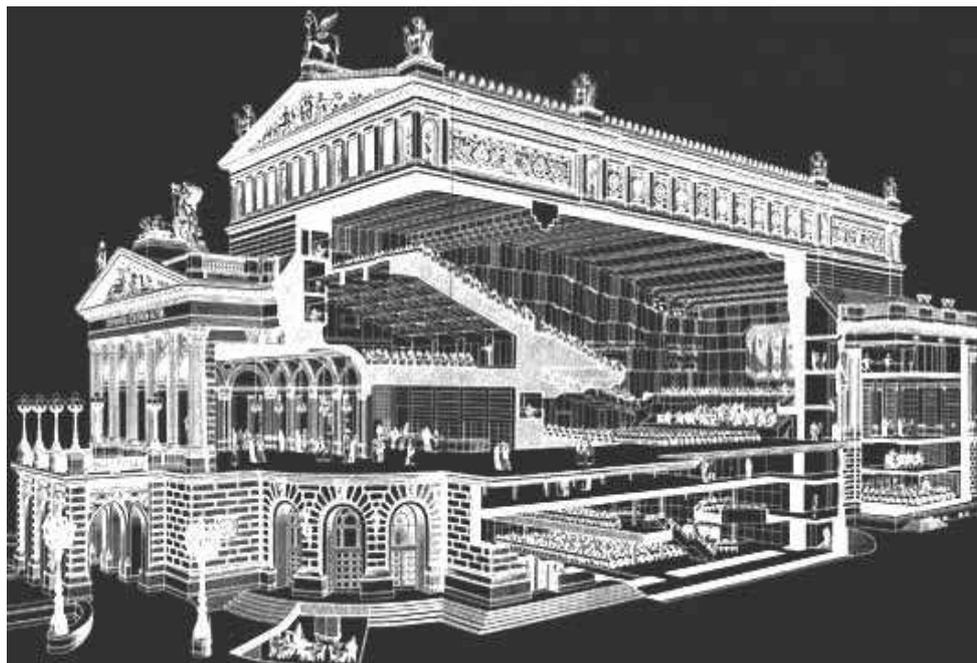




Energiekonzept für die Alte Oper Frankfurt



Endbericht

26. September 2005

Aufgestellt:

Ing.- Büro K. H. Wagner

Steinstraße 81

35390 Gießen



Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Seite
Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog nach Prioritäten	VII
I. Allgemeine Objektbeschreibung	VII
II. Energie-/Wasserverbrauchseinrichtungen	IX
II.1 Elektrischer Strombedarf und -verbrauch	X
II.2 Fernwärmebezug für Wärmebereitstellung	XII
II.3 Wasserverbrauch	XVI
II.4 Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und -abrechnung	XVIII
II.4.1 Berechnung der Betriebskosten für den Bereich Gastronomie	XVIII
II.4.2 Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit	XXI
II.4-3 Verbrauchsabhängige Abrechnung der Stromkosten mit dem Parkhaus	XXI
III. Stammdaten des Gebäudes und betriebstechnischer Anlagen	
III.1 Gebäude	XXII
III.2 Betriebstechnische Anlagen	XXIV
III.2.1 Wärmeversorgungsanlagen	XXIV
III.2.2 Klima- und Lüftungsanlagen	XXV
III.2.3 Kälteversorgungsanlagen	XXVII
III.2.4 Elektroanlagen und Regelungstechnik	XXVIII
III.2.5 Wasserverbrauchseinrichtungen	XXXI
IV. Maßnahmenkatalog / Investitionsplan nach Priorität	XXXII

Konzeptteil

1. Aufgabenstellung und Grundlagen	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Grundlagen	2
2. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs	3
2.1 Elektrischer Strombedarf und -verbrauch	4
2.1.1 Gesamtstrombedarf und -verbrauch	4
2.1.2 Stromverbrauchsstruktur	7
2.2 Wärmebereitstellung	12
2.2.1 Fernwärmebezug für Wärmebereitstellung	12
2.2.2 Verteilung des Heizwärmebedarfs	15



2.3	Wasserverbrauch	19
2.4	Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung	22
2.4.1	Stromversorgung	22
2.4.2	Wärme-/Kälteversorgung	23
2.4.3	Wasserversorgung	25
2.4.4	Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten	25
2.4.5	Berechnung der Betriebskosten für den Bereich Gastronomie	26
2.4.6	Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit für eine verbrauchsabhängige Abrechnung	28
2.4.7	Verbrauchsabhängige Abrechnung der Stromkosten mit dem Parkhaus	28
3.	Stammdaten zur Liegenschaft	29
3.1	Allgemeine Objektbeschreibung	29
3.2	Gebäude und Bauteile	31
3.2.1	Gebäudekenndaten	31
3.2.2	Ermittlung des Wärmebedarfs und des Heizwärmebedarfs	32
3.2.3	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Sanierungsmaßnahmen	36
3.3	Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen	38
3.3.1	Stammdaten der zentralen Wärmeübergabestation	38
3.3.2	Stammdaten des Warmwasserheiznetzes	38
3.3.3	Stammdaten der elektrischen Fußbodenheizung	40
3.3.4	Stammdaten der Trink-Warmwasserversorgung	40
3.3.5	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	41
3.4	Stammdaten der Klima- und Lüftungsanlagen	43
3.4.1	Zentrale Außenluftaufbereitung (KL01)	43
3.4.2	Klima- und Lüftungsanlagen	44
3.4.3	Energievergleichskennwerte der Lüftungsanlagen	52
3.4.4	Energiekosten der -Klima- und Lüftungsanlagen	53
3.4.5	Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen	54
3.5	Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen	57
3.5.1	Groß-Kälteversorgungsanlagen	57
3.5.2	Kleinkälteversorgungsanlagen	62
3.6	Stammdaten der Elektroanlagen und Regelungstechnik	64
3.6.1	Blindstromkompensationsanlage	64
3.6.2	Beleuchtungsanlagen	64
3.6.3	Aufzüge	67
3.6.4	Rohrbegleit- und Rinnenheizung	68
3.6.5	Stromverbrauch PC-Arbeitsplätze	68
3.6.6	Geräte in den Büroküchen	69
3.6.7	Küchengeräte Gastronomie	69
3.6.8	MSR-Technik und Gebäudeleittechnik	70
3.6.9	Beschreibung der Energiesparmaßnahmen	71
3.7	Stammdaten der Wasserversorgungsanlagen	74



3.7.1	Wasserverbrauchseinrichtungen	74
3.7.2	Druckerhöhungsanlagen	75
3.8	Stammdaten der Druckluftversorgung	77
4.	Wirtschaftlichkeitsberechnung für energiesparende Maßnahmen	
4.1	Grundlagen und -daten der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	78
4.2	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wärmeschutzmaßnahmen	79
4.3	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeversorgung	80
4.3.1	Optimierung der Heizungsumwälzpumpen für statische Heizkreise	80
4.3.2	Optimierung der WRG-Umwälzpumpen des Kreislaufverbundsystems	82
4.4	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an den Lüftungs- und Klimaanlage	84
4.4.1	Optimierung der Lüftungsanlagen KL 01 – KL03 durch Erneuerung der Ventilatoren und Motoren	84
4.4.2	Einbau eines WRG-Systems in die Lüftungsanlage „KL 47 - Verwaltung Nordflügel E1/E5“	86
4.4.3	Wegschalten der Lüftungsanlage „KL 47 Verwaltung Nordflügel (E1/E5)“ im Tagbetrieb	88
4.5	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an den Kälteversorgungsanlagen	89
4.5.1	Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpen	89
4.5.2	Optimierung der Kühlturm-Kühlwasserbeheizung	90
4.6	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an Elektroanlagen und Regelungstechnik	91
4.6.1	Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage	91
4.6.2	Einbau von Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten	91
4.6.3	Austausch der Stufenbeleuchtung im Großen Saal	92
4.6.4	Austausch Glühlampen-Sicherheitsleuchten gegen Energiesparlampen	94
4.6.5	Optimierung der Lichtsteuerung	96
4.6.6	Einbau von dimmbaren Energiesparlampen in den Büros Nordseite	98
4.6.7	Erneuerung der DDC-Unterstationen und GLT-Anlage	100
4.7	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wassersparmaßnahmen	103
4.7.1	Einbau von wasserlosen Urinalen im Büro-/Verwaltungsbereich	103
4.7.2	Erneuerung der Druckerhöhungsanlage für Trinkwasser	103



Inhaltsverzeichnis – Anhang

Anhang zum Abschnitt 2.1 – Elektrischer Strombedarf und –verbrauch

- Anhang 2.1.1a Energiekonzept AOF – Monatlicher Stromverbrauch in 2002
- Anhang 2.1.1b Energiekonzept AOF – Monatlicher Stromverbrauch in 2003
- Anhang 2.1.1c Energiekonzept AOF – Monatlicher Stromverbrauch in 2004
- Anhang 2.1.2a Energiekonzept AOF – Monatlicher Stromverbrauchswerte der internen Zähler von April 2004 bis März 2005 für den Bereich Gastronomie
- Anhang 2.1.2b Energiekonzept AOF – Monatlicher Stromverbrauchswerte der internen Zähler von April 2004 bis März 2005 für den Bereich Konzert und Kongress
- Anhang 2.1.3 Energiekonzept AOF – Verteilung des Stromverbrauchs auf die Hauptverbraucherbereiche von April 2004 bis März 2005

Anhang zum Abschnitt 2.2 – Fernwärmebereitstellung

- Anhang 2.2.1 Energiekonzept AOF – Monatlicher Fernwärmebezug und –kosten von 2002–2004
- Anhang 2.2.2 Energiekonzept AOF – Verteilung des Heizwärmebedarfs auf die einzelnen Verbrauchergruppen

Anhang zum Abschnitt 2.3 – Wasserverbrauch

- Anhang 2.3.1 Energiekonzept AOF – Schematische Darstellung des Trinkwassersystems einschl. Interner Zähler
- Anhang 2.3.2 Energiekonzept AOF – Monatlicher Wasserverbrauchswerte der internen Zähler von April 2004 bis März 2005
- Anhang 2.3.3 Energiekonzept AOF – Verteilung des Wasserbedarfs auf einzelne Verbrauchergruppen

Anhang zum Abschnitt 2.4 – Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung

- Anhang 2.4.1 Energiekonzept AOF: Zusammenstellung der zu erfassenden Bereiche für eine verbrauchsabhängige Abrechnung der Betriebskosten mit Netto-Investitionskosten

Anhang zum Abschnitt 3.1 – Objektbeschreibung

- Anhang 3.1.1 Energiekonzept AOF – Lageplan

Anhang zum Abschnitt 3.2 – Gebäude und Bauteile

- Anhang 3.2.1 Energiekonzept AOF – Berechnung des Wärmebedarfs mittels Hüllflächen-verfahren
- Anhang 3.2.1 Energiekonzept AOF – Nachweisverfahren zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs gemäß "Energiebewusste Gebäudeplanung " im Bundesland Hessen

Anhang zum Abschnitt 3.3 – Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen

- Anhang 3.3.1 Energiekonzept AOF – Schematische Darstellung des Heizungssystems einschl. interner

