinerne Haus“: Gesamtkostenrechnung für die Optimierung der Kaltwasser-Sekundärpumpe

| Maßnahme | | IST-Zustand | Optimierung Kaltwasserpumpe |
|-----------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| Investitionskosten | in € | | 2.910,- |
| Kapitalkosten | in €/a | | 300,- |
| Mittlere Betriebskosten | | | |
| Stromkosten | | 735,- | 565,- |
| Heutige Betriebskosten | in €/a | 735,- | 565,- |
| Mittlere Betriebskosten | in €/a | 905,- | 700,- |
| Umweltfolgekosten | | | |
| CO ₂ -Emissionen | in €/a | 215,- | 155,- |
| Gesamtkosten | in €/a | 1.120,- | 1.155,- |
| Amortisationszeit | | | |
| Basis Ist-Zustand | in a | | 18,5 |

Für die Maßnahme errechnet sich eine Amortisationszeit die mit 18,5 Jahren außerhalb der Nutzungszeit der Pumpe liegt. Trotzdem sollten die geringen jährlichen Mehrkosten von 35,- € im Hinblick auf eine Stromreduzierung von 27 % gegenüber dem Ist-Zustand in Kauf genommen werden und eine Umsetzung der Maßnahme erfolgen.

4.5.5 Anbringen eines äußeren Sonnenschutzes an den Fenstern des Anbaus (Maßnahme 3.5.V)

Durch das Anbringen von einem außenliegenden Sonnenschutz (hinterlüftete Jalousie mit außenhelligkeitsabhängiger Schaltung) an den Fenstern im 1.OG und 2.OG des Anbaus kann die Gebäude-Kühllast verringert werden woraus sich reduzierte Laufzeiten der Kältemaschinen ergeben. Des Weiteren führt ein Sonnenschutz zu einer konservatorisch sinnvollen Absenkung der Temperaturspitzen in den Ausstellungsräumen.

Der Kälteleistungsbedarf in den Spitzenzeiten kann um knapp 21 % und Kälteverbrauch um rund 29 % verringert werden.

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme wurde eine Jahres-Gesamtkostenrechnung durchgeführt und die Ergebnisse in Tafel 4.2.2 zusammengestellt. Die entsprechende Berechnung ist im Anhang 4.5.3 dargestellt.

Tafel 4.5.2 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Gesamtkostenrechnung für das Anbringen eines Sonnenschutzes an den Fenstern des Anbaus

| Maßnahme | | IST-Zustand | Sonnenschutz Anbau |
|-----------------------------|---------------|----------------|--------------------|
| Investitionskosten | in € | | 14.010,- |
| Kapitalkosten | in €/a | | 1.440,- |
| Mittlere Betriebskosten | | | |
| Stromkosten | | 4.350,- | 3.460,- |
| Heutige Betriebskosten | in €/a | 4.350,- | 3.600,- |
| Mittlere Betriebskosten | in €/a | 5.380,- | 4.450,- |
| Umweltfolgekosten | | | |
| CO ₂ -Emissionen | in €/a | 720,- | 570,- |
| Gesamtkosten | in €/a | 6.100,- | 6.465,- |
| Amortisationszeit | | | |
| Basis Ist-Zustand | in a | | 26,0 |

Die Amortisationszeit für die beschriebene Maßnahme liegt außerhalb deren Nutzungszeit, so dass eine Wirtschaftlichkeit nicht nachgewiesen werden kann. Aus energetischen Gründen ist diese Maßnahme jedoch zu empfehlen, da der Gesamtstrombedarf die Kälteerzeugung im Steinernen Haus um über 10 % verringert werden.

4.6 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an Elektroanlagen

Wie im Abschnitt 3.6 beschrieben, ergibt sich für den Bereich der Elektroanlagen im Steinernen Haus nur für die Beleuchtungsanlagen eine Optimierungsvariante (3.6.I) durch den Einbau von freistrahrenden Lichtleisten mit elektronischen Vorschaltgeräten.

Die Gesamtinvestitionskosten für neue freistrahkende Lichtleisten mit EVG (einschl. Demontage der alten Leuchten) liegen bei 54.200,- €

Derzeit werden diese aber nur selten eingeschaltet (vorrangig Videoinstallationen), so dass eine Umrüstung keinen wirtschaftlicher Effekt erwarten lässt. Aus diesem Grund wurde für zwei Varianten mit unterschiedlichen Einschaltzeiten die Jahresgesamtkostenberechnung durchgeführt.

Variante 1: Einschaltdauer entsprechend der derzeitigen Nutzung

Variante 2: Einschaltdauer während der gesamten Öffnungszeit

In Tafel 4.6.1. sind die Ergebnisse für die untersuchten Varianten dargestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt befindet sich im Anhang 4.6.1.

