



## **A Inhaltsverzeichnis**

B Wärmeversorgungskonzept Museumsufer - Kurzfassung .....	3
C Wärmeversorgungskonzept Museumsufer - Hauptteil .....	11
1. Aufgabenstellung .....	11
2. Stammdaten der Liegenschaften .....	11
2.1 Bestandserfassung, Bestandsaufnahme .....	11
2.2 Objektkurzbeschreibungen .....	12
2.3 Stammdaten der Energieverbräuche .....	16
2.4 Stammdaten der Technischen Gebäudeausrüstung .....	20
3. Lastkurven und Profile, Ist-Zustand .....	23
3.1. Darstellung Lastkurven und Profile .....	23
3.2. Erläuterung Lastkurven und Profile .....	27
4. Wärmeversorgungsvarianten .....	28
4.1. Beschreibung der Varianten .....	28
4.2. Kostenschätzung, Herstellkosten .....	32
5 Lastkurven und Profile Wärmeversorgungsvarianten (Soll-Zustand) .....	35
5.1. Darstellung Lastkurven und Profile .....	35
5.2. Erläuterung Lastkurven und Profile .....	37
5.3. Schlussfolgerung .....	38
6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	39
6.1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach Gesamtkostenverfahren Hochbauamt FFM .....	39
6.2. Erläuterung Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	40
6.3. Energiepreis-Prognosebetrachtung .....	42
7. Zusammenfassung und Empfehlungen .....	44
7.1 Bewertungskriterien .....	44
D Anhang .....	49
1 Abbildungsverzeichnis .....	49
2 Tabellenverzeichnis .....	51
3 Aufstellung Energieabrechnungen .....	52
4 Lastprofile Ist-Zustand .....	57
5 Verbrauchsaufzeichnungen .....	61
7 Kostenberechnungen .....	65
9 Trassenpläne Versorgungsvarianten .....	79
10 Fotodokumentation .....	81
10.1 Fotos Gebäude- und Technik Gebäudeweise .....	81
10.3 Trassenverlauf .....	90
11 Leitlinie Wirtschaftliches Bauen Frankfurt am Main .....	93

## **B Wärmeversorgungskonzept Museumsufer - Kurzfassung**

In der Kurzfassung sind die wesentlichen technischen Daten, die Anlagenvarianten, Herstellkosten und Wirtschaftlichkeitsberechnung zusammengefasst.

Zur energetischen Optimierung der in der nachfolgenden Objektübersicht (Abbildung 1) dargestellten Museumsliegenschaften wurde die Möglichkeiten einer zentralen Energieversorgung untersucht. Auf der Grundlage der in den vergangenen 3 Jahren erfassten Energieverbräuche wurde der Gesamtbedarf ermittelt. Dabei war festzustellen, dass die installierten Kesselleistungen teilweise deutlich zu groß dimensioniert sind (siehe Tabelle 1). Die Auslegung der untersuchten Varianten, welche im einzelnen in den Abbildung 2- Abbildung 5 dargestellt sind, erfolgte entsprechend dem festgestellten Gesamtbedarf. Dies Varianten wurden dem Status-Quo (dezentrale Versorgung mit Gaskesselanlagen) gegenüber gestellt. Die zentrale Versorgung wurde jeweils vom MAK aus vorgesehen, da dort die günstigsten Platzvoraussetzungen vorliegen und im MAK selbst der größte Energiebedarf besteht. Als Energieträger wurde für die Varianten 1,3 und 4 jeweils Biomasse (Holzhackschnitzel) zur Grundlastversorgung vorgesehen. Ferner wurde eine Versorgungsvariante mit Kraft-Wärme-Kopplung untersucht (Variante 3a). Die Dimensionierung der Wärmeerzeugungsanlagen erfolgte dazu anhand der Jahresdauerlinien (Abbildung 6 + Abbildung 7). Die Trassenführung für die zentralen Varianten 1 und 4 wurde zur Verlegung entlang der Uferpromenade angedacht, da sich dies als die praktikabelste und kostengünstigste Lösung herausstellte. Unter Zugrundelegung der Kostenberechnungen (Tabelle 4) wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung (Abbildung 8) für die 5 untersuchten Varianten vorgenommen. Daraus abgeleitet ergibt sich die in Abbildung 9 dargestellte Grafik, in welcher die jährlichen Gesamtkosten der untersuchten Varianten vergleichend gegenübergestellt sind.

Als Ergebnis der Untersuchung ergibt sich ein deutlicher Kostenvorteil der Varianten mit zentraler Energieversorgung gegenüber der derzeitigen Energieversorgung (Variante 5). Die geringsten jährlichen Kosten zeigt dabei Variante 1 auf.

In der Summe aller Bewertungskriterien erweist sich die zentrale Wärmeversorgung Variante-1 als die beste Option und wird daher, insbesondere unter Berücksichtigung der zu erwartenden Energiepreisentwicklung, vom Verfasser der Studie zur Ausführung empfohlen.

### Objektübersicht



**Abbildung 1: Objektübersicht**

## Energieverbräuche Wärme / Erdgas (absolut und spez. Je m<sup>2</sup>) Ist-Zustand

Allgemeine Daten						
Museum	Adresse	Gebäudedaten Architektur [m <sup>2</sup> ] NGF	Wärme- Verbrauch [kWh/a]	Wärme- verbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ,a]	Kosten [EURO/a]	Kosten [EURO/MWh]
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3784	Siehe Filmm.	siehe Filmm.	siehe Filmm.	siehe Filmm.
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3720	751.440	100	33147	44,11
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9538	1.869.448	196	84102	44,99
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8387	771.064	92	42409	55
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 29-37	1286	462.103	359	24509	53,04
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	66.902	222	3140	46,93
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3082	893.780	290	35267	39
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13764	1.926.960	140	86713	45
<b>Gesamt</b>		<b>43863</b>	<b>6.741.697</b>	<b>154</b>	<b>309287</b>	<b>45,88</b>

Tabelle 1: Verbrauch Wärme/ Erdgas jeweils 3-Jahres Mittelwert (2004/2005/2006)

## Vergleich gemessene Leistungen / Installierte Leistungen

Allgemeine Daten			Gemessene Leistungen		Installierte Wärmeleistungen	
Museum	Adresse	[m <sup>2</sup> ] NGF	Wärmeleistung (Maximum) [kW]	Wärmeleistung (Maximum) [W/m <sup>2</sup> ]	Leistung Wärmeerzeuger [kW]	Baujahr
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784	Siehe Filmm.	siehe Filmm.	siehe Filmm.	
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720	386	51	420	1983
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538	653	68	1.162	1983
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387	410	49	797	1988
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 35 (37,29)	1.286	300	233	260	1994
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	48	159	48	1994
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082	285	93	570	1990
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764	803	58	803	2005
<b>Gesamt</b>		<b>43.863</b>	<b>2.885</b>	<b>66</b>	<b>4.060</b>	

Tabelle 2: Vergleich gemessene/ installierte Leistungen, jeweils 3-Jahres Mittelwert (2004,2005,2006)

## Installierte RLT-Leistungen

Allgemeine Daten				
Museum	Adresse	Gebäudedaten Architektur [m <sup>2</sup> ] NGF	RLT-Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	RLT-Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h,m <sup>2</sup> ]
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784	9.000	2
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720	15.000	4
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538	134.000	14
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387	84.250	10
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 35 (37,29)	1.286	1.800	1
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	2.000	7
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082	43.000	14
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764	24.000	2
<b>Gesamt</b>		<b>43.863</b>	<b>313.050</b>	<b>7</b>

Tabelle 3: Installierte Leistungen RLT

## Wärmeversorgungsvarianten

Es wurden verschiedene Wärmeversorgungskonzepte untersucht:

Variante- 1: Zentrale Lösung

Variante- 2: Insellösung

Variante- 3: Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK

Variante- 3a: wie Variante 3, jedoch BHKW anst HHS-Anlage

Variante- 4: Zentrale Lösung ohne Städel und Liebighaus

Variante- 5: Dezentrale Lösung

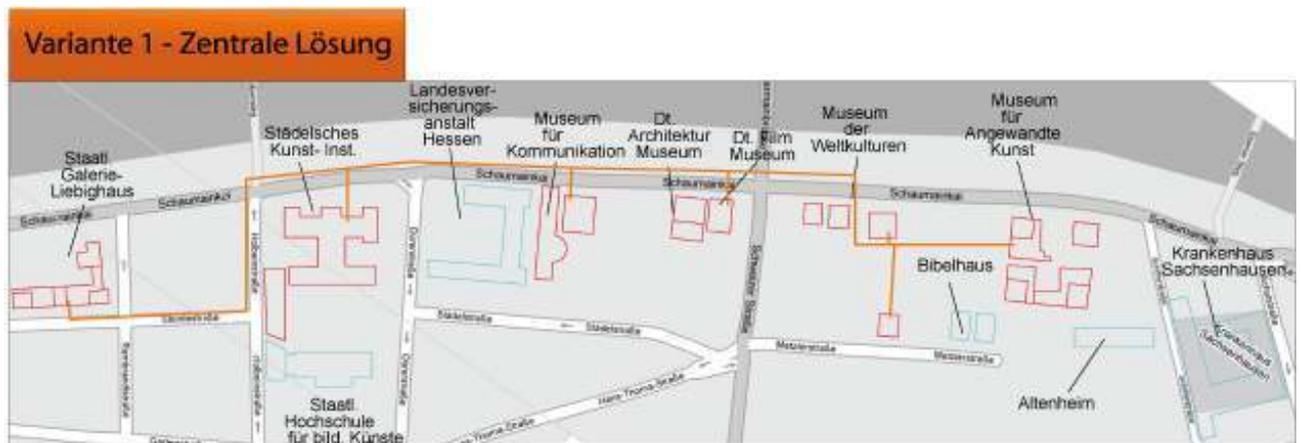


Abbildung 2: Variante 1 – Zentrale Lösung



Abbildung 3: Variante2 - Insellösung

**Variante 3 - Dezentrale Lösung  
Verbund MAK & MdWK**

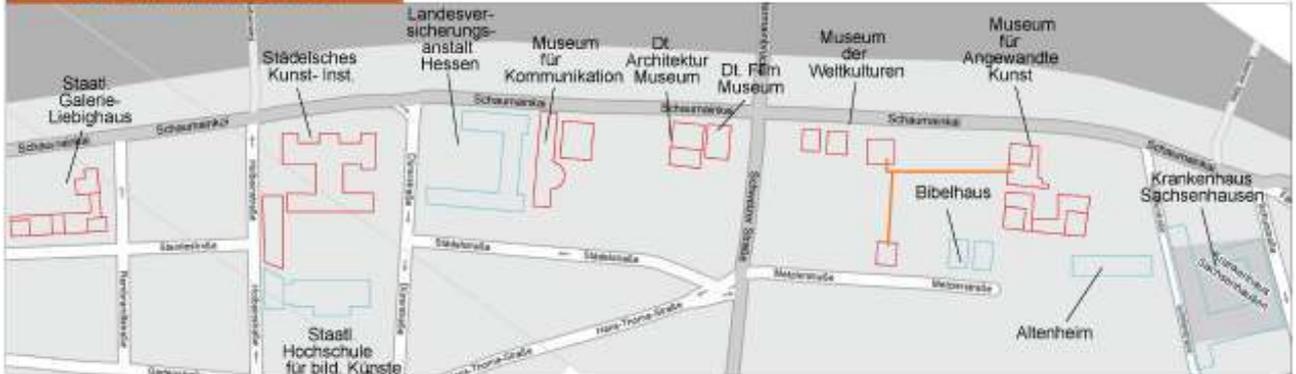


Abbildung 4: Variante 3 – Dezentrale Lösung

**Variante 4 - Zentrale Lösung  
ohne Städel und Liebighaus**



Abbildung 5: Variante 4 – Zentrale Lösung ohne Städel und Liebighaus

Variante-5 beinhaltet die derzeit vorhandene Anlagenkonstellation mit dezentralen Gas-Brennwertkesselanlagen.  
Eine grafische Darstellung wurde daher nicht erstellt.

## Gesamtaufstellung Herstellkosten

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 3-a	Variante 4	Variante 5
	Zentrale Lösung	Insellösung	Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK	wie Variante 3, jedoch BHKW anst HHS-Anlage	Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus	Dezentrale Lösung
<b>Leistungen TGA</b>	<b>761.620,00 €</b>		<b>397.800,00 €</b>	<b>322.100,00 €</b>	<b>601.645,00 €</b>	<b>206.440,00 €</b>
Fernleitung	155.175,00 €		22.250,00 €	22.250,00 €	92.275,00 €	0,00 €
Sonstige Leistungen Fernleitungen	11.000,00 €	nicht ausgewertet, da wirtschaftlich nicht sinnvoll darstellbar	3.000,00 €	3.000,00 €	11.000,00 €	0,00 €
Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen	299.100,00 €		195.000,00 €	113.000,00 €	273.000,00 €	0,00 €
Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen	146.290,00 €		126.140,00 €	132.440,00 €	124.140,00 €	168.440,00 €
Wärmeverteilung mit Zubehör	123.055,00 €		34.410,00 €	34.410,00 €	74.230,00 €	23.000,00 €
Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges	27.000,00 €		17.000,00 €	17.000,00 €	27.000,00 €	15.000,00 €
<b>Bauliche Leistungen</b>	<b>570.300,00 €</b>		<b>263.600,00 €</b>	<b>34.600,00 €</b>	<b>419.900,00 €</b>	<b>0,00 €</b>
Bauliche Arbeiten Fernleitung	245.300,00 €		24.600,00 €	24.600,00 €	139.400,00 €	0,00 €
Bauliche Arbeiten Gebäude	325.000,00 €		239.000,00 €	10.000,00 €	280.500,00 €	0,00 €
<b>Fördermittel</b>	<b>-263.320,00 €</b>		<b>-86.380,00 €</b>	<b>-20.500,00 €</b>	<b>-196.220,00 €</b>	<b>0,00 €</b>
<b>Nebenkosten</b>	<b>258.701,20 €</b>		<b>149.780,00 €</b>	<b>78.706,00 €</b>	<b>22.049,20 €</b>	<b>44.288,00 €</b>
<b>Gesamt, netto</b>	<b>1.327.301,20 €</b>		<b>724.800,00 €</b>	<b>414.906,00 €</b>	<b>1.037.374,20 €</b>	<b>250.728,00 €</b>

Tabelle 4: Gesamtaufstellung Herstellkosten

## Lastkurven und Profile Wärmeversorgungsvarianten (Soll-Zustand)

### Variante 1 - Zentrale Lösung



Monat		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	gesamt
Verbrauch gesamt Gas	kWh	1.119.137	973.601	819.724	578.765	258.314	102.666	15.422	23.927	224.641	616.202	905.686	1.103.613	6.741.697
Tage/Monat	d	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Stunden/Monat	h	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
Leistung/Monat	kW	1.504	1.449	1.102	804	347	143	21	32	312	828	1.258	1.483	2.885
Stunden kumuliert	h	744	2.160	3.624	5.088	5.832	7.272	8.760	8.016	6.552	4.368	2.880	1.488	
Gradtage		550,1	478,5	402,9	284,5	127,0	50,5	7,6	11,8	110,4	302,9	445,1	542,4	3.313,5

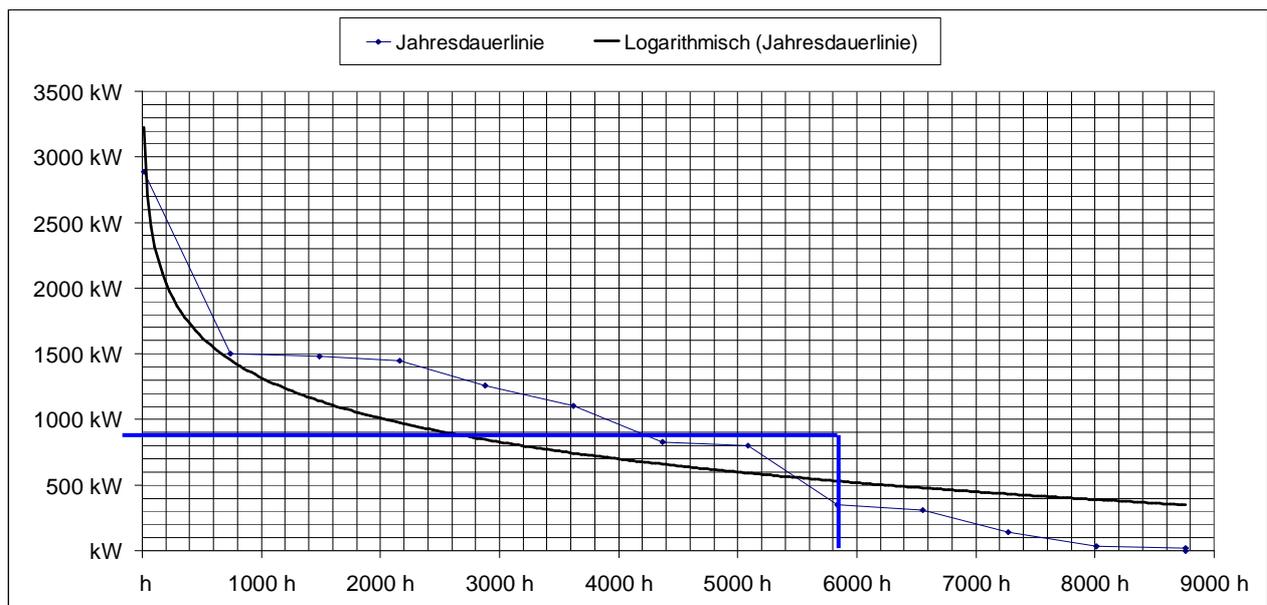


Abbildung 6: Jahresdauerlinien Variante 1

### Variante 3, Museum für Angewandte Kunst und Museum der Weltkulturen



Monat		Jan	Feb	Mrz	April	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	gesamt
Verbrauch gesamt Gas	kWh	398.148	346.372	291.628	205.904	91.899	36.525	5.487	8.512	79.919	219.222	322.210	392.626	2.398.453
Tage/Monat	d	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Stunden/Monat	h	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Leistung/Monat	kW	535	515	392	286	124	51	7	11	111	295	448	528	1.001
Stunden kumuliert	h	744	2.160	3.624	5.088	5.832	7.272	8.760	8.016	6.552	4.368	2.880	1.488	
Gradtage		550,1	478,5	402,9	284,5	127,0	50,5	7,6	11,8	110,4	302,9	445,1	542,4	3.313,5

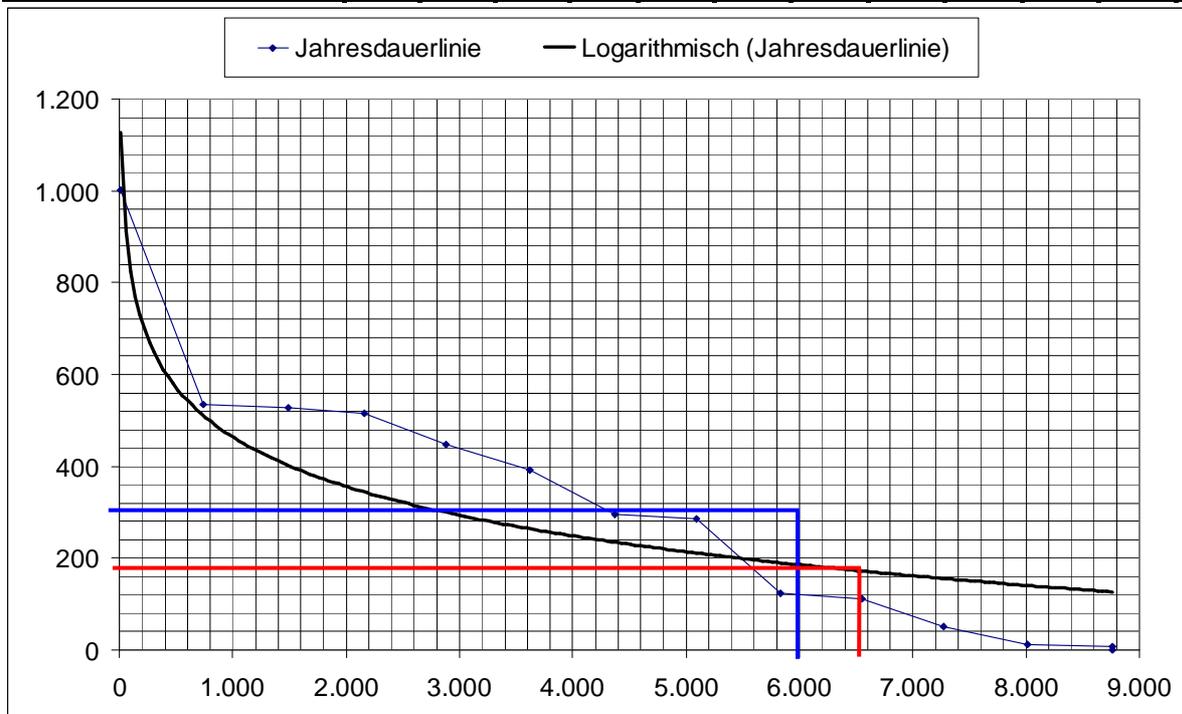


Abbildung 7: Jahresdauerlinie Variante 3 bzw. 3a

## Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach Gesamtkostenverfahren Hochbauamt FFM

1. Gesamtkosten						
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau						
<b>A. Allgemeine Daten</b>						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	Energiekonzept Mainufer			A2	KStB.
A3	Gebäudebezeichnung				A4	Str.-Nr.
A5	Straße	Schaumainkai			A6	Haus-Nr.
<b>Bereich Bau und Fernleitungen</b>						
A7	Betrachtungszeitraum [a]	30	a	A8	Währung	€
A9	Kapitalzins*	5,0%		A10	Annuitätsfaktor	0,065
A11	Preissteigerung	3,0%		A12	Mittelwertfaktor	1,47
<b>Bereich Technik</b>						
A13	Betrachtungszeitraum [a]	20	a	A14	Währung	€
A15	Kapitalzins*	5,0%		A16	Annuitätsfaktor	0,080
A17	Preissteigerung Energie / Sonst.	5,0%	3,0%	A18	Mittelwertfaktor En/So.	1,60
						1,32
<b>B. Varianten</b>						
		Bezeichnung				
B0	Variante 1	Zentrale Lösung				
B1	Variante 3	Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK				
B2	Variante 3a	Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK mit BHKW				
B3	Variante 4	Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus				
B4	Variante 5	Dezentrale Lösung				
<b>C. Kenngrößen</b>						
		Variante 1	Variante 3	Variante 3a	Variante 4	Variante 5
C1	Bezugsfläche (NGF)	43.863	43.863	43.863	43.863	43.863
C2	Personenzahl	0	0	0	0	0
C3	spez. Heizwärmebedarf	128	112	112	115	111
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	100%	100%	100%	100%	100%
C5	spez. Strombezug	126	126	126	126	126
C6	spez. CO2-Emissionen	464	883	-124	698	1.274
C7	spez. Trinkwasserbezug	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C8	Strompreis	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116
C9	Gaspreis	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
C10	Preis Hackschnitzel	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
						m <sup>2</sup>
						P
						kWh/m <sup>2</sup> a
						%
						kWh/m <sup>2</sup> a
						to/a
						m <sup>3</sup> /P a
						€/kWh
						€/kWh
						€/kWh
<b>D. Kapitalkosten</b>						
		Variante 1	Variante 3	Variante 3a	Variante 4	Variante 5
D1	Investitionskosten (DIN 276)	1.590.621	811.180	435.406	1.233.594	250.728
D2	Zuschüsse/Erlöse	263.320	86.380	20.500	196.220	0
D3	Eigenkapitaleinsatz gesamt	1.327.301	724.800	414.906	1.037.374	250.728
	Eigenkapitaleinsatz Bau+Fernl.	722.959	313.251	40.246	520.111	0
	Eigenkapitaleinsatz Technik	604.342	411.549	374.660	517.263	250.728
	Kapitalkosten Bau+Fernleitg.	47.030	20.377	2.618	33.834	0
	Kapitalkosten Technik	48.494	33.024	30.064	41.507	20.119
D4	Kapitalkosten	95.523	53.401	32.682	75.340	20.119
D5	spez. Kapitalkosten	2,18	1,22	0,75	1,72	0,46
						€/a
						€/a
						€/a
						€/m <sup>2</sup> a

<b>E. mittl. Betriebskosten</b>		Variante 1	Variante 3	Variante 3a	Variante 4	Variante 5	
E1	Personal+Reinigungskosten	4.548	2.817	3.221	3.820	1.548	€/a
E2	Wartung+Instandhaltung	19.657	13.105	12.588	16.752	6.563	€/a
E3	Heizkosten	219.311	263.028	291.817	241.580	319.542	€/a
E4	Stromkosten	4.063	1.016	0	3.048	0	€/a
E5	Wasserkosten	0	0	0	0	0	€/a
E6	Verwaltung+Versicherung	3.180	1.620	870	2.470	500	€/a
E7	<b>heutige Betriebskosten</b>	<b>250.760</b>	<b>281.586</b>	<b>308.496</b>	<b>267.670</b>	<b>328.153</b>	€/a
E8	<b>mittl. Betriebskosten</b>	<b>394.618</b>	<b>446.897</b>	<b>490.331</b>	<b>422.995</b>	<b>524.180</b>	€/a
E9	<b>spez. Betriebskosten</b>	<b>9,00</b>	<b>10,19</b>	<b>11,18</b>	<b>9,64</b>	<b>11,95</b>	€/m²a
<b>F. Umweltfolgekosten</b>		Variante 1	Variante 3	Variante 3a	Variante 4	Variante 5	
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	23.208	44.153	-6.211	34.924	63.707	€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	0	0	0	0	0	€/a
F3	<b>Umweltfolgekosten</b>	<b>23.208</b>	<b>44.153</b>	<b>-6.211</b>	<b>34.924</b>	<b>63.707</b>	€/a
F4	<b>spez. Umweltfolgekost.</b>	<b>0,53</b>	<b>1,01</b>	<b>-0,14</b>	<b>0,80</b>	<b>1,45</b>	€/m²a
<b>G. Gesamtkosten</b>		Variante 1	Variante 3	Variante 3a	Variante 4	Variante 5	
G1	<b>Gesamtkosten</b>	<b>513.349</b>	<b>544.451</b>	<b>516.801</b>	<b>533.260</b>	<b>608.007</b>	€/a
G2	spez. Gesamtkosten pro m²	11,7	12,4	11,8	12,2	13,9	€/m²a
G3	spez. Energiekosten	105,8	112,2	106,5	109,9	125,3	€/MWh
G4	Amortisationszeit (Basis: Variante 5)	7,8	5,8	1,7	7,4		a

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

\* aktuelle Kreditzinsen unter: <http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.pdf>

Abbildung 8: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Varianten, Teil 2

Daraus ergibt sich folgende grafische Darstellung:

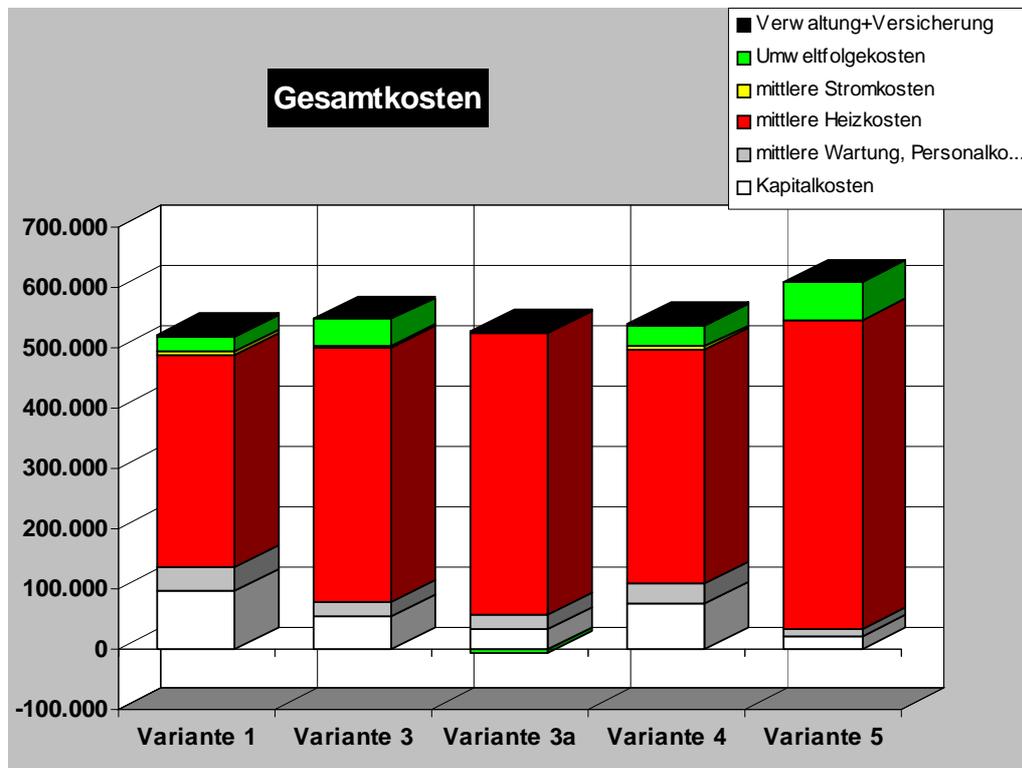


Abbildung 9: Diagramm Kostenaufstellung der Varianten

Anmerkung: bei Variante 3-a sind die Stromerlöse mit den Heizkosten verrechnet

## C Wärmeversorgungskonzept Museumsufer - Hauptteil

### 1. Aufgabenstellung

Aufgabenstellung ist die Erarbeitung eines Wärmeversorgungskonzeptes mit Untersuchung der Möglichkeiten zur gemeinsamen Versorgung der Museen im Bereich des Museumsufers.

Dabei sind folgende Inhalte zu berücksichtigen:

- Prüfung der Möglichkeiten eines Wärmeverbundes (Untersuchung verschiedener Trassenführungen für die Wärmeleitungen)
- Prüfung der räumlichen Voraussetzungen für eine gemeinsame Wärmeversorgung
- Prüfung der Möglichkeiten zur zentralen Wärmeerzeugung auf der Basis von verschiedenen Energieträgern
- Prüfung der Möglichkeiten für den Einsatz von Kraft-Wärme bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- Vergleich mit der bestehenden dezentralen Wärmeversorgung,
- Lösungen für eine optimierte dezentrale Wärmeversorgung falls ein Wärmeverbund nicht wirtschaftlich ist.

### 2. Stammdaten der Liegenschaften

#### 2.1 Bestandserfassung, Bestandsaufnahme

Für die folgenden Liegenschaften wurde der Bestand erfasst:

<b>Museum</b>	<b>Adresse</b>	<b>Fläche [m<sup>2</sup>] NGF</b>
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 35 (37,29)	1.286
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764
<b>Gesamt</b>		<b>43.863</b>

Tabelle 5: Bestandserfassung der Liegenschaften

Für die Erstellung der Wärmeversorgungsstudie war die Erfassung von verschiedensten Daten erforderlich. Insbesondere waren dies:

- Grundrißpläne Technik, Schemen Technik
- Technische Daten der Anlagen
- Energieverbrauchsdaten (Strom, Erdgas etc.)
- Energieverbrauchskosten
- Flächen (für Energiebezug)
- Nutzerspezifische Daten, Nutzungszonen, Nutzungszeiten
- Infos zu Sanierungsbedarf, evtl. Nutzungsänderungen
- Bestandspläne Versorgungsmedien
- Übersichtslageplan (Katasteramt)
- Schornsteinfegermeßprotokolle

Eine Übersicht der Datenerfassung (Datenbasis) ist in der Anlage angefügt.

Ein Teil der erforderlichen Daten, insbesondere Energieverbrauchsdaten und Planunterlagen, konnten aus dem Datenbestand des Hochbauamtes übernommen werden. Die übrigen Daten wurden durch Bestandsaufnahmen vor Ort erlangt. Siehe hierzu Bildokumentation im Anhang.

## 2.2 Objektkurzbeschreibungen

Die in der Luftaufnahme (Gesamtübersicht) dargestellten Liegenschaften sind Bestandteil der Gesamtbetrachtung und werden nachfolgend im Einzelnen dargestellt.



Abbildung 10: Luftaufnahme Museumsufer

## Deutsches Architekturmuseum



Abbildung 11: Deutsches Architekturmuseum

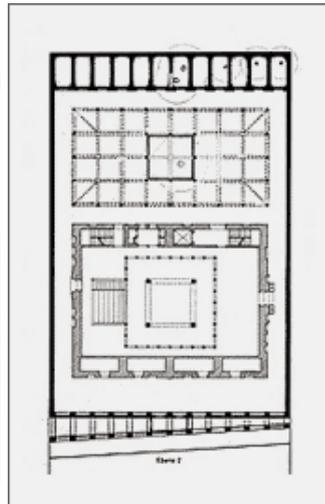


Abbildung 12: Grundriss Architekturmuseum

Das Deutsche Architekturmuseum besteht aus einem Gebäude und untergliedert sich in folgende Geschosse:

KG – EG – 1.OG – 2.OG – DG

Die Netto-Geschoßfläche beläuft sich auf 3784 m<sup>2</sup>.

## Deutsches Filmmuseum

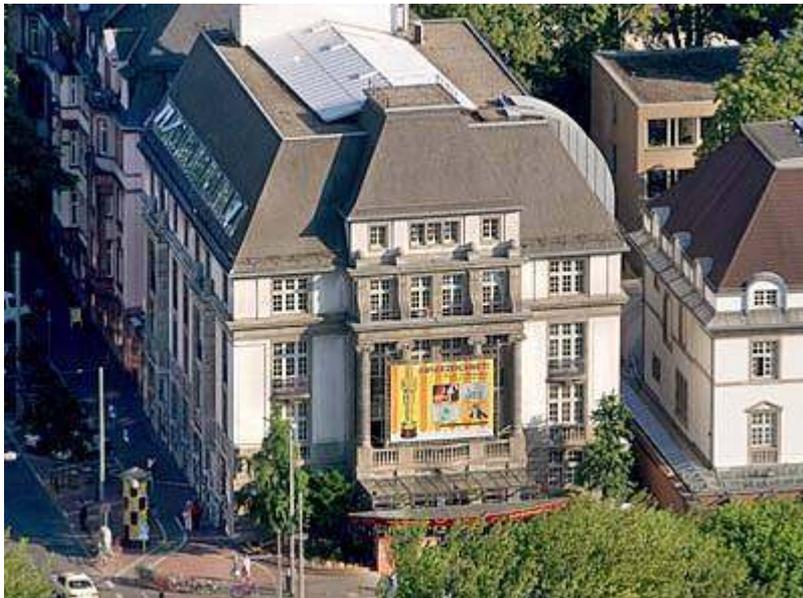


Abbildung 13: Deutsches Filmmuseum

Das Deutsche Filmmuseum besteht aus einem Gebäude und untergliedert sich in folgende Geschosse:

- KG – SG – EG – 1.OG – 2.OG – 3.OG – 4.OG – DG

Die Netto-Geschoßfläche beläuft sich auf 3720 m<sup>2</sup>.

## Museum für Angewandte Kunst (MAK)



Abbildung 14: Museum für Angewandte Kunst

Die Liegenschaft besteht aus einem Hauptgebäude untergliedert in drei Gebäudeblöcke (UG, EG, 1.OG, 2.OG, TechnikG), aus der Villa Metzler (KG, EG, 1.OG, 2.OG, DG) sowie dem Gartenhaus (EG, DG).

Die Netto-Geschoßfläche beläuft sich auf 9538 m<sup>2</sup>.

## Museum für Kommunikation (MfK)



Abbildung 15: Museum für Kommunikation

Der Gebäudekomplex besteht aus einem Altbau (Villa) und einem Neubau (Museum) sowie einer Tiefgarage. Die Villa untergliedert sich in KG, ZG, 1.OG, 2.OG und DG, der Neubaubereich beinhaltet 2.UG, 1.UG, EG, 1.OG und 2.OG.

Die Netto-Geschoßfläche beläuft sich auf 8387 m<sup>2</sup>.

## Museum der Weltkulturen



Abbildung 16: Museum der Weltkulturen

Das Museum besteht aus vier Häusern:

- 1) Schaumainkai 29, bestehend aus den Geschossen UG, EG, 1.OG, 2.OG, DG.
- 2) Schaumainkai 35, bestehend aus den Geschossen UG, EG, 1.OG, 2.OG, DG
- 3) Schaumainkai 37, bestehend aus den Geschossen UG, EG, 1.OG, 2.OG, DG
- 4) Kutscherhaus, bestehend aus den Geschossen UG, EG, 1.OG, DG (ohne Bild)

Die Netto-Geschoßfläche beläuft sich auf 1588 m<sup>2</sup>.

### Städtische Galerie Liebighaus



Abbildung 17: Städtische Galerie Liebighaus



Das Museum besteht aus einem abgewinkelten Gebäudetrakt mit den Geschossen UG, EG, 1.OG, DG

Die Netto-Geschoßfläche beläuft sich auf 3.082 m<sup>2</sup>.

## Städtische Galerie im Städel



Abbildung 18: Städtische Galerie im Städel

Das Museum besteht aus dem Hauptgebäude (Altbau) und einem Neubaufügel.

Hauptgebäude mit den Geschossen UG, EG, 1.OG, DG

Neubaufügel mit den Geschossen UG, EG, 1.OG

Die Netto-Geschoßfläche beläuft sich auf 13.750 m<sup>2</sup>.

(Grob abgeschätzt anhand von Übersichtsplänen, da keine Unterlagen verfügbar waren)

## 2.3 Stammdaten der Energieverbräuche

### 2.3.1. Darstellung Lieferverträge EVU

Die Energiekosten wurden aus den Aufzeichnungen der Stadt Frankfurt übernommen. Die Energiepreise können als durchschnittlich betrachtet werden.

Eine eingehende Darstellung bzw. Bewertung der bestehenden EVU-Lieferverträge erfolgte nicht. Für die Vergleichsbetrachtungen der verschiedenen Varianten dieser Energiestudie wurden jeweils die gleichen Energiepreise zugrunde gelegt.

### 2.3.2. Energieverbräuche und Kosten Wärme / Erdgas

Die Energieverbräuche und Kosten wurden für die Liegenschaften MAK, Museum der Weltkulturen, Filmmuseum, Architekturmuseum sowie Liebighaus anhand der Verbrauchserfassung des Hochbauamtes ermittelt. Für das Museum für Kommunikation konnten ebenfalls Verbrauchsaufzeichnungen zugrunde gelegt werden. Für die Galerie im Städel liegen keine Verbrauchsaufzeichnungen vor. Hier wurde ein Wert von 140 kWh/m<sup>2</sup>.a in Ansatz gebracht.

Aus der nachstehenden Aufstellung wird ersichtlich, dass die flächenbezogenen Verbrauchswerte in den einzelnen Museen sehr unterschiedlich sind.

Es zeigt sich dabei eine Spanne von 92 kWh/m<sup>2</sup>.a (Museum für Kommunikation) bis 359 kWh/m<sup>2</sup>.a (Museum der Weltkulturen).

Als Ursachen für diese prägnanten Unterschiede sind folgende Einflussfaktoren zu sehen:

- Alter und Bauweise (Dämmung, Ausführung der Fenster, A / V-Verhältnis etc.)
- Ausführung der Heizung (Fußbodenheizung, statische Heizflächen, Temperaturniveau)
- Nutzungsanforderungen / Betriebsweise (Betriebszeiten, erforderliche Raumtemperaturen)
- Nutzerverhalten (Raumtemperaturen, Fensterlüftung)
- Regelungseinrichtungen (Nachtabsenkung, witterungsgeführte Regelung)
- Betrieb von Lüftungsanlagen

Bei dem vergleichsweise hohen Energieverbrauch im **Museum der Weltkulturen** muss davon ausgegangen werden, dass dies vornehmlich auf die Bauweise zurückzuführen ist. Die Liegenschaft besteht aus 3 Gebäuden (Kutscherhaus ist separat bewertet), wodurch sich ein relativ hoher Außenflächenanteil ergibt. Der hohe Energieverbrauch weist darauf hin, dass die Dämmwerte von Außenwand und Fenster offensichtlich vergleichsweise niedrig sind. Lüftungsanlagen sind nur in untergeordnetem Umfang installiert.

Der zurzeit diskutierte Umzug des Museum für Weltkulturen in ein anderes Gebäude und die daraus folgende Umnutzung der 4 Gebäude (Häuser 29, 35, 37, Kutscherhaus) wird ggf zu einem veränderten Energiebedarf führen. Aufgrund der Denkmalschutzanforderungen sind Energieverbrauchsreduzierungen jedoch nur in begrenztem Rahmen möglich (Fenster austausch, max. 10 cm Innendämmung).

