

Energiekonzept für das „Museum für Angewandte Kunst“ in Frankfurt/Main



Endbericht

17. Dezember 2003

Aufgestellt:

Ing.-Büro K. H. Wagner

Steinstraße 81

35390 Gießen

Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Seite
Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog nach Prioritäten	V
I. Allgemeine Objektbeschreibung	V
II. Energie-/Wasserverbrauch und -kosten	V
II.1 Strom	V
II.2 Erdgas	VIII
II.3 Wasser	XI
II.4 Gesamtenergiekosten	XIII
II.5 Vergleich Verbrauchswerte anhand spezifischer Kenndaten	XIII
II.6 Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und -abrechnung	XIV
III. Stammdaten des Gebäudes und betriebstechnischer Anlagen	
III.1 Gebäude	XV
III.2 Betriebstechnische Anlagen	XVI
III.2.1 Wärmeversorgungsanlagen	XVI
III.2.2 Klima- und Lüftungsanlagen	XVI
III.2.3 Kälteversorgungsanlagen	XVIII
III.2.4 Elektroanlagen und Regelungstechnik	XIX
III.2.5 Wasserverbrauchseinrichtungen	XIX
IV. Maßnahmenkatalog nach Priorität	XX
Konzeptteil	
1. Aufgabenstellung und Grundlagen	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Grundlagen	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	5
2.2 Wärmeerzeugung	8
2.2.1 Gasverbrauch der Wärmeerzeugung	8
2.2.2 Verteilung des Heizwärme- und Brennstoffbedarfs	10
2.3 Wasserverbrauch	12
2.4 Vergleich Verbrauchswerte anhand spezifischer Kenndaten	14
2.5 Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und -abrechnung	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 Wärmebedarfs und des Heizwärmebedarfs	18
3.2.3	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	26
3.3	Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen	29
3.3.1	Stammdaten der zentralen Wärmeerzeugungsanlage	29
3.3.2	Stammdaten des Warmwasserheiznetzes	30
3.3.3	Stammdaten der Warmwasserversorgung	31
3.3.4	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	33
3.4	Stammdaten der Lüftungsanlagen	35
3.4.1	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	43
3.5	Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen	47
3.5.1	Kälteversorgungsanlagen des MAK	47
3.5.2	Kälteversorgungsanlage Pächter-Restaurant	51
3.6	Stammdaten der Elektroanlagen und Regelungstechnik	52
3.6.1	Blindstromkompensationsanlage	52
3.6.2	Beleuchtungsanlagen	52
3.6.3	Aufzüge	54
3.6.4	PC-Arbeitsplätze	54
3.6.5	MSR- und Gebäudeleittechnik	54
3.6.6	Beschreibung der Energiesparmaßnahmen	54
3.7	Stammdaten der Wasserverbrauchseinrichtungen	56
3.7.1	Wasserversorgungsanlagen	56
3.7.2	Beschreibung der Wassersparmaßnahme	56
4.	Wirtschaftlichkeitsberechnung für energiesparende Maßnahmen	57
4.1	Grundlagen und –daten der Wirtschaftlichkeitsberechnung	57
4.2	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wärmeschutzmaßnahmen	58
4.2.1	Beschreibung der Maßnahmen und Ermittlung der Investitionskosten	58
4.2.2	Wärmebedarfsreduktion und Heizwärmeersparung durch Wärmeschutzmaßnahmen	59
4.2.3	Jahreskostenberechnung für die Wärmeschutzmaßnahmen	60
4.3	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen - Wärmeversorgung	61
4.3.1	Optimierung Heizungsumwälzpumpen für statische Heizung	61
4.3.2	Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage	63

4.3.3	Anpassen der Brennerleistung an den tatsächlichen Bedarf	65
4.3.4	Abschalten eines Kessels in den Sommermonaten	65
4.3.5	Zirkulationsunterbrechung für Warmwasserbereitung Restaurant	66
4.4	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an den Lüftungs- und Klimaanlage	68
4.4.1	Optimierung der Betriebszeiten der RLT-Anlagen	68
4.4.2	Optimierung der Lüftungsanlagen für die Ausstellungsbereiche	68
4.5	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Kälteversorgung	70
4.5.1	Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpen	70
4.5.2	Hydraulische Trennung der Kältemaschinen und Abschaltung in den Wintermonaten	71
4.5.3	Umrüstung Kälteaggregat Restaurant-Pächter auf luftgekühlten Betrieb	72
4.6	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an Elektroanlagen und Regelungstechnik	73
4.6.1	Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage	73
4.6.2	Abschalten der Kompakt-Leuchtstoffleuchten in der Bibliothek (Regale)	74
4.6.3	Sanierung MSR-Technik und Umschaltung auf die GLT	74
4.7	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wassersparmaßnahmen	76
4.7.1	Reduzierung der Abblasverluste der Druckerhöhungsanlage	76

Anhang

Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog nach Prioritäten

Die nachfolgende Zusammenfassung enthält die wesentlichen Objektdaten und Ergebnisse des Energiekonzepts für das Museum für Angewandte Kunst (MAK) in Frankfurt.

I. Allgemeine Objektbeschreibung (vgl. Abschnitt 3.1)

Träger des Museums für angewandte Kunst ist das Amt für Wissenschaft und Kunst. Der Museumskomplex besteht aus einem historischen 4-geschossigen Gebäude (Villa Metzler), einem 3-geschossigen Flachdachbau (MAK) aus dem Jahre 1985 und einem 3-geschossigen Anbau (Werkstattgebäude) aus dem Jahre 1960 (***vgl. Lageplan im Anhang 3.1.1***).

Das MAK wiederum besteht aus drei mit verglasten Übergängen untereinander verbundenen würfelförmigen Gebäuden (1., 2. und 3. Quadrant). Dieses von Architekt Richard Meier & Partners, New York, geplante Gebäude ist bezüglich seiner Fassadengestaltung nicht veränderbar. Der historische Bau (Villa Metzler) steht unter Denkmalschutz.

Die Ausstellungsräume erstrecken sich im Museum für Angewandte Kunst vom Erdgeschoss bis ins 2.OG. Im Kellergeschoss sind Depots für Ausstellungsgegenstände eingerichtet sowie mehrere Lüftungszentralen, die Heizungszentrale und der Hausanschlussraum Gas und Wasser angeordnet. Auf dem Dachgeschoss befinden sich drei Lüftungs-/Kältezentralen. Die Verwaltung befindet sich im EG des 2. Quadranten, der Sozialraum im 3. Quadranten.

Im Museum für Angewandte Kunst gibt es derzeit folgende Öffnungszeiten und Besucherzahlen:

Öffnungszeiten:	Dienstag-Sonntag 10-17 Uhr, Mittwoch 10-21 Uhr Montags geschlossen. Die Villa Metzler wird nur gelegentlich (max. 2 Tage/Wo) geöffnet
Besucherzahlen	ca. 100.000 Personen/a, im Mittel ca. 277 Besucher pro Tag.

Eine verbindliche Nutzung bzw. Ausstellungsschwerpunkte wurde nicht benannt. In den vergangenen Jahren lag der Schwerpunkt auf Möbelausstellungen.

II. Energie-/Wasserverbrauch und –kosten (vgl. Abschnitt 2)

In 2002 wurden insgesamt rund **220.000,-€** für den Energie- und Wasserbezug ausgegeben. Die Verteilung wird in den folgenden Abschnitten dargestellt.

II.1 Strom (vgl. Abschnitt 2.1)

Der Strombedarf des Museums für Angewandte Kunst wird ausschließlich aus dem Netz der Mainova AG gedeckt. Auf der Niederspannungsseite des Mainova-Netzes sind zwei Messeinrichtungen installiert, die den Gesamtstrombezug des Museums und des verpachteten Bereichs (Restaurant mit Küche) erfassen. Die Abrechnung des verpachteten Bereichs erfolgt direkt zwischen Mainova und Pächter (Zählernummer 23195).

Als Sondervertragskunde erfolgt für das Museum eine Abrechnung der bezogenen Arbeit nach Hoch- und Niedertarifzeiten sowie der Leistung als Mittelwert aus den drei höchsten Monatsspitzen (**Business HighPower 1** - Zähler-Nr.: 46435). Die Abrechnungen gehen an das Amt für Wissenschaft und Kunst, Brückenstraße 3 in Frankfurt.

In Tafel II.1 sind die Jahresstromverbrauchswerte und die entsprechenden Jahreskosten für den Wirk- und Blindstrombezug von 2000 bis 2002 dargestellt.

Tafel II.1 Energiekonzept „MAK“: Jahreswerte des Stromverbrauchs und der Jahresbezugskosten von 2000 - 2002

Jahr	Gesamt 2000	Gesamt 2001	Gesamt 2002
Stromverbrauch in kWh/a	1.435.500	1.854.310	1.765.680
Jahresgesamtkosten in €	117.201,-	151.867,-	148.919,-
spez. Strompreis in €/kWh	0,082	0,082	0,084
<i>Kosten Blindstrom in €/a</i>	<i>k.A.</i>	<i>1.915,-</i>	<i>2.070,-</i>

Der Vergleich der Werte zeigt, dass der Gesamtstrombedarf des Museums für Angewandte Kunst von 2000 bis 2002 um ca. 18 % gestiegen ist. Die spezifischen Stromkosten sind in den letzten drei Jahren nahezu konstant geblieben.

Auffallend ist, dass in 2001 und 2002 die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten wurden und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug in Höhe von rund 2.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache lässt auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensation schließen (s. Maßnahme 3.6.I).

Anmerkungen zur Stromabrechnung in 2002 (Maßnahme 2.1.I):

Im Rahmen der Überprüfung der Mainova-Stromabrechnungen wurden für das Jahr 2002 folgende Fehler festgestellt:

April 2002: Der Hoch- und Niedertarifwirkstrombezug wurde jeweils nicht messtechnisch erfasst und mit 60 kWh bzw. 70 kWh geschätzt und dementsprechend abgerechnet. Nicht in Rechnung gestellte Stromkosten **9.770,- EUR**.

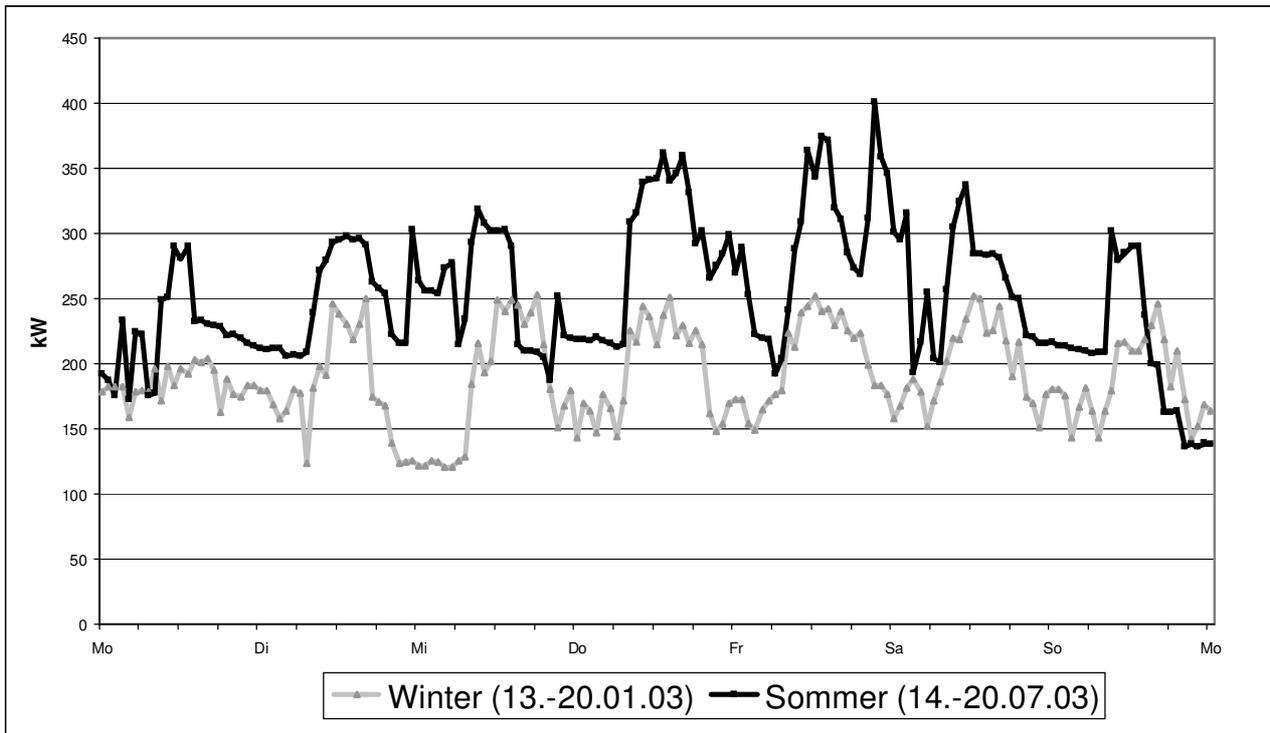
Juli 2002: Bezogene Stromleistung wurde doppelt in Rechnung gestellt, anstelle von üblichen 257 kW wurde eine Leistung von 360 kW dazu addiert, so dass für Juli eine Gesamtleistung von 717 kW angesetzt wurde. Zusätzlich in Rechnung gestellte Stromleistungskosten **6.360,- EUR**.

Diese Punkte sind mit der Mainova zu klären, eventuell wurde in 2003 eine Korrektur vorgenommen. Dem Konzeptersteller liegt hierzu keine Aussage vor.

Strom-Schwerpunktverbraucher

Zur Ermittlung der Stromverbrauchsstruktur im Museum für angewandte Kunst konnte auf schreibende Lastmessungen des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement zurückgegriffen werden. Im folgenden Bild II.1 sind die Wochenganglinien des Strombedarfs im Winter und Sommer dargestellt.

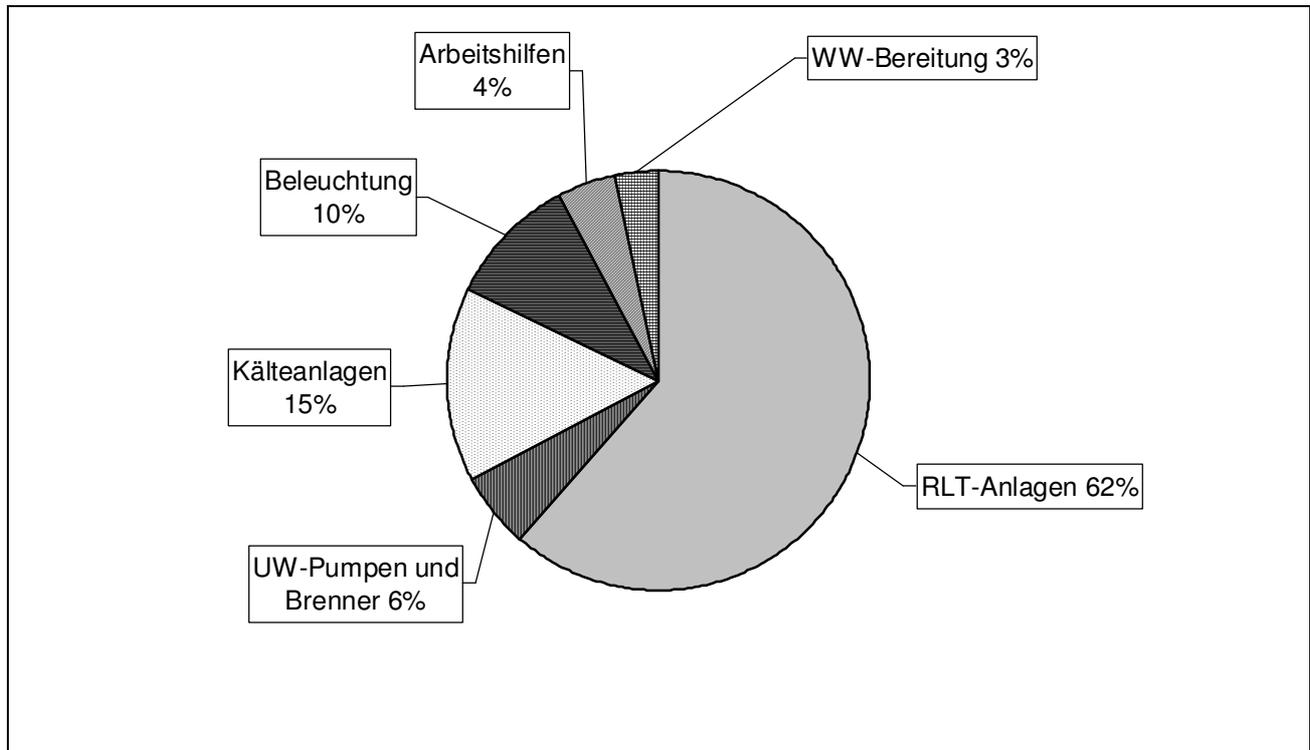
Bild II.1 Energiekonzept „MAK“: Wochenlastverlauf des Strombezugs im Winter und im Sommer 2003



Die Wochenlastverläufe für die unterschiedlichen Jahreszeiten zeigen deutlich den Einsatz der Kältemaschinen durch jahreszeitlich bedingte hohe Außentemperaturen im Sommer. Hier werden Spitzenwerte bis zu 400 kW erreicht wohingegen im Winter die Spitzenleistungsbezugswerte bei 250 kW liegen. Die Stromgrundlast liegt in den Wintermonaten bei ca. 150-175 kW und im Sommer bei 200-225 kW.

In Bild II.2 ist die prozentuale Verteilung des Gesamtstromverbrauchs des MAK für die einzelnen Schwerpunktverbraucher dargestellt.

Bild II.2 Energiekonzept „MAK“: Prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs auf einzelne Verbraucher



Die Hauptverbrauchergruppe mit rund 62% sind die Raumluftechnischen Anlagen, bestehend aus 24 Einzelanlagen. Der zweitgrößte Verbraucher ist die kältetechnische Anlage mit 15% gefolgt von der Beleuchtung mit rund 10%. Die elektrische Trinkwassererwärmung (TWE) schlägt mit 3% des Gesamtverbrauchs zu Buche.

II.2 Erdgas (vgl. Abschnitt 2.2)

Als Brennstoff zur Wärmeerzeugung wird im Museum für Angewandte Kunst ausschließlich Erdgas H aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG eingesetzt.

Die Zählleinrichtung (Zählernummer 503328) für das Museum für Angewandte Kunst ist im Hausanschlussraum des 2.Quadranten im UG installiert. Der Verbrauch wird monatlich erfasst. Die Rechnungsstellung erfolgt an das Amt für Wissenschaft und Kunst, Brückenstr. 3-7 in Frankfurt.

Für das Museum für Angewandte Kunst erfolgt als Gas-Sondervertragskunde eine Abrechnung der bezogenen Arbeit (kWh_{HO}), der Leistung für die maximal bezogene Arbeit pro Tag ($\text{kWh}_{\text{HO}}/\text{d}$) sowie des Jahresgrundpreises für Mess- und Zählleinrichtungen (**VL-Sondervertrag**).

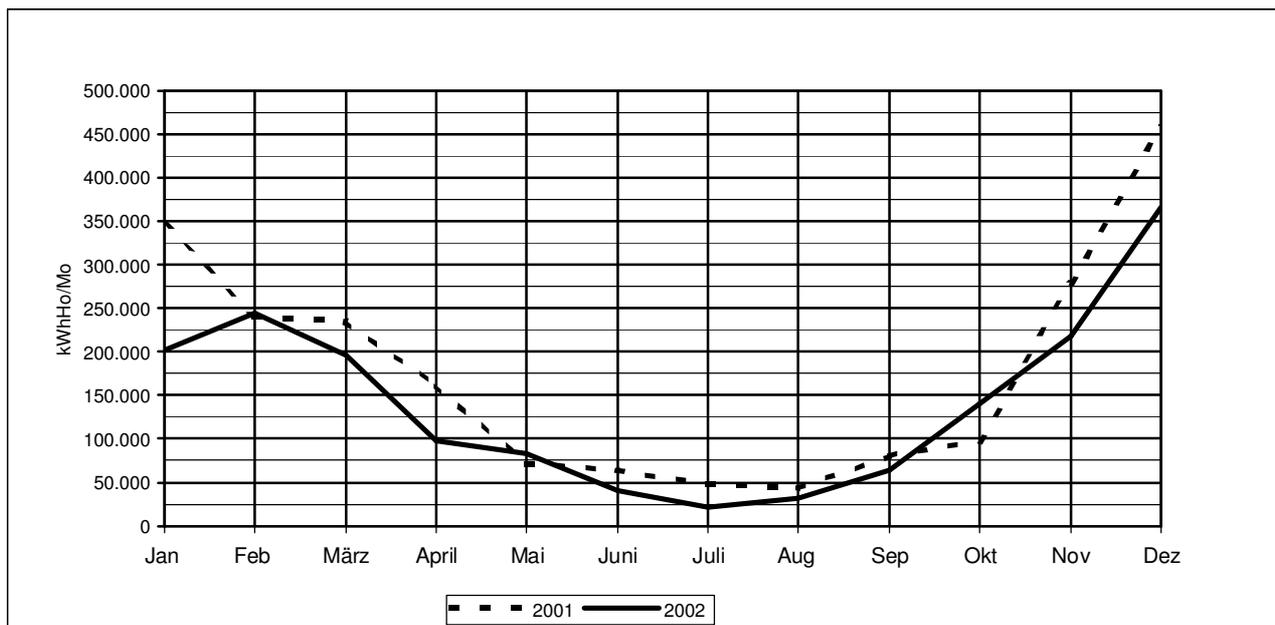
Für die Warmwasserbereitung des Restaurants ist ein weiterer Gaszähler (Zählernummer 961053) installiert. Diese Abrechnung erfolgt direkt zwischen Mainova und dem Pächter.

Tafel II.2 Energiekonzept „MAK“: Jahreswerte und –kosten des Erdgasbezugs 2000-2002

Jahr	Jahresverbrauch		Jahreserdgaskosten	
	in kWh _{HO} / kWh _{HU}	in kWh _{HO} / kWh _{HU} witterungsbereinigt	Gesamt in EUR	in EUR/kWh _{HO}
2000	2.002.667 / 1.802.400	2.213.997 / 1.992.597	53.597,-	0,0297
2001	2.123.744 / 1.911.370	2.094.229 / 1.884.806	80.533,-	0,0421
2002	1.704.803 / 1.534.323	1.940.890 / 1.746.800	61.501,-	0,0401

Der witterungsgereinigte Gasverbrauch ist von 2000 bis 2002 um rund 12 % zurückgegangen während die Jahreskosten um 13 % gestiegen sind, da sich der spezifische Gaspreis im gleichen Zeitraum um rund 26 % erhöht hat.

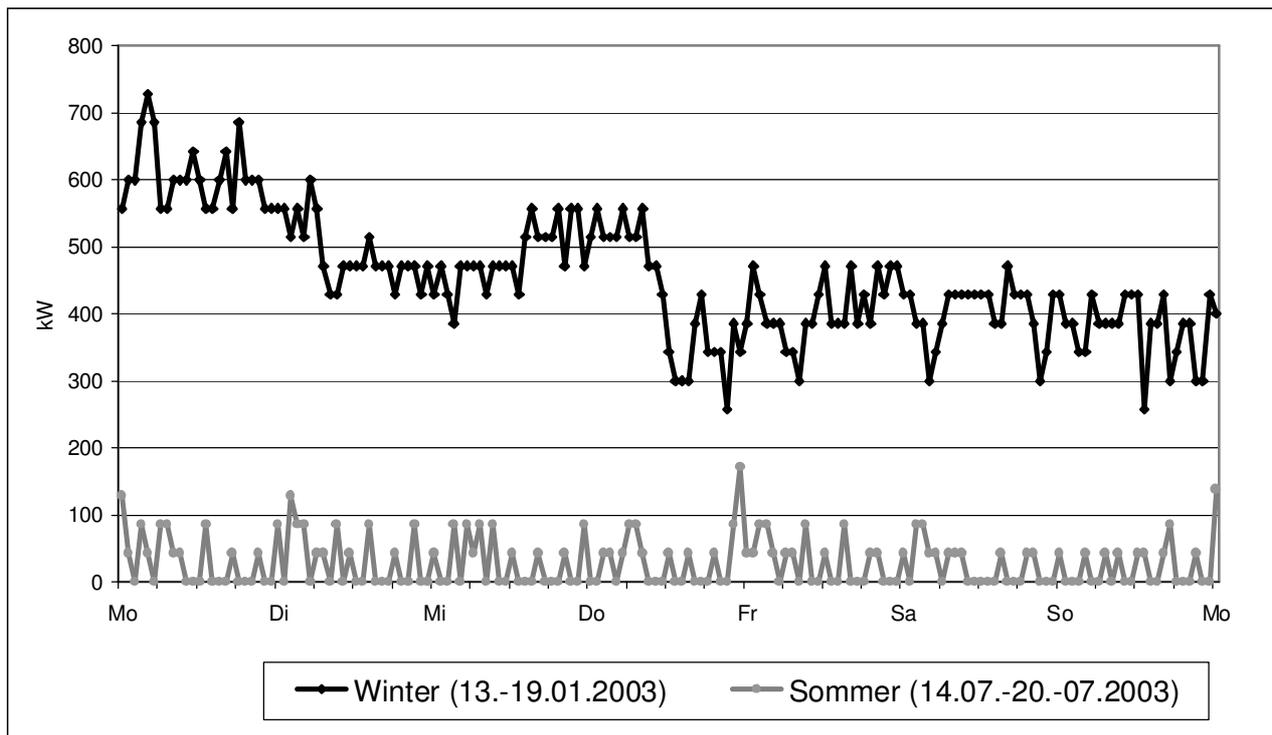
Im folgenden Bild II.3 sind die monatlichen Gasbezüge des Museums für Angewandte Kunst in 2001 und 2002 dargestellt.

Bild II.3 Energiekonzept „MAK“: Monatsverlauf des Gasverbrauchs in 2001 und 2002

Man erkennt, dass der Gesamtverbrauch in den verbrauchsschwachen Monaten (Sommer) auf ca. 9,5% des maximalen Winterverbrauchs sinkt. Dies zeigt eine eindeutige Abhängigkeit des Gasverbrauchs vom Heizwärmebedarf (Lüftungs- und Transmissionsverluste), da die Warmwasserbereitung im Bereich Museum dezentral mit Strom erfolgt und das Restaurant separat verfasst und abgerechnet wird.

Auf Grundlage der automatischen Fernerfassung des Gaszählers durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement wurde für das MAK ein Wochenlastverlauf des Gasverbrauchs im Winter und im Sommer erfasst und in Bild II.4 dargestellt.

Bild II.4 Energiekonzept „MAK“: Wochenverlauf des Gasverbrauchs im Winter/Sommer 03



Die Spitzenwerte in der Winterwoche liegen bei ca. 740 kW, bei einer Grundlast von ca. 300 kW. In den Sommermonaten fällt der Wärmebedarf auf eine Grundlast von 0-50 kW bei Spitzenwerten von 180 kW. Interessant ist, dass am Ruhetag (Montag) kein verminderter Bedarf erkennbar ist, im Gegenteil, die Maximalwerte im Winter ergeben sich an einem Montag (s. Maßnahme 3.6.III – Sanierung der MSR-Technik und Umschaltung auf GLT).

Verteilung des Heizwärme- und Brennstoffbedarfs

In Tafel II.3 ist die Verteilung des Heizenergie- und Brennstoffbedarfs für die einzelnen Bereiche dargestellt.

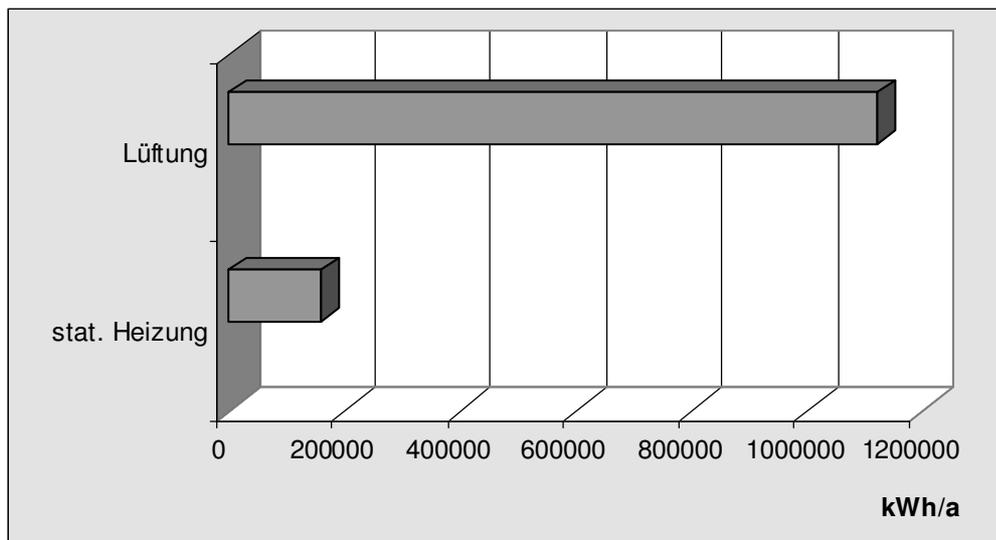
Tafel II.3 Energiekonzept „MAK“: Verteilung des Brennstoffbedarfs

Verbraucher	Verbrauch in kWh/a	Anteil an Gesamt-Brennstoffbedarf in %
Heizenergie Museum für Angewandte Kunst	1.303.355	68,7
Heizenergie Villa Metzler	242.530	12,8
Heizenergie Werkstattgebäude	99.495	5,2
Erzeugungsverluste	101.300	5,3
Verteilungsverluste	1.746.680	8,0
Gesamtbrennstoffbedarf	3.493.360	100%

Rund 13 % der eingesetzten Brennstoffenergie gehen durch Erzeugungs- und Verteilungsverluste ungenutzt verloren. Hauptverbraucher ist der Museumsbereich des MAK mit einem Anteil von rund 80 % am Gesamtverbrauch.

Im folgenden Bild ist die Verteilung des Jahreswärmeverbrauchs auf die statischen Heizflächen und die Lüftungsanlagen im MAK dargestellt.

Bild II.5 Energiekonzept „MAK“: Verteilung des Jahreswärmeverbrauchs des MAK auf die Raumbeheizungen



Die absoluten Verbräuche liegen bei ca. 160.000 kWh/a für die statischen Heizflächen und rund 1.120.000 kWh/a für die Lüftungs- und Klimaanlage.

2.III Wasserverbrauch (vgl. Abschnitt 2.3)

Die Wasserversorgung des Museums für Angewandte Kunst (einschl. dem verpachteten Restaurant) erfolgt über einen Einspeise- bzw. Messpunkt aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG. Die Messstelle mit zwei Zählern Nr. 212114 und 212115) befindet sich in einem Schacht auf dem Außengelände des MAK (s. Lageplan im Anhang 3.1.1.). Die jährlichen Abrechnungen der Mainova erhält das Amt für Wissenschaft und Kunst, Brückenstr. 3 in Frankfurt. Für das MAK ist derzeit der **AquaClassic-Tarif** der Mainova gültig.

Der Wasserverbrauch des verpachteten Bereichs (Restaurant, Küche, Personaldusche) wird mittels einem nicht geeichten internen Wasserzähler vom Personal des MAK separat erfasst und direkt zwischen dem Liegenschaftsamt der Stadt Frankfurt und dem Pächter abgerechnet.

Die jährlichen Wasserverbrauchswerte sowie die Bezugskosten des MAK für 2000 bis 2002 sind in der folgenden Tafel II.4 dargestellt.

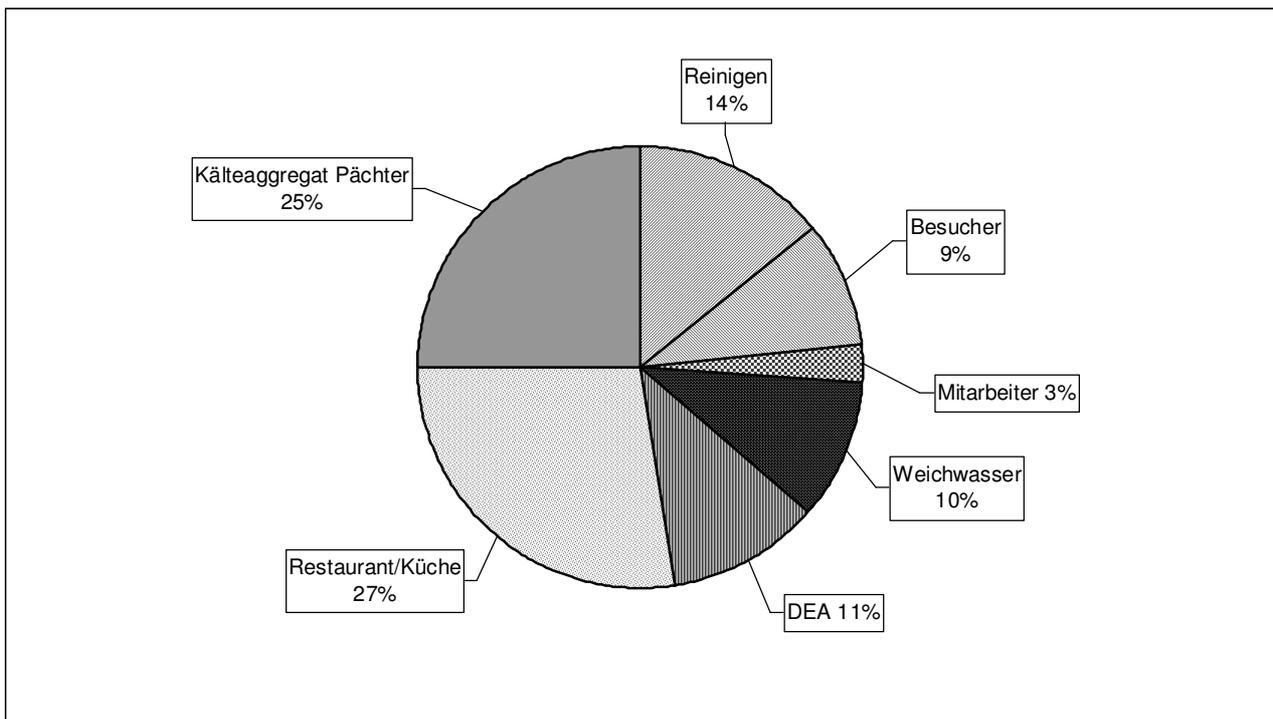
Tafel II.4 Energiekonzept „MAK“: Jahreswerte des Wasserbezugs und -kosten in 2000-2002

Jahr	Gesamtverbrauch in m ³ /a	Anteil Pächter in m ³ /a	Wasserkosten		
			Wasser in EUR	Kanal in EUR	Gesamt in EUR
2000	3.549	k.A.	7.476,03	6.260,29	13.736,32
2001	5.475	k.A.	10.186,31	8.913,27	19.099,58
2002	5.931	3.045	11.348,97	9.951,04	21.300,01

Der Wasserbezug und -kosten haben sich von 2000 - 2002 um 40% bzw. 35% erhöht. Der Grund für die Verbrauchssteigerung von 2000 zu 2001 liegt in der Installation eines wassergekühlten Kälteaggregates für die Kühlräume des Restaurants. Hierfür werden jährlich rund 1.450 m³ Trinkwasser zur Kühlung der Kältemaschine benötigt und dieses dann erwärmt ins Abwasser geleitet.

Von der Stadt Frankfurt werden jährlich für 50 % der eingesetzten Wassermenge für die Befeuchtung der Raumluft die Kanalbenutzungsgebühren zurückerstattet, die in Folge von Verdunstung und Versickerung nicht in die Entwässerungsanlage eingeleitet werden. Die Erfassung der Wassermenge erfolgt durch einen internen Wasserzähler (Nr. 2145237) der Weichwasseranlage. Die ange-rechnete Wassermenge lag in 2002 bei 297 m³ (50 % von 594 m³) und die erstattete Gebühr lag bei rund 490,- €.

In Bild II.6 ist die Verteilung des Wasserverbrauchs auf die einzelnen Verbrauchsgruppen zusammengestellt.

Bild II.6 Energiekonzept „MAK“: Prozentuale Verteilung des Wasserverbrauchs

Größter Bereich im MAK ist der Wasserbedarf für Putz und Reinigungszwecke mit 12 %. Der hier dargestellte Wasserverbrauch der Druckerhöhungsanlage (DEA) mit 12% des Gesamtverbrauchs ergibt sich durch ein unkontrolliertes und nicht gewünschtes "Abblasen" des Sicherheitsventils und ist umgehend abzustellen (s. Maßnahme 3.7.I).

Der verpachtete Restaurantbereich hat einen Anteil von über 50 % am Gesamtwasserverbrauch des MAK. Hierbei fällt der enorme Wasserverbrauch zur Kühlung des Kälteaggregats ins Gewicht. Die vom Pächter hierfür zu tragenden Wasserkosten liegen bei jährlich rund 5.600,- EUR.

II.4 Gesamtenergiekosten

In der folgenden Tafel II.5 sind die Gesamtenergiekosten für das MAK zusammengestellt.

Tafel II.5 Energiekonzept „MAK“: Jahreskosten für den Energie- und Wasserbezug in 2001 und 2002

Jahr	Gesamt 2001	Gesamt 2002
Stromkosten in €	151.867,-	148.920,-
Erdgasbezugskosten in €	80.533,-	61.500,-
Wasserkosten (nur MAK) in €	7.340,-	9.540,-
GESAMT in €/a	239.740,-	219.960,-

Die Jahresgesamtenergiekosten lagen in den beiden vergangenen Jahren zwischen 220.000,- und 240.000,- €. Dies entspricht spezifischen Kosten von ca. **2,30 € pro Besucher**. Den Hauptanteil haben die Stromkosten mit rund 67 %, die Erdgaskosten liegen bei 28 % und die Wasserkosten betragen nur 5 %.

II.5 Vergleich Verbrauchswerte anhand spezifischer Kenndaten

In einem Forschungsbericht der ages GmbH wurden für unterschiedliche Gebäudetypen, in Abhängigkeit von der Brutto-Grundrissfläche und den tatsächlichen Verbrauchswerten, spezifische Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser zusammengestellt. Diese ermöglichen eine Einordnung und Bewertung der Verbrauchswerte des Museums für Angewandte Kunst.

Tafel II.6 Energiekonzept „MAK“ – Vergleich spezifischer Verbrauchskennwerte von Museen

Verbrauchsgruppe	ages-Studie 96 - Mittelwerte	MAK	Beurteilung
Heizenergie	85 kWh/m ² *a	174 kWh/m ² *a	Hoch
Strom	22 kWh/m ² *a	184 kWh/m ² *a	Sehr hoch
Wasser (ohne Restaurant)	246 l/m ² *a	206 l/m ² *a	Mittel

Die ermittelten spezifischen Verbrauchsdaten für das MAK liegen im Wärme und Strombereich deut-

lich über den Mittelwerten der ages-Studie. Auch unter Berücksichtigung, dass die Nutzung und technische Ausstattung des MAK im Vergleich zu den Museen der ages-Studie höher sein könnte, lässt die deutliche Überschreitung der spezifischen Kennwerte auf ein erhebliches Einsparpotential schließen, das es zu aktivieren gilt.

Der spezifische Wasserverbrauch für das MAK ohne Restaurant kann als in Ordnung bewertet werden.

II.6 Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung (*Maßnahme 2.4.1*)

Für den verpachteten Bereich des Restaurants mit Küche erfolgt derzeit eine separate Erfassung und direkte Abrechnung mit der Mainova für folgende Bereiche bzw. Medien:

Strom: Gesamte Beleuchtung und Ausstattungsgegenstände (u.a. Küche)

Gas: Bedarf für die Warmwasserbereitung

Der Wasserverbrauch wird mittels internem Zähler erfasst und durch das Liegenschaftsamt direkt mit dem Pächter abgerechnet (s. Abschnitt 2.3).

Für eine bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung sind für den verpachteten Bereich des Restaurants mit Küche folgende Zähleinrichtungen zu ergänzen bzw. zu reparieren, da die Kosten hierfür derzeit noch vom MAK an die Mainova bezahlt werden.

Strom: Stromzähler für Lüftungsanlage „Restaurant“ und Abluftanlage „Küche“.

Wärme: Wärmemengenzähler für statischen Heizkreis „Restaurant“ und für den Luftherhitzer der RLT-Anlage „Restaurant“ mit Nacherhitzern

In Tafel II.6 sind die Investitionskosten für die bedarfsgerechte Verbrauchserfassung des untervermieteten Bereichs sowie eine grobe Abschätzung der dadurch getrennt erfassbaren und abrechenbaren Energiekosten für die einzelnen Bereiche zusammengestellt.