Tafel 4.6.1 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Gesamtkostenrechnung für die untersuchten Optimierungsmaßnahmen für die Beleuchtung

| Maßnahme | | IST-Zustand | Variante 1 | Variante 2 a | Variante 2 b |
|-----------------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Leuchten | | Ist | Neu mit EVG | Ist | Neu mit EVG |
| Einschaltdauer | | Ist | Ist | Öffnungszeit | Öffnungszeit |
| Investitionskosten | in € | | 54.200,- | | 54.200,- |
| Kapitalkosten | in €/a | | 5.580,- | | 5.580,- |
| Mittlere Betriebskosten | | | | | |
| Stromkosten | | 9.830,- | 7.955,- | 14.290,- | 11.420,- |
| Heutige Betriebskosten | in €/a | 9.830,- | 7.955,- | 14.290,- | 11.420,- |
| Mittlere Betriebskosten | in €/a | 12.160,- | 9.840,- | 17.670,- | 14.130,- |
| Umweltfolgekosten | | | | | |
| CO ₂ -Emissionen | in €/a | 1.560,- | 1.295,- | 3.695,- | 2.955,- |
| Gesamtkosten | in €/a | 13.720,- | 16.715,- | 21.365,- | 22.665,- |
| Amortisationszeit | | | | | |
| Basis Ist-Zustand | in a | | - | | 24,4 |

Unter Berücksichtigung der derzeitigen Nutzungsstruktur (Ist und Variante 1) ergibt sich keine Wirtschaftlichkeit für die untersuchte Optimierungsmaßnahme der Beleuchtung.

Auch bei einer Einschaltdauer der Beleuchtung während der gesamten Öffnungszeit (Variante 2a und 2b), wird die Maßnahme durch die Betriebs- und Umweltfolgekosteneinsparung in Höhe von rund 4.280,- € nicht refinanziert. Aus diesem Grund sollte der Austausch im Rahmen der Bauunterhaltung erfolgen.

4.7 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wassersparmaßnahmen

In Abschnitt 3.7 wurden die Wasserverbrauchseinrichtungen im Steinernen Haus erfasst und bewertet. Folgende Sparmaßnahme wurde empfohlen und wird in diesem Abschnitt wirtschaftlich bewertet:

Maßnahme 3.7.1: Einbau von Wasserspartastern in die Toilettenspülungen im UG

Die Investitionskosten für die Maßnahmen sind mit ca. 500 € für die Umrüstung der fünf Toiletten relativ gering. Der Wassereinspareffekt durch die Reduzierung der Wasserbedarfs pro Spülung von 9 Liter auf 6 Liter wird in der folgenden Tafel 4.7.1 dargestellt.

Tafel 4.7.1 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Wassereinsparung Gesamtkostenrechnung durch Einbau von Wasserspartastern in die Besuchertoiletten

| Besucher | Nutzer pro Jahr | Toilette-Ist | | | Toilette-Soll | | |
|---------------|-----------------|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| | | l/Spülung | Spülung / | l/a | l/Spülung | Spülung / p | l/a |
| Damen | 4.960 | 9 | 1 | 44.640 | 6 | 1 | 29.760 |
| Herren | 2.480 | 9 | 1 | 22.320 | 6 | 1 | 14.880 |
| GESAMT | 7.440 | | | 66.960 | | | 44.640 |

Durch den Einbau von Wasserspartastern in den Besuchertoiletten des Steinernen Hauses kann der jährliche Wasserverbrauch um ca. 10 % bzw. 22,32 m³ reduziert werden. Die jährliche Wasserkosteneinsparung errechnet sich folgendermaßen (vgl. spezif. Preise für Wasser und Kanal Abschnitt 4.1):

Trinkwasserkosten: $22,32 \text{ m}^3/\text{a} * 1,97 \text{ €/m}^3 = 44,- \text{ €/a}$

Kanalgebühr: $22,32 \text{ m}^3/\text{a} * 1,76 \text{ €/m}^3 = 39,- \text{ €/a}$

Gesamt **83,- €/a**

In Tafel 4.7.2. sind die Ergebnisse für die untersuchte Wassersparvariante dargestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt befindet sich im Anhang 4.7.1.

Tafel 4.7.2 Energiekonzept „Steinernes Haus“: Gesamtkostenrechnung für den Einbau von Wasserspartastern im Besucher-WC

| Maßnahme | | IST-Zustand | Einbau Spartaster |
|--------------------|--------|-------------|-------------------|
| Investitionskosten | in € | | 500,- |
| Kapitalkosten | in €/a | | 50,- |

| | | | |
|-------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Mittlere Betriebskosten | | | |
| Wasserkosten | | 790,- | 710,- |
| Heutige Betriebskosten | in €/a | 790,- | 710,- |
| Mittlere Betriebskosten | in €/a | 980,- | 875,- |
| Umweltfolgekosten | | | |
| Trinkwasser | in €/a | 210,- | 190,- |
| Gesamtkosten | in €/a | 1.190,- | 1.115,- |
| Amortisationszeit | | | |
| Basis Ist-Zustand | in a | | 4,7 |

Der untersuchte Einbau von Wasserspartastern in den Besucher-Toiletten des Steinernen Hauses stellt mit einer Amortisationszeit von weniger als 5 Jahren eine wirtschaftliche Maßnahme dar und sollte aus diesem Grund realisiert werden.

ANHANG

Anhang zum Abschnitt 4.3.1 – Optimierung der Heizungsumwälzpumpen (Maßnahme 3.3.I)