Für die Betrachtung der Energieversorgungskonzepte wird hinsichtlich des Energiebedarfs von den derzeitigen Verbrauchswerten ausgegangen.

Im **Museum für Kommunikation** wirkt sich aus, dass der wesentliche Teil des Gebäudes (Neubau = BJ. 1988) relativ neu ist und ein günstiges A/V-Verhältnis aufweist. Die Ausstellungsfläche wird per Fußbodenheizung beheizt. Der Anlagenbetrieb incl. Betrieb der Lüftungsanlagen wurde bereits optimiert.

Im **Filmmuseum und Architekturmuseum** (wegen internem Energieverbund gemeinsam bewertet) zeigt sich ein eher moderater Verbrauch, welcher auf einen günstigen Außenflächenanteil zurückzuführen ist. Lüftungsanlagen werden nur in untergeordnetem Maße betrieben.

Das **Museum für Angewandte Kunst** (MAK) wird mit einem hohen Anteil an Lüftungsanlagen betrieben. Hier wurden bereits in einer vorangegangenen Energiestudie Optimierungsmaßnahmen mit einem Einsparpotenzial von ca. 25% aufgezeigt. Die erfassten Energieverbrauchsdaten berücksichtigen dies jedoch noch nicht.

Im **Liebighaus** liegen die Verbrauchswerte relativ hoch, bedingt durch einen hohen Anteil installierter Lüftungsanlagen sowie ungünstige Gebäudegeometrie.

Da für die **Galerie Städel** keine Verbrauchsdaten vorliegen, wurde der Verbrauch anhand von Erfahrungswerten sowie unter Berücksichtigung der installierten Kesselleistung hochgerechnet.

## Wärme / Erdgas (absolut und spez. Je m<sup>2</sup>)

Allgemeine Daten						
Museum	Adresse	Gebäudedaten Architektur [m <sup>2</sup> ] NGF	Wärme-Verbrauch [kWh/a]	Wärme-verbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ,a]	Kosten [EURO/a]	Kosten [EURO/MWh]
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784	Siehe Filmm.	siehe Filmm.	siehe Filmm.	siehe Filmm.
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720	751.440	100	33.147	44,11
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538	1.869.448	196	84.102	44,99
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387	771.064	92	42.409	55,00
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 29-37	1.286	462.103	359	24.509	53,04
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	66.902	222	3.140	46,93
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082	893.780	290	35.267	39
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764	1.926.960	140	86.713	45
<b>Gesamt</b>		<b>43863</b>	<b>6.741.697</b>	<b>154</b>	<b>309287</b>	<b>45,88</b>

Tabelle 6: Verbräuche Wärme/Erdgas (jeweils 3-Jahres Mittelwert von 2004/2005/2006)

## Vergleich gemessene Leistungen / Installierte Leistungen

Allgemeine Daten			Gemessene Leistungen		Installierte Wärme-Leistungen	
Museum	Adresse	[m <sup>2</sup> ] NGF	Wärme-Leistung [kW] (Maximum)	Wärme-Leistung [W/m <sup>2</sup> ] (Maximum)	Leistung [kW] Wärmeerzeuger	Baujahr
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784	Siehe Filmm.	siehe Filmm.	siehe Filmm.	
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720	386	51	420	1983
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538	653	68	1.162	1983
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387	410	49	797	1988
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 35 (37,29)	1.286	300	233	260	1994
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	48	159	48	1994
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082	285	93	570	1990
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764	803	58	803	2005
<b>Gesamt</b>		<b>43.863</b>	<b>2.885</b>	<b>66</b>	<b>4.060</b>	

Tabelle 7: Vergleich gemessene/ Installierte Leistungenn (jeweils 3-Jahres Mittelwert von 2004/2005/2006)

Aus vorstehender Tabelle sowie aus der nachfolgenden Grafik geht hervor, daß insbesondere in den Liegenschaften MAK, Museum für Kommunikation sowie Liebighaus jeweils eine deutlich höhere Kesselleistung installiert ist, als erforderlich.

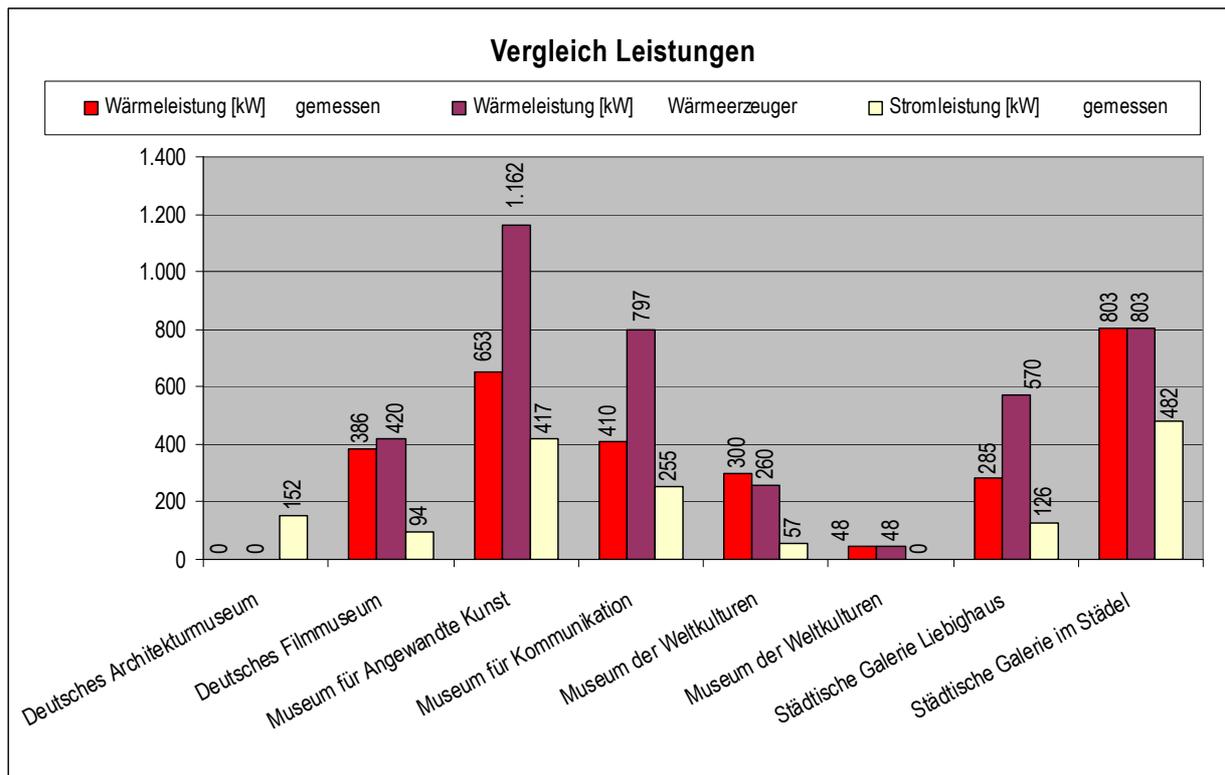


Abbildung 19: Diagramm, Vergleich der Leistungen

### 2.3.3. Stromverbrauch und Kosten

Stromverbrauch (absolut und spez. Je m<sup>2</sup>)

Allgemeine Daten						
Museum	Adresse	Gebäudedaten Architektur m <sup>2</sup> NGF	Strom-Verbrauch [kWh/a] (3-Jahresdurchschnitt)	Strom-verbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ,a]	Kosten [EURO/a]	Kosten [EURO/MWh]
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784	siehe Filmm.	siehe Filmm.		
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720	562.960	75	72.806	129,33
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538	1.704.123	179	191.446	112,34
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387	922.550	110	115.319	125,00
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 35 (37,29)	1.286	123.456	96	20.642	167,20
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	7.475	25	1.312	175,52
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082	472.573	153	55.808	118,09
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764	1.734.567	126	196.006	113
<b>Gesamt</b>		<b>43.863</b>	<b>5.527.704</b>	<b>126</b>	<b>653.338</b>	<b>118</b>

Tabelle 8: Stromverbrauch (3-Jahres Durchschnittswerte)

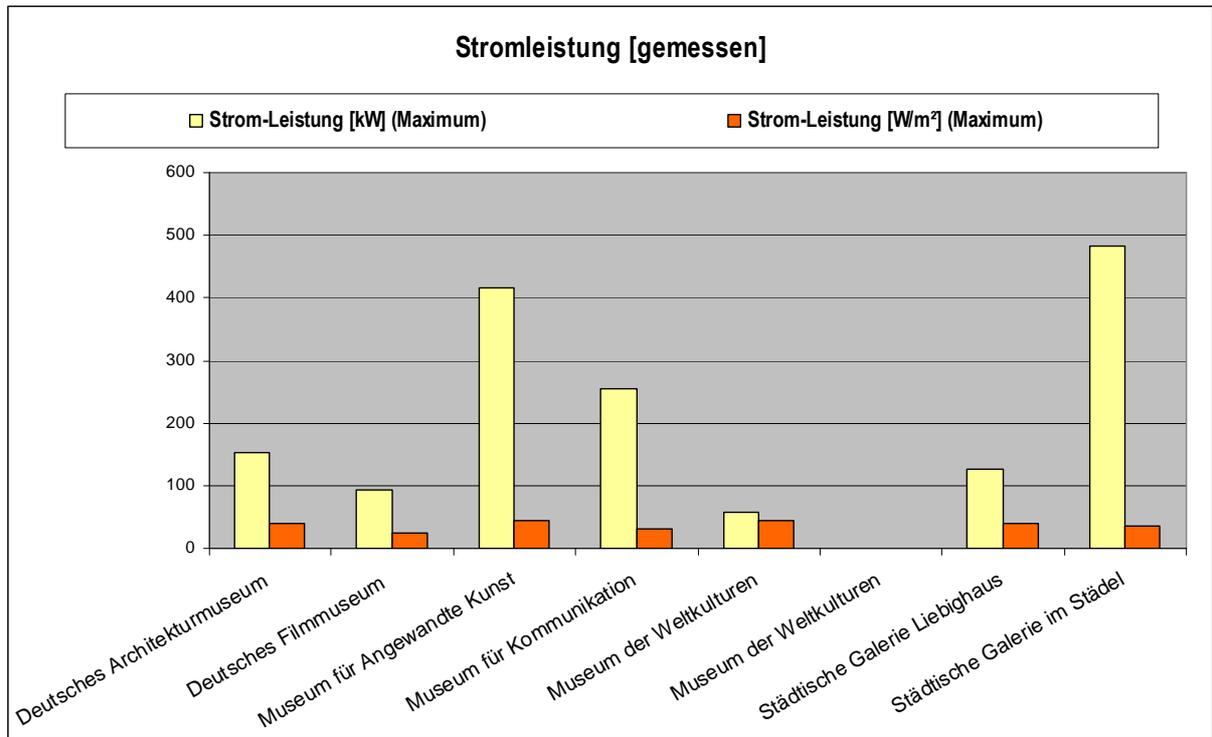


Abbildung 20: Diagramm gemessene Stromleistung

## 2.4 Stammdaten der Technischen Gebäudeausrüstung

### 2.4.1. Installierte Wärme- und Kälte-Leistungen

Allgemeine Daten						
Museum	Adresse	Gebäudedaten Architektur [m²] NGF	Leistung [kW] Wärmeerzeuger	Baujahr	Leistung [kW] Kälteerzeuger	Baujahr
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784	siehe Filmm.			
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720	420	1983	18	1984
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538	1.162	1983	490	1984
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387	797	1988	415	1988 / 2006
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 35 (37,29)	1.286	260	1994		
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	48	1994		
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082	570	1990	158	2006
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764	803	2005	206	1988
<b>Gesamt</b>		<b>43.863</b>	<b>4.060</b>		<b>1.287</b>	

Tabelle 9: Installierte Wärme- und Kälteleistungen

Die installierten Kesselleistungen sind in einigen Liegenschaften deutlich höher als der tatsächliche Leistungsbedarf.

Die Anlagen wurden jeweils vor Ort besichtigt. In mehreren Fällen ist ein Austausch der Kesselanlagen dringend erforderlich.

Dies betrifft insbesondere die Liegenschaften MAK und Filmmuseum.

Der Austausch der sanierungsbedürftigen Kesselanlagen kann unabhängig von der Umsetzung eines Gesamt-Versorgungskonzeptes erfolgen. Die Kesselanlagen würden in diesem Fall als Spitzenlastkessel integriert werden.

Die installierten Kälteleistungen sind analog zu den Wärmeleistungen vorstehender Tabelle erfasst.

Da für die betrachteten Liegenschaften das Kühlwasser vornehmlich für Lüftungsanlagen mit Entfeuchtungsfunktion benötigt wird, wäre eine Kaltwassertemperatur von  $<10^{\circ}\text{C}$  erforderlich. Die Verfügbarkeit müsste über einen sehr langen Zeitraum bis in die Übergangszeit, ggf sogar ganzjährig gewährleistet werden. Dadurch würden relativ hohe Energieverluste über die Fernleitung entstehen. Aus der vorstehenden Tabelle geht hervor, daß hauptsächlich im MAK und im Museum für Kommunikation Kältebedarf besteht. Hier wäre eine unverhältnismäßig lange Fernleitung zu verlegen, die zu den angesprochenen Verteilverlusten führen würde.

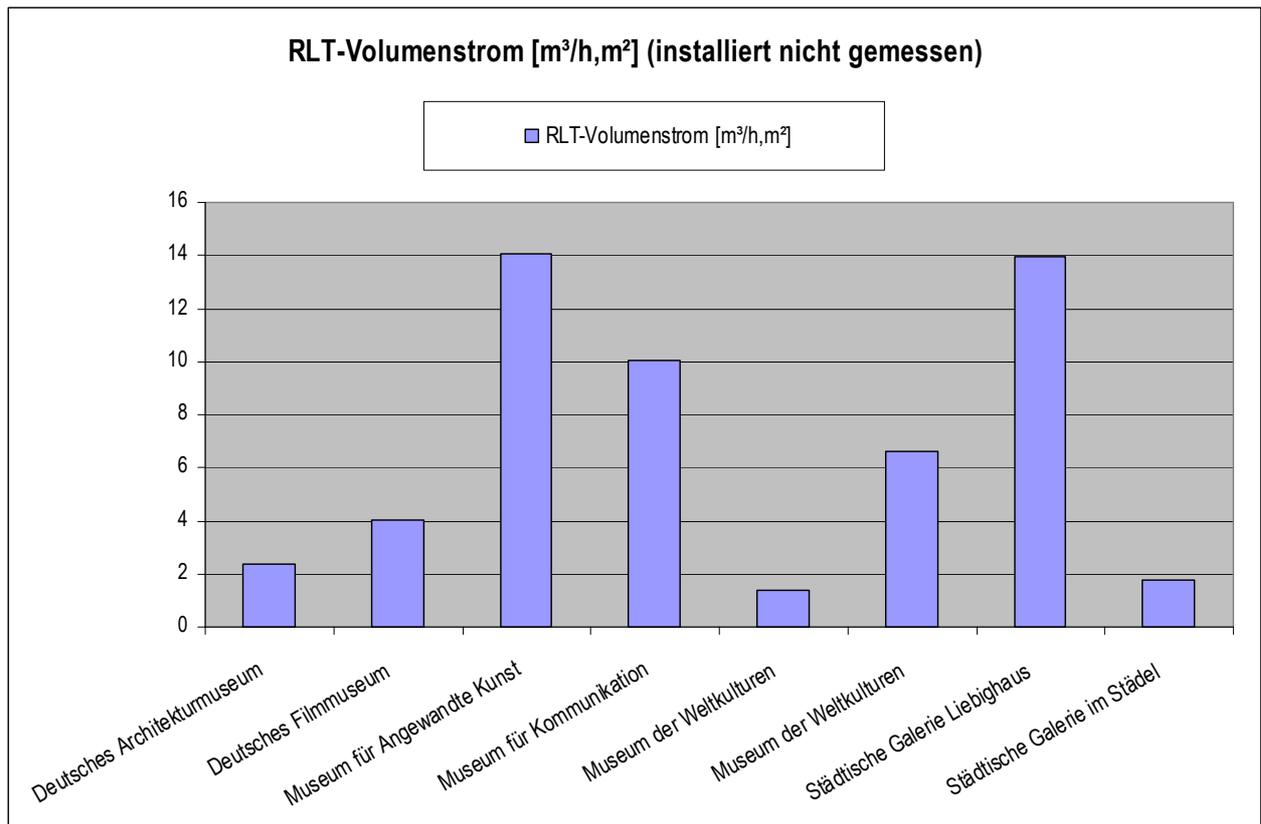
Ferner wurde im Museum für Kommunikation erst in 2006 eine neue Wärmepumpenanlage eingebaut, die ca. 50% des Kühlwasserbedarfs abdeckt.

Eine zentrale Kälteversorgung erweist sich daher nicht als sinnvoll. Hier sollten dezentral energieeffiziente Anlagen, z.B. als Wärmepumpenanlagen oder Anlagen mit freier Kühlung eingesetzt werden.

#### 2.4.2. Installierte RLT-Leistungen

Allgemeine Daten				
Museum	Adresse	Gebäudedaten Architektur [m <sup>2</sup> ] NGF	RLT-Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	RLT-Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h,m <sup>2</sup> ]
Deutsches Architekturmuseum	Schaumainkai 43	3.784	9.000	2
Deutsches Filmmuseum	Schaumainkai 41	3.720	15.000	4
Museum für Angewandte Kunst	Schaumainkai 17	9.538	134.000	14
Museum für Kommunikation	Schaumainkai 53	8.387	84.250	10
Museum der Weltkulturen	Schaumainkai 35 (37,29)	1.286	1.800	1
Museum der Weltkulturen	Metzlerstraße (Kutscherhaus)	302	2.000	7
Städtische Galerie Liebighaus	Schaumainkai 71	3.082	43.000	14
Städtische Galerie im Städel	Dürerstraße 2	13.764	24.000	2
<b>Gesamt</b>		<b>43.863</b>	<b>313.050</b>	<b>7</b>

Tabelle 10: Installierte RLT-Leistungen



**Abbildung 21: Diagramm; Installierter RLT Volumenstrom**

Die vorstehende Tabelle sowie die zugehörige Grafik zeigt die unterschiedlichen Ausstattungen der einzelnen Liegenschaften mit mechanischen Lüftungsanlagen.

Die Feststellung, daß in einigen Liegenschaften deutlich höhere Kesselleistungen installiert sind, als durch den tatsächlichen Verbrauch festgestellt wird, weist auf einen reduzierten Lüftungsbetrieb hin.

Im MAK wurde bei der Ortsbegehung anhand der Betriebsstundenzähler, welche nach Stufe 1 und 2 getrennt sind, festgestellt, daß die Lüftungsanlagen überwiegend in Stufe 1 betrieben wurden.

Ferner werden die Lüftungsanlagen mit minimalem Außenluftanteil betrieben. Eine darüber hinausgehende Energieeinsparung wäre zwar durch den Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen möglich, ist jedoch aufgrund der Randbedingungen (Einbausituation der Lüftungsanlagen) nicht wirtschaftlich umsetzbar. Für die Bemessung der Gesamtleistung der Wärmeerzeuger wird daher von keiner weiteren Bedarfsverminderung im MAK ausgegangen.

Im Liebighaus belegen die Energieverbrauchszahlen, dass ein erhöhter Lüftungsbetrieb erfolgt. Die Lüftungsanlagen sind nur mit Umluft ausgeführt, jedoch nicht mit Wärmerückgewinnungsanlagen.

Im Museum für Kommunikation werden die Lüftungsanlagen Personenbezogen reduziert betrieben.

Für die Liegenschaften Städel, Filmmuseum, Architekturmuseum und Museum der Weltkulturen spielt der Energiebedarf für die Lüftungsanlagen nur eine untergeordnete Rolle.

In den Liegenschaften MAK und Liebighaus existiert, was die Lüftungstechnik betrifft, noch erhebliches Energieeinsparpotential.

Für die Bemessung des Gesamt-Wärmebedarfs für die einzelnen Versorgungsvarianten wird davon ausgegangen, dass zunächst die Einsparpotentiale, wie vor beschrieben, genutzt werden.

### 3. Lastkurven und Profile, Ist-Zustand

#### 3.1. Darstellung Lastkurven und Profile

Für die Liegenschaften MAK, Museum d. Weltkulturen, Filmmuseum und Liebighaus liegen jeweils Aufzeichnungen der Energieverbräuche mit Lastprofilen, Jahresdauerlinien und Energiesignatur vor. Beispielhaft werden diese nachfolgend für das MAK dargestellt:

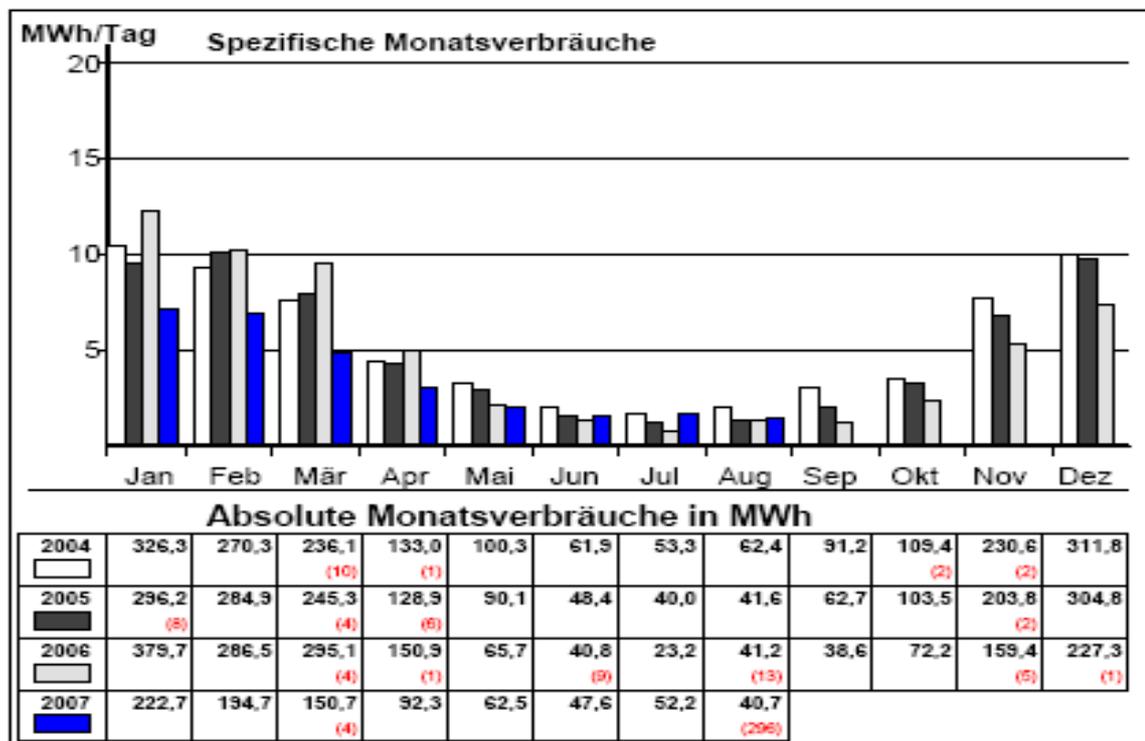


Abbildung 22: Lastprofil MAK für Monatsverbräuche Jan.2004 bis Aug.2007

## Vergleich Monatsverbräuche über Gradtage / gemessener Verbrauch



Monat		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Verbrauch gemessen	[kWh]	379.700	286.500	295.100	150.900	65.700	40.800	23.200	41.200	38.600	72.200	159.400	227.300
Leistung durschn/Monat	[kW]	510	426	397	210	88	57	31	55	54	97	221	306
Verbrauch lt Gradtage	[kWh]	361.676	293.082	285.145	163.831	60.090	30.045	0	26.077	0	91.836	199.545	269.273
Leistung durschn/Monat Gradtage	[kW]	486	436	383	228	81	42	0	35	0	123	277	362
		638,0	517,0	503,0	289,0	106,0	53,0	0,0	46,0	0,0	162,0	352,0	475,0

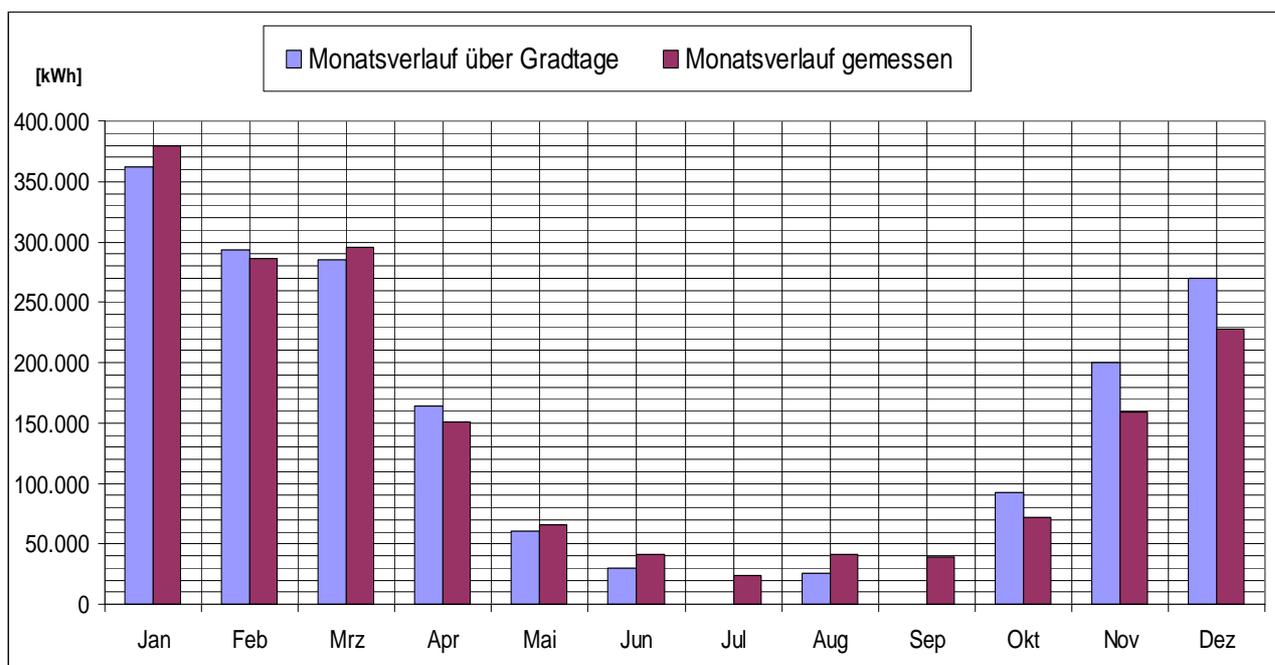


Abbildung 23: Vergleich von Monatsverbrauch 2006 im MAK: Werte über Gradtage ermittelt / gemessene Werte



## Wärme - Leistung (Jahresübersicht 2006)

Schaummainkai 17, Museum für Angewandte Kunst, H1 Gas

Leistungsart: 1 Stunde

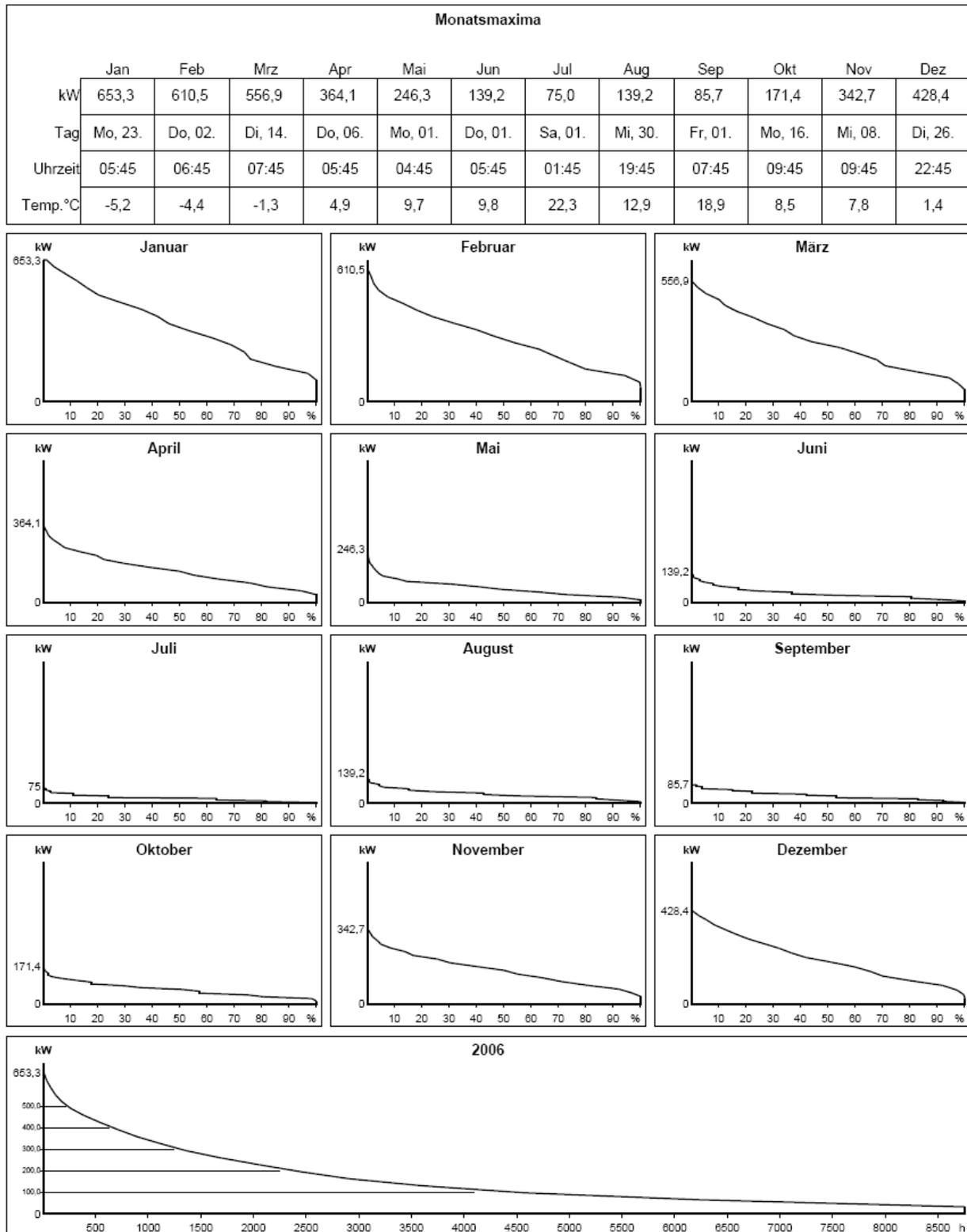


Abbildung 24: Monatsweise Darstellung der Energieverbräuche im MAK für 2006 sowie Jahresdauerlinie 2006

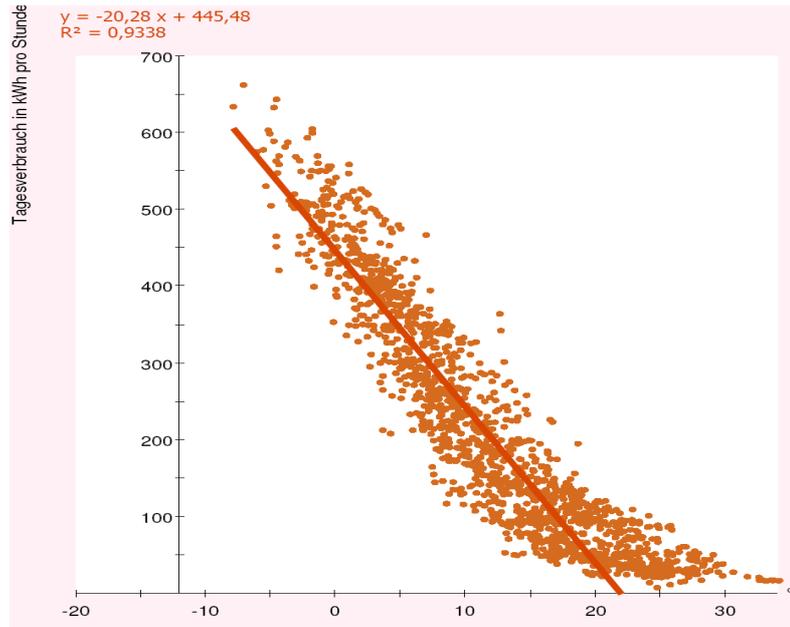


Abbildung 25: Energiesignatur Gasverbrauch, Darstellung von Tagesverbrauchswerten über der Außentemperatur aufgetragen

Jahresdauerlinie Museum für Angewandte Kunst



Monat		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Spitzenleistung	
Verbrauch gesamt Gas	[kWh]	310.333	269.976	227.306	160.489	71.630	28.469	4.277	6.635	62.292	170.870	251.143	306.028	gemessen	1.869.448
Tage/Monat	[d]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	addiert	8.760
Stunden/Monat	[h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744		
Leistung/Monat	[kW]	417	402	306	223	96	40	6	9	87	230	349	411	653	
Stunden kumuliert	[h]	744	2.160	3.624	5.088	5.832	7.272	8.760	8.016	6.552	4.368	2.880	1.488		
Gradtage		550,1	478,5	402,9	284,5	127,0	50,5	7,6	11,8	110,4	302,9	445,1	542,4		3.313,5

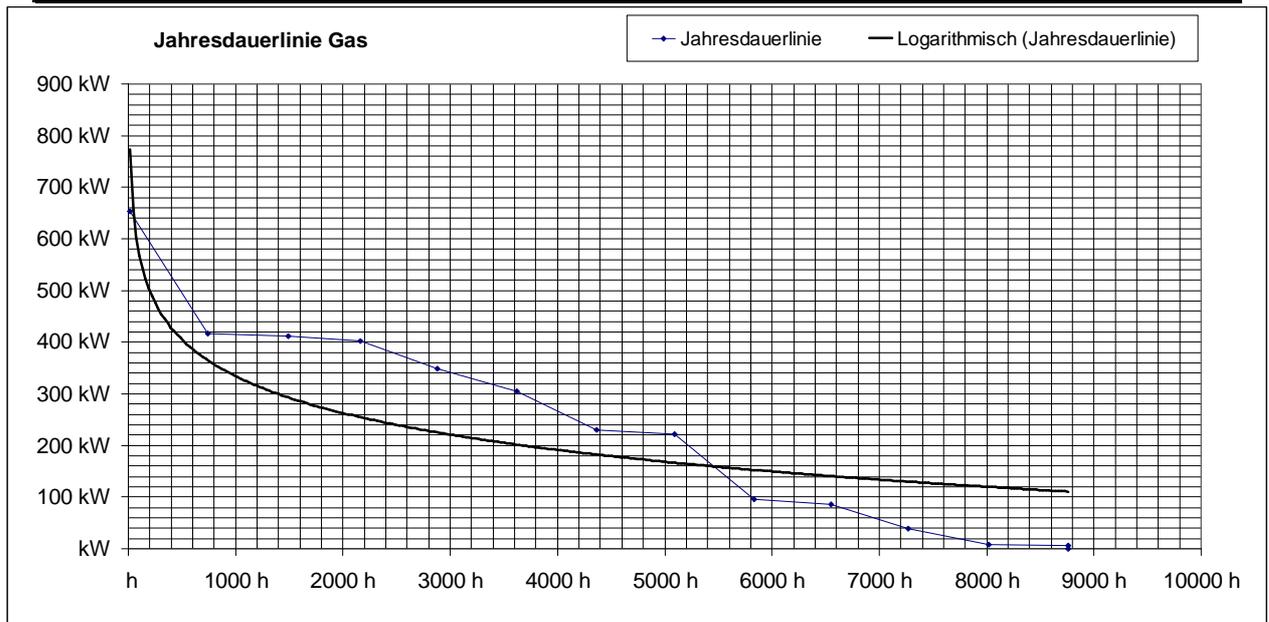


Abbildung 26: Jahresdauerlinie MAK mit Darstellung der logarithmischen Dauerlinie

### 3.2. Erläuterung Lastkurven und Profile

#### Lastprofile

Lastprofile zeigen die spezifischen Verbräuche pro definiertem Zeitraum auf. Im vorstehenden Schaubild sind für MAK die durchschnittlichen Tagesverbräuche sowie die Monatsverbräuche jeweils für die Jahre 2004, 2005, 2006 und 2007 (bis Aug.) dargestellt.

Das Schaubild zeigt deutlich die Einflüsse von kalten bzw weniger kalten Monaten oder Jahren.

Ferner ist ersichtlich, dass in 2006 im Vergleich zu den anderen Jahren der höchste Monatsverbrauch zu verzeichnen war, während der Gesamtverbrauch eher durchschnittlich war.

In der zweiten Darstellung sind die gemessenen Monatsverbräuche des MAK den Werten gemäß der Verteilung über Gradtage gegenübergestellt. Die Gradtage sind statistisch ermittelte Durchschnittswerte, in diesem Fall für Frankfurt für das Jahr 2006.

#### Diagramme Wärme-Leistung

In den Monatsdauerlinien sind die jeweiligen Spitzenverbräuche und Teillastverbräuche monatsweise aufgeführt. Es ist dabei deutlich zu erkennen, dass selbst in den Wintermonaten die Verbrauchswerte nur selten im Bereich des Maximalwertes liegen.

Unter den Monatswerten sind die Verbräuche als Jahresdauerlinie zusammengefasst dargestellt.

#### Jahresdauerlinien

In Jahresdauerlinien wird die erforderliche Wärmeleistung des Systems nach ihrer Größe geordnet und graphisch aufgetragen. So kann abgelesen werden, in wie vielen Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung erforderlich ist. Dabei ist die Fläche unterhalb der Kurve ein Maß für die jährliche Energiemenge.

Aus der Jahresdauerlinie des MAK ist u.a. ersichtlich, dass an ca. 4.500 Stunden im Jahr ein Leistungsbedarf von mindestens 100 kW (bei maximal erforderlicher Spitzenleistung von 650 kW) besteht.

Der Kurvenverlauf macht deutlich, dass die maximale Leistung, auf die das System ausgelegt ist, nur in wenigen Stunden im Jahr benötigt wird.

Anhand des Maximalwertes der Jahresdauerlinie ist feststellbar, ob die installierte Anlagenleistung dem Wärmebedarf angepasst ist oder ob eine Unter oder Überdimensionierung (wie im Fall MAK gegeben) vorliegt.

In der zweiten Jahresdauerlinie (Darstellung EWT) sind jeweils die durchschnittlichen Monatsverbräuche anhand des Gesamt-Jahresverbrauchs und anhand der Gradtagzahlen für Frankfurt aufgeführt. Über die statistisch ermittelten Gradtagzahlen lässt sich der Jahresverlauf darstellen, ohne die einzelnen Monatsverbräuche zu kennen.

Die Jahresdauerlinie wird insbesondere zur Anlagendimensionierung herangezogen. Sie erlaubt eine hinreichend gute Bewertung von Grundlast-, Mittellast und Spitzenlastbedarf.

#### Energiesignatur

Darstellung der Energieverbrauchswerte (z.B. Tagesverbrauch) mit Zuordnung von Außentemperatur und Wärmeleistung (beide Werte jeweils durchschnittlich und auf einen Tag bezogen).

Die Grafik zeigt eine Streuung der Werte von z.T. über 100 %. So liegen die Wärmeleistungen bei einer Außentemperatur von 5°C zwischen 250 und 500 kW. Dies ist auf die unterschiedlichen jeweiligen Bedingungen wie z.B. Lüftungsbetrieb, solare Wärmegewinne, Nutzerverhalten, Windverhältnisse, Nachtabsenkbetrieb etc zurückzuführen.

Anhand der Energiesignatur, bei der hinreichend kleine Messzeiträume (1/4 Stunde) erfasst werden, lässt sich die maximal erzeugte Leistung ableiten. Zur Bemessung der erforderlichen Gesamtleistung sind jedoch nicht die erfassten Spitzenwerte relevant. Es müssen hierbei die Speichereffekte von den Gebäuden und den Anlagen berücksichtigt werden.



### Standort Heizzentrale

Als Standort für eine zentrale Wärmeversorgung wurde vorrangig die Möglichkeit der Nutzung vorhandener Räumlichkeiten untersucht. Ein (oberirdischer) Heizzentralen-Neubau ist architektonisch extrem schwierig umsetzbar, zumal kaum Flächen dafür verfügbar sind.