Anhang zum Abschnitt 3.4 – Stammdaten der Lüftungs- und Klimaanlage

- Anhang 4.3.1. Zusammenstellung der Energievergleichskennwerte der RLT-Anlagen

Anhang zum Abschnitt 3.5 – Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen

- Anhang 3.5.1 Energiekonzept AOF – Schematische Darstellung des Kältesystems einschl. interner Zähler



Anhang zum Abschnitt 3.6. – Stammdaten der Elektroanlagen und Regelungstechnik

- Anhang 3.6.1 Energiekonzept AOF – Zusammenstellung der Abgänge mit Verbrauchsstellen sowie Messorten der internen Zähler in der NSHV
- Anhang 3.6.2 Zusammenstellung der Küchengeräte in der Küche E02
- Anhang 3.6.2 Zusammenstellung der Küchengeräte in der Küche E03 - Opera
- Anhang 3.6.2 Zusammenstellung der Küchengeräte in der Bistroküche „Rosso“

Anhang zum Abschnitt 4. – Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energiesparmaßnahmen

- Anhang 4.2.1 Gesamtkostenberechnung für die Erneuerung von Türdichtungen
- Anhang 4.3.1 Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Heizungs-Umwälzpumpen
- Anhang 4.3.1 Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Umwälzpumpen des WRG-Systems
- Anhang 4.4.1 Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Lüftungsanlagen KL01-KL03
- Anhang 4.4.2 Gesamtkostenberechnung für den Einbau einer WRG-Anlage in die Lüftungsanlage KL 47
- Anhang 4.5.1 Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Sekundär-Kaltwasserverteilerpumpen
- Anhang 4.5.2 Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Kühlturm-Kühlwasserbeheizung
- Anhang 4.6.1 Gesamtkostenberechnung für die Erweiterung der Blindstromkompensationsanlage
- Anhang 4.6.2a Zusammenstellung der Bereiche mit Leuchtstofflampen
- Anhang 4.6.2b-d Gesamtkostenberechnung für den Einbau von Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten
- Anhang 4.6.3 Gesamtkostenberechnung für die Erneuerung der Stufenbeleuchtung im Großen- und im Mozartsaal
- Anhang 4.6.4 Gesamtkostenberechnung für die Erneuerung der Sicherheitsbeleuchtung
- Anhang 4.6.5 Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Lichtsteuerung in den Ebenen 1 und 2
- Anhang 4.6.6 Gesamtkostenberechnung für den Einbau von dimmbaren Energiesparlampen in den Büros auf der Nordseite
- Anhang 4.6.7 Gesamtkostenberechnung für die Erneuerung der DDC-Station für die KL02 sowie Erneuerung GLT-Anlage
- Anhang 4.7.1 Gesamtkostenberechnung für den Einbau von Trockenurinalen im Nordtrakt
- Anhang 4.7.2 Gesamtkostenberechnung für die Erneuerung der DEA-Trinkwasser



Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog

Die nachfolgende Zusammenfassung enthält die wesentlichen Objektdaten und Ergebnisse des Energiekonzepts für die Alte Oper Frankfurt.

I. Allgemeine Objektbeschreibung (vgl. Abschnitt 3.1)

Die Einweihung erfolgt im August 1981. Träger der jetzigen Alten Oper Frankfurt ist die „Alte Oper Konzert und Kongresszentrum GmbH“.

Die Räumlichkeiten gliedern sich wie folgt:

- **Großer Saal** mit 2.500 Plätzen für Konzerte, Kongresse, Versammlungen und andere Veranstaltungen
- **Mozart Saal** mit 700 Plätzen, u.a. für Kammermusik, Solistenkonzerte, Vorträge, Lesungen
- **Hindemith Saal** mit 350 Plätzen, u.a. für Solistenkonzerte, Vorträge, Lesungen, Arbeitsgruppensitzungen
- **Altes Foyer** und **Neues Foyer** für Restaurant „Opera“
- **Konferenzräume** Mendelssohn Salon, Telemann Salon, Humperdinck Salon, Schumann Salon, Liszt Salon, Pfitzner Salon
- **Stimm- und Umkleideräume** für Schauspieler, **Garderoben** für Besucher
- **Büroräume** für Verwaltung und Marketing
- **Treppenhäuser, Gänge, Flure**
- **Technikräume** für Klima-, Kälte-, und Heizungsanlagen und sonstige Technik

In der folgenden Tafel I.1 sind die beheizten Flächen und die Raumvolumina für die einzelnen Bereiche zusammenstellt.

Tafel I.1a Energiekonzept „Alte Oper“ - Beheizte Nutzflächen und Volumen der einzelnen Kongress und Kultur Bereiche

Gebäude	Beheizte Fläche in m ²	Raumvolumen in m ³
Großer Saal	2.289	32.880
Mozart Saal	926	5.237
Hindemith Saal	316	1.696
Konferenzräume	462	1.555
Foyer (Kongressbereich)	1.939	8.293
Treppenhäuser, Aufgänge, Wandelgänge	3.618	11.240
Garderoben, Umkleideräume, Toiletten	763,5	1.909
Büroräume	339	827
Werkstätten	199	497
G E S A M T „Konzert & Kongress“	10.851,5	64.134



Tafel I.1b Energiekonzept „Alte Oper“ - Beheizte Nutzflächen und Volumen der Gastronomie

Gebäude	Beheizte Fläche in m ²	Raumvolumen in m ³
Gastronomie		
- Restaurant Opera, Foyer und Küche, Büffets	657	3.472
- Gastronomiefäche im Merchandising-Bereich	60	171
- Toilettenanlage und Nebenraum im ehm. Opernkeller	87,5	219
- Bistro	98	590
- Küche E01 inkl. Sozial- und Umkleideräume	899	2.697
- Büroräume E01	48	118
G E S A M T „Gastronomie“	1849,5	7.267
G E S A M T Alte Oper	12.701	71.401

Die Alte Oper Frankfurt verfügt über eine beheizte Nutzfläche von rund **12.700 m²**. Der Anteil der verpachteten Gastronomiebereiche liegt bei **14,6 % bzw. 1.850 m²**.

Im Jahr 2004 fanden in der Alten Oper insgesamt 337 Veranstaltungen mit rund 448.500 Besuchern statt. Von den Veranstaltungen waren fast 93 % Musikveranstaltungen und rund 7 % Kongresse. Im Großen Saal wurden rund 260 Konzerte und Kongresse durchgeführt, im Mozart Saal waren es 68 Veranstaltungen.



II. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs (vgl. Abschnitt 2)

In der folgenden Tafel II.1 sind die relevanten Daten im Bezug auf Energie- und Wassereinsatz in der Alten Oper Frankfurt zusammengestellt.

Tafel II.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der relevanten Daten bezüglich Energie- und Wassereinsatz

		Ist	Soll	Bemerkungen
GEBÄUDEDATEN				
Energiebezugsfläche EBF	in m ²	12.701		
Gebäudevolumen	in m ³	71.401		
A/V-Verhältnis	in m ⁻¹	0,25		
Personenbelegung im Mittel / Max.		ca. 254 / ca. 3.200		Großer- u. Mozart Saal
Betriebszeit		7.00 – 23.00 Uhr Gastro ganzjährig K & K 4 Wochen Pause		
STROM				
Stromverbrauch	in kWh/a	6.198.922		
Max. Leistungsspitze	in kW	1.338		
Vollbenutzungsstunden	in h/a	4.632	3.600	
Spezifischer Stromverbrauch	in kWh/m ² *a	488	26	Ages Mittelwert
Beleuchtung Installierte Leistung	in kW	815		
Durchschnittl. spezif. Leistung	in W/m ²	33,6	5,7	Standard HBA - FFM
Durchschnittl. Beleuchtungsstärke	in Lux	1.763	230	Standard HBA - FFM
Installierte Leistung Lüftung	in kW	540,2		
	in W/m ²	42		
Spezif. Stromverbrauch Lüftung	in kWh/m ² *a	174	24	Standard HBA - FFM
Zu- / Abluftluftmenge	in m ³ /h	349.440 / 409.955		
Luftwechsel	in h ⁻¹	3,4	0,8	Hess. Leitfaden
Energetisch wirksame Luftmenge	in m ³ /h	240.900	0,45	Passivhaus
Spez. Förderleistung Ventilatoren	in Wh/m ³	0,43	0,37 / 0,15	Grenz- /Zielwert LEE
Stromkosten	in Euro/a	616.509,-		
WÄRME				
Fernwärmeverbrauch	in kWh/a	3.310.896		2004-Witterungsbereinigt
Spezifischer Heizwärmebedarf	in kWh/m ² *a	228	85 - 120	Hess. Leitfaden/ Ages
Installierte Umformerleistung	in kW	3.306		
Gebäude- / RLT-Wärmebedarf	in kW	616,2 / 2.421,6		
Gesamtwärmebedarf	in kW	3.037,9		
Fernwärmekosten	in Euro/a	185.460,-		
WASSER				
Wasserverbrauch	in m ³ /a	20.106		
Spezifischer Wasserverbrauch	in l/m ² *a	1.583	348	Ages Mittelwert
Wasserkosten	in Euro/a	90.112,-		
JAHRESGESAMTKOSTEN	in Euro/a	892.080,-		

Die Jahresgesamtbetriebskosten der Alten Oper liegen bei rund 15 Mio. €. Daran haben die Energie- und Wasserkosten einen Anteil von 4,7 %.



II.1 Elektrischer Strombedarf- und –verbrauch (vgl. Abschnitt 2.1)

Der Strombedarf der Alten Oper wird ausschließlich aus dem Netz der Mainova AG gedeckt. Auf der Mittelspannungsseite des Mainova-Netzes ist eine Messeinrichtung installiert. Eine separate Verbrauchserfassung bzw. -abrechnung des verpachteten Bereichs (Gastronomie) direkt mit der Mainova erfolgt nicht.

Als Sondervertragskunde erfolgt eine Abrechnung der bezogenen Arbeit nach Hoch- und Niedertarifzeiten. Als Jahreshöchstleistung gilt der Mittelwert aus den drei höchsten Monatsspitzen, die im Abrechnungsjahr Montag bis Freitag zwischen 06.00 Uhr und 20.00 Uhr sowie Samstags zwischen 06.00 Uhr und 14.00 Uhr gemessen werden (**Business HighPower 2 HT/NT-** Zähler-Nr.: 171 504).

Tafel II.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Jahreswerte des Stromverbrauchs und der Jahresbezugskosten von 1998 und 1999 sowie 2002 – 2004

Jahr	Strom-Verbrauch in kWh/a	Bezogene Leistung in kW	Vollbenutzungsstunden in h/a	Jahresstromkosten in Euro/a	Spezifischer Strompreis in Euro/kWh	Blindstromkosten in Euro/a
1998	4.660.720	1.361	3.423	420.012,-	0,090	3.077,-
1999	5.503.920	1.592	3.456	437.991,-	0,080	1.911,-
2002	6.797.723	1.498	4.537	591.429,-	0,087	967,-
2003	6.910.824	1.568	4.407	646.608,-	0,094	2.410,-
2004	6.198.922	1.338	4.632	616.509,-	0,099	2.083,-

Im Vergleich zu den Jahren 1998/99 lag der Stromverbrauch in 2002-2004 um ca. 30% höher. Grund sind die längeren Betriebszeiten der elektrischen Anlagen, da sich die Vollbenutzungsstunden im Vergleich von 1998/99 zu 2002-2004 um durchschnittlich 1.000 h erhöht haben.