| 1. Gesamtkosten | | | | | | |
|--|--|-------|----------------------|-------------|------|----------------------|
| A. Allgemeine Daten | | | | | | |
| A1 Liegenschaftsbezeichnung | Steinerne Haus | | | A2 Unterab. | | |
| A3 Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 Str.-Nr. | | |
| A5 Straße | Markt | | | A6 Haus-Nr. | | 44 |
| A7 Betrachtungszeitraum | 15a | | A8 Währung | | € | |
| A9 Kapitalzins | 6% | | A10 Annuitätsfaktor | | 0,10 | |
| A11 Preissteigerung | 3% | | A12 Mittelwertfaktor | | 1,24 | |
| B. Varianten | | | | | | |
| Bezeichnung | | | | | | |
| B0 Istzustand | Ist-Zustand | | | | | |
| B1 Variante 1 | Drehzahlgeregelte Umwälzpumpen Heizung | | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | | |
| Istzustand Variante 1 | | | | | | |
| C1 Bezugsfläche (NGF) | 1.785 | 1.785 | | | | m ² |
| C2 Personenzahl | 60 | 60 | | | | P |
| C3 spez. Heizwärmebedarf | | | | | | kWh/m ² a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung | | | | | | % |
| C5 spez. Strombezug | 5,89 | 2,44 | | | | kWh/m ² a |
| C6 spez. CO ₂ -Emissionen | 4,01 | 1,66 | | | | kg/m ² a |
| C7 spez. Trinkwasserbezug | | | | | | m ³ /P a |
| D. Kapitalkosten | | | | | | |
| Istzustand Variante 1 | | | | | | |
| D1 Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 4.312 | | | | € |
| D2 Zuschüsse/Erlöse | | 0 | | | | € |
| D3 Eigenkapitaleinsatz | 0 | 4.312 | | | | € |
| D4 Kapitalkosten | 0 | 444 | | | | €/a |
| D5 spez. Kapitalkosten | 0 | 0,25 | | | | €/m ² a |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | | |
| Istzustand Variante 1 | | | | | | |
| E1 Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 Wartung+Instandhaltung | 0 | 43 | | | | €/a |
| E3 Heizkosten | | | | | | €/a |
| E4 Stromkosten | 917 | 408 | | | | €/a |
| E5 Wasserkosten | | | | | | €/a |
| E6 Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 heutige Betriebskosten | 917 | 451 | | | | €/a |
| E8 mittl. Betriebskosten | 1.135 | 557 | | | | €/a |
| E9 spez. Betriebskosten | 0,64 | 0,31 | | | | €/m ² a |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | | |
| Istzustand Variante 1 | | | | | | |
| F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to) | 358 | 148 | | | | €/a |
| F2 Trinkwasser (1 €/m ³) | 0 | 0 | | | | €/a |
| F3 Umweltfolgekosten | 358 | 148 | | | | €/a |
| F4 spez. Umweltfolgekost. | 0 | 0 | | | | €/m ² a |
| G. Gesamtkosten | | | | | | |
| Istzustand Variante 1 | | | | | | |
| G1 Gesamtkosten | 1.492 | 1.149 | | | | €/a |
| G2 spez. Gesamtkosten | 0,8 | 0,6 | | | | €/m ² a |
| G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1) | | 6,8 | | | | a |

Anhang zum Abschnitt 4.4.2 – Wiederherstellen der Ventilatorregelung mittels Frequenzumformer (Maßnahme 3.4.II)

| 1. Gesamtkosten | | | | | | |
|--|---|-------------|----------------------|-------------|----|----------------------|
| A. Allgemeine Daten | | | | | | |
| A1 Liegenschaftsbezeichnung | Steinerne Haus | | | A2 Unterab. | | |
| A3 Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 Str.-Nr. | | |
| A5 Straße | Markt | | | A6 Haus-Nr. | 44 | |
| A7 Betrachtungszeitraum | 10 | a | A8 Währung | € | | |
| A9 Kapitalzins | 6% | | A10 Annuitätsfaktor | 0,14 | | |
| A11 Preissteigerung | 3% | | A12 Mittelwertfaktor | 1,16 | | |
| B. Varianten | | | | | | |
| | | Bezeichnung | | | | |
| B0 Istzustand | Ist-Zustand | | | | | |
| B1 Variante 1 | Wiederherstellen Ventilator FU-Regelung | | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | |
| C1 Bezugsfläche (NGF) | 1.785 | 1.785 | | | | m ² |
| C2 Personenzahl | 60 | 60 | | | | P |
| C3 spez. Heizwärmebedarf | | | | | | kWh/m ² a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung | | | | | | % |
| C5 spez. Strombezug | 89,75 | 87,06 | | | | kWh/m ² a |
| C6 spez. CO ₂ -Emissionen | 61,03 | 59,20 | | | | kg/m ² a |
| C7 spez. Trinkwasserbezug | | | | | | m ³ /P a |
| D. Kapitalkosten | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | |
| D1 Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 2.500 | | | | € |
| D2 Zuschüsse/Erlöse | | 0 | | | | € |
| D3 Eigenkapitaleinsatz | 0 | 2.500 | | | | € |
| D4 Kapitalkosten | 0 | 340 | | | | €/a |
| D5 spez. Kapitalkosten | 0 | 0,19 | | | | €/m ² a |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | |
| E1 Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 Wartung+Instandhaltung | 0 | 75 | | | | €/a |
| E3 Heizkosten | | | | | | €/a |
| E4 Stromkosten | 11.759 | 11.406 | | | | €/a |
| E5 Wasserkosten | | | | | | €/a |
| E6 Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 heutige Betriebskosten | 11.759 | 11.481 | | | | €/a |
| E8 mittl. Betriebskosten | 13.689 | 13.366 | | | | €/a |
| E9 spez. Betriebskosten | 7,67 | 7,49 | | | | €/m ² a |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | |
| F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to) | 5.447 | 5.284 | | | | €/a |
| F2 Trinkwasser (1 €/m ³) | 0 | 0 | | | | €/a |
| F3 Umweltfolgekosten | 5.447 | 5.284 | | | | €/a |
| F4 spez. Umweltfolgekost. | 3,1 | 3,0 | | | | €/m ² a |
| G. Gesamtkosten | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | |
| G1 Gesamtkosten | 19.136 | 18.989 | | | | €/a |
| G2 spez. Gesamtkosten | 10,7 | 10,6 | | | | €/m ² a |
| G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1) | | 6,3 | | | | a |