Die vorhandene Heizzentrale im MAK verfügt über ausreichende Platzreserven, um dort die zentrale Versorgungstechnik unter zu bringen. Die Heizzentralen aller anderen Liegenschaften sind hingegen nicht groß genug für die Unterbringung zentraler Versorgungsanlagen. Daher wurde jeweils das MAK als Standort für die zentrale Versorgungstechnik betrachtet.

Für die Varianten mit Holzhackschnitzel-Heizanlagen (Varianten 1, 3, 4) wäre grundsätzlich ebenfalls die Nutzung vorhandener Räumlichkeiten im MAK möglich. Als Brennstofflager könnte ein vorhandener Lagerraum im UG genutzt werden. Zur Brennstoffbeschickung wäre allerdings eine relativ aufwendige Fördereinrichtung erforderlich. Daher wurden im Vergleich dazu die Kosten für eine unterirdische Bunker-Anlage mit Heizzentrale bewertet. Der Neubau eines unterirdischen Bunkers mit Heizzentrale erweist sich insbesondere unter Betrachtung der Brennstofflogistik als die praktikablere Lösung.

### Versorgungsnetz (Trasse, Hausanschlüsse, Tiefbau, Übergabestationen)

Für die Verlegung eines Versorgungsnetzes wurde die Trasse zwischen MAK und Museum der Weltkulturen in den Grünflächen des Parks vorgesehen. Im Bereich Museum der Weltkulturen (Haus Nr 37) würde die Trasse unter dem „Schaumainkai“ durchgeführt und entlang des Mainufers (Uferpromenade) verlegt werden.

Eine Verlegung der Fernleitung in der Straße „Schaumainkai“ würde in Folge von

- hohen Kosten für die Wiederherstellung der Straßenoberflächen,
- Gebühren für Verlegung in der Straße (100% Zuschlag für Straßen, die neuer als 5 Jahre sind)
- Kosten für Straßensperrungen und Verkehrsumleitungen,
- hohem Aufwand wegen der Vielzahl vorhandener Versorgungsleitungen zu deutlich höheren Kosten führen als die Trasse entlang der Uferpromenade.

Unter Zugrundelegen von ca. 600,00 €/je Trassenmeter für die Verlegung in der Straße Schaumainkai würden sich Mehrkosten von ca. 120.000,00 € gegenüber der Verlegung an der Uferpromenade ergeben. Aufgrund dieser eindeutigen Tendenz wurde eine Verlegung der Trasse in der Schaumainkai-Straße nicht weiter verfolgt.

Für die betrachtete Fernleitungsverlegung wurde jeweils die Unterquerung der Schaumainkai-Straße mittels Spülbohrverfahren kalkuliert. Dadurch würden die Einflüsse auf den Straßenverkehr minimiert. Ferner müsste nicht die neu erstellte Straßenoberfläche aufgebrochen werden.

Kosten (Investitionen, Betriebskosten, Vollkosten) und Umweltauswirkungen der beschriebenen Varianten sind in nachfolgendem Kapitel „Kostenschätzung/Herstellkosten“ dargestellt.

## Variante- 2: Insellösung



Abbildung 28: Variante 2 - Insellösung

Bei dieser Variante wurde die Aufteilung in 3 Teilbereiche betrachtet:

- 1) MAK + Museum für Weltkulturen (Versorgung vom MAK)
- 2) Architekturmuseum, Filmmuseum, Museum für Kommunikation (Versorgung vom Mus. f. Kommunikation)
- 3) Städel + Liebighaus (Versorgung vom Städel)

Nach erster Betrachtung dieser Variante offenbarte sich, dass kein wesentlicher energetischer Vorteil gegenüber der dezentralen Energieerzeugung (Variante-5) zu erwarten ist, während jedoch deutlich höhere Herstellkosten (Fernleitungsnetz) entstehen würden. Die Variante-2 wurde daher nicht weiter verfolgt.

## Variante- 3: Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK



Abbildung 29: Variante 3 – Dezentrale Lösung

Diese Variante sieht die Versorgung des Museum der Weltkulturen + Kutscherhaus über die zentrale Heizungsanlage des MAK vor. Es wird dazu eine Fernleitung im Park zwischen MAK und Museum der Weltkulturen verlegt.

Die Liegenschaften Architekturmuseum+Filmmuseum, Museum für Kommunikation, Städel sowie Liebighaus werden jeweils dezentral mit vorhandenen (bzw. mit zu erneuernden) Gas-Brennwertkesselanlagen versorgt.



## Standort Heizzentrale

Analog zu Variante 1 Aufstellung der Hackschnitzanlage in unterirdischer Heizzentrale.

## Versorgungsnetz (Trasse, Hausanschlüsse, Tiefbau, Übergabestationen)

Die Verlegung des Versorgungsnetzes erfolgt analog zu Variante-1 zwischen MAK und Museum der Weltkulturen in den Grünflächen des Parks, weiterführend unter dem „Schaumainkai“ durchgeführt und entlang des Mainufers (Uferpromenade) verlegt, Anschlüsse für Filmmuseum, Architekturmuseum und Museum für Kommunikation.

## Variante- 5, Dezentrale Wärme-Versorgung

Variante-5 beinhaltet die derzeit vorhandene Anlagenkonstellation mit dezentralen Gas-Brennwertkesselanlagen.

Eine grafische Darstellung wurde daher nicht erstellt.

## 4.2. Kostenschätzung, Herstellkosten

### 4.2.1. Erläuterung zur Kostenermittlung

Die Herstellkosten für die 5 betrachteten Varianten wurden als Kostenschätzung erstellt. Es erfolgte dabei jeweils eine Untergliederung in unterschiedliche Kostenarten:

- Leistungen TGA (Heiztechnik, Fernwärmerohrleitungen etc.)
- Bauliche Leistungen (Fernleitungsgräben, Heizzentrale etc.)
- Fördermittel (für regenerative Energien, Fernleitungsnetz)
- Nebenkosten (Planungskosten, Genehmigungskosten etc.)

Zur Kostenschätzung wurden jeweils mittlere Preisansätze kalkuliert. Es kann dabei von einer Abweichung von +/- 10% ausgegangen werden.

Bei den kalkulierten Fördermitteln wurden z.T. Annahmen getroffen. Hierbei können kurzfristige Änderungen nicht ausgeschlossen werden.

### 4.2.2. Gesamtaufstellung Herstellkosten

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 3-a	Variante 4	Variante 5
	Zentrale Lösung	Inselfösung	Dezentrale Lösung+ Verbund MAK+MVK	wie Variante 3, jedoch BHKW anst HHS-Anlage	Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus	Dezentrale Lösung
<b>Leistungen TGA</b>	<b>761.620,00 €</b>		<b>397.800,00 €</b>	<b>322.100,00 €</b>	<b>601.645,00 €</b>	<b>206.440,00 €</b>
Fernleitung	156.175,00 €		22.250,00 €	22.250,00 €	92.275,00 €	0,00 €
Sonstige Leistungen Fernleitungen	11.000,00 €	nicht ausgewertet, da wirtschaftlich nicht sinnvoll darstellbar	3.000,00 €	3.000,00 €	11.000,00 €	0,00 €
Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen	299.100,00 €		195.000,00 €	113.000,00 €	273.000,00 €	0,00 €
Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen	146.290,00 €		126.140,00 €	132.440,00 €	124.140,00 €	168.440,00 €
Wärmeverteilung mit Zübehör	123.055,00 €		34.410,00 €	34.410,00 €	74.230,00 €	23.000,00 €
Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges	27.000,00 €		17.000,00 €	17.000,00 €	27.000,00 €	15.000,00 €
<b>Bauliche Leistungen</b>	<b>570.300,00 €</b>		<b>263.600,00 €</b>	<b>34.600,00 €</b>	<b>419.900,00 €</b>	<b>0,00 €</b>
Bauliche Arbeiten Fernleitung	245.300,00 €		24.600,00 €	24.600,00 €	139.400,00 €	0,00 €
Bauliche Arbeiten Gebäude	325.000,00 €		239.000,00 €	10.000,00 €	280.500,00 €	0,00 €
<b>Fördermittel</b>	<b>-263.320,00 €</b>		<b>-86.380,00 €</b>	<b>-20.500,00 €</b>	<b>-196.220,00 €</b>	<b>0,00 €</b>
<b>Nebenkosten</b>	<b>258.701,20 €</b>		<b>149.780,00 €</b>	<b>78.706,00 €</b>	<b>212.049,20 €</b>	<b>44.288,00 €</b>
<b>Gesamt, netto</b>	<b>1.327.301,20 €</b>		<b>724.800,00 €</b>	<b>414.906,00 €</b>	<b>1.037.374,20 €</b>	<b>250.728,00 €</b>

Tabelle 11: Gesamtaufstellung Herstellkosten

#### 4.2.3. Herstellkosten der Varianten

Die Kostenaufstellungen aller 5 Varianten sind im Anhang aufgeführt. Exemplarisch wird nachfolgend die Kostenaufstellung für Variante-1 aufgeführt.



#### Variante 1 - Zentrale Lösung

	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Leistungen TGA</b>								<b>761.620,00 €</b>
<b>Bauteil</b>	<b>Erläuterung</b>	<b>Erläuterung</b>	<b>Dimension</b>	<b>Leistung</b>	<b>Menge</b>	<b>EP</b>	<b>GP</b>	
<b>Fernleitung</b>								<b>155.175,00 €</b>
Fernleitung	TS-1 MAK - MdWK		DN 125		1 175 Trm	145,00 €	25.375,00 €	
Fernleitung	Anschluß Kutscherhaus		DN 40		1 20 Trm	95,00 €	1.900,00 €	
Fernleitung	Anschluß MdWK		DN 65		1 10 Trm	110,00 €	1.100,00 €	
Fernleitung	TS-2 MdWK - F+A		DN 100		1 195 Trm	130,00 €	25.350,00 €	
Fernleitung	Anschluß F+A		DN 65		1 55 Trm	110,00 €	6.050,00 €	
Fernleitung	TS-3 F+A - MFk		DN 100		1 140 Trm	130,00 €	18.200,00 €	
Fernleitung	Anschluß MFk		DN 65		1 130 Trm	110,00 €	14.300,00 €	
Fernleitung	TS-4 MFk - Stadel		DN 80		1 295 Trm	120,00 €	35.400,00 €	
Fernleitung	TS-5 Stadel - Liebig		DN 65		1 250 Trm	110,00 €	27.500,00 €	
				Summe	1.270 Trm			
<b>Sonstige Leistungen Fernleitungen</b>								<b>11.000,00 €</b>
Dichtheitskontrollsystem					1 1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Umverlegung Fremdleitungen in Straße					1 1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>299.100,00 €</b>
Hackschnitzel-Kesselanlage	33% von 2350 kW			780 kW	1	145,00 €	113.100,00 €	
Fördereinrichtung, Siloaustragung					1 1	35.000,00 €	35.000,00 €	
Kratzkettenförderer, hydr.Einschub					1 1	45.000,00 €	45.000,00 €	
Entaschungssystem					1 1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Rauchgasentstaubung					1 1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Schaltanlage					1 1	22.000,00 €	22.000,00 €	
Verkabelung und E-Installation					1 1	18.000,00 €	18.000,00 €	
Pufferspeicher					1 1	8.000,00 €	8.000,00 €	
Kaminanlage					1 1	20.000,00 €	20.000,00 €	
Fernleitungspumpen					1 1	8.000,00 €	8.000,00 €	
					1 1		0,00 €	
<b>Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>146.290,00 €</b>
Gaskesselanlage	MAK			900 kW	1	40,00 €	36.000,00 €	
Gaskesselanlage	MAK	Brennwertkessel		670 kW	1	60,00 €	40.200,00 €	
Gaskesselanlage	Film+Arch.Museum	Brennwertkessel		386 kW	1	65,00 €	25.090,00 €	
Schornsteinanierung für Brennwertkessel	MAK				1 1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schornsteinanierung für Brennwertkessel	Film+Arch.Museum				1 1	8.000,00 €	8.000,00 €	
Schaltanlage	MAK				1 1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Schaltanlage	Film+Arch.Museum				1 1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Spitzenkessel-Netzeinbindung	Stadel				1 1	10.000,00 €	10.000,00 €	
					1 1		0,00 €	
							0,00 €	
<b>Wärmeverteilung mit Zubehör</b>								<b>123.055,00 €</b>
Anbindung an Heizungsnetz	MAK			650 kW	1	25,00 €	16.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MdWK			348 kW	1	25,00 €	8.700,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	F+A			386 kW	1	25,00 €	9.650,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MFk			410 kW	1	25,00 €	10.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	Stadel			800 kW	1	20,00 €	16.000,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	Liebighaus			285 kW	1	25,00 €	7.125,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MAK				1 1	1.500,00 €	1.500,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MdWK				1 1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	F+A				1 1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MFk				1 1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	Stadel				1 1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	Liebighaus				1 1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Übergabestation	MdWK			348 kW	1	20,00 €	6.960,00 €	
Übergabestation	F+A			386 kW	1	20,00 €	7.720,00 €	
Übergabestation	MFk			410 kW	1	20,00 €	8.200,00 €	
Übergabestation	Stadel			800 kW	1	20,00 €	16.000,00 €	
Übergabestation	Liebighaus			285 kW	1	20,00 €	5.700,00 €	
<b>Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges</b>								<b>27.000,00 €</b>
Demontagearbeiten					1 1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Provisorien					1 1	15.000,00 €	15.000,00 €	
							0,00 €	

Tabelle 12: Variante 1 – Kosten TGA

<b>Bauliche Leistungen</b>								<b>570.300,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Bauliche Arbeiten Fernleitung</b>								<b>245.300,00 €</b>
Fernleitungsgraben	TS-1 MAK - MdWK	Oberfläche Rasen/Park			1	175 Trm	120,00 €	21.000,00 €
Fernleitungsgraben	Anschluß Kutscherhaus	Oberfläche Rasen/Park			1	20 Trm	120,00 €	2.400,00 €
Fernleitungsgraben	Anschluß MdWK	Oberfläche Rasen/Park			1	10 Trm	120,00 €	1.200,00 €
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Oberfläche Rasen/Park			1	35 Trm	120,00 €	4.200,00 €
Baustelleneinrichtg Rohrspülung	allgemein				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Horizontalbohrung Straße			1	30 Trm	300,00 €	9.000,00 €
Durchbruch Ufermauer	TS-2 MdWK - F+A	Ufermauer Mainufer			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Herstellen Spülgrube	TS-2 MdWK - F+A				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Oberfläche Rasen/Mainufer			1	130 Trm	120,00 €	15.600,00 €
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Horizontalbohrung Straße			1	30 Trm	300,00 €	9.000,00 €
Durchbruch Ufermauer	TS-2 MdWK - F+A	Ufermauer Mainufer			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Herstellen Spülgrube	TS-2 MdWK - F+A				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €
Fernleitungsgraben	Anschluß F'A	Oberfläche Rasen/Park			1	25 Trm	120,00 €	3.000,00 €
Fernleitungsgraben	TS-3 F+A - MfK	Oberfläche Rasen/Mainufer			1	140 Trm	120,00 €	16.800,00 €
Fernleitungsgraben	Anschluß MfK	Oberfläche Straßenbelag			1	60 Trm	250,00 €	15.000,00 €
Fernleitungsgraben	Anschluß MfK	Horizontalbohrung Straße			1	30 Trm	300,00 €	9.000,00 €
Durchbruch Ufermauer	Anschluß MfK	Ufermauer Mainufer			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Herstellen Spülgrube	Anschluß MfK				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €
Fernleitungsgraben	Anschluß MfK	Oberfläche Rasen/Park			1	35 Trm	120,00 €	4.200,00 €
Fernleitungsgraben	TS-4 MfK - Städel	Oberfläche Rasen/Mainufer			1	180 Trm	120,00 €	21.600,00 €
Fernleitungsgraben	TS-4 MfK - Städel	Oberfläche Straßenbelag			1	30 Trm	250,00 €	7.500,00 €
Fernleitungsgraben	TS-4 MfK - Städel	Straßenunterspülung			1	30 Trm	300,00 €	9.000,00 €
Fernleitungsgraben	TS-4 MfK - Städel	Oberfläche Rasen/Park			1	55 Trm	120,00 €	6.600,00 €
Fernleitungsgraben	TS-5 Städel - Liebig	Oberfläche Rasen/Park			1	40 Trm	120,00 €	4.800,00 €
Fernleitungsgraben	TS-5 Städel - Liebig	Oberfläche Straßenbelag			1	195 Trm	280,00 €	54.600,00 €
Fernleitungsgraben	TS-5 Städel - Liebig	Oberfläche Rasen/Park			1	15 Trm	120,00 €	1.800,00 €
								0,00 €
<b>Bauliche Arbeiten Gebäude</b>								<b>325.000,00 €</b>
Herrichtung HHS-Bunker	MAK	unterirdisch			1	250 m³	500,00 €	125.000,00 €
HHS-Technik-Bunker	MAK	unterirdisch			1	150 m³	500,00 €	75.000,00 €
Herstellung der LKW-Zufahrt	MAK				1	450 m²	120,00 €	54.000,00 €
Anpassungsarbeiten Heizzentrale	MAK				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €
Trassenführung im Keller	MAK				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €
Trassenführung im Keller	MdWK				1	1	2.000,00 €	2.000,00 €
Trassenführung im Keller	Film+Arch.Museum				1	1	2.000,00 €	2.000,00 €
Trassenführung im Keller	MfK				1	1	2.000,00 €	2.000,00 €
Trassenführung im Keller	Städel				1	2	2.500,00 €	5.000,00 €
Trassenführung im Keller	Liebighaus				1	1	2.000,00 €	2.000,00 €
Änderungsarbeiten Mülllagerplatz					1	1	12.000,00 €	12.000,00 €
Umbau Fettabscheider					1	1	15.000,00 €	15.000,00 €
Umbau Kanal					1	1	10.000,00 €	10.000,00 €
								0,00 €
<b>Fördermittel</b>								<b>-263.320,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
Fördermittel Hessen	Wärmeerzeugungsanlage			30%	1	299.100,00 €	89.730,00 €	
Fördermittel Hessen	bauliche Anlagen			30%	1	245.300,00 €	73.590,00 €	
						Summe	163.320,00 €	begrenzt auf 200.000,00€
Fördermittel Hessen	Fernleitungsnetz	(bei > 3,0 MWh/a)			1	1.270 Trm	100,00 €	100.000,00 € begrenzt auf 100.000,00€
Fördermittel Bund	als Teilschuldenerlass im Rahmen der Finanzierung für Wärmeerzeuger und Fernleitungsnetz möglich Deminimis-Regelung ist zu prüfen.							
<b>Nebenkosten</b>								<b>258.701,20 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
TGA-Planung					1	16%	761.620,00 €	121.859,20 €
Planung Bauliche Anlagen					1	14%	570.300,00 €	79.842,00 €
Gebühren für Straßensperrung, Aufbruchgenehmigung etc.					1	1	12.000,00 €	12.000,00 €
Honorar Statik					1	1	15.000,00 €	15.000,00 €
Honorar Bodengutachten					1	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Honorar Netzdokumentation					1	1	10.000,00 €	10.000,00 €
Bauantragsgebühren					1	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Nebenkosten, Sonstiges					1	1	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>Gesamtaufstellung</b>								<b>1.327.301,20 €</b>
							<b>GP</b>	
<b>Leistungen TGA</b>							<b>761.620,00 €</b>	
<b>Bauliche Leistungen</b>							<b>570.300,00 €</b>	
<b>Fördermittel</b>							<b>-263.320,00 €</b>	
<b>Nebenkosten</b>							<b>258.701,20 €</b>	

Tabelle 13: Variante 1 – Bauliche Leistungen, Fördermittel, Nebenkosten

## 5 Lastkurven und Profile Wärmeversorgungsvarianten (Soll-Zustand)

### 5.1. Darstellung Lastkurven und Profile

Nachstehend werden die Jahresdauerlinien für die Varianten 1, 3 (3a) und 4 für die zentralen Wärmeversorgungsanlagen dargestellt. Die Erläuterung dazu folgt in Kapitel 5.2.

### Variante1 - Zentrale Lösung



Monat		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	gesamt
Verbrauch gesamt Gas	[kWh]	1.119.137	973.601	819.724	578.765	258.314	102.666	15.422	23.927	224.641	616.202	905.686	1.103.613	6.741.697
Tage/Monat	[d]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Stunden/Monat	[h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
Leistung/Monat	[kW]	1.504	1.449	1.102	804	347	143	21	32	312	828	1.258	1.483	2.885
Stunden kumuliert	[h]	744	2.160	3.624	5.088	5.832	7.272	8.760	8.016	6.552	4.368	2.880	1.488	
Gradtage		550,1	478,5	402,9	284,5	127,0	50,5	7,6	11,8	110,4	302,9	445,1	542,4	3313,5

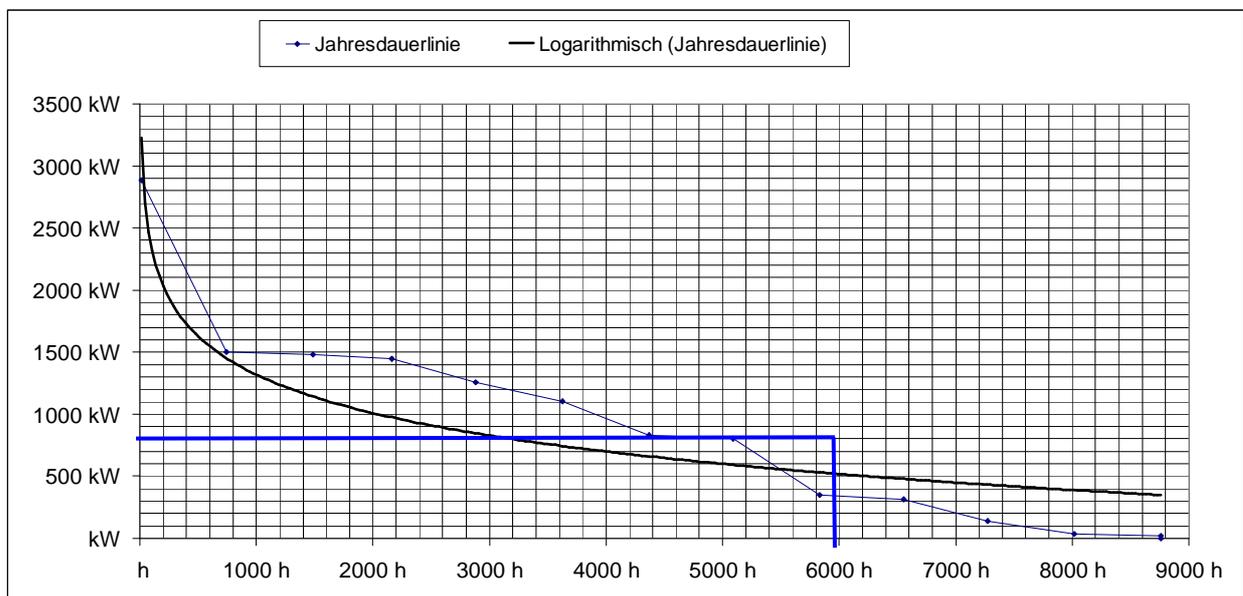


Abbildung 31: Jahresdauerlinie Variante 1

### Variante 3, Museum für Angewandte Kunst und Museum der Weltkulturen



Monat		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	gesamt
Verbrauch gesamt Gas	[kWh]	398.148	346.372	291.628	205.904	91.899	36.525	5.487	8.512	79.919	219.222	322.210	392.626	2.398.453
Tage/Monat	[d]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Stunden/Monat	[h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8.760
Leistung/Monat	[kW]	535	515	392	286	124	51	7	11	111	295	448	528	1.001
Stunden kumuliert	[h]	744	2.160	3.624	5.088	5.832	7.272	8.760	8.016	6.552	4.368	2.880	1.488	
Gradtage		550,1	478,5	402,9	284,5	127,0	50,5	7,6	11,8	110,4	302,9	445,1	542,4	3.313,5

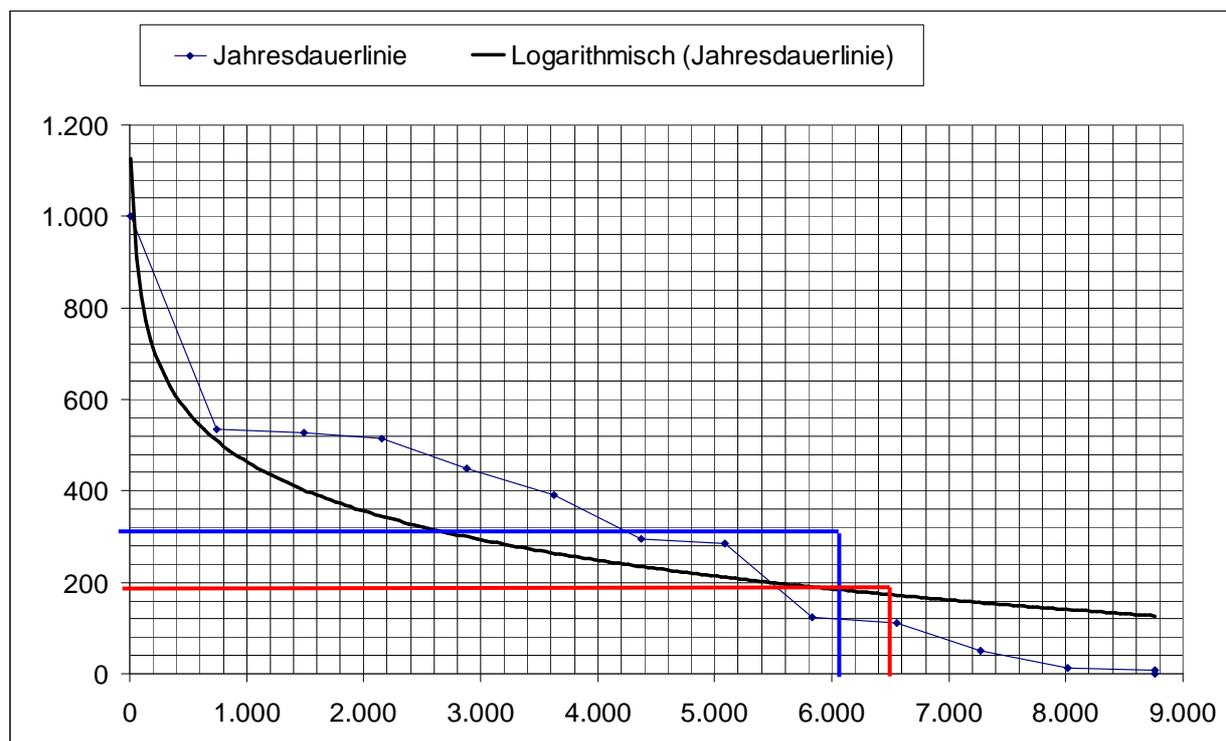


Abbildung 32: Jahresdauerlinie Variante 3

## Variante 4, Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus

Monat		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	gesamt
Verbrauch gesamt Gas	[kWh]	650.887	566.244	476.749	336.608	150.235	59.711	8.970	13.916	130.651	358.382	526.745	641.859	3.920.957
Tage/Monat	[d]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	gemessen
Stunden/Monat	[h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
Leistung/Monat	[kW]	875	843	641	468	202	83	12	19	181	482	732	863	1.797
Stunden kumuliert	[h]	744	2.160	3.624	5.088	5.832	7.272	8.760	8.016	6.552	4.368	2.880	1.488	
Gradtage		550,1	478,5	402,9	284,5	127,0	50,5	7,6	11,8	110,4	302,9	445,1	542,4	3313,5

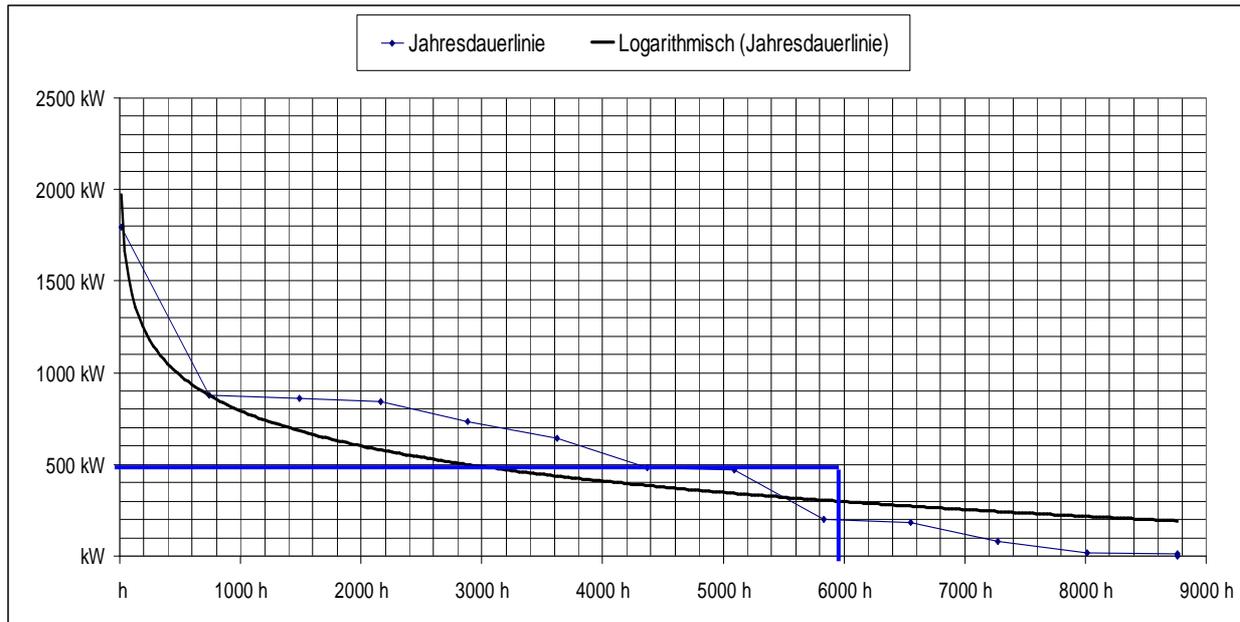


Abbildung 33: Jahresdauerlinie Variante 4

### 5.2. Erläuterung Lastkurven und Profile

Zur Erstellung der Lastkurven für die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten wurden jeweils die Energieverbrauchswerte der angeschlossenen Liegenschaften für die zentralen Wärmeerzeuger aufsummiert. Dies erfolgte unter Berücksichtigung der Jahre 2004 bis 2006.

Die in Erwägung gezogenen Energieeinsparmaßnahmen im MAK wurden nicht in Abzug gebracht; dem entgegen wurden auch nicht die vorgesehene Erweiterungsmaßnahme im Filmmuseum bewertet. Ferner wurde auf den Ansatz eines Gleichzeitigkeitsfaktors verzichtet, da von ähnlichen Nutzungszeiten ausgegangen werden kann.

Der Energiebedarf für das Museum der Weltkulturen wurde unverändert gegenüber den Vorjahren angesetzt, da der geplante Umzug des MdW und die damit ggf verbundene (jedoch geringfügig eingeschätzte) Änderung des Energiebedarfs nicht konkret zu erfassen ist.

Dadurch wird bei allen betrachteten Varianten mit der gleichen Energieverbrauchsmenge sowie mit der gleichen installierten Gesamtleistung gerechnet.

### Variante 1, Zentrale Lösung

In der oben dargestellten Jahresdauerlinie wurde der jährliche Gesamt-Energieaufwand mittels der Gradtagszahlen auf die einzelnen Monate zurückgerechnet. Die im Diagramm aufgezeigte logarithmische Kurve stellt idealisiert den Verlauf der Dauerlinie in kleineren Zeiteinheiten dar.

Die Grundlast-Kesselanlage wurde mit 780 kW ausgewählt, so dass eine Vollast-Laufzeit von ca. 5.000 h/a gegeben ist. Ferner wurden im Modulationsbetrieb 1.600 h mit 50% Leistung veranschlagt, so dass sich insgesamt 5.800 Vollbenutzungsstunden ergeben. Damit ergibt sich für Variante-1 eine Energiemenge von  $5.800 \text{ h} \times 780 \text{ kW} = 4.524 \text{ MWh/a}$ , die durch die Holzhackschnitzelkesselanlage gedeckt wird. Dies entspricht einem Anteil von ca. 80% am jährlichen Gesamt-Energiebedarf.

### Variante 3, Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK

Analog zu Variante 1 wurden die Verbrauchswerte für die Liegenschaften MAK und Mus.f.Weltkulturen aufaddiert. Es zeigt sich hier eine Grundlast-Kesselleistung von 320 kW mit ebenfalls 5.800 h/a. Auch in diesem Fall wurde ein Anteil von ca 1600 h/a im Modulationsbetrieb veranschlagt. Der Grundlast-Anteil beträgt  $5.800 \text{ h} \times 320 \text{ kW} = 1.856 \text{ MWh/a}$  (ca 77%).

### Variante 3-a, Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK, BHKW-Anlage

Die Gesamtleistung berechnet sich wie für Variante 3. Gemäß Jahresdauerlinie ergibt sich ein Grundlastanteil von 6.500 Vollbenutzungsstunden für das untersuchte BHKW, wobei eine Wärmeleistung von 164 kW und eine elektrische Leistung von 100 kW angesetzt wurde.

Der Anteil für die Wärmeversorgung durch das BHKW beträgt  $6.500 \text{ h} \times 164 \text{ kW} = 1.066 \text{ MWh/a}$  (ca 45%)

### Variante 4, Zentrale Lösung ohne Städel und Liebighaus

Die Grundlast-Kesselanlage wurde mit 500 kW ausgewählt, so dass auch hier, analog zu Variante 1 eine Vollast-Laufzeit von ca. 5.800 h/a gegeben ist. Damit ergibt sich für Variante-4 eine Energiemenge von  $5.800 \text{ h} \times 500 \text{ kW} = 2.900 \text{ MWh/a}$ , die durch die Holzhackschnitzelkesselanlage gedeckt werden würde. Dies entspricht einem Anteil von ca. 74% am jährlichen Gesamtbedarf (ohne Städel und Liebighaus).

### Variante 5, Dezentrale Lösung

Für die dezentrale Lösung wurde keine Jahresdauerlinie erstellt.

## 5.3. Schlussfolgerung

Auf der Grundlage der unter 5.2 erläuterten Wärmelastprofile wurden jeweils die Wärmeerzeugungsanlagen für die untersuchten Varianten dimensioniert.

Für die Varianten mit Hackschnitzel-Kesselanlagen (Var. 1,3,4) wurde jeweils eine Betriebsstundenzahl von 5.800 h/a bewertet. Der Grundlastanteil liegt damit bei 80% (Var.1), 77% (Var.3), 74% (Var.4).

Das jeweilige Verhältnis von Grundlast zur Gesamt-Wärmelast ergibt sich wie folgt:

Variante 1:	780 KW / 2886 kW	= 27%
Variante 3:	320 KW / 1001 kW	= 32%
Variante 4:	600 KW / 1800 kW	= 33%

Es zeigt sich, daß für Variante 1 ein sehr geringes und damit günstiges Verhältnis von Grundlast zu Gesamtlast vorliegt, wobei der Anteil der Jahresheizarbeit mit 80% sogar höher liegt als bei den anderen beiden Varianten mit HHS-Anlage.

Für Variante 3a (mit BHKW) wurde eine Betriebsstundenzahl von 6.500 h/a bewertet. Es ergibt sich damit ein Grundlastanteil von ca. 45%.

## 6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### 6.1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach Gesamtkostenverfahren Hochbauamt FFM

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde nach der Vorlage „Gesamtkostenverfahren“ des Hochbauamts Frankfurt vorgenommen. (siehe Abbildung 8)

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden folgende Grundlagen verwendet:

Bezeichnung	Variante				
	1	3	3a	4	5
Beschreibung	Zentrale Lösung	Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK	Dezentrale Lösung + Verb. MAK+MdWK mit BHKW	Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus	Dezentrale Lösung
<b>Leistung Gesamt</b>	3.946	3.401	3.391	3.581	3.429
HHS-Kessel	780 kW	320 kW		500 kW	
Kessel Brennwert	2266 kW	2266 kW	2266 kW	2266 kW	2614 kW
Kessel NT	900 kW	815 kW	955 kW	815 kW	815 kW
BHKW			170 kW-th		
<b>Investitionskosten</b>					
<b>Summe Investitionskosten gesamt</b>	<b>1.327.301,20 €</b>	<b>724.800,00 €</b>	<b>414.906,00 €</b>	<b>1.037.374,20 €</b>	<b>250.728,00 €</b>
<b>Investitionskosten Technik</b>	<b>604.341,98 €</b>	<b>411.549,20 €</b>	<b>374.660,00 €</b>	<b>517.262,87 €</b>	<b>250.728,00 €</b>
<b>Investitionskosten Bau+ Fernleitungen</b>	<b>722.959,22 €</b>	<b>313.250,80 €</b>	<b>40.246,00 €</b>	<b>520.111,33 €</b>	<b>0,00 €</b>
<b>Verbrauchsdaten, Ist-Zustand</b>					
Energieverbrauch gemessen, gesamt Ho	6.742 MWh/a	6.742 MWh/a	6.742 MWh/a	6.742 MWh/a	6.742 MWh/a
Energieverbrauch gemessen, gesamt Hu	6.068 MWh/a	6.068 MWh/a	6.068 MWh/a	6.068 MWh/a	6.068 MWh/a
Nutzungsgrad vorhandene Kessel (geschätzt)	80%	80%	80%	80%	80%
Endenergie	4.854 MWh/a	4.854 MWh/a	4.854 MWh/a	4.854 MWh/a	4.854 MWh/a
<b>Verbrauchsdaten, Soll-Zustand</b>					
Summe Energieübertragung über Fernleitung	3.909 MWh/a	529 MWh/a	529 MWh/a	2.052 MWh/a	
Verlust Fernleitungen	20%	8%	8%	10%	
Verlustleistung Fernleitungen	782 MWh/a	42 MWh/a	42 MWh/a	205 MWh/a	0 MWh/a
Endenergie (incl Verlust Fernleitung)	<b>5.636 MWh/a</b>	<b>4.896 MWh/a</b>	<b>4.896 MWh/a</b>	<b>5.059 MWh/a</b>	<b>4.854 MWh/a</b>
<b>Summe Leistung HHS-Kessel</b>	780 kW	320 kW		500 kW	
erwartete Laufzeit HHS-Kessel	5800 h/a	5800 h/a		5800 h/a	
Einsatz Primärenergie	4.524 MWh/a	1.856 MWh/a		2.900 MWh/a	0 MWh/a
Nutzungsgrad	85%	85%		85%	85%
Endenergie HHS-Kessel	3.845 MWh/a	1.578 MWh/a		2.465 MWh/a	0 MWh/a
<b>Summe Leistung Brennwertkessel</b>	2266 kW	2266 kW	2266 kW	2266 kW	2614 kW
Einsatz Primärenergie MWh(Hu)/a	1.674 MWh/a	2.512 MWh/a	3.051 MWh/a	1.749 MWh/a	4.128 MWh/a
Nutzungsgrad	95%	95%	95%	95%	95%
Endenergie Brennwertkessel	1.590 MWh/a	2.386 MWh/a	2.898 MWh/a	1.662 MWh/a	3.922 MWh/a
<b>Summe Leistung NT-Kessel</b>	900 kW	815 kW	815 kW	815 kW	815 kW
Einsatz Primärenergie MWh(Hu)/a	244 MWh/a	1.137 MWh/a	1.137 MWh/a	1.137 MWh/a	1.137 MWh/a
Nutzungsgrad	82%	82%	82%	82%	82%
Endenergie NT-Kessel	200 MWh/a	932 MWh/a	932 MWh/a	932 MWh/a	932 MWh/a

Tabelle 14: Aufstellung der Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Teil 1

<b>BHKW</b>					
Leistungsaufnahme (Primärenergie) Hu			284 kW		
erwartete Laufzeit BHKW			6500 h/a		
Einsatz Primärenergie Gas MWh(Hu)/a			1.846 MWh/a		
Einsatz Primärenergie Gas MWh(Ho)/a			2.051 MWh/a		
Wärmeleistung BHKW			164 kW		
Endenergie Wärme, BHKW			1.066 MWh/a		
<b>Stromerlöse BHKW</b>					
el. Leistung BHKW			100 kW		
<b>Stromerlös jährlich</b>			<b>75.378,15 €/a</b>		
Einsatz Primärenergie Holz	4.524 MWh/a	1.856 MWh/a	0 MWh/a	2.900 MWh/a	0 MWh/a
Einsatz Primärenergie Gas (Kessel) MWh(Hu)/a	1.918 MWh/a	3.649 MWh/a	4.188 MWh/a	2.886 MWh/a	5.265 MWh/a
Einsatz Primärenergie Gas (BHKW) MWh(Hu)/a	0 MWh/a	0 MWh/a	1.846 MWh/a	0 MWh/a	0 MWh/a
Einsatz Primärenergie Holz	4.524 MWh/a	1.856 MWh/a	0 MWh/a	2.900 MWh/a	0 MWh/a
Einsatz Primärenergie Gas (Kessel) MWh(Ho)/a	2.131 MWh/a	4.054 MWh/a	4.653 MWh/a	3.207 MWh/a	5.850 MWh/a
Einsatz Primärenergie Gas (BHKW) MWh(Ho)/a	0 MWh/a	0 MWh/a	2.051 MWh/a	0 MWh/a	0 MWh/a
<b>Stromverbrauch Fernwärmepumpe</b>					
Laufzeit jährlich	8760 h/a	8760 h/a	8760 h/a	8760 h/a	
Pumpenleistung	4,0 kW	1,0 kW	1,0 kW	3,0 kW	
Stromverbrauch Fernwärmepumpe	35.040 kWh/a	8.760 kWh/a	8.760 kWh/a	26.280 kWh/a	0 kWh/a
<b>CO2-Bilanz</b>					
CO2 Erdgas	242 kg/MWh	242 kg/MWh	242 kg/MWh	242 kg/MWh	242 kg/MWh
Jahres-Energieverbrauch Erdgas (Kessel)	1.918 MWh/a	3.649 MWh/a	4.188 MWh/a	2.886 MWh/a	5.265 MWh/a
CO2-Ausstoß, jährlich (Kessel)	464 to/a	883 to/a	1013 to/a	698 to/a	1274 to/a
CO2-Reduzierung BHKW	0 to/a	0 to/a	-1138 to/a	0 to/a	0 to/a
<b>CO2-Ausstoß, jährlich</b>	<b>464 to/a</b>	<b>883 to/a</b>	<b>-124 to/a</b>	<b>698 to/a</b>	<b>1274 to/a</b>
CO2-Ausstoß, Reduzierung gegenüber Variante-5	810 to/a	391 to/a	1398 to/a	576 to/a	0 to/a

**Tabelle 15: Aufstellung der Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Teil 2**

## 6.2. Erläuterung Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung stellt einen Vergleich der Varianten unter Berücksichtigung verschiedener Einflussgrößen dar.