Nach dem Stromverbrauchshöchststand in 2003 ist der Verbrauch in 2004 erstmals gefallen und zwar um 10,3 %. Ein Hauptgrund für diese Reduzierung des Strombedarfs ist in dem Einbau von neuen Kältemaschinen mit verbesserten Wirkungsgraden zu sehen.

Die spezifischen Stromkosten sind nach dem Tiefstand in 1999 in den letzten drei Jahren jedoch stetig gestiegen und zwar von 1999 bis 2004 um fast 24 %.

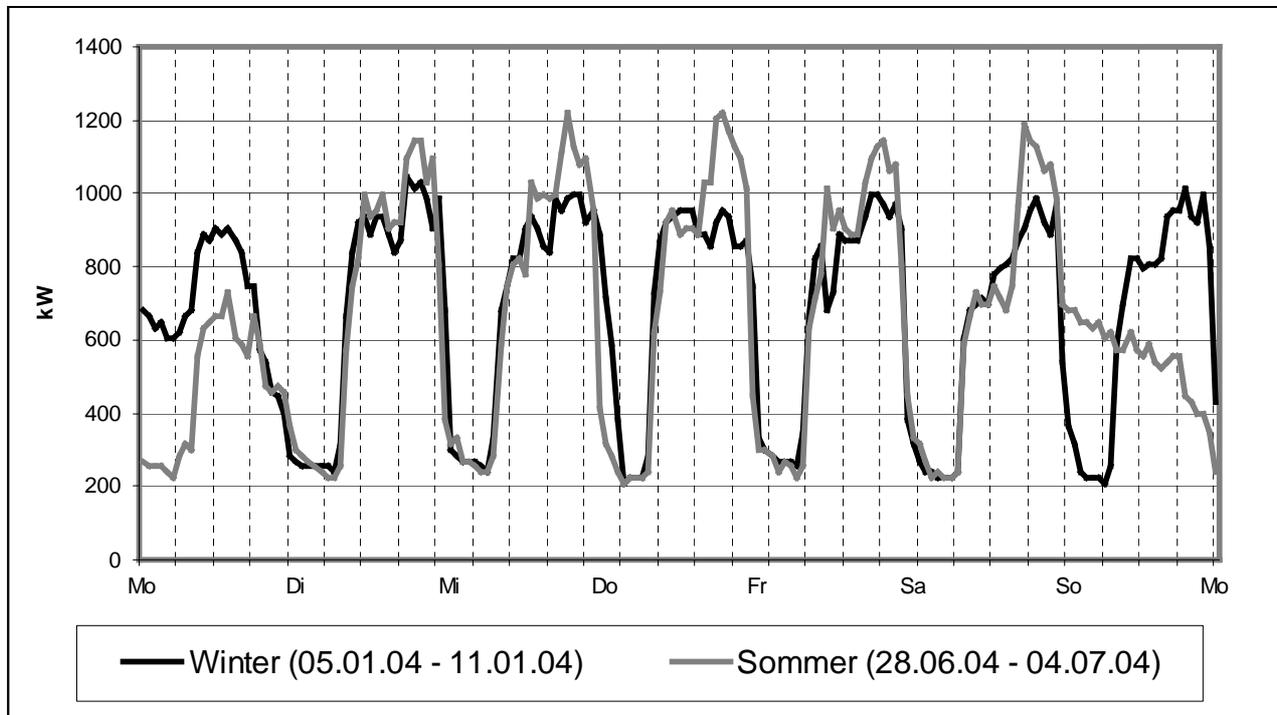
Auffallend ist, dass in sämtlichen dargestellten Abrechnungsjahren die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten wurden und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug zwischen 1.000,- und 3.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache lässt auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensation schließen (s. Maßnahme 3.6.I).

Stromlastverlauf

Im Bild II.1 sind ausgewählte Wochenganglinien des Strombedarfs im Winter und Sommer dargestellt.



Bild II.1 Energiekonzept "Alte Oper": Wochengang des Strombedarfs für eine Woche im Winter (05.01.04-11.01.04) und eine Woche im Sommer (28.06.04-04.07.04)



Die Wochenlastverläufe für die unterschiedlichen Jahreszeiten zeigen, dass die Stromgrundlast sowohl in den Winter- als auch in den Sommermonaten bei ca. 220-250 kW liegt. Ein Unterschied zwischen den Wochentagen ist nicht erkennbar. Die Lastverläufe richten sich ausschließlich nach der Belegung bzw. den Veranstaltungen.

Es zeigt sich deutlich der Einsatz der Kältemaschinen durch jahreszeitlich bedingte hohe Außentemperaturen im Sommer. Hier werden Spitzenwerte von über 1.200 kW erreicht wohingegen im Winter die Spitzenleistungsbezugswerte bei 1.000 kW liegen.

Auffallend ist, dass die Bezugsspitzen in den Sommermonaten in der Regel kurz vor 20.00 Uhr mit Beginn der Veranstaltungen anfallen. Da aber die Leistungsmessung durch die Mainova jedoch nur bis 20.00 Uhr erfolgt, d.h., wenn die maximale Bezugsspitze nach 20.00 Uhr entsteht, würde diese für die Berechnung der Leistungskosten nicht relevant werden. Da ein Wegschalten von größeren Stromverbrauchern kaum möglich ist (Nutzungsstruktur und fehlendes Lastmanagement) sollte versucht werden mit dem Versorger eine Regelung zu treffen, dass die Leistungsmessung nur bis ca. 18.00 Uhr erfolgt. Da die Strombezugsspitze der Alten Oper um 20.00 Uhr nicht mit der Bezugsspitze der Mainova von deren Vorlieferanten zusammen fällt, sollte dieser Vertragspunkt verhandelbar sein (**Maßnahme 2.I**).

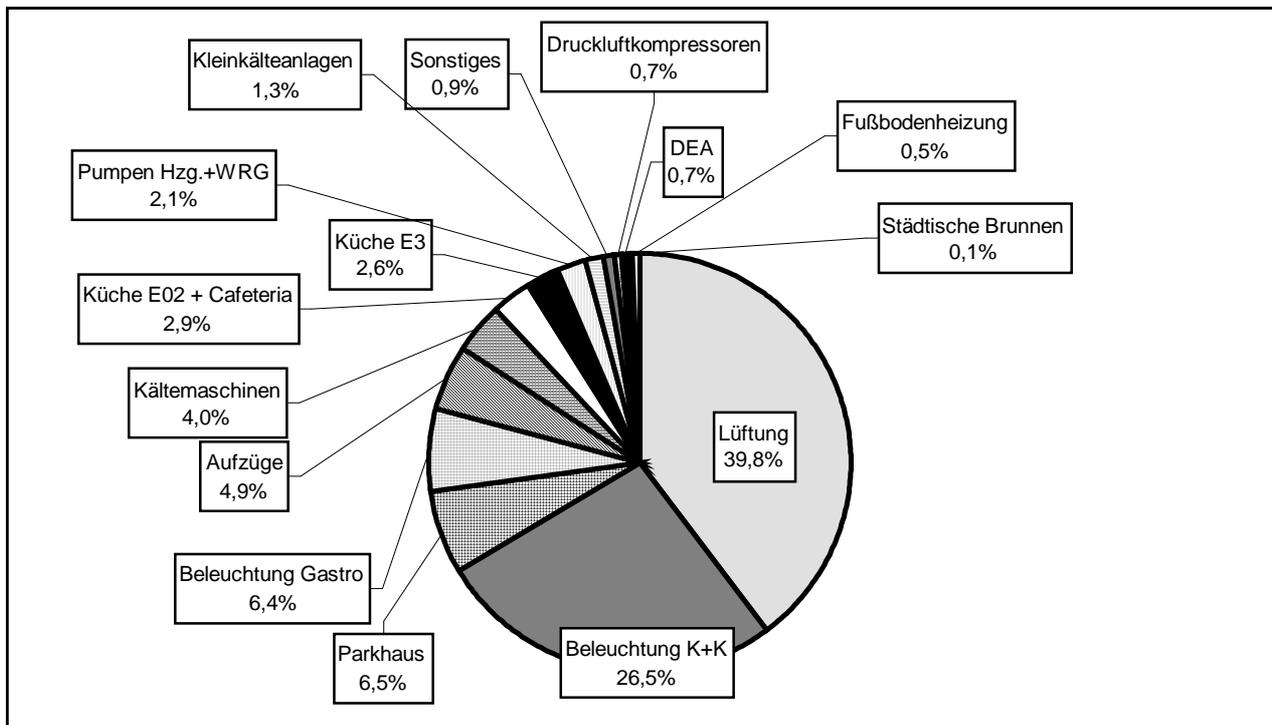
Strom-Schwerpunktverbraucher

Auf Grundlage der 13 internen Stromzähler in der Alten Oper Frankfurt sowie eigenen Berechnungen von Lastverläufen, Auswertung von Betriebsstundenzählern und spezifischen Daten aus Ver-



gleichsobjekten wurde die prozentuale Verteilung des Gesamtstrombedarfs in der Alten Oper für die Strom-Schwerpunktverbraucher im Zeitraum vom April 2004 bis März 2005 errechnet und in Bild II.2 dargestellt.

Bild II.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs auf die Hauptverbraucherbereiche von April 2004 bis März 2005



Die „Lüftungsanlagen“ mit fast 40 % und die „Beleuchtung Konzert & Kongress“ mit knapp 27 % stellen die beiden Hauptverbrauchergruppen in der Alten Oper dar. Nimmt man die Beleuchtung für beide Bereiche zusammen ergibt sich ein Anteil von rund 33 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper.

Den drittgrößten Verbrauch hat der Bereich Parkhaus. Dieser setzt sich aus der Summe von zwei internen Zählern (Parkhaus und Parkhaus NE) zusammen. Da dieser Bereich „Parkhaus“ verpachtet ist, sollte der Stromverbrauch im Zuge einer bedarfsgerechten Verbrauchsabrechnung ebenfalls separat abgerechnet werden (s. Abschnitt II.4).

II.2 Fernwärmebezug für Wärmebereitstellung (vgl. Abschnitt 2.2)

Die Wärmeversorgung der Alten Oper Frankfurt erfolgt ausschließlich aus dem Dampfnetz „Innenstadt“ der Mainova AG Frankfurt. Für die Verbrauchserfassung und Abrechnung der AOF ist in der Kondensatsammelleitung ein Wärmemengenzähler (Zählernummer 991103) installiert. Als Sondervertragskunde erfolgt eine Abrechnung der bezogenen Ferndampfmenge (in kWh) sowie eines Grundpreises, der sich nach der vertraglich vereinbarten vorzuhaltenden Wärmeleistung (in kW) bemisst (**Bezugstarif ThermoBusiness D**).