Anhang zum Abschnitt 4.4.4 – Erneuerung der DDC und Aufschaltung auf die GLT (Maßnahme 3.4.IV)

1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

| A. Allgemeine Daten | | | | | |
|---|---|----------------------|--|-------------|----------------------|
| A1 Liegenschaftsbezeichnung | Steinerne Haus | | | A2 Unterab. | |
| A3 Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 Str.-Nr. | |
| A5 Straße | Markt | | | A6 Haus-Nr. | 44 |
| A7 Betrachtungszeitraum | 12 ^a | A8 Währung | | € | |
| A9 Kapitalzins | 6% | A10 Annuitätsfaktor | | 0,12 | |
| A11 Preissteigerung | 3% | A12 Mittelwertfaktor | | 1,19 | |
| B. Varianten | | | | | |
| B0 Istzustand | Ist-Zustand | | | | |
| B1 Variante 1 | Wegschalten einzelner nicht befeuchteter Zonen | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | |
| C1 Bezugsfläche (NGF) | 1.785 | 1.785 | | | m ² |
| C2 Personenzahl | 60 | 60 | | | P |
| C3 spez. Heizwärmebedarf | 134 | 105 | | | kWh/m ² a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung | 90% | 90% | | | % |
| C5 spez. Strombezug | 112,49 | 105,94 | | | kWh/m ² a |
| C6 spez. CO ₂ -Emissionen | 112,45 | 100,28 | | | kg/m ² a |
| C7 spez. Trinkwasserbezug | | | | | m ³ /P a |
| D. Kapitalkosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | |
| D1 Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 47.500 | | | € |
| D2 Zuschüsse/Erlöse | | 0 | | | € |
| D3 Eigenkapitaleinsatz | 0 | 47.500 | | | € |
| D4 Kapitalkosten | 0 | 5.666 | | | €/a |
| D5 spez. Kapitalkosten | 0 | 3,17 | | | €/m ² a |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | |
| E1 Personal+Reinigungskosten | | | | | €/a |
| E2 Wartung+Instandhaltung | 0 | 0 | | | €/a |
| E3 Heizkosten | 8.169 | 6.417 | | | €/a |
| E4 Stromkosten | 17.087 | 14.627 | | | €/a |
| E5 Wasserkosten | | | | | €/a |
| E6 Verwaltung+Versicherung | | | | | €/a |
| E7 heutige Betriebskosten | 25.256 | 21.044 | | | €/a |
| E8 mittl. Betriebskosten | 30.143 | 25.116 | | | €/a |
| E9 spez. Betriebskosten | 16,89 | 14,07 | | | €/m ² a |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | |
| F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to) | 10.036 | 8.950 | | | €/a |
| F2 Trinkwasser (1 €/m ³) | 0 | 0 | | | €/a |
| F3 Umweltfolgekosten | 10.036 | 8.950 | | | €/a |
| F4 spez. Umweltfolgekost. | 5,6 | 5,0 | | | €/m ² a |
| G. Gesamtkosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | |
| G1 Gesamtkosten | 40.180 | 39.732 | | | €/a |
| G2 spez. Gesamtkosten | 22,5 | 22,3 | | | €/m ² a |
| G2 Amortisationszeit (Basis: Ist-Zustand) | | 10,8 | | | a |

Anhang zum Abschnitt 4.5.1 – Fortluftsystem für Kühlluft der Kältemaschinen (Maßnahme 3.5.I)

| 1. Gesamtkosten | | | | | | |
|--|---------------------------------|------------|----------------------|-------------|-------|----------------------|
| A. Allgemeine Daten | | | | | | |
| A1 Liegenschaftsbezeichnung | Steinerne Haus | | | A2 Unterab. | | |
| A3 Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 Str.-Nr. | | |
| A5 Straße | Markt | | | A6 Haus-Nr. | | 44 |
| A7 Betrachtungszeitraum | 20 ^a | | A8 Währung | | € | |
| A9 Kapitalzins | 6% | | A10 Annuitätsfaktor | | 0,087 | |
| A11 Preissteigerung | 3% | | A12 Mittelwertfaktor | | 1,31 | |
| B. Varianten | | | | | | |
| B0 Istzustand | Bezeichnung Ist-Zustand | | | | | |
| B1 Variante 1 | Fortluftsystem für Dachzentrale | | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| C1 Bezugsfläche (NGF) | 1.785 | 1.785 | | | | m ² |
| C2 Personenzahl | 60 | 60 | | | | P |
| C3 spez. Heizwärmebedarf | | | | | | kWh/m ² a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung | | | | | | % |
| C5 spez. Strombezug | 22,48 | 21,57 | | | | kWh/m ² a |
| C6 spez. CO ₂ -Emissionen | 15,28 | 14,67 | | | | kg/m ² a |
| C7 spez. Trinkwasserbezug | | | | | | m ³ /P a |
| D. Kapitalkosten | | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| D1 Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 17.500 | | | | € |
| D2 Zuschüsse/Erlöse | | 0 | | | | € |
| D3 Eigenkapitaleinsatz | 0 | 17.500 | | | | € |
| D4 Kapitalkosten | 0 | 1.526 | | | | €/a |
| D5 spez. Kapitalkosten | 0 | 0,85 | | | | €/m ² a |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| E1 Personal+Reinigungskosten | | | | | | €/a |
| E2 Wartung+Instandhaltung | 0 | 175 | | | | €/a |
| E3 Heizkosten | | | | | | €/a |
| E4 Stromkosten | 8.613 | 8.276 | | | | €/a |
| E5 Wasserkosten | | | | | | €/a |
| E6 Verwaltung+Versicherung | | | | | | €/a |
| E7 heutige Betriebskosten | 8.613 | 8.451 | | | | €/a |
| E8 mittl. Betriebskosten | 11.263 | 11.051 | | | | €/a |
| E9 spez. Betriebskosten | 6,31 | 6,19 | | | | €/m ² a |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to) | 1.364 | 1.309 | | | | €/a |
| F2 Trinkwasser (1 €/m ³) | 0 | 0 | | | | €/a |
| F3 Umweltfolgekosten | 1.364 | 1.309 | | | | €/a |
| F4 spez. Umweltfolgekost. | 0,8 | 0,7 | | | | €/m ² a |
| G. Gesamtkosten | | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| G1 Gesamtkosten | 12.627 | 13.886 | | | | €/a |
| G2 spez. Gesamtkosten | 7,1 | 7,8 | | | | €/m ² a |