Tafel II.6 Energiekonzept „MAK“ – Zusammenstellung der Investitionskosten sowie Abschätzung der jährlich erfassten Energiekosten für getrennte Bereiche

Bereich	Investition in €	Erfasste Stromkosten in €/a	Erfasste Wärmekosten in €/a
Zu- und Abluftanlage Restaurant	9.650,-	1.600,-	4.800,-
Abluftanlage Küche		1.300,-	-
Statische Heizung Restaurant	1.000,-		1.110,-
Gesamt	10.650,-	2.900,-	5.910,-

Die Investitionskosten für die getrennte Verbrauchserfassung und -abrechnung des untervermieteten Bereichs im MAK belaufen sich auf knapp 10.700,- €. Dem stehen jährliche Energiekosten in Höhe von ca. 8.800,- € gegenüber, die nicht mehr vom MAK bezahlt werden müssen, sondern an die Pächter weitergegeben werden können.

III. Stammdaten des Gebäudes und der betriebstechnischen Anlagen

III.1 Gebäude (vgl. Abschnitt 3.2)

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

Ermittlung des Heizwärmebedarfs

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

Der Heizwärmebedarf des Museums für Angewandte Kunst ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf für Transmission und Lüftung abzüglich der Wärmegewinne. In der folgenden Tafel sind die Ergebnisse für die drei Gebäude zusammengestellt.

Tafel III.1 Energiekonzept „MAK“ - Heizwärmebedarf der Gebäude

		MAK	Villa	Werkstatt	
Heizwärmebedarf	$Q_H=Q_V-Q_G$	1.303.355	242.530	99.495	in kWh/a
Energiekennwert Heizwärme	Q_H/EBF	162,9	228,8	208,1	in kWh/m²a
Grenzwert		75,0	75,0	75,0	in kWh/m ² a
Grenzwertüberschreitung		117	205	178	in %
Grenzwert erfüllt		nein	nein	nein	

Die Berechnungen des Jahresheizwärmebedarfs nach dem Hessischen Nachweisverfahren zeigen für alle drei Gebäude eine Grenzwertüberschreitung zwischen 117 und 205 % gegenüber einem Gebäude, das nach energetischen Optimierungsgesichtspunkten errichtet wurde. Die genannten Grenzwertüberschreitungen zeigen ein relevantes Einsparungspotential, das durch bauliche Wärmeschutzmaßnahmen realisiert werden könnte.

Der derzeitige Wärmeschutz und der Heizenergiebedarf des MAK-Gebäudekomplexes können wie folgt bewertet werden:

- Der nach dem Hüllflächenverfahren rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf aller drei Gebäude beträgt **1.645,4 MWh** für die Raumbeheizung. Der Gebäudewärmebedarf liegt bei rund **977 kW**, was einem spezifischen Wärmebedarf von **102 Watt 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 **173 kWh/m²*a** um **230 %** überschritten. Aus den ermittelten Werten kann somit ein relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden, das durch bauliche Wärmeschutzmaßnahmen realisiert werden könnte.
- Die drei Baukörper (Quadranten) des Museums für Angewandte Kunst stellen einen relativ guten Dämmstandard dar (u-Wert Außenwand < 0,5W/m²K / Außenfenster <1,8 W/m²K). Des weiteren ist davon auszugehen, dass energetische Optimierungsmaßnahmen, aufgrund der „geschützten“

Architektur, nicht zu realisieren sind.

- An den Fenstern der Ausstellungsbereiche im MAK wurden nachträglich Vorsatzfenster im Innenbereich ergänzt (Kastenfenstersystem). Da aber die Abluftöffnungen der Lüftungsanlage „Ausstellung“ nun in diesem Kastenbereich liegen, wurden unterhalb der Fenster Lüftungsgitter zur Abluftansaugung aus den Ausstellungsräumen hergestellt. Dieses System muss beibehalten werden, um die Zu- und Abluftverhältnisse im Ausstellungsraum nicht zu verändern.
- Im Außenbereich der Fenster des MAK lösen sich an verschiedenen Stellen die Dichtungen zwischen Glas und Rahmen. Daraus ergeben sich zusätzliche Lüftungswärmeverluste. Der Anteil dieser defekten Dichtungen an der Gesamtfensterfläche liegt bei ca.5 % (Maßnahme 3.2.V).
- Bei der Villa Metzler und dem Werkstattgebäude stellen die Außenwände und die Kasten- bzw. zweifachverglaste Fenster einen erheblichen Schwachpunkt dar. Eine Optimierung des Wärmeschutzes der beiden älteren Gebäude ist anzustreben, wobei für die Villa Metzler die Auflagen des Denkmalschutzes berücksichtigt werden müssen.
- Für die Villa Metzler werden in 2003, aufgrund von Undichtigkeiten im Dachbereich, punktuelle Sanierungsarbeiten (Abdichtungen im Kehlbalckenbereich und bei einigen Fenstern) durchgeführt¹. Nach Mitteilung des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt wird, aufgrund nicht zur Verfügung stehender Geldmittel, aber keine flächige Dachsanierung durchgeführt bzw. es werden keine weiteren Maßnahmen realisiert, die zu einer weiteren Optimierung vorgeschlagener Maßnahmen führen (z.B. Verstärkung der Dämmdicke durch Abnehmen der Heizkörper).

III.2 Betriebstechnische Anlagen

Hinsichtlich des Zustandes und der Konzeption werden die einzelnen betriebstechnischen Anlagen im Museum für Angewandte Kunst in den folgenden Abschnitten bewertet und Hinweise auf die entsprechenden Sanierungs- bzw. Optimierungsmaßnahmen gegeben.

III.2.1 Wärmeversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.3)

- Rechnerisch ist eine Kesselleistung von ca. 975 kW für die drei zu versorgenden Gebäude ausreichend. Die installierte Kesselleistung mit 1.262 kW liegt somit rund **22 %** über dem Wärmebedarf der drei Gebäude (s. Maßnahme 3.3.II).
- Um den sommerlichen Wärmebedarf des MAK (max. 40 kW) decken zu können, muss nur einer der beiden Heizkessel in Betrieb sein. Der zweite Kessel kann außer Betrieb genommen werden (s. Maßnahme 3.3.IV).
- Die installierten Heizkessel haben mit 20 Jahren ihre technische Lebensdauer erfüllt. Da schon einige Reparaturen (Schweißung des Kesselkörpers) durchgeführt wurden, ist hier im Zuge der Bauerhaltung kurz- bis mittelfristig Modernisierungsbedarf vorhanden (Maßnahme 3.3.III).
- Von den installierten Umwälzpumpen werden die Doppelpumpen des Heizkreises "Lüftungsanla-

¹ Festgelegter u-Wert nach ENEV muss nicht eingehalten werden, da weniger als 20 % des Bauteils saniert werden.

gen" mit elektronischer Drehzahlregelung, die derzeit defekt ist, betrieben. Somit könnte diese und die derzeit noch ungeregelten Primär- und Sekundärpumpen der statischen Heizflächen und die Sekundärpumpen der Kältekreisläufe durch drehzahlgeregelte Pumpen ersetzt werden, da derzeit ein überhöhter Stromverbrauch verursacht wird. Im Rahmen einer Modernisierung bzw. Austausches muss gemäß EnEV eine selbsttätig in 3 Stufen regelbare elektronische Pumpe eingebaut werden (s. Maßnahme 3.3.I).

- Für eine exakte Verbrauchserfassung und -abrechnung sollte der Wärmeverbrauch des verpachteten Restaurantbereichs (statischer Heizkreis sowie die Lüftungsanlage „2.6 Restaurant / Küche“) mittels Wärmemengenzähler erfasst werden. Eine Aufschaltung der Messeinrichtung auf eine zukünftige GLT ist vorzusehen (s. Maßnahme 2.4.I).

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

- Insgesamt sind 24 Lüftungsgeräte im MAK installiert. Davon verfügen 5 Anlagen über eine Kühlfunktion, 8 Geräte sind kombinierte Zu- und Abluftgeräte und 16 reine Fort- bzw. Zuluftanlagen. Sämtliche energetisch relevanten Anlagen verfügen über eine Mischlufteinheit in denen ein Stoff- und Wärmeaustausch erfolgt. Wärmerückgewinnungssysteme als Wärmetauscher sind nicht installiert.
- Die Ventilatoren der zentralen Zu- und Abluftgeräte wurden und werden in den vergangenen Jahren schrittweise gegen neue Ventilatoren mit einem höheren Wirkungsgrad ausgetauscht. Mit anderen technischen Bauteilen (u.a. Motoren) wird in gleicher Weise verfahren.
- Die Betriebszeiten der Lüftungsanlagen können teilweise reduziert werden, da die Nutzungsanforderungen sich mittlerweile geändert haben (s. Maßnahme 3.4.I).
- Von allen betriebstechnischen Anlagen, die in dem MAK betrieben werden, stellen die Lüftungssysteme „Ausstellung 1.-3. Quadrant“ die relevantesten „Wärme- und Stromverbraucher“ dar. Die hierzu benötigten raumlufttechnischen Anlagen, die einen Zu- und Abluftvolumenstrom von 75.800 m³/h aufweisen, entsprechen in ihrer technischen Konzeption nicht den Anforderungen an die Raumluftqualität. Derzeit werden die RLT-Anlagen, nicht lastabhängig, sondern ganzjährig im Volllastbetrieb gefahren.

Des Weiteren trägt zu einem überhöhten Heizwärmeverbrauch die Tatsache bei, dass bei der Anlage „1.1 Ausstellung“ die Zulufttemperaturen im Heizfall (bei niedriger Außenluftfeuchte) zu hoch sind. Wird im Winter Heizwärme benötigt, so wird relativ trockene Außenluft angesaugt, die nach der Abluftbeimischung eine Temperatur von bis zu 21 °C erreichen kann und somit im Befeuchter die erforderliche relative Feuchte von 88-90% nicht erreicht. Anschließend wird diese Zuluft auf bis zu 40 °C erwärmt, um die nötige Raumtemperatur zu gewährleisten. Damit sinkt jedoch die rel. Feuchte auf z.T. unter 30%, bei einer geforderten rel. Feuchte von 55%. Hier muss u.a. die Anordnung der Befeuchtungsanlage geändert werden (s. Maßnahme 3.4.II).

III.2.3 Kälteversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.5)

Kälteversorgungsanlagen MAK

- Die jährlich erzeugte Kältemenge liegt bei rund 632.700 kWh. Die beiden Kältemaschinen verbrauchen zusammen jährlich 288.150 kWh Strom. Dies entspricht einem Anteil von rund 15,5 % am Gesamtstromverbrauch des MAK.
- Die beiden Kältemaschinen werden über ein Freigabethermostat in Betrieb gesetzt und befinden sich somit über das gesamte Jahr im Stand-by-Betrieb. Die Maschinen werden durch eine Folgeschaltung im täglichen Wechsel gefahren. Die nicht genutzte Maschine wird im Standby-Betrieb gehalten. Beide Kältemaschinen laufen nur ca. 3 Wochen im Jahr im Parallelbetrieb. (s. Maßnahme 3.5.II).
- Eine hydraulische Trennung der beiden Kältemaschinen ist nicht vorhanden. Dadurch kann es jedoch beim Betrieb von nur einer Maschine zu undefinierten Mischtemperaturen kommen. Hier sollte für jeden Erzeuger eine elektrische Absperrklappe vorgesehen werden (s. Maßnahme 3.5.II).
- Die Umwälzpumpen im Sekundär-Kaltwassernetz werden unregelt betrieben, was zu einem überhöhten Strombedarf für den Anlagenbetrieb führt (s. Maßnahme 3.5.I).
- Zur Reduzierung der Kühllast durch Sonneneinstrahlung sind in den klimatisierten Bereichen des MAK Sonnenschutzeinrichtungen vorgesehen. Zum einen sind in den Kastenfenster Jalousien und zum anderen nachträglich vorgesehene innenliegende Vorhänge installiert. Die Steuerung der Sonnenschutzeinrichtungen entspricht nicht mehr dem Stand der Technik. Die Jalousien werden mittels einer Zeitschaltuhr hoch und runter gefahren. Ein Schließen bzw. Öffnen in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung erfolgt nicht. Teilweise werden geschlossene Jalousien nach dem automatischen Herunterfahren wieder von Hand geöffnet. Hier ist eine Erneuerung der Steuerung vorzusehen (s. Maßnahme 3.5.I).

Kälteversorgungsanlage Pächter - Restaurant

Im Jahre 2000 wurde, aufgrund einer Erweiterung der Kühlraumkapazität des Restaurants, ein neues wassergekühltes Kälteaggregat in der Technikzentrale-UG installiert. Die Überprüfung vor Ort ergab, dass eine erhebliche Trinkwassermenge (ca. 2,8 l/min) zur Kühlung des Aggregates benötigt wird und erwärmt (ca. 30 °C) in den Kanal geleitet wird. Hierbei ist von einem Dauerbetrieb auszugehen, da die versorgten Kühlbereiche durchgängig ganzjährig gekühlt werden müssen. Hier sollte auf jeden Fall eine Umrüstung auf einen luftgekühlten Verflüssiger erfolgen, wobei der Verdichter weitergenutzt werden kann (s. Maßnahme 3.5.IV).

III.2.4 Elektroanlagen und Regelungstechnik (vgl. Abschnitt 3.6)

- In den beiden vergangenen Jahren wurden die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug in Höhe von jährlich rund 2.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache geht auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensationsanlage zurück (s. Maßnahme 3.6.I).
- Leuchten mit KVG sollten im Zuge der Bauunterhaltung gegen Leuchten mit EVG ausgetauscht werden. Der alleinige Austausch der Vorschaltgeräte ist mit ähnlichen Kosten verbunden wie der komplette Leuchtenwechsel und wird daher nicht empfohlen.
- Das MAK verfügt über eine MSR-Technik, die mit einem Alter von über 20 Jahren ihre technische Lebensdauer überschritten hat und nicht mehr dem Stand der Technik entspricht. Regelfunktionen können nur noch ungenügend durchgeführt werden, Eingriffe in die Bedienung sind schwierig und Ersatzteile kaum noch zu bekommen.

Doch gerade im Hinblick auf eine bedarfsgerechte Betriebsweise, der Versorgungssicherheit und dem exakten Einhalten des „Raumklimas“ in den Ausstellungsbereichen ist eine entsprechende DDC-Regelung dringend notwendig (s. Maßnahme 3.6.IIIa).

- Um eine bedarfsgerechte und zeitnahe Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung einzelner Anlagen) zu erreichen und um entsprechende Überwachungs- und Regelfunktionen durchführen zu können, sollte das Museum für Angewandte Kunst, wie bereits andere städtische Objekte (u.a. Römer, Schirn) an die übergeordnete GLT-Technik des Hochbauamtes „Abteilung Technisches Gebäudemanagement“ angeschlossen werden (s. Maßnahme 3.6.IIIb).

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 sind durch das Betriebspersonal auf geringstmöglichen Verbrauch (6 Liter je Spülgang) eingestellt worden. Wassersparfunktionen sind vorhanden.
- Aufgrund einer fehlerhaften Einregulierung des Sicherheitsventils der Druckerhöhungsanlage (DEA) kommt es fortlaufend zu einem unkontrollierten und unerwünschten Abblasen von Wasser (s. Maßnahme 3.7.I).

IV. Maßnahmenkatalog nach Priorität

Bei der Erstellung eines Maßnahmenkataloges wurden folgende Prioritäten beachtet:

- Betriebssicherheit
- Wirtschaftlichkeit
- 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 Museum für Angewandte Kunst.

Maßnahmen 1. Priorität

Maßnahme I.1:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.IV – Abschalten eines Heizkessels in den Sommermonaten
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3 und 4.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Wegschalten und abschiebern von einem der beiden Heizkessel in den Sommermonaten (Juni-August)</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>keine</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Erdgas - 27.100 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>1.810,- €/a</i>
Amortisation	<i>sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Im Sommer 2004</i>

Maßnahme I.2:

Maßnahmenbezeichnung	3.4.I – Optimierung der Betriebszeiten der RLT-Anlagen
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.4 und 4.4</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Anpassen der Laufzeiten der Lüftungsanlagen „1.5 Vortrags- + Proj.-Raum“, „2.5 Windfang“ + „3.5 – Windfang“ an den tatsächlichen Bedarf (Regelung)</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>keine</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Erdgas - 25.900 kWh/a und Strom - 5.250 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>1.450,- €/a</i>
Amortisation	<i>sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2003-2004</i>

Maßnahme I.3:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.II – Abschalten der Kompakt-Leuchtstoffleuchten in der Bibliothek (Regal)
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Abschalten (manuelles Stilllegen) von ca. 50 % der installierten Leuchten im Regalbereich der Bibliothek</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>keine</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom - 5.000 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>440,- € / a</i>
Amortisation	<i>Sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.4:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.I – Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Überprüfung und ggf. Reparieren der Blindstromkompensationsanlage</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>4.500,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>keine</i>
Energiekostenreduzierung:	<i>2.000,- € / a</i>
Amortisation	<i>2,0 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.5:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.IV – Umrüstung Kälteaggregat Pächter auf luftgekühlten Betrieb
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5 und 4.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau eines luftgekühlten Verflüssigers im Außenbereich UG für das Kälteaggregat</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll und Reduzierung des Wasserverbrauchs</i>
Investition:	<i>5.200,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Wassereinsparung:	<i>Wasser – 1.450 m³/a</i>
Wasser- und Umweltfolgekostenreduzierung:	<i>7.180,- €/a</i>
Amortisation	<i>0,8 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.6:

Maßnahmenbezeichnung	3.7.I – Reduzierung der Abblasverluste des Sicherheitsventils der Druckerhöhungsanlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.7 und 4.7</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einstellen der Druckverhältnisse am Sicherheitsventil und ggf. Austausch des Sicherheitsventils</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll und Reduzierung des Wasserverbrauchs</i>
Investition:	<i>350,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom - 2.400 kWh/a und Wasser - 650 m³/a</i>
Energie- und Umweltfolge- Kostenreduzierung:	<i>3.900,- €/a</i>
Amortisation	<i>0,1 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.7:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.V – Zirkulationsunterbrechung in WWB - Restaurant
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3 und 4.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau einer Zeitschaltuhr zum Abschalten der Zirkulationspumpe außerhalb der Öffnungszeiten</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Brutto-Investition:	<i>250,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Erdgas - 6.750 kWh/a, Strom 190 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge- Kostenreduzierung:	<i>380,- € / a</i>
Amortisation	<i>0,8 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.8:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.III – Anpassen der Brennerleistung an den tatsächlichen Bedarf
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3 und 4.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Reduzierung der Brennerleistung durch Verminderung des Gasdurchsatzes durch Fachfirma</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>1.800,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Erdgas - 16.600 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolgekostenreduzierung:	<i>1.150,- €/a</i>
Amortisation	<i>1,7 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort bzw. im Rahmen der nächsten Wartung der Kesselanlage</i>

Maßnahme I.9:

Maßnahmenbezeichnung	2.1.I – Korrektur der falschen Stromrechnungen von April und Juli 2002
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 2.1</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Korrektur der Stromrechnung durch die Mainova AG</i>
Grund:	
Investition:	<i>keine</i>
Nutzungszeit:	
Energieeinsparung:	
Energiekosten:	<i>Mehrkosten Rechnung April 2002: :9.970,- € Minderkosten Rechnung Juli 2002: 6.360,- € / a</i>
Amortisation	<i>Sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.10:

Maßnahmenbezeichnung	2.4.1 – Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung- und Abrechnung
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 2.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv und organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Erfassung und Abrechnung von Energieverbräuchen, die derzeit vom MAK bezahlt werden, aber dem Pächter zuzuordnen sind durch Trennung von Verbrauchsbereichen sowie Einbau von Zähleinrichtungen für Strom- und Wärme</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>10.700,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>-</i>
Energiekostenreduzierung:	<i>8.810,- € / a (Durch Weitergabe der Kosten an Pächter)</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2004</i>

Maßnahme I.11:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.1 – Optimierung der Heizungsumwälzpumpen für statische Heizkreise
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3 und 4.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der unregulierten Heizungs- Umwälzpumpe durch neue dem tatsächlichen Bedarf angepasste drehzahlregelter Pumpen.</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll sowie Auflage EnEV (bei Ersatz)</i>
Investition:	<i>7.920,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom - 17.330 kWh/a und 0,45 kW</i>
Energie- und Umweltfolge-Kostenreduzierung:	<i>2.335,- € / a</i>
Amortisation	<i>3,9 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Vor der Heizperiode 2004/2005</i>

Maßnahme I.12:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.III – Sanierung der MSR-Technik und Umschalten auf GLT
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv und organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Sanierung der vorhandenen MSR-Technik durch Einbau neuer DDC-Unterstationen und Umschalten der Stationen auf die GLT der Abteilung Technisches Gebäudemanagement des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt.</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll, Bauerhaltung</i>
Investition:	<i>181.540,- € (wird die Maßnahme I.13 - “3.4.II – Optimierung der Lüftungssysteme in den Ausstellungsbereichen MAK“ vorher realisiert, so reduzieren sich die Investitionskosten auf 145.000,- €)</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom - 142.500 kWh/a, Erdgas – 125.650 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>28.750,- €/a</i>
Amortisation	<i>8,2 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2004</i>

Maßnahme I.13:

Maßnahmenbezeichnung	3.4.II – Optimierung der Lüftungssysteme in den Ausstellungsbereichen MAK
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.4 und 4.4</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv und organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Umrüstung der Ausstellungslüftungsgeräte (Einbau WRG, neue Ventilatoren/Motoren, Nacherhitzer, Regelung) sowie Umbau der Befeuchter-Lufterhitzer-Anordnung in Lüftungsgerät „1.1 Ausstellung 1. Quadrant“</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>250.250,- € (wird die Maßnahme I.12 - “3.6.III – Sanierung der MSR-Technik“ vorher realisiert, so reduzieren sich die Investitionskosten auf 214.500,- €)</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom - 246.800 kWh/a, Erdgas – 64.100 kWh/a</i>

Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: 36.520,- €/a
Amortisation 9,1 Jahre
Zeitpunkt der Realisierung: In 2004

Maßnahmen 2. Priorität

Maßnahme II.1:

Maßnahmenbezeichnung **3.2.II – Dämmung Heizkörpernischen in der Villa Metzler**
Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2 und 4.2*
Art der Maßnahme *Investiv*
Beschreibung: *Anbringen einer Dämmplatte (1cm) hinter den Heizkörpern*
Grund *Wirtschaftlich und energetisch sinnvoll*
Investition: 3.000,- €
Nutzungszeit: 25 Jahre
Energieeinsparung: *Erdgas: 8.290 kWh/a*
Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: 480,- € / a
Amortisation 8,1 Jahre
Zeitpunkt der Realisierung: 2004-2005

Maßnahme II.2:

Maßnahmenbezeichnung **3.5.I – Optimierung 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 und wirtschaftlich sinnvoll sowie Auflage EnEV (bei Ersatz)*
Investition: 11.950,- €
Nutzungszeit: 15 Jahre
Energieeinsparung: *Strom - 14.350 kWh/a*
Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: 1.890,- € / a

Amortisation *8,2 Jahre*
Zeitpunkt der Realisierung: *In 2004*

Maßnahme II.3:

Maßnahmenbezeichnung ***3.2.I – Dämmung des unteren Fensterbereichs im MAK***
Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2 und 4.2*
Art der Maßnahme *Investiv*
Beschreibung: *Anbringen einer Gipskarton-Hartschaumverbundplatte an den unteren Bereichen der verdunkelten Fenster im MAK*
Grund *Wirtschaftlich sinnvoll*
Investition: *15.180,- €*
Nutzungszeit: *25 Jahre*
Energieeinsparung: *Erdgas: 30.130 kWh/a*
Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: *1.740,- € / a*
Amortisation *12,7 Jahre*
Zeitpunkt der Realisierung: *2004-2005*

Maßnahme II.4:

Maßnahmenbezeichnung ***3.5.II – Hydraulische Trennung der Kältemaschinen und Abschalten in den Wintermonaten***
Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.5 und 4.5*
Art der Maßnahme *Investiv und organisatorisch*
Beschreibung: *Einbau von Motor-Absperrklappen vor den Kältemaschinen und Stilllegung der Maschinen in den Wintermonaten*
Grund *Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll sowie Bauerhaltung / Versorgungssicherheit*
Investition: *4.500,- €*
Nutzungszeit: *15 Jahre*
Energieeinsparung: *Strom - 3.700 kWh/a*
Energie- und Umweltfolge-

Kostenreduzierung: 625,- €/a
Amortisation 9,7 Jahren
Zeitpunkt der Realisierung: In 2004

Maßnahme II.5:

Maßnahmenbezeichnung **3.2.V – Erneuerung Dichtungen an den Fenstern MAK**
Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2 und 4.2*
Art der Maßnahme *Investiv*
Beschreibung: *Erneuerung der Dichtungen zwischen Glas und Rahmen an Teilen der Fenster im MAK durch neue Silikondichtungen*
Grund *Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll*
Investition: 7.200,- €
Nutzungszeit: 25 Jahre
Energieeinsparung: *Erdgas: 12.800 kWh/a*
Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: 740,- € / a
Amortisation 15,0 Jahre
Zeitpunkt der Realisierung: *In 2004-2005*

Maßnahme II.6:

Maßnahmenbezeichnung **3.2.IV – Dämmung Kellerdecke Werkstattgebäude**
Erläuterungen im Konzept: *Abschnitt 3.2 und 4.2*
Art der Maßnahme *Investiv*
Beschreibung: *Anbringen einer Wärmedämmung (6 cm) an der Unterseite der Kellerdecke des Werkstattgebäudes*
Grund *Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll*
Investition: 3.215,- €
Nutzungszeit: 25 Jahre
Energieeinsparung: *Erdgas: 5.570 kWh/a*
Energie- und Umweltfolge-
Kostenreduzierung: 320,- € / a
Amortisation 15,7 Jahre
Zeitpunkt der Realisierung: *In 2004-2005*

Maßnahmen 3. Priorität

Maßnahme III.1:

Maßnahmenbezeichnung	3.2.III – Dämmung Außenwand Werkstattgebäude
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.2 und 4.2</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems (14 cm) an der Außenwand des Werkstattgebäudes</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll</i>
Investition:	<i>62.700,- € (Bei anstehender Fassadenrenovierung nur Mehrkosten für WDVS = 28.500,- €)</i>
Nutzungszeit:	<i>25 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Erdgas: 65.170 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolgekostenreduzierung:	<i>3.770,- € / a</i>
Amortisation	<i>Keine bzw. 10,4 Jahre bei Sanierung der Fassade</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Bei anstehender Fassadenrenovierung</i>

Maßnahme III.2:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.II – Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3 und 4.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Installation von zwei Gas-Brennwertkessel mit Anpassung der Wärmeleistung an den tatsächlichen Bedarf</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll - Bauerhaltung</i>
Investition:	<i>100.980,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>20 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Erdgas - 66.400 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolgekostenreduzierung:	<i>4.430,- €/a</i>

Amortisation

Keine

Zeitpunkt der Realisierung: *Bei Zunahme von Störungen bzw. Überschreitung der Grenzwerte für Abgasverluste*

Anhang zur Zusammenfassung– Übersicht der untersuchten Maßnahmen

Maßnahmen 1. Priorität

Maßnahmen- bezeichnung	Erläuterungen im Konzept - Abschnitt Abschnitt	Art der Maßnahme	Grund	Investition in EUR	Nutzungs- zeit in a	Energie- und Wasser- einsparung	Energie- u. Umwelt- Folgekosten- reduzierung In EUR	Amorti- sation in a	Zeitpunkt der Realisierung
3.3.IV Abschalten eines Kessels im Sommer	3.3 und 4.3.	Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	Keine	15	Gas 27.100 kWh/a	1.810,-	Sofort	Im Sommer 2004
3.4.I Optimierung Betriebszeiten RLT-Anlagen	3.4 und 4.4.	Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	Keine	15	Gas 25.900 kWh/a Strom 58.000 kWh/a	1.450,-	Sofort	In 2003-2004
3.6.II Abschalten Leuchten in Bibliothek	3.6 und 4.6	Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	keine	15	Strom 5.000 kWh/a	440,-	Sofort	Sofort
3.6.I Erneuerung Blindstromkompensation	3.6 und 4.6	Investiv	Wirtschaftlich	4.500,-	15		2.000,-	2,0	Sofort
3.5.IV Umrüstung Kälte-Aggregat Restaurant	3.5 und 4.5	Investiv	Wassereinsparung u. Wirtschaftlich	5.200,-	15	Wasser 1.450 m³/a	7.180,-	0,8	Sofort
3.7.I Reduzierung Abblasverluste DEA	3.7 und 4.7	Investiv	Wassereinsparung u. Wirtschaftlich	350,-	15	Wasser 650 m³/a Strom 2.400 kWh/a	3.900,-	0,1	Sofort
3.3.V Zirkulationsunterbr. WWB-Restaura.	3.3 und 4.3	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	250,-	15	Gas 6.750 kWh/a Strom 190 kWh/a	380,-	0,8	Sofort
3.3.III Anpassen Brennerleistung an Bedarf	3.3 und 4.3	Investiv	Energetisch und wirtschaftlich	1.800,-	15	Gas 16.600 kWh/a	1.150,-	1,7	Bei nächster Wartung
2.1.I Korrektur falscher Stromrechnungen	2.1	Organisatorisch		Keine			April Mehrko. 9.970,- Juli Minderko 6.360,-	Sofort	Sofort
2.4.I Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung	2.5	Investiv und Organisatorisch	Wirtschaftlich	10.700,-	15		8.810,- (Kostenweitergabe)		In 2004
3.3.I Optimierung Heizungspumpen	3.3 und 4.3	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	7.920,-	15	Strom 17.330 kWh/a 0,45 kW	2.335,-	3,9	Vor Heizperiode 2004/2005
3.6.III Sanierung MSR u. Aufschalten GLT	3.6 und 4.6	Investiv u. Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	181.540,- (144.790,-)	15	Strom 142.500 kWh/a Gas 125.650 kWh/a	28.750,-	8,2	In 2004
3.4.II Optimierung RLT Ausstellung	3.4 und 4.4.	Investiv u. Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	214.500,- (250.250,-)	15	Gas 64.100 kWh/a Strom 246.800 kWh/a	36.520,-	9,1	In 2004
GESAMT				426.760,-		Gas 266.100 kWh/a Strom 472.220 kWh/a Wasser 2.100 m³/a	85.915,-		

Maßnahmen 2. Priorität

Maßnahmen- Bezeichnung	Erläuterungen im Konzept - Abschnitt Abschnitt	Art der Maßnahme	Grund	Investition in EUR	Nutzungs- zeit in a	Energie- und Wasser- einsparung	Energie- u. Umwelt- Folgekosten- Reduzierung In EUR	Amorti- sation in a	Zeitpunkt der Realisierung
3.2.II Dämmen Heizkörper- nischen Villa Metzler	3.2 und 4.2	Investiv	Wirtschaftlich	3.000,-	25	Gas 8.290 kWh/a	480,-	8,1	2004-2005
3.5.I Optimierung Kaltwasserpumpen	3.5 und 4.5	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	11.950,-	15	Strom 14.350 kWh/a	1.890,-	8,2	In 2004
3.2.I Dämmung unterer Fensterbereich MAK	3.2 und 4.2	Investiv	Wirtschaftlich	15.180,-	25	Gas 30.130 kWh/a	1.740,-	12,7	2004-2005
3.5.II Hydr. Trennung KM und Wegschalten Winter	3.5 und 4.5	Investiv und organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	4.500,-	15	Strom 3.700 kWh/a	625,-	9,7	In 2004
3.2.IV Dichtungen an Fenstern MAK	3.2 und 4.2	Investiv	Wirtschaftlich	7.200,-	25	Gas 12.800 kWh/a	740,-	15,0	2004-2005
3.2.IV Dämmen Keller- decke Werkstattgeb.	3.2 und 4.2	Investiv	Wirtschaftlich	3.215,-	25	Gas 5.570 kWh/a	320,-	15,7	2004-2005
GESAMT				37.845,-		Gas 43.990 kWh/a Strom 18.050 kWh/a	5.795,-		

Maßnahmen 3. Priorität

Maßnahmen- Bezeichnung	Erläuterungen im Konzept - Abschnitt Abschnitt	Art der Maßnahme	Grund	Investition in EUR	Nutzungs- zeit in a	Energie- und Wasser- einsparung	Energie- u. Umwelt- Folgekosten- Reduzierung In EUR	Amorti- sation in a	Zeitpunkt der Realisierung
3.2.III Dämmen Außen- wand Werkstattgebäude.	3.2 und 4.2	Investiv	Energetisch sinnvoll Bauerhaltung	62.700,- (Nur WDVS 28.500,-)	25	Gas 65.170 kWh/a	3.770,-	Keine (WDVS 10,4)	Bei anstehender baulicher Sanierung
3.3.II Erneuerung Wärmeerzeugung	3.3 und 4.3	Investiv	Energetisch sinnvoll Bauerhaltung	100.980,-	15	Gas 66.400 kWh/a	4.430,-	-	Bei anstehender Sanierung
GESAMT				129.480,-		Gas 131.570 kWh/a	8.200,-		

1. Aufgabenstellung und Grundlagen

1.1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der Stadt Frankfurt, Abteilung Hochbau-Energiemanagement, war für das Museum für Angewandte Kunst (MAK) in Frankfurt, Schaumainkai 15, ein Energiekonzept zu erstellen.

Auf der Grundlage des vorgegebenen Arbeitsprogramms zum Energiekonzept wurden für das MAK mögliche Energiesparmaßnahmen für die einzelnen Verbrauchsektoren untersucht, die zu einer rationalen 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 MAK.

1.2 Grundlagen

Grundlagen des Energiekonzeptes bilden im wesentlichen:

- Angaben von Mitarbeitern des Museums für Angewandte Kunst sowie der Hochbauabteilung der Stadt Frankfurt
- Strom- und Erdgaslastmessungen der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt 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 3807 „Energieverbrauchskennwerte für Gebäude“,
- 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“,
- der VDI-Richtlinie 2089 "Heizung, Raumluftechnik und Wassererwärmung in Hallenbädern
- 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 2003/04“, Oldenbourg Verlag.

Auf zusätzlich verwendete Quellen wird in den entsprechenden Textpassagen verwiesen.

2. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs

2.1 Elektrischer Strombedarf- und -verbrauch

2.1.1 Gesamtstrombedarf und -verbrauch

Der Strombedarf des Museums für Angewandte Kunst wird ausschließlich aus dem Netz der Mainova AG gedeckt. Auf der Niederspannungsseite des Mainova-Netzes sind zwei Messeinrichtungen installiert, die den Gesamtstrombezug des Museums und des verpachteten Bereichs (Restaurant mit Küche) erfassen. Die Abrechnung des verpachteten Bereichs erfolgt direkt zwischen Mainova und Pächter (Zählernummer 23195).

Als Sondervertragskunde erfolgt für das Museum eine Abrechnung der bezogenen Arbeit nach Hoch- und Niedertarifzeiten sowie der Leistung als Mittelwert aus den drei höchsten Monatsspitzen (**Business HighPower 1** - Zähler-Nr.: 46435). Die Abrechnungen gehen an das Amt für Wissenschaft und Kunst, Brückenstraße 3 in Frankfurt.

In Tafel 2.1.1 sind die Jahresstromverbrauchswerte und die entsprechenden Jahreskosten für den Wirk- und Blindstrombezug von 2000 bis 2002 dargestellt.

Tafel 2.1.1 Energiekonzept Museum für Angewandte Kunst: Jahreswerte des Stromverbrauchs und der Jahresbezugskosten von 2000 - 2002

Jahr	Gesamt 2000	Gesamt 2001	Gesamt 2002
Stromverbrauch in kWh/a	1.435.500	1.854.310	1.765.680
Jahresgesamtkosten in €	117.201,-	151.867,-	148.919,-
spez. Strompreis in €/kWh	0,082	0,082	0,084
<i>Kosten Blindstrom in €/a</i>	<i>k.A.</i>	<i>1.915,-</i>	<i>2.070,-</i>

Der Vergleich der Werte zeigt, dass der Gesamtstrombedarf des Museums für Angewandte Kunst von 2000 bis 2002 um ca. 18 % gestiegen ist. Die spezifischen Stromkosten sind in den letzten drei Jahren nahezu konstant geblieben.

Auffallend ist, dass in 2001 und 2002 die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten wurden und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug in Höhe von rund 2.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache lässt auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensation schließen (s. Maßnahme 3.6.I).

Anmerkungen zur Stromabrechnung in 2002 (Maßnahme 2.1.I):

Im Rahmen der Überprüfung der Mainova-Stromabrechnungen wurden für das Jahr 2002 folgende Fehler festgestellt:

April 2002: Der Hoch- und Niedertarifwirkstrombezug wurde jeweils nicht messtechnisch erfasst und mit 60 kWh bzw. 70 kWh geschätzt und dementsprechend abgerechnet. Nicht in Rechnung gestellte Stromkosten **9.770,- EUR**.

Juli 2002: Bezogene Stromleistung wurde doppelt in Rechnung gestellt, anstelle von üblichen 257 kW wurde eine Leistung von 360 kW dazu addiert, so dass für Juli eine Gesamtleistung von 717 kW angesetzt wurde. Zusätzlich in Rechnung gestellte Stromleistungskosten **6.360,- EUR**.

Diese Punkte sind mit der Mainova zu klären, eventuell wurde in 2003 eine Korrektur vorgenommen. Dem Konzeptersteller liegt hierzu keine Aussage vor.

Den monatlichen Abrechnungen wurden die entsprechenden Verbrauchs- und Leistungsdaten entnommen und sind in Bild 2.1.1 und 2.1.2 für das Jahr 2002 dargestellt (vgl. Anhang 2.1.1).

Bild 2.1.1 Energiekonzept „MAK“: Monatswerte des Wirkstrombezugs in 2002

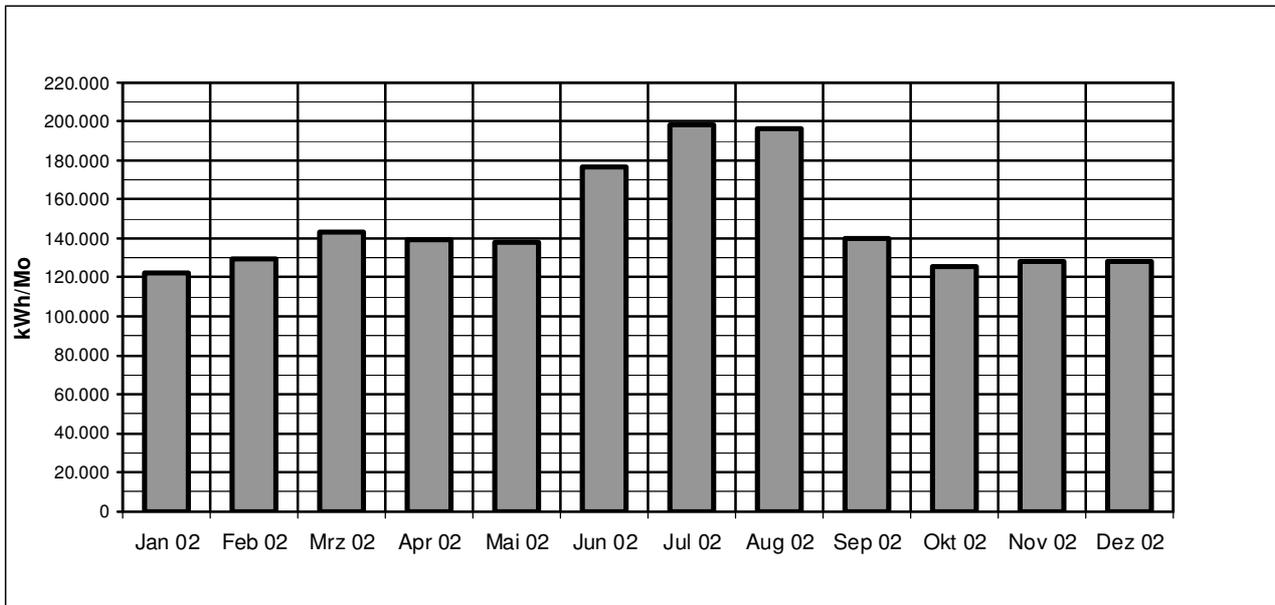
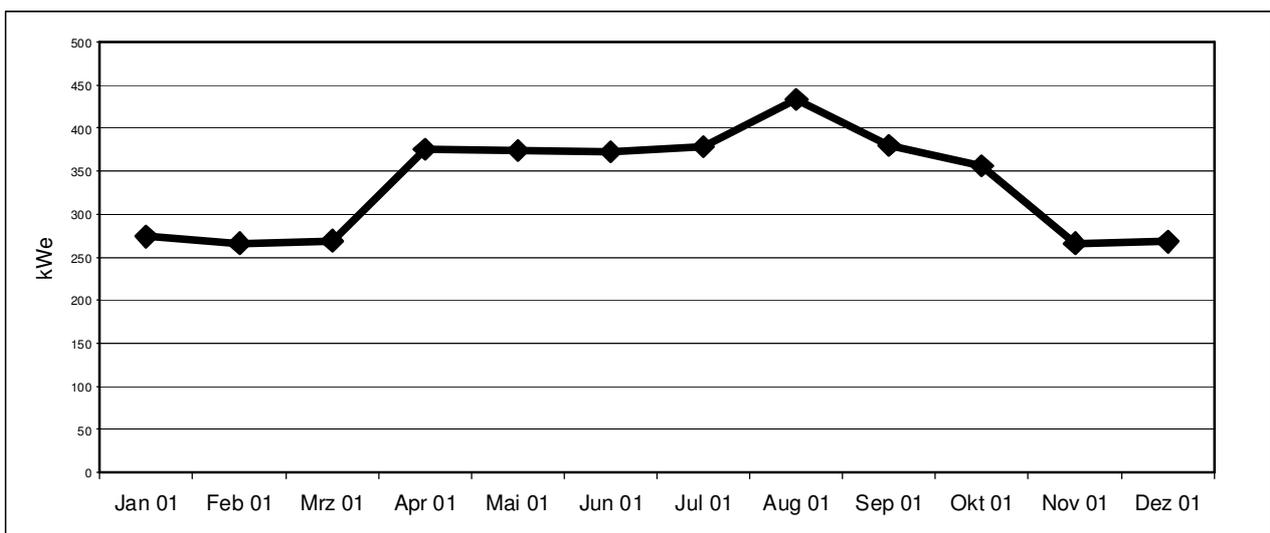


Bild 2.1.2 Energiekonzept „MAK“: Monatswerte des Wirkleistungsbezugs für das MAK (ohne Restaurant) in 2001



In Bild 2.1.1 ist der um 30 % höhere Wirkstrombezug in den Sommermonaten zu erkennen. Grund ist der zusätzliche Kühlbedarf für die Lüftungsanlagen und dem damit verbundenen Einsatz der Kältemaschinen.