Bei der Mainova ist derzeit eine Ferndampfbezugsleistung von 3.306 kW angemeldet, woraus sich eine angemeldete Mehrleistung zur tatsächlichen Umformerleistung von 92 kW (= 2,9 %) ergibt. Der rechnerisch ermittelte Wärmebedarf für die Alte Oper liegt bei 2.356 kW (vgl. Abschnitt III.2). Die Änderung der angemeldeten Anschlussleistung bei der Mainova auf die tatsächlich installierte Leistung würde zu einer jährlichen Netto-Kosteneinsparung von rund 10,- €/kW führen. Um die tatsächliche maximale Bezugsleistung ermitteln zu können, soll eine Zählerverbrauchserfassung durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt (Abteilung Energiemanagement) installiert werden (vgl. **Maßnahme 3.3.I**).

Aus den monatlichen Wärmeverbrauchsabrechnungen der Mainova wurden für 1998-1999 sowie 2002 bis 2004 folgende Jahreswerte ermittelt, wobei neben die absoluten Verbrauchswerten auch die witterungsbereinigten Verbräuche dargestellt sind.

Tafel II.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Jahreswerte und –kosten des Fernwärmebezugs von 1998-1999 sowie 2002 bis 2004

Jahr	.Jahresverbrauch		.Jahresfernärmekosten	
	Absolut in kWh _{HU}	Witterungsbereinigt in kWh _{HU}	Gesamt in EUR	Spezifisch in EUR/kWh _{HU}
1998	3.099.528	3.192.513	148.424,-	0,0479
1999	2.952.098	3.217.786	142.493,-	0,0483
2002	2.752.470	2.961.812	147.985,-	0,0538
2003	3.670.902	3.805.444	199.768,-	0,0544
2004	3.304.798	3.310.896	185.461,-	0,0561

Der witterungsbereinigte Fernwärmeverbrauch lag in den vergangenen fünf Jahren bei durchschnittlich **3.297.690 kWh**. Die Verbrauchswerte in den zwei letzten Jahren lagen höher als der Durchschnittsverbrauch, während in 1998-1999 sowie in 2002 die witterungsbereinigten Fernwärmebezugswerte unter dem Durchschnitt lagen.

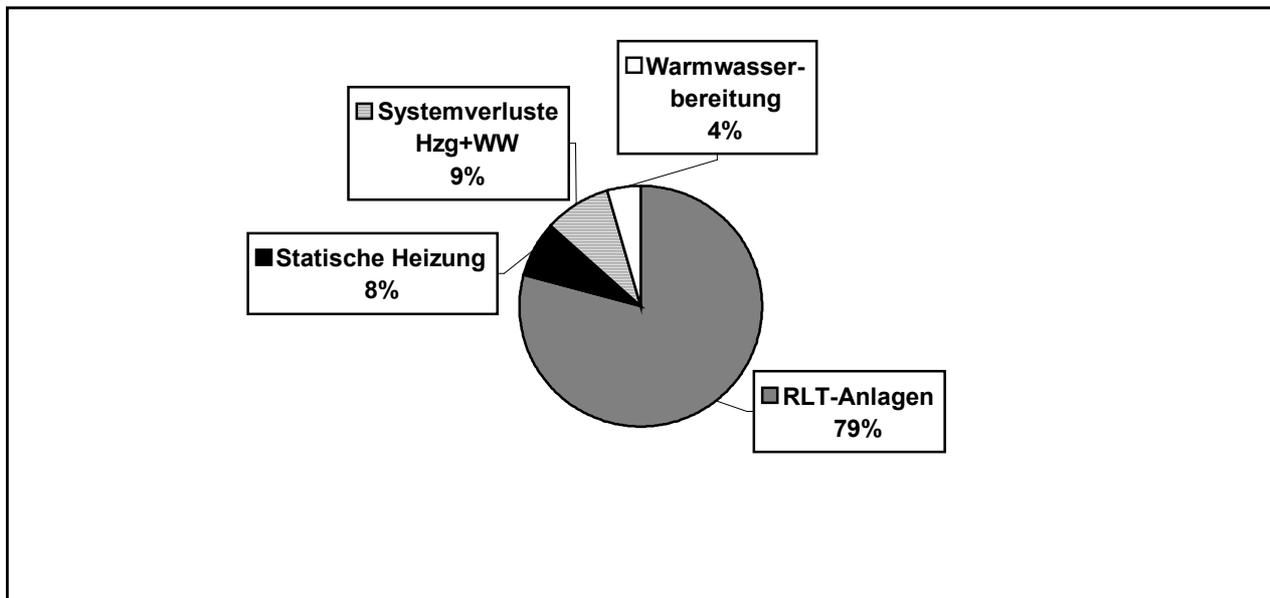
In 2003 lag der Fernwärmebezug allerdings um mehr als 16 % über dem langjährigen witterungsbereinigten Verbrauch. Die Gründe hierfür konnten auch nach Rücksprache mit der Technischen Leitung nicht zurückverfolgt werden.

Die spezifischen Fernwärmebezugskosten sind seit 1998 kontinuierlich um insgesamt 17% gestiegen. Der Anteil der jährlichen Grundkosten an den Gesamtkosten liegt bei 22 %.

Im folgenden Bild II.3 ist die Verteilung des Heizwärmebedarfs in der Alten Oper grafisch dargestellt.



Bild II.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Verteilung des Heizwärmebedarfs auf die einzelnen Verbrauchergruppen



Eine Bilanzierung des Heizwärmebedarfs für die einzelnen Verbrauchergruppen mit den entsprechenden Jahres-Wärmebezugskosten zeigt Tafel II.4.

Tafel II.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Jahresbilanz des Heizwärmebedarfs für die einzelnen Verbrauchergruppen

Verbrauchergruppe	Heizenergiebedarf	Anteil am Gesamtverbrauch	Durchschnittliche Jahres-Wärmebezugskosten
RLT-Anlagen	2.617,4 MWh/a	79,3 %	146.835,- €/a
Statische Heizung	250,4 MWh/a	7,6 %	14.050,- €/a
Warmwasserbereitung (Nutzwärme)	145,8 MWh/a	4,4 %	8.180,- €/a
Systemverluste für Hzg.+WW	284,1 MWh/a	8,6 %	19.310,- €/a
Gesamt	3.297,7 MWh/a		188.375,- €/a

Insgesamt wurden in der Alten Oper Frankfurt in den vergangenen Jahren durchschnittlich rund 3.358 MWh an Fernwärme zur Wärmebereitstellung eingesetzt. Davon wurden 3.013,6 kWh an Nutzwärme verbraucht, d.h., rund 9 % der eingesetzten Fernwärme gingen als Verluste für die Verteilung von Heizwärme und Warmwasser verloren.

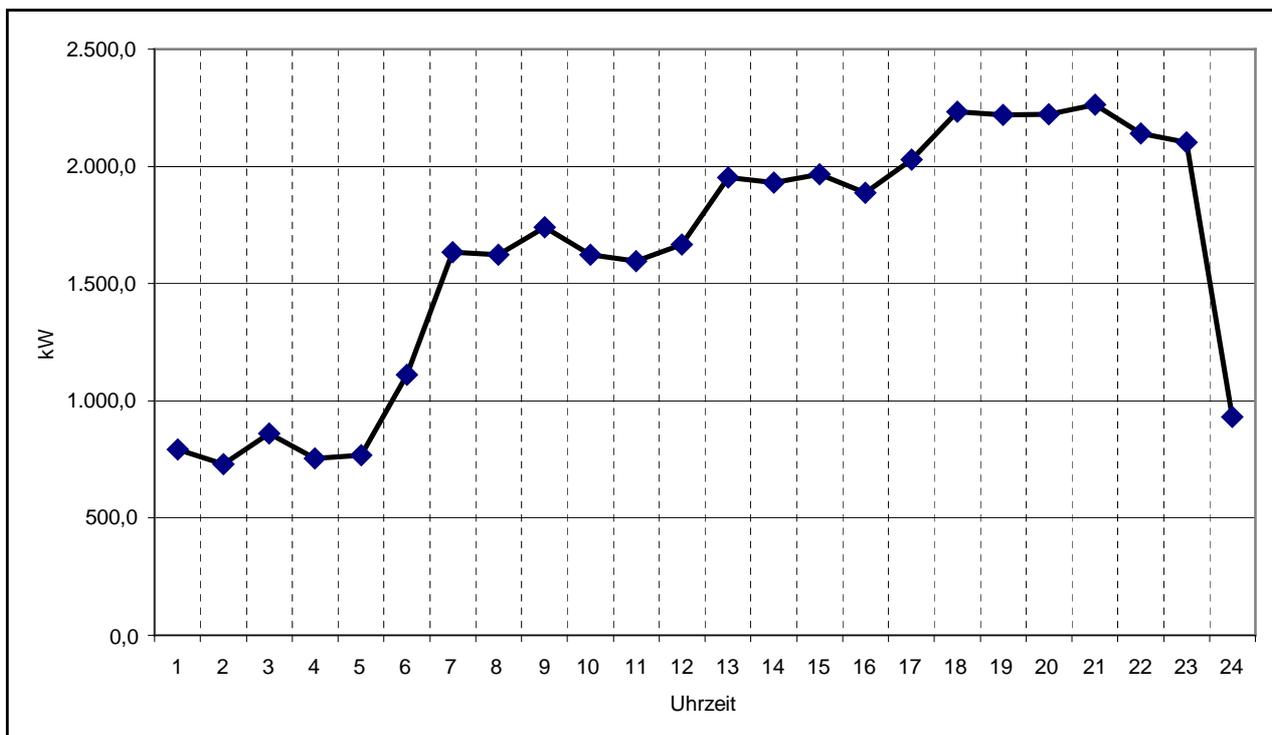
Den größten Anteil mit 79,3 % am Heizwärmebedarf und den Jahreswärmebezugskosten haben die Lüftungsanlagen. Die Heizwärmeversorgung der statischen Heizungen hat einen Anteil von 7,6 % am Gesamtheizwärmebedarf.

Für die Warmwasserbereitung (Nutzwärme) der Gastronomie- und des Kongressbereichs ergaben sich 4,4 % des Gesamtheizenergiebedarfs der Alten Oper.



Um die maximale Wärmebezugsleistung zu ermitteln, wurde auf Grundlage des Test-Referenzjahres für Frankfurt ein Tagesverlauf des Wärmebedarfs mit maximalen Außenlufttemperaturen im Winter erstellt und in Bild II.4 dargestellt.

Bild II.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Tageslastgang des Heizwärmebedarfs bei maximalen Außenlufttemperaturen (Winter)



Das Bild zeigt, dass in den Abendstunden an einem Wintertag mit maximalen Außenlufttemperaturen ein Spitzenwärmebedarf von 2.265 kW erreicht wird. Dieser Bedarf deckt sich annähernd mit dem rechnerisch ermittelten Bedarf von 2.356 kW (vgl. Abschnitt III.1).

Im Vergleich zur angemeldeten Fernwärmebezugsleistung von 3.306 kW errechnet sich hieraus eine Reduzierung des notwendigen Bedarfs zwischen 1.040 und 950 kW (**vgl. Maßnahme 3.3.I**).



II.3 Wasserverbrauch (vgl. Abschnitt 2.3)

Die Alte Oper Frankfurt verfügt eine Einspeisung mit zwei Einspeisezählern aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG.