Als Ergebnis werden insbesondere die jährlichen Gesamtkosten betrachtet bzw. verglichen.

Die Berechnung wird untergliedert in

- Kapitalkosten
- Betriebskosten
- Umweltfolgekosten

### Kapitalkosten

Hierbei werden die anfallenden Zins- und Tilgungskosten unter Berücksichtigung der jeweils erwarteten Lebensdauer der Anlage errechnet. Bei der vorliegenden Berechnung wurden bauliche Investitionskosten (Fernleitungsnetz, Heizzentrale) mit 30 Jahren, technische Anlagen (Heizkessel, BHKW etc.) mit 20 Jahren bewertet.

### Betriebskosten

Bei der Berechnung der Betriebskosten werden insbesondere die jährlichen Kosten für Energie erfasst. Hierbei werden die Ansätze aus den Jahresdauerlinien für die Betriebsstunden übernommen.

Die eingesetzten Energiepreise stellen einen sehr markanten Einflussfaktor für die Gesamtberechnung dar. Hierzu wurde eine separate Preissteigerungsrate von 5% eingesetzt.

Die allgemeine Preissteigerung wurde mit jährlich 3% bewertet.

Darüber hinaus werden bei den Betriebskosten Wartungs- und Instandhaltungskosten berücksichtigt.

Die Energiepreise für Erdgas wurden gemäß Mainova-Tarif kalkuliert. Danach ergibt sich ein Netto-Preis von 0,056 €/kWh.

Für Holzhackschnitzel (brutto 0,026 €/kWh, netto 0,022 €/kWh) wurden die Preise der nachfolgenden Grafik entnommen.

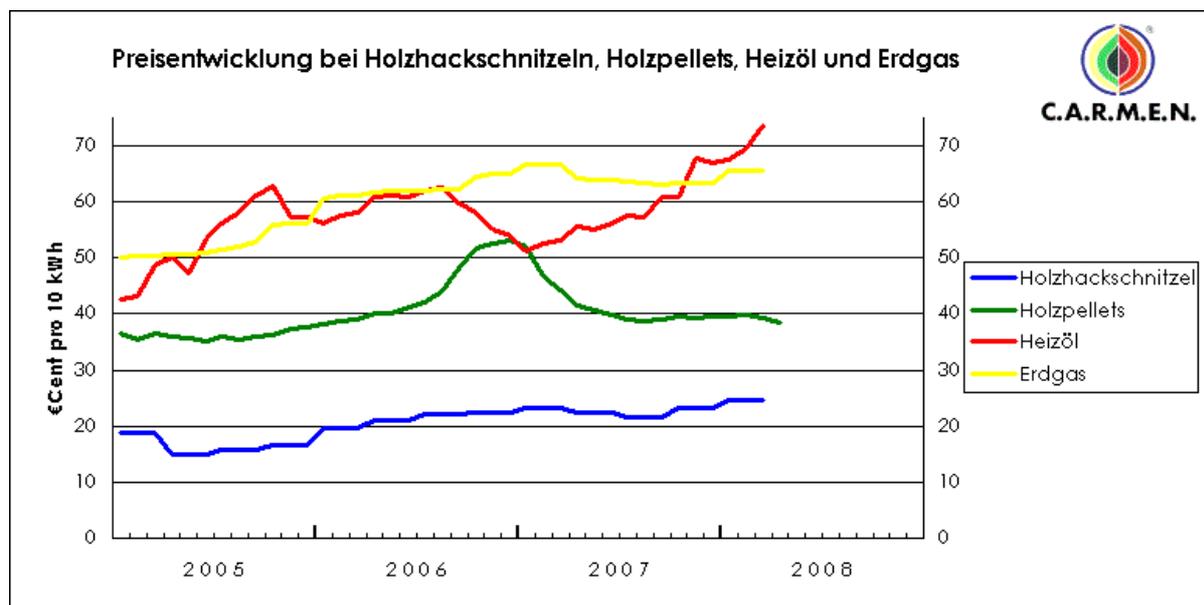


Abbildung 34: Diagramm; Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln, Holzpellets, Heizöl und Erdgas

### Umweltfolgekosten

Als Umweltfolgekosten wird die CO<sub>2</sub> Reduzierung erfasst. Gemäß Vorgabe der Stadt Frankfurt wird ein Kostenansatz von 50,00 € je eingesparter Tonne berücksichtigt.

### 6.3. Energiepreis-Prognosebetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung für die verschiedenen Varianten berücksichtigt, wie vor beschrieben, eine Preissteigerung von 5% für die Energiepreise.

Im vorstehenden Energiepreis-Schaubild (Abb. 34) ist für Erdgas und Hackschnitzel in etwa die gleiche Preissteigerung (ca.30%) zu verzeichnen.

Diese Preissteigerungen werden sich voraussichtlich für die verschiedenen Brennstoffe unterschiedlich entwickeln. Dabei ist zu erwarten, dass die Preissteigerung bei den fossilen Brennstoffen, wie z.B. Erdgas höher sein wird als bei den regenerativen Brennstoffen, wie z.B. Holzhackschnitzel.

Indiz dafür ist die Preisentwicklung bei Erdöl, welche in den vergangenen 3 Jahren eine Teuerung von ca. 75% aufweist.

Jedoch zeigt aber auch eine gleichförmige Preissteigerung für verschiedene Brennstoffe eine unterschiedliche Auswirkung auf die Verbrauchskosten.

Je nach Anlagentechnik und verwendetem Brennstoff stellt sich das gewählte Anlagensystem mehr oder weniger „energiekostenlastig“ bzw. „investitionskostenlastig“ dar.

Bei den Kapitalkosten kann von einem sehr geringen Änderungsmoment ausgegangen werden. Dies kann lediglich aus Zinsänderungen eine Preisveränderung resultieren.

Im Gegensatz zu den Kapitalkosten sind bei den Energiekosten deutlich größere Veränderungen zu erwarten. Diese wirken sich dann umso mehr auf die „energiekostenlastigen“ Systeme aus.

Im nachfolgenden Schaubild (Sensitivitätsanalyse) wird dazu die Preisentwicklung der Gesamt-Wärmekosten in Abhängigkeit der Preissteigerung der Energiekosten aufgezeigt. Dabei wird zunächst davon ausgegangen, daß alle Energieträger (Gas, Hackschnitzel und Strom) in gleichem prozentualem Maß ansteigen. Es zeigt sich, daß für die einzelnen Varianten unterschiedlich starke Preisanstiege ergeben.

Die vorgenommene Vollkostenberechnung (Abbildung 8) berücksichtigt über den Mittelwertfaktor eine Energiepreissteigerung von 60% bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren.

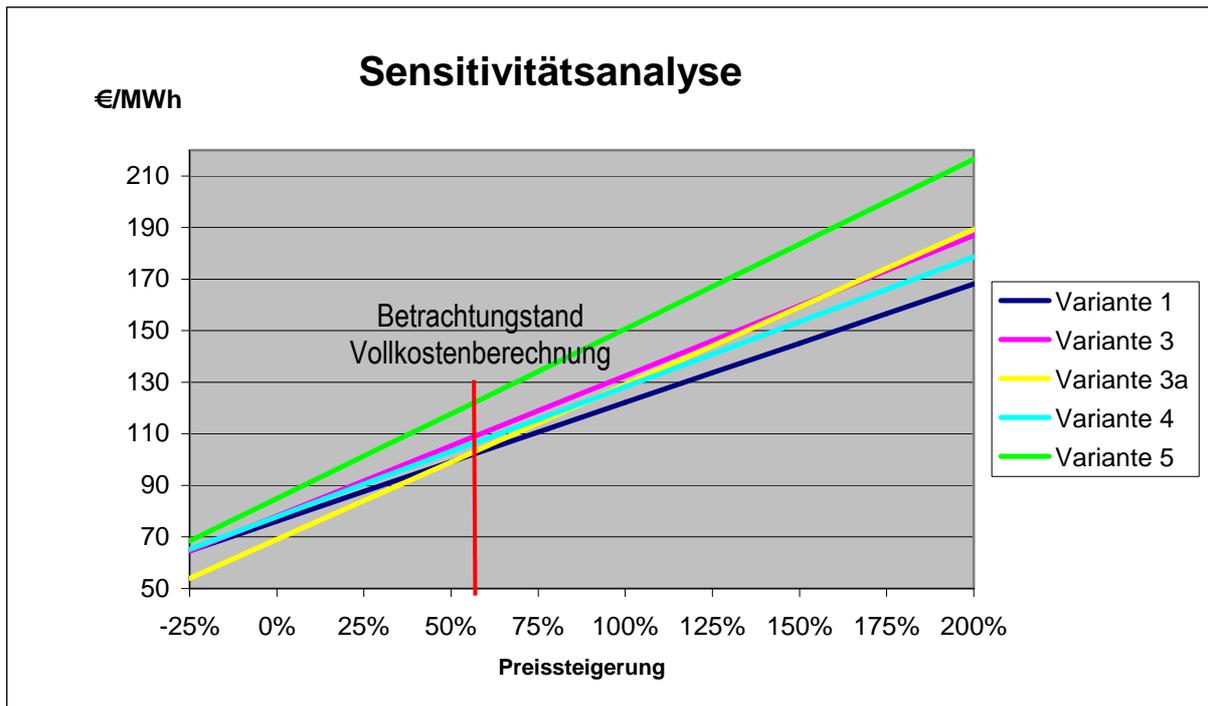


Abbildung 35: Sensitivitätsanalyse

Angesichts der jüngsten Energiepreisentwicklungen muß jedoch eher mit deutlich höheren Steigerungen der fossilen Brennstoffe gerechnet werden. Im nachfolgenden Schaubild ist das Szenario dargestellt, wenn der sich Gaspreis doppelt so stark erhöht wie Strom und Hackschnitzel

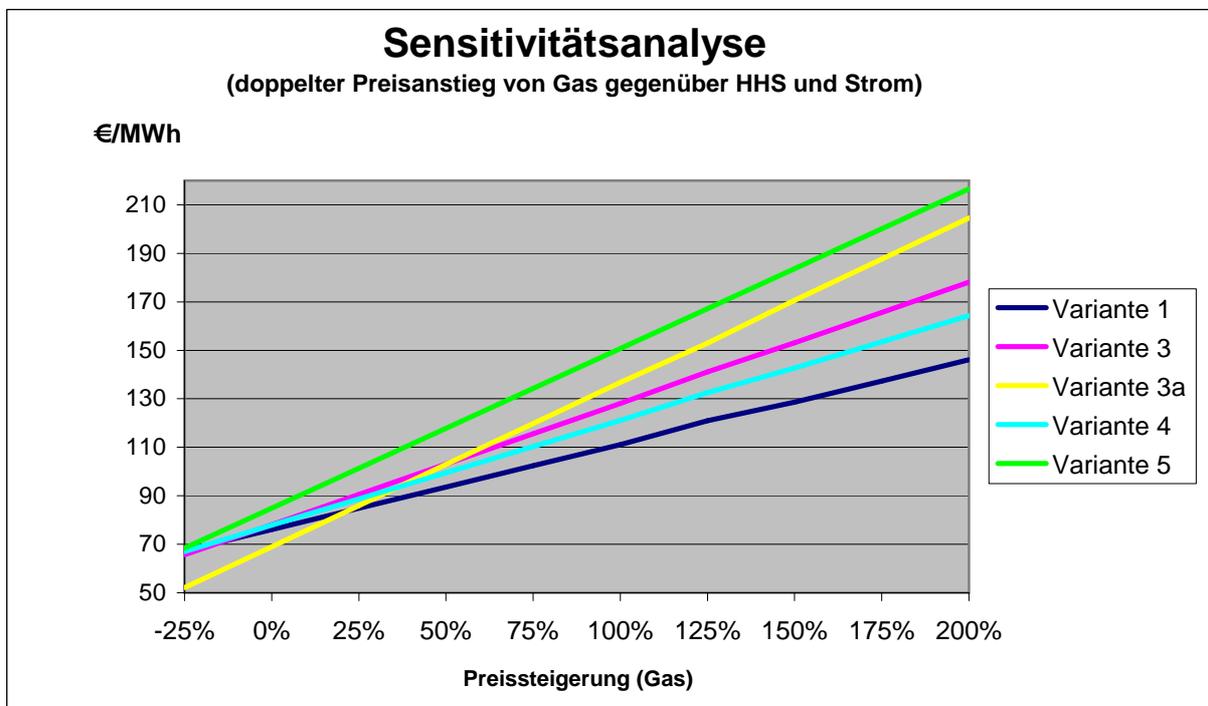


Abbildung 36: Sensitivitätsanalyse bei doppeltem Gaspreisanstieg gegenüber HHS und Strom

## 7. Zusammenfassung und Empfehlungen

### 7.1 Bewertungskriterien

Zur Bewertung des Energiekonzepts sollen zuerst die verschiedenen angewendeten Bewertungskriterien dargestellt werden. Die nachstehende Auflistung der Kriterien stellt die Rangfolge dar, nach der die Empfehlung der Konzeptverfasser hergeleitet wurde.

Eine quantitative (prozentuale) Gewichtung der einzelnen Kriterien wurde dabei jedoch bewusst nicht vorgenommen, zumal nicht alle Kriterien gleichermaßen gut in Zahlen zu fassen sind.

Durch die Bewertung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes mit 50,00 €/to wird im Wesentlichen die ökologische Komponente der einzelnen Varianten im Zuge der Wirtschaftlichkeitsberechnung erfasst. Hinzu kommen jedoch noch ökologische Aspekte, wie Werbewirksamkeit auf Museumsbesucher oder Vorbildfunktion der Stadt Frankfurt. Ferner unterliegen die Bewertungskriterien unterschiedlich stark ausgeprägter Variabilität. So sind beispielsweise die Energiepreisentwicklungen schwerer einzuschätzen als die Veränderung der Kapitalkosten (Zinsänderungen).

#### Die Bewertungskriterien in der Übersicht:

- Wirtschaftlichkeit
- Versorgungssicherheit (Brennstoffversorgung)
- Ökologische Bewertung
- Einfluss der Energiepreise
- Betriebssicherheit (Anlagentechnik)
- Architektonischer Einfluss
- Flexibilität der Anlagentechnik
- Aufwand für die Umsetzung
- Personeller Einfluss

#### Die Bewertungskriterien im Einzelnen:

##### Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Konzepte stellt den markantesten Bewertungsaspekt dar. Hierbei ist das Ergebnis aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung die alleinige bestimmende Größe.

Wie in Abschnitt 6.2 erläutert, sind darin die kompletten jährlichen Kosten mit Kapitalkosten und Betriebskosten erfasst. Die Kapitalkosten sind dabei relativ genau zu erfassen, zumal keine größere Zinsänderung anzunehmen ist.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt folgende Rangfolge (wobei die Kriterien „Einfluss der Energiepreise“ und „ökologische Bewertung“ teilweise beinhaltet sind):

<b>Variante</b>	<b>Gesamtkosten</b>
Variante- 1: Zentrale Lösung	513.349 €
Variante- 3a: wie Variante 3, jedoch BHKW anst. HHS-Anlage	516.801 €
Variante- 4: Zentrale Lösung ohne Städel und Liebighaus	533.260 €
Variante- 3: Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK	544.451 €
Variante- 5: Dezentrale Lösung	608.007 €

**Abbildung 37: Gesamtkosten der Varianten**

### Versorgungssicherheit (Brennstoffversorgung)

Die verglichenen Energiekonzepte basieren alle auf einer Versorgung mit Gas. Für die Varianten 1, 3 und 4 wird dabei die Spitzenlastversorgung über Gaskessel vorgenommen, Grundlastversorgung mittels Holz hackschnitzeln. Somit ergibt sich für diese Varianten eine erhöhte Versorgungssicherheit.

### Ökologische Bewertung

Im Zuge der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden bereits die Umweltfolgekosten in Höhe von 50,00 € je Tonne CO<sub>2</sub> bewertet.

Darüber hinaus sind unabhängig von der monetären Betrachtung die Grundsätze nachhaltigen und ökologischen Bauens sowie einer rationalen Energieverwendung zu berücksichtigen. Dabei ist natürlich auch die Vorbildfunktion der Stadt Frankfurt nicht unberücksichtigt zu lassen.

### Einfluss der Energiepreise

Der Einfluss der Energiepreise bzw. der Energiepreisentwicklung wurde in der Wirtschaftlichkeitsberechnung durch die angesetzte Preissteigerungsrate (mit 5% jährlich) zwar bereits erfasst. Dennoch sollte der Einfluss der Energiepreisentwicklung gesondert betrachtet werden. Denn je höher der Anteil der Brennstoffkosten an den Gesamtkosten ist, um so stärker wirken sich steigende Energiepreise aus. Siehe hierzu die aufgezeigten Sensitivitätsanalysen in

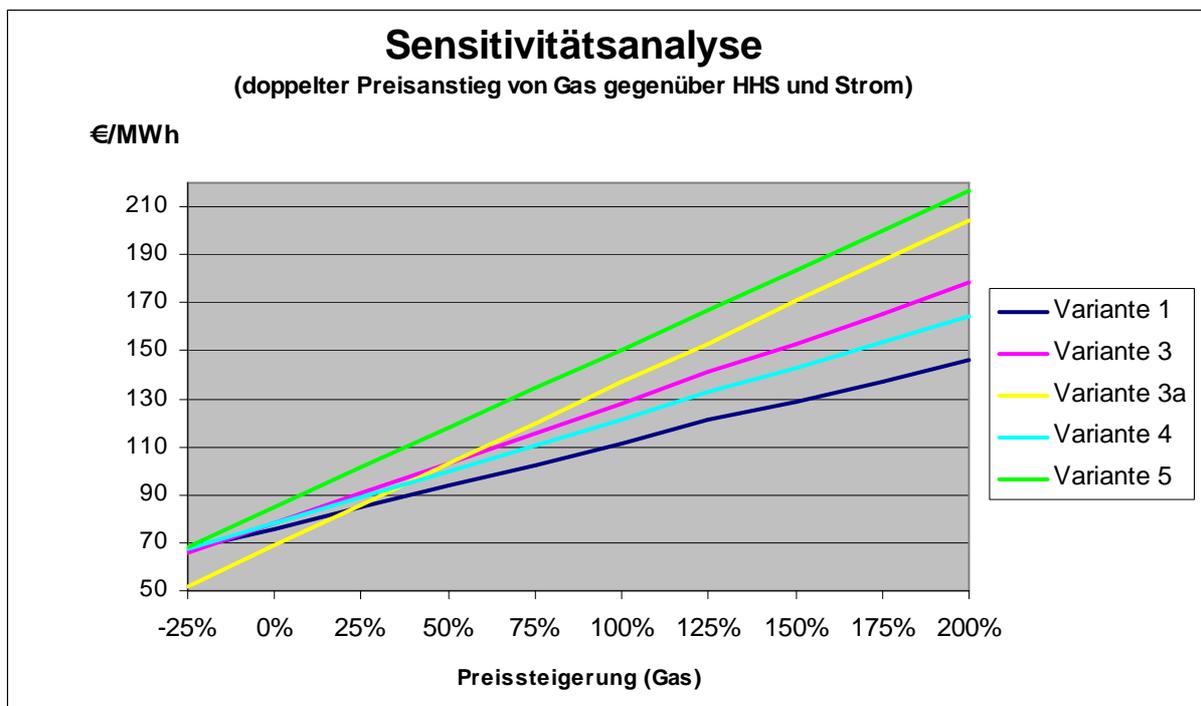


Abbildung 36.

Die angesetzte Preissteigerungsrate von 5% kann dabei durchaus als moderat angesehen werden. In den letzten 3 Jahren betrug die Steigerung der Gaspreise ca. 30%. Steigen die Energiepreise also stärker als die angenommenen 5%, so wirkt sich dies bei den energielastigen Wärmeerzeugungsanlagen (insbesondere Variante-5) verstärkt aus. Bei Variante 3a (BHKW) ist die Auswirkung speziell von der Strompreisentwicklung im Vergleich zum Gaspreis abhängig.

Eine zusätzliche Bewertung als separates Kriterium (über die Wirtschaftlichkeitsberechnung hinaus) erscheint angesichts der allgemein erwarteten Energiepreisentwicklung daher auf jeden Fall angebracht.

### Betriebssicherheit (Anlagentechnik)

Für alle Varianten sind jeweils technologisch ausgereifte Anlagen vorgesehen. Bei den Festbrennstoffkesseln ist mit einer geringfügig höheren Ausfallwahrscheinlichkeit zu rechnen. Da jedoch Redundanz durch die Spitzenlastkessel gewährleistet ist, kann bei den Anlagenkonzepten mit zentraler Energieversorgung von einer höheren Betriebssicherheit ausgegangen werden.

### Architektonischer Einfluss

Für die Varianten 1, 3 und 4 wurden, was die Aufstellung der HHS-Kessel und HHS-Bunker betrifft, jeweils architektonisch verträgliche Konzepte ausgewählt. Brennstoffbevorratung und Heizzentrale wurden jeweils unterirdisch vorgesehen. Dennoch muss berücksichtigt werden, dass besonders durch die Brennstoffanlieferung (LKW-Zufahrt, Bunkerbeschickung) ein architektonischer Einfluss gegeben ist. Positiv ist hingegen der Raumgewinn in den Liegenschaften des Museum der Weltkulturen im Falle einer zentralen Versorgungsvariante zu verzeichnen.

Die Abgasführung ist jeweils innerhalb des vorhandenen Schachtes im Gebäude MAK angedacht, so dass dadurch kein negativer Einfluss gegeben ist..

Für Variante 3a ergibt sich kaum ein architektonischer Einfluss, da das BHKW in der vorhandenen Heizzentrale aufgestellt werden kann.

### Flexibilität der Anlagentechnik

Die zentralen Wärmeversorgungsanlagen sind hinsichtlich ihrer Flexibilität grundsätzlich höher einzustufen. Anlagentechnologien, die sich zur Zeit noch nicht wirtschaftlich darstellen lassen oder technisch noch nicht ausgereift sind (z.B. Biomasse-Verstromung, Rapsöl für Spitzenlastkessel, Stirlingmotor etc..) könnten einfacher nachgerüstet werden.

Darüber hinaus bieten die zentralen Konzepte die Möglichkeit über das Fernleitungsnetz noch weitere Anschlussnehmer anzubinden, was sich wiederum ökologisch und wirtschaftlich positiv auswirken würde.

### Aufwand für die Umsetzung

Für die zentralen Anlagen ergibt sich, wie auch aus den Investitionskosten zu erkennen ist, ein deutlich höherer Aufwand für die Umsetzung. Die abschließende Bewertung, was den Aufwand zur Umsetzung einer der untersuchten Varianten betrifft, muss jedoch im Zusammenhang mit dem letztendlich gewählten Betreibermodell gesehen werden (Betrieb durch Stadt Frankfurt oder Contracting).

### Personeller Einfluss

Die zentralen Varianten führen zu einer Verlagerung des Personalbedarfs von den einzelnen Liegenschaften und dezentralen Kesselanlagen hin zur zentralen Wärmeversorgungsanlage. Dort ist ein erhöhter Zeitaufwand erforderlich. Bei den Varianten 1,3 und 4 (Holzhackschnitzelanlagen) ergibt sich wegen der Betreuung der Hackschnitzel-Förderanlagen sowie Ascheentsorgung ein höherer Betreuungsaufwand. Die Auswirkungen hinsichtlich geänderter Personalkosten sind dabei im Zuge der Wirtschaftlichkeitsberechnung erfasst.

Positiv ist zu bewerten, dass durch den gebündelten Personaleinsatz in der zentralen Anlage von einer entsprechenden Kompetenzentwicklung ausgegangen werden kann. Dadurch erfolgt erfahrungsgemäß ein energetisch sowie technisch verbesserter Anlagenbetrieb.

Außer der internen personellen Änderung ergibt sich bei Einsatz einer Biomasse-Heizanlage noch ein positiv zu bewertendes Arbeitsaufkommen auf Seiten der Brennstofflieferanten. Es erfolgt dadurch eine regionale Wertschöpfung.

### Bewertungsübersicht

<b>Bewertungskriterium</b>	<b>Variante 1</b>	<b>Variante 3</b>	<b>Variante 3-a</b>	<b>Variante 4</b>	<b>Variante 5</b>
	Zentrale Lösung	Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK	wie Variante 3, jedoch BHKW anstatt HHS-Anlage	Zentrale Lösung ohne Städel und Liebighaus	Dezentrale Lösung
Jahreskosten	513.349 €	544.451 €	516.801 €	533.260 €	608.007 €
Wirtschaftlichkeit	++	+	++	++	--
Versorgungssicherheit (Brennstoffversorgung)	++	+	-	+	-
Ökologische Bewertung	++	+	++	+	--
Einfluss der Energiepreise	++	+		+	--
Betriebssicherheit (Anlagentechnik)	++	+		+	-
Architektonischer Einfluss	-	-	++	-	+
Flexibilität der Anlagentechnik	++	+	+	++	-
Aufwand für die Umsetzung	--	-	+	-	++
Personeller Einfluss	++	+		+	-

++ = sehr gut ; + = gut ; „ = neutral ; - = ungünstig ; -- = sehr ungünstig

### **Abbildung 38: Bewertungsübersicht**

Es sei grundsätzlich nochmals darauf hingewiesen, dass die einzelnen Bewertungskriterien für eine Gesamtbetrachtung unterschiedlich zu gewichten sind.

### Bewertung / Empfehlung

Auf der Grundlage der aufgeführten Bewertungskriterien ergibt sich die eindeutige Empfehlung zu einer zentralen Versorgungsvariante (insbesondere Variante-1) gegenüber der dezentralen Versorgung Variante 5. Dabei liegt der Bewertungsschwerpunkt in der wirtschaftlichen sowie ökologischen Ausrichtung der Anlage. Unter ökologischen Gesichtspunkten sowie unter Berücksichtigung des vergleichsweise geringen Aufwandes wäre Variante 3a (BHKW) eine sinnvolle Alternative.

## D Anhang

### 1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Objektübersicht .....	3
Abbildung 2: Variante 1 – Zentrale Lösung .....	5
Abbildung 3: Variante 2 - Insellösung.....	5
Abbildung 4: Variante 3 – Dezentrale Lösung.....	6
Abbildung 5: Variante 4 – Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus.....	6
Abbildung 6: Jahresdauerlinien Variante 1.....	7
Abbildung 7: Jahresdauerlinie Variante 3 bzw. 3a .....	8
Abbildung 8: Wirtschaftlichkeitsberechnung der Varianten, Teil 2.....	10
Abbildung 9: Diagramm Kostenaufstellung der Varianten .....	10
Abbildung 10: Luftaufnahme Museumsufer.....	12
Abbildung 11: Deutsches Architekturmuseum .....	13
Abbildung 12: Grundriss Architekturmuseum.....	13
Abbildung 13: Deutsches Filmmuseum.....	13
Abbildung 14: Museum für Angewandte Kunst .....	14
Abbildung 15: Museum für Kommunikation.....	14
Abbildung 16: Museum der Weltkulturen .....	15
Abbildung 17: Städtische Galerie Liebighaus.....	15
Abbildung 18: Städtische Galerie im Stadel.....	16
Abbildung 19: Diagramm, Vergleich der Leistungen .....	19
Abbildung 20: Diagramm gemessene Stromleistung .....	20
Abbildung 21: Diagramm; Installierter RLT Volumenstrom .....	22
Abbildung 22: Lastprofil MAK für Monatsverbräuche Jan.2004 bis Aug.2007.....	23
Abbildung 23: Vergleich von Monatsverbrauch 2006 im MAK: Werte über Gradtage ermittelt / gemessene Werte .....	24
Abbildung 24: Monatsweise Darstellung der Energieverbräuche im MAK für 2006 sowie Jahresdauerlinie 2006 .....	25
Abbildung 25: Energiesignatur Gasverbrauch, Darstellung von Tagesverbrauchswerten über der Außentemperatur aufgetragen.....	26
Abbildung 26: Jahresdauerlinie MAK mit Darstellung der logarithmischen Dauerlinie .....	26
Abbildung 27: Variante 1 – Zentrale Lösung .....	28
Abbildung 28: Variante 2 - Insellösung.....	30
Abbildung 29: Variante 3 – Dezentrale Lösung.....	30
Abbildung 30: Variante 4 Zentrale Lösung.....	31
Abbildung 31: Jahresdauerlinie Variante 1.....	35
Abbildung 32: Jahresdauerlinie Variante 3.....	36
Abbildung 33: Jahresdauerlinie Variante 4.....	37
Abbildung 34: Diagramm; Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln, Holzpellets, Heizöl und Erdgas .....	41
Abbildung 35: Sensitivitätsanalyse.....	43
Abbildung 36: Sensitivitätsanalyse bei doppeltem Gaspreisanstieg gegenüber HHS und Strom.....	43
Abbildung 37: Gesamtkosten der Varianten.....	44
Abbildung 38: Bewertungsübersicht.....	47
Abbildung 39: Energieabrechnung Deutsches Architekturmuseum .....	52
Abbildung 40: Energieabrechnung Deutsches Filmmuseum.....	53
Abbildung 41: Energieabrechnung Museum für Angewandte Kunst .....	54

Abbildung 42: Energieabrechnung Museum der Weltkulturen .....	55
Abbildung 43: Energieabrechnung Städtische Galerie Liebieghaus .....	56
Abbildung 44: Lastprofil Deutsches Filmmuseum .....	57
Abbildung 45: Lastprofil Museum für Angewandte Kunst .....	58
Abbildung 46: Lastprofil Museum der Weltkulturen .....	59
Abbildung 47: Lastprofil Liebieghaus .....	60
Abbildung 48: Monatsverbräuche Museum für Angewandte Kunst .....	61
Abbildung 49: Monatsverbräuche Museum der Weltkulturen .....	62
Abbildung 50: Monatsverbräuche Film- und Architekturmuseum .....	63
Abbildung 51: Monatsverbräuche Liebieghaus .....	64
Abbildung 52: Versorgungsvarianten .....	66
Abbildung 53: Kosten TGA Variante 1 – Zentrale .....	67
Abbildung 54: Kosten Bauliche Leistungen Variante 1 – Zentrale Lösung .....	68
Abbildung 55: Kosten TGA, Variante 2 – Insellösung .....	69
Abbildung 56: Kosten Bauliche Leistungen, Variante 2 – Insellösung .....	70
Abbildung 57: Kosten Leistungen TGA, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK .....	71
Abbildung 58: Kosten Bauliche Leistungen, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK .....	72
Abbildung 59: Kosten Leistungen TGA, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK (BHKW) .....	73
Abbildung 60: Kosten Bauliche Leistungen, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK (BHKW) .....	74
Abbildung 61: Kosten Leistungen TGA, Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus .....	75
Abbildung 62: Kosten Bauliche Leistungen, Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus .....	76
Abbildung 63: Kosten, Dezentrale Lösung .....	77
Abbildung 64: Kostenvergleich Varianten .....	78
Abbildung 65: Trassenplan Variante 1 .....	79
Abbildung 66: Trassenplan Variante 2 .....	79
Abbildung 67: Trassenplan Variante 3 .....	79
Abbildung 68: Trassenplan Variante 4 .....	79
Abbildung 69: Kessel Liebighaus .....	81
Abbildung 70: Verteilung Liebighaus .....	81
Abbildung 71: Lüftungsanlagen Liebighaus .....	81
Abbildung 72: Lüftungsanlagen Liebighaus .....	81
Abbildung 73: Hausseite vor Hauszentrale Stadel .....	82
Abbildung 74: Straßenverlauf Liebighaus - Stadel .....	82
Abbildung 75: Heizzentrale 2 Stadel .....	82
Abbildung 76: Verteilung Heizzentrale 2 Stadel .....	82
Abbildung 77: Heizzentrale 1 Stadel .....	83
Abbildung 78: Heizzentrale 1 Stadel .....	83
Abbildung 79: Verteilung Stadel .....	83
Abbildung 80: Zugang Heizzentrale Westseite Stadel .....	83
Abbildung 81: Zugang Heizzentrale MAK .....	84
Abbildung 82: Parkplatz zu Metzlerstraße (evtl. Zufahrt f. Hackschnitzelanlieferung) .....	84
Abbildung 83: Parkplatz zu Metzlerstraße Ansicht .....	84
Abbildung 84: Parkplatz zu Metzlerstraße MAK .....	84
Abbildung 85: MAK Villa .....	85
Abbildung 86: Depotraum UG MAK .....	85
Abbildung 87 Lüftungszentrale (DG) MAK .....	85
Abbildung 88: Betriebsstundenzähler Lüftung MAK .....	85
Abbildung 89: Lüftungszentrale (DG) MAK .....	86

Abbildung 90: Lüftungszentrale (DG) MAK .....	86
Abbildung 91:Kaminanlage im Schacht MAK.....	86
Abbildung 92: Kaminanlage im Schacht MAK.....	86
Abbildung 93: Museum der Weltkulturen Haus 37 SÜDANSICHT .....	87
Abbildung 94: Museum der Weltkulturen Kutscherhaus NORDANSICHT .....	87
Abbildung 95: Verteiler MAK.....	87
Abbildung 96: Kessel MAK.....	87
Abbildung 97: WWB im MAK .....	88
Abbildung 98: Schornsteinanschluss MAK.....	88
Abbildung 99: Schaltanlagen und Außenzugang Heizzentrale MAK.....	88
Abbildung 100: Südseite MAK .....	88
Abbildung 101: Zufahrt von Metzlerstraße MAK .....	89
Abbildung 102: Fettabscheider (muss ggf. versetzt werden) MAK.....	89
Abbildung 103: Westliche vom MAK Trassenweg in Richtung Krankenhaus (MdWK).....	90
Abbildung 104: Ansicht MAK von Westen (evtl. Trassenverlauf) .....	90
Abbildung 105: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer.....	90
Abbildung 106: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer.....	90
Abbildung 107: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer.....	91
Abbildung 108: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer.....	91
Abbildung 109: Stelle für mögliche Straßenunterquerung MdWK - Schaumainkai.....	91
Abbildung 110: Uferbefestigung Schaumainkai .....	91
Abbildung 111: Stelle für mögliche Straßenunterquerung MfK - Schaumainkai.....	92

## **2 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Verbrauch Wärme/ Erdgas jeweils 3-Jahres Mittelwert (2004/2005/2006).....	4
Tabelle 2: Vergleich gemessene/ installierte Leistungen, jeweils 3-Jahres Mittelwert (2004,2005,2006) .....	4
Tabelle 3: Installierte Leistungen RLT.....	4
Tabelle 4: Gesamtaufstellung Herstellerkosten.....	7
Tabelle 5: Bestandserfassung der Liegenschaften .....	11
Tabelle 6: Verbräuche Wärme/Erdgas (jeweils 3-Jahres Mittelwert von 2004/2005/2006) .....	18
Tabelle 7: Vergleich gemessene/ Installierte Leistungenn (jeweils 3-Jahres Mittelwert von 2004/2005/2006)..	18
Tabelle 8: Stromverbrauch (3-Jahres Durchschnittswerte) .....	19
Tabelle 9: Installierte Wärme- und Kälteleistungen .....	20
Tabelle 10: Installierte RLT-Leistungen.....	21
Tabelle 11: Gesamtaufstellung Herstellerkosten.....	32
Tabelle 12: Variante 1 – Kosten TGA.....	33
Tabelle 13: Variante 1 – Bauliche Leistungen, Fördermittel, Nebenkosten.....	34
Tabelle 14: Aufstellung der Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Teil 1.....	39
Tabelle 15: Aufstellung der Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Teil 2.....	40

### 3 Aufstellung Energieabrechnungen

#### Deutsches Architekturmuseum

Hochbauamt  
65.25 - Admin

Abteilung Energiemanagement  
Seite 1 von 1

Frankfurt, den 21.05.2007  
Telefon: 40742 / 40743

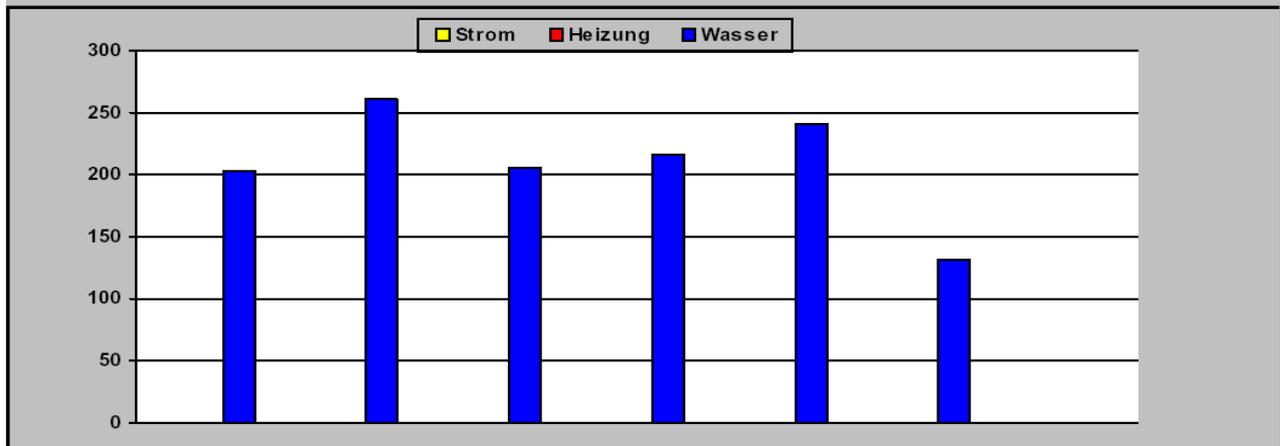
#### Verbrauchswerte und -kosten aus EVU-Rechnungen

Liegenschaft	Deutsches Architekturmuseum			Bauherrenamt	41.1	KST	45H0
Straße, Nr.	Schaumainkai (Museumsufer)	43	.	Stadtbezirk	321	OBZ	5
Gebäudeart	Museen			Bezugsfläche	3.784 m <sup>2</sup>		

Witterungskorrekturfaktoren für Frankfurt Flughafen (> 1: warmes Jahr, < 1: kaltes Jahr)