Der Spitzenlastverlauf gliedert sich in eine "Winter- und eine Sommerlast". Sobald eine Gebäude-

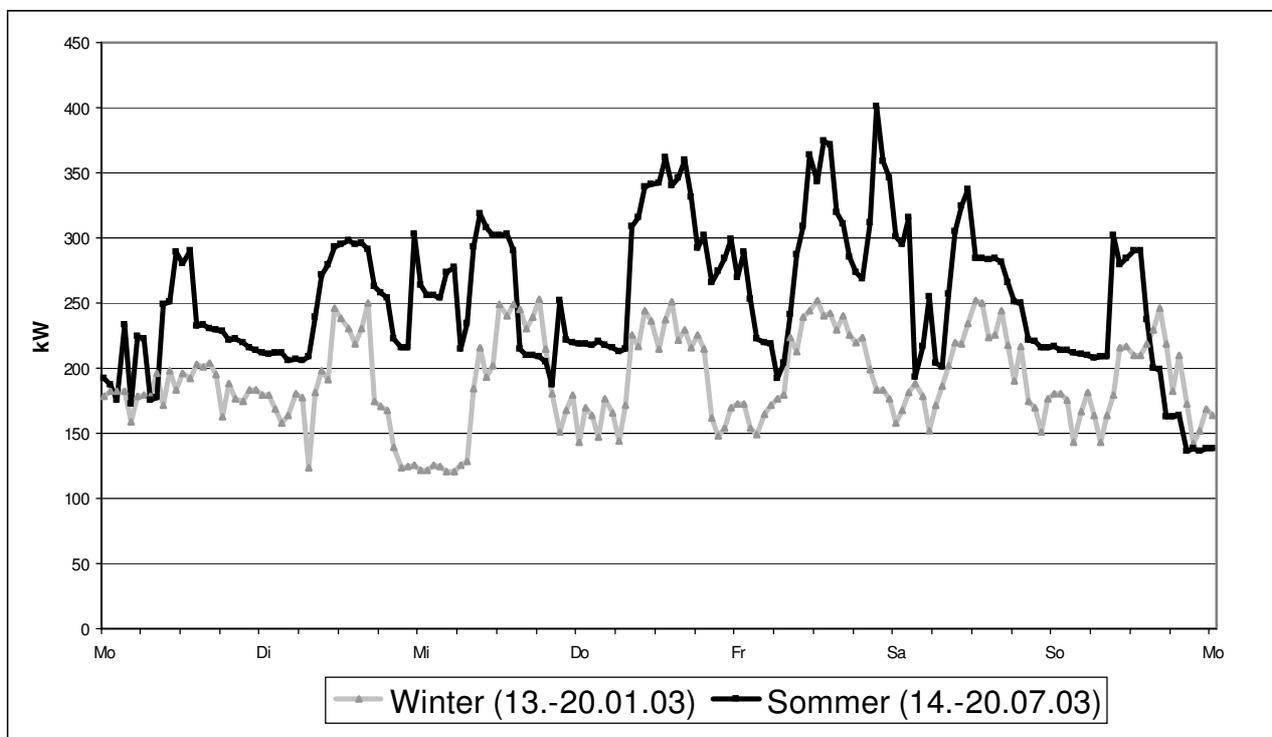
kühlung erforderlich wird und die Kältemaschinen in Betrieb gehen, erhöht sich die Last um ca. 100 bis 180 kW (bis zu 60 %).

Die monatliche Grundlast im Jahr 2001 liegt bei ca. 125.000 kWh. Bei 720 Betriebsstunden pro Monat errechnet sich hieraus eine Grundlastleistung von 174 kW.

2.1.2 Strom-Schwerpunktverbraucher

Zur Ermittlung der Stromverbrauchsstruktur im Museum für angewandte Kunst konnte auf schreibende Lastmessungen des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement zurückgegriffen werden. Im folgenden Bild 2.1.3 sind die Wochenganglinien des Strombedarfs im Winter und Sommer dargestellt.

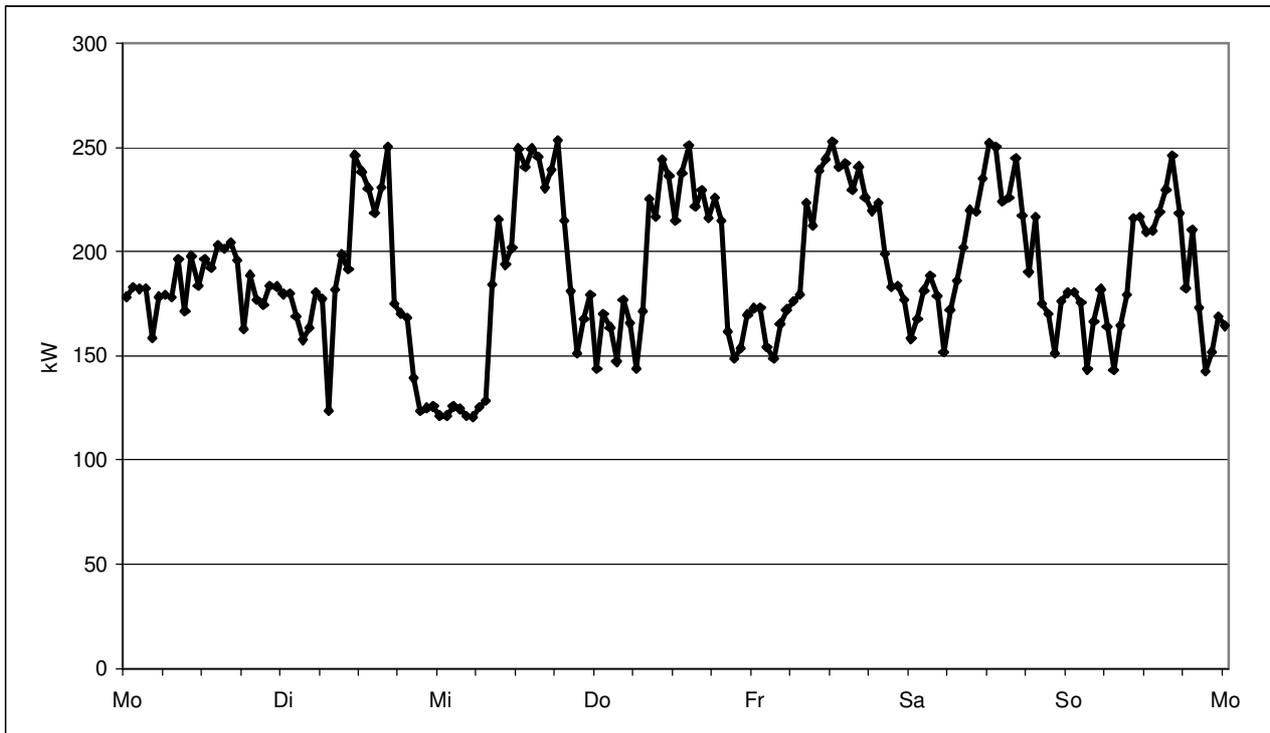
Bild 2.1.3 Energiekonzept MAK: Wochenlastverlauf des Strombezugs im Winter und im Sommer 2003



Die Wochenlastverläufe für die unterschiedlichen Jahreszeiten zeigen noch einmal deutlich den Einsatz der Kältemaschinen durch jahreszeitlich bedingte hohe Außentemperaturen im Sommer. Hier werden Spitzenwerte bis zu 400 kW erreicht wohingegen im Winter die Spitzenleistungsbezugswerte bei 250 kW liegen. Die Stromgrundlast liegt in den Wintermonaten bei ca. 150-175 kW und im Sommer bei 200-225 kW.

Die Einflüsse des Museumsbetriebes auf den Stromverbrauch sind im folgenden Bild 2.1.4 dargestellt.

Bild 2.1.4 Energiekonzept MAK: Wochenverlauf der Stromwirkarbeit in einer Winterwoche in 2003



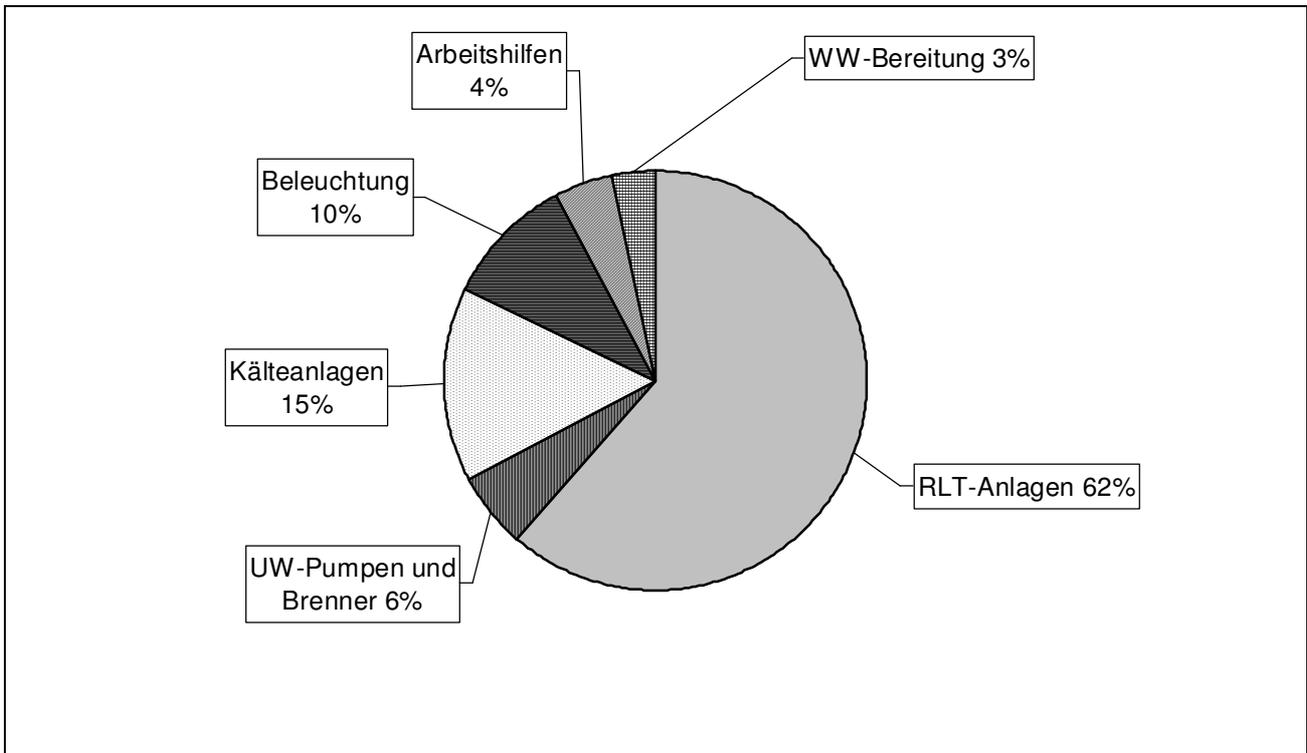
Hier wird ersichtlich, dass während der Öffnungstage (Dienstag bis Sonntag) um bis zu 22% Mehrverbrauch an elektrischer Arbeit benötigt werden, als am "Ruhetag" (Montag). Dies begründet sich in einer reduzierten Beleuchtung und dem verringerten Bedarf an raumluftechnischen Anlagen.

Stromschwerpunktverbraucher

Die Stromverbraucher mussten, anhand entsprechender technischer Dokumentationen, identifiziert bzw. durch Begehungen mit detaillierter Aufnahme erfasst werden.

In Bild 2.1.5 ist die prozentuale Verteilung des Gesamtstromverbrauchs des MAK für die einzelnen Schwerpunktverbraucher dargestellt. Die entsprechenden absoluten Zahlen sind im Anhang 2.1.2 zusammengefasst.

Bild 2.1.5 Energiekonzept „MAK“: Prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs auf einzelne Verbraucher



Die Hauptverbrauchergruppe mit rund 62% sind die Raumluftechnischen Anlagen, bestehend aus 24 Einzelanlagen. Der zweitgrößte Verbraucher ist die kältetechnische Anlage mit 15% gefolgt von der Beleuchtung mit rund 10%. Die elektrische Trinkwassererwärmung (TWE) schlägt mit 3% (64.178 kWh/a) des Gesamtverbrauchs zu Buche.

2.2 Wärmeerzeugung

2.2.1 Gasverbrauch der Wärmeerzeugung

Als Brennstoff zur Wärmeerzeugung wird im Museum für Angewandte Kunst ausschließlich Erdgas H aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG eingesetzt.

Die Zählleinrichtung (Zählernummer 503328) für das Museum für Angewandte Kunst ist im Hausanschlussraum des 2.Quadranten im UG installiert. Der Verbrauch wird monatlich erfasst. Die Rechnungsstellung erfolgt an das Amt für Wissenschaft und Kunst, Brückenstr. 3-7 in Frankfurt.

Für das Museum für Angewandte Kunst erfolgt als Gas-Sondervertragskunde eine Abrechnung der bezogenen Arbeit (kWh_{HO}), der Leistung für die maximal bezogene Arbeit pro Tag ($\text{kWh}_{\text{HO}}/\text{d}$) sowie des Jahresgrundpreises für Mess- und Zählleinrichtungen (**VL-Sondervertrag**).

Für die Warmwasserbereitung des Restaurants ist ein weiterer Gaszähler (Zählernummer 961053) installiert. Diese Abrechnung erfolgt direkt zwischen Mainova und dem Pächter.

Der Versorgungsbereich des Museums gliedert sich in das Museumsgebäude, die Villa Metzler und das Werkstattgebäude nebst Pavillon. Letztgenannter ist von der Größenordnung (Rauminhalt ca. 150m^3) nicht relevant und wird hier nicht weiter betrachtet. Aus den monatlichen Verbrauchsabrechnungen der Mainova wurden folgende Jahreswerte ermittelt.

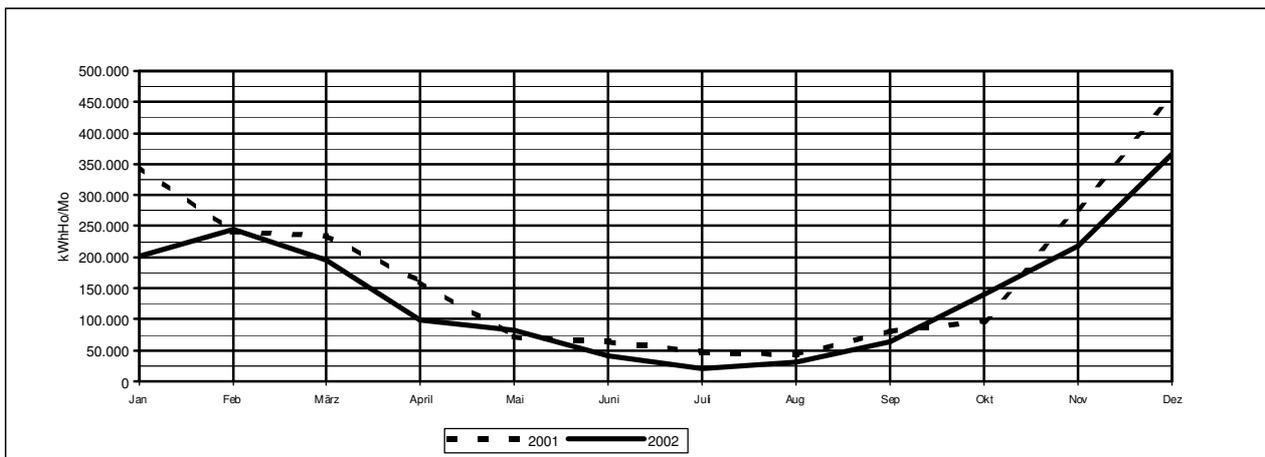
Tafel 2.2.1 Energiekonzept „MAK“: Jahreswerte und –kosten des Erdgasbezugs in 2000-2002

Jahr	Jahresverbrauch		Jahreserdgaskosten	
	in $\text{kWh}_{\text{HO}} / \text{kWh}_{\text{HU}}$	in $\text{kWh}_{\text{HO}} / \text{kWh}_{\text{HU}}$ (Witterungsbereinigt)	Gesamt in EUR	in $\text{EUR}/\text{kWh}_{\text{HO}}$
2000	2.002.667 / 1.802.400	2.213.997 / 1.992.597	53.597,-	0,0297
2001	2.123.744 / 1.911.370	2.094.229 / 1.884.806	80.533,-	0,0421
2002	1.704.803 / 1.534.323	1.940.890 / 1.746.800	61.501,-	0,0401

Der witterungsgereinigte Gasverbrauch ist von 2000 bis 2002 um rund 12 % zurückgegangen während die Jahreskosten um 13 % gestiegen sind, da der spezifische Gaspreis sich im gleichen Zeitraum um rund 26 % erhöht hat.

Im folgenden Bild 2.2.1 sind die monatlichen Gasbezüge des Museums für Angewandte Kunst in 2001 und 2002 dargestellt.

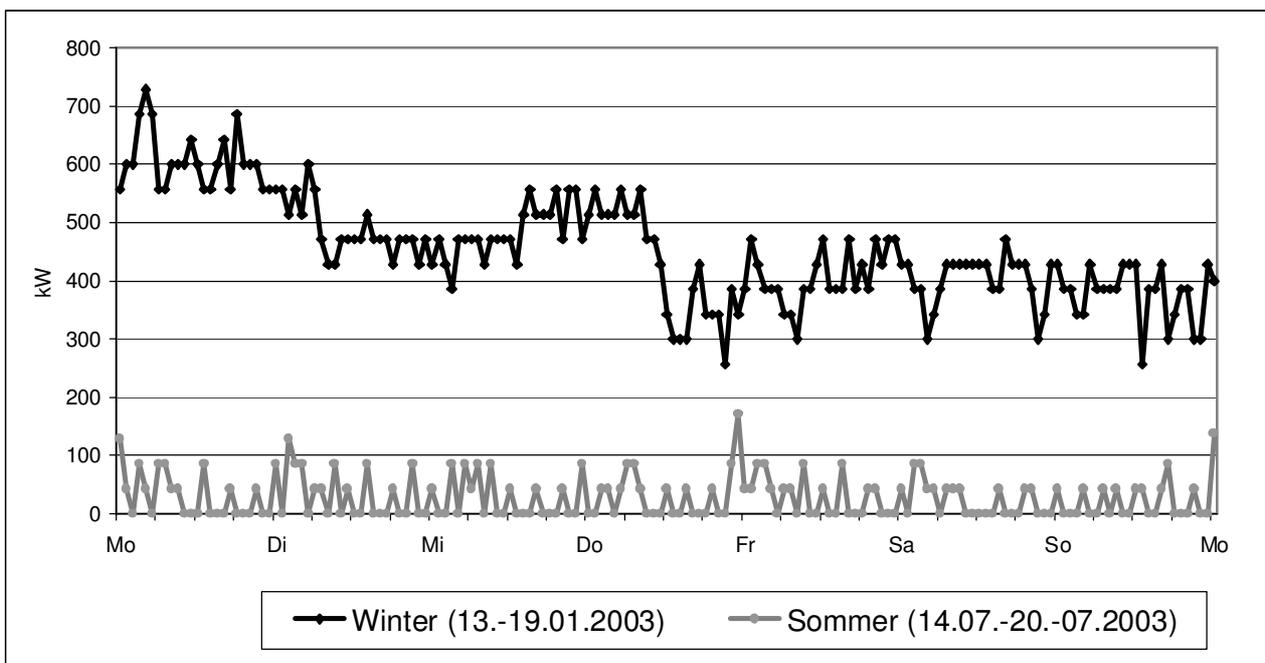
Bild 2.2.1 Energiekonzept „MAK“: Monatsverlauf des Gasverbrauchs in 2001 und 2002



Man erkennt in Bild 2.2.1, dass der Gesamtverbrauch in den verbrauchsschwachen Monaten (Sommer) auf ca. 9,5% des maximalen Winterverbrauchs sinkt. Dies zeigt eine eindeutige Abhängigkeit des Gasverbrauchs vom Heizwärmebedarf (Lüftungs- und Transmissionsverluste), da die Warmwasserbereitung im Bereich Museum dezentral mit Strom erfolgt und das Restaurant separat verfasst und abgerechnet wird.

Auf Grundlage der automatischen Fernerfassung des Gaszählers durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement wurde für das MAK ein Wochenlastverlauf des Gasverbrauchs im Winter und im Sommer erfasst und in Bild 2.2.2 dargestellt.

Bild 2.2.2 Energiekonzept „MAK“: Wochenverlauf des Gasverbrauchs im Winter und im Sommer 2003



Die Spitzenwerte in der Winterwoche liegen bei ca. 740 kW, bei einer Grundlast von ca. 300 kW. In

den Sommermonaten fällt der Wärmebedarf auf eine Grundlast von 0-50 kW bei Spitzenwerten von 180 kW. Interessant ist, dass am Ruhetag (Montag) kein verminderter Bedarf erkennbar ist, im Gegenteil, die Maximalwerte im Winter ergeben sich an einem Montag. Es ist davon auszugehen, dass kein abgesenkter Heizbetrieb an den Montagen gefahren wird.

2.2.2 Verteilung des Heizwärme- und Brennstoffbedarfs

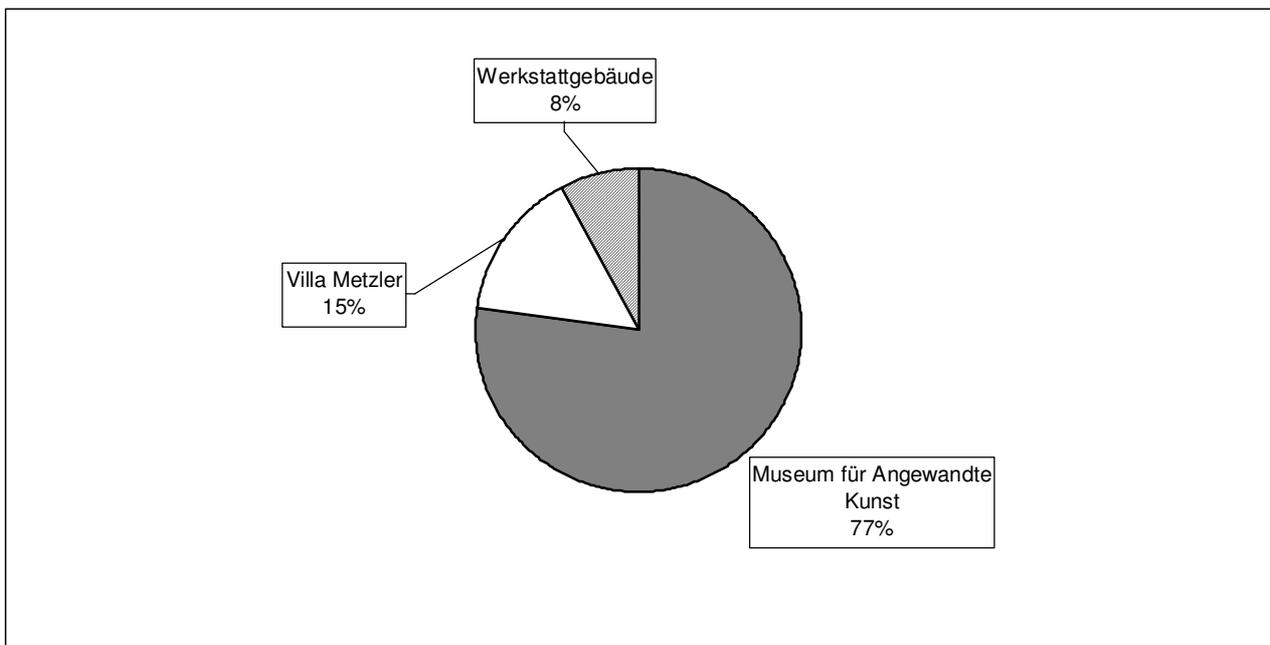
Der tatsächliche Heizwärmebedarf der statischen Heizungen sowie der RLT-Anlagen des Museums für Angewandte Kunst wird nur zum Teil und nicht durchgängig mittels Wärmemengenzählungen (defekte Messstellen) vor Ort erfasst.

Im Rahmen des Energiekonzeptes konnte auf folgende Angaben zurückgegriffen:

- Temperaturverläufe für typische Tage nach DIN 4710 „Meteorologische Daten“
- Monatswerte des Erdgasbezugs (Abrechnungen Mainova AG)
- Berechnung des Gebäudewärmebedarfs nach Hessischem Leitfaden für „energiebewusste Gebäudeplanung“ (vgl. auch Abschnitt 3.2)
- Spezifische Leistungsdaten der Heizkessel und Aussagen der Wartungsfirma GeBe
- Lastmessungen des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt „Abteilung Energiemanagement“

Unter Berücksichtigung der genannten Voraussetzungen wurde die Heizwärmeverteilung auf die drei versorgten Gebäude erstellt und in Bild 2.2.3 dargestellt.

Bild 2.2.3 Energiekonzept „MAK“: Verteilung des Jahresheizenergiebedarfs inkl. Verluste auf die einzelnen Gebäude



Hier zeigt sich, dass das größte und am intensivsten zu versorgende Gebäude (MAK) einen Anteil von mehr als 75 % am Gesamtwärmeverbrauch hat. Die Villa Metzler folgt mit 15% Anteil und das

Werkstattgebäude mit 8%.

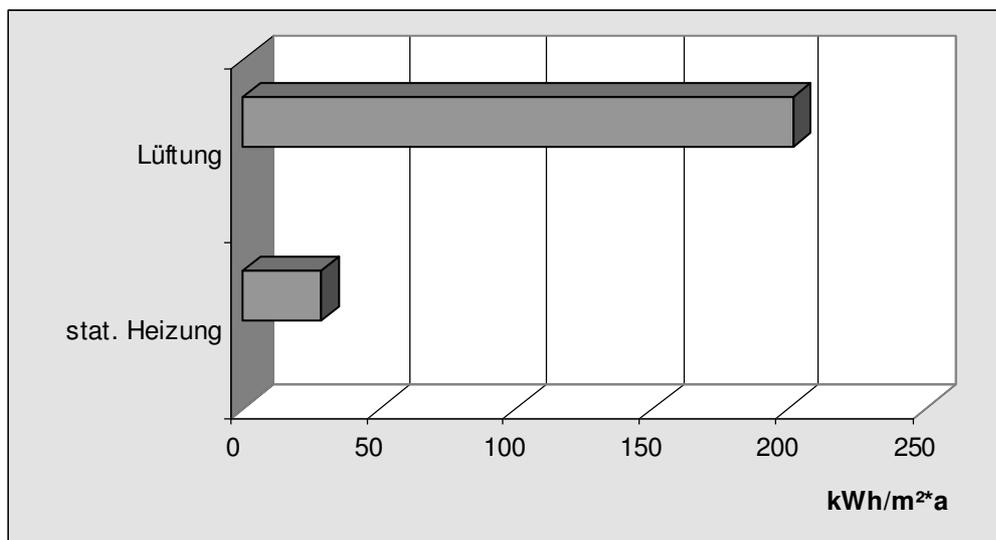
In Tafel 2.2.2. ist die Verteilung des Brennstoffbedarfs für die einzelnen Bereiche dargestellt.

Tafel 2.2.2 Energiekonzept „MAK“: Verteilung des Brennstoffbedarfs

Verbraucher	Verbrauch in kWh/a	Anteil an Gesamt- Brennstoffbedarf in %
Heizenergie Museum für Angewandte Kunst	1.280.110	67,0
Heizenergie Villa Metzler	251.489	13,2
Heizenergie Werkstattgebäude	128.873	6,7
Erzeugungsverluste	101.303	5,3
Verteilungsverluste	1.761.775	7,8
Gesamtbrennstoffbedarf	1.911.370	100%

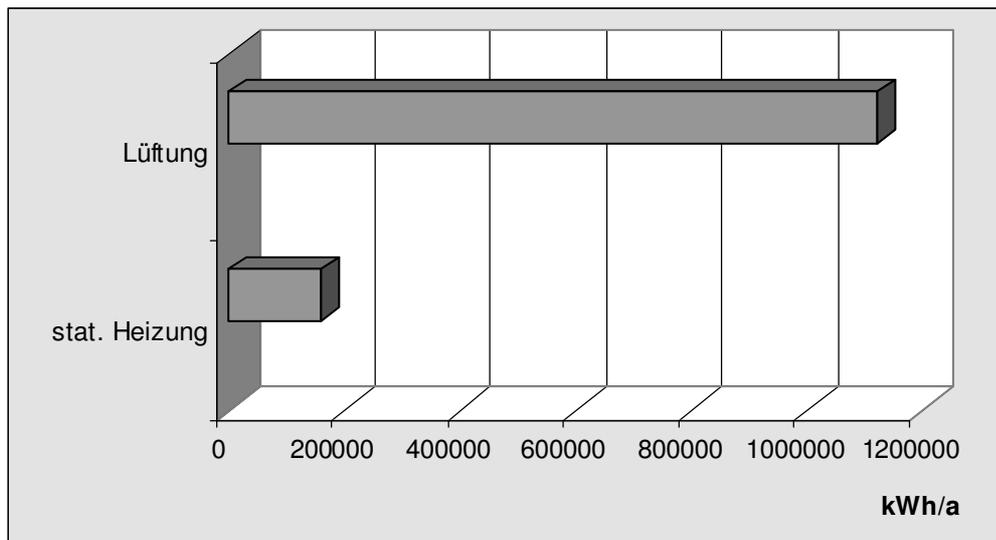
Rund 13,1 % der eingesetzten Brennstoffenergie gehen durch Erzeugungs- und Verteilungsverluste ungenutzt verloren. Hauptverbraucher ist der Museumsbereich des MAK.

Bild 2.2.4 Energiekonzept „MAK“: Verteilung des spezifischen Jahreswärmeverbrauchs des MAK auf die Raumbeheizungsarten



Der Anteil der statischen Heizflächen an der Deckung des Wärmeverbrauchs liegt bei rund 29 kWh/m²*a, der der Lüftungs- und Klimaanlage bei ca. 201 kWh/m²*a.

Bild 2.2.5 Energiekonzept „MAK“: Verteilung des Jahreswärmeverbrauchs des MAK auf die Raumbeheizungen



Die absoluten Verbräuche liegen bei ca. 160.000 kWh/a für die statischen Heizflächen und rund 1.120.000 kWh/a für die Lüftungs- und Klimaanlage.

2.3 Wasserverbrauch

Die Wasserversorgung des Museums für Angewandte Kunst (einschl. dem verpachteten Restaurant) erfolgt über einen Einspeise- bzw. Messpunkt aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG. Die Messstelle mit zwei Zählern Nr. 212114 und 212115) befindet sich in einem Schacht auf dem Außen Gelände des MAK (s. Lageplan im Anhang 3.1.1.). Die jährlichen Abrechnungen der Mainova erhält das Amt für Wissenschaft und Kunst, Brückenstr. 3 in Frankfurt. Für das MAK ist derzeit der **AquaClassic-Tarif** der Mainova gültig.

Der Wasserverbrauch des verpachteten Bereichs (Restaurant, Küche, Personaldusche) wird mittels einem nicht geeichten² internen Wasserzählers vom Personal des MAK separat erfasst und direkt zwischen dem Liegenschaftsamt der Stadt Frankfurt und dem Pächter abgerechnet.

Die jährlichen Wasserverbrauchswerte sowie die Bezugskosten des MAK für 2000 bis 2002 sind in der folgenden Tafel 2.3.1 dargestellt.

² Beglaubigung bis 1983

Tafel 2.3.1 Energiekonzept „MAK“: Jahreswerte des Wasserbezugs und -kosten 2000-2002

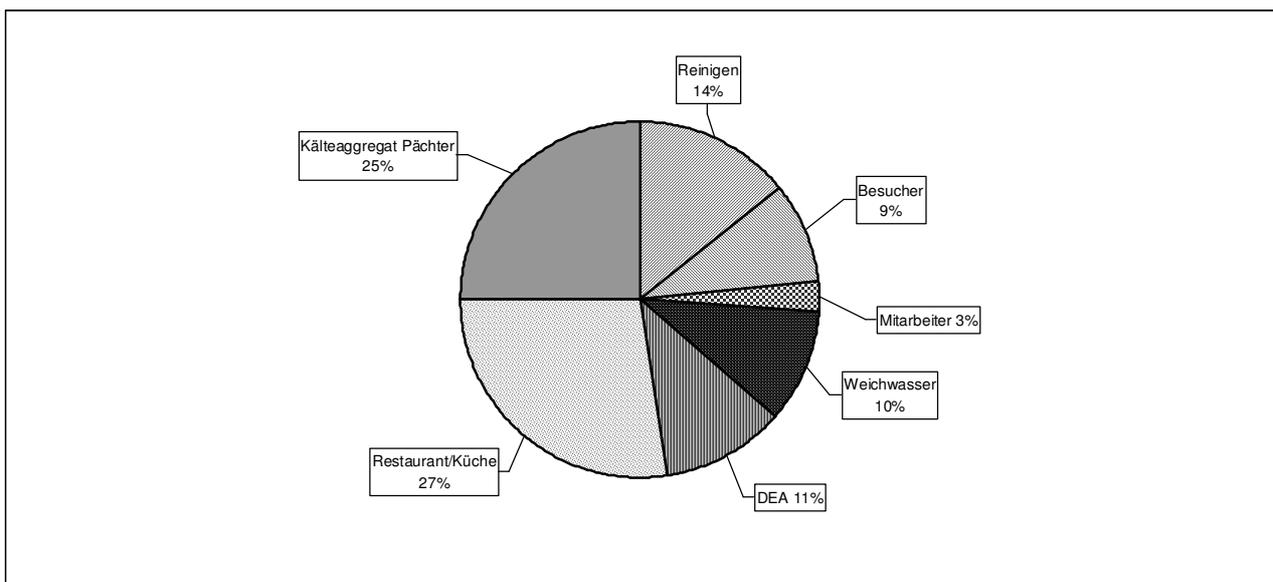
Jahr	Gesamtverbrauch in m ³ /a	Anteil Pächter in m ³ /a	Wasserkosten		
			Wasser in EUR	Kanal in EUR	Gesamt in EUR
2000	3.549	k.A.	7.476,03	6.260,29	13.736,32
2001	5.475	k.A.	10.186,31	8.913,27	19.099,58
2002	5.931	3.045	11.348,97	9.951,04	21.300,01

Der Wasserbezug und die -kosten haben sich von 2000 bis 2002 um 40% bzw. 35% erhöht. Der Grund für die Verbrauchssteigerung von 2000 zu 2001 liegt in der Installation eines wassergekühlten Kälteaggregates für die Kühlräume des Restaurants. Hierfür werden jährl. ca.1.450 m³ Trinkwasser zur Kühlung der Kältemaschine benötigt und dieses dann erwärmt ins Abwasser geleitet.

Von der Stadt Frankfurt werden jährlich für 50 % der eingesetzten Wassermenge für die Befeuchtung der Raumluft die Kanalbenutzungsgebühren zurückerstattet, die in Folge von Verdunstung und Versickerung nicht in die Entwässerungsanlage eingeleitet werden. Die Erfassung der Wassermenge erfolgt durch einen internen Wasserzähler (Nr. 2145237) der Weichwasseranlage. Die ange-rechnete Wassermenge lag in 2002 bei 297 m³ (50 % von 594 m³) und die erstattete Gebühr lag bei rund 490,- €.

Da außer für den verpachteten Bereich und die Weichwasseranlage keine messtechnische Unterteilung der einzelnen Verbraucher gemacht wird, wurde die Verteilung des Wasserbedarfs hochge-rechnet bzw. für das Kälteaggregat ausgelitert. Die Ergebnisse sind in Bild 2.3.1 dargestellt und in absoluten Zahlen im Anhang 2.3.1 aufgeführt.

Bild 2.3.1 Energiekonzept „MAK“: Prozentuale Verteilung des Wasserverbrauchs



Größter Bereich im MAK ist der Wasserbedarf für Putz und Reinigungszwecke mit 12 %. Der hier dargestellte Wasserverbrauch der Druckerhöhungsanlage (DEA) mit 12% des Gesamtverbrauchs ergibt sich durch ein unkontrolliertes und nicht gewünschtes "Abblasen" des Sicherheitsventils und ist

umgehend abzustellen (s. Maßnahme 3.7.1).

Der verpachtete Restaurantbereich hat einen Anteil von über 50 % am Gesamtwasserverbrauch des MAK. Hierbei fällt der enorme Wasserverbrauch zur Kühlung des Kälteaggregats ins Gewicht. Die vom Pächter hierfür zu tragenden Wasserkosten liegen bei jährlich rund 5.600,- EUR.

2.4 Vergleich Verbrauchswerte anhand spezifischer Kenndaten

In einem Forschungsbericht der ages GmbH, die als Grundlage für die VDI-Richtlinie 3807 „Energieverbrauchskennwerte für Gebäude“ diente, wurden für unterschiedliche Gebäudetypen, in Abhängigkeit von der Brutto-Grundrissfläche und den tatsächlichen Verbrauchswerten, spezifische Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser zusammengestellt. Diese ermöglichen eine Einordnung und Bewertung der Verbrauchswerte des Museums für Angewandte Kunst.

In der folgenden Tafel 2.4.1 sind die Kennwerte für Museen der ages-Studie von 1996 sowie die des MAK gegenübergestellt. Als Bezugsgröße dient die Bruttogrundrissfläche.

Tafel 2.4.1 Energiekonzept „MAK“ – Vergleich spezifischer Verbrauchskennwerte von Museen

Verbrauchsgruppe	ages-Studie 96 - Mittelwerte	MAK	Beurteilung
Heizenergie	85 kWh/m ² *a	174 kWh/m ² *a	Hoch
Strom	22 kWh/m ² *a	184 kWh/m ² *a	Sehr hoch
Wasser (ohne Restaurant)	246 l/m ² *a	206 l/m ² *a	Mittel

Die ermittelten spezifischen Verbrauchsdaten für das MAK liegen im Wärme und Strombereich deutlich über den Mittelwerten der ages-Studie. Auch unter Berücksichtigung, dass die Nutzung und technische Ausstattung des MAK im Vergleich zu den Museen der ages-Studie höher sein könnte, lässt die deutliche Überschreitung der spezifischen Kennwerte auf ein erhebliches Einsparpotential schließen, das es zu aktivieren gilt.

Der spezifische Wasserverbrauch für das MAK ohne Restaurant kann als in Ordnung bewertet werden.

2.5 Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung (*Maßnahme 2.4.1*)

Für den verpachteten Bereich des Restaurants mit Küche erfolgt derzeit eine separate Erfassung und direkte Abrechnung mit der Mainova für folgende Bereiche bzw. Medien:

Strom: Gesamte Beleuchtung und Ausstattungsgegenstände (u.a. Küche)

Gas: Bedarf für die Warmwasserbereitung

Der Wasserverbrauch wird mittels internem Zähler erfasst und durch das Liegenschaftsamt direkt mit Pächter abgerechnet (s. Abschnitt 2.3).

Für eine bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung sind für den verpachteten Bereich des Restaurants mit Küche folgende Zähleinrichtungen zu ergänzen bzw. zu reparieren, da die Kosten hierfür derzeit noch vom MAK an die Mainova bezahlt werden.