Die Messstelle mit zwei Zählern (Nr. 111 438 und 111 443) befindet sich in der Sanitärzentrale in der Ebene 01. Für die Alte Oper ist derzeit der **AquaClassic-Tarif** der Mainova gültig. Die untervermieteten Bereiche der Gastronomie werden nicht separat abgerechnet, d.h., sie werden in der Mainova-Rechnung nicht gesondert erfasst bzw. abgerechnet.

Die jährlichen Wasserverbrauchswerte sowie die Bezugskosten für 2002 bis 2004 sind in der folgenden Tafel II.5 dargestellt.

Tafel II.5 Energiekonzept „Alte Oper“ - Jahreswerte des Wasserbezugs und -kosten von 2002 - 2004

Jahr	Wasser- verbrauch in m ³ /a	Wasserkosten			
		Wasser in EUR	Kanal in EUR	Gesamt in EUR	Spez. Wasserpreis in EUR/m ³
2002	20.285	44.527,-	35.702,-	80.229,-	3,96
2003	22.175	45.777,-	39.028,-	84.805,-	3,82
2004	20.106	41.615,-	48.497,-	90.112,-	4,48

Der Wasserbezug ist in den letzten drei Jahren nahezu konstant geblieben. Der durchschnittliche Wasserbezug lag bei 20.855 m³/a. Lediglich in 2003 gab eine Erhöhung, die aufgrund des heißen Sommers auf den zusätzlichen Wasserbedarf für die Kühltürme zurückzuführen ist.

Die Bezugskosten sind allerdings von 2002 bis 2004 um über 12 % bzw. rund 10.000,- € gestiegen. Dies liegt hauptsächlich an den um fast 37 % gestiegenen Abwassergebühren (von 1,76 €/m³ auf 2,34 €/m³), während der Trinkwasserpreis von 2,20 €/m³ auf 2,07 €/m³ im gleichen Zeitraum leicht gefallen ist.

Von der Stadt Frankfurt werden jährlich für folgende Bereiche die Kanalbenutzungsgebühren zurückerstattet, die in Folge von Verdunstung und Versickerung nicht in die Entwässerungsanlage eingeleitet werden:

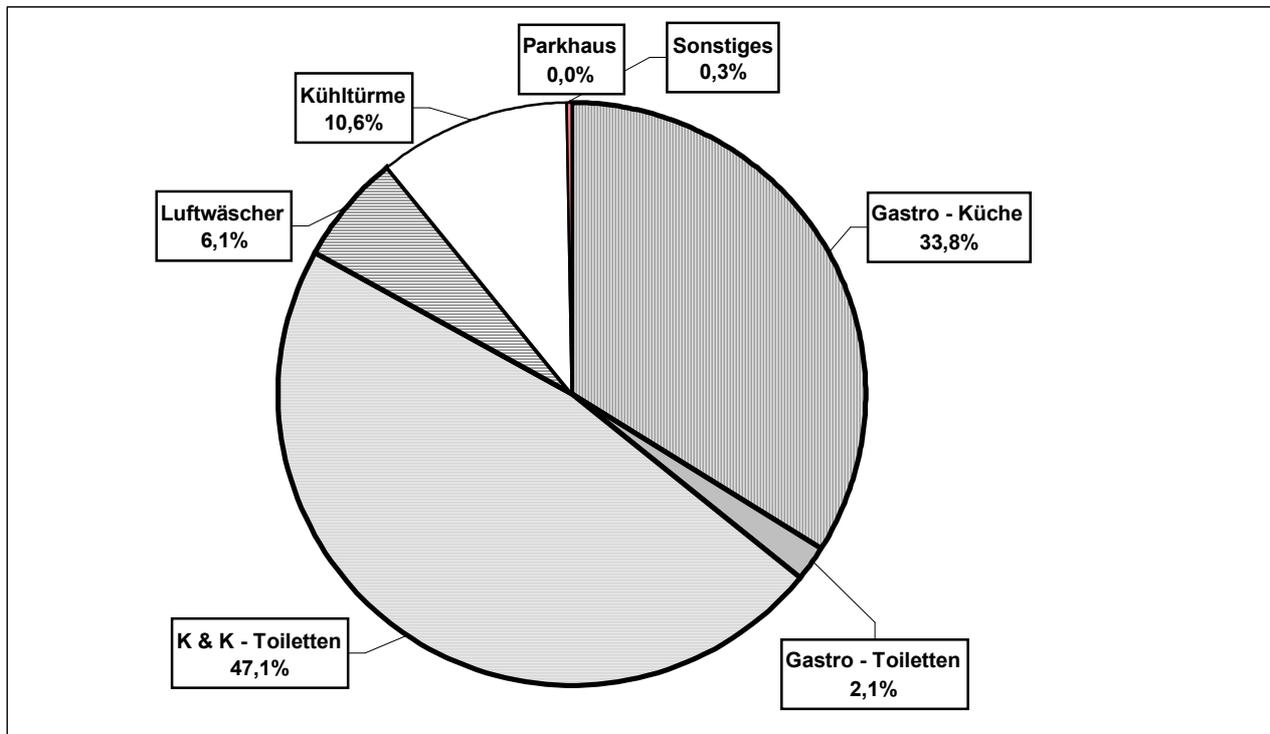
- 50 % der Wassermenge für die Befeuchtung der Raumluft (Luftwäscher)
- 50 % der Wassermenge für offenen Kühlturm

Diese Wassermenge wird mittels der beiden internen Wasserzähler für die Wasseraufbereitungsanlagen der Kühltürme sowie der Luftwäscher ermittelt. Die erstattete Gebühr für nicht in die Kanalisation eingeleitetes Abwasser lag in den vergangenen beiden Jahren bei durchschnittlich rund 4.960,- €.

Auf Grundlage der internen, nicht geeichten Wasserzählung wurde die Verteilung des Wasserbedarfs in der Alten Oper ermittelt und in Bild II.5 dargestellt.



Bild II.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Verteilung des Wasserbedarfs auf die einzelnen Verbraucher



Der Wasserbedarf in der Alten Oper verteilt sich in etwa zu zwei Drittel auf den Bereich „Kongress und Kultur“ und zu einem Drittel auf den „Gastronomiebereich“. Fast die Hälfte des Wasserverbrauchs wird für die Toilettenspülungen benötigt (siehe Maßnahme 3.7.III – Einbau Trockenurinale im Büro-/Verwaltungsbereich).

Im Bereich „K&K“ hat das Technikwasser für die Luftwäscher der Lüftungsanlagen und die Kühltürme einen Anteil von 17 %, wobei jedoch berücksichtigt werden muss, dass hieran der Bereich „Gastro“ einen nicht separat erfassten anteiligen Wasserverbrauch für den Kühlturm der Kleinkälteanlagen hat.

Aufgrund des defekten Wasserzählers (seit 2000) kann derzeit der Wasserverbrauch des Parkhauses nicht berücksichtigt werden. Ältere Verbrauchsaufzeichnungen bzw. Zählerstände existieren nicht.



II.4 Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und -abrechnung (vgl. Abschnitt 2.4)

In der Alten Oper Frankfurt sind, entsprechend dem derzeit gültigen Pachtvertrag, die in der folgenden Tafel II.6 aufgeführten Bereiche an die Fa. Käfer & Kuffler GmbH & Co. vermietet.

Tafel II.6 Energiekonzept „Alte Oper“: Verpachtete Bereiche

Funktion / Ebene	Fläche in m ²
Bistro / Cafe im Vestibül einschl. Versorgungslogistik	98,0
Altes Foyer (Restaurant Opera E3)	257,0
Gastronomiefläche im Merchandising-Bereich	60,0
Büffets im Alten und Neuen Foyer, Wintergarten, der Ebene 2 und Sitzflächennutzung	400,0
Nebenraum im ehemaligen Opernkeller	8,0
Toilettenanlagen im ehemaligen Opernkeller	79,5
Großküche mit Nebenräumen in der Ebene 1, Anlieferung und die Lagerräume E01	860,0
Sozial- und Umkleideräume für Mitarbeiter	39,0
Büroräume in der Ebene 01	48,0
Gesamter verpachteter Bereich	1849,5

Die Alte Oper verfügt über eine beheizte Nutzfläche von rund 12.700 m² (vgl. Abschnitt I). Der Anteil des verpachteten Gastronomiebereichs liegt bei 14,6 % bzw. 1.850 m².

II.4.1 Berechnung der Betriebskosten für den Bereich Gastronomie

Kosten für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten

Folgende Wartungs- und Instandhaltungskosten für Anlagen in verpachteten Bereichen werden derzeit schon erfasst und direkt mit dem Pächter abgerechnet.

Tafel II.7 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der derzeit erfassten Wartungs- und Instandhaltungskosten in 2004 für den Bereich Gastronomie

Bereich	Wartung in EUR/a	Reparaturen in EUR/a	Verbrauchsmaterial in EUR/a
Allgemein Gastronomie-/Küchentechnik	14.800,- (HSG)	4.700,-	
Abwasserbehandlungsanlage	9.000,- (Enviro) ¹	8.800,-	8.200,-
Kleinkälteanlagen		4.700,-	
Dunstabzugshauben			490,- (Filter)
Geräte (Automaten)	670,- (AVS)	975,-	
Küchengeräte		3.470,-	
Netto-GESAMT	24.470,-	17.945,-	8.690,-

In 2004 fielen rund 51.000,- EUR an Wartungs-, Reparatur- und Instandhaltungskosten für den Bereich „Gastronomie“ an, die direkt mit dem Pächter abgerechnet wurden.

¹ Wartungsvertrag in Vorbereitung



Weiterhin fallen in der Alten Oper die in Tafel II.8 zusammengestellten Wartungsarbeiten an, die von der HSG durchgeführt werden und die anteilmäßig dem Bereich „Gastronomie“ zugeordnet werden sollten.

Tafel II.8 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der anteilmäßig zu erfassenden Wartungs- und Instandhaltungskosten in 2004 für den Bereich Gastronomie

Bereich	Wartung HSG in EUR/a	Verbrauchsmaterial in EUR/a
- Reinigung Dunstabzugshauben	11.005,-	
Lüftungsanlagen		
- Dampfbefeuchter	4.190,-	
- Geräte und Filterwechsel KL11-KL58	12.460,-	
- Luftbefeuchter	3.390,-	
Kälteversorgung		
Großkälteanlagen	k.A.	
Kühltürme (Sommerpause)	1.900,-	
- Kühltürme	1.935,-	
Heizungsanlage H01-HZ22	1.930,-	
Wasseraufbereitung	565,-	3.660,- (ST DOS T300)
Druckluftversorgung	970,-	
Dienstleistungen		
- Programmierung ZLT	18.225,-	
- Sprinklerprüfung (wöchentlich)	45.750,-	
Elektroversorgung		
- Notstromdiesel	985,-	495,-
- Trafostation	1.120,-	
Netto-GESAMT	104.425,-	4.155,-

Für die Technikbereich in der Alten Oper fallen jährlich knapp 108.600,- EUR für Wartungsarbeiten (inkl. Verbrauchsmaterialien) an, die anteilig vom verpachteten Gastronomiebereich mitgetragen werden müssten. Einen genauen Abrechnungsschlüssel gilt es noch festzulegen. Zum Beispiel würde eine Verteilung nach Nutzfläche für den Gastronomiebereich (14,6 %) einen jährlichen Anteil von 15.850,- Euro bedeuten.