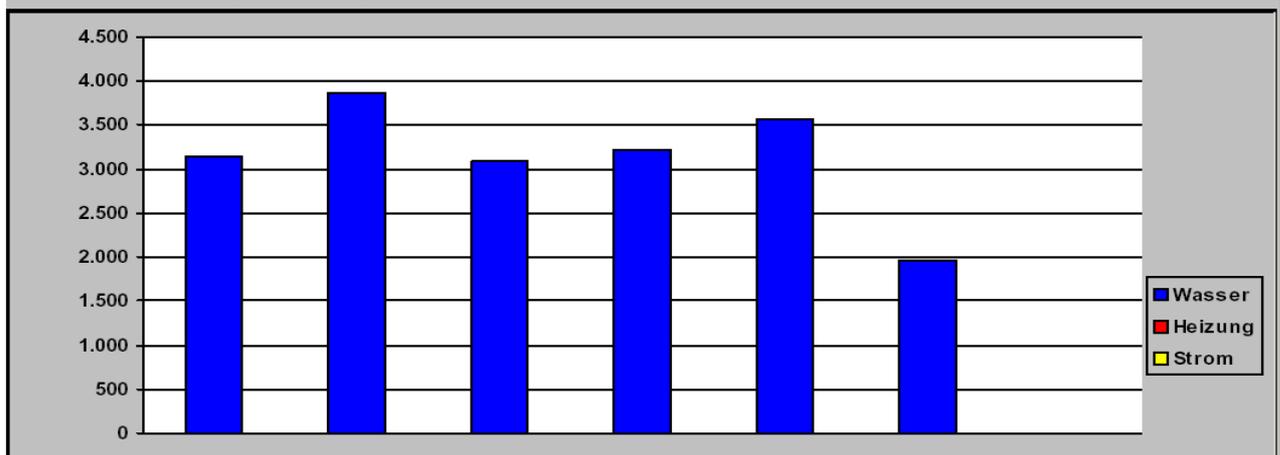
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
H Heizung	1,00	1,06	1,03	0,99	1,02	1,04	2,22

#### Verbrauchswerte (spezifisch und witterungsbereinigt)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	0	0	0	0	0	0	0	kWh/m²a
H	Heizung	0	0	0	0	0	0	0	kWh/m²a
W	Wasser	203	261	206	216	240	131	0	l/m²a

#### Kostenwerte (absolut)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	0	0	0	0	0	0	0	€/a
H	Heizung	0	0	0	0	0	0	0	€/a
W	Wasser	3.149	3.878	3.093	3.217	3.559	1.956	0	€/a
S	Summe	3.149	3.878	3.093	3.217	3.559	1.956	0	€/a

V	Kommentar
E	Strom wird über Filmuseum abgerechnet
H	Heizenergieversorgung erfolgt über Filmmuseum

Abbildung 39: Energieabrechnung Deutsches Architekturmuseum

# Deutsches Filmmuseum

Hochbauamt  
65.25 - Admin

Abteilung Energiemanagement  
Seite 1 von 1

Frankfurt, den 21.05.2007  
Telefon: 40742 / 40743

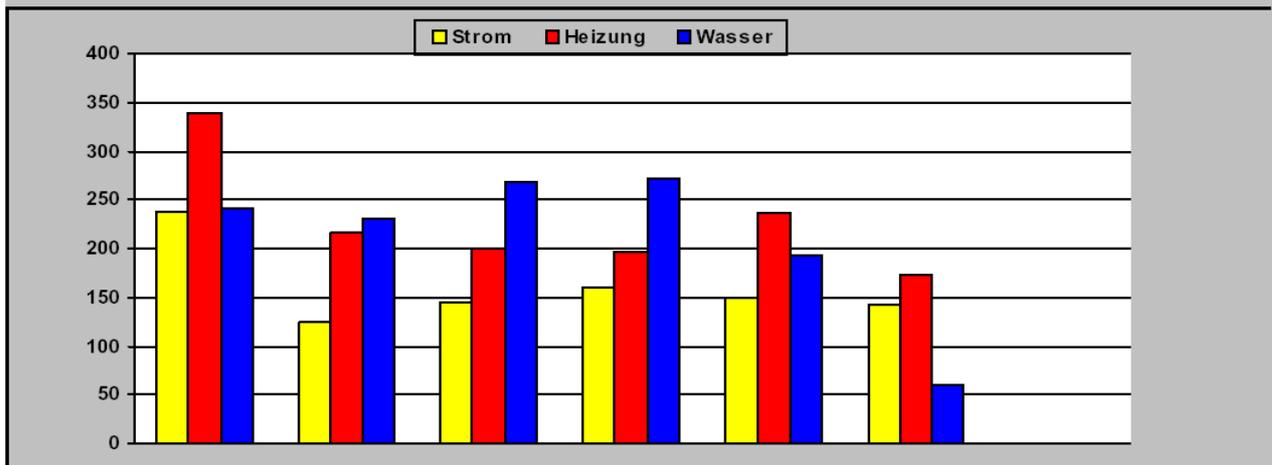
## Verbrauchswerte und -kosten aus EVU-Rechnungen

Liegenschaft	Deutsches Filmmuseum			Bauherrenamt	41.1	KST	45A0
Straße, Nr.	Schaumainkai (Museumsufer)	41	.	Stadtbezirk	321	OBZ	5
Gebäudeart	Museen			Bezugsfläche	3.720 m <sup>2</sup>		

Witterungskorrekturfaktoren für Frankfurt Flughafen (> 1: warmes Jahr, < 1: kaltes Jahr)

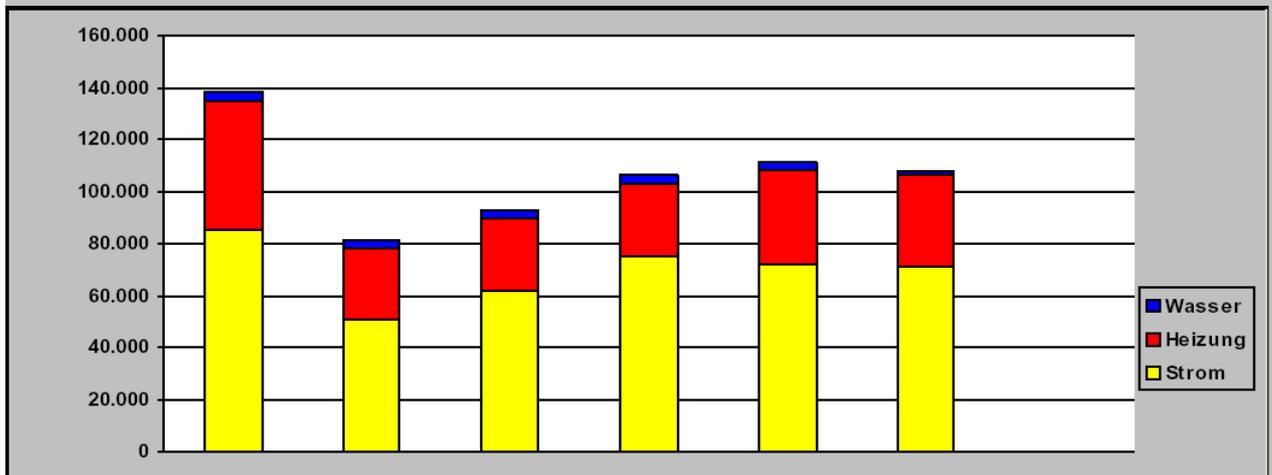
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
H Heizung	1,00	1,06	1,03	0,99	1,02	1,04	2,22

## Verbrauchswerte (spezifisch und witterungsbereinigt)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	238	125	144	161	150	143	0	kWh/m²a
H	Heizung	338	216	200	196	237	173	0	kWh/m²a
W	Wasser	241	230	268	273	192	60	0	l/m²a

## Kostenwerte (absolut)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	85.571	50.936	61.768	75.372	71.657	71.388	0	€/a
H	Heizung	49.278	26.894	27.458	27.420	36.698	35.324	0	€/a
W	Wasser	3.731	3.397	3.874	3.924	2.871	981	0	€/a
S	Summe	138.580	81.226	93.100	106.717	111.226	107.694	0	€/a

V	Kommentar
E	enthält Strom für Architekturmuseum
H	enthält Heizung für Architekturmuseum

Abbildung 40: Energieabrechnung Deutsches Filmmuseum

# Museum für angewandte Kunst

Hochbauamt  
65.25 - Admin

Abteilung Energiemanagement  
Seite 1 von 1

Frankfurt, den 21.05.2007  
Telefon: 40742 / 40743

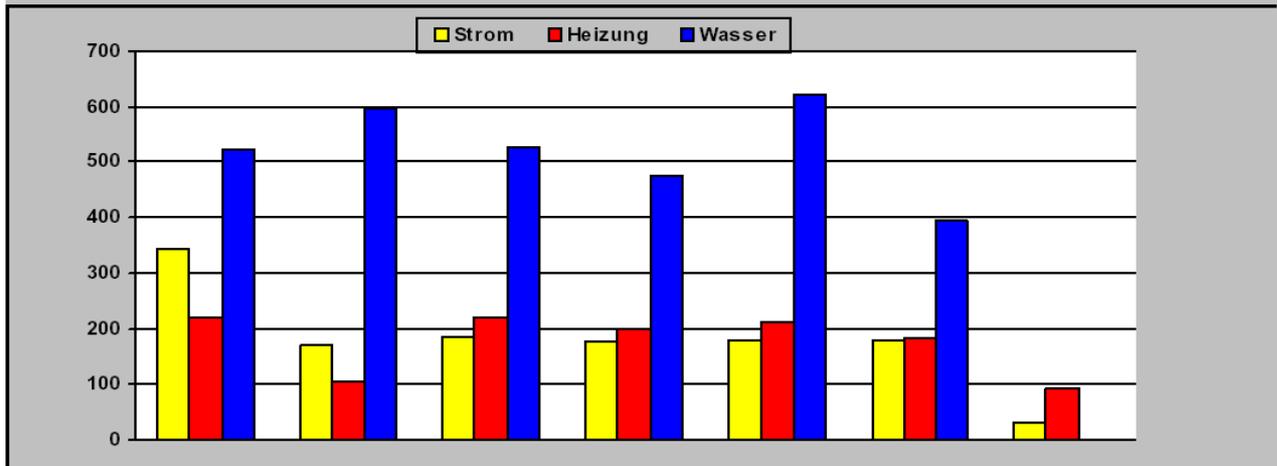
## Verbrauchswerte und -kosten aus EVU-Rechnungen

Liegenschaft	Museum für Angewandte Kunst		Bauherrenamt	41.1	KST	45F0
Straße, Nr.	Schaumainkai (Museumsufer)	17	Stadtbezirk	324	OBZ	5
Gebäudeart	Museen		Bezugsfläche	9.538 m <sup>2</sup>		

Witterungskorrekturfaktoren für Frankfurt Flughafen (> 1: warmes Jahr, < 1: kaltes Jahr)

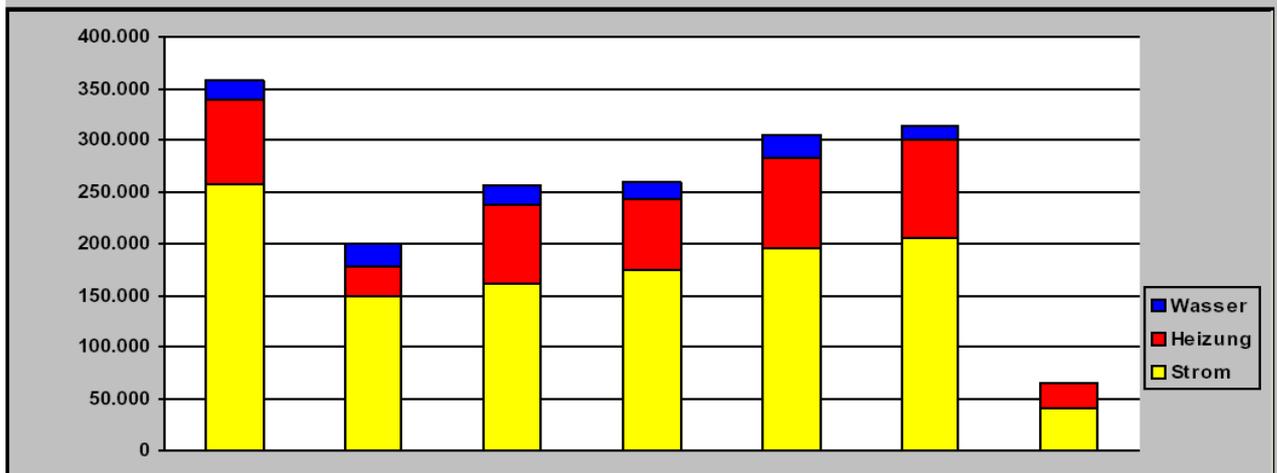
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
H Heizung	1,00	1,06	1,03	0,99	1,02	1,04	2,22

## Verbrauchswerte (spezifisch und witterungsbereinigt)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	345	170	185	177	180	179	32	kWh/m²a
H	Heizung	222	103	221	197	210	181	93	kWh/m²a
W	Wasser	525	597	528	477	622	395	0	l/m²a

## Kostenwerte (absolut)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	257.991	148.919	161.643	175.238	194.552	204.547	40.996	€/a
H	Heizung	80.982	29.645	76.046	67.269	89.294	95.743	23.370	€/a
W	Wasser	19.371	20.655	18.015	16.104	21.044	13.286	0	€/a
S	Summe	358.345	199.220	255.704	258.611	304.890	313.576	64.366	€/a

Abbildung 41: Energieabrechnung Museum für Angewandte Kunst

# Museum der Weltkulturen

Hochbauamt  
65.25 - Admin

Abteilung Energiemanagement  
Seite 1 von 1

Frankfurt, den 21.05.2007  
Telefon: 40742 / 40743

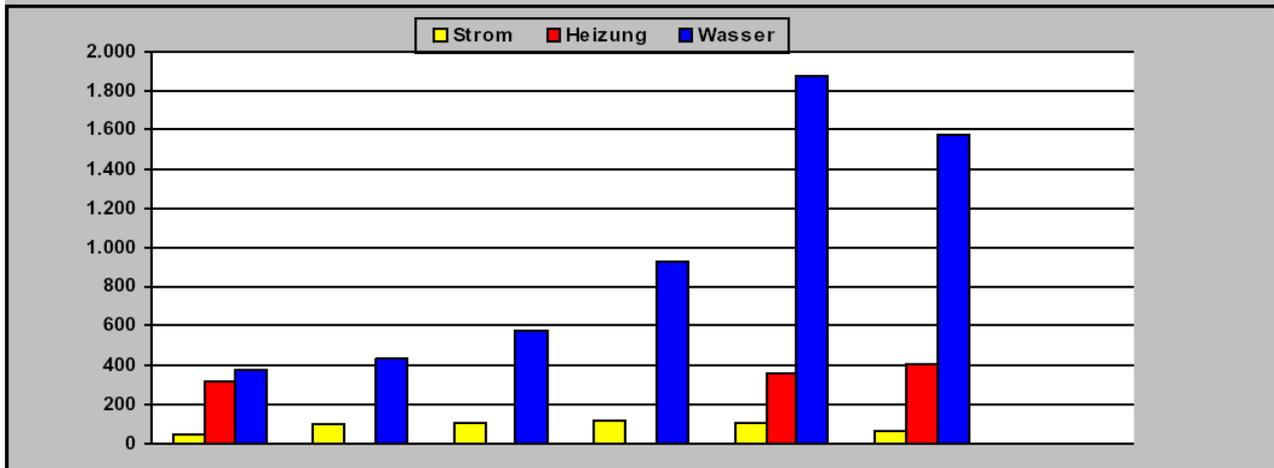
## Verbrauchswerte und -kosten aus EVU-Rechnungen

Liegenschaft	Museum der Weltkulturen			Bauherrenamt	41.1	KST	45G0
Straße, Nr.	Schaumainkai (Museumsufer)	35	.	Stadtbezirk	324	OBZ	5
Gebäudeart	Museen			Bezugsfläche	1.286 m <sup>2</sup>		

Witterungskorrekturfaktoren für Frankfurt Flughafen (> 1: warmes Jahr, < 1: kaltes Jahr)

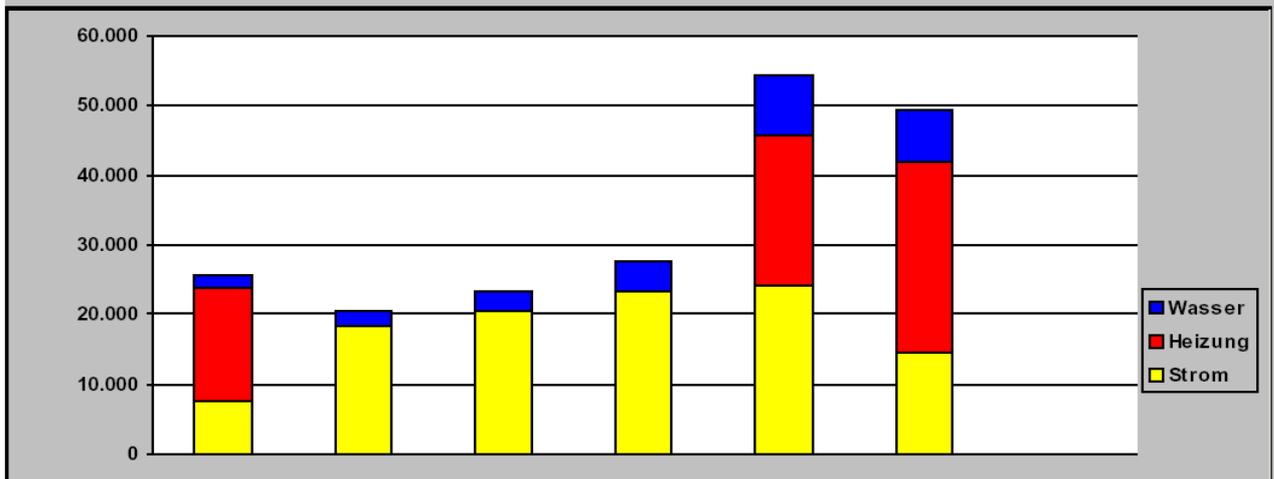
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
H Heizung	1,00	1,06	1,03	0,99	1,02	1,04	2,22

## Verbrauchswerte (spezifisch und witterungsbereinigt)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	45	101	106	113	111	64	0	kWh/m²a
H	Heizung	312	0	0	0	364	402	0	kWh/m²a
W	Wasser	382	434	577	926	1.878	1.574	0	l/m²a

## Kostenwerte (absolut)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	7.691	18.427	20.658	23.324	24.164	14.437	0	€/a
H	Heizung	16.154	0	0	0	21.511	27.507	0	€/a
W	Wasser	1.939	2.175	2.833	4.398	8.734	7.290	0	€/a
S	Summe	25.784	20.602	23.490	27.722	54.409	49.234	0	€/a

V	Kommentar	
H	Gasrechnungen fehlen über mehrere Jahre!	

Abbildung 42: Energieabrechnung Museum der Weltkulturen

# Städtische Galerie Liebieghaus

Hochbauamt  
65.25 - Admin

Abteilung Energiemanagement  
Seite 1 von 1

Frankfurt, den 21.05.2007  
Telefon: 40742 / 40743

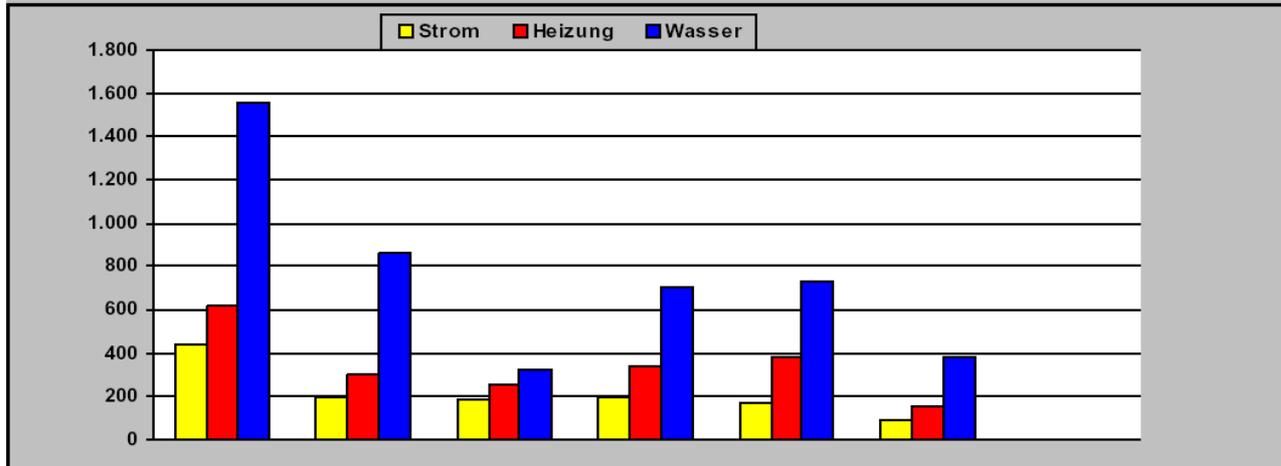
## Verbrauchswerte und -kosten aus EVU-Rechnungen

Liegenschaft	städtische Galerie Liebieghaus		Bauherrenam	41.1	KST	45D0
Straße, Nr.	Schaumainkai (Museumsufer)	71	Stadtbezirk	322	OBZ	5
Gebäudeart	Museen		Bezugsfläche	3.082 m <sup>2</sup>		

Witterungskorrekturfaktoren für Frankfurt Flughafen (> 1: warmes Jahr, < 1: kaltes Jahr)

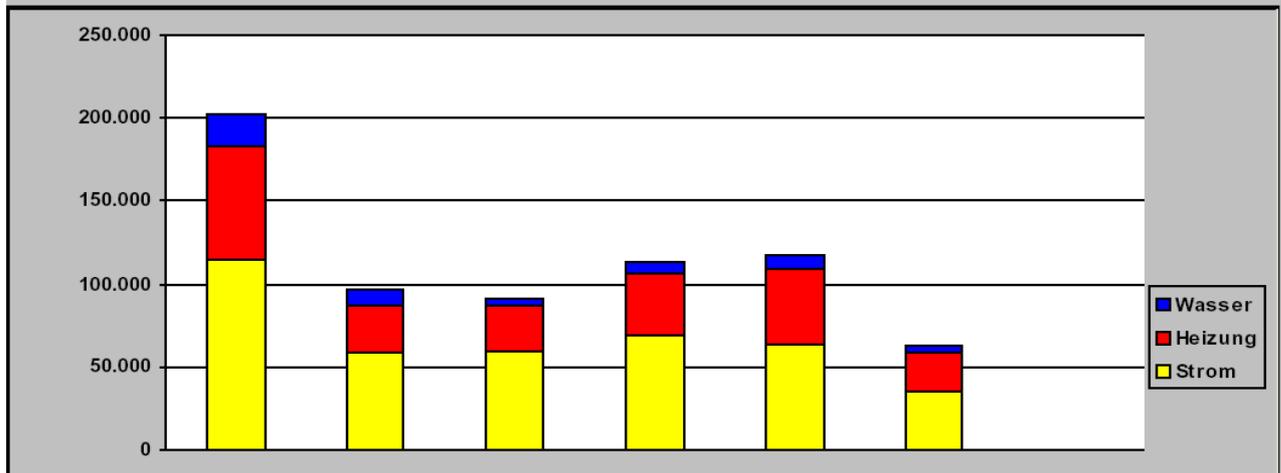
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
H Heizung	1,00	1,06	1,03	0,99	1,02	1,04	2,22

## Verbrauchswerte (spezifisch und witterungsbereinigt)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	438	193	188	198	171	91	0	kWh/m²a
H	Heizung	613	299	252	340	379	151	0	kWh/m²a
W	Wasser	1.558	859	325	708	730	382	0	l/m²a

## Kostenwerte (absolut)



V	Art	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Einheit
E	Strom	114.595	57.860	59.527	69.024	63.384	35.017	0	€/a
H	Heizung	68.612	29.027	27.792	36.521	46.255	23.026	0	€/a
W	Wasser	18.778	9.991	3.870	7.877	8.093	4.345	0	€/a
S	Summe	201.985	96.879	91.189	113.422	117.732	62.388	0	€/a

Abbildung 43: Energieabrechnung Städtische Galerie Liebieghaus

## 4 Lastprofile Ist-Zustand

### Deutsches Filmmuseum

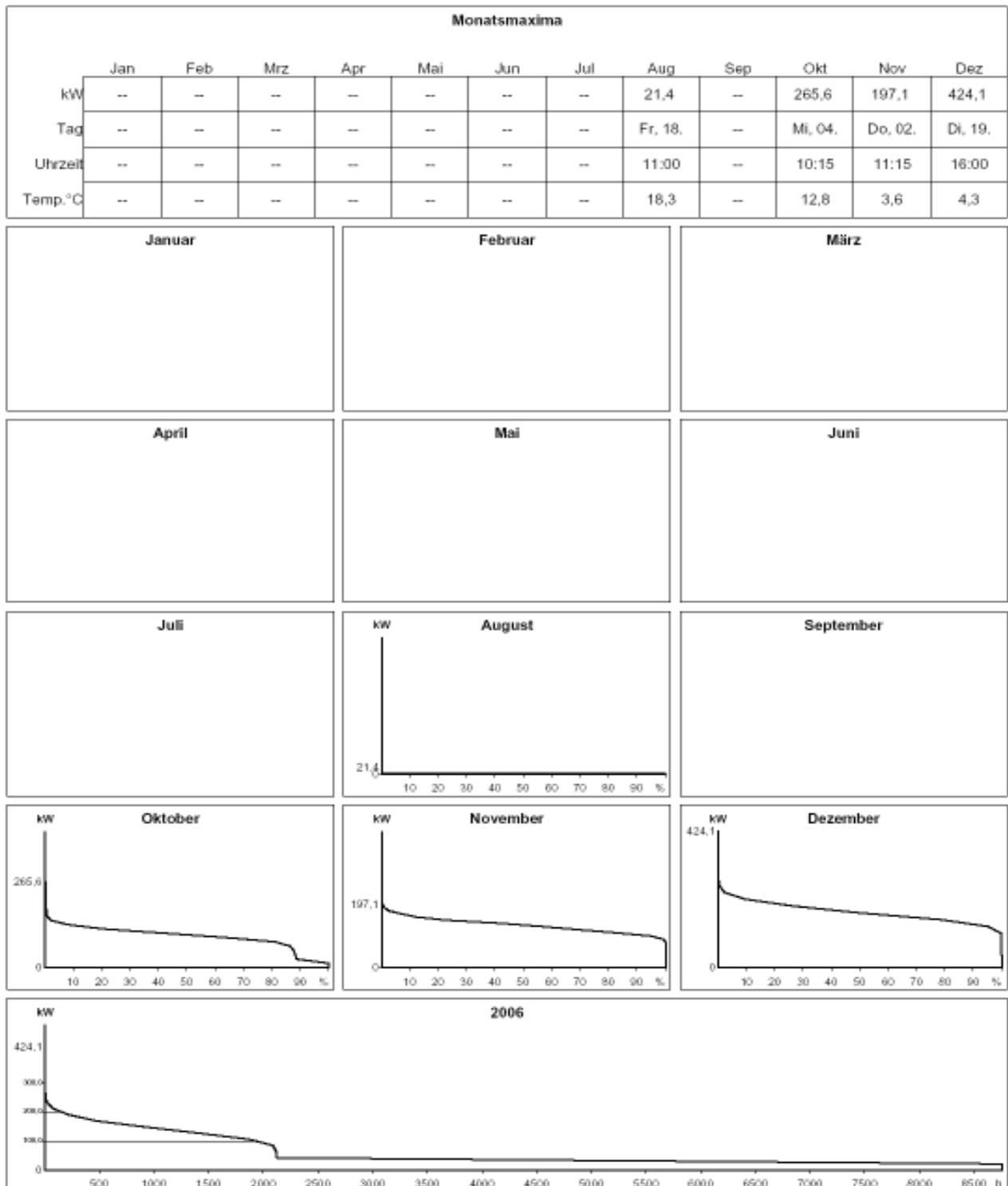
1.2101



#### Wärme - Leistung (Jahresübersicht 2006)

Schaumaikai 41, Deutsches Filmmuseum, H1 Gaszähler

Leistungsart: ¼ Stunde



Objekt: Deutsches Filmmuseum  
Zählerplatz-ID: 6477 Erstellt: 31.08.2007



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J. Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Abbildung 44: Lastprofil Deutsches Filmmuseum

Museum für Angewandte Kunst

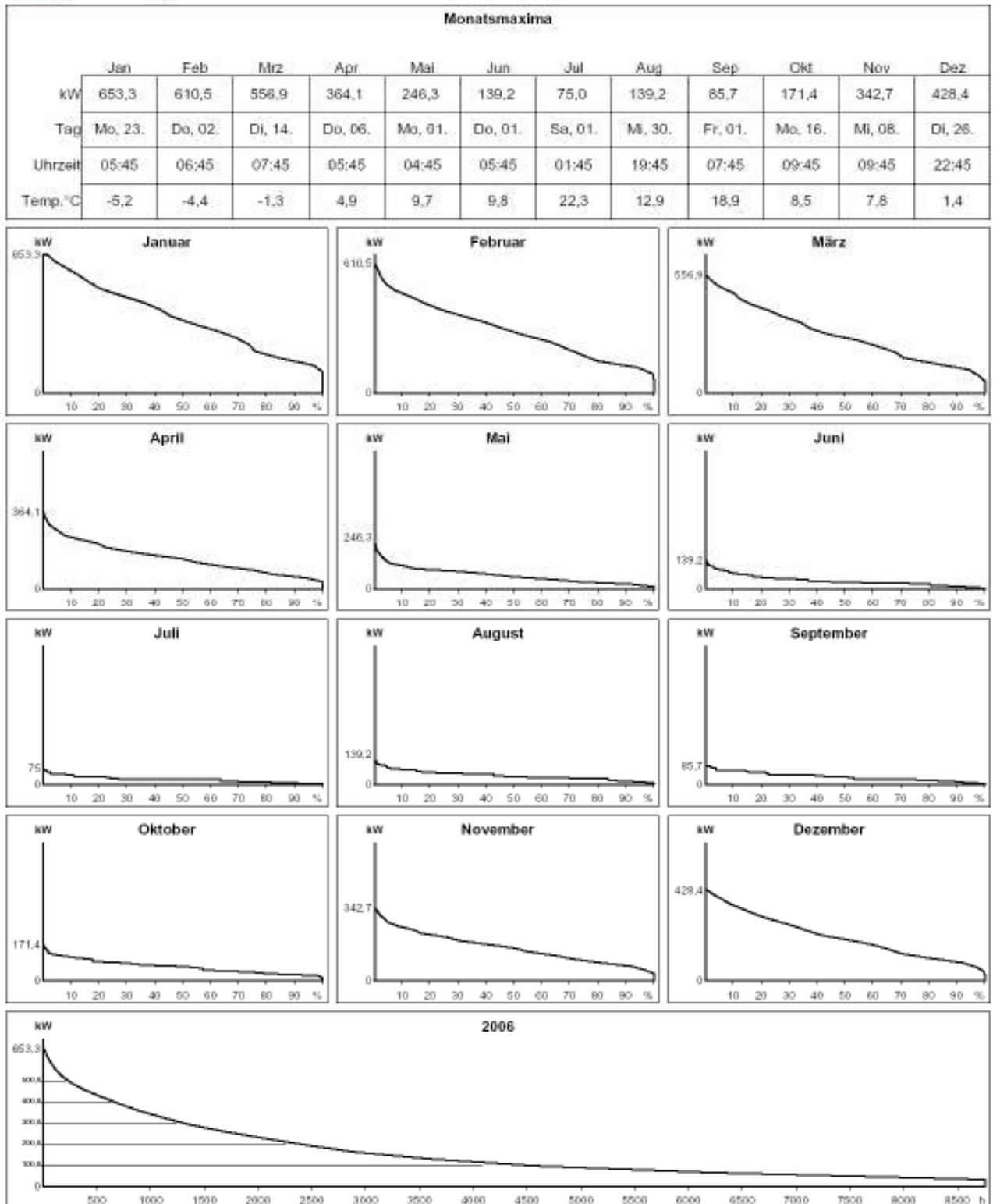
0.2101



Wärme - Leistung (Jahresübersicht 2006)

Schaumainkai 17, Museum für Angewandte Kunst, H1 Gas

Leistungsart: 1 Stunde



Objekt: Museum für Angewandte Kunst  
 Zählertyp-ID: 2532 Erstellt 31.08.2007



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J.-Döglér, Tel. 40742, www.stadtfrankfurt.de/energiemanagement

Abbildung 45: Lastprofil Museum für Angewandte Kunst

# Museum der Weltkulturen

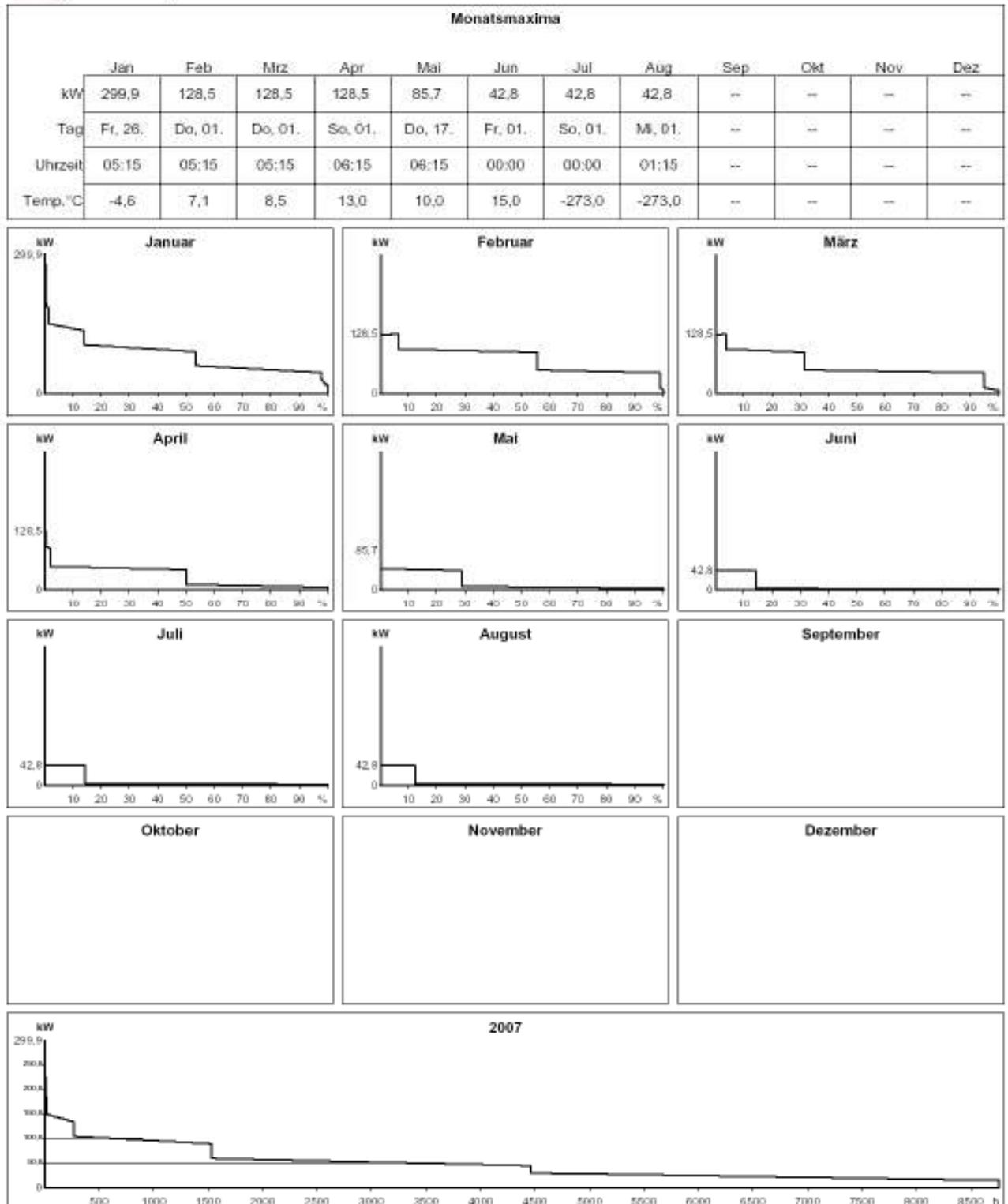
0.2001



## Wärme - Leistung (Jahresübersicht 2007)

Schaumaikai 35, Museum der Weltkulturen, H1 Gasz.