Strom: Stromzähler für Lüftungsanlage „2.6 Zu- und Abluftanlage Restaurant sowie Abluftanlage Küche“. Die Kosten für die Trennung der Unterverteilung und Installation eines separaten Zählers belaufen sich auf ca. 5.500,- €.

Wärme: Wärmemengenzähler für statischen Heizkreis „Restaurant“ (Wärmebedarf 17 kW) und für den Luftherhitzer der RLT-Anlage „2.6 Restaurant“ (107 kW) mit drei Nacherhitzern (zusammen 63 kW). Die Kosten für die Installation von fünf Wärmemengenzählern mit Impulsausgang liegen bei rund 5.150,- €

In der folgenden Tafel 2.5.1 sind die Investitionskosten für die bedarfsgerechte Verbrauchserfassung des untervermieteten Bereichs sowie eine grobe Abschätzung der dadurch getrennt erfassbaren und abrechenbaren Energiekosten für die einzelnen Bereiche zusammengestellt.

Tafel 2.5.1 Energiekonzept „MAK“ – Zusammenstellung der Investitionskosten sowie Abschätzung der jährlich erfassten Energiekosten für getrennte Bereiche

Bereich	Investition in €	Erfasste Stromkosten in €/a	Erfasste Wärmekosten in €/a
Zu- und Abluftanlage Restaurant	9.650,-	1.600,-	4.800,-
Abluftanlage Küche		1.300,-	-
Statische Heizung Restaurant	1.000,-		1.110,-
Gesamt	10.650,-	2.900,-	5.910,-

Die Investitionskosten für die getrennte Verbrauchserfassung und- abrechnung des untervermieteten Bereichs im MAK belaufen sich auf knapp 10.700,- €. Dem stehen jährliche Energiekosten in Höhe von ca. 8.800,- € gegenüber, die nicht mehr vom MAK bezahlt werden müssen, sondern an die Pächter weitergegeben werden können.

3. Stammdaten zur Liegenschaft

3.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Träger des Museums für angewandte Kunst ist das Amt für Wissenschaft und Kunst. Der Museumskomplex besteht aus einem historischen 4-geschossigen Gebäude (Villa Metzler), einem 3-geschossigen Flachdachbau (MAK) aus dem Jahre 1985 und einem 3-geschossigen Anbau (Werkstattgebäude) aus dem Jahre 1960 (*vgl. Lageplan im Anhang 3.1.1*).

Das MAK wiederum besteht aus drei mit verglasten Übergängen untereinander verbundenen würfelförmigen Gebäuden (1., 2. und 3. Quadrant). Dieses von Architekt Richard Meier & Partners, New York, geplante Gebäude ist bezüglich seiner Fassadengestaltung nicht veränderbar. Der historische Bau (Villa Metzler) steht unter Denkmalschutz.

Die Ausstellungsräume erstrecken sich im Museum für Angewandte Kunst vom Erdgeschoss bis ins 2.OG. Im Kellergeschoss sind Depots für Ausstellungsgegenstände eingerichtet sowie mehrere Lüftungszentralen, die Heizungszentrale und der Hausanschlussraum Gas und Wasser angeordnet. Auf dem Dachgeschoss befinden sich drei Lüftungs-/Kältezentralen. Die Verwaltung befindet sich im EG des 2. Quadranten, der Sozialraum im 3. Quadranten.

Im Museum für Angewandte Kunst gibt es folgende Öffnungszeiten und Besucherzahlen:

Öffnungszeiten:	Dienstag-Sonntag 10-17 Uhr, Mittwoch 10-21 Uhr Montags geschlossen, Die Villa Metzler wird nur gelegentlich (max. 2 Tage/Wo) geöffnet
Besucherzahlen	ca. 100.000 Personen/a, im Mittel ca. 277 Besucher pro Tag.

In letzter Zeit wurden zunehmend Museumsbereiche ergänzend bzw. außerhalb der normalen Öffnungszeiten für Einzelveranstaltungen genutzt. Diese Veranstaltungen laufen in einem Zeitrahmen von ca. 18- 22 Uhr (in Ausnahmen auch länger) ab.

Eine verbindliche Nutzung bzw. Ausstellungsschwerpunkte wurde nicht benannt. In den vergangenen Jahren lag der Schwerpunkt auf Möbelausstellungen. Derzeit ist u.a. eine Musik/Internet-Installation eingerichtet.

3.2 Gebäude und Bauteile

Das Baujahr des Altbaus der Villa Metzler datiert auf das Jahr 1803 und sie besitzt eine historische, denkmalgeschützte Fassade.

Im Jahr 1983 begann der Bau des Museums für Angewandte Kunst als 3-geschossiger Neubau. Das vorhandene Werkstattgebäude aus dem Jahr 1960 blieb bestehen und wurde energetisch und bautechnisch nicht saniert oder modernisiert.

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 (stark verkleinert)
- Anlagenschemen
- Erfassungsblätter des HBA 65.B3 sowie diverse Skizzen und handschriftliche Notizen
- Wärmeschutznachweis des Ing.-Büros Dr. Gruschka (keine Datumsangabe in Auszugskopie)

Die Erfassung/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 sind im Anhang 3.2.1 zusammengestellt. 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 wurde auf die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz, die während des Baus in Kraft war (Wärmeschutzverordnung 1984), zurückgegriffen.

Im Anhang 3.2 sind die u-Werte der jeweiligen Gebäudebauteile und dem entsprechenden Flächenanteil zusammengefasst.

Tafel 3.2.1 Energiekonzept „MAK“ - Gebäudekenndaten

Gebäude		MAK	Villa Metzler	Werkstattgebäude
Reale Energiebezugsfläche	in m ²	8.000	1.060	478
Beheiztes Gebäudevolumen	in m ³	51.458	4.057	1630
Summe wärmeübertragende Umfassungsfläche	in m ²	12.198	1.656	1085
A/V-Verhältnis		0,24	0,41	0,66

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

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-Methode³ 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 Museum für Angewandte Kunst errechnet sich ein Gebäudewärme-Leistungsbedarf von rund **795 kW**. Der spezifische Wärmebedarf liegt bei 99 W/m².

Für die Villa Metzler beläuft sich der Gebäudewärme-Leistungsbedarf auf rund **120 kW** bei einem spezifischen Wärmebedarf von 113 W/m².

³ Vgl. Recknagel/Sprenger/Schrameck: Taschenbuch Heizung/Klimatechnik 94/95, Oldenbourg-Verlag, München

Für das Werkstattgebäude wurde ein Gebäudewärmebedarf von rund **60 kW** ermittelt. Der spezifische Wärmebedarf liegt bei 125 W/m².

Somit ergibt sich für die drei Gebäude, die von der Heizzentrale im UG des MAK versorgt werden, ein **Gesamt-Gebäudewärmebedarf** von rund **975 kW**. Die beiden vorhandenen Kessel haben eine Gesamtleistung von 1.262 kW (vgl. Tafel 3.3.1) und sind demnach um rund 30% überdimensioniert (vgl. Maßnahme 3.3.II und 3.3.III).

Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Als Instrument zur planerischen Bearbeitung eines verbesserten Wärmeschutzes steht der Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (1996) des Hessischen Ministeriums 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 Museum für angewandte Kunst wurde, entsprechend dem beschriebenen Berechnungsgangs des Leitfadens „Energiebewusste Gebäudeplanung“, der Heizenergiebedarf ermittelt. Die Berechnungen und die Ergebnisse sind im Anhang 3.2 dargestellt.

Museum für Angewandte Kunst

Nachfolgend sind die relevanten Daten des MAK dargestellt und erläutert.

Tafel 3.2.2 Energiekonzept „MAK“ - Gebäudekenndaten -MAK

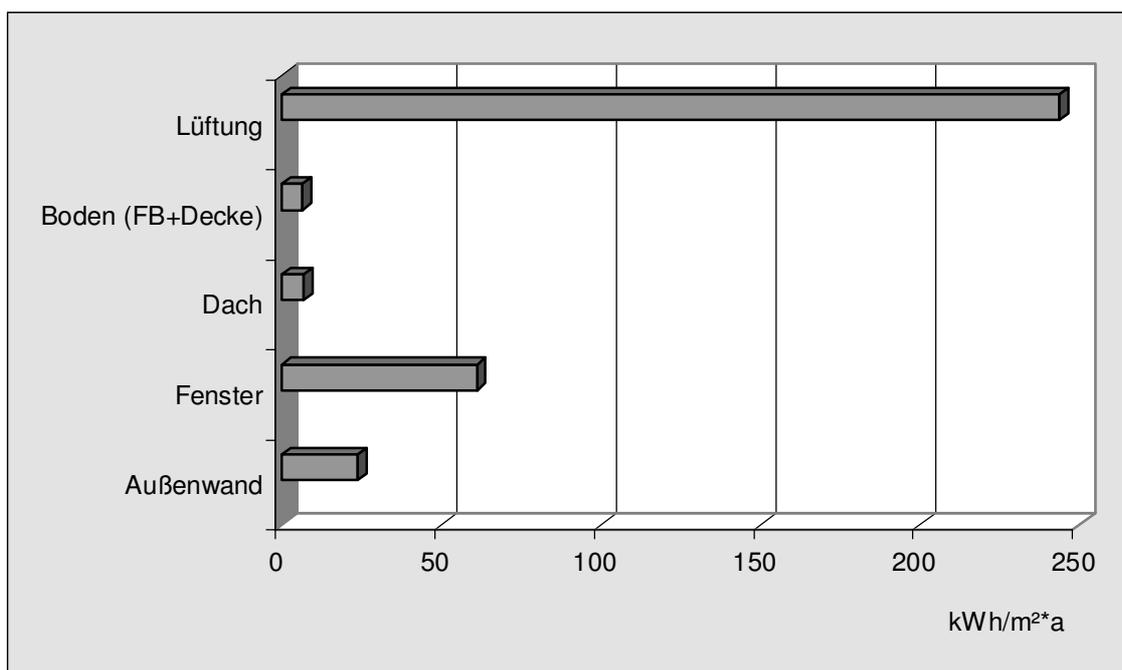
GEBÄUDEDATEN			
Energiebezugsfläche	EBF	8.000,0	m ²
davon mechanisch belüftete Fläche	ca. 85 %	6.800,0	m ²
Personenbelegung	P/d	277	P
Luftvolumen (=EBF * Raumhöhe)	V	51.458	m ³

Transmissions- und Lüftungswärmeverluste -MAK-

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 Raumlufthtemperatur.

Im folgenden Bild 3.2.1 sind die spezifischen Transmissions- und Lüftungswärmeverluste pro Quadratmeter Energiebezugsfläche des MAK aufgeführt.

Bild 3.2.1 Energiekonzept „MAK“ – Verteilung der spezifischen Wärmeverluste



Die nach dem hessischen Leitfaden berechneten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste betragen für das MAK rund 2.763 MWh/a, woran die Lüftungswärmeverluste einen Anteil von 70 % haben. Bei den Transmissionswärmeverlusten liegt der höchste Anteil bei den Fensterflächen (17,9 %). Die Außenwand hat einen Anteil von rund 7 % an den Wärmeverlusten. Dach, Fußboden und erdreichberührende Flächen haben zusammen einen Transmissionswärmeverlust von 4 %

Wärmegewinne -MAK-

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.

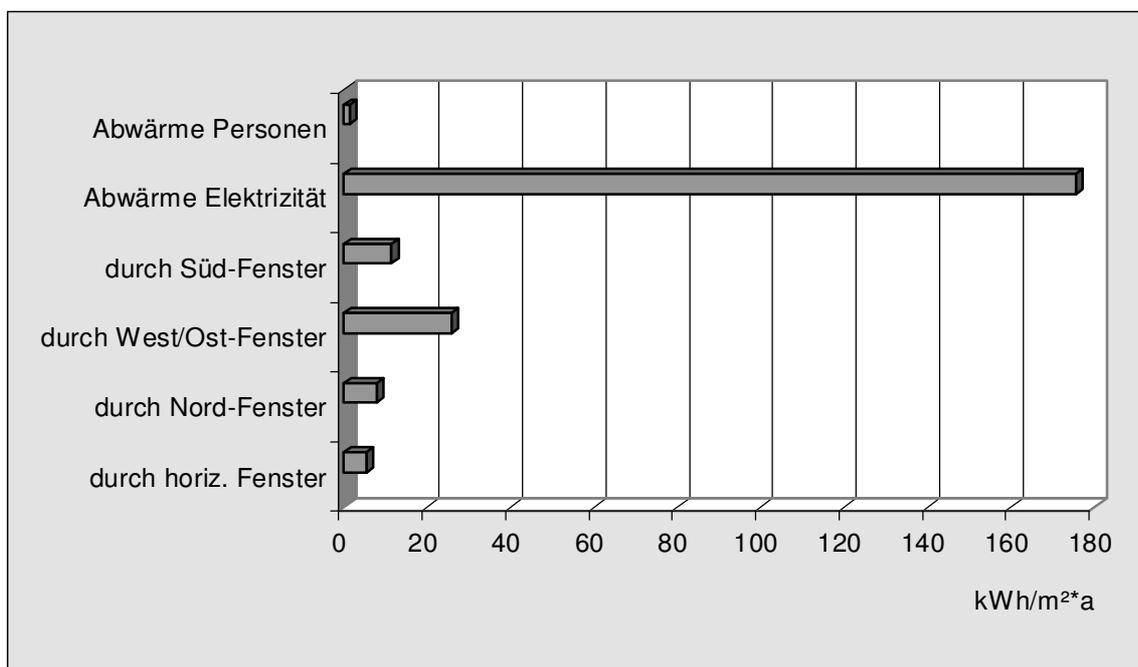
Freie Wärme aus Elektroanlagen: Wird aus dem für Raumheizung verwertbaren Teil des Elektrizitätsverbrauchs für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen der während der Heizperiode innerhalb des beheizten Gebäudevolumens abgegeben wird, bestimmt. Hierbei ist von Bedeutung, dass der Elektrizitätsbedarf der Beleuchtung während der Heizzeit nutzbar ist. Die Abwärme der zentralen Lüftungsanlagen (ca. 1.118.640 kWh/a) kann eingeschränkt als Wärmegewinn (Abwärme der Venti-

latoren) während der Heizzeit genutzt werden, da diese mit geringst möglichem Außenluftanteil gefahren werden.

Freie Wärme von Personen: Wird mit der Wärmeabgabe (abhängig von der Tätigkeit) sowie der Anwesenheitszeit während der Heizzeit berechnet.

Für das Museum für angewandte Kunst errechnen sich jährliche Wärmegewinne in Höhe von rund 1.459,5 MWh. Die Solargewinne haben daran einen Anteil von 22 % und die Inneren Wärmegewinne von 78 %.

Bild 3.2.2 Energiekonzept „MAK“ – Spezifische Wärmegewinne



HEIZWÄRMEBEDARF -MAK-

Der Heizwärmebedarf des Museums für Angewandte Kunst ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf für Transmission und Lüftung abzüglich der Wärmegewinne.

Tafel 3.2.3 Energiekonzept „MAK“ - Heizwärmebedarf - MAK

Heizwärmebedarf	QH=QV-QG	1.303.355	(kWh/a)
Energiekennwert Heizwärme	QH/EBF	162,9	(kWh/m²a)
Grenzwert		75,0	(kWh/m²a)
Grenzwertüberschreitung		117,0	(%)
Grenzwert erfüllt	nein		

Der auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizenergiebedarf liegt mit 163 kWh/m²*a ca. 117 % über dem Grenzwert nach hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude.

Villa Metzler

In Tafel 3.2.4 sind die Gebäudedaten der Villa Metzler aufgezeigt und erläutert.

Tafel 3.2.4 Energiekonzept „MAK“ - Gebäudedaten - Villa Metzler

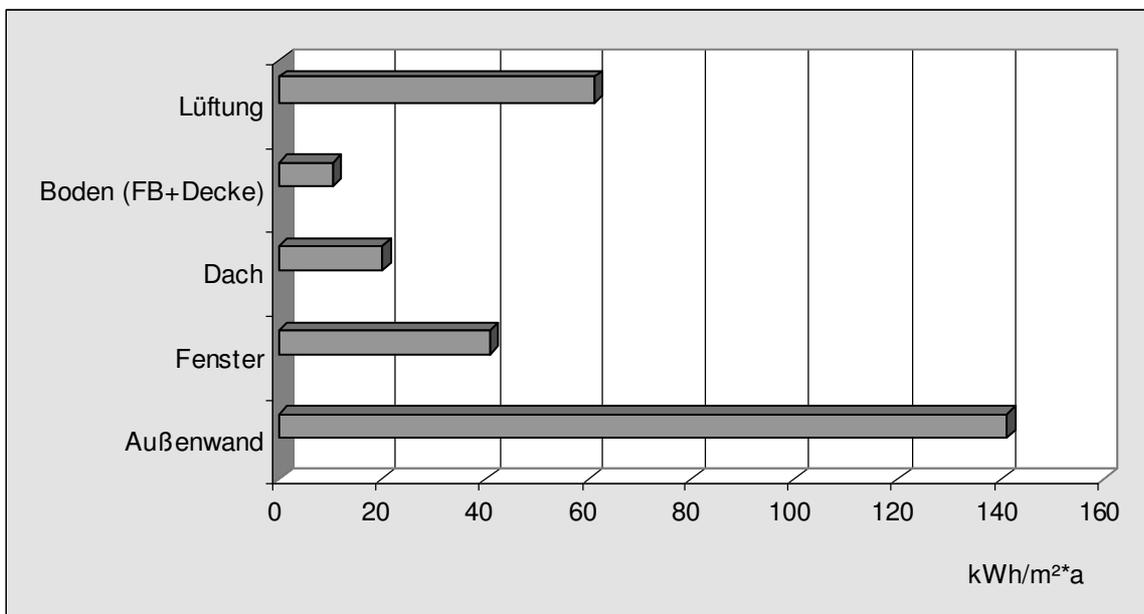
GEBÄUDEDATEN			
Energiebezugsfläche	EBF	1.060,0	m ²
davon mechanisch belüftete Fläche	0 %	0,0	m ²
Personenbelegung	P/d	7	P
Luftvolumen	V	4.060,0	m ³

TRANSMISSIONS- UND LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE -Villa Metzler-

Die nach dem hessischen Leitfaden berechneten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste betragen für die "Villa Metzler" rund 290.000 kWh/a, woran die Lüftungswärmeverluste einen Anteil von rund 22 % haben.

Bei den Transmissionswärmeverlusten liegt der höchste Anteil bei der Außenwand (51,5 %) gefolgt von den Fenstern mit knapp 15 %. Dachfläche und Fußboden haben zusammen einen Transmissionswärmeverlustanteil von 11,1%.

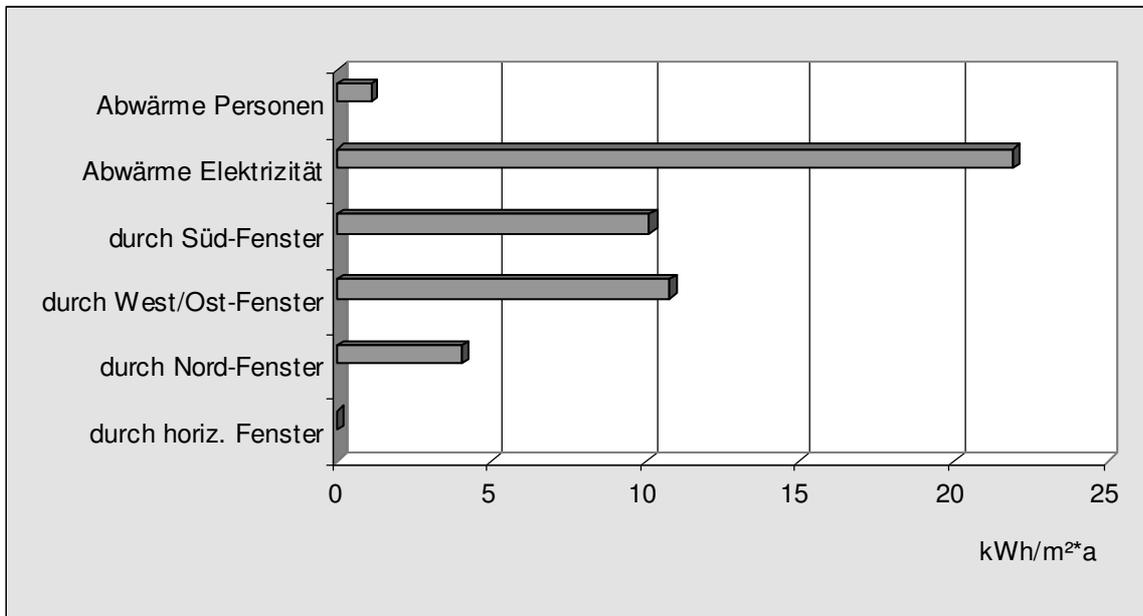
Bild 3.2.3 Energiekonzept „MAK“ - Wärmeverluste – MAK



WÄRMEGEWINNE -Villa Metzler-

Für die Villa Metzler errechnen sich jährliche Wärmegewinne in Höhe von rund 48.200 kWh. Die Solargewinne haben daran einen Anteil von 52 % und die inneren Wärmegewinne von 48 %. Die spezifischen Gewinne sind nachfolgend in Bild 3.2.4 dargestellt.

Bild 3.2.4 Energiekonzept „MAK“ - Wärmegewinne - Villa Metzler



HEIZWÄRMEBEDARF -Villa Metzler-

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

Tafel 3.2.5 Energiekonzept „MAK“ - Heizwärmebedarf - Villa Metzler

Heizwärmebedarf	QH=QV-QG	242.530	(kWh/a)
Energiekennwert Heizwärme	QH/EBF	228,8	(kWh/m²a)
Grenzwert		75,0	(kWh/m²a)
Grenzwertüberschreitung		205,0	(%)
Grenzwert erfüllt	nein		

Der auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizenergiebedarf liegt mit 229 kWh/m²*a ca. 205 % über dem Grenzwert nach hessischen Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude.

Werkstattgebäude

In Tafel 3.2.6 sind die Daten des Werkstattgebäudes aufgezeigt und erläutert.

Tafel 3.2.6 Energiekonzept „MAK“ - Gebäudedaten -Werkstattgebäude

GEBÄUDEDATEN			
Energiebezugsfläche	EBF	478,0	m ²
davon mechanisch belüftete Fläche	0%	0,0	m ²
Personenbelegung		8	P
Luftvolumen (=EBF * Raumhöhe)	V	1.625	m ³

TRANSMISSIONS- UND LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE -Werkstattgebäude-

Die nach dem hessischen Leitfaden berechneten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste betragen für das "Werkstattgebäude" rund 144.000 kWh/a, woran die Lüftungswärmeverluste einen Anteil von ca. 19 % haben.

Im folgenden Bild 3.2.5 ist die Verteilung der spezifischen Verluste des Werkstattgebäudes aufgeführt.

Bild 3.2.5 Energiekonzept „MAK“ – Verteilung der spezifischen Wärmeverluste - Werkstattgebäude

Transmissionswärmebedarf

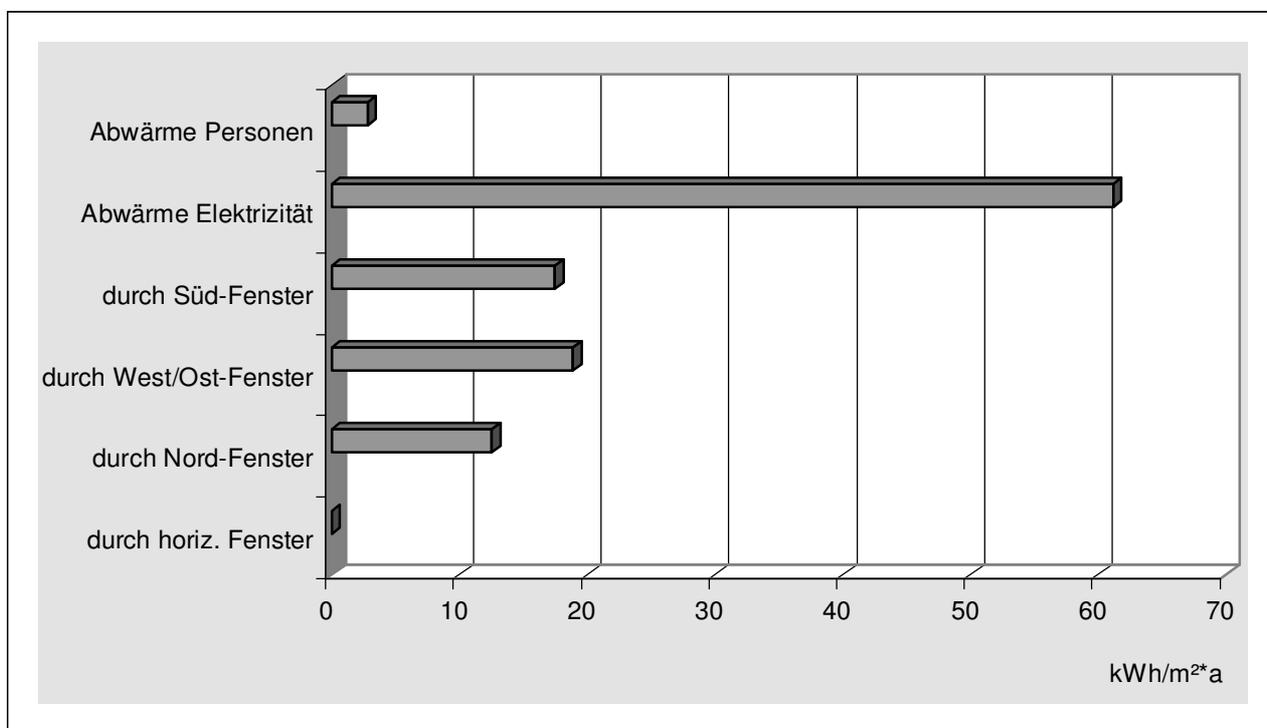
		Fläche (m ²)	k/keq-Wert (W/m ² K)	T _i (°C)	T _a (°C)
Außenwand	AW1	567	0,24	22	-12
	0	0	0	22	-12
	0	0	0	22	-12
	0	0	0	22	-12
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
Fenster	Ost/West	28	2,7	22	-12
	0 Nord	63	2,7	22	-12
	0 Süd	35	2,7	22	-12
	0 Q13/-AF-horizontal	0	0	22	-12

Bei den Transmissionswärmeverlusten liegt der höchste Anteil bei den Außenwänden (49,8%) und den Fenstern (19,1 %). Das Dach sowie Fußboden und erdreichberührende Flächen zusammen haben einen Transmissionswärmeverlustanteil von je 6 %.

WÄRMEGEWINNE -Werkstattgebäude-

Für das Werkstattgebäude errechnen sich jährliche Wärmegewinne in Höhe von rund 44.300 kWh. Die Solargewinne haben daran einen Anteil von 38 % und die inneren Wärmegewinne von 62 %. Die spezifischen Gewinne sind nachfolgend dargestellt.

Bild 3.2.6 Energiekonzept „MAK“ - Wärmegewinne - Werkstattgebäude



HEIZWÄRMEBEDARF -Werkstattgebäude-

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

Tafel 3.2.7 Energiekonzept „MAK“ - Heizwärmebedarf - Werkstattgebäude

Heizwärmebedarf	QH=QV-QG	99.495	(kWh/a)
Energiekennwert Heizwärme	QH/EBF	208,1	(kWh/m²a)
Grenzwert		75,0	(kWh/m²a)
Grenzwertüberschreitung		178,0	(%)
Grenzwert erfüllt	nein		

Der auf die Energiebezugsfläche bezogene Heizenergiebedarf liegt mit 208 kWh/m²*a 178 % 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 MAK-Gebäudekomplexes können wie folgt bewertet werden:

- Der nach dem Hüllflächenverfahren rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf aller drei Gebäude beträgt **1.645,4 MWh** für die Raumbeheizung. Der Gebäudewärmebedarf liegt bei rund **977 kW**, was einem spezifischen Wärmebedarf von **102 Watt pro Quadratmeter** Nutzfläche entspricht.
- Der geforderte Grenzwert des spezifischen Heizenergiebedarfs nach Hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude von $75 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ wird bei weitem nicht erreicht, sondern mit **173 kWh/m²a** um **230 %** überschritten. Aus den ermittelten Werten kann somit ein relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden, das durch bauliche Wärmeschutzmaßnahmen realisiert werden könnte.
- Die drei Baukörper (Quadranten) des Museums für Angewandte Kunst stellen einen relativ guten Dämmstandard dar (u -Wert Außenwand $< 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ / Außenfenster $< 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Des Weiteren ist davon auszugehen, dass energetische Optimierungsmaßnahmen, aufgrund der „geschützten“ Architektur, nicht zu realisieren sind.
- An den Fenstern der Ausstellungsbereiche im MAK wurden nachträglich Vorsatzfenster im Innenbereich ergänzt (Kastenfenstersystem). Da aber die Abluftöffnungen der Lüftungsanlage „Ausstellung“ nun in diesem Kastenbereich liegen, wurden unterhalb der Fenster Lüftungsgitter zur Abluftansaugung aus den Ausstellungsräumen hergestellt. Dieses System muss beibehalten werden, um die Zu- und Abluftverhältnisse im Ausstellungsraum nicht zu verändern.
- Im Außenbereich der Fenster des MAK lösen sich an verschiedenen Stellen die Dichtungen zwischen Glas und Rahmen. Daraus ergeben sich zusätzliche Lüftungswärmeverluste. Der Anteil dieser defekten Dichtungen an der Gesamtfensterfläche liegt bei ca. 5 % (**vgl. Maßnahme 3.2.V**).
- Bei der Villa Metzler und dem Werkstattgebäude stellen die Außenwände und die Kasten- bzw. zweifachverglaste Fenster einen erheblichen Schwachpunkt dar. Eine Optimierung des Wärmeschutzes der beiden älteren Gebäude ist anzustreben, wobei für die Villa Metzler die Auflagen des Denkmalschutzes berücksichtigt werden müssen.
- Für die Villa Metzler werden in 2003, aufgrund von Undichtigkeiten im Dachbereich, punktuelle Sanierungsarbeiten (Abdichtungen im Kehl balkenbereich und bei einigen Fenstern) durchgeführt⁴. Nach Mitteilung des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt wird, aufgrund nicht zur Verfügung stehender Geldmittel, aber keine flächige Dachsanierung durchgeführt bzw. es werden keine weiteren Maßnahmen realisiert, die zu einer weiteren Optimierung vorgeschlagener Maßnahmen führen (z.B. Verstärkung der Dämmdicke durch Abnehmen der Heizkörper).

⁴ Festgelegter u -Wert nach ENEC muss nicht eingehalten werden, da weniger als 20 % des Bauteils saniert werden.

Maßnahme 3.2.I Dämmung des Fensterbereichs im MAK

Ohne größeren Aufwand könnten die durch Verdunklungseinrichtungen verdeckten unteren Fensterbereiche (rund 253 m²) in allen drei Geschossen des MAK durch Anbringen einer Gipskarton-Hartschaumverbundplatte (6 cm) mit zusätzlicher Folie an der Scheibe gedämmt werden.

Allerdings müsste mit dem Architekten geklärt werden, ob diese Maßnahme ein Eingriff in die Optik der Außenfassade darstellt.

Maßnahme 3.2.II Dämmung der Heizkörpernischen in der Villa Metzler

Die Heizkörpernischen (rund 113 m²) könnten in allen drei Geschossen des Altbaus durch Anbringen einer Hartschaumverbundplatte mit Folie gedämmt werden. Da, wie oben genannt, das Abnehmen der Heizkörper nicht geplant ist, könnte nur eine Dämmplatte mit einer Stärke von 1 cm aufgebracht werden.

Maßnahme 3.2.III Wärmedämmung der Außenwand des Werkstattgebäudes

Der energetisch größte Effekt für das Werkstattgebäude könnte durch eine Wärmedämmung der Außenwand erreicht werden. Durch das Anbringen eines 14 cm Wärmdämmverbund-Systems könnte der U-Wert von derzeit auf 1,56 W/m²*K auf 0,24 W/m²*K verbessert werden und damit die Anforderungen der EnEV erfüllt werden.

Maßnahme 3.2.IV Wärmedämmung der untersten Geschossdecke im Werkstattgebäude

Ein weiterer Energieeinspareffekt könnte durch eine Wärmedämmung der Kellerdecke erreicht werden. Durch das Anbringen einer 6 cm Wärmdämmung unterseitig könnte der U-Wert von derzeit auf 1,02 W/m²*K auf 0,40 W/m²*K verbessert werden.

Die Energieeinsparverordnung fordert bei Vermietung eine Keller- und Geschossdeckendämmung bis zum Jahr 2006.

Maßnahme 3.2.V Erneuerung der Dichtungen zwischen Glas und Rahmen an Fenstern des MAK

Durch die Erneuerung der sich lösenden Dichtungen zwischen Glasscheiben und Rahmen an Teilen der Fenster im MAK können die Lüftungswärmeverluste reduziert werden. Hierzu müssen die alten Dichtungen entfernt werden und durch eine neue Silikondichtung ersetzt werden.

3.3 Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen

3.3.1 Stammdaten der zentralen Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung der drei Gebäude erfolgt über zwei gasbefeuerte, mit zweistufigen Gebläse-brennern ausgerüsteten Guss-Heizkesseln inkl. Abgaswärmetauscher. Es handelt sich hierbei um Heizkessel mit konstanter Vorlauftemperatur. Diese Kessel arbeiten bei Teillast in Kesselfolge und bei Vollast im Parallelbetrieb. Die vorgenannten Geräte sind im Heizraum, 2. Quadrant - Untergeschoß- installiert.

Tafel 3.3.1 Energiekonzept „MAK“ – Daten der Kesselanlage

	Kessel 1	Kessel 2
Hersteller	Fröling	Fröling
Typ	SOG 580	SOG 580
Leistung	581 kW	581 kW
Baujahr	1983	1983
Brennerhersteller	Oertli	Oertli
Elektr. Leistungsaufnahme	1,1 kW	1,1 kW

(weitere Daten siehe Anhang 3.3.1)

Die **Gesamtwärmeleistung** der Heizkessel beträgt **1.262 kW**. Die erzeugte Wärmemenge der Heizkessel wird mittels Wärmemengenzähler erfasst und zentral dokumentiert. Eine Auswertung war jedoch nicht möglich, da die Wärmemengenzähler defekt sind und die Werte für das Betrachtungs-jahr 2001 nicht zur Verfügung standen.

Die Wärmeversorgung der statischen Heizungen und der Raumluft-Technischen-(RLT)Anlagen er-folgt über ein zentrales Warmwasser-Heiznetz. Die Kesselanlage wird gleitend in Abhängigkeit von der Außentemperatur mit einer tatsächlichen Vorlauftemperatur zwischen 90 °C und 60 °C, bei einer Temperaturspreizung von 30 Kelvin, betrieben.

In Abschnitt 3.2.2 wurde für das MAK einschl. der Nebengebäude ein rechnerischer Wärmebedarf von **977 kW** ermittelt. Dieser Wärmebedarfswert wird durch eine vom Hochbauamt der Stadt Frank-furt „Abteilung Energiemanagement“, anhand der Gasverbräuche von 2001 und 2002, durchgeführ-ten Wärmehöchstlastberechnung bestätigt (vgl. Anhang 3.32).

Daraus ergibt sich eine Überdimensionierung der Kesselanlage von 22 %. Mögliche Einsparungen können durch Kesselaustausch (vgl. Maßnahme 3.3.III) bzw. durch Anpassung der Brennerleistung (siehe Maßnahme 3.3.V) realisiert werden.

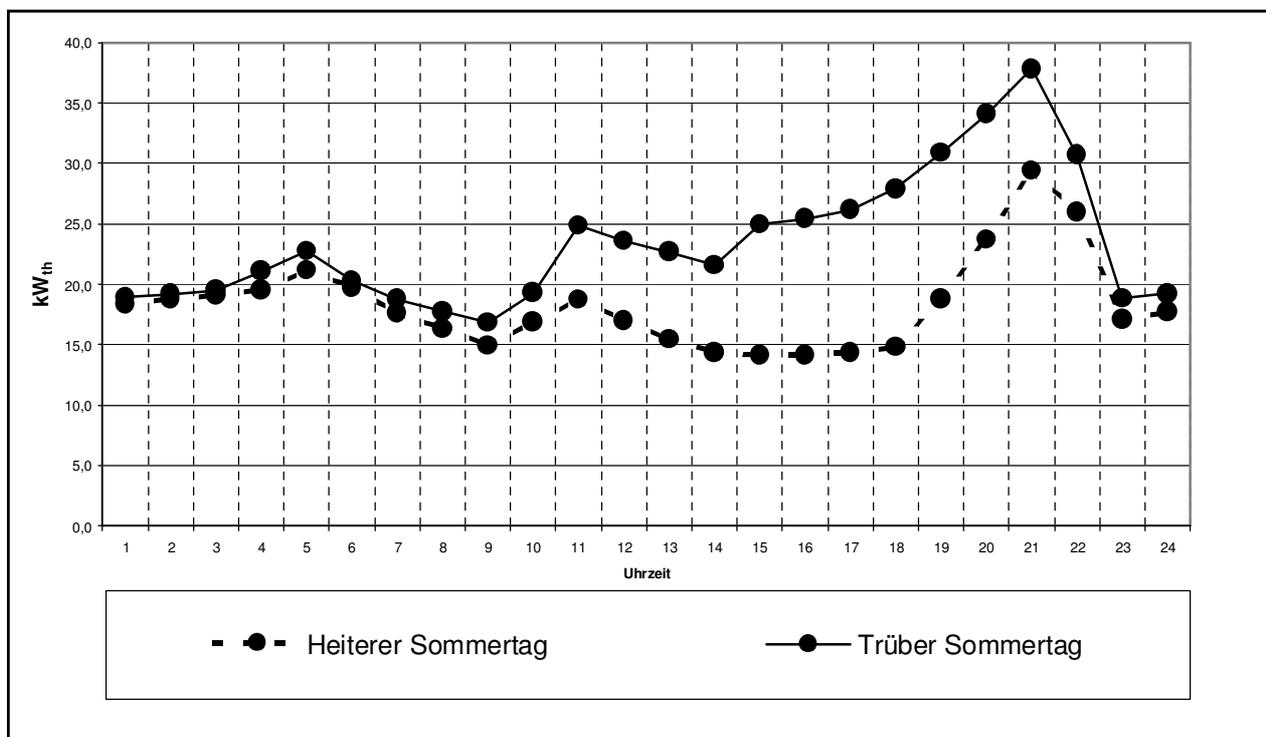
Der Jahrsnutzungsgrad der Heizkessel berechnet sich aus den Abgasmessungen des Schornstein-fegers (siehe Anhang 3.3.1) auf ca. 94,3%, der Verteilungsnutzungsgrad wird mit 92,2% ermittelt. Daraus ergibt sich ein Jahresnutzungsgrad der Gesamtheizungsanlage von **86,9 %**.

Sommerlicher Wärmebedarf

Beide Heizkessel werden in den Sommermonaten nicht abgeschaltet und in Bereitschaft gehalten. Da aber im MAK die Warmwasserbereitung nicht mit den zentralen Wärmeerzeugern erfolgt, ist der

Wärmebedarf in den Sommermonaten entsprechend gering. Im folgenden Bild 3.3.1. sind die Wärmelastgänge für typische Sommertage dargestellt.

Tafel 3.3.1 Energiekonzept „MAK“ – Tagesgang des Wärmebedarfs in den Sommermonaten



Man erkennt, dass in den Sommermonaten der max. Wärmebedarf nicht über 40 kW steigt. Aus diesem Grund sollte nur ein Kessel in Bereitschaft gehalten werden (vgl. Maßnahme 3.3.IV).

3.3.2 Stammdaten des Warmwasserheiznetzes

Die Anlage ist als Pumpen-Warmwasserheizsystem mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 70°C und einer Rücklauftemperatur von 40°C konzipiert. Der Verteiler befindet sich in der Heizzentrale im UG des 2. Quadranten.

Die Verteilergruppen und die Versorgungsstränge mit den entsprechenden Heizleistungen sind in Tafel 3.3.2 aufgelistet. Der Heizwärmeverbrauch für die statische Heizung Restaurant wird mittels Wärmemengenzähler erfasst. Allerdings entsprechen die vor Ort abgelesenen Daten nicht dem tatsächlichen Verbrauch und lassen auf defekte örtliche Meßeinrichtungen schließen.

Um eine bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung mit dem verpachteten Bereich (Restaurant) zu erreichen, muss der defekte Wärmemengenzähler ausgetauscht werden und zusätzliche für die Lüftungsanlage „Restaurant“ eingebaut werden (vgl. Maßnahme 2.4.I).