Berechnung der Energie- und Wasserkosten

Im folgenden werden, anhand der vorliegenden Verbrauchs-, Betriebs- und Leistungsdaten der Energie- und Wasserversorgungseinrichtungen in der Alten Oper, für den verpachteten Gastronomiebereich, die jährlichen Energie- und Wasserkosten ermittelt und in der Tafel II.9 dargestellt.



Tafel II.9 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der jährlichen Netto-Energie- und Wasserkosten für den Gastronomiebereich

1. Bereich Strom		Verbrauch	Bemerkungen
1.1 Erfasster Verbrauch durch interne Stromzähler			
Feld 01 - Beleuchtung und Steckdosen	in kWh/a	369.150	
Feld 21 - Küche E 3	in kWh/a	151.280	
GESAMT	in kWh/a	520.430	
1.2 Erfasster Verbrauch, der nur anteilig Gastro zugeordnet werden kann			
Feld 19 - Technik	in kWh/a	132.670	Küche / Bistro /Theke E2
Feld 19 - Technik	in kWh/a	35.930	Lüftung E02 - KL39-42
Feld 26 - Gastro Netzersatz	in kWh/a	9.169	Bistro Beleuchtung
Feld 26 - Gastro Netzersatz	in kWh/a	91.850	Aufzüge 5,6 und 9
GESAMT	in kWh/a	269.619	
1.3 Nicht erfasster Verbrauch (Bedarf rechnerisch ermittelt)			
Aufzüge 3 und 4 (anteilig)	in kWh/a	62.916	70 % d. Fahrten für Gastro
Hzg.-Pumpen	in kWh/a	27.695	
Kälte-Pumpen	in kWh/a	13.315	
Lüftungsanlage KL 28 - Küche	in kWh/a	158.080	
GESAMT	in kWh/a	262.006	
Gesamtstromverbrauch	in kWh/a	1.052.055	
Gesamtstromkosten netto	in EURO/a	74.890,-	Nur Kosten für Arbeit
2.1 Lüftungsanlagen (Strom/Wärme/Kälte)			
KL 06 - Foyer Großer Saal (anteilig)	in EURO/a	4.250,-	
KL 08 - Eingangshalle (anteilig)	in EURO/a	1.100,-	
2.2 Lüftungsanlagen (Wärme/Kälte)			
KL 38 - Küche	in EURO/a	15.050,-	
KL 39 - WC-, Flur, Duschen E01	in EURO/a	1.425,-	
KL 40 - WC E01+E02	in EURO/a	1.900,-	
KL 41 - Warenannahme	in EURO/a	915,-	
KL 42 - Müllraum / Fettabscheider	in EURO/a	3.650,-	
Gesamtenergiekosten RLT-Anlagen netto	in EURO/a	28.290,-	
3. Bereich Wasser			
Erfasster / Errechneter Verbrauch	in m ³ /a	6.795,-	
Gesamtwasserkosten	in EURO/a	28.780,-	
GESAMT ENERGIE- / WASSERKOSTEN	in EURO/a	131.960,-	

Die ermittelten Energie- und Wasserkosten für den Gastronomiebereich liegen bei jährlich fast 132.000,- €. Derzeit ist zwischen Pächter und der Alten Oper GmbH ein monatlicher Pauschalbetrag von 6.620,- Euro vertraglich vereinbart. Daraus errechnet sich eine Differenz zwischen ermittelten und in Rechnung gestellten Energie- und Wasserkosten in Höhe von **52.520,- € /a**.



Berücksichtigt man zusätzlich einen derzeit nicht abgerechneten Anteil an den Wartungs- und Instandhaltungskosten von 15.850,- Euro/a (vgl. Abschnitt 2.4.4) so errechnen sich daraus zusätzlich zu erstattende Betriebskosten für den Gastronomiebereich von 68.370,- €/a. Die Gesamtbetriebskosten Technik für den Gastronomiebereich belaufen sich dann auf **198.900,- €/a**.

II.4.2 Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit für eine verbrauchsabhängige Abrechnung

Für eine bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung sind die untervermieteten Bereiche in der Alten Oper durch entsprechende Zähleinrichtungen zu erfassen und abzurechnen. In der folgenden Tafel II.10 sind die Kosten für die Zähler zusammengestellt.

Tafel II.10 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionen für eine verbrauchsabhängige Abrechnung der Betriebskosten

BEREICH	NETTOGESAMT
1. Elektrozähler	26.000,- Euro
2. Wärmemengenzähler m. Impulsausgang	11.000,- Euro
3. Kältemengenzähler m. Impulsausgang	13.400,- Euro
3. Wasserzähler m. Impulsausgang	1.050,- Euro
4. Kondensatzähler m. Impulsausgang	6.900,- Euro
Gesamt	58.350,- Euro

Die Investitionskosten für die verbrauchsabhängige Erfassung und Abrechnung der verpachteten Bereiche „Gastro“ in der Alten Oper belaufen sich auf 58.350,- Euro. Dieser Summe steht eine jährliche Differenz zwischen tatsächlichen und abgerechneten Energie- und Wasserkosten in Höhe von 52.500,- Euro gegenüber. Daraus ergibt sich, dass die Investition in Zählereinrichtungen und gleichzeitiger verbrauchsabhängiger Abrechnung innerhalb kürzester Zeit refinanziert wäre (Maßnahme 2.4.I).

II.4.3 Verbrauchsabhängige Abrechnung der Stromkosten mit dem Parkhaus

Als Ergänzung zu den vorgenannten Abschnitten sollte auch mit dem Parkhauseigner eine verbrauchsabhängige Abrechnung der Stromkosten erfolgen, da hierfür entsprechende Stromzähler vorhanden sind.

Auf Grundlage dieser Messungen ergibt sich für das „Parkhaus“ ein Strombedarf von jährlich 375.930 kWh. Daraus errechnen sich jährliche Stromkosten in Höhe von **26.760,- Euro/a**, die dem Bereich Parkhaus in Rechnung gestellt werden sollte (**Maßnahme 2.4.II**).



III. Stammdaten des Gebäudes und der betriebstechnischen Anlagen

III.1 Gebäude (vgl. Abschnitt 3.2)

Für die Alte Oper Frankfurt errechnet sich ein Gebäudewärme-Leistungsbedarf von rund **616 kW**. Der spezifische Wärmebedarf liegt bei 49 W/m². Aufgrund der Tatsache, dass die innenliegenden Räume der Alten Oper Frankfurt mechanisch belüftet werden müssen, ergibt sich ein zusätzlicher Wärmebedarf für die Lüftungsanlagen, der in Tafel III.1 dargestellt ist.

Tafel III.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Wärmebedarf für Lüftungsanlagen

Luftvolumenstrom (V_L)	in m ³ /h	349.440
WRG-Faktor (f_{WRG})		0,36
Zulufttemperatur (T_{ZU})	in °C	24
Außentemperatur (T_{AU})	in °C	-12
Ablufttemperatur (T_{AB})	in °C	19
RLT-Wärmebedarf (Q_{RLT})	in kW	2.899,8

Entsprechend der „AMEV - Richtlinie für die Planung und Ausführung von Heiz- und Wassererwärmungsanlagen in öffentlichen Gebäuden“ wird für die Bestimmung des notwendigen Wärmebedarfs der RLT-Anlagen ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,6 vorgegeben.

Für die Heizwärmeversorgung der Alten Oper errechnet sich somit ein Gesamtwärmebedarf von **2.356,2 kW** (= 616,3 kW + 0,6 * 2.899,8 kW).

Die beiden vorhandenen redundant ausgelegten Ferndampfumformer verfügen über eine Übertragungsleistung von jeweils 3.214 kW. Berücksichtigt man Heizwärmeverteilungsverluste im Gebäude in Höhe von 5 % so ergibt sich, dass die Wärmetauscher um rund 30 % überdimensioniert sind (vgl. Maßnahme 3.3.I).

Der Heizwärmebedarf ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf für Transmission und Lüftung abzüglich der Wärmegewinne und ist in Tafel III.2 zusammengestellt.

Tafel III.2 Energiekonzept „Alte Oper“ – Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs und des Energiekennwertes Heizung

Transmissions- / Lüftungswärmeverluste	Q_V	5.685,5	MWh/a
Nutzbare Wärmegewinne	Q_G	2.793,6	MWh/a
Heizwärmebedarf	$Q_H = Q_V - Q_G$	2.891,9	MWh/a
Energiekennwert Heizwärme	Q_H/EBF	227,7	(kWh/m ² a)
Grenzwert		85	(kWh/m ² a)
Grenzwertüberschreitung		168	(%)
Grenzwert erfüllt		Nein	



Der derzeitige Wärmeschutz und der Heizenergiebedarf der Alten Oper Frankfurt kann wie folgt bewertet werden:

- Der nach dem Hüllflächenverfahren rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf aller drei Gebäude beträgt **2.891,9 MWh** für die Raumbeheizung. Der Gesamtwärmebedarf liegt bei rund **2.356 kW**.
- Für die Außenwände der Alten Oper sind in den nächsten Jahren stellenweise Sanierungen der vorgesetzten Sandsteinfassade (Austausch einzelner Steine) geplant. Da diese Erneuerungen nicht durchgängig erfolgen ist das Anbringen einer Wärmedämmung hinter dem Sandstein nicht möglich.
- Der geforderte Grenzwert des spezifischen Heizenergiebedarfs nach Hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude (Theater) von $85 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ wird bei weitem nicht erreicht, sondern mit **$228 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$** um **168 %** überschritten. Aus den ermittelten Werten kann somit ein relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden, das vornehmlich durch die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste realisiert werden könnte.
Die Transmissionswärmeverluste können nicht relevant bzw. wirtschaftlich vermindert werden, da die Außenfassade nicht verändert werden kann, das Dach bereits gedämmt und die Kosten für den Austausch der Verglasung zu hoch sind (überwiegend Sonderanfertigungen).
- Aufgrund von Witterungseinflüssen haben sich teilweise die großen Holztüren (Personal- und Behinderteneingang Westseite, Terrasse Opera) verzogen. Es kommt zu erheblichen Undichtigkeiten, die mit einem erhöhten Lüftungswärmebedarf verbunden sind. Durch die Erneuerung der Dichtungen zwischen den Holztüren und Rahmen der Personal- und Behinderteneingänge auf der Westseite sowie zur „Opera“-Terrasse können die Lüftungswärmeverluste reduziert werden. Hierzu müssen die alten Dichtungen entfernt werden und durch neue ersetzt werden. (vgl. **Maßnahme 3.2.I**).



III.2 Betriebstechnische Anlagen

Hinsichtlich des Zustandes und der Konzeption werden die einzelnen betriebstechnischen Anlagen in der Alten Oper in den folgenden Abschnitten bewertet und Hinweise auf die entsprechenden Sanierungs- bzw. Optimierungsmaßnahmen gegeben.