Leistungsart: ¼ Stunde



Objekt: Museum der Weltkulturen  
ZIM/Anzahl-ID: 6517 Erstellt: 31.08.2007



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J.-Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Abbildung 46: Lastprofil Museum der Weltkulturen

# Liebieghaus

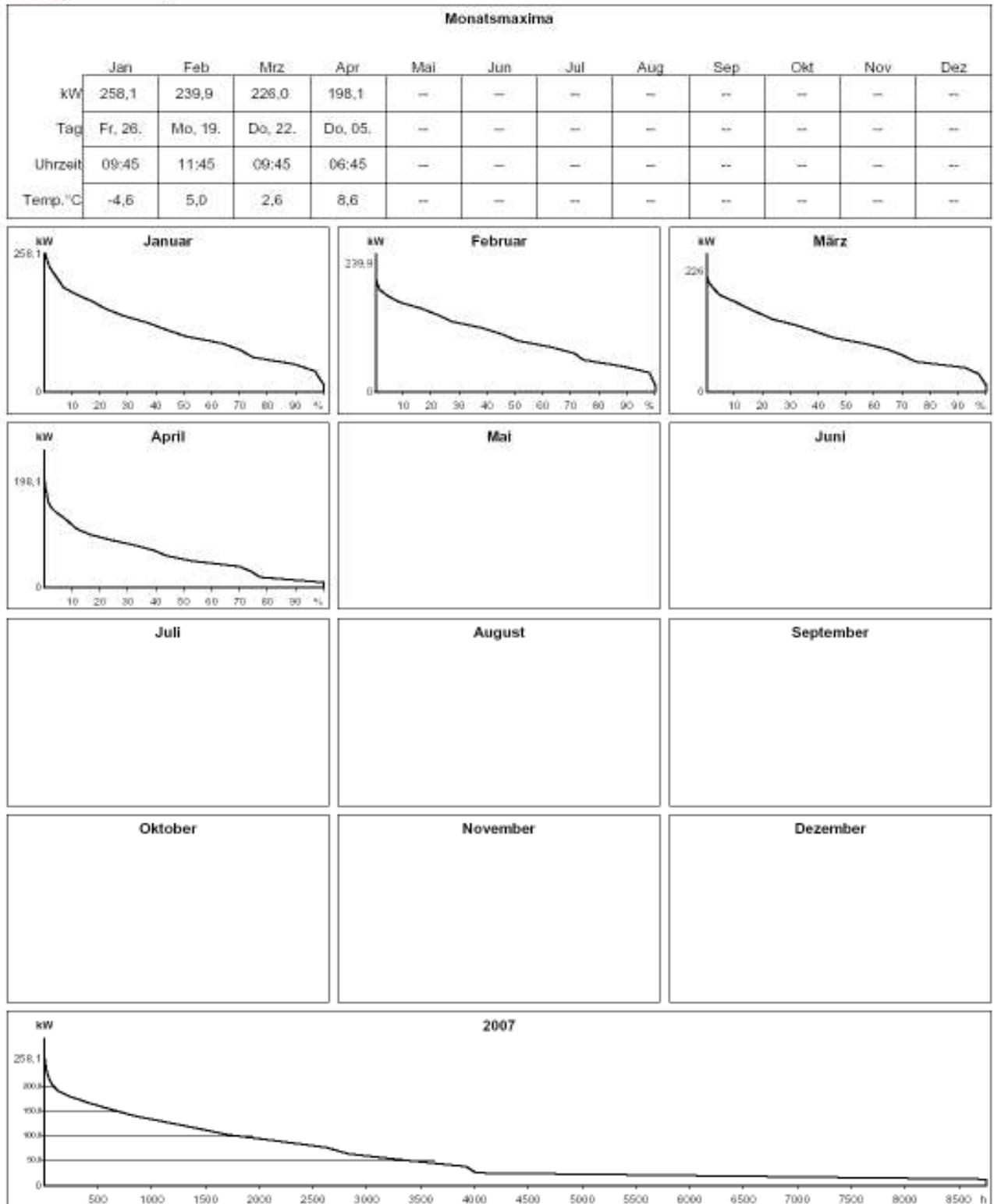
0.2101



## Wärme - Leistung (Jahresübersicht 2007)

Schaumainkai 71, Städt. Galerie Liebieghaus, H1 Gaszähler

Leistungsart: 1 Stunde



Objekt: Städt. Galerie Liebieghaus  
 Zählerplatz-ID: 6606 Erstellt: 31.08.2007



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J.-Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Abbildung 47: Lastprofil Liebieghaus

# 5 Verbrauchsaufzeichnungen

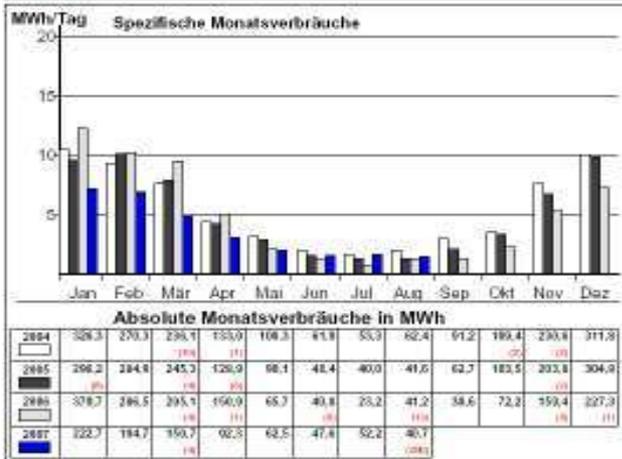
## Museum für Angewandte Kunst

0.2101

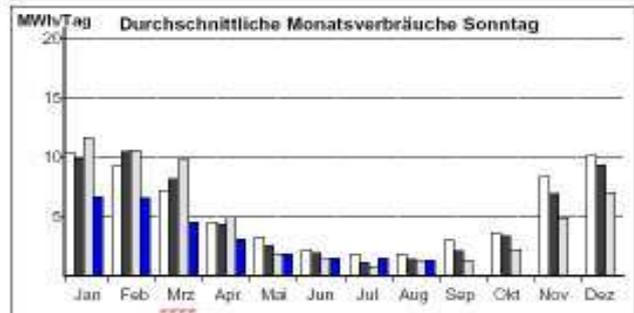
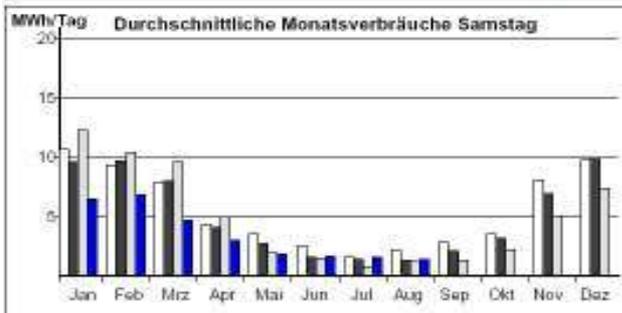
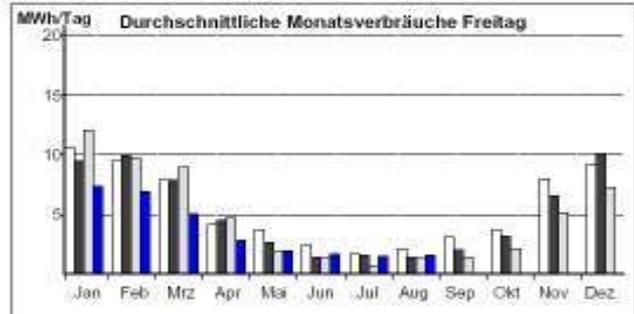
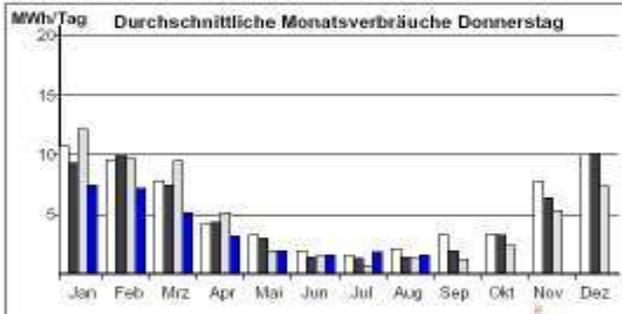
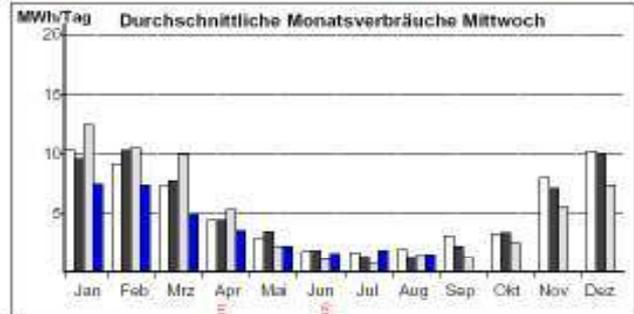
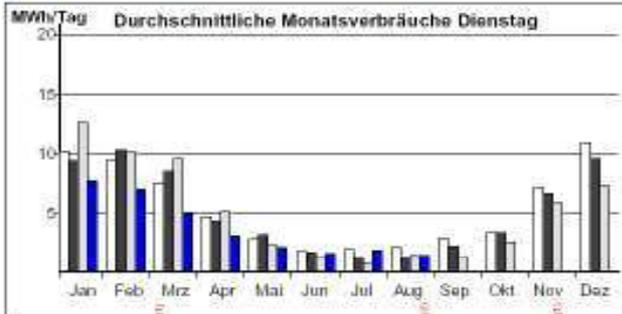


### Wärme - Monatsprofile

Schaumainkai 17, Museum für Angewandte Kunst, H1 Gas  
 Zeitraum von Januar 2004 bis August 2007



Hinweis: Spezifische Monatsverbräuche berücksichtigen zur besseren Vergleichbarkeit der Monatsverbräuche die unterschiedliche Anzahl der Tage sowie der Wochentage je Monat.



2004
  2005
  2006
  2007

Objekt: Museum für Angewandte Kunst  
 ZNReferenz-ID: 2532 Erstellt: 31.08.2007



Stadt Frankfurt am M. – Energiemanagement, H.-J. Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Abbildung 48: Monatsverbräuche Museum für Angewandte Kunst

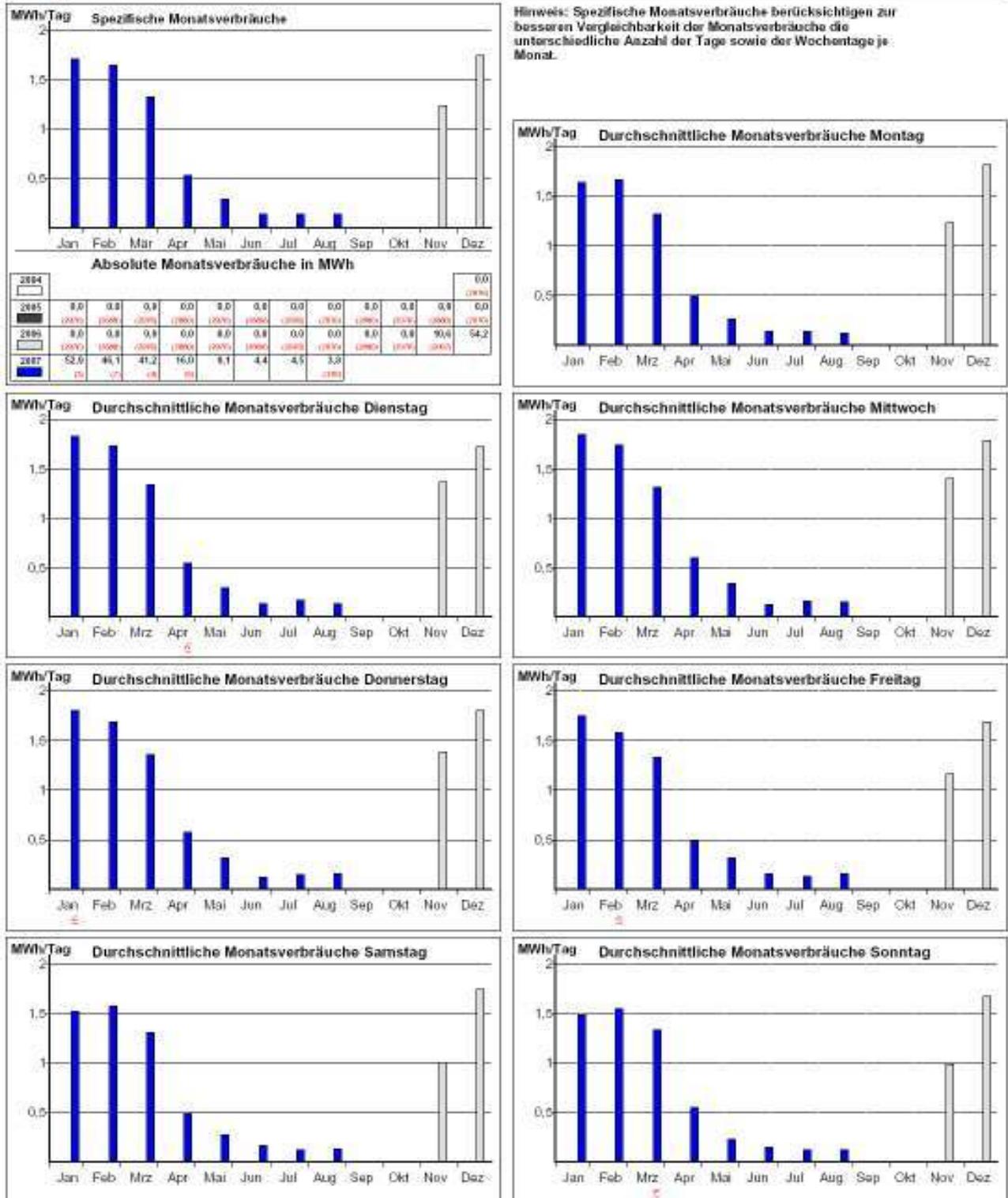
# Museum der Weltkulturen

0.2001



## Wärme - Monatsprofile

Schaumainkai 35, Museum der Weltkulturen, H1 Gasz.  
Zeitraum von November 2006 bis August 2007



2004 2005 2006 2007

Objekt: Museum der Weltkulturen  
ZINreplatz-ID: 6517 Ersellt: 31.08.2007



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J.-Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Abbildung 49: Monatsverbräuche Museum der Weltkulturen



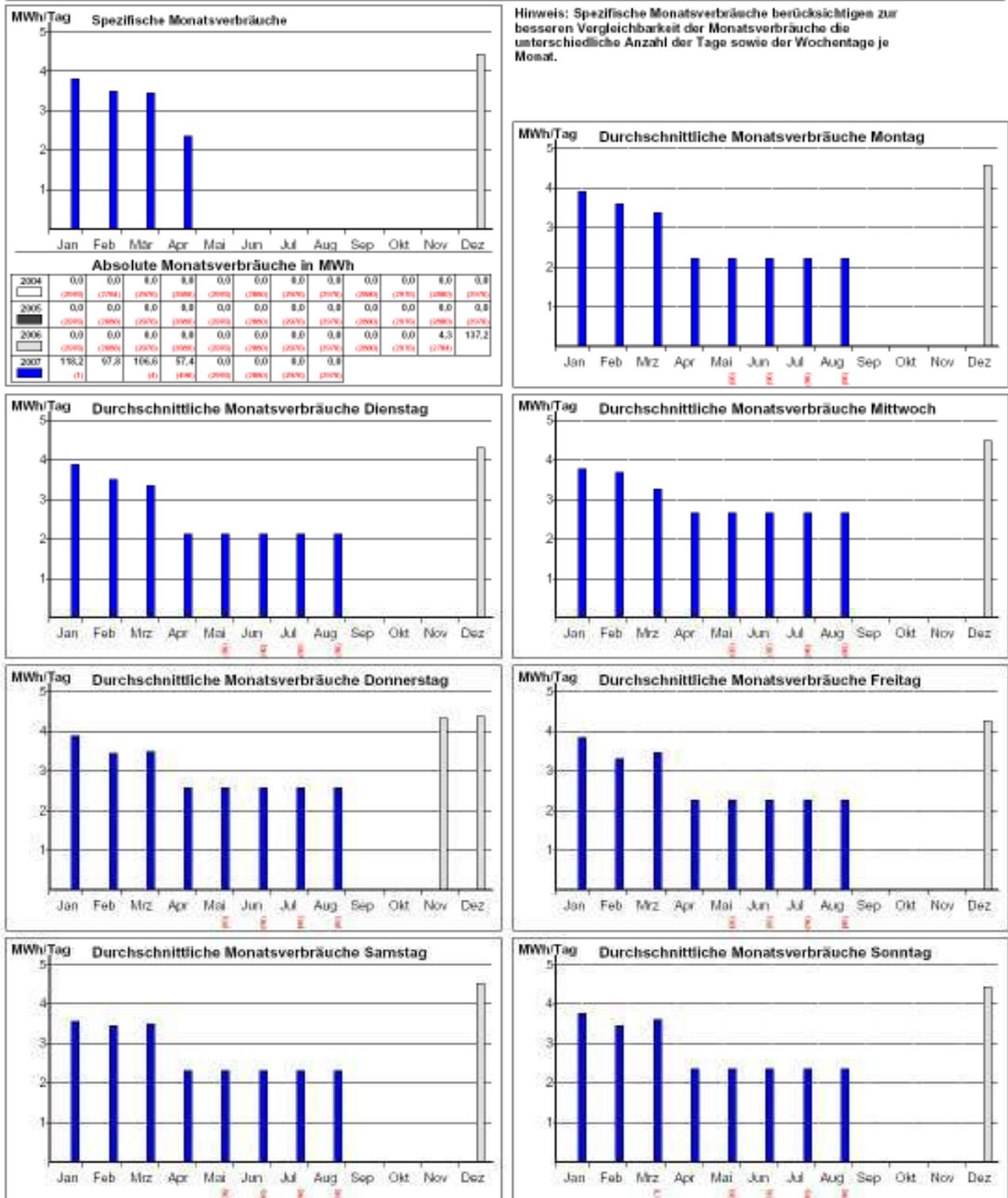
# Liebieghaus

0.2101



## Wärme - Monatsprofile

Schaumainkai 71, Städt. Galerie Liebieghaus, H1 Gaszähler  
Zeitraum von November 2006 bis August 2007



2004 2005 2006 2007

Objekt Städt. Galerie Liebieghaus  
Zählerplatz-ID: 9006 Erstellt: 31.08.2007



Stadt Frankfurt a.M. - Energiemanagement, H.-J. Ziegler, Tel. 40742, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Abbildung 51: Monatsverbräuche Liebieghaus

## 7 Kostenberechnungen

Variante 1 - Zentrale Lösung								
Liegenschaft	[-]	Liebighaus	Städel	MfK	F+A	MdWK	MAK	Summe
Standort Zentrale	[-]						<b>X</b>	
Verbrauch	[ MWh ]	894	1927	771	751	529	1869	<b>6742</b>
Wärmeleistung gemessen	[ kW ]	285	803	410	386	348	653	<b>2885</b>
Wärmeleistung installiert	[ kW ]	570	803	797	420	308	1162	<b>4060</b>
Über-/Unterdeckung	[ kW ]	<b>+285</b>	<b>+0</b>	<b>+387</b>	<b>+34</b>	<b>-40</b>	<b>+509</b>	<b>1175</b>
Teilstrecke	[-]	TS 5	TS 4	TS 3	TS 2	TS 1		
Verbrauch, kummuliert	[ MWh ]	894	2821	3592	4343	4872		<b>6.742</b>
Länge Haupttrasse (HA bis HA)	[ m ]		210	130	180	120		<b>640</b>
Länge Hausanschlusstrasse	[ m ]	290	30	40	15	80		<b>455</b>
Energiedichte Haupttrasse	[ MWh/m ]		<b>13,43</b>	<b>27,63</b>	<b>24,13</b>	<b>40,60</b>		
Energiedichte Hausanschluss	[ MWh/m ]	<b>3,08</b>	<b>64,23</b>	<b>19,28</b>	<b>50,10</b>	<b>6,61</b>		
Variante 2 - Insellösung								
Liegenschaft	[-]	Liebighaus	Städel	MfK	F+A	MdWK	MAK	
Standort Zentrale	[-]		<b>X</b>	<b>X</b>			<b>X</b>	
Verbrauch	[ MWh ]	894	1.927	771	751	529	1.869	<b>6742</b>
Wärmeleistung gemessen	[ kW ]	285	803	410	386	348	653	<b>2885</b>
Wärmeleistung installiert	[ kW ]	570	803	797	420	308	1.162	<b>4060</b>
Über-/Unterdeckung	[ kW ]	<b>+285</b>	<b>+0</b>	<b>+387</b>	<b>+34</b>	<b>-40</b>	<b>+509</b>	<b>1175</b>
Teilstrecke	[-]	TS 3			TS 2	TS 1		
Verbrauch, kummuliert	[ MWh ]	894			751	529		
Länge Haupttrasse (HA bis HA)	[ m ]							
Länge Hausanschlusstrasse	[ m ]	290			170	175		<b>635</b>
Energiedichte Haupttrasse	[ MWh/m ]							
Energiedichte Hausanschluss	[ MWh/m ]	<b>3,08</b>			<b>4,42</b>	<b>3,02</b>		
Variante 3 - Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK								
Liegenschaft	[-]	Liebighaus	Städel	MfK	F+A	MdWK	MAK	
Standort Zentrale	[-]	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	
Verbrauch	[ MWh ]	894	1.927	771	751	529	1.869	<b>6742</b>
Wärmeleistung gemessen	[ kW ]	285	803	410	386	348	653	<b>2885</b>
Wärmeleistung installiert	[ kW ]	570	803	797	420	308	1.162	<b>4060</b>
Über-/Unterdeckung	[ kW ]	<b>+285</b>	<b>+0</b>	<b>+387</b>	<b>+34</b>	<b>-40</b>	<b>+509</b>	<b>1175</b>
Teilstrecke	[-]					TS 1		
Verbrauch, kummuliert	[ MWh ]					529		
Länge Haupttrasse (HA bis HA)	[ m ]							
Länge Hausanschlusstrasse	[ m ]					175		<b>175</b>
Energiedichte Haupttrasse	[ MWh/m ]							
Energiedichte Hausanschluss	[ MWh/m ]					<b>3,02</b>		

Variante 4 - Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus								
Liegenschaft	[ - ]	Liebighaus	Stadel	MfK	F+A	MdWK	MAK	Summe
Standort Zentrale	[ - ]						<b>X</b>	
Verbrauch	[ MWh ]			771	751	529	1869	<b>3921</b>
Wärmeleistung gemessen	[ kW ]			410	386	348	653	<b>1797</b>
Wärmeleistung installiert	[ kW ]			797	420	308	1162	<b>2687</b>
Über-/Unterdeckung	[ kW ]			<b>+387</b>	<b>+34</b>	<b>-40</b>	<b>+509</b>	<b>890</b>
Teilstrecke	[ - ]			<b>TS 3</b>	<b>TS 2</b>	<b>TS 1</b>		
Verbrauch, kummuliert	[ MWh ]			771	1523	2052		<b>3.921</b>
Länge Haupttrasse (HA bis HA)	[ m ]			130	180	120		<b>430</b>
Länge Hausanschlussstrasse	[ m ]			40	15	80		<b>135</b>
Energiedichte Haupttrasse	[ MWh/m ]			<b>5,93</b>	<b>8,46</b>	<b>17,10</b>		
Energiedichte Hausanschluss	[ MWh/m ]			<b>19,28</b>	<b>50,10</b>	<b>6,61</b>		
Variante 5 - Dezentrale Lösung								
Liegenschaft	[ - ]	Liebighaus	Stadel	MfK	F+A	MdWK	MAK	
Standort Zentrale	[ - ]	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	
Verbrauch	[ MWh ]	894	1.927	771	751	529	1.869	<b>6742</b>
Wärmeleistung gemessen	[ kW ]	285	803	410	386	348	653	<b>2885</b>
Wärmeleistung installiert	[ kW ]	570	803	797	420	308	1.162	<b>4060</b>
Über-/Unterdeckung	[ kW ]	<b>+285</b>	<b>+0</b>	<b>+387</b>	<b>+34</b>	<b>-40</b>	<b>+509</b>	<b>1175</b>
Teilstrecke	[ - ]							
Verbrauch, kummuliert	[ MWh ]							
Länge Haupttrasse (HA bis HA)	[ m ]							
Länge Hausanschlussstrasse	[ m ]							
Energiedichte Haupttrasse	[ MWh/m ]							
Energiedichte Hausanschluss	[ MWh/m ]							

Abbildung 52: Versorgungsvarianten

# Variante 1 - Zentrale Lösung

Leistungen TGA								761.620,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Fernleitung</b>								<b>155.175,00 €</b>
Fernleitung	TS-1 MAK - MdWK		DN 125	1	175 Tm	145,00 €	25.375,00 €	
Fernleitung	Anschluß Kutscherhaus		DN 40	1	20 Tm	95,00 €	1.900,00 €	
Fernleitung	Anschluß MdWK		DN 65	1	10 Tm	110,00 €	1.100,00 €	
Fernleitung	TS-2 MdWK - F+A		DN 100	1	195 Tm	130,00 €	25.350,00 €	
Fernleitung	Anschluß F*A		DN 65	1	55 Tm	110,00 €	6.050,00 €	
Fernleitung	TS-3 F+A - MK		DN 100	1	140 Tm	130,00 €	18.200,00 €	
Fernleitung	Anschluß MK		DN 65	1	130 Tm	110,00 €	14.300,00 €	
Fernleitung	TS-4 MK - Stadel		DN 80	1	295 Tm	120,00 €	35.400,00 €	
Fernleitung	TS-5 Stadel - Liebig		DN 65	1	250 Tm	110,00 €	27.500,00 €	
				Summe	1.270 Tm			
<b>Sonstige Leistungen Fernleitungen</b>								<b>11.000,00 €</b>
Dichtheitskontrollsystem				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Umverlegung Fremdleitungen in Straße				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>299.100,00 €</b>
Hackschnitzel-Kesselanlage	33% von 2350 kW			780 kW	1	145,00 €	113.100,00 €	
Fördereinrichtung, Siloaustragung				1	1	35.000,00 €	35.000,00 €	
Kratzkettenförderer, hydr.Einschub				1	1	45.000,00 €	45.000,00 €	
Ertaschunssystem				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Rauchgasentstaubung				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Schaltanlage				1	1	22.000,00 €	22.000,00 €	
Verkabelung und E-Installation				1	1	18.000,00 €	18.000,00 €	
Pufferspeicher				1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
Kaminanlage				1	1	20.000,00 €	20.000,00 €	
Fernleitungspumpen				1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
				1	1		0,00 €	
<b>Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>146.290,00 €</b>
Gaskesselanlage	MAK			900 kW	1	40,00 €	36.000,00 €	
Gaskesselanlage	MAK	Brennwertkessel		670 kW	1	60,00 €	40.200,00 €	
Gaskesselanlage	Film+Arch.Museum	Brennwertkessel		386 kW	1	65,00 €	25.090,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	Film+Arch.Museum			1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
Schaltanlage	MAK			1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Schaltanlage	Film+Arch.Museum			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Spitzenkessel-Netzeinbindung	Stadel			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
				1	1		0,00 €	
							0,00 €	
<b>Wärmeverteilung mit Zubehör</b>								<b>123.055,00 €</b>
Anbindung an Heizungsnetz	MAK			650 kW	1	25,00 €	16.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MdWK			348 kW	1	25,00 €	8.700,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	F+A			386 kW	1	25,00 €	9.650,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MK			410 kW	1	25,00 €	10.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	Stadel			800 kW	1	20,00 €	16.000,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	Liebighaus			285 kW	1	25,00 €	7.125,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MAK			1	1	1.500,00 €	1.500,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MdWK			1	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	F+A			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	Stadel			1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	Liebighaus			1	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Übergabestation	MdWK			348 kW	1	20,00 €	6.960,00 €	
Übergabestation	F+A			386 kW	1	20,00 €	7.720,00 €	
Übergabestation	MK			410 kW	1	20,00 €	8.200,00 €	
Übergabestation	Stadel			800 kW	1	20,00 €	16.000,00 €	
Übergabestation	Liebighaus			285 kW	1	20,00 €	5.700,00 €	
<b>Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges</b>								<b>27.000,00 €</b>
Demontearbeiten				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Provisionen				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
							0,00 €	

Abbildung 53: Kosten TGA Variante 1 – Zentrale



## Variante 2 - Insellösung

Leistungen TGA								543.020,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Fernleitung</b>								<b>87.350,00 €</b>
Fernleitung	TS-1 MAK - MdWK		DN 80	1	185 Trm	120,00 €	22.200,00 €	
Fernleitung	Anschluß Kutscherhaus		DN 40	1	20 Trm	95,00 €	1.900,00 €	
Fernleitung	TS-2 MKK- F+A		DN 65	1	325 Trm	110,00 €	35.750,00 €	
Fernleitung	TS-3 Stadel - Liebig		DN 65	1	250 Trm	110,00 €	27.500,00 €	
				Summe	780 Trm			
<b>Sonstige Leistungen Fernleitungen</b>								<b>11.000,00 €</b>
Dichtheitskontrollsystem				1	3	2.000,00 €	6.000,00 €	
Umverlegung Fremdleitungen in Straße				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>195.000,00 €</b>
Hackschnitzel-Kesselanlage	33% von 1000 kW			320 kW	1	250,00 €	80.000,00 €	
Fördereinrichtung, Siloaustragung				1	1	20.000,00 €	20.000,00 €	
Kratzkettenförderer, hydr.Einschub				1	1	25.000,00 €	25.000,00 €	
Entaschunssystem				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Rauchgasentstäubung				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schaltanlage				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Verkabelung und E-Installation				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Pufferspeicher				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Kaminanlage				1	1	13.000,00 €	13.000,00 €	
Fernleitungspumpen				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
				1	1		0,00 €	
<b>Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>123.815,00 €</b>
Gaskesselanlage	MAK	NT-Kessel (redundant)		530 kW	1	45,00 €	23.850,00 €	
Gaskesselanlage	MAK	Brennwertkessel		670 kW	1	60,00 €	40.200,00 €	
Gaskesselanlage	Film+Arch.Museum	Brennwertkessel		386 kW	1	65,00 €	25.090,00 €	
WW-Bereiter	MAK			1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	
Schaltanlage	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schaltanlage	Film+Arch.Museum			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Gaskesselanlage	Stadel	NT-Kessel		285 kW	1	55,00 €	15.675,00 €	
							0,00 €	
<b>Wärmeverteilung mit Zubehör</b>								<b>98.855,00 €</b>
Anbindung an Heizungsnetz	MAK			650 kW	1	25,00 €	16.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MdWK			348 kW	1	25,00 €	8.700,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	F+A			386 kW	1	25,00 €	9.650,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MKK			410 kW	1	25,00 €	10.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	Stadel			800 kW	1	20,00 €	16.000,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	Liebighaus			285 kW	1	25,00 €	7.125,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MAK			1	1	1.500,00 €	1.500,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MdWK			1	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	F+A			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MKK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	Stadel			1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	Liebighaus			1	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Übergabestation	MdWK			348 kW	1	20,00 €	6.960,00 €	
Übergabestation	F+A			386 kW	1	20,00 €	7.720,00 €	
Übergabestation	Liebighaus			285 kW	1	20,00 €	5.700,00 €	
<b>Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges</b>								<b>27.000,00 €</b>
Demontagearbeiten				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Provisorien				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
							0,00 €	

Abbildung 55: Kosten TGA, Variante 2 – Insellösung

<b>Bauliche Leistungen</b>								<b>408.800,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Bauliche Arbeiten Fernleitung</b>								<b>158.800,00 €</b>
Fernleitungsgraben	TS-1 MAK - MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	175 Trm	120,00 €	21.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß Kutscherhaus	Oberfläche Rasen/Park		1	20 Trm	120,00 €	2.400,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	10 Trm	120,00 €	1.200,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß F+A	Oberfläche Rasen/Park		1	25 Trm	120,00 €	3.000,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-3 F+A - MK	Oberfläche Rasen/Mainufer		1	140 Trm	120,00 €	16.800,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß MK	Oberfläche Straßenbelag		1	60 Trm	250,00 €	15.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß MK	Horizontalbohrung Straße		2	30 Trm	300,00 €	18.000,00 €	
Durchbruch Ufermauer	Anschluß MK	Ufermauer Mainufer		2	1	5.000,00 €	10.000,00 €	
Herstellen Spülgrube	Anschluß MK			2	1	3.000,00 €	6.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß MK	Oberfläche Rasen/Park		1	35 Trm	120,00 €	4.200,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-5 Städel - Liebig	Oberfläche Rasen/Park		1	40 Trm	120,00 €	4.800,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-5 Städel - Liebig	Oberfläche Straßenbelag		1	195 Trm	280,00 €	54.600,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-5 Städel - Liebig	Oberfläche Rasen/Park		1	15 Trm	120,00 €	1.800,00 €	
							0,00 €	
<b>Bauliche Arbeiten Gebäude</b>								<b>250.000,00 €</b>
Herrichtung HHS-Bunker	MAK	unterirdisch		1	150 m²	500,00 €	75.000,00 €	
HHS-Technik-Bunker	MAK	unterirdisch		1	100 m²	500,00 €	50.000,00 €	
Herstellung der LKW-Zufahrt	MAK			1	450 m²	120,00 €	54.000,00 €	
Anpassungsarbeiten Heizzentrale	MAK			1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MAK			1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MdWK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Trassenführung im Keller	Film+Arch.Museum			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Trassenführung im Keller	Städel			1	2	2.500,00 €	5.000,00 €	
Trassenführung im Keller	Liebighaus			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Änderungsarbeiten Mülllagerplatz				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Umbau Fettabscheider				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Umbau Kanal				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
							0,00 €	

<b>Fördermittel</b>								<b>-106.140,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
Fördermittel Hessen	Wärmeerzeugungsanlage			30%	1	195.000,00 €	58.500,00 €	
Fördermittel Hessen	bauliche Anlagen			30%	1	158.800,00 €	47.640,00 €	
						Summe	106.140,00 €	begrenzt auf 200.000,00€
Fördermittel Hessen	Fernleitungsnetz	(bei > 3,0 MWh/a)		1	0 Trm	100,00 €	0,00 €	begrenzt auf 100.000,00€
Fördermittel Bund	als Teilschuldertilgung im Rahmen der Finanzierung für Wärmeerzeuger und Fernleitungsnetz möglich							
	Deminimis-Regelung ist zu prüfen.							

<b>Nebenkosten</b>								<b>201.115,20 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
TGA-Planung				1	16%	543.020,00 €	86.883,20 €	
Planung Bauliche Anlagen				1	14%	408.800,00 €	57.232,00 €	
Gebühren für Straßensperrung, Aufbruchgenehmigung etc.				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Honorar Statik				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Honorar Bodengutachten				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Honorar Netzdokumentation				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Bauantragsgebühren				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Nebenkosten, Sonstiges				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	

<b>Gesamtaufstellung</b>							<b>1.046.795,20 €</b>
							<b>GP</b>
<b>Leistungen TGA</b>							<b>543.020,00 €</b>
<b>Bauliche Leistungen</b>							<b>408.800,00 €</b>
<b>Fördermittel</b>							<b>-106.140,00 €</b>
<b>Nebenkosten</b>							<b>201.115,20 €</b>

Abbildung 56: Kosten Bauliche Leistungen, Variante 2 – Insellösung

## Variante 3 - Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK

Leistungen TGA								397.800,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Fernleitung</b>								<b>22.250,00 €</b>
Fernleitung	TS-1 MAK - MdWK		DN 65	1	175 Trm	110,00 €	19.250,00 €	
Fernleitung	Anschluß Kutscherhaus		DN 50	1	20 Trm	95,00 €	1.900,00 €	
Fernleitung	Anschluß MdWK		DN 65	1	10 Trm	110,00 €	1.100,00 €	
				Summe	205 Trm			
<b>Sonstige Leistungen Fernleitungen</b>								<b>3.000,00 €</b>
Dichtheitskontrollsystem				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>195.000,00 €</b>
Hackschnitzel-Kesselanlage	33% von 1000 kW			320 kW	1	250,00 €	80.000,00 €	
Fördereinrichtung, Siloaustragung				1	1	20.000,00 €	20.000,00 €	
Kratzkettenförderer, hydr.Einschub				1	1	25.000,00 €	25.000,00 €	
Entschunssystem				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Rauchgasentstaubung				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schaltanlage				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Verkabelung und E-Installation				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Pufferspeicher				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Kaminanlage				1	1	13.000,00 €	13.000,00 €	
Fernleitungspumpen				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
				1	1		0,00 €	
<b>Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>126.140,00 €</b>
Gaskesselanlage	MAK	NT-Kessel (redundant)		530 kW	1	45,00 €	23.850,00 €	
Gaskesselanlage	MAK	Brennwertkessel		670 kW	1	60,00 €	40.200,00 €	
Gaskesselanlage	Film+Arch.Museum	Brennwertkessel		386 kW	1	65,00 €	25.090,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	Film+Arch.Museum			1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
WW-Bereiter	MAK			1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	
Schaltanlage	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schaltanlage	Film+Arch.Museum			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Wärmeverteilung mit Zubehör</b>								<b>34.410,00 €</b>
Anbindung an Heizungsnetz	MAK			650 kW	1	25,00 €	16.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MdWK			348 kW	1	25,00 €	8.700,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MAK			1	1	1.500,00 €	1.500,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MdWK			1	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Übergabestation	MdWK			348 kW	1	20,00 €	6.960,00 €	
<b>Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges</b>								<b>17.000,00 €</b>
Demontagarbeiten				1	1	9.000,00 €	9.000,00 €	
Provisorien				1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
							0,00 €	

Abbildung 57: Kosten Leistungen TGA, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK

<b>Bauliche Leistungen</b>								<b>263.600,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Bauliche Arbeiten Fernleitung</b>								<b>24.600,00 €</b>
Fernleitungsgraben	TS-1 MAK - MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	175 Trm	120,00 €	21.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss Kutscherhaus	Oberfläche Rasen/Park		1	20 Trm	120,00 €	2.400,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	10 Trm	120,00 €	1.200,00 €	
							0,00 €	
<b>Bauliche Arbeiten Gebäude</b>								<b>239.000,00 €</b>
Herrichtung HHS-Bunker	MAK	unterirdisch		1	150 m³	500,00 €	75.000,00 €	
HHS-Technik-Bunker	MAK	unterirdisch		1	100 m³	500,00 €	50.000,00 €	
Herstellung der LKW-Zufahrt	MAK			1	450 m²	120,00 €	54.000,00 €	
Anpassungsarbeiten Heizzentrale	MAK			1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MAK			1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MdWK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Änderungsarbeiten Müllagerplatz				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Umbau Fettabscheider				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Umbau Kanal				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
							0,00 €	

<b>Fördermittel</b>								<b>-86.380,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
Fördermittel Hessen	Wärmeerzeugungsanlage			30%	1	195.000,00 €	58.500,00 €	
Fördermittel Hessen	bauliche Anlagen			30%	1	24.600,00 €	7.380,00 €	
						Summe	65.880,00 €	begrenzt auf 200.000,00€
Fördermittel Hessen	Fernleitungsnetz	(bei > 3,0 MWh/a)		1	205 Trm	100,00 €	20.500,00 €	begrenzt auf 100.000,00€
Fördermittel Bund	als Teilschuldenfresser im Rahmen der Finanzierung für Wärmeerzeuger und Fernleitungsnetz möglich							
	Deminimis-Regelung ist zu prüfen.							

<b>Nebenkosten</b>								<b>149.780,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
TGA-Planung				1	18%	397.800,00 €	71.604,00 €	
Planung Bauliche Anlagen				1	16%	263.600,00 €	42.176,00 €	
Gebühren für Straßensperrung, Aufbruchgenehmigung etc.				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Honorar Statik				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Honorar Bodengutachten				1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	
Honorar Netzdokumentation				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Bauantragsgebühren				1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	
Nebenkosten, Sonstiges				1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	

<b>Gesamtaufstellung</b>								<b>724.800,00 €</b>
							GP	
<b>Leistungen TGA</b>							<b>397.800,00 €</b>	
<b>Bauliche Leistungen</b>							<b>263.600,00 €</b>	
<b>Fördermittel</b>							<b>-86.380,00 €</b>	
<b>Nebenkosten</b>							<b>149.780,00 €</b>	

Abbildung 58: Kosten Bauliche Leistungen, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK

## Variante 3a - Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK (BHKW)

Leistungen TGA								322.100,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Fernleitung</b>								<b>22.250,00 €</b>
Fernleitung	TS-1 MAK - MdWK		DN 65	1	175 Trm	110,00 €	19.250,00 €	
Fernleitung	Anschluß Kutscherhaus		DN 50	1	20 Trm	95,00 €	1.900,00 €	
Fernleitung	Anschluß MdWK		DN 65	1	10 Trm	110,00 €	1.100,00 €	
				Summe	205 Trm			
<b>Sonstige Leistungen Fernleitungen</b>								<b>3.000,00 €</b>
Dichtheitskontrollsystem				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>113.000,00 €</b>
Hackschnitzel-Kesselanlage	33% von 1000 kW					250,00 €	0,00 €	
Fördereinrichtung, Siloaustragung						20.000,00 €	0,00 €	
Kratzkettenförderer, hydr.Einschub						25.000,00 €	0,00 €	
Entaschunssystem						10.000,00 €	0,00 €	
Rauchgasentstaubung						10.000,00 €	0,00 €	
BHKW	Leistung el. 100 kW			100 kW	1	750,00 €	75.000,00 €	
Schaltanlage				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Verkabelung und E-Installation				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Pufferspeicher				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Abgasanlage BHKW				1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
Fernleitungspumpen				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
				1	1		0,00 €	
<b>Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>132.440,00 €</b>
Gaskesselanlage	MAK	NT-Kessel (redundant)		670 kW	1	45,00 €	30.150,00 €	
Gaskesselanlage	MAK	Brennwertkessel		670 kW	1	60,00 €	40.200,00 €	
Gaskesselanlage	Film+Arch.Museum	Brennwertkessel		386 kW	1	65,00 €	25.090,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	Film+Arch.Museum			1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
WW-Bereiter	MAK			1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	
Schaltanlage	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schaltanlage	Film+Arch.Museum			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Wärmeverteilung mit Zubehör</b>								<b>34.410,00 €</b>
Anbindung an Heizungsnetz	MAK			650 kW	1	25,00 €	16.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MdWK			348 kW	1	25,00 €	8.700,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MAK			1	1	1.500,00 €	1.500,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MdWK			1	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Übergabestation	MdWK			348 kW	1	20,00 €	6.960,00 €	
<b>Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges</b>								<b>17.000,00 €</b>
Demontagerbeiten				1	1	9.000,00 €	9.000,00 €	
Provisorien				1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
							0,00 €	

Abbildung 59: Kosten Leistungen TGA, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK (BHKW)

<b>Bauliche Leistungen</b>								<b>34.600,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Bauliche Arbeiten Fernleitung</b>								<b>24.600,00 €</b>
Fernleitungsgraben	TS-1 MAK - MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	175 Trm	120,00 €	21.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß Kutscherhaus	Oberfläche Rasen/Park		1	20 Trm	120,00 €	2.400,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluß MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	10 Trm	120,00 €	1.200,00 €	
							0,00 €	
<b>Bauliche Arbeiten Gebäude</b>								<b>10.000,00 €</b>
Herrichtung HHS-Bunker	MAK	unterirdisch			150 m³	500,00 €	0,00 €	
HHS-Technik-Bunker	MAK	unterirdisch			100 m³	500,00 €	0,00 €	
Herstellung der LKW-Zufahrt	MAK				450 m²	120,00 €	0,00 €	
Anpassungsarbeiten Heizzentrale	MAK			1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MAK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MdWK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Änderungsarbeiten Mülllagerplatz					1	12.000,00 €	0,00 €	
Umbau Fettabscheider					1	15.000,00 €	0,00 €	
Umbau Kanal					1	10.000,00 €	0,00 €	
							0,00 €	

<b>Fördermittel</b>								<b>-20.500,00 €</b>	
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP		
Fördermittel Hessen	Wärmeerzeugungsanlage			0%	1	113.000,00 €	0,00 €		
Fördermittel Hessen	bauliche Anlagen			0%	1	24.600,00 €	0,00 €		
						Summe	0,00 €	begrenzt auf 200.000,00€	
Fördermittel Hessen	Fernleitungsnetz	(bei > 3,0 MWh/a)		1	205 Trm	100,00 €	20.500,00 €	begrenzt auf 100.000,00€	
Fördermittel Bund	als Teilschulderlass im Rahmen der Finanzierung für Wärmeerzeuger und Fernleitungsnetz möglich								
	Deminimis-Regelung ist zu prüfen.								