Tafel 3.3.2 Energiekonzept „MAK“ – Vorhandene Heizkreise mit installierten Umwälz-

pumpen

Standort/Heizkreisbezeichnung	Hersteller/Typ	Heizleistungsbedarf in kW	Volumenstrom in m³/h	Förderhöhe in mWS	Elektr. Leistungsaufnahme in kW	Betriebszeit 2001 in h/a
Statische Heizkreise						
Primärpumpe						
Kessel 1	Wilo DOP 80/125 V	581,00	16,7	2,8	0,710	8.760
Abgas-WRG-Pumpe	Grundfos UPS 15-35	92,00	2,6	0,5	0,075	8.760
Kessel 2	Wilo DOP 80/125 V	581,00	16,7	2,8	0,710	8.760
Abgas-WRG-Pumpe	Grundfos UPS 15-35	92,00	2,6	0,5	0,075	8.760
Primärpumpe						
HK-Museum, 2. U. 3.Q., Heizplatten	Wilo RP 25/80 V	25,02	0,7	1,9	0,092	6.432
Primärpumpe						
HK-Museum, 1.,2., u. 3.Q., Konvektoren	Wilo TOP RS 25-7, 3. Stufe	58,54	1,7	4,2	0,160	6.432
Primärpumpe						
Nebengebäude, dt= 20 K	Wilo DOP P40/160 r	175,0	7,5	2,8	0,30	6.432
Primärpumpe						
Restaurant 2.Quad.,Konvektoren	Wilo RP 25/80 V	16,96	1,0	1,7	0,092	6.432
Sekundärpumpe						
Villa Metzler	Grundfos 15-45	105,0	7,5		0,10	6.432
Werkstattgebäude (H-Kr. Restaurator)	Wilo RS 25-60r				0,10	6.432
Werkstattgebäude (H-Kr. "Verwaltung")	Wilo RS 30-60r				0,10	6.432
Werkstattgebäude (H-Kr. Speicherladung)	Grundfos UP 15-15				0,13	6.432
Gartenhaus	Wilo RS 25/60r				0,10	6.432
Primärpumpe						
Lufterhitzer	Wilo DOP 50/250	975,0	28,0	13,0	3,00	8.760
Sekundärpumpen Lüftung						
1. Quadrant						
Fensterblas - VE	Wilo P 40/100	125,4	5,4	1,0	0,11	8.760
Vortrag Projektion - VE	Wilo RP 25/80	44,4	1,3	1,1	0,05	8.760
2. Quadrant						
Fensterblas - VE	Wilo RP 25/80	44,4	5,4	1,1	0,05	8.760
Küche - Restaurant	Wilo RP 30/80	107,3	3,1	0,4	0,10	8.760
3. Quadrant						
Fensterblas - VE	Wilo P 40/100	104,0	6,0	1,0	0,11	8.760

3.3.3 Stammdaten der Warmwasserversorgung

Im Museum für angewandte Kunst sind zwei verschiedene Brauch-Warmwassersysteme für unterschiedliche Nutzungsbereiche installiert.

Museum für Angewandte Kunst

Die Trinkwassererwärmung der Zapfstellen für Putzzwecke (Ausgussbecken) im Bereich des MAK erfolgt dezentral über Elektrowarmwasserspeicher. Die Handwaschbecken werden ausschließlich mit Kaltwasser versorgt.

Elektrische Warmwasserbereiter

Derzeit sind neun der insgesamt 15 installierten Untertisch-Warmwasserbereiter in Betrieb, die anderen sind defekt. Ein Erneuerungsbedarf besteht hier nicht. Die UT-WWB verfügen über eine elektrische Anschlussleitung von je 2 kW. Warmwasser wird im Museum für Angewandte Kunst für Haus-, Reinigungs-, Putz- und Kochzwecke benötigt. Für die Berechnung des Strombedarfs für die Warmwasserbereitung werden folgende Ansätze gewählt:

WW-Bedarf: 3.032 Liter pro Tag –

Bei 312 Nutzungstagen ergibt sich ein Jahresbedarf von 946 m³.

Temperaturdifferenz (Kalt- zu Warmwasser): 35 K

Spezif. Wärmekapazität von Wasser : 1,163 kWh/m³*K

Nutzungsgrad Untertischspeicher: 60 % bei Teilentladung⁵

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

Stromverbrauch WW-Bereitung: $946 \text{ m}^3/\text{a} * 1,163 \text{ kWh/m}^3 * \text{K} * 35 \text{ K} / 0,60 = 64.178 \text{ kWh/a}$

Restaurant

Das sich im 2. Quadranten befindliche Café/Restaurant wird über einen direktbefeuchten Trinkwassererwärmer (Heizraum, 2.Q.-UG) versorgt. Die technischen Daten sind in Tafel 3.3.3 aufgeführt.

Tafel 3.3.3 Energiekonzept „MAK“: Stammdaten der Trinkwarmwasserversorgung des Restaurants

Bereich	Restaurant
Hersteller	Hydrotherm
Typ	BT 270
Leistung	49,4 kW
Baujahr	1982
Speicherinhalt	280 Liter
Speichertemperatur	ca. 50 °C

Der entsprechende Brennstoffbedarf wird über einen Gaszähler im Hausanschlussraum erfasst und

⁵ vgl.: Handbuch „Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen, Bundesamt für Konjunkturfragen, Impuls für das bauliche Energiesparen, Bern

separat abgerechnet (vgl. Abschnitt 2.2). Die Verteilung des Trinkwarmwassers erfolgt über eine Zirkulationsleitung mit entsprechender Zirkulationspumpe. Eine Unterbrechung der Brauchwarmwasserzirkulation außerhalb der Öffnungszeiten erfolgt nicht (siehe Maßnahme 3.3.V).

3.3.4 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Hinsichtlich seines Zustandes und seiner Konzeption ist das Warmwasserheizsystem in dem Museum für Angewandte Kunst wie folgt zu bewerten:

- Rechnerisch ist eine Kesselleistung von ca. 975 kW für die drei zu versorgenden Gebäude ausreichend. Die installierte Kesselleistung mit 1.262 kW liegt somit rund **22 %** über dem Wärmebedarf der drei Gebäude (s. Maßnahme 3.3.III).
- Um den sommerlichen Wärmebedarf des MAK (max. 40 kW) decken zu können, muss nur einer der beiden Heizkessel in Betrieb sein. Der zweite Kessel kann außer Betrieb genommen werden (s. Maßnahme 3.3.IV).
- Die installierten Heizkessel haben mit 20 Jahren ihre technische Lebensdauer erfüllt. Da schon einige Reparaturen (Schweißung des Kesselkörpers) durchgeführt wurden, ist hier im Zuge der Bauernhaltung kurz- bis mittelfristig Modernisierungsbedarf vorhanden (s. Maßnahme 3.3.II).
- Von den installierten Umwälzpumpen werden die Doppelpumpen des Heizkreises "Lüftungsanlagen" mit elektronischer Drehzahlregelung, die derzeit defekt ist, betrieben. Somit könnte diese und die derzeit noch unregelmäßig betriebenen Primär- und Sekundärpumpen der statischen Heizflächen und die Sekundärpumpen der Kältekreisläufe durch drehzahlgeregelte Pumpen ersetzt werden, da derzeit ein überhöhter Stromverbrauch verursacht wird. Im Rahmen einer Modernisierung bzw. Austausches muss gemäß EnEV eine selbsttätig in 3 Stufen regelbare elektronische Pumpe eingebaut werden (s. Maßnahme 3.3.I).
- Für eine exakte Verbrauchserfassung und -abrechnung sollte der Wärmeverbrauch des verpachteten Restaurantbereichs (statischer Heizkreis sowie die Lüftungsanlage „2.6 Restaurant / Küche“) mittels Wärmemengenzähler erfasst werden. Eine Aufschaltung der Messeinrichtung auf eine zukünftige GLT ist vorzusehen (s. Maßnahme 2.4.I).

Maßnahme 3.3.I Optimierung der Heizungs-Umwälzpumpen für die statischen Heizkreise

Die Heizungsumwälzpumpen haben zum Teil mit einer Nutzungsdauer von über 15 Jahren das Ende der technischen Nutzungszeit von 12 Jahren erreicht bzw. überschritten. Aus Gründen der Bauernhaltung steht in absehbarer Zeit eine Sanierung an. Entsprechend der EnEV werden insgesamt acht Umwälzpumpen für die statische Heizung und die Primärpumpe Luftherhitzer durch elektronische drehzahlgeregelte Umwälzpumpen ersetzt.

Maßnahme 3.3.II Erneuerung der Wärmerzeugungsanlage

Bei Neuinstallation sollte eine Kesselleistungssplittung von ca. 60/40% eingehalten werden, um über eine intelligente Kesselfolgeschaltung eine möglichst optimale Auslastung der Heizkessel zu erreichen. Der größere Heizkessel kann außerhalb der Heizperiode außer Betrieb genommen werden um unnötige Bereitschaftsverluste zu vermeiden.

Die Gesamtleistung beider Kessel ist rechnerisch mit 975 kW ausreichend. Wenn parallel zu der Kesselanlage die Lüftungsanlagen modernisiert werden, können, bedingt durch die niedrige Rücklauftemperatur, Brennwertkessel eingesetzt werden.

Ein Zwang zum Kesselaustausch (EnEV und 1.BImSchV) besteht derzeit nicht. Bedingt durch das Erreichen des Endes der technischen Lebenszeit der Heizkessel ist aus Gründen der Bauerhaltung ein Austausch der Heizkessel zu empfehlen.

Maßnahme 3.3.III Anpassen der Brennerleistung an tatsächlichen Bedarf

Bevor die Sanierung der Wärmeerzeugungsanlage realisiert wird, kann als Sofortmaßnahme die Anpassung der Brennerleistung an den tatsächlichen Wärmebedarf von 975 kW realisiert werden. Dies erfolgt durch die Reduzierung des Brennstoffdurchsatzes und kann im Rahmen einer Wartung vom Fachpersonal des Brennerherstellers ohne größeren Aufwand durchgeführt werden.

Maßnahme 3.3.IV Abschalten eines Heizkessels in den Sommermonaten

Da im MAK keine Warmwasserbereitung mit den Heizkesseln erfolgt, liegt der sommerliche Wärmebedarf bei max. 40 kW. Dieser Wärmebedarf kann mit einem Heizkessel gedeckt werden, so dass der zweite Kessel abgeschaltet werden kann und somit die Bereitschaftsverluste reduziert werden können.

Maßnahme 3.3.V Zirkulationsunterbrechung der WWB-Pumpe Restaurant

Die Warmwasserzirkulationspumpe des Restaurants wird derzeit nicht bedarfsgerecht geschaltet. Zur Reduzierung des Heizenergie- sowie des Strombedarfs für die Warmwasserbereitung im Restaurantbereich, sollte die vorhandene Zirkulationspumpe mit einer entsprechenden Zeitschaltuhr und automatischem Tagesprogramm nachgerüstet werden.

3.4 Stammdaten der Klima- und Lüftungsanlagen

Die Be- und Entlüftung sowie die Klimatisierung von Raumbereichen des Museums für Angewandte Kunst (MAK) erfolgt mit Raumlufttechnischen (RLT)-Anlagen, die hinsichtlich ihrer verfahrenstechnischen Merkmale als Zentralanlagen-System mit zentraler Luftförderung und Luftaufbereitung mit Nachbereitung in Einzelzonen einzuordnen sind.

Die Heizwärmeversorgung der RLT-Anlagen erfolgt über das zentrale Pumpenwarmwasser-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

Im MAK ist keine Form der Wärmerückgewinnung für RLT-Anlagen eingebaut. Allerdings wird ein großer Teil der Luftmengen im Umluftbetrieb gefahren.

3.4.1 Stammdaten der Teil-Klima- und Lüftungsanlagen

Das Museum für Angewandte Kunst verfügt über drei Bereiche (1. Quadrant, 2. Quadrant, 3. Quadrant) mit Lüftungsanlagen. In der folgenden Tafel 3.4.1 sind die Anlagen mit Bezeichnungen der jeweiligen Lüftungsgeräte mit Standort und Versorgungsbereich, gegliedert nach Schaltschränken, zusammengestellt.

Tafel 3.4.1 Energiekonzept MAK: Stammdaten der Klima- und Lüftungsanlagen

Anlage	Bezeichnung	Standort Ebene	Versorgungsbereich - Ebene	Einheit
Schaltschrank 1.Q. Dachzentrale 1. Quadrant DA-Zentrale 1. Q.				
Anlage 1.1	Ausstellung	DA-Zentrale 1. Q.	Ausstellung 1. Q.	Zentr. Zu-/Abluftgerät
Anlage 1.2	Fensterblasanlage	DA-Zentrale 1. Q.	Ausstellung 1. Q.	Zentr. Zuluftgerät
Anlage 1.3	Aufzugsmaschinenraum	UG 1. Q.	Aufzugsm.raum. UG	Abluftgerät
Anlage 1.4	WC-Abluftanlage	DA-Zentrale 1. Q.	WC. 1.Q.	Abluftgerät
Schaltschrank 1.Q. Untergeschoss 1. Quadrant UG-Zentrale 1. Q.				
Anlage 1.5	Vortrags- und Projektions-	UG-Zentrale 1. Q.	Vortrags- und Pro-	Zentr. Zu-/Abluftgerät

Anlage	Bezeichnung	Standort Ebene	Versorgungs-Bereich - Ebene	Einheit
Schaltschrank 2.Q. Dachzentrale 2. Quadrant		DA-Zentrale 2. Q.		
Anlage 2.1	Ausstellung	DA-Zentrale 2. Q.	Ausstellung 2. Q.	Zentr. Zu-/Abluftgerät
Anlage 2.2	Fensterblasanlage	DA-Zentrale 2. Q.	Ausstellung 2. Q.	Zentr. Zuluftgerät
Anlage 2.3	Aufzugsmaschinenraum	DA-Zentrale 2. Q.	Aufzugsraum. UG	Abluftgerät
Anlage 2.4	WC-Abluftanlage	DA-Zentrale 2. Q.	WCs. 2.Q.	Abluftgerät
Anlage 2.5.1	Windfang	DA-Zentrale 2. Q.	EG. 2.Q.	Zuluftgerät
Anlage 2.5.2	Windfang	DA-Zentrale 2. Q.	EG. 2.Q.	Zuluftgerät
Anlage 2.6	Restaurant-Küche	DA-Zentrale 2. Q.	EG. 2.Q.	Zentr. Zu-/Abluftgerät
Anlage 2.7	Personal-WC-Abluftanlage	DA-Zentrale 2. Q.	EG. 2.Q.	Abluftgerät
Anlage 2.8	Heizzentrale	UG-Heizzentrale	UG. 2.Q.	Abluftgerät
Anlage 2.9	Hausanschluss	UG-H-A. 2.Q.	UG. 2.Q.	Abluftgerät
Anlage 2.10	Aktenlager		UG. 2.Q.	Abluftgerät
Anlage 2.11	Depot		UG. 2.Q.	Zu-/Umluftgerät
Anlage 2.12	NN	NN	UG. 2.Q.	Abluftgerät
Schaltschrank 3.Q. Dachzentrale 3. Quadrant				
Anlage 3.1	Ausstellung	DA-Zentrale. 3.Q.	Ausstellung 3.Q.	Zentr. Zu-/Abluftgerät
Anlage 3.2	Fensterblasanlage	DA-Zentrale. 3.Q.	Ausstellung 3.Q.	Zentr. Zuluftgerät
Anlage 3.3	Aufzugsmaschinenraum	DA-Zentrale. 3.Q.	Aufzugsraum UG	Abluftanlage
Anlage 3.4	WC-Abluftanlage	DA-Zentrale. 3.Q.	DA-Zentrale. 3.Q.	Abluftanlage
Anlage 3.5	Windfang. 3.Q.	Windfang. 3.Q.	UG. 3.Q.	Zuluftanlage
Schaltschrank 3.Q. Untergeschosszentrale, 3.Q.				
Anlage 3.6	Depot	UG-Zentrale	UG-Zentrale. 3.Q.	Zentr. Zu-/Abluftgerät

Ausstellung (1. Quadrant, EG - 2.OG) - Anlage 1.1 und 1.2

Gemäß DIN 1946 handelt sich bei der Anlage 1.1 um ein kombiniertes Zu- und Abluftgerät für eine Lüftungsanlage mit drei Luftbehandlungsfunktionen (Heizen/Kühlen/Befeuchten). Das Lüftungszentralgerät wurde 1983 in der Dach-Technikzentrale des 1.Quadranten installiert.

Die raumluftechnische Versorgung der Ausstellungsräume ist zu Heiz- und Kühlzwecken und zur Regulierung bzw. Konstanthaltung der Raumlufftfeuchte notwendig. Eine Grundbeheizung der Ausstellungsräume erfolgt über statische Heizflächen.

Die Raumwärmebereitstellung erfolgt mit bis zu 40-gradiger Luft bei minimaler Außenlufttemperatur von -12°C. Die Kühlfunktion erfolgt mit einer niedrigsten Temperatur von 14,5 °C bei einem Temperatureintritt von 29,5°C. Die Befeuchtung erfolgt bei 13 °C mit 90% rel. Feuchte.

Übertragen werden diese Luftkonditionen mit einem Zwei-Kanal-System (ein Kanal zur Wärme, ein Kanal zur Kälteübertragung) und mit vor den Räumen angeordneten Mischboxen, in denen die beiden Luftströme gemischt werden. Die Raumabstimmung erfolgt mittels Raumtemperatur- und -feuchtefühler, die auf die Mischboxen aufgeschaltet sind. Weiterhin wird mit Außenluft- bzw. Umluftanteilen gearbeitet, um die technische Kühl- und Befeuchtungsarbeit zu reduzieren.

Der Heiz- und Kühlbetrieb wird durch die Anlage 1.2 (Fensterblas) im Flur und Emporenbereichen unterstützt. Die Zuluftführung in die einzelnen Bereiche/Räume erfolgt mittels Schlitz- und Fenster-schienen.

Derzeit wird die Anlage im 24 h-Betrieb (Volllast) mit einem geringstmöglichen (ca. 10%) Außenluftanteil gefahren. Die ursprüngliche Konzeption die Anlage zweistufig zu betreiben, kann auf Grund einer kaum erreichbaren Soll-Raumluftfeuchte nur in den Monaten mit ausreichender atmosphärischer Feuchte umgesetzt werden.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur: + 22 °C ±2 °C
Relative Luftfeuchte: max. 50 % ±5%
Zulufttemperatur: max. +39 °C - Außenluftanteil: 10 - 100 %

Betriebszeiten: 0.00 Uhr bis 24.00 Uhr

Die Auslegungswerte der Raumfeuchte werden in der Praxis nicht erreicht. Aus diesem Grund wird die Lüftungsanlage 24 h im Volllastbetrieb gefahren.

Die Befeuchtungsanlage wurde in den vergangenen Jahren von einer adiabaten Wasserbefeuchtung (sinkende Lufttemperatur bei der Befeuchtung) auf eine isotherme Dampfbefeuchtung (gleichbleibende Lufttemperatur bei der Befeuchtung) umgestellt. Der Luftherhitzer blieb aber, wie bei einer adiabaten Befeuchtung notwendig, hinter der Befeuchtungsanlage. Dies führt dazu, dass die Zuluft nach der Befeuchtung erwärmt wird und somit die relative Feuchte der Zuluft sinkt und die Raumfeuchte nicht erreicht wird (s. Maßnahme 3.4.II).

Sämtliche Zuluftventilatoren in diesen Anlagen (auch 2. und 3. Quadrant) sind hinter der Befeuchtungskammern und vor den Wärmetauschern angeordnet und unterliegen somit einem erhöhten Verschleiß (relativ feuchte Luft beaufschlagt den jeweiligen Ventilator).

Anlage 1.2:

Zur Verhinderung von zu großen Temperaturunterschieden an den Glasflächen und im Winter von Schwitzwasser wird ein Anteil der Luftmenge direkt im Fensterbereich eingebracht (durch Anlage 1.2). Diese Fensterblasanlage deckt rund 25% der Heiz- bzw. Kühllast der beaufschlagten Räume.

Die Raumwärmebereitstellung erfolgt mit bis zu 36-gradiger Luft bei minimaler Außentemperatur von -12 °C. Die Kühlfunktion erfolgt mit einer niedrigsten Temperatur von 14,6 °C bei einem Temperatureintritt von 29,0 °C. Übertragen werden diese Luftkonditionen mit einem Ein-Kanal-System. Es wird mit Außenluft- bzw. Umluftanteilen gearbeitet, um die technische Behandlung der Zuluft gering zu halten. Mit dieser Anlage wird der Heiz- und Kühlbetrieb der Anlage 1.1 unterstützt.

Derzeit wird die Anlage im 24 h-Betrieb (Volllast) mit einem geringstmöglichen Außenluftanteil gefahren. Die ursprüngliche Möglichkeit, die Anlage zweistufig zu fahren kann, auf Grund einer kaum erreichbaren Soll-Raumluftfeuchte, nur in den Monaten mit ausreichender atmosphärischer Feuchte umgesetzt werden.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur: + 22 °C ±2 °C
Relative Luftfeuchte: max. 50 % ±5%
Zulufttemperatur: max. +39 °C / Außenluftanteil: 10 - 100 %

Betriebszeiten: 0.00 Uhr bis 24.00 Uhr

Anlage 1.3 – Aufzugsmaschinenraum (1. Quadrant, UG)

Für die Aufzugsmaschine ist eine Abluftanlage mit 1.500 m³/h vorgesehen, um die Wärmeabfuhr des Motors zu gewährleisten.

Die Zuluft strömt frei von Nachbarräumen nach.

Auslegungsdaten:

Volumenstrom: 1.500 m³/h

Betriebsdauer: < 200 h/a (temperaturabhängig)

Anlage 1.4 – WC-Abluft (1.Quadrant, Dachzentrale)

Das Abluftgerät für die WC-Räume im 1. Quadrant befindet sich in der Zentrale im Dachgeschoss. Die Zuluft strömt frei von Nachbarräumen nach.

Auslegungsdaten:

Volumenstrom: 1.650 m³/h

Betriebszeiten/-dauer: 8.00 Uhr bis 20.00 Uhr / <1250 h/a

Anlage 1.5 – Vortrags- und Projektionsraum (UG)

Gemäß DIN 1946 handelt sich bei diesem kombinierten Zu- und Abluftgerät um eine Lüftungsanlage mit drei Luftbehandlungsfunktionen (Heizen/Kühlen/Befeuchten). Das Lüftungszentralgerät wurde 1983 in der Technikzentrale im UG des 1.Quadranten installiert.

Die raumluftechnische Versorgung der Räume U01, U02 und U04 ist zu Heiz- und Kühlzwecken und zur Regulierung bzw. Konstanthaltung der Raumlufftfeuchte notwendig.

Die Raumwärmebereitstellung erfolgt mit bis zu 25-gradiger Luft bei minimaler Außentemperatur von -12 °C. Die Kühlfunktion erfolgt mit einer niedrigsten Temperatur von 14,2 °C bei einem max. Temperatureintritt von 30 °C. Die Befeuchtung erfolgt bei 14 °C mit 80% rel. Feuchte. Übertragen werden diese Luftkonditionen mit einem Einkanalssystem. Die Raumabstimmung erfolgt mittels Raumtemperatur- und -feuchtefühler. Weiterhin wird mit Außenluft- bzw. Umluftanteilen gearbeitet, um die technische Kühl- und Befeuchtungsarbeit zu reduzieren. Die Zuluftführung in die einzelnen Räume erfolgt mittels Lüftungsgitter. Die Abluftabsaugung erfolgt über die "Schattenfuge" der abgehängten Decke. Die Anlage wird bedarfsorientiert manuell zu- und abgeschaltet.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur: + 22 °C ±2 °C

Relative Luftfeuchte: max. 50 % ±10%

Zulufttemperatur: max. +25 °C

Außenluftanteil: 10 - 100 %

Betriebszeiten /-dauer: 8.00 Uhr bis 22.00 Uhr / bedarfsgerecht, ca. 1400h/a

Da diese Räume eine eher geringe Nutzungsfrequenz haben, erscheint die mittlere Betriebszeit von rund 1.400 Stunden pro Jahr sehr hoch. Über eine frühzeitige manuelle Abschaltung bzw. Leistungsreduzierung der Anlage könnte hier der Strom- und Wärmeverbrauch reduziert werden (s. Maßnahme 3.4.I).

Ausstellung (2. Quadrant, EG - 2.OG) - Anlage 2.1 und 2.2

Diese Anlage entspricht von der Konzeption der vorgenannten Anlage 1. Quadrant. Jedoch wurde für diese Anlage kein Dampfbefeuchter eingebaut, da die benötigte elektrische Anschlussleistung für diesen Bereich nicht zur Verfügung gestellt werden kann.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur:	+ 22 °C ±2 °C
Relative Luftfeuchte:	max. 50 % ±5%
Zulufttemperatur:	max. +40,2 °C bzw. +35 °C
Außenluftanteil:	10 - 100 %

Betriebszeiten: 0.00 Uhr bis 24.00 Uhr

Anlage 2.3 – Aufzugsmaschinenraum (2. Quadrant, UG) und

Anlage 3.3 – Aufzugsmaschinenraum (3. Quadrant, UG)

Diese Anlagen entsprechen von der Konzeption der vorgenannten Anlage 1. Quadrant.

Anlage 2.4 – WC-Abluft (2.Quadrant, Dachzentrale) und

Anlage 3.4 – WC-Abluft (3.Quadrant, Dachzentrale)

Diese Anlagen entsprechen von der Konzeption der vorgenannten Anlage 1. Quadrant.

Das Abluftgerät für die WC-Räume im 2. Quadrant befindet sich in der Zentrale im Dachgeschoss. Die Zuluft strömt frei von Nachbarräumen nach.

Auslegungsdaten:

Volumenstrom:	1.100 m ³ /h bzw. 2.100 m ³ /h
<i>Betriebszeiten/-dauer:</i>	<i>8.00 Uhr bis 20.00 Uhr / <200 h/a</i>

Anlagen 2.5. (2.5.1 und 2.5.2) – Windfang (2. Quadrant, EG)

Die beiden Zuluftgeräte für Windfang Küche und Windfang Raum 006 befinden sich im 2. Quadrant, EG. Die Zuluft strömt frei von Nachbarräumen nach.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur:	+ 20 °C
Zulufttemperatur:	max. +55 °C
<i>Betriebszeiten/-dauer:</i>	<i>11.00 Uhr bis 24.00 Uhr / <1.900 h/a</i>

Anlage 2.6 – Restaurant / Küche (2. Quadrant, DG-Zentrale)

Es handelt sich hier um ein kombiniertes Zu- und Abluftgerät (ZL: Küche, Restaurant und Imbiss; Abl.: Restaurant und Imbiss) mit drei nachgeschalteten Kanalluftwärmehitzern sowie einem Abluftgerät (Küche). Die Zentraleinheiten sind in der Dachzentrale im 2. Quadrant installiert, die weiteren Luftwärmehitzer in den Lüftungskanälen.

Die Raumwärmebereitstellung erfolgt mit bis zu 30-gradiger Luft bei minimaler Außentemperatur von -12 °C. Die Anlage arbeitet als Einkanalssystem. Die Zu- und Abluftführung in die einzelnen Räume er-

folgt mittels Lüftungsgitter. Die Abluftabsaugung der Küche erfolgt über die Zentrale Ablufthaube im Bereich der Kochstellen.

Die Anlage wird bedarfsorientiert manuell zu- und abgeschaltet.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur: + 20 °C
Zulufttemperatur: max. +30 °C
Außenluftanteil: 10 - 100 %

*Betriebszeiten /-dauer: 11.00 Uhr bis 24.00 Uhr / bedarfsgerecht, ca. 3.600 h/a (Zuluft)
bzw 4.400h/a (Abluft)*

Anlage 2.7 – Personal-WC-Abluft (2.Quadrant, Dachzentrale)

Das Abluftgerät für die Personal-WC-Räume im 2. Quadrant befindet sich in der Zentrale im Dachgeschoss. Die Zuluft strömt frei von Nachbarräumen nach.

Auslegungsdaten:

Volumenstrom: 500 m³/h

Betriebszeiten: 8.00 Uhr bis 20.00 Uhr, bedarfsgerecht

Anlage 2.8, 2.9, 2.10 und 2.11 – Technikräume (2. Quadrant, Untergeschoss)

Für die Technikräume ist eine mechanische Fortluft aus Gründen der Abführung von Prozesswärme sowie zur Vermeidung erhöhter Raumluftfeuchte vorgesehen. Eine Einzelraumregelung ist nicht vorhanden.

Die Abluftanlagen 2.8, 2.9, 2.10 und 2.12 führen einen max. Gesamtvolumenstrom von 7.600 m³/h aus den Räumen Heizzentrale, Hausanschlussraum, Lager und Nebenräume. Die Zuluftanlage 2.11 fördert einen Volumenstrom von 1.700 m³/h von Nachbarräumen in das Depot und Nebenräume.

Betriebszeiten: 8.00 Uhr bis 22.00, bedarfsgerecht

Ausstellung (3. Quadrant, EG - 2.OG) - Anlage 3.1 und 3.2

Diese Anlage entspricht von der Konzeption der vorgenannten Anlage 1. Quadrant. Jedoch wurde für diese Anlage kein Dampfbefeuchter eingebaut, da die benötigte elektrische Anschlussleistung für diesen Bereich nicht zur Verfügung gestellt werden kann.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur: + 22 °C ±2 °C
Relative Luftfeuchte: max. 50 % ±5%
Zulufttemperatur: max. +40 °C
Außenluftanteil: 10 - 100 %

Betriebszeiten Anlage 3.1: 0.00 Uhr bis 24.00 Uhr

Betriebszeiten Anlage 3.2: 10.00 Uhr bis 20.00 Uhr

Anlagen 3.5. – Windfang (3. Quadrant, EG)

Das Zuluftgerät für den Windfang befindet sich im 3. Quadrant, EG. Die Zuluft strömt frei von Nachbarräumen nach.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur: + 20 °C
 Zulufttemperatur: max. +55 °C
 Betriebszeiten: 10.00 Uhr bis 22.00 Uhr

Anlage 3.6 – Depot

Gemäß DIN 1946 handelt sich bei diesem kombinierten Zu- und Abluftgerät um eine Lüftungsanlage mit drei Luftbehandlungsfunktionen (Heizen/Kühlen/Befeuchten). Das Lüftungscentralgerät wurde 1983 in der Technikzentrale im UG des 3.Quadranten installiert.

Die raumluftechnische Versorgung der Depoträume im Untergeschoss ist zu Heiz- und Kühlzwecken und zur Regulierung bzw. Konstanthaltung der Raumlufftfeuchte notwendig.

Die Raumwärmebereitstellung erfolgt mit bis zu 32-grädiger Luft bei minimaler Außentemperatur von -12°C durch zwei nachgeschaltete Kanalluftwärmer. Die Kühlfunktion erfolgt mit einer niedrigsten Temperatur von 15,7 °C bei einem max. Temperatureintritt von 29,0°C. Die Befeuchtung erfolgt bei 12°C mit 90% rel. Feuchte. Übertragen werden diese Luftkonditionen mit einem Einkanalssystem. Die Raumabstimmung erfolgt mittels Raumtemperatur- und -feuchtefühler. Weiterhin wird mit Außenluft- bzw. Umluftanteilen gearbeitet, um die technische Kühl- und Befeuchtungsarbeit zu reduzieren. Die Zu- und Ablufführung in die einzelnen Räume erfolgt mittels Lüftungsgitter.

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur: + 22 °C ±2 °C
 Relative Luftfeuchte: max. 50 % ±10%
 Zulufttemperatur: max. +25 °C
 Außenluftanteil: 10 - 100 %

Betriebsdauer: ca. 3.600h/a

Die Befeuchtungsanlage wurde von einer adiabaten Wasserbefeuchtung (sinkende Lufttemperatur bei der Befeuchtung) auf eine isotherme Dampfbefeuchtung (gleichbleibende Lufttemperatur bei der Befeuchtung) umgestellt. Der Lufterhitzer blieb aber, wie bei einer adiabaten Befeuchtung notwendig, hinter der Befeuchtungsanlage. Dies führt dazu, dass die Zuluft nach der Befeuchtung erwärmt wird und somit die relative Feuchte der Zuluft sinkt und die Raumfeuchte nicht erreicht wird (s. Maßnahme 3.4.II).

In der Tafel 3.4.2 sind die wesentlichen technischen Daten der Klima- und Lüftungsanlagen im Museum für Angewandte Kunst zusammengestellt.

Tafel 3.4.2 Energiekonzept „MAK“: Technische Daten der Teil-Klima- und Lüftungsanlagen

Anlage / Versorgungsbereich	Luftmengen		Ventilator-Motorleistung		VE in kW	NE in kW	Kühler	Be-feuchter in kW	Lauf-Zeit in h
	Zuluft In m ³ /h	Abluft in m ³ /h	Zuluft in kW	Abluft in kW					

Anlage / Versorgungsbereich	Luftmengen		Ventilator- Motorleistung		VE in kW	NE in kW	Kühler	Be- feuchter in kW	Lauf- Zeit in h
	Zuluft In m ³ /h	Abluft in m ³ /h	Zuluft in kW	Abluft in kW					
Teilklimaanlagen									
1.1 Ausstellung	36.300	43.800	11,0/33,0	9,0/26,0		156,0	242,7	33,8	0.00-24.00
1.2 Fensterblas	11.900	-	2,5/7,5	-		125,4	73,7	-	0.00-24.00
1.5 Vortrags-/Projek.-raum	5.000	5.000	1,0 / 3,3	0,66 / 2,0	14,8	18,7	34,7	0,14	8.00-22.00
2.1 Ausstellung	17.800	20.700	4,0/13,0	4,0/13,0		77,7	124,0	0,14	
2.2 Fensterblas	4.460	-	0,8/2,5	-		44,4	29,5		
2.5 Windfang		1.200	1,4			8,4			11.00-24.00
2.6 Küche, Restaurant	10.600	3.600	1,1 / 5,0	0,8 / 2,5		107			11.00-24.00
2.6 Nacherhitzer (3St)						62,96			
3.1 Ausstellung u. Bibliothek	21.700	28.000	6,2/18,0	6,2/18,0		108,5	146,2	0,14	0.00-24.00
3.2 Fensterblas	9.350	-	2,0/6,0	-	108,0	57,9			10.00-20.00
3.5 Windfang	600		0,7			8,4			10.00-24.00
3.6 Depot	9.600	8.550	1,5/4,5	0,8/2,5	41,1	26,6	55,7	4,5	0.00-24.00
GESAMT	127.310	110.850	40,3 / 94,9	21,44 / 64,0	163,9	801,96	706,5	38,72	
Einzelanlagen									
1.3 Aufzugsmasch.-raum		1.500		0,17					Zeitweise
1.4 WC-Abluft, 1.Q.		5.000		0,09					8.00-20.00
2.3 Aufzugsmasch.-raum		1.500		0,09					Zeitweise
2.4 WC-Abluft, 2.Q.		1.100		0,17					8.00-20.00
2.7 WC-Personal-Abluft, 2.Q.		500		0,14					8.00-20.00
2.8 Heizzentrale		6.500		0,5 / 2,0					8.00-22.00
2.9 Hausanschluss		700		0,08					8.00-22.00
2.10 Aktenlager		200		0,047					8.00-22.00
2.11 Zuluft Depot		2.140		0,29					8.00-22.00
2.12 Abluft Weissbinder		200		0,084					8.00-22.00
3.3 Aufzugsmasch.-raum		1.500		0,09					Zeitweise
3.4 WC-Abluft		2.100		0,47					8.00-20.00
GESAMT EINZELANLAGEN		22.940		2,221 / 3,721					
GESAMT MAK	127.310	133.790	40,3 / 94,9	23,661 / 67,721	163,9	801,96	706,5	38,72	

Im Museum für Angewandte Kunst sind 24 Lüftungsanlagen mit einer Gesamtzuluftmenge von 127.310 m³/h und einer Gesamtabluftmenge von 133.790 m³/h, installiert. Die klimatisierte Gesamtzuluftmenge beträgt über 83 % (106.710 m³/h) dieser Luftmenge. Für die Zu- und Abluftförderung sind Ventilatoren mit einer Gesamtmotorleistung von 162,6 kW installiert.

Im Maximalfall wird eine Heizleistung von insgesamt 802 kW benötigt, um die Zuluft der Teil-Klima- und Lüftungsanlage aufzuheizen. Die benötigte Kühlleistung beträgt insgesamt 707 kW.

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 Museum für Angewandte Kunst (MAK) hinsichtlich ihres Zustandes und ihrer Konzeption wie folgt bewertet wer-

den:

- Insgesamt sind 24 Lüftungsgeräte im MAK installiert. Davon verfügen 5 Anlagen über eine Kühlfunktion, 8 Geräte sind kombinierte Zu- und Abluftgeräte und 16 reine Fort- bzw. Zuluftanlagen. Sämtliche energetisch relevanten Anlagen verfügen über eine Mischlufteinheit in denen Stoff- und Wärmeaustausch erfolgt. Wärmerückgewinnungssysteme als Wärmetauscher sind nicht installiert.
- Die Ventilatoren der zentralen Zu- und Abluftgeräte wurden und werden in den vergangenen Jahren schrittweise gegen neue Ventilatoren mit einem höheren Wirkungsgrad ausgetauscht. Mit anderen technischen Bauteilen (u.a. Motoren) wird in gleicher Weise verfahren.
- Die Betriebszeiten der Lüftungsanlagen können teilweise reduziert werden, da die Nutzungsanforderungen sich mittlerweile geändert haben (s. Maßnahme 3.4.I).
- Von allen betriebstechnischen Anlagen, die in dem MAK betrieben werden, stellen die Lüftungssysteme „Ausstellung 1.-3. Quadrant“ die relevantesten „Wärme- und Stromverbraucher“ dar. Die hierzu benötigten raumlufttechnischen Anlagen, die einen Zu- und Abluftvolumenstrom von 75.800 m³/h aufweisen, entsprechen in ihrer technischen Konzeption nicht den Anforderungen an die Raumlufqualität. Derzeit werden die RLT-Anlagen, nicht lastabhängig, sondern ganzjährig im Volllastbetrieb gefahren.

Des weiteren trägt zu einem überhöhten Heizwärmeverbrauch die Tatsache bei, dass bei der Anlage „1.1 Ausstellung“ die Zulufttemperaturen im Heizfall (bei niedriger Außenluftfeuchte) zu hoch sind. Wird im Winter Heizwärme benötigt, so wird relativ trockene Außenluft angesaugt, die nach der Abluftbeimischung eine Temperatur von bis zu 21 °C erreichen kann und somit im Befeuchter die erforderliche relative Feuchte von 88-90% nicht erreicht. Anschließend wird diese Zuluft auf bis zu 40 °C erwärmt, um die nötige Raumtemperatur zu gewährleisten. Damit sinkt jedoch die rel. Feuchte auf z.T. unter 30%, bei einer geforderten rel. Feuchte von 55%. Hier muss u.a. die Anordnung der Befeuchtungsanlage geändert werden (s. Maßnahme 3.4.II).

Maßnahme 3.4.I Optimierung der Betriebszeiten der RLT-Anlagen

Um einen Überblick über die jährlichen Energiekosten der einzelnen Lüftungs- und Teil-Klimaanlagen zu bekommen und um daraus entsprechende Einsparpotentiale ableiten zu können, wurden in Tafel 3.4.3 die jährlichen Heizkosten, die Stromkosten für den Betrieb der Ventilatormotoren und soweit vorhanden die Stromkosten für die Kälteerzeugung der einzelnen Lüftungsanlagen zusammengestellt.

Tafel 3.4.3 Energiekonzept „MAK“: Zusammenstellung der jährlichen Energiekosten der Teil-Klima- und Lüftungsanlagen

Anlage / Versorgungsbereich	Betriebszeiten	Heizkosten (Erdgas) in EUR	Stromkosten Ventilator-Motoren in EUR	Stromkosten Kälteerzeugung in EUR	Gesamt in EUR

1.1 Ausstellung	0.00 – 24.00 Uhr	12.730	28.720	4.330	45.780
1.2 Fensterblas	0.00 – 24.00 Uhr	4.175	3.650	1.335	9.160
1.5 Vortrags/Projektr.	8.00 – 22.00 Uhr	1.960	1.180	635	3.775
2.1 Ausstellung	0.00 – 24.00 Uhr	10.405	12.660	2.240	25.305
2.2 Fensterblas	0.00 – 24.00 Uhr	1.565	2.920	535	5.020
2.5 Windfang	11.00 – 24.00	200	400		600
3.1 Ausstellung	0.00 – 24.00 Uhr	10.655	12.900	2.635	26.190
3.2 Fensterblas	0.00 – 24.00 Uhr	3.380	2.920		6.300
3.5 Windfang	10.00 – 24.00	1.010	170		1.180
3.6 Lager/Depot	0.00 – 24.00 Uhr	4.380	3.405	1.020	8.805
GESAMT		50.460	68.925	1.020	132.115

Die Gesamtenergiekosten für die Lüftungsanlagen liegen bei rund 132.100,- EUR pro Jahr. Das entspricht einem Anteil von fast 60 % an den Gesamtenergiekosten für Erdgas und Strom. Hierbei liegen die Kosten für den Strombezug um ca. 18.500,- EUR höher als die Heizkosten. Den Hauptverbraucher stellt die Lüftungsanlage „1.1 Ausstellung“ mit rund 45.800,- EUR/a (=35 %) dar.