III.2.1 Wärmeversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.3)

- Bei der Mainova ist derzeit eine Ferndampfbezugsleistung von 3.306 kW angemeldet. Die rechnerisch ermittelte Spitzenlast liegt bei 2.356 kW (vgl. Abschnitt 3.2.2.). Daraus ergibt sich eine angemeldete Mehrleistung zur tatsächlichen Umformerleistung von 950 kW (= 28 %). Es ist eine Korrektur der max. installierten Umformerleistung als Abrechnungsgröße mit der Mainova anzustreben. Eine genaue Ermittlung der tatsächlichen maximalen Fernwärmebezugsleistung kann durch eine automatische Erfassung der Kondensatzählerstände durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt (Abteilung Energiemanagement) erfolgen. Entsprechende Gespräche wurden bereits mit der Mainova geführt. (**vgl. Maßnahme 3.3.I**).
- Vorrangig aus hygienischen Gründen sollte die Größe der WW-Speicher überprüft werden, denn zu geringe Entnahmemengen im Vergleich zur Speichergröße führen zu langen Standzeiten des Warmwassers im Speicher. Daraus ergibt sich eine erhöhte Legionellengefahr.
- Von den installierten Umwälzpumpen wird derzeit nur die neu installierte Pumpe für den Bereich „Cafe Rosso-Konvektor“ mit einer elektronischen Drehzahlregelung betrieben. Alle ungeregelten Primär- und Sekundärpumpen für die statischen Heizkreise könnten durch drehzahlgeregelte Pumpen ersetzt werden, da diese einen überhöhten Stromverbrauch verursachen. Im Rahmen einer Modernisierung bzw. Austausches müssen gemäß EnEV selbsttätig in mindestens 3 Stufen regelbare elektronische Pumpen eingebaut werden (**s. Maßnahme 3.3.II**).
- Die beiden redundant ausgelegten Umwälzpumpen des Kreislaufverbundsystems zur Wärmerückgewinnung werden derzeit wechselseitig ungeregelt betrieben. Aufgrund der hohen elektrischen Anschlussleistung und der langen Betriebszeit ergibt sich ein relevantes Einsparpotential bei einem geregelten lastabhängigen Betrieb der Pumpen (**s. Maßnahme 3.3.III**).
- Für eine exakte Verbrauchserfassung und -abrechnung sollte der Wärmeverbrauch des verpachteten Restaurantbereichs (statische Heizkreise sowie die Lüftungsanlagen) mittels Wärmemengenzähler erfasst werden. Eine Aufschaltung der Messeinrichtungen auf eine erneuerte GLT ist vorzusehen (**s. Maßnahme 2.4.I und Maßnahme 3.6.VII**).



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

In der Alten Oper Frankfurt sind 54 Lüftungsanlagen mit einer Gesamtzuluftmenge 349.440 m³/h und einer Gesamtabluftmenge von 405.955 m³/h, installiert. Die klimatisierte Gesamtzuluftmenge beträgt rund 70 % (240.900 m³/h). Der Anteil der Anlagen, die über eine WRG verfügen, liegt bei 59,4 % bzw. 207.650 m³/h.

Energiekosten der Klima- und Lüftungsanlagen

Um einen Überblick über die jährlichen Energiekosten der wichtigsten Lüftungs- und Teil-Klimaanlagen zu bekommen und um daraus entsprechende Einsparpotentiale ableiten zu können, wurden in Tafel III.3 die jährlichen Kosten für den Wärmebezug, die Stromkosten für den Betrieb der Ventilatormotoren und soweit vorhanden die Stromkosten für die Kälteerzeugung der relevanten Lüftungsanlagen zusammengestellt.

Tafel III.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der jährlichen Netto-Energiekosten der wichtigsten Lüftungsanlagen

Anlage / Versorgungsbereich	Betriebszeiten	Wärmebezugs-kosten in EUR	Stromkosten Ventilator-Motoren in EUR	Stromkosten Kälteerzeugung in EUR	Gesamt in EUR
KL01 AU-Aufbereitung	07.00-23.00 Uhr	-	92.230,-	-	92.230,-
KL02 Großer Saal	13.00-23.00 Uhr	11.930,-	35.060,-	5.940,-	-10,-
KL03 Mozart Saal	15.00-23.00 Uhr	6.130,-	7.840,-	1.930,-	-8,-
KL04 Hindemith Saal	17.00-22.00 Uhr	1.065,-	2.270,-	1.000,-	-5,-
KL05 Olymp	13.00-23.00 Uhr	5.425,-	4.040,-	965,-	-10,-
KL06 Foyer Gr. Saal	06.00-01.00 Uhr	4.360,-	6.140,-	610,-	5,-
KL07 Garderobe E02	07.00-23.00 Uhr	3.620,-	10.250,-	585,-	-16,-
KL08 Eingangshalle	07.00-23.00 Uhr	3.170,-	3.180,-	415,-	-16,-
KL38 Küche	06.00-23.50 Uhr	13.880,-	14.580,-	1.160,-	33,-
KL43 Mehrzweckr. Ost	07.00-23.00 Uhr	4.205,-	4.765,-	460,-	-16,-
KL45 Mehrzweckr. West	07.00-23.00 Uhr	3.540,-	3.590,-	385,-	-16,-
KL47 Verwaltung Nord	07.00-23.00 Uhr	11.520,-	3.380,-	525,-	-16,-
GESAMT		68.845,-	187.325,-	13.975,-	270.145,-

Die Netto-Gesamtenergiekosten für die wichtigsten Lüftungsanlagen liegen bei rund 270.1050,- EUR pro Jahr. Das entspricht einem Anteil von rund 30 % an den Gesamtenergiekosten für Wärme und Strom. Hierbei liegen die Kosten für den Strombezug um knapp 132.500,- EUR höher als die für den Wärmebezug. Die Hauptverbraucher stellen die Lüftungsanlage „KL01 Außenluftaufbereitung“ und „KL02 Großer Saal“ mit zusammen über 145.000,- EUR/a (=53,7 %) dar.

Auffallend sind die hohen Energiekosten für die Lüftungsanlage „KL 47 Verwaltung Nordflügel E1/E5“ mit 15.425,- EUR/a. Hauptgrund hierfür ist die lange Betriebszeit und das fehlende Wärmerückgewinnungssystem (vgl. Maßnahme 3.4.III).



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

- Insgesamt sind 54 Lüftungsanlagen installiert. Davon verfügen 25 Anlagen über eine Kühlfunktion, 39 Anlagen sind kombinierte Zu-/Abluftgeräte und 15 reine Fortluftanlagen.
- Die Raumluftechnischen Anlagen verursachen, aufgrund ihrer Versorgungsfunktionen (Be- und Entlüften, Heizen, Kühlen), der derzeitigen Betriebsweise sowie ihrer Konzeption, die nicht mehr dem Technischen Stand entspricht, den mit Abstand höchsten Energieverbrauch aller betriebstechnischen Anlagengruppen der Alten Oper Frankfurt.
- Sämtliche elektrischen Nacherhitzer werden aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen nicht mehr betrieben.
- Die Radialventilatoren und Motoren der zentralen Zu- und Abluftgeräte haben mit 25 Jahren das Ende Ihrer technischen Nutzungsdauer erreicht. Die Ventilatoren und Motoren verfügen, gegenüber modernen Einheiten über schlechtere Wirkungsgrade bei der Luftförderung. Des weiteren wird derzeit bei den RLT-Anlagen „KL01 Außenluftaufbereitung“, „KL02 Großer Saal“ und „KL03 Mozart Saal“ der Volumenstrom luftseitig durch Verstellen der Leitschaufeln am Ventilator an den Bedarf angepasst. Hierbei vermindert sich jedoch die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilatorantriebs nur geringfügig, da der Antriebsmotor weiterhin den Ventilator mit konstanter Drehzahl antreibt. Aus diesen Gründen werden für die energetisch relevantesten Lüftungsanlagen (KL01-KL03) neue Ventilatoren und stufenlos regelbare Motoren mittels Frequenzreglern empfohlen (**s. Maßnahme 3.4.I**).
- Probleme beim Betrieb der Klimaanlage für den Großen Saal wurden durch das Technische Personal der Alten Oper beseitigt. Eine Ursache zum Beispiel waren falsch verdrahtete Temperaturfühler, die zu einer falschen Mittelwertbildung der Saaltemperatur führte. Grundsätzlich entspricht die MSR-Technik nicht mehr dem Stand der Technik. Grundfunktionen für einen energetisch und wirtschaftlich optimierten Betrieb, wie die Visualisierung der Anlagendaten sowie eine Trenderfassung bzw. –auswertung ist nicht möglich. Aus diesem Grund wird die Installation einer neuen DDC-Unterstation für die Anlage KL02 sowie einer übergeordnete GLT-Anlage empfohlen (**s. Maßnahme 3.6.VII**).
- Die Anlage „KL47 Verwaltung Nordflügel E1/E5“ verfügt über kein WRG-System. Dies führt zu hohen jährlichen Energiekosten. Aus diesem Grund wird der Einbau eines effektiven WRG-Systems (Kreislaufverbund) empfohlen (**s. Maßnahme 3.4.II**).
Die Versorgung der Büros/Verwaltung ist nicht zwingend notwendig, da die Räume über Fenster verfügen. Da ein Trennen der Luftführung für die beiden zu versorgenden Bereiche (Büro/Verwaltung und Künstlerumkleiden) nur mit erheblichen Aufwand möglich ist, wird das Wegschalten der Lüftungsanlage außerhalb der Nutzung für die Künstlerumkleiden als organisatorische Maßnahme empfohlen (**s. Maßnahme 3.4.III**).



III.2.3 Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.5)

Auf der Basis der erhobenen Daten kann die bauliche und konzeptionelle Situation des Kälteversorgungssystems in der Alten Oper Frankfurt wie folgt bewertet werden:

- Die jährlich erzeugte Kältemenge liegt bei rund 738.670 kWh. Die drei Kältemaschinen, die Kalt- und Kühlwasserpumpen sowie die Kühlturmventilatoren verbrauchen zusammen jährlich 230.600 kWh Strom. Dies entspricht einem Anteil von rund 4 % am Gesamtstromverbrauch.
- Schnittstellenprobleme bei der Datenübertragung zwischen der GLT und der Kältemaschinensteuerung sind mittlerweile behoben. Jedoch kann die Kältemaschine für die Winter-/Übergangszeit derzeit noch nicht einwandfrei betrieben werden, da diese im Anfahrzustand nach 10 Minuten aussteigt.
- Die neu installierte Kühlwasserpumpe der Kältemaschine 3 wurde während der Konzepterstellung ausgetauscht, da diese nicht die geforderte Mindestumwälzwassermenge erreichte.
- Die beiden Umwälzpumpen im Sekundär-Kaltwasserverteilnetz werden unregelmäßig betrieben, was zu einem überhöhten Strombedarf für den Anlagenbetrieb führt (**s. Maßnahme 3.5.I**).
- Das Wasser in den Kühltürmen muss permanent durch eine elektrische Wannenheizung auf +25°C gehalten werden. Grund hierfür ist eine Vorgabe vom Kältemaschinenhersteller Trane, der fordert, dass die minimale Kühlwassereintrittstemperatur in die Kältemaschine nicht unter +23-25°C liegen darf. Die Umrüstung auf eine Regelung der Kühlwassereintrittstemperatur in die Kältemaschinen mittels Dreiwegeventilen ist zu empfehlen (**s. Maßnahme 3.5.II**).
- Die Sekundär-Kaltwasserpumpen werden in Betrieb genommen, wenn die entsprechende Lüftungsanlage eine Kälteanforderung an die Regelung weitergibt. Diese Betriebsweise erfolgt aber auch dann, wenn die Kältemaschinen nicht in Betrieb sind, z.B. außerhalb der Veranstaltungen oder in der Sommerpause. (**Maßnahme 3.5.III - Organisatorisch**).