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
| G2 Amortisationszeit (Basis: Ist-Zustand) | - | | | a |
|---|---|--|--|---|

Anhang zum Abschnitt 4.5.1 – Optimierung der Kaltwasserumwälzpumpe (Maßnahme 3.5.IV)

| 1. Gesamtkosten | | | | | |
|--|--|----------------------|-------------------|-------------|----------------------|
| A. Allgemeine Daten | | | | | |
| A1 Liegenschaftsbezeichnung | Steinernes Haus | | | A2 Unterab. | |
| A3 Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 Str.-Nr. | |
| A5 Straße | Markt | | | A6 Haus-Nr. | 44 |
| A7 Betrachtungszeitraum | 15a | A8 Währung | € | | |
| A9 Kapitalzins | 6% | A10 Annuitätsfaktor | 0,10 | | |
| A11 Preissteigerung | 3% | A12 Mittelwertfaktor | 1,24 | | |
| B. Varianten | | | | | |
| | | Bezeichnung | | | |
| B0 Istzustand | Ist-Zustand | | | | |
| B1 Variante 1 | Drehzahlgeregelte Umwälzpumpen Kältesystem | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| C1 Bezugsfläche (NGF) | 1.785 | 1.785 | | | m ² |
| C2 Personenzahl | 60 | 60 | | | P |
| C3 spez. Heizwärmebedarf | | | | | kWh/m ² a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung | | | | | % |
| C5 spez. Strombezug | 3,52 | 2,57 | | | kWh/m ² a |
| C6 spez. CO ₂ -Emissionen | 2,39 | 1,75 | | | kg/m ² a |
| C7 spez. Trinkwasserbezug | | | | | m ³ /P a |
| D. Kapitalkosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| D1 Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 2.908 | | | € |
| D2 Zuschüsse/Erlöse | | 0 | | | € |
| D3 Eigenkapitaleinsatz | 0 | 2.908 | | | € |
| D4 Kapitalkosten | 0 | 299 | | | €/a |
| D5 spez. Kapitalkosten | 0 | 0,17 | | | €/m ² a |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| E1 Personal+Reinigungskosten | | | | | €/a |
| E2 Wartung+Instandhaltung | 0 | 0 | | | €/a |
| E3 Heizkosten | | | | | €/a |
| E4 Stromkosten | 733 | 566 | | | €/a |
| E5 Wasserkosten | | | | | €/a |
| E6 Verwaltung+Versicherung | | | | | €/a |
| E7 heutige Betriebskosten | 733 | 566 | | | €/a |
| E8 mittl. Betriebskosten | 907 | 700 | | | €/a |
| E9 spez. Betriebskosten | 0,51 | 0,39 | | | €/m ² a |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to) | 214 | 156 | | | €/a |
| F2 Trinkwasser (1 €/m ³) | 0 | 0 | | | €/a |
| F3 Umweltfolgekosten | 214 | 156 | | | €/a |
| F4 spez. Umweltfolgekost. | 0 | 0 | | | €/m ² a |
| G. Gesamtkosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| G1 Gesamtkosten | 1.121 | 1.155 | | | €/a |
| G2 spez. Gesamtkosten | 0,6 | 0,6 | | | €/m ² a |

| | | | | |
|--|------|--|--|---|
| G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1) | 18,5 | | | a |
|--|------|--|--|---|