Die Überprüfung vor Ort ergab, dass die Laufzeiten mehrerer RLT-Anlagen reduziert werden können, ohne die Nutzung einzuschränken. In der folgenden Tafel 3.4.4 sind die optimierten Anlagen zusammengestellt und die sich daraus ergebenden eingesparten Energiekosten dargestellt.

Tafel 3.4.4 Energiekonzept „MAK“: Zusammenstellung der RLT-Anlagen mit optimierten Betriebszeiten sowie der jährlichen Energiekosteneinsparung

Anlage / Versorgungsbereich	Betriebszeiten IST	Betriebszeiten SOLL	Gesamt Energiekosteneinsparung in EUR/a
1.5 Vortrags/Projektr.	8.00 – 22.00 Uhr	10.00 – 20.00 Uhr	1.230,-
2.5 Windfang	11.00 – 24.00 Uhr	11.00 – 22.00 Uhr	105,-
3.5 Windfang	10.00 – 24.00 Uhr	11.00 – 22.00 Uhr	75,-
GESAMT			1.460,-

Durch die Realisierung dieser organisatorischen Maßnahme könnten jährlich mindestens 5.250 kWh an Strom und 25.900 kWh Heizenergie eingespart werden. Dies entspricht einer Reduzierung der jährlichen Energiekosten um rund 1.450,- €.

Maßnahme 3.4.II Optimierung der Lüftungsanlagen "Ausstellung"

Die installierten Teil-Klimaanlagen „Ausstellung“ mit Befeuchtungs-, Heiz- und Kühlfunktion reichen aus, um den Regelheiz- bzw. -kühlbedarf der einzelnen Quadranten zu decken. Die Fensterblasanla-

gen, die über keine Befeuchtung verfügen, versorgen nur Bereiche außerhalb der eigentlichen Ausstellungsbereiche (Flure, Treppen, Rampe) und können weiterbetrieben werden.

Zur optimierten Energienutzung wird für jeden Quadranten eine Wärmerückgewinnung mittels Rotationswärmetauscher (z.B. Sorptions-WT mit hygroskopischer Speichermasse) zum Feuchteaustausch vorgesehen.

Das Zwei-Kanalsystem mit Mischboxen wird beibehalten, um die Möglichkeit zu haben, einzelne Zonen nachzuregeln. Hierfür wird in den „Kältekanal“ ein Nacherhitzer nachgerüstet.

Des Weiteren werden für die Ausstellungs Lüftungsgeräte neue Ventilatoren und Motoren mit besseren Wirkungsgraden gegenüber den bestehenden Einheiten sowie Frequenzumrichter für einen lastabhängigen Betrieb installiert.

In der folgenden Tafel 3.4.5 sind die notwendigen Bedarfswerte für den Heizfall und in Tafel 3.4.6 für den Kühlfall zusammengefasst.

Tafel 3.4.5 Energiekonzept „MAK“: Zusammenstellung der spezifischen Heizwärmebedarfswerte für die Ausstellungsräume und RLT-Anlagen

Anlage/ Versorgungsbereich	Luftmengen			Temperaturen mit WRG				Heizleistg.	
	Vges (WB) M ³ /h	AuV m ³ /h	UmV m ³ /h	ZuL in °C	AuL in °C	UL in °C	ML in °C	in kW	in W/m ²
1.1 / I. Quadrant	36.300	6.580	29.720	40	5	22	18,9	260	134
2.1 / II. Quadrant	17.800	7.225	10.575	40	5	22	15,1	151	104
3.1 / III. Quadrant	21.700	8.068	13.632	40	5	22	15,7	179	111

Durch das WRG-System wird eine Erhöhung der Außenlufttemperatur auf ca. 5°C erreicht. Durch die bestehenden Anlagen können Heizleistungen zwischen 104 – 134 W/m² erreicht werden, so dass der rechnerisch ermittelte spezifische Wärmebedarf für das MAK von 92 W/m² (s. Abschnitt 3.2.2) gedeckt werden kann.

Tafel 3.4.6 Energiekonzept „MAK“: Zusammenstellung der spezifischen Kühlbedarfswerte für die Ausstellungsräume und RLT-Anlagen

Anlage/ Versorgungsbereich	Luftmengen			Temperaturen mit WRG				Kühlleistg.	
	Vges (WB) M ³ /h	Vau m ³ /h	Vum m ³ /h	ZuL in °C	AuL in °C	UL in °C	ML in °C	in kW	in W/m ²
1.1 / I. Quadrant	48.200	6.580	41.620	15	32	25,5	26,4	187	88,9
2.1 / II. Quadrant	22.300	7.225	15.075	15	32	25,5	27,6	96	55,1
3.1 / III. Quadrant	31.000	8.068	22.932	15	32	25,5	27,2	129	68,6

Die berechneten maximalen spezifischen Kühlbedarfswerte für die Ausstellungsräume liegen bei ca. 55-60 W/m². Die maximalen Kühlleistungen, die durch die Ausstellungs Lüftungsanlagen gedeckt werden können liegen bei 44-67 W/m². Dies entspricht dem Grundlastkühlbedarf. Durch die Fensterblasanlagen können die Kühllastenmaximalwerte von 55-90 W/m² gedeckt werden.

Das Lüftungsgerät „1.1 Ausstellung“ muss dahingehend umgebaut werden, dass die Befeuchtungsanlage hinter dem Lufterhitzer angeordnet ist. Hierzu wird der Schalldämpfer in dem Lüftungsgerät demontiert und ein neuer Kanalschalldämpfer montiert. An dem freien Platz wird der Befeuchter ge-

setzt und im frei werdenden Befeuchterkammerbereich ein Luftherhitzer installiert.

3.5 Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen

3.5.1 Kälteversorgungsanlagen des MAK

Zur Erzeugung von Klima-Kaltwasser (+6 °C/12 °C) sind zwei Hubkolben-Kaltwassersätze mit luftgekühlten Kondensatoren eingebaut.

Die Kältemaschinen sind in der Kältezentrale im UG und die Kondensatoren mit jeweils 6 Einzelventilatoren auf dem Dach, neben der Lüftungszentrale, des 2. Quadranten aufgestellt und durch entsprechende Kupferleitungen verbunden. Die Überwachung und Steuerung der Kältemaschinen und Kondensatoren erfolgt im Schaltschrank in der Kältezentrale.

In Tafel 3.5.1 sind die wichtigsten Stammdaten der Kältemaschine und des Kühlturms zusammengefasst.

Tafel 3.5.1 Energiekonzept „MAK“: Stammdaten der Kälteversorgungsanlage

Bezeichnung/Bauart Erzeuger	Kältemaschine 1	Kältemaschine 2	Kühlturm 1	Kühlturm 2
Hersteller/Typ	YORK	YORK	Thermal	Thermal
Typ	LCHD 80 AL-S	LCHD 80 AL-S	HLK 270 KAV-SL	HLK 270 KAV-SL
Baujahr	1984	1984	1984	1984
Kälte- / Kühlleistung	245 kW	245 kW	388 kW	388 kW
Leistungsstufen	100-67-50-33	100-67-50-33		
Elektr. Leistungsaufnahme	90,4 kW	90,4 kW	6 x 0,25 kW	6 x 0,25 kW
	100-74-61-48	100-74-61-48		
Kältemittel	R 22 – 26 kg	R 22 – 26 kg		
Luftmenge			54.360 m ³ /h	54.360 m ³ /h

Beide Kältemaschinen verfügen über Betriebsstundenzähler für die einzelnen Laststufen. In Tafel 3.5.2 sind die jährlichen Laufzeiten für jede Kältemaschine und Laststufe mit den errechneten Kälteerzeugungs- und Stromverbrauchswerten, unter Berücksichtigung der in Tafel 3.5.1 genannten Laststufen, dargestellt.

Tafel 3.5.2 Energiekonzept „MAK“: Leistungsdaten und Betriebsstunden der einzelnen Laststufen der Kältemaschinen

KÄLTEMASCHINE 1		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Kälteleistung	in kW	81	123	164	245
Elektrische Leistungsaufnahme	in kW	43	55	67	90
Laufzeit in h/a	in h/a	1.194	936	427	104
Kälteerzeugung je Stufe	in kWh/a	96.114	114.612	70.110	25.426
Kälteerzeugung Gesamt	in kWh/a	306.262			
Stromverbrauch je Stufe	in kWh/a	51.566	51.365	28.446	9.340
Stromverbrauch Gesamt	in kWh/a	140.717			

KÄLTEMASCHINE 2		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Kälteleistung	in kW	81	123	164	245
Elektrische Leistungsaufnahme	in kW	43	55	67	90
Laufzeit in h/a	in h/a	1.172	848	502	187
Kälteerzeugung je Stufe	in kWh/a	94.338	103.880	82.376	45.815
Kälteerzeugung Gesamt	in kWh/a	326.409			
Stromverbrauch je Stufe	in kWh/a	50.614	46.555	33.422	16.830
Stromverbrauch Gesamt	in kWh/a	147.421			

Die beiden Maschinen erzeugen eine jährliche Kältemenge von 632.670 kWh. Dies entspricht einer Vollbenutzungsstundenzahl 1.290 h/a. Im Vergleich zu ähnlichen Objekten ist diese Vollbenutzungs-zahl relativ hoch, d.h., aufgrund der Bau- und Betriebsweise des MAK ergibt sich ein hoher Bedarf an Kälte. Für die Erzeugung der genannten Kältemenge ist ein Stromeinsatz von jährlich rund 288.150 kWh notwendig.

Die Wasserumwälzung bis zum Verteiler/Sammler übernehmen die beiden in den Rücklaufleitungen der Kältemaschinen angeordneten Doppel-Umwälzpumpen. Eine hydraulische Absperrung für die beiden Maschinen (Motor-Absperrklappe) ist nicht eingebaut. Von dort erfolgt die Kaltwasserverteilung mit Systemtemperaturen von 6°C/12° ebenfalls durch parallel geschaltete Doppelpumpen zu den in Tafel 3.5.3 aufgeführten Verbrauchern.

Tafel 3.5.3a Energiekonzept „MAK“: Stammdaten der Kältepumpen und -verbraucher

Bezeichnung	Kälte- Leistung in kW	Pumpen- Hersteller Typ	Volumen- Strom in m ³ /h	Förder- Höhe in mWS	Leistungs- Aufnahme in kW	Regelung
Verbraucher						
Kältemaschine 1	245	Wilo DP 80/160r	35,1	5,5	1,1	
Kältemaschine 2	245	Wilo DP 80/160r	35,1	5,5	1,1	
1. Quadrant						
Sekundärpumpe	351,1	Wilo DP 65/224	49,8	10,5	3,0	Wilo AR 3,0
1.1 Ausstellung	242,7					
1.2 Fensterblasanlage	73,7					
1.5 Vortragsraum UG	34,7					
2. Quadrant						
Sekundärpumpe	153,5	Wilo DP 50/200	19,7	9,5	1,5	Wilo AR 1,5
2.1 Ausstellung	124,0					
2.2 Fensterblasanlage	29,5					
3. Quadrant						
Sekundärpumpe	259,8	Wilo DP 65/180	34,2	6,6	1,5	Wilo AR 1,5
3.1 Ausstellung	146,2					
3.2 Fensterblasanlage	57,9					
3.6 Lager Depot	55,7					

Die für die Sekundär-Doppelpumpen installierten Drehzahlregelungen für einen konstanten Differenzdruck sind defekt.

Tafel 3.5.3b Energiekonzept „MAK“: Stammdaten der Kältepumpen und –verbraucher (Betriebsstunden und Verbrauch)

Bezeichnung	Kälte- Leistung	Pumpen- Hersteller	Betriebs- stunden	Jahres- stromverbrauch
Verbraucher	in kW	Typ		in kWh
Kältemaschine 1	245	Wilco DP 80/160r	6.978	7.675
Kältemaschine 2	245	Wilco DP 80/160r	7.136	7.850
1. Quadrant				
Sekundärpumpe	351,1	Wilco DP 65/224	5.040	15.1250
1.1 Ausstellung	242,7		5.040	
1.2 Fensterblasanlage	73,7		5.040	
1.5 Vortragsraum UG	34,7			
2. Quadrant				
Sekundärpumpe	153,5	Wilco DP 50/200		7.560
2.1 Ausstellung	124,0			
2.2 Fensterblasanlage	29,5			
3. Quadrant				
Sekundärpumpe	259,8	Wilco DP 65/180		7.560
3.1 Ausstellung	146,2			
3.2 Fensterblasanlage	57,9			
3.6 Lager Depot	55,7			

Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Auf der Basis der erhobenen Daten kann die bauliche und konzeptionelle Situation des Kälteversorgungssystems in dem Museum für Angewandte Kunst wie folgt bewertet werden:

- Die jährlich erzeugte Kältemenge liegt bei rund 632.700 kWh. Die beiden Kältemaschinen verbrauchen zusammen jährlich 288.150 kWh Strom. Dies entspricht einem Anteil von rund 15,5 % am Gesamtstromverbrauch des MAK.
- Die beiden Kältemaschinen werden über ein Freigabethermostat in Betrieb gesetzt und befinden sich somit über das gesamte Jahr im Stand-by-Betrieb. Die Maschinen werden durch eine Folgeschaltung im täglichen Wechsel gefahren. Die nicht genutzte Maschine wird im Standby-Betrieb gehalten. Beide Kältemaschinen laufen nur ca. 3 Wochen im Jahr im Parallelbetrieb. (s. Maßnahme 3.5.II).
- Eine hydraulische Trennung der beiden Kältemaschinen ist nicht vorhanden. Dadurch kann es jedoch beim Betrieb von nur einer Maschine zu undefinierten Mischtemperaturen kommen. Hier sollte für jeden Erzeuger eine elektrische Absperrklappe vorgesehen werden (s. Maßnahme 3.5.II).

- Die vorhandenen Kältemaschinen werden mit dem Kältemittel R 22 betrieben. R 22 gehört zu den teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (H-FCKW) und schädigt die Ozonschicht. Ab Januar 2000 ist es in Deutschland verboten, das Kältemittel R 22 in Verkehr zu bringen oder zu verwenden. Allerdings darf in Anlagen, die vor dem 1.1.2000 hergestellt und in den Verkehr gebracht worden sind, auch weiterhin R 22 noch bis Ende 2014 verwendet werden. Unabhängig davon soll, entsprechend einer EG-Richtlinie vom Oktober 2000, die vermarktete Menge an R 22 in den nächsten Jahren stark reduziert und bis zum Jahr 2010 auf Null zurückgeführt werden.
- Die Umwälzpumpen im Sekundär-Kaltwassernetz werden ungeregelt betrieben, was zu einem überhöhten Strombedarf für den Anlagenbetrieb führt (s. Maßnahme 3.5.I).
- Zur Reduzierung der Kühllast durch Sonneneinstrahlung sind in den klimatisierten Bereichen des MAK Sonnenschutzeinrichtungen vorgesehen. Zum einen sind in den Kastenfenstern Jalousien und zum anderen nachträglich vorgesehene innenliegende Vorhänge installiert. Die Steuerung der Sonnenschutzeinrichtungen entspricht nicht mehr dem Stand der Technik. Die Jalousien werden mittels einer Zeitschaltuhr hoch und runter gefahren. Ein Schließen bzw. Öffnen in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung erfolgt nicht. Teilweise werden geschlossene Jalousien nach dem automatischen Herunterfahren wieder von Hand geöffnet. Hier ist eine Erneuerung der Steuerung vorzusehen (s. Maßnahme 3.5.I).

Maßnahme 3.5.I Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpe

Entsprechend dem Austausch der Heizungs-Umwälzpumpen werden für den Sekundär-Kaltwasserkreis drei neue elektronisch drehzahlgeregelte Umwälzpumpe vorgesehen.

Maßnahme 3.5.II Hydraulische Trennung der Kältemaschinen und Abschaltung in den Wintermonaten

Derzeit werden beide Kältemaschinen im "Standby" gefahren, was zu einer Erhöhung der Betriebsbereitschaftsverluste führt. Selbst beim Betrieb von nur einer Maschine wird die andere Maschine mit Kaltwasser beaufschlagt, da keine hydraulische Trennung der Maschinen vorhanden ist.

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 primär keine Energiesparmaßnahme dar, sondern ist aus Gründen der Bauerhaltung bzw. Verbesserung der Betriebssicherheit zu empfehlen.

Da das MAK über innere Speichermassen verfügt und äußere Wärmelasten (Sonneneinstrahlung) durch Sonnenschutz reduziert werden, ist nicht unmittelbar davon auszugehen, dass in den Wintermonaten ein Kühlbedarf besteht. Aus diesem Grund sollten die Maschinen in dieser Zeit ausgeschaltet werden, um festzustellen, ob eine Komforteinbuße auftritt bzw. die Raumkonditionen sich erheblich verschlechtern.

Maßnahme 3.5.III Außenverschattung der Fenster

Werden die Sonnenschutzvorrichtungen an den Fenstern der Ost-, West- und Südfassade mit einer Gesamtfläche von rund 1.880 m² mit einer neuen Steuerung in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung oder Belegung/Nutzung bedarfsgerecht nach Gruppen ausgestattet, so ist mit Kosten in

Höhe von 24.850,- EUR (ohne Erneuerung elektrischer Stellantriebe) auszugehen.

Durch die effektivere Nutzung der Sonnenschutzvorrichtungen reduziert sich der Strombedarf für die Kälteerzeugung um 4 % bzw. 11.530 kWh/a.

Den eingesparten Betriebs- und Umweltfolgekosten in Höhe von 1.610,- EUR stehen Kapitalkosten für die Maßnahme von jährlich 2.165,- EUR gegenüber. Eine Wirtschaftlichkeit kann für diese Optimierung nicht nachgewiesen werden (s. Berechnungsblatt im Anhang 4.5.3).

3.5.2 Kälteversorgungsanlage Pächter - Restaurant

Im Jahre 2000 wurde, aufgrund einer Erweiterung der Kühlraumkapazität des Restaurants, ein neues wassergekühltes Kälteaggregat (DVM Copeland DLEP-20X-EWL, halbhermetisch) in der Technikzentrale-UG installiert. Die elektrische Anschlussleistung liegt bei 2,0 kW und die Kälteleistung bei 4,8 kW.

Die Überprüfung vor Ort ergab, dass eine erhebliche Trinkwassermenge (ca. 2,8 l/min) zur Kühlung des Aggregates benötigt wird und erwärmt (ca. 30 °C) in den Kanal geleitet wird. Hierbei ist von einem Dauerbetrieb auszugehen, da die versorgten Kühlbereiche durchgängig ganzjährig gekühlt werden müssen. Hier sollte auf jeden Fall eine Umrüstung auf einen luftgekühlten Verflüssiger erfolgen, wobei der Verdichter weitergenutzt werden kann.

Maßnahme 3.5.IV Umrüstung Kälteaggregat-Pächter auf luftgekühlten Betrieb

Der luftgekühlte Verflüssiger kann an der Außenfassade im UG installiert werden und durch Kältemittelleitungen mit dem jetzigen Verdichter verbunden werden. Der Standort des Verdichters (Kälteerzeuger) kann bestehen bleiben.

3.6 Stammdaten der Elektroanlagen und Regelungstechnik

Die Elektroversorgung des Museums für Angewandte Kunst erfolgt aus dem Versorgungsnetz der Mainova. Die Niederspannungseinspeisung mit dem HT/NT-Zähler sowie der Hauptverteilung befindet sich im Untergeschoss MAK.

3.6.1 Blindstromkompensationsanlage

Im Abschnitt 2.1 wurde dargestellt, dass in den beiden vergangenen Jahren die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten wurden und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug in Höhe von jährlich rund 2.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache geht auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensationsanlage zurück (**s. Maßnahme 3.6.I**).

3.6.2 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 „MAK“: Stammdaten der Beleuchtungssysteme

Bezeichnung	Lampentyp	Leuchtenzahl	VG	Leistung Leuchte in W	Gesamt in kW	Einschalt-Faktor (-)	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	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	ohne	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	Kompaktlampe	13	integriert	7	0,091	0,85	1.509	137
Summe					7,512			8.904

Tafel 3.6.2b Energiekonzept „MAK“: Stammdaten der Beleuchtungssysteme

Bezeichnung	Lampentyp	Leuchten- zahl	VG	Leistung Leuchte in W	Gesamt in kW	Einschalt- Faktor (-)	Einschalt- zeit 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
Villa Metzler								
Ausstellung	Glühlampen De- ckenstrahler	28	ohne	150	4,2	1	1040	4.368
	Leuchtstofflampe	56	KVG	46	1,84	1	1040	1.398
	Halogenleuchte	3	ohne	100	0,3	1	1040	312
Summe					5,844			6.078
Werkstattgebäude								
	Leuchtstofflampe	40	KVG	46	1,84			1.914
	Leuchtstofflampe	8	EVG	41	0,328			341
Summe					2,168			2.255
Gesamt					69,22			195.460

Der rechnerische Strombedarf für die Beleuchtungsanlagen des Museums für Angewandte Kunst liegt bei jährlich ca. **195.460 kWh/a**. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtstrombedarf in 2002 von knapp 11 %.

Die tatsächlichen Beleuchtungsbedürfnisse sind schwankend, da je nach Ausstellungsprojekt eine unterschiedliche Verdunklungsstufe gewählt wird. Somit kann hier kein „Festwert“ zur Beurteilung herangezogen werden.

Leuchten mit KVG sollten im Zuge der Bauunterhaltung gegen Leuchten mit EVG ausgetauscht werden. Der alleinige Austausch der Vorschaltgeräte ist nach Auskunft ausführender Firmen mit ähnlichen Kosten verbunden wie der komplette Leuchtenwechsel und wird daher nicht empfohlen.

Jedoch können im Regalbereich der Bibliothek ein Grossteil der Leuchtstofflampen manuell weggeschaltet werden, da die installierte Beleuchtungsleistung deutlich über der notwendigen Leistung liegt.

(vgl. Maßnahme 3.6.II).

3.6.3 Aufzüge

Im Museum für Angewandte Kunst sind drei Aufzüge installiert. Aufzeichnungen über die jährlichen Fahrten liegen nicht vor. Nach Schätzungen ist von jährlich ca. 13.500 Fahrten (43 Fahrten pro Tag, bei 312 Öffnungstagen) auszugehen.

Anhand von gemessenen vergleichbaren Aufzugsanlagen durch Aufzugshersteller, kann vom einem durchschnittlichen Strombedarf pro Fahrt von 180 Wh ausgegangen werden. Bezogen auf die Gesamtfahrtanzahl des Aufzugs ergibt sich somit ein **Jahresstromverbrauch von 2.430 kWh**.

3.6.4 Stromverbrauch der PC-Arbeitsplätze

Die vorhandenen zehn (Verwaltung) und zwei (Bibliothek) PC-Arbeitsplätze verfügen über eine Gesamtanschlussleistung von 480 Watt. Bei einer jährlichen Nutzungsdauer von 1.000 h bzw. 500 h für die Bibliothek errechnet sich daraus ein jährlicher Stromverbrauch von **5.280 kWh**.

3.6.5 MSR-Technik und Gebäudeleittechnik

Das MAK verfügt über eine MSR-Technik, die mit einem Alter von über 20 Jahren ihre technische Lebensdauer überschritten hat und nicht mehr dem Stand der Technik entspricht. Regelfunktionen können nur noch ungenügend durchgeführt werden, Eingriffe in die Bedienung sind schwierig und Ersatzteile kaum noch zu bekommen.

Doch gerade im Hinblick auf eine bedarfsgerechte Betriebsweise, der Versorgungssicherheit und dem exakten Einhalten des „Raumklimas“ in den Ausstellungsbereichen ist eine entsprechende DDC-Regelung dringend notwendig (s. Maßnahme 3.6.IIIa).

Um eine bedarfsgerechte und zeitnahe Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung einzelner Anlagen) zu erreichen und um entsprechende Überwachungs- und Regelfunktionen durchführen zu können, sollte das Museum für Angewandte Kunst, wie bereits andere städtische Objekte (u.a. Römer, Schirn) an die übergeordnete GLT-Technik des Hochbauamtes „Abteilung Technisches Gebäudemanagement“ angeschlossen werden (s. Maßnahme 3.6.IIIb).

3.6.6 Beschreibung der Energiesparmaßnahmen

Maßnahme 3.6.I: Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage

Da es für den Elektrobereich im MAK keine Wartungsfirma gibt, muss die Blindstromkompensationsanlage umgehend von einer Fachfirma überprüft und repariert oder ausgetauscht werden. Zusätzlich kann eine Blindstromleistungsmessung durchgeführt werden um gegebenenfalls die Kapazität der Anlage zu erhöhen.

Maßnahme 3.6.II: Abschalten der Kompakt-Leuchtstoffleuchten in der Bibliothek (Regale)

Im Regalbereich der Bibliothek sind 136 Kompakt-Leuchtstofflampen mit einer Gesamtleistung von

6,25 kW installiert. Durch Abschaltung (manuelles Stilllegen der Leuchtstoffröhren) von 50% der Leuchten kann der Stromverbrauch um 5.000 kWh pro Jahr gesenkt werden. Diese rein organisatorische Maßnahme spart rund 440,- € pro Jahr an Stromkosten ein.

Maßnahme 3.6.IIIa: Sanierung der MSR-Regelung

Für die drei Technikbereiche in den Dachlüftungszentralen der Quadranten, den beiden Technikzentralen im UG sowie für die Heizungsanlage werden neue Unterstationen geschaffen. Hierzu müssen einzelne Feldgeräte und Fühler ausgetauscht werden und komplett neue DDC-Regelungen eingebaut werden. Die vorhandenen Schaltschränke können weiter genutzt werden.

Maßnahme 3.6.IIIb: Gebäudemanagement durch Aufschaltung der DDC-Anlagen auf GLT-Hochbauamt

Die Realisierung dieser Maßnahme bedingt die Umsetzung der vorgenannten Sanierung der MSR-Regelung. Durch das Aufschalten der neuen DDC-Unterstationen auf die übergeordnete Gebäudeleittechnik (GLT) des Hochbauamtes „Abteilung Technisches Gebäudemanagement“ könnte das komplette Gebäudemanagement von dort erfolgen, was u.a. folgende Vorteile hätte:

- Überwachung der Ist- und Sollwerte
- Realisierung komplizierter Zeitschaltpläne
- Zyklisches Schalten bzw. gleitendes Einschalten von Heizungs-, Lüftungs- und Kälteanlagen (HLK-Anlagen)
- Energieoptimierter Betrieb der Wärme- und Kälteerzeugung.
- Betreuung der Anlagen „Rund um die Uhr“

3.7 Stammdaten der Wasserverbrauchseinrichtungen

Die Wasserversorgung des MAK erfolgt ebenfalls aus dem Versorgungsnetz der Mainova. Das Restaurant wird mittels einem internen Zähler separat erfasst und durch das Liegenschaftsamt der Stadt Frankfurt dem Pächter in Rechnung gestellt.

3.7.1 Wasserversorgungsanlagen

Die Wasserverbrauchsstellen des MAK (ohne Restaurant) sind in Tafel 3.7.1 dargestellt.

Tafel 3.7.1 Energiekonzept „MAK“ - Stammdaten der Wasserverbrauchseinrichtungen

Bereich	Objekt	Anzahl	Spezif. Verbrauch pro Vorgang in l
WC-Herren (MAK)	Waschtisch	6	3
	Urinal, Druckspüler	8	4
	Toilette mit Spartaste (6 Liter)	7	6
WC-Damen (MAK)	Waschtisch	9	3
	Toilette mit Spartaste (6 Liter)	7	9
Behinderten-WC (MAK)	Waschtisch	2	3
	Toilette mit Spartaste (6 Liter)	2	9
Personalküche (MAK)	Kühlschrank	4	k.A.
	Kaffeemaschine	4	k.A.

Bezüglich des Zustandes der Wasserverbrauchseinrichtungen im Museum für Angewandte Kunst kann folgendes festgehalten werden:

- Die Objekte befinden sich in einem guten Zustand, Wasserverluste durch Undichtigkeiten wurden nicht festgestellt.
- Die Toilettenspülungen im sind durch das Betriebspersonal auf geringstmöglichen Verbrauch (6 Liter je Spülgang) eingestellt worden. Wassersparfunktionen sind vorhanden.
- Aufgrund einer fehlerhaften Einregulierung des Sicherheitsventils der Druckerhöhungsanlage (DEA) kommt es fortlaufend zu einem unkontrollierten und unerwünschten Abblasen von Wasser (s. Maßnahme 3.7.1).

3.7.2 Beschreibung der Wassersparmaßnahmen

Maßnahme 3.7.1: Reduzierung der "Abblasverluste" der Druckerhöhungsanlage (DEA)

Das unkontrollierte Abblasen des Sicherheitsventils kann durch Einregulierung der Abschaltdrücke und Überprüfung einschl. einer eventuellen Erneuerung des Sicherheitsventils der DEA im Heizraum abgestellt werden.

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 mit aufgeführt, die die Grundlage für die Gesamtkostenermittlung bilden.

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

$$= I * a$$

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 zum einen die verbrauchsgebundenen Kosten, d.h., die Heiz-, Strom und Wasserkosten enthalten. 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 einbezogen. Zur Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten wurden folgende spezifischen Brutto-Energiepreise (Stand Juni 2003) angesetzt:

Brutto-Erdgasbezugspreis (VL-Sondervertrag)

Arbeitspreis: 3,06 Ct/kWh_{HO} (3,36 Ct/kWh_{HU})

Leistungspreis: 0,6738 €/kWh/d

Grundpreis: 139,20 €/Mo = 1.670,40 €/a

Spezifische Brutto-Strompreise (Business HighPower1)

Hier wird der derzeitige Bezugstarif von der Mainova AG angesetzt.

Arbeitspreis HT und NT-Wirkarbeit:	0,0626 €/kWh
Leistungspreis:	66,82 €/kW*a (Mittelwert aus den drei höchsten Monatsleistungen)
Vertragsrabatt:	6 % auf Wirkarbeits- und Leistungskosten
Stromsteuer:	0,0238 €/kWh
Verrechnungspreis:	741,40 €/a

Spezifische Brutto-Wasserpreise (AquaClassic)

Hier wird der derzeitige Bezugstarif von der Mainova AG angesetzt.

Wasserpreis	2,15 €/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

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: Dämmung des unteren Fensterbereichs im MAK

Das Anbringen einer Gipskarton-Hartschaumverbundplatte (6 cm) mit zusätzlicher Folie an der Scheibe würde für die rund 250 m² eine Investition von einmalig 15.180,- € erfordern.

Maßnahme 3.2.II: Dämmung der Heizkörpernischen in der Villa Metzler

Das Dämmen von 112,7 m² Heizkörpernischen in allen drei Geschossen des Altbaus durch Anbringen einer Hartschaumverbundplatte (1 cm) mit Folie würde eine Investition von 3.000,- € erfordern.

Maßnahme 3.2.III: Wärmedämmung der Außenwand des Werkstattgebäudes

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 rund 570 m².

Die Kosten für das WDV-System für die 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,- €.

Maßnahme 3.2.IV: Wärmedämmung der untersten Geschossdecke Werkstattgebäude

Durch das Anbringen einer 6 cm Wärmedämmung unterseitig könnte der U-Wert von derzeit auf 1,02 W/m²*K auf 0,40 W/m²*K verbessert werden. Die Kosten der Kellerdeckendämmung für rund 200 m² liegen bei 3.215,- €.

Maßnahme 3.2.V: Anbringen neuer Dichtungen zwischen Glasscheiben und Rahmen an den Fenstern des MAK

Durch das Anbringen neuer Silikondichtungen könnte der Luftwechsel im Gebäude reduziert und dadurch die Lüftungswärmeverluste vermindert werden. Die Kosten für das Anbringen einer Silikon-dichtung für ca. 130 m² Fensterfläche liegen bei 7.200,- €.

4.2.2 Wärmebedarfsreduktion und Heizwärmeeinsparung durch Wärmeschutzmaßnahmen

Durch die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Wärmeschutzmaßnahmen reduziert sich der Transmissionswärmebedarf des Museums für Angewandte Kunst und als Folge davon der Heizwärmebedarf. Nachfolgend werden in Tafel 4.2.1 die genannten energetischen Effekte für die betrachteten Wärmeschutzmaßnahmen dargestellt.

Tafel 4.2.1 Energiekonzept „MAK“: Wärmebedarfsreduktion und Heizwärmeeinsparung durch Wärmeschutzmaßnahmen

Bauteil		Fenster	Innenwand	Außenwand	Kellerdecke	Fenster
Maßnahme		3.2.I Dämmung unterer Fenster-Bereich MAK	3.2.II Dämmung Heizkörper-Nischen Villa	3.2.III Dämmung Außenwand Werkstattgebäude	3.2.IV Dämmung Kellerdecke Werkstattgebäude	3.2.V Dichtung an Fenster-Bereichen MAK
Dämmstärke	in cm		1	14	6	
Fläche	in m ²	252,9	112,7	567,0	201,0	127,0
k-Wert, Ist	W/m ² K	1,79	2,24	1,56	1,02	
k-Wert, Soll	W/m ² K	0,48	1,44	0,24	0,40	
Wärmebedarfs-Reduktion	kW	11,2	3,1	25,4	2,2	5,1
Jahresheizwärme-Einsparung	kWh/a	26.300	7.230	56.890	4.860	11.180
Spezifische Heiz-Kennzahl IST	kWh/m ² a	163	229	208	208	163
SOLL	kWh/m ² a	160	222	89	198	162
Endenergie-einsparung	kWh/a	30.130	8.290	65.170	5.570	12.810
CO ₂ -Reduzierung	in t/a	6,9	1,9	14,9	1,3	3,0

Die Auswertung der Berechnungen führt zu folgenden wesentlichen Ergebnissen:

- Eine Außenwanddämmung des Werkstattgebäudes würde mit einer Wärmebedarfsreduktion von

25,4 kW und einer Heizwärmeeinsparung von ca. 60.000 kWh/a den größten absoluten Effekt erzielen und das Dämmen der unteren Fensterbereiche des MAK den zweitgrößten Effekt.

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 %)
- Mittelwertfaktor: 1,38

Für die Maßnahme 3.2.III wird zusätzlich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur für die Mehrkosten durch das Anbringen des Wärmedämmverbundsystems durchgeführt (bei notwendiger Sanierung der Außenfassade).

Tafel 4.2.2 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung der baulichen Wärmeschutzmaßnahmen

Bauteil		Fenster	Innenwand	Außenwand		Kellerdecke	Fenster
Maßnahme	IST	3.2.I Dämmung unterer Fensterbereich MAK	3.2.II Dämmung Heizkörper-Nischen Villa	3.2.III Dämmung AW Werkstattgebäude		3.2.IV Dämmung Kellerdecke Bereich MAK	3.2.V Dichtung Fenster MAK
				Komplett	Nur WDVS		
Investition	€	15.180,-	3.000,-	62.700,-	28.500,-	3.215,-	7.200,-
Kapitalkosten	€/a	1.190,-	235,-	4.905,-	2.230,-	250,-	560,-
Heutige Betriebskosten	€/a	64.025,-	63.010,-	61.830,-	61.830,-	63.835,-	63.590,-
Mittlere Betriebskosten	€/a	88.065,-	86.670,-	85.050,-	85.050,-	87.810,-	87.475,-
Umweltfolgekosten							
CO ₂ -Emissionen	€/a	21.875,-	21.525,-	21.125,-	21.125,-	21.810,-	21.725,-
Gesamtkosten	€/a	109.940	109.385,-	111.080,-	111.080,-	109.870,-	109.765,-
Amortisation							
Basis Istzustand	in a	12,7	8,1	-	10,4	15,7	15,0

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

- 1.) Bis auf die Außenwanddämmung des Werkstattgebäudes ergeben sich für die untersuchten Maßnahmen Amortisationszeiten innerhalb von 16 Jahren, so dass diese als wirtschaftlich sinnvoll angesehen werden können.
- 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 des Werkstattgebäudes stellt die energetisch sinnvollste 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 ist.

4.3 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeversorgung

4.3.1 Optimierung Heizungsumwälzpumpen für statische Heizkreise (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 „MAK“: Belastungsgrad von Heizungsanlagen und Leistungsbedarf geregelter Umwälzpumpen während der Heizperiode



Auf Basis des dargestellten Belastungs- und Leistungsbedarfsverlaufes (vgl. Bild 4.3.1) wurden für die Umwälzpumpen im Ist- und Soll-Zustand Berechnungen zum Leistungsbedarf durchgeführt (vgl.

Tafel 4.3.1). Hierbei wurde für die statischen Heizgruppen der Einsatz von Pumpen mit integrierter Differenzdruckregelung und für Lüftungsanlage eine Temperaturdifferenzregelung geprüft.

Tafel 4.3.1 Energiekonzept „MAK“: Jahresstrombedarf von Umwälzpumpen im Ist- und Soll-Zustand

Standort/ Heizkreisbezeichnung	Ist-Zustand		Soll-Zustand	
	Stromverbrauch in kWh/a	Leistungsbedarf in kW	Stromverbrauch in kWh/a	Leistungsbedarf in kW
PRIMÄRPUMPEN				
HK Museum, 2.U 3Q.	592	0,09	213	0,06
HK Museum 1., 2. 3. Quadrant, Konv.	1.029	0,16	344	0,10
Nebengebäude	1.930	0,30	1.031	0,30
Restaurant 2. Quadrant, Konvektoren	592	0,10	213	0,06
Luftherhitzer	643	0,10	344	0,10
SEKUNDÄRPUMPEN				
Villa Metzler	643	0,10	213	0,06
Werkstattgebäude (HK Restaurator)	643	0,10	213	0,06
Werkstattgebäude (HK Verwaltung)	643	0,10	213	0,06
Gartenhaus	26.280	3,00	12.879	2,80
GESAMT	28.209	3,3	13.518	2,98
Einsparung gegen Ist			17.332	0,45

Durch den Einbau von drehzahlgeregelten Pumpen könnte der jährliche Strombedarf um rund 17.330 kWh vermindert werden. Durch die bedarfsgerechte Auslegung würde der maximale Gesamtleistungsbedarf der Pumpen um ca. 12 % verringert.

Investition und Jahreskostenberechnung

Für den Austausch mit Demontage der alten und Montage der neun neuen Pumpen ist mit Kosten in Höhe von 2.550,- € (inkl. Baunebenkosten) zu rechnen.

In der Tafel 4.3.2 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Heizungsumwälzpumpen im MAK aufgeführt. (Berechnungsblatt s. Anhang 4.3.1)

Tafel 4.3.2 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenberechnung für den Einsatz von drehzahlgeregelten Heizungsumwälzpumpen

Maßnahme		Ist-Zustand	Elektronisch geregelte Pumpen
Investitionskosten	in €		7.920,-
Kapitalkosten	in €/a		815,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	80	120,-
Stromkosten	in €/a	4.590,-	3.140,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	4.670,-	3.260,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	5.780,-	4.030,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	1.740,-	1.150,-
Gesamtkosten	in €/a	7.520,-	6.000,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		3,9

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch den Einbau von drehzahlgeregelten Heizungs-Umwälzpumpen im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand um jährlich 1.520,- € gesenkt werden können. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen und sollte umgehend realisiert werden.

4.3.2 Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage (Maßnahme 3.3.II)

Die Gesamtleistung der Kesselanlage ist rechnerisch mit 975 kW ausreichend. Bei Neuinstallation sollte eine Kesselleistungssplittung von ca. 60/40% eingehalten werden, um über eine intelligente Kesselfolgeschaltung eine möglichst optimale Auslastung der Heizkessel zu erreichen. Der größere Heizkessel kann außerhalb der Heizperiode außer Betrieb genommen werden um unnötige Bereitschaftsverluste zu vermeiden.

In der folgenden Tafel 4.3.3 ist die Energiebilanz für den Ist-Zustand sowie für die Erneuerung der Kesselanlage dargestellt.

Tafel 4.3.3 Energiekonzept „MAK“: Energiebilanz für die Erneuerung der Kesselanlage

Heizsystem		Ist	Erneuerung
Art der Beheizung		Gas-Spezialheizkessel	Gas-Brennwertkessel
Leistung	in kW	2 x 581	1 x 585 , 1 x 390 kW
Heizenergiebedarf	in kWh/a	1.660.470	1.660.470
Jahresnutzungsgrad	in %	86,9	90,0
Brennstoffbedarf (Erdgas)	in kWh/a	1.911.370	1.844.960

Aus der Modernisierung der Heizkesselanlage ergibt sich eine jährliche Brennstoffreduzierung um rund 4 % bzw. 66.400 kWh.