<b>Nebenkosten</b>								<b>78.706,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
TGA-Planung				1	18%	322.100,00 €	57.978,00 €	
Planung Bauliche Anlagen				1	18%	34.600,00 €	6.228,00 €	
Gebühren für Straßensperrung, Aufbruchgenehmigung etc.				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Honorar Statik					1	12.000,00 €	0,00 €	
Honorar Bodengutachten				1	1	2.500,00 €	2.500,00 €	
Honorar Netzdokumentation				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Bauantragsgebühren					1	4.000,00 €	0,00 €	
Nebenkosten, Sonstiges				1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	

<b>Gesamtaufstellung</b>								<b>414.906,00 €</b>
							GP	
<b>Leistungen TGA</b>							<b>322.100,00 €</b>	
<b>Bauliche Leistungen</b>							<b>34.600,00 €</b>	
<b>Fördermittel</b>							<b>-20.500,00 €</b>	
<b>Nebenkosten</b>							<b>78.706,00 €</b>	

Abbildung 60: Kosten Bauliche Leistungen, Variante 3 – Dezentrale Lösung + Verbund von MAK und MdWK (BHKW)

## Variante 4 - Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus

Leistungen TGA								589.145,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Fernleitung</b>								<b>92.275,00 €</b>
Fernleitung	TS-1 MAK - MdWK		DN 125	1	175 Trm	145,00 €	25.375,00 €	
Fernleitung	Anschluß Kutscherhaus		DN 40	1	20 Trm	95,00 €	1.900,00 €	
Fernleitung	Anschluß MdWK		DN 65	1	10 Trm	110,00 €	1.100,00 €	
Fernleitung	TS-2 MdWK - F+A		DN 100	1	195 Trm	130,00 €	25.350,00 €	
Fernleitung	Anschluß F*A		DN 65	1	55 Trm	110,00 €	6.050,00 €	
Fernleitung	TS-3 F+A - MK		DN 100	1	140 Trm	130,00 €	18.200,00 €	
Fernleitung	Anschluß MK		DN 65	1	130 Trm	110,00 €	14.300,00 €	
				Summe	725 Trm			
<b>Sonstige Leistungen Fernleitungen</b>								<b>11.000,00 €</b>
Dichtheitskontrollsystem				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Umverlegung Fremdleitungen in Straße				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>256.000,00 €</b>
Hackschnitzel-Kesselanlage				500 kW	1	170,00 €	85.000,00 €	
Fördereinrichtung, Siloaustragung				1	1	30.000,00 €	30.000,00 €	
Kratzkettenförderer, hydr.Einschub				1	1	40.000,00 €	40.000,00 €	
Entaschunssystem				1	1	14.000,00 €	14.000,00 €	
Rauchgasentstaubung				1	1	13.000,00 €	13.000,00 €	
Schaltanlage				1	1	22.000,00 €	22.000,00 €	
Verkabelung und E-Installation				1	1	18.000,00 €	18.000,00 €	
Pufferspeicher				1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Kaminanlage				1	1	20.000,00 €	20.000,00 €	
Fernleitungspumpen				1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
				1	1		0,00 €	
<b>Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								<b>128.640,00 €</b>
Gaskesselanlage	MAK	Brennwertkessel		670 kW	1	60,00 €	40.200,00 €	
Gaskesselanlage	MAK			630 kW	1	45,00 €	28.350,00 €	
Gaskesselanlage	Film+Arch.Museum	Brennwertkessel		386 kW	1	65,00 €	25.090,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	Film+Arch.Museum			1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
Schaltanlage	MAK			1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Schaltanlage	Film+Arch.Museum			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Wärmeverteilung mit Zubehör</b>								<b>74.230,00 €</b>
Anbindung an Heizungsnetz	MAK			650 kW	1	25,00 €	16.250,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MdWK			348 kW	1	25,00 €	8.700,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	F+A			386 kW	1	25,00 €	9.650,00 €	
Anbindung an Heizungsnetz	MfK			410 kW	1	25,00 €	10.250,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MAK			1	1	1.500,00 €	1.500,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MdWK			1	1	1.000,00 €	1.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	F+A			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Zuleitung Fernleitung in Keller	MfK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Übergabestation	MdWK			348 kW	1	20,00 €	6.960,00 €	
Übergabestation	F+A			386 kW	1	20,00 €	7.720,00 €	
Übergabestation	MfK			410 kW	1	20,00 €	8.200,00 €	
<b>Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges</b>								<b>27.000,00 €</b>
Demontagearbeiten				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Provisorien				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
							0,00 €	

Abbildung 61: Kosten Leistungen TGA, Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus

<b>Bauliche Leistungen</b>								<b>419.900,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Bauliche Arbeiten Fernleitung</b>								<b>139.400,00 €</b>
Fernleitungsgraben	TS-1 MAK - MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	175 Trm	120,00 €	21.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss Kutscherhaus	Oberfläche Rasen/Park		1	20 Trm	120,00 €	2.400,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss MdWK	Oberfläche Rasen/Park		1	10 Trm	120,00 €	1.200,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Oberfläche Rasen/Park		1	35 Trm	120,00 €	4.200,00 €	
Baustelleneinrichtg Rohrspülung	allgemein			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Horizontalbohrung Straße		1	30 Trm	300,00 €	9.000,00 €	
Durchbruch Ufermauer	TS-2 MdWK - F+A	Ufermauer Mainufer		1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Herstellen Spülgrube	TS-2 MdWK - F+A			1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Oberfläche Rasen/Mainufer		1	130 Trm	120,00 €	15.600,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-2 MdWK - F+A	Horizontalbohrung Straße		1	30 Trm	300,00 €	9.000,00 €	
Durchbruch Ufermauer	TS-2 MdWK - F+A	Ufermauer Mainufer		1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Herstellen Spülgrube	TS-2 MdWK - F+A			1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss F*A	Oberfläche Rasen/Park		1	25 Trm	120,00 €	3.000,00 €	
Fernleitungsgraben	TS-3 F+A - MKK	Oberfläche Rasen/Mainufer		1	140 Trm	120,00 €	16.800,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss MKK	Oberfläche Straßenbelag		1	60 Trm	250,00 €	15.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss MKK	Horizontalbohrung Straße		1	30 Trm	300,00 €	9.000,00 €	
Durchbruch Ufermauer	Anschluss MKK	Ufermauer Mainufer		1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Herstellen Spülgrube	Anschluss MKK			1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Fernleitungsgraben	Anschluss MKK	Oberfläche Rasen/Park		1	35 Trm	120,00 €	4.200,00 €	
							0,00 €	
<b>Bauliche Arbeiten Gebäude</b>								<b>280.500,00 €</b>
Herrichtung HHS-Bunker	MAK	unterirdisch		1	200 m²	500,00 €	100.000,00 €	
HHS-Technik-Bunker	MAK	unterirdisch		1	125 m²	500,00 €	62.500,00 €	
Herstellung der LKW-Zufahrt	MAK			1	450 m²	120,00 €	54.000,00 €	
Anpassungsarbeiten Heizzentrale	MAK			1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MAK			1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MdWK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Trassenführung im Keller	Film+Arch.Museum			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Trassenführung im Keller	MKK			1	1	2.000,00 €	2.000,00 €	
Änderungsarbeiten Müllagerplatz				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Umbau Fettabscheider				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Umbau Kanal				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
							0,00 €	

<b>Fördermittel</b>								<b>-191.120,00 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
Fördermittel Hessen	Wärmeerzeugungsanlage			30%	1	256.000,00 €	76.800,00 €	
Fördermittel Hessen	bauliche Anlagen			30%	1	139.400,00 €	41.820,00 €	
						Summe	118.620,00 €	begrenzt auf 200.000,00€
Fördermittel Hessen	Fernleitungsnetz	(bei > 3,0 MWh/a)		1	725 Trm	100,00 €	72.500,00 €	begrenzt auf 100.000,00€
Fördermittel Bund	als Teilschulderrlass im Rahmen der Finanzierung für Wärmeerzeuger und Fernleitungsnetz möglich							
	Deminimis-Regelung ist zu prüfen.							

<b>Nebenkosten</b>								<b>210.049,20 €</b>
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
TGA-Planung				1	16%	589.145,00 €	94.263,20 €	
Planung Bauliche Anlagen				1	14%	419.900,00 €	58.786,00 €	
Gebühren für Straßensperrung, Aufbruchgenehmigung etc.				1	1	12.000,00 €	12.000,00 €	
Honorar Statik				1	1	15.000,00 €	15.000,00 €	
Honorar Bodengutachten				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Honorar Netzdokumentation				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Bauantragsgebühren				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Nebenkosten, Sonstiges				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	

<b>Gesamtaufstellung</b>								<b>1.027.974,20 €</b>
							GP	
<b>Leistungen TGA</b>							<b>589.145,00 €</b>	
<b>Bauliche Leistungen</b>							<b>419.900,00 €</b>	
<b>Fördermittel</b>							<b>-191.120,00 €</b>	
<b>Nebenkosten</b>							<b>210.049,20 €</b>	

Abbildung 62: Kosten Bauliche Leistungen, Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus

## Variante 5 - Dezentrale Lösung

Leistungen TGA								206.440,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Fernleitung</b>								0,00 €
<b>Sonstige Leistungen Fernleitungen</b>								0,00 €
<b>Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								0,00 €
<b>Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen</b>								168.440,00 €
Gaskesselanlage	MAK	NT-Kessel (redundant)		530 kW	1	45,00 €	23.850,00 €	
Gaskesselanlage	MAK	Brennwertkessel		670 kW	1	60,00 €	40.200,00 €	
Gaskesselanlage	Film+Arch.Museum	Brennwertkessel		386 kW	1	65,00 €	25.090,00 €	
Gaskesselanlage	MdWK	Brennwertkessel		300 kW	1	65,00 €	19.500,00 €	
Gaskesselanlage	MdWK (Kutscherhaus)	Brennwertkessel		48 kW	1	100,00 €	4.800,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	MdWK			1	1	6.000,00 €	6.000,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	MdWK (Kutscherhaus)			1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	
Schornsteinsanierung für Brennwertkessel	Film+Arch.Museum			1	1	8.000,00 €	8.000,00 €	
WW-Bereiter	MAK			1	1	4.000,00 €	4.000,00 €	
Schaltanlage	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Schaltanlage	Film+Arch.Museum			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Schaltanlage	MdWK			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Schaltanlage	MdWK (Kutscherhaus)			1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
							0,00 €	
<b>Wärmeverteilung mit Zubehör</b>								23.000,00 €
Anbindung Kessel-Verteilung	MAK			1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Anbindung Kessel-Verteilung	MdWK			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
Anbindung Kessel-Verteilung	Kutscherhaus			1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	
Anbindung Kessel-Verteilung	F+A			1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
<b>Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges</b>								15.000,00 €
Demontagearbeiten				1	1	10.000,00 €	10.000,00 €	
Provisionen				1	1	5.000,00 €	5.000,00 €	
							0,00 €	

Bauliche Leistungen								0,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
<b>Bauliche Arbeiten Fernleitung</b>								0,00 €
							0,00 €	
<b>Bauliche Arbeiten Gebäude</b>								0,00 €
							0,00 €	

Fördermittel								0,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
Fördermittel Hessen	Wärmeerzeugungsanlage			30%	1	0,00 €	0,00 €	
Fördermittel Hessen	bauliche Anlagen			30%	1	0,00 €	0,00 €	
						Summe	0,00 €	begrenzt auf 200.000,00€
Fördermittel Hessen	Fernleitungsnetz	(bei > 3,0 MWh/a)		1	0 Trm	100,00 €	0,00 €	begrenzt auf 100.000,00€
Fördermittel Bund	als Teilschulderlass im Rahmen der Finanzierung für Wärmeerzeuger und Fernleitungsnetz möglich							
	Deminimis-Regelung ist zu prüfen.							

Nebenkosten								44.288,00 €
Bauteil	Erläuterung	Erläuterung	Dimension	Leistung	Menge	EP	GP	
TGA-Planung				1	20%	206.440,00 €	41.288,00 €	
Planung Bauliche Anlagen				1	14%	0,00 €	0,00 €	
Nebenkosten, Sonstiges				1	1	3.000,00 €	3.000,00 €	

Gesamtaufstellung								250.728,00 €
							GP	
<b>Leistungen TGA</b>							206.440,00 €	
<b>Bauliche Leistungen</b>							0,00 €	
<b>Fördermittel</b>							0,00 €	
<b>Nebenkosten</b>							44.288,00 €	

Abbildung 63: Kosten, Dezentrale Lösung

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 3-a	Variante 4	Variante 5
	Zentrale Lösung	Insellösung	Dezentrale Lösung + Verbund MAK+MdWK	wie Variante 3, jedoch BHKW anst HHS-Anlage	Zentrale Lösung ohne Stadel und Liebighaus	Dezentrale Lösung
<b>Leistungen TGA</b>	<b>761.620,00 €</b>		<b>397.800,00 €</b>	<b>322.100,00 €</b>	<b>589.145,00 €</b>	<b>206.440,00 €</b>
Fernleitung	155.175,00 €		22.250,00 €	22.250,00 €	92.275,00 €	0,00 €
Sonstige Leistungen Fernleitungen	11.000,00 €	nicht ausgewertet, da wirtschaftlich nicht sinnvoll darstellbar	3.000,00 €	3.000,00 €	11.000,00 €	0,00 €
Grundlast-Wärmeerzeugungsanlagen	299.100,00 €		195.000,00 €	113.000,00 €	256.000,00 €	0,00 €
Spitzenlast-Wärmeerzeugungsanlagen	146.290,00 €		126.140,00 €	132.440,00 €	128.640,00 €	168.440,00 €
Wärmeverteilung mit Zubehör	123.055,00 €		34.410,00 €	34.410,00 €	74.230,00 €	23.000,00 €
Wärmeerzeugungsanlagen, Sonstiges	27.000,00 €		17.000,00 €	17.000,00 €	27.000,00 €	15.000,00 €
<b>Bauliche Leistungen</b>	<b>570.300,00 €</b>		<b>263.600,00 €</b>	<b>34.600,00 €</b>	<b>419.900,00 €</b>	<b>0,00 €</b>
Bauliche Arbeiten Fernleitung	245.300,00 €		24.600,00 €	24.600,00 €	139.400,00 €	0,00 €
Bauliche Arbeiten Gebäude	325.000,00 €		239.000,00 €	10.000,00 €	280.500,00 €	0,00 €
<b>Fördermittel</b>	<b>-263.320,00 €</b>		<b>-86.380,00 €</b>	<b>-20.500,00 €</b>	<b>-191.120,00 €</b>	<b>0,00 €</b>
<b>Nebenkosten</b>	<b>258.701,20 €</b>		<b>149.780,00 €</b>	<b>78.706,00 €</b>	<b>210.049,20 €</b>	<b>44.288,00 €</b>

Abbildung 64: Kostenvergleich Varianten

## 9 Trassenpläne Versorgungsvarianten

### Variante 1 - Zentrale Lösung

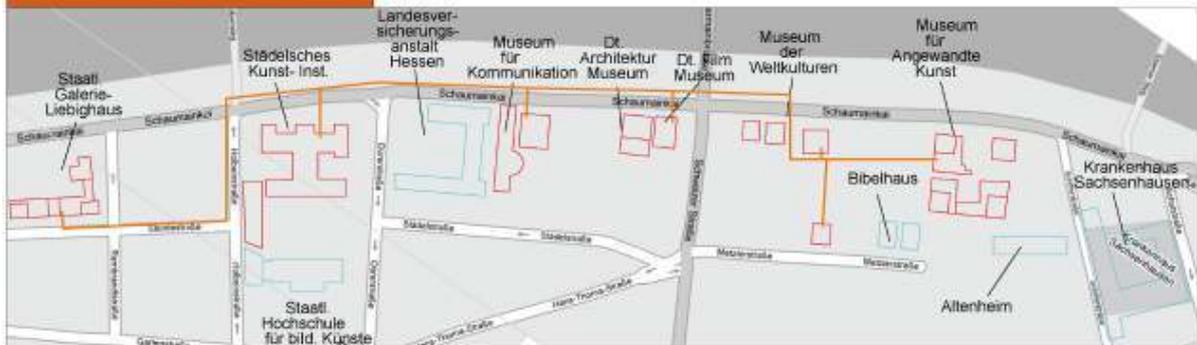


Abbildung 65: Trassenplan Variante 1

### Variante 2 - Insellösung



Abbildung 66: Trassenplan Variante 2

### Variante 3 - Dezentrale Lösung Verbund MAK & MdWK

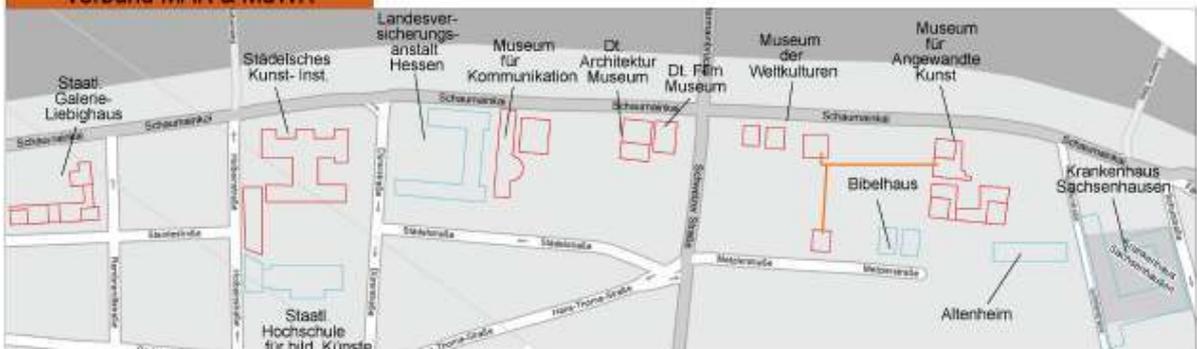


Abbildung 67: Trassenplan Variante 3

### Variante 4 - Zentrale Lösung ohne Städel und Liebighaus

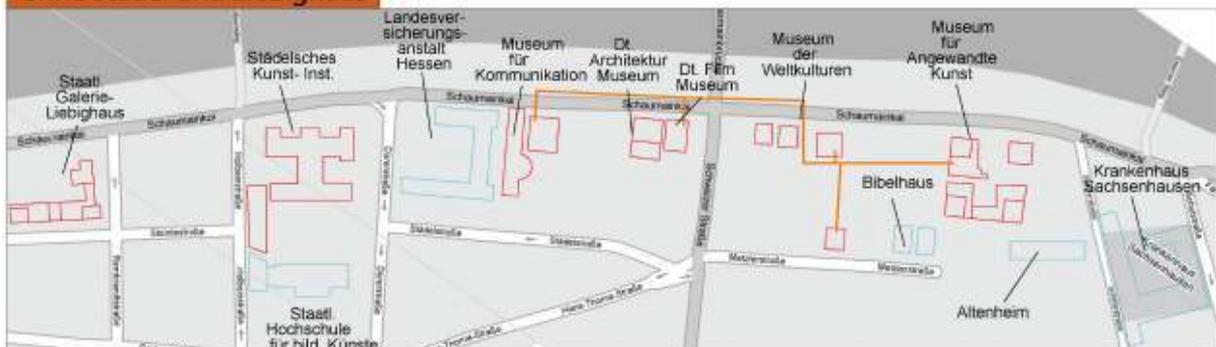


Abbildung 68: Trassenplan Variante 4



## 10 Fotodokumentation

### 10.1 Fotos Gebäude- und Technik Gebäudeweise



Abbildung 69: Kessel Liebighaus



Abbildung 70: Verteilung Liebighaus



Abbildung 71: Lüftungsanlagen Liebighaus



Abbildung 72: Lüftungsanlagen Liebighaus



Abbildung 73: Hausseite vor Hauszentrale Stadel



Abbildung 74: Straßenverlauf Liebighaus - Stadel



Abbildung 75: Heizzentrale 2 Stadel

Wärmeversorgungskonzept Museumsufer, Schlussbericht Seite 82 / 103



Abbildung 76: Verteilung Heizzentrale 2 Stadel



Abbildung 77: Heizzentrale 1 Stadel



Abbildung 78: Heizzentrale 1 Stadel



Abbildung 79: Verteilung Stadel



Abbildung 80: Zugang Heizzentrale Westseite Stadel



**Abbildung 81: Zugang Heizzentrale MAK**



**Abbildung 82: Parkplatz zu Metzlerstraße (evtl. Zufahrt f. Hackschnitzelanlieferung)**



**Abbildung 83: Parkplatz zu Metzlerstraße Ansicht**



**Abbildung 84: Parkplatz zu Metzlerstraße MAK**



Abbildung 85: MAK Villa

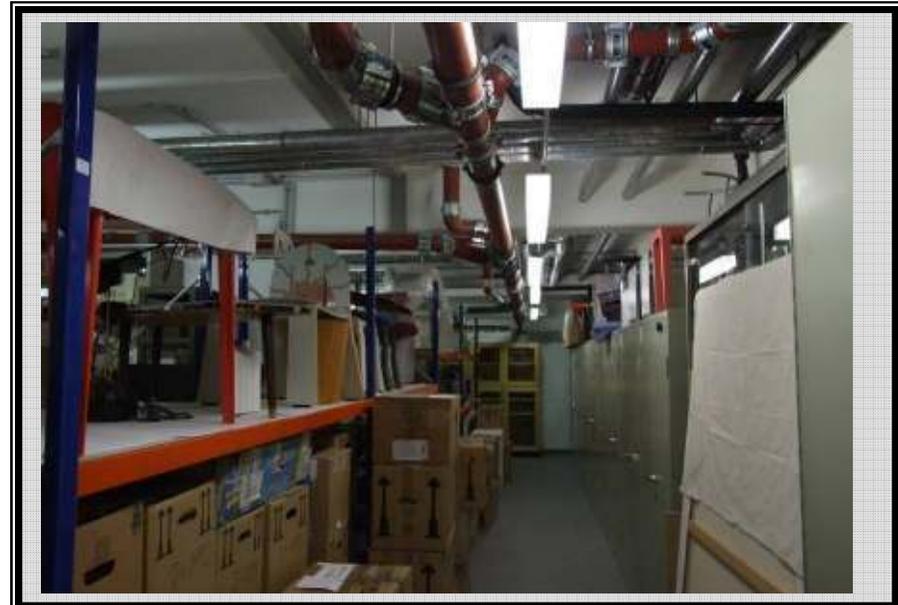


Abbildung 86: Depotraum UG MAK



Abbildung 87 Lüftungszentrale (DG) MAK

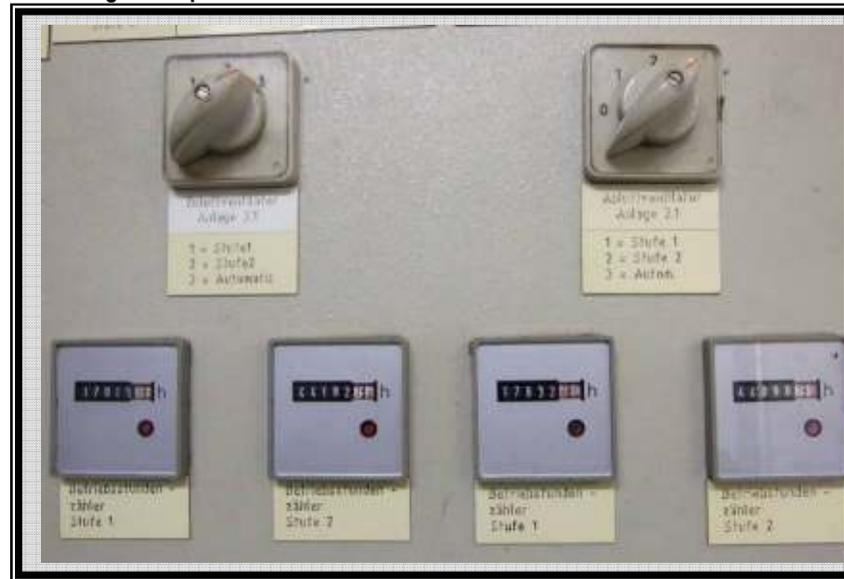


Abbildung 88: Betriebsstundenzähler Lüftung MAK



**Abbildung 89: Lüftungszentrale (DG) MAK**



**Abbildung 90: Lüftungszentrale (DG) MAK**



**Abbildung 91: Kaminanlage im Schacht MAK**



**Abbildung 92: Kaminanlage im Schacht MAK**



Abbildung 93: Museum der Weltkulturen Haus 37 SÜDANSICHT



Abbildung 94: Museum der Weltkulturen Kutscherhaus NORDANSICHT



Abbildung 95: Verteiler MAK



Abbildung 96: Kessel MAK



Abbildung 97: WWB im MAK



Abbildung 98: Schornsteinanschluss MAK



Abbildung 99: Schaltanlagen und Außenzugang Heizzentrale MAK



Abbildung 100: Südseite MAK



Abbildung 101: Zufahrt von Metzlerstraße MAK



Abbildung 102: Fettabscheider (muss ggf. versetzt werden) MAK

### 10.3 Trassenverlauf



Abbildung 103: Westliche vom MAK Trassenweg in Richtung Krankenhaus (MdWK)



Abbildung 104: Ansicht MAK von Westen (evtl. Trassenverlauf)



Abbildung 105: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer



Abbildung 106: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer



Abbildung 107: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer



Abbildung 108: Evtl. Trassenverlauf am Mainufer



Abbildung 109: Stelle für mögliche Straßenunterquerung MdWK - Schaumainkai



Abbildung 110: Uferbefestigung Schaumainkai



**Abbildung 111: Stelle für mögliche Straßenunterquerung MfK - Schaumainkai**

## **11 Leitlinie Wirtschaftliches Bauen Frankfurt am Main**

# Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2008

## Zielsetzung und Gültigkeitsbereich

Ziel der Leitlinien ist es, mit einem Lebenszyklusansatz die jährlichen Gesamtkosten (Summe aus Kapitalkosten, Betriebskosten und Umwelt-Folgekosten) über den betrachteten Nutzungszeitraum zu minimieren. Dies beinhaltet auch eine verbesserte Qualität und Nachhaltigkeit für den Nutzer und die Umwelt.

Weitere Ziele sind eine möglichst weitgehende Herstellung des „barrierefreien Frankfurt“ und der lokale Beitrag zum globalen Klimaschutz (Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Frankfurt am Main um 50 % bis zum Jahr 2010).

Diese Leitlinien gelten für alle Neubau- und Sanierungsvorhaben der Stadtverwaltung, städtischer Einrichtungen und Eigenbetriebe sowie für alle Gebäude, die im Rahmen von PPP-Modellen künftig für die Stadt Frankfurt errichtet werden (StVVB-§2443). Sie implizieren jedoch keine Nachrüstverpflichtung für bestehende Gebäude, soweit dies nicht durch gesetzliche Vorgaben (z.B. in der Energiesparverordnung) festgelegt ist.

## Typen von Leitlinien

Gemäß der o.g. Aufgabenstellung ergeben sich 3 Typen von Leitlinien:

### Typ A: Magistratsbeschlüsse, Stadtverordnetenbeschlüsse, Normen

Hier werden nur die Magistrats-/Stadtverordnetenbeschlüsse und Normen aufgeführt, die in besonderer Weise der o.g. Zielsetzung dienen. Diese sind in jedem Fall umzusetzen. Diese Auflistung erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

*Beispiel: DIN 18024 Barrierefreies Bauen*

### Typ B: Leitlinien zur Minimierung der Investitionskosten

Ein Teil der Leitlinien dient sowohl der Reduzierung der Investitionskosten als auch der Folgekosten. Diese sind im Sinne der Wirtschaftlichkeit auch gegen die Interessen der Planer (geringeres Honorar!) umzusetzen.

*Beispiel: Begrenzung oder Reduzierung der Anschlussleistung von Beleuchtungsanlagen.*

### Typ C: Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten

Einige Maßnahmen zur Minimierung der Folgekosten bedingen eine Erhöhung der Investitionskosten. Bei den Leitlinien Typ C amortisieren sich diese Mehrkosten jedoch in der Regel über die Lebensdauer.

*Beispiel: Einsatz der Brennwerttechnik*

Von den Leitlinien Typ B und C kann abgewichen werden, wenn ein wirtschaftlicher Vorteil mit Hilfe der Gesamtkostenberechnung ([www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement](http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement) -> Rechenverfahren) nachgewiesen werden kann. Dabei sind Umweltfolgekosten in Höhe von 50 €/toCO<sub>2</sub> einzusetzen (Beitrag zum Klimaschutz). Jede Abweichung von den Leitlinien ist auf der zugehörigen Checkliste schriftlich zu begründen.

Bei gleichartigen Baumaßnahmen wird der Wirtschaftlichkeitsvergleich einmal als Grundsatzuntersuchung durchgeführt. Die Ergebnisse werden dann auf die Folgemaßnahmen übertragen.

## Umsetzung der Leitlinien

Die folgenden Leitlinien werden Grundlage aller Architekten- und Ingenieurbeauftragungen. Die Leitlinien spiegeln den aktuellen Stand der Technik wider und werden jährlich fortgeschrieben ([www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement](http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement)). Sie ergänzen die gültigen Normen und Richtlinien und ersetzen nicht eine fachgerechte, projektbezogene Planung.

Wirtschaftliches Bauen wird insbesondere durch eine sorgfältige abgestimmte Planung erreicht, die im Team mit allen beteiligten Fachplanern entwickelt wird. Dazu werden vom Architekten/Projektleiter schon zu Beginn der Vorplanung neben dem Nutzer auch die Fachplaner herangezogen, um anhand der mit dem Nutzer zu präzisierenden Nutzungsanforderungen und örtlichen Gegebenheiten die Planungsziele einer wirtschaftlich optimierten Gesamtkonzeption des Gebäudes zu entwickeln, die den finanziellen Möglichkeiten des Bauherrn Rechnung tragen. Das Honorar soll sich möglichst nicht an den tatsächlichen Kosten orientieren, sondern pauschal vereinbart werden. Für die Unterschreitung der Gesamtkosten ist ein Bonus, für die Überschreitung ein Malus zu vereinbaren.

Die Planungsziele (Kennwerte, Gebäude- und Technikkonzeption, Projektkosten) sollen in einer Zielvereinbarung niedergelegt werden, die im weiteren Planungsverlauf fortgeschrieben wird.

Die Projektleitung muss sicherstellen, dass die Planer für das Gebäude und die technischen Anlagen eine ausführliche und allgemeinverständliche Nutzungs- und Betriebsanleitung anfertigen um sicherzustellen, dass die in der Planung vorgegebenen wirtschaftlichen Ziele auch im Gebäudebetrieb erreicht werden. Weiterhin muss eine ausführliche Einweisung der Nutzer erfolgen. Alle Unterlagen sind in Standarddateiformaten zusammenzustellen (dxf, dwg, doc, xls, pdf, jpg). Dabei ist die Dokumentationsrichtlinie des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt vom 30.11.06 einzuhalten ([www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm](http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm)).

## 1 Baustoffe

### A. Magistratsbeschlüsse, Stadtverordnetenbeschlüsse, Normen

Folgende Baustoffe dürfen nicht verwendet werden:

- a) Bauteile aus Tropenhölzern sofern nicht FSC-zertifiziert (Forest Stewardship Council, [www.fsc-deutschland.de](http://www.fsc-deutschland.de), MB 2561 vom 08.12.1989)
- b) Folgende Bauteile aus Polyvinylchlorid (PVC):  
Zu- und Abwasserleitungen, Fußbodenbeläge, Tapeten, Fenster und Türprofile, Elektroleitungen und Verlegematerial. Es sind grundsätzlich halogenfreie Kabel einzusetzen, Ausnahme: Teilsanierung bestehender Anlagen mit PVC-Kabeln und erdverlegte Leitungen (MB 525 vom 16.02.1990).
- c) Es sind nur Baustoffe zu verwenden, die eine hohe Gesundheits- und Umweltverträglichkeit aufweisen. Nicht einzusetzen sind beispielsweise asbesthaltige, radioaktive und PCB-haltige Baustoffe, sowie unter Einsatz von Fluorchlorkohlenwasserstoffen hergestellte Baustoffe (z.B. FCKW geschäumte Platten).
- d) Mineralfasern sind gegen die Innenraumluft vollständig abzudichten.

### C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten

- a) Es sind Baustoffe vorzusehen, die mit einem geringstmöglichen Einsatz und Gehalt von Formaldehyd hergestellt sind.
- b) Beim vorbeugenden Holzschutz sind alle konstruktiven Maßnahmen auszuschöpfen. Der Einsatz chemischer Holzschutzmittel ist auf das notwendige Maß zu beschränken. Im Innenbereich sind chemische Holzschutzmittel zu vermeiden.
- c) Es sind möglichst lösungsmittelfreie Oberflächenbehandlungs-, Anstrich- und Klebstoffe zu verwenden. Müssen lösungsmittelarme Stoffe verwandt werden, sollen diese ein Umweltzeichen für „schadstoffarm“ besitzen (siehe auch 3.2 Lüftung).
- d) Fenster sind zur Minimierung des Bauunterhaltungsaufwandes in der Regel als Holzfenster mit Aluverkleidung auf der Außenseite auszuführen.
- e) Es sind recyclinggerechte und leicht demontierbare Konstruktionen zu verwenden, sofern wirtschaftlich verfügbar. Dies gilt besonders für Rohre, Kanäle und Leitungen.

## 2 Hochbau

### A. Magistratsbeschlüsse, Stadtverordnetenbeschlüsse, Normen

- a) Neue städtische Gebäude haben dem Passivhausstandard zu genügen und sind entsprechend zu konzeptionieren (u.a. Jahresheizwärmebedarf  $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , [www.passiv.de](http://www.passiv.de)). Sollte dieser Standard nicht erreicht werden können, ist dies zu begründen. In allen Fällen gilt als Mindeststandard eine dreißig Prozent bessere Energieeffizienz, als die EnEV 2007 verlangt (StVVB §2443 vom 06.09.2007).
- b) Bei Sanierungen von städtischen Gebäuden sind Passivhauskomponenten einzusetzen (Dämmung, Fenster, Lüftung mit Wärmerückgewinnung  $> 75 \%$ ). Der Passivhausstandard ist anzustreben. Sollte dieser Standard nicht erreicht werden können, ist dies zu begründen. In allen Fällen gilt als Mindeststandard eine dreißig Prozent bessere Energieeffizienz, als die EnEV verlangt. Es ist anzustreben, dies auch bei denkmalgeschützten Gebäuden - unter Wahrung der Denkmalbelange - zu erreichen (StVVB §2443 vom 06.09.2007). In der Regel gilt: Außenwand  $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Dach  $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Boden/Kellerdecke  $U \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Innendämmung  $U \leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Fenster und Türen  $U \leq 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Verglasung  $U \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Bei WLG 035 ergeben sich daraus i.d.R. folgende Mindestdämmstoffdicken: Außenwand  $\geq 16 \text{ cm}$ , Dach  $\geq 25 \text{ cm}$ , Boden/Kellerdecke:  $\geq 10 \text{ cm}$ , Innendämmung  $\geq 10 \text{ cm}$ ).
- c) Es ist die DIN 18024 Barrierefreies Bauen - speziell Teil 2 Planungsgrundlagen für öffentlich zugängliche Gebäude einzuhalten (neu: DIN 18030). Außerdem ist das Hessische Behinderten-Gleichstellungsgesetz (HessBGG) zu beachten. Soweit in begründeten Einzelfällen davon abgewichen werden soll, wird dies in der Bau- und Finanzierungsvorlage dargestellt.
- d) Bei Neu- und Erweiterungsbauten soll die Ausstattung von Sanitärräumen für Behinderte den Vorgaben der AMEV-Richtlinie "Sanitärbaubau 95", Anlage 4 entsprechen.
- e) Der sommerliche Wärmeschutz ist immer gemäß der EnEV nach DIN 4108 T2 nachzuweisen.
- f) Bei Neubauten und Sanierungsmaßnahmen von Dächern ist immer die Möglichkeit zum Bau von Solarstromanlagen einzubeziehen. Wenn keine eigene Anlage errichtet wird, ist die Dachfläche Investoren zur Verfügung zu stellen (StVVB § 1491 vom 01.03.2007). Alle für die Nutzung von Solarenergie geeigneten Dachflächen (Himmelsrichtung!) sind statisch so auszulegen, dass eine Solar- oder Photovoltaikanlage nachgerüstet werden kann (Schrägdach: zusätzlich  $20 \text{ kg/m}^2$ , Flachdach: zusätzliche Punktlasten  $75 \text{ kg}$ , zusätzliche Flächenlast:  $20 \text{ kg/m}^2$  bei vorhandener Bekiesung). Bei einer dachhautintegrierten Photovoltaikanlage ist diese statische Reserve nicht erforderlich. Notwendige Schächte/Leerrohre für die Führung von Leitungen sind vorzuhalten.
- g) Bei größeren Schul- und KT-Sanierungen sowie Brandschutzsanierungen muss geprüft werden, ob anstehende energiesparende Maßnahmen mit umgesetzt werden können. Beispielsweise muss beim Austausch von Fenstern die ungedämmte Fassade mit saniert werden (Energiespar-Offensive, 12 Punkte-Plan für Kitas und Schulen).



### B. Leitlinien zur Minimierung der Investitionskosten

- a) Wirtschaftlich günstige Kennzahlen von BGF/HNF und BRI/HNF sind einzuhalten. Anzustreben sind die Orientierungswerte der Dienstanweisung Bau des Landes Hessen (z.B. für Schulen  $\text{BGF} \leq 1,75 \times \text{HNF}$ ,  $\text{BRI} \leq 6 \times \text{HNF}$ ).
- b) Die Konstruktion ist so auszuführen, dass der Aufschlag für die Wärmebrücken auf die U-Werte nach EnEV max.  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$  beträgt.
- c) Räume sind soweit möglich natürlich zu belichten und belüften. Dies gilt auch für Passivhäuser außerhalb der Heizperiode.
- d) Für die natürliche Lüftung in Unterrichtsräumen sind Fensteröffnungsflügel von min.  $0,1 \text{ m}^2$  je Sitzplatz bei Querlüftung und min.  $0,3 \text{ m}^2$  je Sitzplatz ohne Querlüftung vorzusehen
- e) Fensterflächen sind unter Berücksichtigung der Belange der Belichtung, der Belüftung, der Absturzsicherung, des Sonnenschutzes und der Glasreinigung zu optimieren. Die

Kosteneinsparungen durch Festverglasungen müssen den evtl. erhöhten Reinigungskosten durch Hubsteiger gegenübergestellt werden.

- f) Folgende Mindestreflexionsgrade der Innenflächen sind einzuhalten: Decke > 0,8, Wände > 0,5, Fußboden > 0,3 (Berechnung nach DIN 5036 Teil 4, AMEV-Beleuchtung 2000).
- g) Zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung sind ausreichende Speichermassen an die Räume anzukoppeln (z.B. Verzicht auf abgehängte Decken, Einbau massiver Innenwände und Latentwärmespeicher) und entsprechende Auskühlmöglichkeiten (Nachtlüftung) vorzusehen. Dabei ist die Akustik zu beachten. Notwendige Akustikelemente können hinterlüftet werden.
- h) Räume mit hohen internen Lasten (z.B. EDV-Schulungsräume, Serverräume, Küchen) sind möglichst an der Nordfassade oder in natürlich belüfteten Kellerräumen anzuordnen.
- i) Wegen der möglichen hohen Kosten sollte bei der Planung frühzeitig der vorbeugende Brandschutz eingeschaltet werden. Durch geschickte Gestaltung können kostenintensive RWA, Brandschutzklappen, mit Überdruck belüftete Aufzugsvorräume oder motorisch betriebene, besonders im Schulbetrieb anfällige, Brandschutztüren vermieden werden.
- j) Planungskonzepte, die die Gebäudetechnik und deren Steuerung minimieren, sind zu bevorzugen (LowTech zur Verringerung des Betriebs- und Wartungsaufwandes).