Anhang zum Abschnitt 4.5.1 – Anbringen Sonnenschutz an Fenstern im Anbau (Maßnahme 3.5.V)

| 1. Gesamtkosten | | | | | |
|--|-------------------------------|----------------------|------------|-------------|----------------------|
| A. Allgemeine Daten | | | | | |
| A1 Liegenschaftsbezeichnung | Steinerne Haus | | | A2 Unterab. | |
| A3 Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 Str.-Nr. | |
| A5 Straße | Markt | | | A6 Haus-Nr. | 44 |
| A7 Betrachtungszeitraum | 15a | A8 Währung | | € | |
| A9 Kapitalzins | 6% | A10 Annuitätsfaktor | | 0,10 | |
| A11 Preissteigerung | 3% | A12 Mittelwertfaktor | | 1,24 | |
| B. Varianten | | | | | |
| | | Bezeichnung | | | |
| B0 Istzustand | Ist-Zustand | | | | |
| B1 Variante 1 | Einbau Sonnenschutz für Anbau | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| C1 Bezugsfläche (NGF) | | 1.785 | 1.785 | | m ² |
| C2 Personenzahl | | 60 | 60 | | P |
| C3 spez. Heizwärmebedarf | | | | | kWh/m ² a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung | | | | | % |
| C5 spez. Strombezug | | 11,86 | 9,43 | | kWh/m ² a |
| C6 spez. CO ₂ -Emissionen | | 8,07 | 6,41 | | kg/m ² a |
| C7 spez. Trinkwasserbezug | | | | | m ³ /P a |
| D. Kapitalkosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| D1 Investitionskosten (DIN 276) | | 0 | 14.011 | | € |
| D2 Zuschüsse/Erlöse | | | 0 | | € |
| D3 Eigenkapitaleinsatz | | 0 | 14.011 | | € |
| D4 Kapitalkosten | | 0 | 1.443 | | €/a |
| D5 spez. Kapitalkosten | | 0 | 0,81 | | €/m ² a |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| E1 Personal+Reinigungskosten | | | | | €/a |
| E2 Wartung+Instandhaltung | | 0 | 140 | | €/a |
| E3 Heizkosten | | | | | €/a |
| E4 Stromkosten | | 4.349 | 3.457 | | €/a |
| E5 Wasserkosten | | | | | €/a |
| E6 Verwaltung+Versicherung | | | | | €/a |
| E7 heutige Betriebskosten | | 4.349 | 3.597 | | €/a |
| E8 mittl. Betriebskosten | | 5.379 | 4.450 | | €/a |
| E9 spez. Betriebskosten | | 3,01 | 2,49 | | €/m ² a |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to) | | 720 | 572 | | €/a |
| F2 Trinkwasser (1 €/m ³) | | 0 | 0 | | €/a |
| F3 Umweltfolgekosten | | 720 | 572 | | €/a |
| F4 spez. Umweltfolgekost. | | 0 | 0 | | €/m ² a |
| G. Gesamtkosten | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | |
| G1 Gesamtkosten | | 6.099 | 6.465 | | €/a |
| G2 spez. Gesamtkosten | | 3,4 | 3,6 | | €/m ² a |

| | | | |
|--|------|--|---|
| G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1) | 26,0 | | a |
|--|------|--|---|

Anhang zum Abschnitt 4.6.1 – Optimierung der Beleuchtungsanlagen (Maßnahme 3.6.I)

| 1. Gesamtkosten | | | | | |
|--|--|----------------------|-------------|-------------|----------------------|
| A. Allgemeine Daten | | | | | |
| A1 Liegenschaftsbezeichnung | Steinerne Haus | | | A2 Unterab. | |
| A3 Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 Str.-Nr. | |
| A5 Straße | Markt | | | A6 Haus-Nr. | 44 |
| A7 Betrachtungszeitraum | 15 ^a | A8 Währung | | € | |
| A9 Kapitalzins | 6% | A10 Annuitätsfaktor | | 0,103 | |
| A11 Preissteigerung | 3% | A12 Mittelwertfaktor | | 1,24 | |
| B. Varianten | | | | | |
| B0 Istzustand | Ist-Zustand | | | | |
| B1 Variante 1 | Neue Leuchten mit EVG - Einschaltdauer Ist | | | | |
| B2 Variante 2a | Ist-Leuchten - Einschaltdauer gesamte Öffnungszeit | | | | |
| B3 Variante 2a | Neue Leuchten mit EVG - Einschaltdauer ges. Öffnungszeit | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | Variante 2a | Variante 2a | |
| C1 Bezugsfläche (NGF) | 1.785 | 1.785 | 1.785 | 1.785 | m ² |
| C2 Personenzahl | 60 | 60 | 60 | 60 | P |
| C3 spez. Heizwärmebedarf | | | | | kWh/m ² a |
| C4 Heizzahl Kessel+Verteilung | | | | | % |
| C5 spez. Strombezug | 25,73 | 21,30 | 61 | 49 | kWh/m ² a |
| C6 spez. CO ₂ -Emissionen | 17,50 | 14,48 | 41,41 | 33,09 | kg/m ² a |
| C7 spez. Trinkwasserbezug | | | | | m ³ /P a |
| D. Kapitalkosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | Variante 2a | Variante 2a | |
| D1 Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 54.200 | 0 | 54.200 | € |
| D2 Zuschüsse/Erlöse | 0 | 0 | 0 | 0 | € |
| D3 Eigenkapitaleinsatz | 0 | 54.200 | 0 | 54.200 | € |
| D4 Kapitalkosten | 0 | 5.581 | 0 | 5.581 | €/a |
| D5 spez. Kapitalkosten | 0 | 3,13 | 0 | 3,13 | €/m ² a |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | Variante 2a | Variante 2a | |
| E1 Personal+Reinigungskosten | | | | | €/a |
| E2 Wartung+Instandhaltung | 0 | 0 | 0 | 0 | €/a |
| E3 Heizkosten | | | | | €/a |
| E4 Stromkosten | 9.830 | 7.954 | 14.287 | 11.422 | €/a |
| E5 Wasserkosten | | | | | €/a |
| E6 Verwaltung+Versicherung | | | | | €/a |
| E7 heutige Betriebskosten | 9.830 | 7.954 | 14.287 | 11.422 | €/a |
| E8 mittl. Betriebskosten | 12.159 | 9.839 | 17.672 | 14.128 | €/a |
| E9 spez. Betriebskosten | 6,81 | 5,51 | 9,90 | 7,92 | €/m ² a |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | Variante 2a | Variante 2a | |
| F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to) | 1.562 | 1.293 | 3.696 | 2.953 | €/a |
| F2 Trinkwasser (1 €/m ³) | 0 | 0 | 0 | 0 | €/a |
| F3 Umweltfolgekosten | 1.562 | 1.293 | 3.696 | 2.953 | €/a |
| F4 spez. Umweltfolgekost. | 0,9 | 0,7 | 2,1 | 1,7 | €/m ² a |
| G. Gesamtkosten | | | | | |
| | Istzustand | Variante 1 | Variante 2a | Variante 2a | |