Investitionskosten

Für die beschriebene Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage im Museum für Angewandte Kunst ergeben sich die in Tafel 4.3.4 zusammengestellten Investitionskosten.

Tafel 4.3.4 Energiekonzept „MAK“: Investitionskosten für die Erneuerung der Kesselanlage

		Investition
Heizkessel inkl. Abgassystem	in EUR	66.750,-
Abgassystem	in EUR	5.450,-
Rohrleitungen, Armaturen, Pumpe, AD-Gefäß, etc.	in EUR	2.000,-
Sonstiges	in EUR	1.500,-
Bau- u. Baunebenkosten (15 %)	in EUR	11.350,-
Mehrwertsteuer (16 %)	in EUR	13.930,-
Brutto-Gesamtkosten	in EUR	100.980,-

Die Kosten für die Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage im MAK belaufen sich auf rund 101.000,- €.

Jahreskostenberechnung

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme wurde eine Jahres-Gesamtkostenrechnung durchgeführt und die Ergebnisse in Tafel 4.3.5 zusammengestellt. Die entsprechende Berechnung ist im Anhang 4.3.2 dargestellt.

Tafel 4.3.5 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die Erneuerung der Kesselanlage

Maßnahme		Ist-Zustand 2 Gas-Spezialheizkessel	Erneuerung durch 2 Gas-Brennwertkessel
Investitionskosten	in €		100.980,-
Kapitalkosten	in €/a		8.805,-
Mittlere Betriebskosten			
Heizkosten	in €/a	64.320,-	62.105,-
Wartung/Instandhaltung	in €/a	3.550,-	3.030,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	67.870,-	65.130,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	88.745,-	85.170,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	21.975,-	21.220,-
Gesamtkosten	in €/a	110.720,-	115.190,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		-

Die untersuchte Optimierungsmaßnahme stellt keine wirtschaftliche Maßnahme dar. Bedingt durch das Alter und die mehreren Kesselreparaturen erscheint ein Austausch der Anlagen jedoch in absehbarer Zeit erforderlich, um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

4.3.3 Anpassen der Brennerleistung an den tatsächlichen Bedarf (Maßnahme 3.3.III)

In Abschnitt 3.2 wurde dargestellt, dass der tatsächliche Wärmebedarf des MAK mit 975 kW rund 287 kW unter der installierten Brennerleistung liegt. Durch die Anpassung der Brennerleistung an den tatsächlichen Bedarf (Reduzierung des Brennstoffdurchsatzes beider Kessel) wird der Jahresnutzungsgrad um 1 %-Punkt auf 87,0 % verbessert. Dies entspricht einer Jahresbrennstoffreduzierung von rund 16.600 kWh. Die Kosten von Brennereinregulierung und -umbau liegen bei ca. 1.800,- €.

In der folgenden Tafel 4.3.6 ist die Jahreskostenberechnung für die beschriebene Optimierungsmaßnahme zusammengestellt (Berechnungsblatt siehe Anhang 4.3.3).

Tafel 4.3.6 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die Anpassung der Brennerleistung an den tatsächlichen Bedarf

Maßnahme		Ist-Zustand Brennerleistung 1.262 kW	Anpassen Brennerleistung auf 975 kW
Investitionskosten	in €		1.800,-
Kapitalkosten	in €/a		185,-
Mittlere Betriebskosten			
Heizkosten	in €/a	64.320,-	63.585,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	64.320,-	63.585,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	79.560,-	78.655,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	21.975,-	21.725,-
Gesamtkosten	in €/a	101.535,-	100.565,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		1,7

Aus der Jahresgesamtkostenberechnung ergibt sich, dass sich die untersuchte Optimierungsmaßnahme nach knapp zwei Jahren amortisiert und sich somit als wirtschaftliche Maßnahme darstellt, da die Jahresgesamtkosten um rund 1.000,- € reduziert werden.

4.3.4 Abschalten eines Kessel in den Sommermonaten (Maßnahme 3.3.IV)

Aufgrund des geringen sommerlichen Wärmebedarfs im MAK mit maximal 40 kW für die Gebäudebeheizung mittels RLT-Anlagen (vgl. Abschnitt 3.2) kann einer der beiden Heizkessel in den Sommermonaten (Juni-August) abgeschaltet werden. Dadurch werden die Bereitschaftsverluste um 27.100 kWh/a reduziert. Die entsprechenden Absperrklappen sind in den Heizwasserleitungen vorhanden.

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme wurde die entsprechende Jahreskostenberechnung durchgeführt und die Ergebnisse in der folgenden Tafel 4.3.7 zusammengestellt (Berechnungsblatt siehe Anhang 4.3.4).

Tafel 4.3.7 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für das Abschalten eines Kessels in den Sommermonaten

Maßnahme		Ist-Zustand	Abschalten eines Kessels
Investitionskosten	In €		-
Kapitalkosten	in €/a		-
Mittlere Betriebskosten			
Wartungs- und Instandhaltung	in €/a	3.550,-	3.250,-
Heizkosten	in €/a	64.320,-	63.405,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	67.870,-	66.655,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	83.950,-	82.450,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	21.975,-	21.665,-
Gesamtkosten	in €/a	105.925,-	104.115,-
Amortisationszeit			Sofort

Durch diese organisatorische Maßnahme können die Betriebs- und Umweltfolgekosten um jährlich 1.810,- € gesenkt werden, so das eine umgehende Realisierung empfohlen wird.

4.3.5 Zirkulationsunterbrechung für Warmwasserbereitung Restaurant (Maßnahme 3.3.V)

Zur Reduzierung des Heizenergie- sowie des Strombedarfs für die Warmwasserbereitung im Restaurant, sollte die vorhandene Zirkulationspumpe mit einer entsprechenden Zeitschaltuhr mit automatischem Tagesprogramm nachgerüstet werden. Dadurch kann die Zirkulation in den Nachtstunden für ca. 8 Stunden pro Tag unterbrochen werden, wodurch die Verluste durch Wärmestrahlung der Zirkulationsleitungen reduziert werden und Strom zum Antrieb der Zirkulationspumpe (Leistung 58 W) eingespart wird.

In der folgenden Tafel 4.3.8 ist die Heizenergie- und Stromeinsparung durch den Einbau einer Zeitschaltuhr zur Zirkulationsunterbrechung dargestellt.

Tafel 4.3.8. Energiekonzept „MAK“: Energieeinsparung durch Zirkulationsunterbrechung in der WW-Verteilung im Restaurant

		Ist-Zustand Dauerbetrieb 24 h/d	Soll-Zustand Eingeschränkter Betrieb 16 h/d
Warmwasserbedarf	in m ³ /a	450	450
Nutzenergiebedarf für WW-Bereitung	in kWh/a	18.270	18.270
Zirkulationsverluste	in kWh/a	22.075	15.640 ⁶
Speicherverluste	in kWh/a	1.270	1.270
Heizenergiebedarf für WW-Bereitung	in kWh/a	41.615	35.180
Anlagennutzungsgrad	in %	88,9	87,8
Brennstoffbedarf (Erdgas)	in kWh/a	46.800	40.040
Pumpenstrombedarf	in kWh/a	570	380

Durch die Unterbrechung der Zirkulation für die WWB im Restaurant in den Nachtstunden kann der jährliche Brennstoffbedarf um 6.750 kWh und der Strombedarf um 190 kWh reduziert werden.

Für die Umsetzung dieser Maßnahme ist mit Kosten in Höhe von 250,- € zu rechnen. In der Tafel 4.3.9 ist Jahreskostenberechnung für diese Maßnahme dargestellt (vgl. Berechnungsblatt Anhang 4.3.5).

Tafel 4.3.9 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für eine Unterbrechung der Zirkulation in der WW-Verteilung des Restaurants

Maßnahme		Ist-Zustand Dauerbetrieb 24 h/d	Eingeschränkter Betrieb 16 h/d
Investitionskosten	in €		250,-
Kapitalkosten	in €/a		25,-
Mittlere Betriebskosten			
Gaskosten	in €/a	1.575,-	1.350,-
Stromkosten	in €/a	50,-	35,-
Wartung/Instandhaltung	in €/a		5,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	1.625,-	1.390,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	2.010,-	1.715,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	555,-	470,-
Gesamtkosten	in €/a	2.565,-	2.215,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		1,7

Die Investitionskosten in Höhe von 250,- € würden sich in kurzer Zeit durch die Betriebs- und Umweltfolgekosteneinsparung von jährlich 380,- € amortisieren, so dass diese Maßnahme aus ener-

⁶ abzüglich 1 h für Anheizung

getischen und wirtschaftlichen Gründen empfohlen werden kann.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an den Lüftungs- und Klimaanlage

4.4.1 Optimierung der Betriebszeiten der RLT-Anlagen (Maßnahme 3.4.I)

Für diese Maßnahme wird keine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchgeführt, da es sich um eine rein organisatorische Maßnahme handelt, die vom Betriebspersonal des MAK umgesetzt werden kann.

Wie in Abschnitt 3.4.2 dargestellt, können durch die Realisierung dieser organisatorischen Maßnahme jährlich 25.900 kWh an Heizenergie und 5.250 kWh an Strom eingespart werden. Dies entspricht einer Reduzierung der jährlichen Energiekosten um rund 1.450,- €.

4.4.2 Optimierung der Lüftungsanlagen für die Ausstellungsbereiche (Maßnahme 3.4.II)

Für die drei Lüftungsanlagen der Ausstellungsbereiche in den drei Quadranten wurde in Abschnitt 3.4.2 eine Optimierungsmaßnahme durch Umrüstung der vorhandenen Ausstellungs Lüftungsgeräte (energieoptimierte Ventilatoren und Motoren, Wärmerückgewinnungssystem, etc.) sowie der Änderung der Anordnung Befeuchter/Luftheritzer in der Anlage 1.1 beschrieben.

In der folgenden Tafel 4.4.1 ist die energetische Bilanz für den Ist-Zustand sowie die untersuchte Variante dargestellt.

Tafel 4.4.1 Energiekonzept „MAK“: Energiebilanz für die untersuchte Optimierung der Lüftungssysteme in den Ausstellungsbereichen

		Ist-Zustand	Variante 1	Einsparung gegen Ist
Heizenergiebedarf	in kWh/a	620.030	555.925	64.105
Stromverbrauch Ventilatoren	in kWh/a	686.795	446.230	240.565
Kältebedarf	in kWh/a	127.290	113.490	13.800
Stromverbrauch für Kälteerzeugung (KZ = 2.,2)	in kWh/a	57.860	51.590	6.280

Insgesamt verringert sich der Jahresstrombedarf (Ventilatoren und Kälteerzeugung) für den Betrieb der Lüftungsanlagen „Ausstellung“ von 744.655 kWh auf rund 497.800 kWh. Dies entspricht einer Jahresstromeinsparung von 246.835 kWh bzw. 21.570,- €.

Der Einspareffekt für die Beheizung liegt nur bei 64.000 kWh/a bzw. 2.500,- €. Der Grund hierfür liegt daran, dass die Wärmegewinne durch den Betrieb der Ventilatoren/Motoren gegenüber dem Ist-Zustand (Dauerbetrieb) deutlich reduziert werden.

Insgesamt könnte durch die Realisierung der Maßnahme, bei derzeitigen Energiepreisen, eine Jahresenergiekosteneinsparung von rund **24.000,- €** erzielt werden.

Investitionskosten

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme an den Lüftungsanlagen für den Ausstellungsbereich des MAK ergeben sich die in Tafel 4.4.2 zusammengestellten Investitionskosten.

Tafel 4.4.2 Energiekonzept „MAK“: Investitionskosten für die untersuchte Optimierung der Lüftungssysteme in den Ausstellungsbereichen

		Investition
Ventilatoren und Lüftermotoren	in EUR	34.525,-
FU für Lüftermotoren u. Regelung	in EUR	19.600,-
Lüfterhitzer und Zubehör	in EUR	15.900,-
WRG-System	in EUR	56.925,-
Regelung u. elektrische Einbindung	in EUR	36.750,-
Kanalschalldämpfer	in EUR	1.500,-
Umsetzen Befeuchtungsgeräte	in EUR	4.600,-
Sonstiges	in EUR	10.000,-
Bau- u. Baunebenkosten (20 %)	in EUR	35.950,-
Mehrwertsteuer (16 %)	in EUR	34.500,-
Brutto-Gesamtkosten	in EUR	250.250,-

Für die Optimierung der Lüftungsanlagen „Ausstellung“ ist von einer Gesamtinvestitionssumme in Höhe von rund 250.000,- € auszugehen.

Hierbei ist anzumerken, dass die Kosten für Regelung und elektrische Einbindung wegfallen, wenn die Maßnahme „3.5.IV – Erneuerung der MSR-Technik“ vorab realisiert wird.

Jahreskostenberechnung

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme wurde eine Jahres-Gesamtkostenrechnung durchgeführt und die Ergebnisse in Tafel 4.4.3 zusammengestellt. Die entsprechende Berechnung ist im Anhang 4.4.1 dargestellt.

Tafel 4.4.3 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die untersuchte Optimierung der Lüftungssysteme in den Ausstellungsbereichen

Maßnahme		IST-Zustand	Variante 1
Investitionskosten	in €		250.250,-
Kapitalkosten	In €/a		25.765,-
Mittlere Betriebskosten			
Heizkosten	in €/a	24.015,-	21.535,-
Stromkosten	in €/a	65.085,-	43.510,-
Wartung/Instandhaltung	in €/a	3.500,-	5.005,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	92.600,-	70.050,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	114.540,-	86.650,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	31.660,-	23.040,-
Gesamtkosten	in €/a	146.200,-	135.450,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		9,1

Die Jahreskostenberechnung zeigt, dass sich die Investitionskosten für die untersuchte Optimierungsmaßnahme in knapp 9 Jahren amortisiert, da die Energie- und Umweltfolgekosteneinsparung in Höhe von 36.510,- EUR deutlich über den jährlichen Kapitalkosten liegt. Die Optimierung der Lüftungsanlagen für den Ausstellungsbereich sollte realisiert werden.

4.5 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Kälteversorgungsanlage

4.5.1 Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpen (Maßnahme 3.5.I)

Für die Maßnahme 3.5.I „Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpen“ durch den Einbau von drei elektronisch drehzahlgesteuerten Umwälzpumpen wurden entsprechend der Variante 3.3.I „Optimierung der Heizungsumwälzpumpen“ die Investitionskosten, die Stromeinsparung und Stromkostenreduzierung ermittelt und eine Jahreskostenberechnung erstellt. Die Ergebnisse sind in der Tafel 4.5.1 zusammengestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt ist im Anhang 4.5.1 enthalten.

Tafel 4.5.1 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die Optimierung der Kaltwasser-Sekundärumlaspumpen

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierung Kaltwasserpumpe
Strombedarf	in kWh/a	52.416	38.066
	in kW	10,4	10,2
Investitionskosten	in €		11.950,-
Kapitalkosten	in €/a		1.230,-
Mittlere Betriebskosten			
Wartung/Instandhaltung	in €/a	120,-	180,-
Stromkosten	in €/a	4.960,-	3.770,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	5.080,-	3.950,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	6.285,-	4.880,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	1.780,-	1.295,-
Gesamtkosten	in €/a	8.065,-	7.410,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		8,2

Für den Austausch ist mit Kosten in Höhe von ca. 12.000,- € bzw. zu rechnen. Dem steht eine Stromeinsparung durch den bedarfsgerechten Betrieb der Pumpe in Höhe von 14.350 kWh bzw. 27 % gegenüber. Unter Berücksichtigung von vermiedenen Strom- und Umweltfolgekosten in Höhe von 1.890,- € pro Jahr errechnet sich daraus eine Amortisationszeit von knapp über 8 Jahren. Die Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen.

4.5.2 Hydraulische Trennung der Kältemaschinen und Abschaltung in den Wintermonaten (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 4.500,- € stellt keine Energiesparmaßnahme dar, sondern ist aus Gründen der Bauerhaltung bzw. Verbesserung der Betriebssicherheit zu empfehlen.

Das Wegschalten der Kältemaschinen in den Wintermonaten stellt eine organisatorische Maßnahme dar. Dadurch 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 von 41.100 kW/a bzw. zu einer Stromeinsparung von rund 3.700 kWh/a führt.

In Tafel 4.5.2. sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die untersuchte Optimierung der Kälteerzeugungsanlage dargestellt (s. Berechnungsblatt im Anhang 4.5.2).

Tafel 4.5.2 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die un-

tersuchte Optimierungsmaßnahme für die Kälteerzeugungsanlage

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierung Kälteerzeugung
Investitionskosten	in €		4.500,-
Kapitalkosten	In €/a		465,-
Mittlere Betriebskosten			
Wartung/Instandhaltung	in €/a	150,-	70,-
Stromkosten	In €/a	25.185,-	24.860,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	25.335,-	24.930,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	31.340,-	30.840,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	9.795,-	9.670,-
Gesamtkosten	in €/a	41.135,-	40.970,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		9,7

Für die untersuchte Optimierung der Kälteerzeugungsanlage im MAK errechnet sich eine Amortisationszeit, die bei knapp 10 Jahren liegt, so dass von einer wirtschaftlichen Maßnahme gesprochen werden kann. Des weiteren erhöht die Realisierung der Maßnahme die Lebensdauer und Betriebssicherheit der Anlage.

4.5.3 Umrüstung Kälteaggregat Restaurant-Pächter auf luftgekühlten Betrieb (Maßnahme 3.5.IV)

Die Kosten für die Umrüstung des vorhandenen Kälteaggregates auf einen luftgekühlten Betrieb hierfür belaufen sich auf rund 5.200,- €. Dem steht eine deutliche Reduzierung des Trinkwasserbezugskosten bei gleichzeitiger Erhöhung der Stromkosten für Ventilator und Pumpe gegenüber. In der folgenden Tafel 4.5.3 ist die Jahresgesamtkostenberechnung für die Optimierungsmaßnahme dargestellt.

Tafel 4.5.3 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die Umrüstung des Käl-

teaggregats Restaurant-Pächter auf Luftkühlung

Maßnahme		Ist-Zustand Wasserkühlung	Soll-Zustand Luftkühlung
Investitionskosten	in €		5.190,-
Kapitalkosten	in €/a		535,-
Mittlere Betriebskosten			
Stromkosten	in €/a	-	575,-
Wasserkosten	in €/a	5.470,-	-
Wartung/Instandhaltung	in €/a	250,-	350,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	5.720,-	925,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	7.075,-	1.145,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	-	220
Trinkwasser	in €/a	1.465,-	-
Gesamtkosten	in €/a	8.540,-	1.900,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		0,8

Für die Maßnahme errechnet sich eine Amortisationszeit, die unter einem Jahr liegt und somit als wirtschaftlich sehr sinnvoll anzusehen ist (Gesamtkostenreduzierung um 6.640,- €/a). Zusätzlich kann die Umsetzung aus energetischen und ökologischen Gesichtspunkten (Wassereinsparung 1.450 m³/a) empfohlen werden.

Es sollte im Interesse des Pächters liegen, dass die Maßnahme möglichst schnell realisiert wird, so dass dieser auch die Investition tätigen könnte, denn bereits nach einem Jahr ergeben sich jährliche Minderkosten.

4.6 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an Elektroanlagen und Regelungstechnik

4.6.1 Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage (Maßnahme 3.6.I)

Da die installierte Blindstromkompensationsanlage im MAK nicht ausreichend arbeitet, fallen jährlich rund 2.000,- EUR an Blindstrombezugskosten an. Die Kosten für die Erneuerung der Anlage liegen bei maximal 4.500,- EUR bzw. jährlichen Kapitalkosten in Höhe von 460,- € (bei 6 % Verzinsung). Daraus errechnet sich eine Amortisationszeit von 2,0 Jahren für die Maßnahme (s. Berechnungsblatt Anhang 4.6.1). Diese stellt zwar keine Energiesparmaßnahme dar ist aber, aufgrund einer Reduzierung der Jahresgesamtkosten um rund 2.000,- €, aus wirtschaftlichen Gründen umgehend zu realisieren.

4.6.2 Abschalten der Kompakt-Leuchtstoffleuchten in der Bibliothek (Regale) (Maßnahme 3.6.II)

Im Regalbereich der Bibliothek sind 136 Kompakt-Leuchtstofflampen mit einer Gesamtleistung von 6,25 kW installiert. Durch Abschaltung (manuelles Stilllegen der Leuchtstoffröhren) von 50% der Leuchten wird der Stromverbrauch um 5.000 kWh pro Jahr gesenkt. Die Strombezugskosten für diese organisatorische Maßnahme reduzieren sich um jährlich **440,- EUR**.

4.6.3 Sanierung MSR-Technik und Umschalten auf die GLT (Maßnahme 3.6.III)

Im Folgenden wird die Erneuerung der vorhandenen MSR-Regelung im Museum für Angewandte Kunst sowie die Realisierung eines effektiven Gebäudemanagements durch das Umschalten der DDC-Unterstationen auf die übergeordnete GLT der Abteilung Technisches Gebäudemanagement des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt untersucht und bewertet.

Investitionskosten

In Tafel 4.6.1 ist die Kostenschätzung für die notwendigen Investitionen zum Erneuern und Umschalten der DDC-Anlagen aufgeführt.

Tafel 4.6.1 Energiekonzept „MAK“: Investitionskosten für Erneuerung der DDC und Umschalten auf die GLT

Kostengruppe		Kosten
1. Erneuerung DDC (6 Unterstationen)		
1.1 Feldgeräte	in EUR	10.000,-
1.2 DDC-Regelung	in EUR	53.000,-
1.3 Umbau Schaltschrank	in EUR	9.500,-
-----1.4 Dienstleitungen (Projektierung)	in EUR	45.000,-
2. Umschaltung GLT-Rechner	in EUR	18.600,-
Bau- u. Baunebenkosten (15 %)	in EUR	20.400,-
Mehrwertsteuer (16 %)	in EUR	25.040,-
Brutto-Gesamtkosten	in EUR	181.540,-

Die Gesamtkosten für die untersuchte Maßnahme liegen bei ca. 181.500,- €. Sollte zunächst nur die Sanierung der MSR-Technik erfolgen, so belaufen sich die Investitionskosten auf rund 157.000,- EUR. Hierbei ist anzumerken, dass die Kosten für die Regelung der drei Lüftungsanlagen „Ausstellung“ in Höhe von 36.750,- € wegfallen, wenn die Maßnahme „3.4.II – Optimierung der Lüftungsanlagen Ausstellung“ vorab realisiert wird.

Die Gesamtkostenberechnung für die Optimierungsmaßnahme wird für exemplarisch für die Hauptverbrauchergruppe der Lüftungsanlagen anhand folgender Leistungsmerkmale untersucht und dargestellt:

Realisierung nutzungsnahe: Wegschalten der nicht befeuchteten Zonen außerhalb der Öffnungszeiten (22.00 Uhr abends bis 7.00 Uhr morgens) und Runterschalten auf Grundlaststufe der befeuchteten Bereiche

Es kann davon ausgegangen werden, dass durch einen exakten Ist- und Sollwertvergleich durch die

DDC-Regelung in den befeuchteten Bereichen eine zeitweise Runterschaltung der Lüftungsanlagen auf Grundlastbetrieb außerhalb der Öffnungszeiten möglich ist.

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 4.6.2 sind die Heizenergie-, Kälte- und Strombedarfsmengen für den Ist-Zustand sowie für die Maßnahme zusammengefasst.

Tafel 4.6.2 Energiekonzept „MAK“: Energiesparung durch Wegschalten von nicht befeuchteten Zonen bzw. Runterschalten der befeuchteten Bereiche

		Ist-Zustand	Optimierung DDC	Einsparung gegen Ist	
Heizenergiebedarf	in kWh/a	1.435.590	1.309.950	125.645	8,8 %
Strombedarf (Ventilatoren)	in kWh/a	1.126.900	999.980	126.920	11,3 %
Strombedarf für Kälteerzeugung	in kWh/a	147.420	131.800	15.620	10,6 %

Durch das Wegschalten nicht befeuchteter Zonen außerhalb der Öffnungszeiten sowie dem Zeitweisen Runterschalten der Lüftungsanlagen auf Min-Betrieb für die befeuchteten Bereiche im MAK kann der Heizenergiebedarf um fast 9 % reduziert werden. Der Strombedarf für die Ventilatoren und die Kälteerzeugung kann um rund 142.500 kWh bzw. 11,1 % verringert werden.

Jahreskostenberechnung

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme wurde eine Jahres-Gesamtkostenrechnung durchgeführt und die Ergebnisse in Tafel 4.6.3 zusammengestellt. Die entsprechende Berechnung ist im Anhang 4.6.2 dargestellt.

Tafel 4.6.3 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die Erneuerung der DDC und Aufschaltung auf die GLT

Maßnahme		Ist-Zustand	Erneuerung / Aufschaltung DDC
Investitionskosten	in €		181.540,-
Kapitalkosten	in €/a		18.690,-
Mittlere Betriebskosten			
Wartung/Instandhaltung	in €/a	3.500,-	2.725,-
Heizkosten	in €/a	55.605,-	50.740,-
Stromkosten	in €/a	111.375,-	98.920,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	170.480,-	152.380,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	210.880,-	188.490,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	60.670,-	54.305,-
Gesamtkosten	in €/a	271.555,-	261.490,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		8,4

Für die Erneuerung der MSR-Technik mit dem gleichzeitigen Aufschalten auf die GLT der Abteilung

Gebäudemanagement errechnet sich eine Amortisationszeit, die deutlich unter 10 Jahren liegt. Diese Optimierungsmaßnahme ist demnach aus Gründen der Energiekostenreduzierung um 10,4 % sowie aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen. Des weiteren muss die Erneuerung der MSR-Technik im MAK aus Gründen der Bauerhaltung (Betriebssicherheit) in absehbarer Zeit erfolgen.

4.7 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wassersparmaßnahmen

4.7.1 Reduzierung der Abblasverluste der Druckerhöhungsanlage (Maßnahme 3.7.I)

In Abschnitt 3.7 wurden die Wasserverbrauchseinrichtungen im Museum für Angewandte Kunst erfasst und bewertet. Folgende Sparmaßnahme wurde empfohlen und wird in diesem Abschnitt wirtschaftlich bewertet:

Maßnahme 3.7.I: Reduzierung der Abblasverluste der Druckerhöhungsanlage

Die Investitionskosten für diese Maßnahme belaufen sich auf ca. 350,- EUR. Durch das Verhindern des unkontrollierten Abblasens des Sicherheitsventils können jährlich rund 650 m³ Trinkwasser und etwa 2.400 kWh/a Strom eingespart werden.

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

Tafel 4.7.1 Energiekonzept „MAK“: Gesamtkostenrechnung für die Reduzierung der Abblasverluste der DEA

Maßnahme		Ist-Zustand	Reduzierung Abblasverluste
Investitionskosten	in €		350,-
Kapitalkosten	in €/a		35,-
Mittlere Betriebskosten			
Stromkosten	in €/a	210,-	-
Wasserkosten	in €/a	2.425,-	-
Heutige Betriebskosten	in €/a	2.635,-	-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	3.260,-	-
Umweltfolgekosten			
Trinkwasser	in €/a	650,-	-
Gesamtkosten	in €/a	3.910,-	35,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		0,1

Die untersuchte Wassersparmaßnahme durch Reparatur bzw. Einstellung des Sicherheitsventils der DEA im Museum für Angewandte Kunst stellt mit einer Amortisationszeit von weniger als einem Jahr (Reduzierung der Jahresgesamtkosten um 3.875,- €) eine wirtschaftliche Maßnahme dar und sollte aus diesem Grund umgehend realisiert werden.

ANHANG

Anhang zum Abschnitt 2.1 – Elektrischer Strombedarf und –verbrauch

Anhang 2.1.1a Energiekonzept MAK – Monatlicher Stromverbrauch in 2001

Zeitraum:		2001		Zähler-Nr.		46435	
Monat	Verb(HT) in kWh/Mo	Verb(NT) in kWh/Mo	Gesamt in kWh/Mo	Leistung in kW	Gesamt [EUR] in EUR/Mo	Kosten Blindstrom in EUR/Mo	
Jan	66.260	62.880	129.140	274	11.194,52	110	
Feb	65.500	63.120	128.620	266	11.047,72	40	
Mrz	75.960	67.310	143.270	269	11.319,66	35	
Apr	95.440	93.450	188.890	375	14.798,25	131	
Mai	64.830	61.330	126.160	374	10.966,49	180	
Jun	90.170	83.330	173.500	372	14.479,55	250	
Jul	96.530	100.200	196.730	378	15.395,87	326	
Aug	102.590	98.750	201.340	433	16.415,41	336	
Sep	62.740	61.150	123.890	380	10.436,08	162	
Okt	69.250	68.460	137.710	356	11.348,66	187	
Nov	73.270	67.420	140.690	266	11.471,90	111	
Dez	82.700	81.670	164.370	268	12.992,91	47	
Gesamt/Maximum	945.240	909.070	1.854.310	433	151.867,04	1915	
Spez. Preis (EUR/kWh)					0,0819		

Anhang 2.1.1b Energiekonzept MAK – Monatlicher Stromverbrauch in 2002

Zeitraum:		2002		Zähler-Nr.		46435	
Monat	Verb(HT) in kWh/Mo	Verb(NT) in kWh/Mo	Gesamt in kWh/Mo	Leistung in kW	Gesamt [EUR] in EUR/Mo	Kosten Blindstrom in EUR/Mo	
Jan	61.860	60.720	122.580	262	11.003,26	72	
Feb	66.920	62.440	129.360	256	11.420,73	115	
Mrz	74.090	69.130	143.220	256	13.123,25	127	
Apr	68.070	71.580	139.650	k.A.			
Mai	71.350	66.860	138.210	360	11.957,42	159	
Jun	89.500	87.100	176.600	377	15.153,35	243	
Jul	99.200	98.900	198.100	717	20.833,4	287	
Aug	99.110	96.940	196.050	476	17.900,92	307	
Sep	70.640	69.600	140.240	380	12.653,84	293	
Okt	67.590	58.120	125.710	320	11.517,4	127	
Nov	66.470	61.630	128.100	260	11.615,24	141	
Dez	64.410	63.450	127.860	272	11.740,48	199	
Gesamt/Maximum	899.210	866.470	1.765.680	476	113.372,05	2.070	
Spez. Preis (EUR/kWh)					0,0843		

Anhang 2.1.2 Energiekonzept MAK: Verteilung des Stromverbrauchs auf einzelne Verbrauchergruppen

Anlagen	Verbrauch [%]	kWh/a
RLT-Anlagen	61,4	1.173.705
UW-Pumpen und Brenner	5,8	111.232
Kälteanlagen	15,1	288.138
Beleuchtung	9,8	187.554
Arbeitshilfen	7,9	150.000
GESAMT		1.910.629

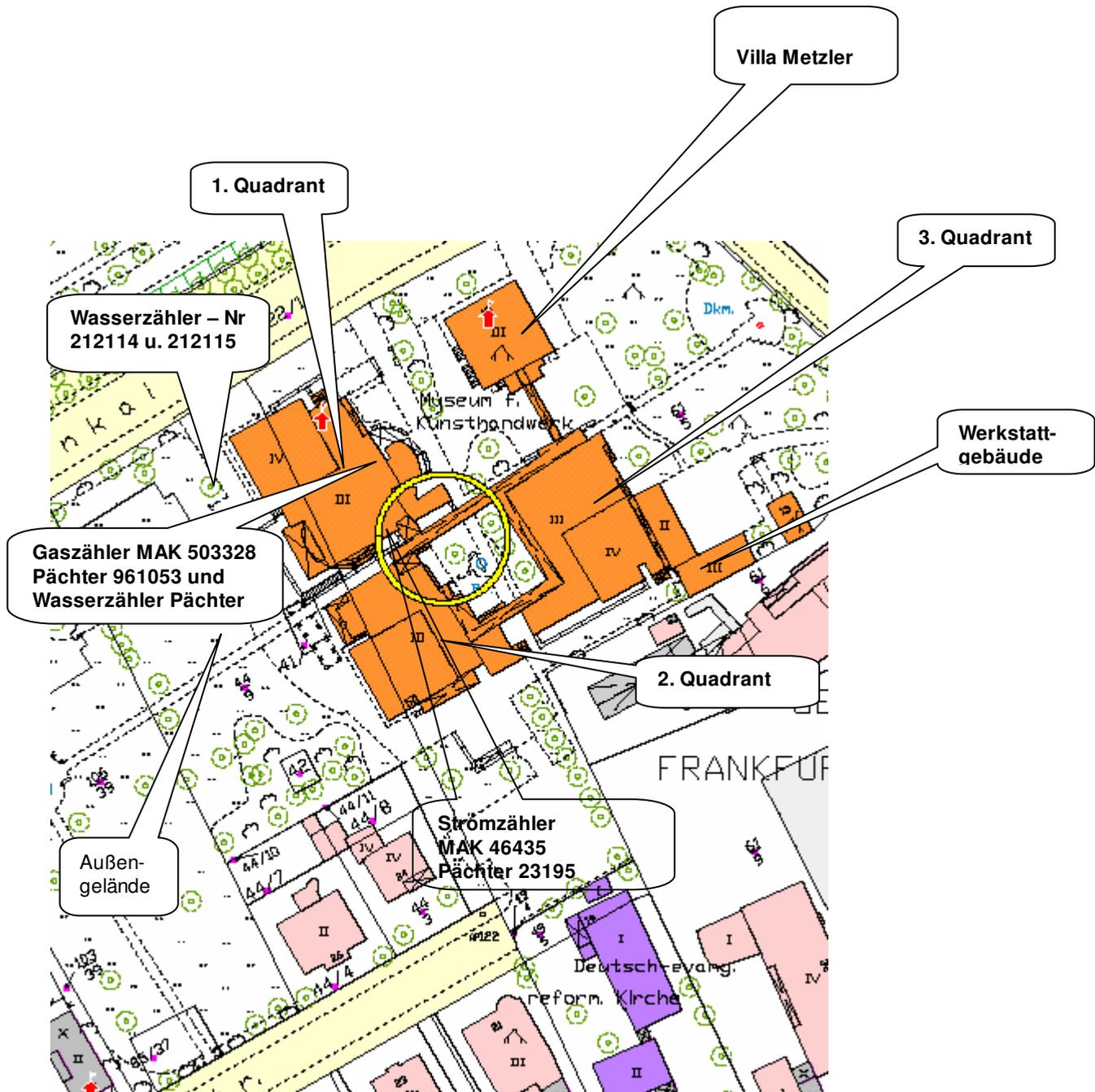
Anhang zum Abschnitt 2.3 – Wasserverbrauch

Anhang 2.3.1 Energiekonzept MAK : Verteilung des Wasserverbrauchs auf einzelne Verbrauchergruppen

Bereich	Anteil	Verbrauch [m³/a]	
Reinigen	14 %	821	Rechnerisch
Besucher	9 %	540	Rechnerisch
Mitarbeiter	3%	150	Rechnerisch
Weichwasser	10 %	594	Gemessen
Druckerhöhungsanlage(DEA)	11%	650	Gemessen
Restaurant / Küche	27%	1.595	Rechnerisch
Kälteaggregat Pächter	25 %	1.450	Gemessen
Gesamt	100%	5.800	

Anhang zum Abschnitt 3.1 – Allgemeine Objektbeschreibung

Anhang 3.1.1 Energiekonzept MAK – Lageplan



Anhang zum Abschnitt 3.2 – Gebäude und Bauteile**Anhang 3.2.1 Energiekonzept MAK – Berechnung des Heizenergiebedarfs nach Leitfaden
„Energiebewusste Gebäudeplanung“****GEBÄUDEDATEN -MAK-**

GEBÄUDEDATEN			
Energiebezugsfläche	EBF	8.000,0	m ²
davon mechanisch belüftete Fläche	ca. 85 %	6.800,0	m ²
Personenbelegung	P/d	277	P
Durchschnittliche Raumhöhe	H	4,70	m
Luftvolumen (=EBF * Raumhöhe)	V	51.458	m ³
Luftwechselrate unbelüftete Räume	β	0,5	(h ⁻¹)
Luftwechselrate mechanisch belüftete Räume	β	1,25	(h ⁻¹)
Grenzwert nach Hessischen Leitfaden		75	KWh/m ² a

TRANSMISSIONS- UND LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE

Transmissions- Wärmeverluste	Bauteil	Fläche in m ²	u-Wert in W/m ² K	Gt in kKh/a	Verluste in kWh/a	Verluste in %
Außenwand	Quadrant 1	986,00	0,47	101	46.805	5,8%
	Quadrant 2	1208,00	0,47	101	56.124	6,9%
	Quadrant 3	1833,00	0,47	101	83.310	10,3%
	Verbindung Q2-3	84,00	0,47	101	3.648	0,4%
Fenster	Q1-3/AF-Ost/West	1502,00	1,79	101	271.547	33,4%
	Q1-3/AF-Nord	661,00	1,79	101	119.502	14,7%
	Q1-3/AF-Süd	381,00	1,79	101	68.881	8,5%
	Q13/-AF-horizontal	164,00	1,79	101	29.650	3,7%
Dach	Flachdach	2613,00	0,27	81	57.005	7,0%
Fußboden	Kellerdecke	2601,00	0,40	50,5	52.540	6,5%
Erdberührende Wände	AW 1 - 1,50 cm (erdber.)	165,00	2,75	50,5	22.914	2,8%
	AW 2 - Brüstung 0,40 cm (erdber.)	0,00	1,56	50,5	0	0,0%
	AW 3 - 40 cm (Anbau) (Erdber.)	0,00	1,54	50,5	0	0,0%
Summe Transmissionswärmeverluste QT					811.926 (kWh/a)	
Lüftungswärmeverluste QL	β	V	c	Gt		
	(1/h)	(m ³)	(Wh/m ³ K)	(kKh/a)		
Unbelüftete Fläche	0,5	7.719	0,33	101	128.632	(kWh/a)
Mechanisch belüftete Fläche	1,25	43.739	0,33	101	1.822.289	(kWh/a)
Summe Lüftungswärmeverluste QL					1.950.921 (kWh/a)	
Summe Verluste	QV=QT+QL				2.762.847 (kWh/a)	

WÄRMEGEWINNE

Wärmegewinne	r	Fensterfläche (m ²)	g-Wert	Strahlung (kWh/m ² a)	Gewinne (kWh/a)
horizontal	0,68	164,0	0,70	553	43.169
Nord	0,68	661,0	0,70	200	62.927
West	0,68	0,0	0,70	349	0
Ost	0,68	1502,0	0,70	339	242.369
Süd	0,68	381,0	0,70	502	91.041
Summe Solargewinne QS					403.291 (kWh/a)
Freie Wärme Elektrizität	QE				1.403.680 (kWh/a)
Freie Wärme Personen	QP				11.648 (kWh/a)
Wärmebedarf Brauchwassererwärmung	Qwa				0 (kWh/a)
Summe Innere Wärmegewinne	QI=QE+QP-Qwa				1.415.328 (kWh/a)
Summe Freie Wärme	QF=QS+QI				1.818.619 (kWh/a)
Gewinnfaktor Freie Wärme	$x=1-0,3 \cdot QF/QV$				0,803 x
Wärmegewinne	QG=x*QF				1.459.492 (kWh/a)

HEIZWÄRMEBEDARF

Heizwärmebedarf	QH=QV-QG				1.303.355 (kWh/a)
Energiekennwert Heizwärme	QH/EBF				162,9 (kWh/m ² a)
Grenzwert					75 (kWh/m ² a)
Grenzwertüberschreitung					117 (%)
Grenzwert erfüllt	nein				

Villa Metzler**GEBÄUDEDATEN -Villa Metzler-**

GEBÄUDEDATEN			
Energiebezugsfläche	EBF	1.060,0	m ²
davon mechanisch belüftete Fläche	ca. 85 %	0,0	m ²
Personenbelegung	P/d	7	P
Durchschnittliche Raumhöhe	H	3,83	m
Luftvolumen (=EBF * Raumhöhe)	V	4.060,0	m ³
Luftwechselrate unbelüftete Räume	β	0,5	(h ⁻¹)
Luftwechselrate unbelüftete Räume, erhöht**	β	0,8	(h ⁻¹)
Grenzwert nach Hessischen Leitfaden		75	KWh/m ² a