### **C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten**

- a) Bei Neu- und Erweiterungsbauten sind vor den Hauptzugängen ausreichend große unbeheizte Windfänge vorzusehen. Die Türen sind mit automatischen Türschließern (ohne Feststeller) auszustatten. Dabei muss insbesondere bei Kindergärten und Grundschulen beachtet werden, dass die Türen von Kindern alleine bedient werden können. Der Einbau von motorisch betriebenen Türen ist zu vermeiden.
- b) Bei Neubauten und Komplettsanierungen ist die Dichtigkeit der Gebäudehülle grundsätzlich durch einen Blower-door-Test nach EnEV nachzuweisen (für Passivhausbauweise  $n_{50} \leq 0,6/h$ , sonst  $n_{50} \leq 1,0/h$ ). Evtl. Leckagen sind möglichst mit Thermografieaufnahmen zu orten.
- c) Durch den Einsatz von 3-fach Wärmeschutzverglasungen sind auch bei bodentiefer Verglasung Heizkörper hinter verglasten Flächen zu vermeiden.
- d) Der Tageslichtquotient (Verhältnis von Beleuchtungsstärke innen zu außen, Berechnung nach DIN 5034) soll an allen Stellen, wo 300 lux oder mehr gefordert wird, mindestens 3 % und in Fluren und Treppenhäusern mindestens 1 % betragen. Dies wird i.d.R. erreicht, wenn die Fensterfläche 10% der Bodenfläche übersteigt, die Raumtiefe max. 7 m beträgt, Stürze minimiert werden, und Oberlichter über Flurtüren eingesetzt werden.
- e) Grundsätzlich ist für einen wirksamen außenliegenden Sonnenschutz der Nutzflächen zu sorgen (Durchlassfaktor  $b < 0,2$  nach VDI 2078), sofern diese nach Süden, Westen oder Osten ausgerichtet sind (Nachweis nach EnEV). Der Sonnenschutz muss so einstellbar sein, dass auch bei voller Schutzfunktion auf Kunstlicht verzichtet werden kann. Dies gewährleisten i.d.R. nur zweiteilig kippbare gut reflektierende außenliegende Lamellenjalousien.
- f) Notwendige Sonnenschutzanlagen müssen motorisch über eine Wetterstation (Temperatursensor, Strahlungssensor + Windwächter) gesteuert werden (zeitversetzt zur Emax-Begrenzung) und für Windgeschwindigkeiten von mindestens 13 m/s ausgelegt sein (feste Schienen). Während des Heizbetriebes sollte der Sonnenschutz nicht gezogen werden (passive Solarenergiegewinnung!). Für ausreichende Hinterlüftung ist in jedem Fall zu sorgen. Die Funktion muss auch außerhalb der Nutzungszeit gewährleistet sein. Auf eine Reinigungsmöglichkeit ist zu achten.

## 3 Technik

### 3.1 Heizungstechnik

#### A. Magistratsbeschlüsse, Stadtverordnetenbeschlüsse, Normen

- a) Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen sind nach Anhang 5 Tabelle 1 der Energiesparverordnung (EnEV 2007) zu dämmen.
- b) Bei Neubau und Sanierung von Heizungsanlagen ist zu überprüfen, ob der Einsatz von Blockheizkraftwerken oder Holzfeuerungsanlagen möglich ist. Die beauftragten BHKW-Planer sollen über entsprechende Planungs-Referenzen verfügen (Energiespar-Offensive, 12 Punkte-Plan für Kitas und Schulen).



#### B. Leitlinien zur Minimierung der Investitionskosten

Beim Einbau von neuen Wärmeerzeugern im Bestand ist die gemessene oder über Regression ermittelte Bezugsleistung bei Auslegungstemperatur (-12°C) zugrunde zu legen. Bei Neubauten sind nicht die Randbedingungen der DIN EN 12831 sondern der DIN 4701 zu verwenden (keine Aufheizreserve, geringerer Luftwechsel). Der ermittelte Wert soll nicht überschritten werden um die Investitionskosten, den Leistungspreis und die Bereitschaftsverluste zu minimieren.

#### C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten

Bei allen wartungsbedürftigen technischen Anlagen (insbesondere bei Blockheizkraftwerken) sind Wartungsverträge über die rechnerische Anlagenlebensdauer (min. 10 Jahre) mit auszuschreiben, damit entschieden werden kann, welches Angebot auch bei Betrachtung der Betriebsphase am wirtschaftlichsten ist.

#### 3.1.1 Wärmeversorgung

- a) Bei Gasversorgung ist für die Grundlast grundsätzlich ein Brennwertkessel (oder eine Brennwerttherme) einzusetzen.
- b) Bei Holzheizungsanlagen sind die Emissionsgrenzwerte des Blauen Engel einzuhalten ([www.blauer-engel.de](http://www.blauer-engel.de), Emissionswerte Staub unter 30-35 mg/m<sup>3</sup> Abgas). Eine Halbierung dieses Grenzwertes ist anzustreben. Bei größeren Anlagen eine Emission von weniger als 15 mg/m<sup>3</sup> einzuhalten.
- c) Bei Freibädern ist die Beckenwassererwärmung (sofern erforderlich) mit einer Solaranlage auszuführen.
- d) Bei Turnhallen und Sportanlagen ist der Einsatz einer solaren Brauchwassererwärmung zu prüfen. Dadurch kann im Sommer die Kesselanlage abgeschaltet werden (Einsparung von Bereitschaftsverlusten, Pumpenstrom und Wärmeverlusten für die Fernleitung).
- e) Blockheizkraftwerke, Erdsondenanlagen, Holzheizungsanlagen und Solaranlagen sind grundsätzlich mit einem Wärmemengenzähler auszustatten.
- f) Elektrodirektheizungen sind auch bei temporären Bauten (Containerauslagerungen) wegen des hohen Leistungsbedarfs in aller Regel unwirtschaftlich (Aufheizung in HT-Zeit!). Daher ist auch hier im Regelfall eine Gasbeheizung oder wenn das nicht wirtschaftlich ist eine Nachtspeicherheizung vorzusehen.

#### 3.1.2 Wärmeverteilung

- a) Es ist eine Strangregelung möglichst für jedes Gebäude einzeln vorzusehen. Die Aufteilung erfolgt im Regelfall in 2 Heizkreise (N-O, S-W). Aus wirtschaftlichen Gründen sollte jede Gruppe eine Leistung von mindestens 30 kW haben.
- b) Je nach Nutzungsanforderungen sind weitere Heizkreise einzurichten (z.B. Verwaltung, Turnhallen mit Dusch- und Umkleieräumen, Aulen).
- c) Neue Heizkörper sind höchstens mit 70°C/50°C aus zulegen. Wichtig ist insbesondere eine niedrige Rücklauftemperatur für die Ausnutzung des Brennwertes. Zur Vereinfachung der Reinigung soll der Anschluss der Heizkörper über die Wand erfolgen.
- d) Heizkörper vor Glasflächen sind bei Neubauten zu vermeiden und bei Sanierungsmaßnahmen mit einem wirksamen Strahlungsschirm zu versehen. Bei

- Passivhausbauten sind die Heizkörper nicht unter dem Fenster sondern (wenn überhaupt nötig) auf der Rauminnenseite zu platzieren (s. 2.C.c).
- e) Die Beheizung von Räumen in Passivhausgebäuden und -kindertagesstätten mit Anforderung über 17 Grad soll in der Regel über je einen Heizkörper pro Raum erfolgen (in der Regel nur notwendig, wenn keine Nutzer im Raum sind).
  - f) Die Regelung ist mit einer nutzerfreundlichen Nacht-, Wochenend- und Ferienabsenkung auszustatten. Außerhalb der Nutzungszeiten sind oberhalb einer Außentemperatur von 5°C auch die Kessel- und Heizkreispumpen abzuschalten.
  - g) Die Regelung ist mit einem Optimierungsprogramm auszustatten, um eine möglichst energiesparende Anpassung der Regelkurve, des Aufheizzeitpunktes und des Absenkezeitpunktes sicherzustellen.
  - h) Es sind grundsätzlich Pumpen der Energieeffizienzklasse A (eff1) einzusetzen. Alle Pumpen werden bei wechselndem Bedarf mit einer Zeitschaltung und Drehzahlregelung versehen (Frostschutz beachten!). Die örtlich angemessene Einstellung ist bei der Abnahme/Übergabe zu prüfen. Sofern eine Leittechnik vorhanden ist, ist die Störmeldung der Pumpensteuerung aufzuschalten.
  - i) Für Räume, die eine zeitlich differenzierte Nutzung haben (z.B. Klassenräume in Schulen), sind grundsätzlich Einzelraumregelungen erforderlich (Ausnahme: Passivhaus). Auch hier sollten 2 Heizkreise (z.B. N-O, S-W) vorgesehen werden. In diesem Fall sind alle Heizkörper mit absperrbaren Rücklaufverschraubungen mit reproduzierbarer Voreinstellung (Kennlinie) auszustatten.
  - j) Bei Einzelraumregelung sollte die Fensteröffnung über das plötzliche Absinken der Raumtemperatur erkannt werden und zu einer Drosselung der Heizwärmezufuhr führen. Wenn bei länger aufstehendem Fenster die Frostsicherung anspringt, sollte eine Meldung an den Hausmeister erfolgen. Die Temperaturfühler sind in ausreichendem Abstand (> 1m) von Türen und Fenstern etc. anzuordnen.
  - k) Wenn keine Einzelraumregelung zum Einsatz kommt, sind voreingestellte Thermostatventile einzubauen (Voreinstellung: Max = Solltemperatur, Min = Frostsicherung = 5°C). Die Max.- und Min.-Begrenzung darf nur für das Betriebspersonal einstellbar sein. Die Absperrung bzw. der Abgleich der Heizkörper muss über das Thermostatventil oder die Rücklaufverschraubung möglich sein.
  - l) Eine Heizungsanlage ist erst abzunehmen, wenn ein ausführliches Protokoll für den hydraulischen Abgleich vorliegt. Der Punkt ist explizit im Leistungsverzeichnis aufzunehmen.
  - m) Bei der Einregulierung der Anlagen sind während der Nutzungszeit die Temperaturvorgaben der AMEV-Richtlinie Heizbetrieb 2001 einzustellen (z.B. Büro- und Unterrichtsräume 20°C, Flure und Treppenhäuser 12°C, WCs 15°C, Turnhallen 18°C, Umkleide- und Duschräume 22°C).
  - n) Die Regelung der Heizung ist so einzustellen, dass erst bei einer Außentemperatur unter 15°C der Heizbetrieb ermöglicht wird (AMEV-Heizbetrieb 2001).

### 3.2 Lüftungstechnik

#### A. Magistratsbeschlüsse, Stadtverordnetenbeschlüsse, Normen

- a) Insbesondere in Unterrichts- und Fachräumen sind die Schadstoffkonzentrationen unter den gesetzlichen Grenzwerten zu halten (z.B. RAL 4 nach DIN EN 13779). Es sind entsprechende Lüftungskonzepte zu entwickeln. Lüftungsanlagen sind in der Regel nur als „einfache Lüftungsanlagen“ (THM-C0 nach DIN 13779) auszuführen.
- b) Bei Sanierungen von städtischen Gebäuden sind Passivhauskomponenten einzusetzen (Lüftung mit Wärmerückgewinnung > 75 %, StVVB §2443 vom 06.09.2007). Empfohlen wird eine Wärmerückgewinnung > 80 %.

#### B. Leitlinien zur Minimierung der Investitionskosten

- a) Die Luftmenge und der Außenluftanteil ist auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken (i.d.R. RAL 4 nach DIN EN 13779, d.h. 20 m<sup>3</sup>/Ph). Zeitlich beschränkte Zusatzemissionen sind durch Fensterlüftung abzuführen.
- b) Bei einer Passivhauslüftung mit Wärmerückgewinnung und einem Heizkörper pro Raum kann i.d.R. auf Nachheizregister verzichtet werden.

- c) Durch intelligente Kanalführung sind Brandschutzklappen weitgehend zu vermeiden.

### **C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten**

- a) Lüftungsanlagen sind i.d.R. gemäß der Norm DIN 13779 mit den Anforderungen Untergrenze „üblich“, mindestens „normal“ oder „standard“ auszuführen. Das heißt, Anlagen haben die Effizienzklasse SFP 1 oder SFP 2 (Standard) einzuhalten, entsprechende Druckverlustvorgaben nach Tabelle A4 und A5 (normal bis niedrig) sind daher vorzugeben. Damit ist i.d.R. ein spezifischer Verbrauch von  $< 0,45 \text{ Wh/m}^3$  einzuhalten (im Passivhaus zwingend).
- b) Die Steuerung erfolgt i.d.R. nach RAL-C3 (Zeitprogramme) oder besser. Bedarfstaster für den Nutzer sind auf eine Zeitdauer von max. 3 h zu begrenzen (Fachklassen: 45 min).
- c) Die Grenzwerte des Leitfadens elektrische Energie im Hochbau des Landes Hessen (LEE, Fassung Juli 2000) sind einzuhalten, die Zielwerte sind anzustreben (z.B. Lüftung Nichtraucherbüro mit normaler Technik: Grenzwert:  $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , Zielwert  $1,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).
- d) Für Lüftungsmotoren ab 200 W ist grundsätzlich eine Drehzahlsteuerung einzubauen. Bei konstanten Lastverhältnissen und soweit wirtschaftlich ist auch Stufenschaltung möglich.
- e) Bei RLT-Anlagen mit stark variierender Nutzungsanforderung (z.B. Aulen) muss die Anpassung an den tatsächlichen Bedarf (Personenzahl, Raumtemperatur) durch Stufenschalter/ Drehzahlregelung der Motoren, bzw. Verändern des Außenluftanteils für den Betreiber in einfacher Weise möglich sein. Vorzugsweise sollte die Regelung über die Luftqualität ( $\text{CO}_2$ ) erfolgen. Bei der Lüftung von Bädern oder Duschräumen sollte die Schaltung über einen Hygrostaten oder eine Zeitschaltuhr erfolgen.
- f) Bei Luftheizung ist die Aufheizung vor der Nutzung im Umluftbetrieb zu ermöglichen.
- g) Aus hygienischen Gründen wird in Schulen und Kindergärten keine regenerative Wärmerückgewinnung mit der Gefahr der Übertragung von Schadstoffen zwischen Zu- und Abluft eingesetzt.
- h) Die Lüftung in Passivhäusern wird nach dem Belegungsplan gesteuert. Die Zuluft wird im Betrieb nur über einen Wärmetauscher erwärmt. Für Vorlaufzeiten vor der Nutzung wird zur Temperierung das Frostschutzregister verwendet.

## **3.3 Klimatechnik**

### **A. Magistratsbeschlüsse, Stadtverordnetenbeschlüsse, Normen**

- a) Wenn aktive Kühlung notwendig ist, soll die Nutzung erneuerbarer Energien wie z.B. Photovoltaik-Anlagen oder Erdsonden eingeplant werden (StVVB §2443 vom 06.09.2007).

### **B. Leitlinien zur Minimierung der Investitionskosten**

- a) Kühltechnik ist nach Möglichkeit zu vermeiden (Verkleinerung der Glasflächen, Sonnenschutz, Anordnung von Speichermasse, Nachtlüftung, Verlegung von zu kühlenden Einrichtungen in nördlich orientierte Außen- oder Kellerräume).
- b) Wenn Kühlung erforderlich ist, sind zunächst die Möglichkeiten der nächtlichen freien Kühlung und der adiabatischen Kühlung zu untersuchen. Trinkwasser soll grundsätzlich nicht zur Kühlung eingesetzt werden.
- c) Die Steuerung der Kühlung ist so einzustellen, dass diese erst ab einer Raumtemperatur von  $26^\circ\text{C}$  in Betrieb gehen kann (dies gilt auch für EDV-Räume!).

### **C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten**

- a) Wenn eine aktive Kühlung erforderlich ist und Fernwärme oder BHKW-Abwärme zur Verfügung stehen, ist der Einsatz von Absorptionskälte zu prüfen.
- b) Bei Komfort-Kühlung ist die Raum-Solltemperatur gleitend mit der Außentemperatur anzuheben (ab  $29^\circ\text{C}$ : Raumsolltemperatur = Außentemperatur -  $3^\circ\text{C}$ ).
- c) Der Kühlbetrieb ist nur zu ermöglichen, wenn in den entsprechenden Räumen der Sonnenschutz aktiviert ist.
- d) Bei konservatorischen Anforderungen (z.B. Museen) Sollfeuchte und Solltemperatur jahreszeitlich gleiten lassen. Veränderungsgeschwindigkeit für Temperatur und Feuchte nach Nutzungsanforderung begrenzen.

### 3.4 Sanitärtechnik

#### B. Leitlinien zur Minimierung der Investitionskosten

- a) Handwaschbecken sind nur mit Kaltwasserhähnen auszustatten.
- b) Warmwasserspeicher sind nur für den nachgewiesenen Bedarf auszulegen (keine Sicherheitszuschläge, möglichst nur Klein-Anlagen mit max. 400 l nach DVGW-Arbeitsblatt W 551). Im Bestand sind vorher Messungen zur Ermittlung des Warmwasserbedarfes durchzuführen.



#### C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten

- a) Trinkwasserleitungen sind mit Edelstahl- oder Kunststoffverbundleitungen auszuführen.
- b) Sanitärobjekte sind zur Minimierung der Reinigungskosten grundsätzlich wandhängend auszuführen.
- c) WC-Sitze sind mit stabiler Befestigung (durchgehende Edelstahl-Scharnierwelle) einzubauen.
- d) Es sind nur Spülkästen mit Stoptaste oder separater Kleinmengentaste und Benutzerhinweis einzubauen.
- e) Spülkästen sollen eine Spülmenge von max. 4,5 Liter aufweisen (Ausnahmen im Bestand!).
- f) In Gebäuden mit mehr als 5 Urinalen und mehr als 30 Nutzungen pro Tag sind alle Urinale als Trocken-Einzelurinale auszuführen, sofern dem nicht begründete Nutzerwünsche entgegenstehen.
- g) Für Waschbecken sind Strahlregler einzubauen (max. 5 l/min).
- h) Es sind Duscharmaturen mit max. 7 l/min und gleichzeitig fülligem Strahl einzubauen.
- i) Bei Handwaschbecken und Duschen sind Selbstschlussarmaturen einzusetzen. Die Laufzeit ist bei Handwaschbecken auf 5 sec und bei Duschen auf 40 sec zu begrenzen. Voraussetzung ist ein Filter, der Fremdkörper fernhält.
- j) Zur Legionellenprophylaxe sind in Duschen möglichst nur sog. Frischwasserstationen einzusetzen (siehe DST-Hinweis Nr. 17). Bei entfernten nur gelegentlich genutzten Duschen (Sozialbereich Küchen und KTs sind häufig Klein-Durchlauferhitzer (4-5 kW) wirtschaftlich.
- k) Untertischspeicher sind wegen der hohen Leerlaufverluste zu vermeiden. Stattdessen sind Kleinst-Durchlauferhitzer (2 kW) einzusetzen.
- l) Bei großen Kesseln bzw. langen Wärmeleitungen und geringem WW-Bedarf ist eine separate Beheizung des Warmwasserspeichers (z.B. mit Therme) zu prüfen.
- m) Die WWB-Ladepumpe und die Zirkulationspumpen sind in Energieeffizienzklasse A auszuführen und sollen über Schaltuhr (und evtl. Anlegethermostat) gesteuert werden. Dabei ist das DVGW-Arbeitsblatt 551 zu berücksichtigen.
- n) Die Wasserversorgungsleitung vom Verteiler zu WC- und ggf. Urinalanlagen ist separat zu verlegen, um eine Umstellung auf Regenwasser zu erleichtern.
- o) Bei einem hohen Bedarf an Brauchwasser (>60 m<sup>3</sup>/a) sind Möglichkeiten zur Regen- und Brauchwassernutzung wirtschaftlich zu untersuchen. Für die Freiflächenbewässerung (z.B. für Sport- und Grünanlagen) ist die Regenwassernutzung in der Regel wirtschaftlich, wenn ausreichend große Dachflächen zur Verfügung stehen.
- p) Rohrleitungen, speziell Regenfallrohre sind zur Vereinfachung von Wartung und späterem Austausch leicht zugänglich zu verlegen. Bei Passivhäusern bedeutet dies aufgrund der notwendigen Dämmung in der Regel an der Außenfassade.

### 3.5 Elektrotechnik, Elektrogeräte

#### A. Magistratsbeschlüsse, Stadtverordnetenbeschlüsse, Normen

In Schulen und Kindertagesstätten dürfen keine Glühlampen mehr verwendet werden. Bei größeren Sanierungsmaßnahmen sind ältere Leuchtstoffröhren gemäß Punkt 3.5.B.b) zu ersetzen (Energiespar-Offensive, 12 Punkte Plan für Kitas und Schulen).



#### B. Leitlinien zur Minimierung der Investitionskosten

- a) Bei der Ausstattung der Räume mit Leuchten ist darauf zu achten, dass die erforderliche Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12464 nicht überschritten wird. Dazu ist für jede Raumart ein rechnerischer Nachweis mit einem geprüften Programm zu erbringen. Das Ergebnis ist nach Einbau der Leuchten stichprobenartig nachzumessen.
- b) Die Grenzwerte des Leitfadens elektrische Energie im Hochbau des Landes Hessen (LEE, Fassung 1996) sind einzuhalten, die Zielwerte sind anzustreben. Die installierte Leuchtenleistung wird gemäß DIN 18599 auf die erforderliche Nennbeleuchtungsstärke bezogen (Achtung: Programme wie Dialux beziehen nicht normgerecht auf  $E_m$ !). Der Grenzwert beträgt einschließlich Vorschaltgerät  $2,5 \text{ W/m}^2/100\text{lx}$ , der Zielwert  $2 \text{ W/m}^2/100\text{lx}$ . Die Werte gelten für die Summe aus Grund- und (sofern vorhanden) Effektbeleuchtung. Daraus folgt z.B. für einen Klassenraum mit 300 lux ein Grenzwert von  $7,5 \text{ W/m}^2$  und ein Zielwert von  $6 \text{ W/m}^2$ . Ein Standard-Klassenraum kann in der Regel mit acht einflammigen, effizienten, breitstrahlenden 36-Watt-Leuchten (davon zwei für die Tafel) ausreichend ausgeleuchtet werden. Bei einem Fachklassenraum reichen meist sechs 2x36-Watt-Leuchten und zwei 36-Watt-Leuchten für die Tafel aus.
- c) EDV-Zentralgeräte mit hoher Wärmeabgabe oder Kühlungsbedarf sind grundsätzlich in nördlich orientierten Außen- oder Kellerräumen (sofern trocken!) zu installieren.
- d) Vor der Vergrößerung einer Trafostation oder eines Elektroanschlusses ist zu prüfen, ob durch kostengleiche Einsparmaßnahmen im Bestand die notwendige Leistungserhöhung vermieden werden kann (z.B. durch Beleuchtungssanierung oder Umstellung der Küche auf Gas).

#### C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten

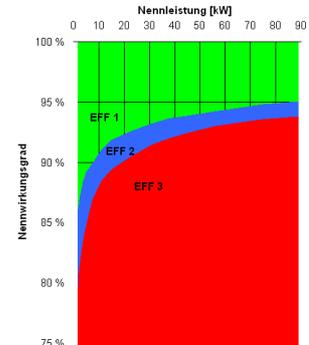
- a) Die Lichtausbeute der Lampen soll incl. Vorschaltgerät mindestens  $50 \text{ lm/W}$  betragen (statt Glühlampen sind grundsätzlich Leuchtstoffröhren oder Kompaktleuchtstofflampen einzusetzen).
- b) Bei mehr als 300 h/a sind elektronische Vorschaltgeräte (EVG) einzusetzen.
- c) Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad soll mindestens 80 % betragen (z.B. Spiegelrasterleuchten).
- d) In größeren Räumen (z.B. Klassenräumen) ist die Beleuchtung in Reihen schaltbar auszulegen, um nach Bedarf und Tageslichtangebot die Beleuchtung zu- oder abschalten zu können.
- e) Bei größeren Leuchtengruppen ( $> 1 \text{ kW}$ , z.B. Turnhallen) ist grundsätzlich ein Präsenzmelder (in tageslichtversorgten Bereichen mit Lichtsensor) anzubringen.
- f) Flure und Treppenhäuser sind mit Zeitrelais (Nachlaufzeit einstellbar, Standardwert: 3 min.) oder Präsenzmeldern auszustatten. Bei möglicher Tageslichtnutzung müssen die Bewegungsmelder zusätzlich über einen Lichtsensor verfügen.
- g) Bei der Neuinstallation von Klassenräumen ist eine zentrale Beleuchtungs-Abschaltung nach jeder Unterrichtsstunde vorzusehen. Bei anderen Nutzungsarten ist eine zentrale Abschaltung bei ausreichendem Tageslicht und nach Nutzungsende zu prüfen.
- h) Die Außenbeleuchtung ist über Dämmerungsschalter und Schaltuhr (sofern keine Verkehrssicherungspflicht) oder evtl. zusätzlich über Bewegungsmelder zu schalten.
- i) Elektrowärme ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Küchengeräte wie Herde und Konvektomaten sollen mit Gas betrieben werden, da dies i.d.R. wirtschaftlich realisierbar ist.
- j) Bürogeräte sollen die Kriterien des GED-Labels einhalten ([www.energielabel.de](http://www.energielabel.de)). Haushaltsgeräte sollen die Effizienzklasse A+ oder A++ einhalten ([www.spargerade.de/frankfurt](http://www.spargerade.de/frankfurt)).
- k) Sofern wirtschaftlich (z.B. bei Küchen), ist eine Maximumbegrenzung einzubauen.

- l) Die Blindleistung ist auf den vom örtlichen EVU zugelassenen Leistungsfaktor ( $\cos \phi$ ) zu begrenzen. Ggf. sind Kompensationsanlagen (als Einzel-, Gruppen- oder Zentralkompensation) einzubauen.
- m) Für DV-Geräte ist eine ausreichende Anzahl von separaten, gekennzeichneten Steckdosen mit gesonderter Absicherung vorzusehen (siehe 3.8)

### 3.6 Maschinelle Anlagen

#### C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten

- a) Für alle elektrischen Antriebe sind Energiesparmotoren (ab 500 h/a eff2-Motoren, ab 1.000 h/a eff1-Motoren (oder Gleichstrommotoren) einzusetzen.
- b) Wenn Aufzüge erforderlich sind, sollen Seilaufzüge mit Frequenzumrichter und automatischer Kabinenbeleuchtung eingesetzt werden.
- c) Wenn eine motorische Netzersatzanlage erforderlich ist, soll diese möglichst als BHKW ausgeführt werden, sofern wirtschaftliche oder betriebliche Gründe nicht entgegenstehen.

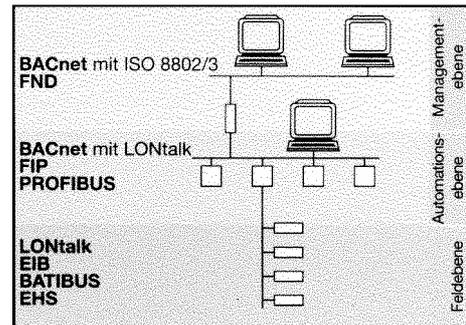


### 3.7 Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

#### C. Leitlinien zur Minimierung der Folgekosten

##### 3.7.1 Grundlagen

- a) Aus wirtschaftlichen Gründen ist es erforderlich für Betriebsführung und Betriebsüberwachung ein offenes Regelungssystem zur Verfügung zu stellen. Grundsätzlich sind daher alle Gewerke so zu planen, dass sie von einem gemeinsamen Prozessvisualisierungssystem (IAS/InTouch View von Wonderware) bedient werden können. Damit soll eine zentrale Betriebsführung und Betriebsoptimierung ermöglicht und die Schulung des Betriebspersonals vereinfacht werden. Die genauen Vorgaben hierzu sind im Pflichtenheft GLT niedergelegt ([www.stadt-frankfurt.de/dok.htm](http://www.stadt-frankfurt.de/dok.htm)).
- b) Für die gesamte Mess-, Steuer- und Regelungstechnik ist eine integrale Planung sicherzustellen.
- c) Bei der Planung ist eine Gebäudeautomations-Funktionsliste (GA-FL) und für jede Anlage ein Automationsschema nach DIN EN ISO 16484-3 zu erstellen.



##### 3.7.2. Feldebene

- a) Alle Datenpunkte sind in der SPS/DDC und durchgängig in allen Dokumentationen nach einem einheitlichen 28-stelligen allgemeinen Kennzeichnungssystem (AKS) wie folgt zu bezeichnen (siehe Pflichtenheft GLT):
- Stelle 1-4: Straßenkennziffer
  - Stelle 5-7: Hausnummer
  - Stelle 8-9: Gebäude
  - Stelle 10-11: Geschoss
  - Stelle 12-14: Kostengruppe
  - Stelle 15-17: Anlagennummer
  - Stelle 18-24: Betriebsmittel
  - Stelle 25: Phys. Bezeichnung
  - Stelle 26: Funktion
  - Stelle 27-28: Lfd.Nr.
- Für die einzelnen Felder sind Schlüsselverzeichnisse verfügbar.
- b) Für jedes abgeschlossene Gebäude (z.B. Turnhalle) und für jeden Nutzer innerhalb eines Gebäudes sind je ein Verbrauchszähler für Strom, Heizenergie und Wasser anzuordnen.

Alle Verbrauchszähler (EVU-Verrechnungszähler und Unterzähler) sind mit potential-freien Impulsausgängen (und evtl. M-Bus) zur zentralen Erfassung auszustatten. Die Impulswertigkeit sollte folgende Werte nicht überschreiten:

Strom: 1 kWh/Imp., Gas: 0,1 m<sup>3</sup>/Imp., Wärme: 1 kWh/Imp., Wasser: 1 l/Imp.

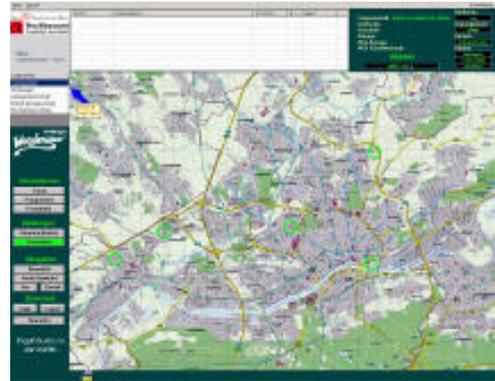
- c) Für alle Strom-, Heizenergie- und Wasserverbraucher (Gebäude, Gebäudeteile, Geräte), die Jahreskosten von mehr als 2.500 € erwarten lassen sind Unterzähler zu setzen (es gilt die Geräteausstattung zur Energie- und Medienerfassung der FKGB/AMEV). Insbesondere ist der Kaltwasserzulauf für zentrale Warmwasserbereitungsanlagen zu zählen (Legionellenprophylaxe!).
- d) Bei Liegenschaften mit Jahreskosten für Energie und Wasser über 15.000 € sind alle Verbrauchszähler auf einen Datenlogger (für die automatische Verbrauchserfassung) und/oder auf das Prozess-Visualisierungs-System (s. Managementebene) aufzuschalten. Dafür ist ein Modemanschluss oder eine Datensteckdose in der NSHV vorzusehen.
- e) Sofern dies wirtschaftlich vertretbar ist (Mehrkosten < 10 %) sind alle Sensoren und Aktoren auf der Feldebene über einen herstellerunabhängigen, zur Übertragung für alle anzuschließenden Gewerke geeigneten Bus zu verbinden (LONWorks oder EIB). Falls für einen Technikbereich bereits ein Bussystem vorgesehen ist (z.B. Einzelraumregelung oder Jalousiensteuerung) ist die Eignung für die anderen Gewerke zu prüfen und bei Wirtschaftlichkeit ein einheitliches Bussystem einzubauen.
- f) Wenn eine Businstallation ausgeführt wird, ist der Einsatz von Präsenzmeldern für die Abschaltung der Beleuchtung, der Einzelraumregelung und als Einbruchmeldung wirtschaftlich zu untersuchen.

### 3.7.3 Automationsebene

- a) Generell sind für alle Anlagen autark arbeitende digitale Regelungen (DDC in dezentraler Technologie, z.B. LONWorks) vorzusehen.
- b) Die DDC-Unterstationen sollen zur Verknüpfung auf der Automationsebene über eine einheitliche, herstellerunabhängige Schnittstelle (z.B. BACnet, LONtalk (LONMark zertifiziert)) verfügen.

### 3.7.4 Managementebene

- a) Bei Anlagen mit Jahresenergiekosten über 30.000 € ist als Managementebene vor Ort oder in einer abgesetzten Leitzentrale ein herstellerunabhängiges Prozess-Visualisierungs-System (PVS) mit der Software IAS/InTouch View von Wonderware vorzusehen. In der Liegenschaft ersetzt das PVS den zentralen Leitrechner einer herstellereigenen GLT. Auf dem PVS-Leitrechner wird ein vollständiges Prozessabbild aller betriebstechnischen Anlagen und deren Datenpunkte geführt. Zum Datenaustausch zwischen den Automationsstationen und dem PV-System sind bindend auf Wonderware DA, DI oder I/O Server basierende Protokolle und Treibersoftware zu verwenden. OPC Server sind nur zugelassen, wenn kein vorgenannter Server verfügbar ist und ein entsprechender Funktionsnachweis mit dem Factory Suite Gateway, und ein Compliance Test der OPC Foundation vom Auftragnehmer nachgewiesen wird.
- b) Für die Bildschirmoberfläche wird ein einheitliches Layout vorgegeben, damit in allen Liegenschaften eine einfache und einheitliche Bedienung der GLT möglich ist. Der Zugriff erfolgt über ein einheitliches Auswahlfenster mit Luftbild und Grundrissplänen (incl. Raumbezeichnung) oder Objektaufnahmen mit Angabe von Raumbereichen/Raumgruppen und/oder Anlagen.
- c) In einem Status-Fenster ist der augenblickliche Status des Benutzers mit Anmeldenamen, Zugriffslevel sowie dem Datum und der Uhrzeit des Client-Rechners dargestellt.



- d) Dargestellt werden im untersten Level das Anlagenschaltbild (Regelschema) mit allen Aktoren und Sensoren in der jeweiligen Anlage/Raumgruppe in deren technischen Systemen wie z.B. Heizungsanlage mit Kessel, Pumpen, Mischern, Soll- und Ist-Temperaturen und Zählerständen oder Raumgruppen mit Heizungs- Jalousien- und Beleuchtungsanlagen. Angezeigt werden die aktuellen Werte und Anlagenzustände und die Eingriffsmöglichkeiten.
- e) Alle Schaltbilder müssen vom Gebäudebetreiber mit entsprechenden Zugriffsberechtigungen editierbar sein
- f) In einem Störmeldefenster werden die aktuellen Störmeldungen jeweils aus der Position des Betrachters abwärts angezeigt. D.h., dass vom Eröffnungsbildschirm aus alle Störmeldungen angezeigt werden. Aus einem aktuellen Anlagenbild heraus sind nur die Störmeldungen der jeweiligen Anlage sichtbar.
- g) Jedem Raum müssen Belegungspläne (mindestens Wochenplan und Jahresplan) zuordenbar sein. Bei Schulen ist eine Importmöglichkeit für Stundenpläne vorzusehen. Die Ferien-/Feiertagspläne müssen für alle Räume zentral vorgebar sein. Nachträgliche Modifikationen für einzelne Räume müssen dennoch möglich sein. Die Zeitpläne müssen in andere Räume kopierbar sein. Zusätzlich muss es die Möglichkeit geben, außerordentliche Veranstaltungen einzugeben ohne die Belegungspläne zu modifizieren.
- h) Weitere Bestandteile des PVS sind: Datenpunktliste mit Kopier- und Einfügefunktion in Anlagenschemata, Funktionsbeschreibungen, Einbindung von weiteren Objektdaten (Kundendatenbank) und Messwertverarbeitung.
- i) Die grafische Auswertung aller Datenpunkte (z.B. Verbrauchsdaten, Raumtemperaturen) muss über Monatswerte und 1/4h-Lastprofile (Trendkurven) auf dem PVS für den Nutzer jederzeit möglich sein.
- j) Alle Daten müssen über offengelegte Standardschnittstellen (z.B. OleDb oder ODBC) exportierbar sein.
- k) Alle zentralen Steuereinrichtungen und Meldungen sind an einer Stelle, z.B. im Hausmeisterraum anzuordnen. Eine Verlagerung der Leittechnik über eine Modemstrecke bzw. Intranet zur zentralen Betriebsführung muss jederzeit möglich sein.
- l) Abweichungen von der Solltemperatur und von Soll-Vorgaben für die Verbrauchswerte sind als Störmeldungen zu programmieren.
- m) Zur Alarmierung der Bereitschaft sind eingehende Störmeldungen mit hoher Priorität von der GLT/PVS via SMS auf ein D1/D2/E-Plus-Mobiltelefon zu übermitteln.

### 3.8 Kommunikationstechnik

- a) In allen Büroräumen und Klassenräumen ist eine gemeinsame Kabeltopologie für Telekommunikation (ISDN), Datennetz (100BT) und Installationsbus (EIB, LONtalk) zu planen, sodass Erweiterungen später problemlos vorgenommen werden können.
- b) Für Räume mit 1 Arbeitsplatz sind 2 TK-Anschlüsse (ISDN) und 2 Datenanschlüsse (10BT) vorzusehen. Für jeden weiteren Arbeitsplatz im Raum kommt je ein weiterer TK-Anschluss und ein Datenanschluss hinzu.
- c) Für die DV-Verkabelung gilt die vom Amt 16 herausgegebene Richtlinie "Grundsätzliches zur Verkabelungstechnik" in der jeweils aktuellen Fassung (im Intranet im Downloadbereich des Amtes 16 verfügbar).
- d) Für DV- und Bürogeräte sind die aktuellen Werte des GED-Labels einzuhalten ([www.energielabel.de](http://www.energielabel.de)), zur sicheren Trennung vom Netz sind alle PC-Arbeitsplätze mit schaltbaren Steckerleisten auszustatten.

## Quellenverzeichnis

- 10 Punkte-Plan für Kitas und Schulen, Energiesparoffensive des Dezernates für Bildung und Frauen 2007.
- Beleuchtung 2006: Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden, AMEV: 2006, [www.amev.belwue.de](http://www.amev.belwue.de).
- BelBildschirm 2002: Hinweise für die künstliche Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen in öffentlichen Gebäuden, AMEV: 2002, [www.amev.belwue.de](http://www.amev.belwue.de).
- DST Hinweis Ausgabe 10, Energieleitlinien – Planungsanweisungen, 2003, [www.staedtetag.de](http://www.staedtetag.de).
- DST-Hinweis Ausgabe 17, Energieeffiziente und hygienische Warmwasserbereitung, 2006, [www.staedttag.de](http://www.staedttag.de)
- DABau: Dienstanweisung Bau der Staatlichen Hochbauverwaltung des Landes Hessen. Hessisches Ministerium der Finanzen.
- DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Ausgabe: 2001-03.
- DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Teil 1: Grundlagen der Berechnung, Ausgabe: 1983-03.
- DIN 5034: Tageslicht in Innenräumen, Teil 1: Ausgabe 1999-10.
- DIN 5036: Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien, Ausgabe: 1980-02.
- DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage: 2005-05
- DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Ausgabe: 2001-02.
- DIN EN ISO 16484: Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 3: Funktionen, Ausgabe: 2005-12.
- DIN 18024: Barrierefreies Bauen - Teil 2: Öffentlich zugängige Gebäude und Arbeitsstätten, Planungsgrundlagen, Ausgabe: 1996-11.
- DIN V 18599 T1- 10, Energetische Bewertung von Gebäuden, 2007-02
- Dokumentationsrichtlinie des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt am Main, Version 2.0.1, Stand: 30.11.2006, [www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm](http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm)
- DVGW 551: Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums, Ausgabe: 2003.
- Energiespar-Offensive, 12 Punkte-Plan für Kitas und Schulen. Dezernat für Bildung und Frauen 2008, [www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm](http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm)
- EnEV 2007: Energie-Einspar-Verordnung des Bundes [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de).
- GK: Amtsverfügung Gesamtkostenberechnung des Hochbauamtes <http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/pro.htm>/pro.htm.
- Heizbetrieb 2001: Hinweise für das Bedienen und Betreiben von heiztechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden, AMEV: 2001, [www.amev.belwue.de](http://www.amev.belwue.de).
- HessBGG: Hessisches Gesetz zur Gleichstellung von Menschen mit Behinderungen und zur Änderung anderer Gesetze, Wiesbaden, 10.12.2004
- LEE: Leitfaden elektrische Energie im Hochbau des Landes Hessen, Ausgabe 1996 und 2000, z.Z. in der Überarbeitung [www.iwu.de](http://www.iwu.de).
- LEH: Leitfaden Heizenergie im Hochbau des Landes Hessen, Ausgabe: 1999-02.
- LNB: Leitfaden nachhaltiges Bauen, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: 2001, [www.bmvbw.de](http://www.bmvbw.de).
- Pflichtenheft GLT der Stadt Frankfurt am Main Version 1.4, 2007, [www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm](http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/dok.htm)
- Sanitärabw 95: Planung und Ausführung von Sanitäreanlagen in öffentlichen Gebäuden, AMEV: 1995, [www.amev.belwue.de](http://www.amev.belwue.de).
- StVVB §2443: Bausteine für den Klimaschutz: Passivhausbauweise für stadteigene und städtisch genutzte Gebäude, Frankfurt: 06.09.2007
- VDI 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln), Ausgabe: 1996-07.