| | | | | | | |
|----|--|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| G1 | Gesamtkosten | 13.721 | 16.712 | 21.368 | 22.662 | €/a |
| G2 | spez. Gesamtkosten | 7,7 | 9,4 | 12,0 | 12,7 | €/m²a |
| G2 | Amortisationszeit (Basis: Variante 1) | - | | | 24,4 | a |

Anhang zum Abschnitt 4.7.1 – Einbau von Wasserspartastern in die Besucher-Toiletten (Maßnahme 3.7.I)

| 1. Gesamtkosten | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------|-----|------------------|----------|-----------|
| A. Allgemeine Daten | | | | | | | |
| A1 | Liegenschaftsbezeichnung | Steinerne Haus | | | A2 | Unterab. | |
| A3 | Gebäudebezeichnung | Hauptgebäude | | | A4 | Str.-Nr. | |
| A5 | Straße | Markt | | | A6 | Haus-Nr. | 44 |
| A7 | Betrachtungszeitraum | 15a | | A8 | Währung | € | |
| A9 | Kapitalzins | 6% | | A10 | Annuitätsfaktor | 0,103 | |
| A11 | Preissteigerung | 3% | | A12 | Mittelwertfaktor | 1,24 | |
| B. Varianten | | | | | | | |
| | | Bezeichnung | | | | | |
| B0 | Istzustand | Ist-Zustand | | | | | |
| B1 | Variante 1 | Wasserspartaster für Besuchertoiletten | | | | | |
| C. Kenngrößen | | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| C1 | Bezugsfläche (NGF) | 1.785 | 1.785 | | | m² | |
| C2 | Personenzahl | 60 | 60 | | | P | |
| C3 | spez. Heizwärmebedarf | | | | | kWh/m²a | |
| C4 | Heizzahl Kessel+Verteilung | | | | | % | |
| C5 | spez. Strombezug | | | | | kWh/m²a | |
| C6 | spez. CO2-Emissionen | 0,00 | 0,00 | | | kg/m²a | |
| C7 | spez. Trinkwasserbezug | 3,53 | 3,16 | | | m³/P a | |
| D. Kapitalkosten | | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| D1 | Investitionskosten (DIN 276) | 0 | 500 | | | € | |
| D2 | Zuschüsse/Erlöse | 0 | 0 | | | € | |
| D3 | Eigenkapitaleinsatz | 0 | 500 | | | € | |
| D4 | Kapitalkosten | 0 | 51 | | | €/a | |
| D5 | spez. Kapitalkosten | 0 | 0,03 | | | €/m²a | |
| E. mittl. Betriebskosten | | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| E1 | Personal+Reinigungskosten | | | | | €/a | |
| E2 | Wartung+Instandhaltung | 0 | 0 | | | €/a | |
| E3 | Heizkosten | | | | | €/a | |
| E4 | Stromkosten | | | | | €/a | |
| E5 | Wasserkosten | 791 | 708 | | | €/a | |
| E6 | Verwaltung+Versicherung | | | | | €/a | |
| E7 | heutige Betriebskosten | 791 | 708 | | | €/a | |
| E8 | mittl. Betriebskosten | 979 | 876 | | | €/a | |
| E9 | spez. Betriebskosten | 0,55 | 0,49 | | | €/m²a | |
| F. Umweltfolgekosten | | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| F1 | CO2-Emissionen (50 €/to) | 0 | 0 | | | €/a | |
| F2 | Trinkwasser (1 €/m³) | 212 | 190 | | | €/a | |
| F3 | Umweltfolgekosten | 212 | 190 | | | €/a | |
| F4 | spez. Umweltfolgekost. | 0,1 | 0,1 | | | €/m²a | |
| G. Gesamtkosten | | | | | | | |
| | | Istzustand | Variante 1 | | | | |
| G1 | Gesamtkosten | 1.191 | 1.117 | | | €/a | |

| | | | | |
|--|-----|-----|--|-------|
| G2 spez. Gesamtkosten | 0,7 | 0,6 | | €/m²a |
| G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1) | | 4,7 | | a |