**Annahme, bedingt durch die Objekterhaltungsmaßnahmen in den Räumlichkeiten

TRANSMISSIONS- UND LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE

Transmissionswärmeverluste		Fläche	u-Wert	Gt	Verluste	
		in m ²	in W/m ² K	in kWh/a	in kWh/a	in %
Außenwand	AW1	826,00	2,24	81	149.869	51,5%
Fenster	Ost/West	71,00	3,33	81	19.151	6,6%
	Nord	45,00	3,33	81	12.138	4,2%
	Süd	45,00	3,33	81	12.138	4,2%
	horizontal	0,00	0,00	81	0	0,0%
Dach	DA/ob. Geschossdecke	365,00	0,90	64,8	21.287	7,3%
Fußboden	Kellerdecke	304,00	0,90	40,5	11.081	3,8%
Erdberührende Wände	AW 1 - 1,50 cm (erdber.)	0,00	2,75	40,5	0	0,0%
	AW 2 - Brüstung 0,40 cm (erdber.)	0,00	1,56	40,5	0	0,0%
	AW 3 - 40 cm (Anbau) (Erdber.)	0,00	1,54	40,5	0	0,0%
Summe Transmissionswärmeverluste QT					225.664 (kWh/a)	
Lüftungswärmeverluste QL	β	V	c	Gt		
	(1/h)	(m ³)	(Wh/m ³ K)	(kWh/a)		
Unbelüftete Fläche	0,5	4.060	0,33	81	65.111	(kWh/a)
Mechanisch belüftete Fläche	0,8	0	0,33	81	0	(kWh/a)
Summe Lüftungswärmeverluste QL					65.111	(kWh/a)
Summe Verluste	QV=QT+QL				290.775	(kWh/a)

WÄRMEGEWINNE

Wärmegewinne	r	Fensterfläche (m ²)	g-Wert	Strahlung (kWh/m ² a)	Gewinne (kWh/a)
horizontal	0,68	0,0	0,70	553	0
Nord	0,68	45,0	0,70	200	4.284
West	0,68	0,0	0,70	349	0
Ost	0,68	71,0	0,70	339	11.457
Süd	0,68	45,0	0,70	502	10.753
horizontal					0
Nord	0,68	0,0	0,80	200	0
West	0,68	0,0	0,80	349	0
Ost	0,68	0,0	0,80	339	0
Süd	0,68	0,0	0,80	502	0
Summe Solargewinne QS					26.494 (kWh/a)
Freie Wärme Elektrizität	QE				23.255 (kWh/a)
Freie Wärme Personen	QP				1.172 (kWh/a)
Wärmebedarf Brauchwassererwärmung	Qwa				0 (kWh/a)
Summe Innere Wärmegewinne	QI=QE+QP-Qwa				24.427 (kWh/a)
Summe Freie Wärme	QF=QS+QI				50.920 (kWh/a)
Gewinnfaktor Freie Wärme	x=1-0,3*QF/QV				0,947 x
Wärmegewinne	QG=x*QF				48.245 (kWh/a)

HEIZWÄRMEBEDARF

Heizwärmebedarf	QH=QV-QG				242.529 (kWh/a)
Energiekennwert Heizwärme	QH/EBF				228,8 (kWh/m ² a)
Grenzwert					75 (kWh/m ² a)
Grenzwertüberschreitung					205 (%)
Grenzwert erfüllt	nein				

Werkstattgebäude

GEBÄUDEDATEN -Werkstattgebäude-

GEBÄUDEDATEN			
Energiebezugsfläche	EBF	478,0	m ²
davon mechanisch belüftete Fläche	Annahme 15 %	71,7	m ²
Personenbelegung		8	P
Durchschnittliche Raumhöhe	H	3,40	m
Luftvolumen (=EBF * Raumhöhe)	V	1.625	m ³
Luftwechselrate unbelüftete Räume	β	0,5	
Luftwechselrate unbelüftete Räume, erhöht**	β	0,85	
Grenzwert		75	kWh/m ² a

**Annahme, bedingt durch die Restauratorenarbeiten in den Räumlichkeiten

TRANSMISSIONS- UND LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE

Transmissionswärmeverluste		Fläche	u-Wert	Gt	Verluste	
		in m ²	in W/m ² K	in kWh/a	in kWh/a	in %
Außenwand	AW1	567,00	1,56	81	71.646	72,0%
Fenster	Ost/West	28,00	2,70	81	6.124	6,2%
	Nord	63,00	2,70	81	13.778	13,8%
	Süd	35,00	2,70	81	7.655	7,7%
	Q13/-AF-horizontal	0,00	0,00	81	0	0,0%
Dach	Flachdach	191,00	0,70	64,8	8.664	8,7%
Fußboden	Kellerdecke	201,00	1,02	40,5	8.303	8,3%
Erdberührende Wände	AW 1 - 1,50 cm (erdber.)	0,00		40,5	0	0,0%
	AW 2 - Brüstung 0,40 cm (erdber.)	0,00		40,5	0	0,0%
	AW 3 - 40 cm (Anbau) (Erdber.)	0,00		40,5	0	0,0%
Summe Transmissionswärmeverluste QT					116.169 (kWh/a)	
Lüftungswärmeverluste QL	β	V	c	Gt		
	(1/h)	(m ³)	(Wh/m ³ K)	(kKh/a)		
Unbelüftete Fläche	0,5	1.381	0,33	81	22.155 (kWh/a)	
Mechanisch belüftete Fläche	0,85	244	0,33	81	5.539 (kWh/a)	
Summe Lüftungswärmeverluste QL					27.694 (kWh/a)	
Summe Verluste	QV=QT+QL				143.863 (kWh/a)	

WÄRMEGEWINNE

Wärmegewinne	r	Fensterfläche (m ²)	g-Wert	Strahlung (kWh/m ² a)	Gewinne (kWh/a)
horizontal	0,68	0,0	0,70	553	0
Nord	0,68	63,0	0,70	200	5.998
West	0,68	0,0	0,70	349	0
Ost	0,68	28,0	0,70	339	4.518
Süd	0,68	35,0	0,70	502	8.363
Horizontal					0
Summe Solargewinne QS					18.879 (kWh/a)
Freie Wärme Elektrizität	QE				29.255 (kWh/a)
Freie Wärme Personen	QP				1.339 (kWh/a)
Wärmebedarf Brauchwassererwärmung	Qwa				0 (kWh/a)
Summe Innere Wärmegewinne	QI=QE+QP-Qwa				30.594 (kWh/a)
Summe Freie Wärme	QF=QS+QI				49.473 (kWh/a)
Gewinnfaktor Freie Wärme	$x=1-0,3 \cdot QF/QV$				0,897 x
Wärmegewinne	QG=x*QF				44.369 (kWh/a)

HEIZWÄRMEBEDARF

Heizwärmebedarf	QH=QV-QG				99.494 (kWh/a)
Energiekennwert Heizwärme	QH/EBF				208,1 (kWh/m ² a)
Grenzwert					75 (kWh/m ² a)
Grenzwertüberschreitung					178 (%)
Grenzwert erfüllt	nein				

Anhang zum Abschnitt 3.3 – Wärmeversorgungsanlagen

Anhang 3.3.1 Energiekonzept „MAK“ – Daten der Kesselanlage über den gesamten Betriebszeitraum

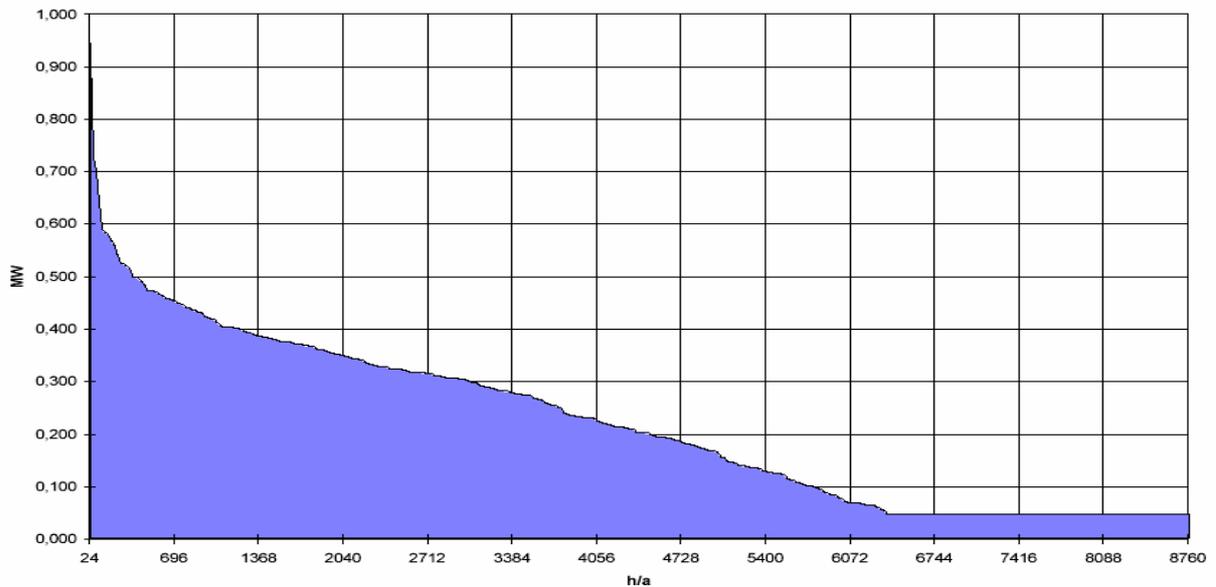
	Kessel 1	Kessel 2
Hersteller	Fröling	Fröling
Typ	SOG 580	SOG 580
Leistung	581 kW	581 kW
Baujahr	1983	1983
Kesselnutzungsgrad	94,3%	94,3%
Verteilungsnutzungsgrad	92,2%	92,2%
Jahres-Anlagennutzungsgrad	86,9%	86,9%
Brennerhersteller	Oertli	Oertli
Elektr. Leistungsaufnahme	1,1 kW	1,1 kW
Betriebsstunden Stufe 1, 2001, ca.	1.919	1.334
Betriebsstunden Stufe 2, 2001, ca.	2.765	954

Anhang 3.3.2 Energiekonzept „MAK“ – Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs anhand der Gasverbrauchswerte von 2001 und 2002

Hochbauamt 65.B32 We
 MAK_Wärmehöchstlast-2001-2002.xls
 Jahresdauerlinie

Energiemanagement

17.12.03



Anhang 3.3.3 Energiekonzept Museum für Angewandte Kunst: Stammdaten der Warmwasserheizkreise

Heizkreisbezeichnung/ Verbraucher	Hersteller/Typ Umwälzpumpe	Heizleistung in kW	Volumen- strom in m ³ /h	Förder- höhe in mWS	Leistungs- aufnahme in kW	Regelung
Kessel 1	Wilo DOP 80/125 V	581,00	16,7	2,8	0,710	keine
Abgas-WRG-Pumpe	Grundfos UPS 15-35	92,00	2,6	0,5	0,075	keine
Kessel 2	Wilo DOP 80/125 V	581,00	16,7	2,8	0,710	keine
Abgas-WRG-Pumpe	Grundfos UPS 15-35	92,00	2,6	0,5	0,075	keine
Primärpumpe HK-Museum, 2. U. 3.Q., Heizplatten	Wilo RP 25/80 V	25,02	0,7	1,9	0,092	keine
Primärpumpe HK-Museum, 1.,2., u. 3.Q., Konvektoren	Wilo TOP RS 25-7, 3. Stufe	58,54	1,7	4,2	0,160	keine
Primärpumpe Nebengebäude, dt= 20 K	Wilo DOP P40/160 r	175,0	7,5	2,8	0,30	keine
Primärpumpe Restaurant 2.Quad.,Konvektoren	Wilo RP 25/80 V	16,96	1,0	1,7	0,092	keine
Primärpumpe Lufterhitzer	Wilo DOP 50/250 3/4	975,0	28,0	13,0	3,000	defekt
Villa Metzler	Grundfos 15-45	105,0	7,5		0,10	keine
Werkstattgebäude (H-Kr. Restaurator)	Wilo RS 25-60r				0,10	keine
Werkstattgebäude (H-Kr. "Verwaltung")	Wilo RS 30-60r				0,10	keine
Werkstattgebäude (H-Kr. Speicherladung)	Grundfos UP 15-15				0,13	keine
Gartenhaus	Wilo RS 25/60r				0,10	keine
Sekundärpumpe 1.Q. Fensterblas - VE	Wilo P 40/100	125,4	5,4	1,0	0,11	keine
Sekundärpumpe 1.Q. Vortrag Projektion - VE	Wilo RP 25/80	44,4	1,3	1,1	0,05	keine
Sekundärpumpe 2.Q. Fensterblas - VE	Wilo RP 25/80	44,4	5,4	1,1	0,05	keine
Sekundärpumpe 2.Q. Küche - Restaurant	Wilo RP 30/80	107,3	3,1	0,4	0,10	keine
Sekundärpumpe 3.Q. Fensterblas - VE	Wilo P 40/100	104,0	6,0	1,0	0,11	Keine

Anhang zum Abschnitt 4. – Wirtschaftlichkeitsberechnung**Anhang 4.2.1 Wirtschaftlichkeit von Wärmedämmmaßnahmen (Maßnahme 3.1.I - 3.2.IV)**

1. Gesamtkosten					
A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für Angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.	15
A7 Betrachtungszeitraum	25a	A8 Währung		€	
A9 Kapitalzins	6%	A10 Annuitätsfaktor		0,08	
A11 Preissteigerung	3%	A12 Mittelwertfaktor		1,38	
B. Varianten					
Bezeichnung					
B0 Istzustand	Ist-Zustand				
B1 Variante 1	Dämmung Fensterbereich MAK				
B2 Variante 2	Dämmung Heizkörpernischen Villa Metzler				
B3 Variante 3a	Dämmung Außenwand Werkstattgebäude				
B4 Variante 4	Däm. Kellerdecke				
C. Kenngrößen					
	Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3°	Variante 4
C1 Bezugsfläche	9.538	9.538	9.538	9.538	9.538m ²
C2 Personenzahl					P
C3 spez. Heizwärmebedarf	174	171,3	173,3	168,1	173,6kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	87,3%	87,3%	87,3%	87,3%	87,3%
C5 spez. Strombezug					kWh/m ² a
C6 spez. CO2-Emissionen	45,87	45,14	45,67	44,30	45,73kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug					m ³ /P a
D. Kapitalkosten					
	Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3°	Variante 4
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	15.180	3.000	62.700	3.215€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0	0	0	0€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	15.180	3.000	62.700	3.215€
D4 Kapitalkosten	0	1.187	235	4.905	251€/a
D5 spez. Kapitalkosten					€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
	Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3°	Variante 4
E1 Personal+Reinigungskosten	0	0	0	0	0€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	0	0	0	0	0€/a
E3 Heizkosten	64.023	63.009	63.744	61.830	63.836€/a
E7 heutige Betriebskosten	64.023	63.009	63.744	61.830	63.836€/a
E8 mittl. Betriebskosten	88.066	86.671	87.683	85.049	87.808€/a
E9 spez. Betriebskosten	9,23	9,09	9,19	8,92	9,21€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
	Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3a	Variante 4
F1 CO2-Emissionen (50 €/to)	21.874	21.527	21.778	21.124	21.810€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0	0	0	0€/a
F3 Umweltfolgekosten	21.874	21.527	21.778	21.124	21.810€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	2	2	2	2	2€/m ² a
G. Gesamtkosten					
	Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3°	Variante 4
G1 Gesamtkosten	109.940	109.386	109.696	111.078	109.870€/a
G2 spez. Gesamtkosten	11,5	11,5	11,5	11,6	11,5€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		12,7	8,1		15,7a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)					

Anhang 4.2.2 Wirtschaftlichkeit von Wärmedämmmaßnahmen (Maßnahme 3.2.III + 3.2.V)

1. Gesamtkosten					
A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für Angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.	15
A7 Betrachtungszeitraum	25a	A8 Währung			€
A9 Kapitalzins	6%	A10 Annuitätsfaktor			0,08
A11 Preissteigerung	3%	A12 Mittelwertfaktor			1,38
B. Varianten					
Bezeichnung					
B0 Istzustand	Ist-Zustand				
B1 Variante 3b	Wie 3 a jedoch ohne Gerüstkosten				
B2 Variante 5	Abdichten der Fensterfugen (außen)				
C. Kenngrößen					
	Istzustand	Variante 3b	Variante 5		
C1 Bezugsfläche	9.538	9.538	9.538		m ²
C2 Personenzahl					P
C3 spez. Heizwärmebedarf	174	168,1	172,9		kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	87,3%	87,3%	87,3%		%
C5 spez. Strombezug					kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	45,87	44,30	45,56		kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug					m ³ /P a
D. Kapitalkosten					
	Istzustand	Variante 3b	Variante 5		
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	28.500	7.200		€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0	0		€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	28.500	7.200		€
D4 Kapitalkosten	0	2.229	563		€/a
D5 spez. Kapitalkosten					€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
	Istzustand	Variante 3b	Variante 5		
E1 Personal+Reinigungskosten	0	0	0		€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	0	0	0		€/a
E3 Heizkosten	64.023	61.830	63.592		€/a
E4 Stromkosten	0	0	0		€/a
E6 Verwaltung+Versicherung	0	0	0		€/a
E7 heutige Betriebskosten	64.023	61.830	63.592		€/a
E8 mittl. Betriebskosten	88.066	85.049	87.473		€/a
E9 spez. Betriebskosten	9,23	8,92	9,17		€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
	Istzustand	Variante 3b	Variante 5		
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	21.874	21.124	21.726		€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0	0		€/a
F3 Umweltfolgekosten	21.874	21.124	21.726		€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	2	2	2		€/m ² a
G. Gesamtkosten					
	Istzustand	Variante 3b	Variante 5		
G1 Gesamtkosten	109.940	108.403	109.763		€/a
G2 spez. Gesamtkosten	11,5	11,4	11,5		€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		10,4	15,0		a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)					

Anhang 4.3.1 Optimierung der Heizungsumwälzpumpen (Maßnahme 3.3.I)**1. Gesamtkosten**

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

A. Allgemeine Daten						
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst				A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude				A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai				A6 Haus-Nr.	15
A7 Betrachtungszeitraum	15a	A8 Währung		€		
A9 Kapitalzins	6%	A10 Annuitätsfaktor		0,10		
A11 Preissteigerung	3%	A12 Mittelwertfaktor		1,24		
B. Varianten						
B0 Istzustand	Ist-Zustand					
B1 Variante 1	Drehzahlgeregelte Umwälzpumpen Heizung					
C. Kenngrößen						
	Istzustand	Variante 1				
C1 Bezugsfläche (NGF)	9.538	9.538				m ²
C2 Personenzahl	57	57				P
C3 Spez. Heizwärmebedarf						kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung						%
C5 Spez. Strombezug	5,37	3,55				kWh/m ² a
C6 Spez. CO ₂ -Emissionen	3,65	2,41				kg/m ² a
C7 Spez. Trinkwasserbezug						m ³ /P a
D. Kapitalkosten						
	Istzustand	Variante 1				
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	7.920				€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0				€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	7.920				€
D4 Kapitalkosten	0	815				€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,09				€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten						
	Istzustand	Variante 1				
E1 Personal+Reinigungskosten						€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	79	119				€/a
E3 Heizkosten						€/a
E4 Stromkosten	4.591	3.140				€/a
E5 Wasserkosten						€/a
E6 Verwaltung+Versicherung						€/a
E7 heutige Betriebskosten	4.670	3.259				€/a
E8 mittl. Betriebskosten	5.777	4.031				€/a
E9 spez. Betriebskosten	0,60	0,42				€/m ² a
F. Umweltfolgekosten						
	Istzustand	Variante 1				
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	1.740	1.151				€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0				€/a
F3 Umweltfolgekosten	1.740	1.151				€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	0	0				€/m ² a
G. Gesamtkosten						
	Istzustand	Variante 1				
G1 Gesamtkosten	7.517	5.997				€/a
G2 spez. Gesamtkosten	0,8	0,6				€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		3,9				a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

Anhang 4.3.2 Erneuerung der Wärmerzeugungsanlage (Maßnahme 3.3.II)**1. Gesamtkosten**

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für Angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.	15
A7 Betrachtungszeitraum	20a	A8 Währung		€	
A9 Kapitalzins	6%	A10 Annuitätsfaktor		0,09	
A11 Preissteigerung	3%	A12 Mittelwertfaktor		1,31	
B. Varianten					
		Bezeichnung			
B0 Istzustand	Ist-Zustand				
B1 Variante 1	Erneuerung Wärmeerzeugungsanlage				
C. Kenngrößen					
	Istzustand	Variante 1			
C1 Bezugsfläche	9.538	9.538			m ²
C2 Personenzahl					P
C3 spez. Heizwärmebedarf	174	174			kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	86,9%	90,0%			%
C5 spez. Strombezug					kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	46,08	44,49			kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug					m ³ /P a
D. Kapitalkosten					
	Istzustand	Variante 1			
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	100.980			€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0			€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	100.980			€
D4 Kapitalkosten	0	8.804			€/a
D5 spez. Kapitalkosten					€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
	Istzustand	Variante 1			
E1 Personal+Reinigungskosten	0	0			€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	3.550	3.029			€/a
E3 Heizkosten	64.318	62.103			€/a
E4 Stromkosten	0	0			€/a
E5 Wasserkosten	0	0			€/a
E6 Verwaltung+Versicherung	0	0			€/a
E7 heutige Betriebskosten	67.868	65.132			€/a
E8 mittl. Betriebskosten	88.746	85.168			€/a
E9 spez. Betriebskosten	9,30	8,93			€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
	Istzustand	Variante 1			
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	21.974	21.218			€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0			€/a
F3 Umweltfolgekosten	21.974	21.218			€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	2	2			€/m ² a
G. Gesamtkosten					
	Istzustand	Variante 1			
G1 Gesamtkosten	110.721	115.190			€/a
G2 spez. Gesamtkosten	11,6	12,1			€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		-			a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

Anhang 4.3.3 Anpassen der Brennerleistung an den tatsächlichen Bedarf (Maßnahme 3.3.III)

1. Gesamtkosten					
A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für Angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.	15
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	Anpassen der Brennerleistung an tatsächlichen Bedarf				
C. Kenngrößen					
	Istzustand	Variante 1			
C1 Bezugsfläche	9.538	9.538			m ²
C2 Personenzahl					P
C3 spez. Heizwärmebedarf	174	174			kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	86,9%	87,9%			%
C5 spez. Strombezug					kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	46,08	45,55			kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug					m ³ /P a
D. Kapitalkosten					
	Istzustand	Variante 1			
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	1.800			€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0			€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	1.800			€
D4 Kapitalkosten	0	185			€/a
D5 spez. Kapitalkosten					€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
	Istzustand	Variante 1			
E1 Personal+Reinigungskosten	0	0			€/a
E2 Wartung+Instandhaltung					€/a
E3 Heizkosten	64.318	63.586			€/a
E4 Stromkosten	0	0			€/a
E5 Wasserkosten	0	0			€/a
E6 Verwaltung+Versicherung	0	0			€/a
E7 heutige Betriebskosten	64.318	63.586			€/a
E8 mittl. Betriebskosten	79.559	78.654			€/a
E9 spez. Betriebskosten	8,34	8,25			€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
	Istzustand	Variante 1			
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/t)	21.974	21.724			€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0			€/a
F3 Umweltfolgekosten	21.974	21.724			€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	2	2			€/m ² a
G. Gesamtkosten					
	Istzustand	Variante 1			
G1 Gesamtkosten	101.534	100.564			€/a
G2 spez. Gesamtkosten	10,6	10,5			€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		1,7			a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)					

Anhang 4.3.4 Abschalten eines Kessels in den Sommermonaten (Maßnahme 3.3.V)

1. Gesamtkosten					
A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für Angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.	15
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	Abschalten eines Kessels in den Sommermonaten				
C. Kenngrößen					
	Istzustand	Variante 1			
C1 Bezugsfläche	9.538	9.538			m ²
C2 Personenzahl					P
C3 spez. Heizwärmebedarf	174	174			kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	86,9%	88,2%			%
C5 spez. Strombezug					kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	46,08	45,42			kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug					m ³ /P a
D. Kapitalkosten					
	Istzustand	Variante 1			
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	0			€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0			€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	0			€
D4 Kapitalkosten	0	0			€/a
D5 spez. Kapitalkosten					€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
	Istzustand	Variante 1			
E1 Personal+Reinigungskosten	0	0			€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	3.550	3.250			€/a
E3 Heizkosten	64.318	63.406			€/a
E4 Stromkosten	0	0			€/a
E5 Wasserkosten	0	0			€/a
E6 Verwaltung+Versicherung	0	0			€/a
E7 heutige Betriebskosten	67.868	66.656			€/a
E8 mittl. Betriebskosten	83.951	82.451			€/a
E9 spez. Betriebskosten	8,80	8,64			€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
	Istzustand	Variante 1			
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/t)	21.974	21.663			€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0			€/a
F3 Umweltfolgekosten	21.974	21.663			€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	2	2			€/m ² a
G. Gesamtkosten					
	Istzustand	Variante 1			
G1 Gesamtkosten	105.925	104.114			€/a
G2 spez. Gesamtkosten	11,1	10,9			€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)					a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)					

Anhang 4.3.5 Zirkulationsunterbrechung für WWB-Restaurant (Maßnahme 3.3.V)

1. Gesamtkosten					
A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für Angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.	15
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	Anpassen der Brennerleistung an tatsächlichen Bedarf				
C. Kenngrößen					
	Istzustand	Variante 1			
C1 Bezugsfläche	9.538	9.538			m ²
C2 Personenzahl					P
C3 spez. Heizwärmebedarf	174	174			kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	86,9%	87,9%			%
C5 spez. Strombezug					kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	46,08	45,55			kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug					m ³ /P a
D. Kapitalkosten					
	Istzustand	Variante 1			
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	1.800			€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0			€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	1.800			€
D4 Kapitalkosten	0	185			€/a
D5 spez. Kapitalkosten					€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
	Istzustand	Variante 1			
E1 Personal+Reinigungskosten	0	0			€/a
E2 Wartung+Instandhaltung					€/a
E3 Heizkosten	64.318	63.586			€/a
E4 Stromkosten	0	0			€/a
E5 Wasserkosten	0	0			€/a
E6 Verwaltung+Versicherung	0	0			€/a
E7 heutige Betriebskosten	64.318	63.586			€/a
E8 mittl. Betriebskosten	79.559	78.654			€/a
E9 spez. Betriebskosten	8,34	8,25			€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
	Istzustand	Variante 1			
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	21.974	21.724			€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0			€/a
F3 Umweltfolgekosten	21.974	21.724			€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	2	2			€/m ² a
G. Gesamtkosten					
	Istzustand	Variante 1			
G1 Gesamtkosten	101.534	100.564			€/a
G2 spez. Gesamtkosten	10,6	10,5			€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		1,7			a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)					

Anhang 4.4.1 Optimierung der Lüftungsanlagen für den Ausstellungsbereich (Maßnahme 3.4.II)

1. Gesamtkosten					
A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für Angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.	15
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	Optimierung RLT-Anlagen Ausstellung				
C. Kenngrößen					
		Istzustand	Variante 1		
C1 Bezugsfläche		9.538	9.538		m ²
C2 Personenzahl					P
C3 spez. Heizwärmebedarf		65	58		kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung		86,9%	86,9%		%
C5 spez. Strombezug		78,07	52,19		kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen		66,39	48,31		kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug					m ³ /P a
D. Kapitalkosten					
		Istzustand	Variante 1		
D1 Investitionskosten (DIN 276)		0	250.250		€
D2 Zuschüsse/Erlöse			0		€
D3 Eigenkapitaleinsatz		0	250.250		€
D4 Kapitalkosten		0	25.766		€/a
D5 spez. Kapitalkosten					€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
		Istzustand	Variante 1		
E1 Personal+Reinigungskosten		0	0		€/a
E2 Wartung+Instandhaltung		3.500	5.005		€/a
E3 Heizkosten		24.016	21.533		€/a
E4 Stromkosten		65.083	43.509		€/a
E5 Wasserkosten		0	0		€/a
E6 Verwaltung+Versicherung		0	0		€/a
E7 heutige Betriebskosten		92.599	70.048		€/a
E8 mittl. Betriebskosten		114.542	86.647		€/a
E9 spez. Betriebskosten		12,01	9,08		€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
		Istzustand	Variante 1		
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)		31.662	23.038		€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)		0	0		€/a
F3 Umweltfolgekosten		31.662	23.038		€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.		3	2		€/m ² a
G. Gesamtkosten					
		Istzustand	Variante 1		
G1 Gesamtkosten		146.204	135.451		€/a
G2 spez. Gesamtkosten		15,3	14,2		€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)			9,1		a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)					

Anhang 4.5.1 Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpen (Maßnahme 3.5.I)

1. Gesamtkosten						
A. Allgemeine Daten						
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst			A2 Unterab.		
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.		
A5 Straße	Schaumainkai			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)	9.538	9.538				m ²
C2 Personenzahl	57	57				P
C3 spez. Heizwärmebedarf						kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung						%
C5 spez. Strombezug	5,50	3,99				kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	3,74	2,71				kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug						m ³ /P a
D. Kapitalkosten						
Istzustand Variante 1						
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	11.950				€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0				€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	11.950				€
D4 Kapitalkosten	0	1.230				€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,13				€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten						
Istzustand Variante 1						
E1 Personal+Reinigungskosten						€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	119	179				€/a
E3 Heizkosten						€/a
E4 Stromkosten	4.960	3.768				€/a
E5 Wasserkosten						€/a
E6 Verwaltung+Versicherung						€/a
E7 heutige Betriebskosten	5.079	3.948				€/a
E8 mittl. Betriebskosten	6.283	4.883				€/a
E9 spez. Betriebskosten	0,66	0,51				€/m ² a
F. Umweltfolgekosten						
Istzustand Variante 1						
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	1.782	1.294				€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0				€/a
F3 Umweltfolgekosten	1.782	1.294				€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	0	0				€/m ² a
G. Gesamtkosten						
Istzustand Variante 1						
G1 Gesamtkosten	8.065	7.408				€/a
G2 spez. Gesamtkosten	0,8	0,8				€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		8,2				a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)						

Anhang 4.5.2 Optimierung der Kälteerzeugungsanlage (Maßnahme 3.5.II)**1. Gesamtkosten**

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

A. Allgemeine Daten					
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst			A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai			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					
B0 Istzustand	Ist-Zustand				
B1 Variante 1	Wegschalten Kältemaschinen im Winter				
C. Kenngrößen					
	Istzustand	Variante 1			
C1 Bezugsfläche (NGF)	9.538	9.538			m ²
C2 Personenzahl	57	57			P
C3 spez. Heizwärmebedarf					kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung					%
C5 spez. Strombezug	30,21	29,82			kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	20,54	20,28			kg/m ² a
D. Kapitalkosten					
	Istzustand	Variante 1			
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	4.500			€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0			€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	4.500			€
D4 Kapitalkosten	0	463			€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,05			€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten					
	Istzustand	Variante 1			
E1 Personal+Reinigungskosten					€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	150	68			€/a
E3 Heizkosten					€/a
E4 Stromkosten	25.184	24.862			€/a
E5 Wasserkosten					€/a
E6 Verwaltung+Versicherung					€/a
E7 heutige Betriebskosten	25.334	24.930			€/a
E8 mittl. Betriebskosten	31.338	30.837			€/a
E9 spez. Betriebskosten	3,29	3,23			€/m ² a
F. Umweltfolgekosten					
	Istzustand	Variante 1			
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	9.797	9.672			€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0			€/a
F3 Umweltfolgekosten	9.797	9.672			€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	1	1			€/m ² a
G. Gesamtkosten					
	Istzustand	Variante 1			
G1 Gesamtkosten	41.135	40.972			€/a
G2 spez. Gesamtkosten	4,3	4,3			€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		9,7			a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

Anhang 4.5.3 Erneuerung der Steuerung der Sonnenschutzvorrichtungen (Maßnahme 3.5.III)

1. Gesamtkosten						
A. Allgemeine Daten						
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst				A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude				A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai				A6 Haus-Nr.	44
A7 Betrachtungszeitraum	20 ^a	A8 Währung			€	
A9 Kapitalzins	6%	A10 Annuitätsfaktor			0,09	
A11 Preissteigerung	3%	A12 Mittelwertfaktor			1,31	
B. Varianten						
Bezeichnung						
B0 Istzustand	Ist-Zustand					
B1 Variante 1	Neue Steuerung für Sonnenschutzvorrichtungen					
C. Kenngrößen						
Istzustand Variante 1						
C1 Bezugsfläche (NGF)	9.538	9.538				m ²
C2 Personenzahl	57	57				P
C3 spez. Heizwärmebedarf						kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung						%
C5 spez. Strombezug	30,21	29,00				kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	20,54	19,72				kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug						m ³ /P a
D. Kapitalkosten						
Istzustand Variante 1						
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	24.850				€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0				€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	24.850				€
D4 Kapitalkosten	0	2.167				€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,23				€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten						
Istzustand Variante 1						
E1 Personal+Reinigungskosten						€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	300	373				€/a
E3 Heizkosten						€/a
E4 Stromkosten	25.184	24.177				€/a
E5 Wasserkosten						€/a
E6 Verwaltung+Versicherung						€/a
E7 heutige Betriebskosten	25.484	24.550				€/a
E8 mittl. Betriebskosten	33.324	32.102				€/a
E9 spez. Betriebskosten	3,49	3,37				€/m ² a
F. Umweltfolgekosten						
Istzustand Variante 1						
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	9.797	9.405				€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0				€/a
F3 Umweltfolgekosten	9.797	9.405				€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	1	1				€/m ² a
G. Gesamtkosten						
Istzustand Variante 1						
G1 Gesamtkosten	43.121	43.674				€/a
G2 spez. Gesamtkosten	4,5	4,6				€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		44,2				a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)						

Anhang 4.5.4 Umrüstung Kälteaggregat Restaurant-Pächter auf Lüftkühlung (Maßnahme 3.5.IV)

1. Gesamtkosten						
A. Allgemeine Daten						
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst			A2 Unterab.		
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.		
A5 Straße	Schaumainkai			A6 Haus-Nr.		44
A7 Betrachtungszeitraum	15 ^a	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	Luftkühlung für Kälteaggregat Pächter					
C. Kenngrößen						
Istzustand Variante 1						
C1 Bezugsfläche (NGF)	1.500	1.500				m ²
C2 Personenzahl	2.500	2.500				P
C3 spez. Heizwärmebedarf						kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung						%
C5 spez. Strombezug	0,00	4,38				kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	0,00	2,93				kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug	0,59	0,00				m ³ /P a
D. Kapitalkosten						
Istzustand Variante 1						
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	5.190				€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0				€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	5.190				€
D4 Kapitalkosten	0	534				€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,36				€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten						
Istzustand Variante 1						
E1 Personal+Reinigungskosten						€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	250	350				€/a
E3 Heizkosten						€/a
E4 Stromkosten		574				€/a
E5 Wasserkosten	5.470	0				€/a
E6 Verwaltung+Versicherung						€/a
E7 heutige Betriebskosten	5.720	924				€/a
E8 mittl. Betriebskosten	7.075	1.143				€/a
E9 spez. Betriebskosten	4,72	0,76				€/m ² a
F. Umweltfolgekosten						
Istzustand Variante 1						
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	0	220				€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	1.466	0				€/a
F3 Umweltfolgekosten	1.466	220				€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	1	0				€/m ² a
G. Gesamtkosten						
Istzustand Variante 1						
G1 Gesamtkosten	8.542	1.898				€/a
G2 spez. Gesamtkosten	5,7	1,3				€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		0,8				a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)						

Anhang 4.6.1 Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage (Maßnahme 3.5.IV)**1. Gesamtkosten****A. Allgemeine Daten**

A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst		A2 Unterab.	
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude		A4 Str.-Nr.	
A5 Straße	Schaumainkai		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

B0 Istzustand	Ist-Zustand
B1 Variante 1	Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage

C. Kenngrößen

	Istzustand	Variante 1		
C1 Bezugsfläche (NGF)	9.538	9.538		m ²
C2 Personenzahl	57	57		P
C3 spez. Heizwärmebedarf				kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung				%
C5 spez. Strombezug	0,00	0,00		kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	0,00	0,00		kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug				m ³ /P a

D. Kapitalkosten

	Istzustand	Variante 1		
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	4.500		€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0		€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	4.500		€
D4 Kapitalkosten	0	463		€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,05		€/m ² a

E. mittl. Betriebskosten

	Istzustand	Variante 1		
E1 Personal+Reinigungskosten				€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	90	68		€/a
E3 Heizkosten				€/a
E4 Stromkosten	2.000	0		€/a
E5 Wasserkosten				€/a
E6 Verwaltung+Versicherung				€/a
E7 heutige Betriebskosten	2.090	68		€/a
E8 mittl. Betriebskosten	2.585	83		€/a
E9 spez. Betriebskosten	0,27	0,01		€/m ² a

F. Umweltfolgekosten

	Istzustand	Variante 1		
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	0	0		€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0		€/a
F3 Umweltfolgekosten	0	0		€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	0	0		€/m ² a

G. Gesamtkosten

	Istzustand	Variante 1		
G1 Gesamtkosten	2.585	547		€/a
G2 spez. Gesamtkosten	0,3	0,1		€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		2,0		a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

Anhang 4.6.2 Erneuerung MSR-Technik und Aufschalten der DDC auf die GLT (Maßnahme 3.5.IV)

1. Gesamtkosten						
A. Allgemeine Daten						
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst			A2 Unterab.		
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.		
A5 Straße	Schaumainkai			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	Sanierung MSR und Aufschaltung DDC					
C. Kenngrößen						
Istzustand Variante 1						
C1 Bezugsfläche (NGF)	9.538	9.538				m ²
C2 Personenzahl	57	57				P
C3 spez. Heizwärmebedarf	151	137				kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung	87%	87%				%
C5 spez. Strombezug	133,60	118,66				kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	127,22	113,88				kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug						m ³ /P a
D. Kapitalkosten						
Istzustand Variante 1						
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	181.540				€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0				€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	181.540				€
D4 Kapitalkosten	0	18.692				€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	1,96				€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten						
Istzustand Variante 1						
E1 Personal+Reinigungskosten						€/a
E2 Wartung+Instandhaltung	3.500	2.723				€/a
E3 Heizkosten	55.606	50.740				€/a
E4 Stromkosten	111.376	98.918				€/a
E5 Wasserkosten						€/a
E6 Verwaltung+Versicherung						€/a
E7 heutige Betriebskosten	170.482	152.380				€/a
E8 mittl. Betriebskosten	210.881	188.490				€/a
E9 spez. Betriebskosten	22,11	19,76				€/m ² a
F. Umweltfolgekosten						
Istzustand Variante 1						
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	60.673	54.308				€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	0	0				€/a
F3 Umweltfolgekosten	60.673	54.308				€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	6	6				€/m ² a
G. Gesamtkosten						
Istzustand Variante 1						
G1 Gesamtkosten	271.554	261.490				€/a
G2 spez. Gesamtkosten	28,5	27,4				€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		8,2				a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)						

Anhang 4.7.1 Reduzierung der Abblasverluste des Sicherheitsventils der DEA (Maßnahme 3.7.I)

1. Gesamtkosten						
A. Allgemeine Daten						
A1 Liegenschaftsbezeichnung	Museum für angewandte Kunst			A2 Unterab.		
A3 Gebäudebezeichnung	Hauptgebäude			A4 Str.-Nr.		
A5 Straße	Schaumainkai			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	Reduzierung der Abblasverluste der DEA					
C. Kenngrößen						
Istzustand Variante 1						
C1 Bezugsfläche (NGF)	9.538	9.538				m ²
C2 Personenzahl	100.000	100.000				P
C3 spez. Heizwärmebedarf						kWh/m ² a
C4 Heizzahl Kessel+Verteilung						%
C5 spez. Strombezug	0,25	0,00				kWh/m ² a
C6 spez. CO ₂ -Emissionen	0,00	0,00				kg/m ² a
C7 spez. Trinkwasserbezug	0,01	0,00				m ³ /P a
D. Kapitalkosten						
Istzustand Variante 1						
D1 Investitionskosten (DIN 276)	0	350				€
D2 Zuschüsse/Erlöse		0				€
D3 Eigenkapitaleinsatz	0	350				€
D4 Kapitalkosten	0	36				€/a
D5 spez. Kapitalkosten	0	0,00				€/m ² a
E. mittl. Betriebskosten						
Istzustand Variante 1						
E1 Personal+Reinigungskosten						€/a
E2 Wartung+Instandhaltung						€/a
E3 Heizkosten						€/a
E4 Stromkosten	210	0				€/a
E5 Wasserkosten	2.425	0				€/a
E6 Verwaltung+Versicherung						€/a
E7 heutige Betriebskosten	2.634	0				€/a
E8 mittl. Betriebskosten	3.258	0				€/a
E9 spez. Betriebskosten	0,34	0,00				€/m ² a
F. Umweltfolgekosten						
Istzustand Variante 1						
F1 CO ₂ -Emissionen (50 €/to)	0	0				€/a
F2 Trinkwasser (1 €/m ³)	650	0				€/a
F3 Umweltfolgekosten	650	0				€/a
F4 spez. Umweltfolgekost.	0	0				€/m ² a
G. Gesamtkosten						
Istzustand Variante 1						
G1 Gesamtkosten	3.908	36				€/a
G2 spez. Gesamtkosten	0,4	0,0				€/m ² a
G2 Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		0,1				a
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)						