Anhang zur Zusammenfassung– Übersicht der untersuchten Maßnahmen

| Maßnahmen- bezeichnung | Erläuterungen im Konzept - Abschnitt Abschnitt | Art der Maßnahme | Grund | Investition in EUR | Nutzungs- zeit In a | Energie- einsparung | Energie- u. Umwelt- Folgekosten- reduzierung In EUR | Amorti- sation In a | Zeitpunkt der Realisierung |
|--|--|------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|--|---|---------------------------|--------------------------------|
| 3.4.IV Erneuerung DDC u Aufschaltung auf GLT | 3.4 und 4.4. | Investiv/ organisatorisch | Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll | 47.500 | 12 | 11.400 kWh Strom 56.900 kWh Erdgas | 6.115 | 10,8 | 2003 - 2004 |
| 3.4.II Einbau einer neuen Befeuchtungsanlage | 3.4 und 4.4. | Investiv | Bauerhaltung Komfort | 25.500 | 15 | Mehrbedarf an Wasser 40 m ³ /a Strom 28.500 kWh/a | Mehrkosten für Wasser und Strom 2.500,- EUR/a | - | Nach Maßnahme 3.4.IV |
| 3.7.I Einbau Wasserspar- taster oder Spülkästen In Besucher-Toiletten | 3.7 und 4.7. | Investiv | Wirtschaftlich Sinnvoll | 500 | 15 | 22,3 m ³ /a Wasser | 125 | 4,7 | In 2003 |
| 3.3.I Austausch der Heizungsumwälzpumpen | 3.3.3. und 4.3. | Investiv | Wirtschaftl. sinnvoll Auflage EnEV | 4.310 | 15 | 6.160 kWh Strom | 795 | 6,8 | Vor Heizperiode 2003 |
| 3.3.II Freilegen Heizkörp. in den Ausstellungsräum. | 3.3.3. | Organisatorisch | Energetisch sinnvoll | keine | 15 | 2.060 kWh Strom | 180 | sofort | Vor Heizperiode 2003 - 2004 |
| 3.4.II Wiederherstellen Ventilatorregel. mittels FU | 3.4 und 4.4. | Investiv | Bauerhaltung energ. + wirtschaftl. | 2.500 | 15 | 4.805 kWh Strom | 485 | 6,3 | 2003 - 2004 |
| 3.4.I Wiederherstellen Klappensteuerung für Mischluftbetrieb | 3.4 und 4.4. | Investiv | Bauerhaltung Gesetzl. Auflagen | in Maßnahme 3.4.IV Enthalten | 15 | - | - | - | In 2003 |

| Maßnahmen- bezeichnung | Erläuterungen im Konzept - Abschnitt Abschnitt | Art der Maßnahme | Grund | Investition in EUR | Nutzungs- zeit In a | Energie- einsparung | Energie- u. Umwelt- Folgekosten- reduzierung In EUR | Amorti- sation In a | Zeitpunkt der Realisierung |
|--|--|---------------------|---|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------------|
| 3.2.I Austausch einfach- Verglaster Fenster | 3.2.3 und 4.2. | Investiv | Bauerhaltung | 21.600 | 25 | 26.250 kWh Erdgas | 1.140 | - | 2003 - 2004 |
| 3.5.I Fortluftsystem Dach- zentrale für Kältemaschi- nen | 3.5. und 4.5. | Investiv | Bauerhaltung Energetisch sinnvoll | 17.500 | 20 | 1.625 kWh Strom 2,0 kWe | 270 | - | 2003 – 2004 |
| 3.5.II Verbesserung Hyd- raulik im Kältesystem | 3.5. und 4.5. | Investiv | Bauerhaltung Versorgungssicherh. | 3.000 | 20 | - | - | - | 2003 - 2004 |
| 3.5.III Anheben Freigabe- Temp. Kältemaschinen | 3.5. und 4.5. | Organisatorisch | Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll | keine | 15 | 1.330 kWh Strom bis 3.275 kWh | 100 - 275 | sofort | Nach Maßnahme 3.4.IV |
| 3.2.II Dämmung Heizkör- pernischen | 3.2.3 und 4.2. | Investiv | Wirtschaftlich Sinnvoll | 250 | 25 | 1.100 kWh Erdgas | 60 | 5,3 | Vor Heizperiode 2003 |
| 3.5.V Anbringen Sonnen- schutz an Fenster Anbau | 3.5. und 4.5. | Investiv | Energetisch und konn- servatorisch sinnvoll | 14.010 | 15 | 4.340 kWh Strom 5,0 kWe | 1.080 | - | 2003 - 2004 |
| 3.5.IV Austausch Sekun- där Kaltwasserpumpe | 3.5. und 4.5. | Investiv | Energetisch sinnvoll | 2.910 | 15 | 1.690 kWh Strom | 265 | 18,5 | Bei Ersatz- beschaffung |
| 3.6.I Einbau freistrahlen- der Lichtleisten mit EVG | 3.6. und 4.6. | Investiv | Energetisch sinnvoll | 54.200 | 15 | 7.900 kWh Strom 12,3 kWe | 2.590 | - | Bei Ersatz- beschaffung |
| 3.2.IIIa Außenwand- dämmung Anbau <i>(bei anstehender Sanierung)</i> | 3.2.3 und 4.2. | Investiv | Energetisch sinnvoll | 62.700 <i>28.500</i> | 25 | 55.700 kWh Erdgas | 2.180 | - <i>17,8</i> | <i>Bei anstehender Sanierung</i> |
| 3.2.IIIb Innendämmung Außenwand Anbau 6 cm Dämmdi- cke | 3.2.3 und 4.2. | Investiv | Energetisch sinnvoll | 24.500 | 25 | 46.400 kWh Erdgas | 2.330 | 18,6 | Bei anstehender |
| 9 cm Dämmdi- cke (Vorgabe EnEV) | | Investiv | Energetisch sinnvoll | 26.500 | 25 | 51.800 kWh Erdgas | 2.460 | 17,8 | Sanierung |