Kleinkälteversorgungsanlagen

Die Kleinkälteversorgungsanlagen für die Kühlung von verderblichen Gütern des Gastronomiebereichs in der Alten Oper Frankfurt können wie folgt bewertet werden:

- Für die 20 Kleinkälteanlagen der Gastronomie ist ein jährlicher Strombedarf von 76.765 kWh notwendig.
- Die zeitgesteuerte Umschaltung der Kühlwasserpumpen funktioniert nicht (s. Betriebszeiten). Die führt zu einem erhöhten Verschleiß einer Pumpe. Hier sollte aus Gründen der Betriebssicherheit eine Überprüfung der Steuerung erfolgen (**Maßnahme 3.5.V**).
- Die Kälteaggregate des Thekenbereichs E2 werden mit dem Kältemittel R12 betrieben. Eine Austausch ist nicht zwingend notwendig. Trotzdem sollte im Hinblick auf einen umweltbewussten und sicheren Betrieb (keine Verfügbarkeit mehr von R12) eine Umstellung oder eine Ersatzbeschaffung eingeplant werden (**Maßnahme 3.5.VI**).
- Die übrigen Kühlaggregate mit werden mit den derzeit zugelassenen Kältemitteln R 413A und R 404A betrieben.



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

Blindstromkompensationsanlage

Im Abschnitt II.1 wurde dargestellt, dass in den vergangenen drei Jahren die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten wurden und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug in Höhe von jährlich rund 2.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache geht auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensationsanlage zurück. Hier muss eine Erweiterung der Kapazität oder ein Austausch vorgesehen werden (**s. Maßnahme 3.6.I**).

Beleuchtungsanlagen

In der folgenden Tafel III.4 sind für den Beleuchtungsbereich die Daten für die einzelnen Hauptverbraucher (Veranstaltungssäle) zusammengestellt.

Tafel III.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Beleuchtung

Beleuchtungsart	Bereich	Fläche in m ²	Leistung in kW	Strom- verbrauch in kWh/a	Strom- kosten in Euro/a
Dekorations-/Akzentbeleuchtung	Hauptnutzfläche HNF	7.864,7	509	1.063.336	126.950
Arbeitsplatzbeleuchtung	Nebennutzfläche NNF	699,4	25	51.715	6.187
Raumbeleuchtung	Nebennutzfläche NNF	1.070,0	48	102.234	12.102
Arbeitsplatzbeleuchtung	Funktionsfläche FF	2.465,9	51	159.136	16.441
Raumbeleuchtung	Funktionsfläche FF	4.441,6	38	55.887	7.774
Verkehrsbeleuchtung	Funktionsfläche FF	4.687,8	145	259.288	33.067
Gesamt		21.229,3	815	1.691.596	202.520

Die Beleuchtungsanlagen haben mit einem rechnerischen Verbrauch von rund 1,7 Mio. kWh/a einen Anteil von mehr als 27 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper in 2004 (vgl. Abschnitt II.1). Die installierte Anschlussleistung der Leuchten beträgt 815 kW.

Die Beleuchtungssysteme in der Alten Oper lassen sich wie folgt bewerten:

- Die Beleuchtungsanlagen haben einen Anteil von mehr als 27 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper. Sowohl die spezifische Anschlussleistung der Leuchten als auch die Beleuchtungsstärke liegt für die Beleuchtung weit über den vorgegebenen Grenzwerten und lassen somit auf ein erhebliches Einsparungspotential schließen.
- Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) sollten gegen Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten (sogenannte T5-Leuchten) ausgetauscht werden. Aufgrund der besseren Leuchtleistung kann teilweise die Anzahl der Leuchten bzw. Leuchtmittel für einzelne Räume reduziert werden. Dieser Austausch wird bereits im Rahmen der Renovierung der Flure des Nordbereichs abschnittsweise durchgeführt und bis September 2005 abgeschlossen sein. (**s. Maßnahme 3.6.IIa – 3.6.IIc**).
- Aufgrund von Wärmestau und Erschütterungen müssen die Stufenleuchten der beiden Säle häufig gewechselt werden. Nach Auskunft der Techn. Leitung werden jährlich ca. 2.100



Leuchten gewechselt. Dafür müssen täglich ca. 1,5 Stunden für Wartung und Instandhaltung der Stufenbeleuchtung aufgewandt werden. Um die Betriebssicherheit sicherzustellen, den Strombedarf sowie die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren muss die Stufenbeleuchtung in beiden Sälen erneuert werden. Hierzu werden die vorhandenen 264 Leuchten mit einer Leistung von je 15 W durch langlebigere und robustere LED-Leuchten mit je 1,2 W zuzüglich der Trafoverlustleistung ersetzt (**s. Maßnahme 3.6.III**).

- In der Alten Oper sind 488 Sicherheitsleuchten als Notbeleuchtung installiert, die während der Öffnungszeiten in Betrieb sein müssen. Diese Allgebrauchsglühlampen verfügen über eine elektrische Leistung von je 15 W und eine durchschnittliche Lebensdauer von ca. 1.000 Stunden. Um den Stromeinsatz zu vermindern und um die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren, können die Leuchtmittel durch 5 W Sockel E14-Energiesparlampen, bei gleicher Lichtausbeute, ersetzt werden (**s. Maßnahme 3.6.IV**).
- Die einzelnen Nutzungsbereiche in der Alten Oper können derzeit nicht separat zu- und abgeschaltet werden. Wird zum Beispiel für einen Wandelgangbereich in einer Ebene eine Beleuchtung benötigt, werden automatisch von Ebene 1 bis 6 sämtliche Wandelgänge mit eingeschaltet. Eine entsprechende automatische Abschaltung ist ebenfalls nicht vorhanden, so dass die einmal eingeschalteten Bereiche in der Regel ganztätig in Betrieb bleiben. Um eine optimierte Lichtsteuerung zu erreichen, ist eine Änderung auf Einzelschaltung der Bereiche vorzusehen. Hierzu werden in einem ersten Schritt zu den einzelnen Unterverteilungen in den Ebenen 1 und 2 (6 UV je Ebene) neue M-Busleitungen verlegt. In der Pforte wird ein PC mit Visualisierung zum Schalten der einzelnen Bereiche installiert. Vor Ort werden separate Schalter und je Ebene zwei Bedientableaus zum Steuern der Beleuchtung in der jeweiligen Ebene eingebaut. (**s. Maßnahme 3.6.V**).
- In der Alten Oper sind über 4.600 Glühlampen installiert. Der weitaus größte Teil davon ist für dimmbare Bereiche (u.a. Großer Saal Unterer Rang) vorgesehen und dort zu Gruppen von bis zu 20 Stück zusammengeschlossen. Derzeitige dimmbare Energiesparlampen (ESL) können jedoch nur zu Gruppen von max. 3 Stück verbunden werden. Aus diesem Grund können derzeit nur die Glühlampen (50 W) in den Büros auf der Nordseite durch dimmbare ESL (11 W) ersetzt werden (**Maßnahme 3.6.VI**).

MSR-Technik und Gebäudeleittechnik

Die Alte Oper verfügt derzeit über ein DDC-System mit übergeordneter Gebäudeleittechnik von der Fa. Johnson Control International (JCI), die im Jahr 1995 von einem analogen Regelungssystem umgerüstet wurde. Obwohl das derzeitige System erst 10 Jahre alt ist, muss es als veraltet und nicht mehr dem Stand der Technik entsprechend bewertet werden. Gründe hierfür sind u.a.

- Fehlende Eingriffsmöglichkeit des technische Personals in die Steuerung durch Änderung von Regelparametern kann nicht selbstständig durchgeführt (programmiert) werden. Eine Korrektur/Änderung ist nur durch Mitarbeiter der Fa. JCI, dies bedingt einem hohen Kosten- und Zeitverzögerungsfaktor.



- Aufgrund des veralteten Systems gibt es kaum noch entsprechendes „Know-how“ bei den externen Programmierern.
- Eine Visualisierung der Daten, u.a. Temperaturverläufe, Ventilstellungen, Trenderfassung, zum Nachvollziehen von Steuerungsabläufen ist nicht möglich. Diese ist aber bei so komplexen Systemen wie zum Beispiel der Lüftungsanlage im Großen Saal unbedingte Voraussetzung, um eine Energie- und Kostenoptimierung durchführen zu können.
- Das ehemals vorhandene Energieoptimierungsmodul kann nicht mehr genutzt werden, da die vorhandenen Zähler und das Leistungssignal für einen Lastabwurf von der GLT abgeklemmt werden mussten, da das System keine Reserven hatte.
- Notwendige Erweiterungen (u.a. FU-Regelung der Ventilatoren, Aufschaltung der Zähleinrichtungen) mit zusätzlichen Datenpunkten können nicht realisiert werden, da das System keine zusätzlichen Kapazitäten besitzt.

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

Um eine bedarfsgerechte und zeitnahe Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung einzelner Anlagen) zu erreichen und um entsprechende Überwachungs- und Regelfunktionen (Trenderfassung, Datenvisualisierung) durchführen zu können, ist eine moderne, dem Stand der Technik entsprechende busfähige GLT einzubauen. Vorteile

- Überwachung der Ist- und Sollwerte
- Realisierung komplizierter Zeitschaltpläne
- Zyklisches Schalten bzw. gleitendes Einschalten von Heizungs-, Lüftungs-, Kälte- und Elektroanlagen
- Energieoptimierter Betrieb der Wärme-, Kälte- und Stromversorgung.

Das neue System ist modular aufzubauen, d.h., im ersten Schritt wird für die Lüftungsanlage „KL 02 - Großer Saal“ eine neue DDC-Unterstation errichtet und eine entsprechende GLT installiert. Parallel dazu wird das vorhandene JCI-System für die übrigen Bereiche weiter betrieben.

Durch den modularen Aufbau kann eine stückweise Erweiterung des Systems durch Installation weiterer DDC-Unterstationen und Aufschaltung auf die GLT realisiert werden. Die vorhandenen Schaltschränke können weiter genutzt werden.

Hierbei sind die Vorgaben der „Leitlinien wirtschaftliches Bauen“ (früher Technische Standards) für den Bereich Mess-, Steuer- und Regelungstechnik des HBA der Stadt Frankfurt zu beachten um einheitliche Oberflächen für eine spätere zentrale GLT für städtische Liegenschaften zu schaffen.

- Die einzelnen DDC-Unterstationen sollen zur Verknüpfung über eine einheitliche, herstellerunabhängige Schnittstelle verfügen.
- Als Managementebene ist vor Ort ein herstellerunabhängiges Prozess-Visualisierungssystem (PVS) vorzusehen. Das PVS ersetzt den Leitreechner einer herstellereigenen GLT.



III.2.5 Wasserverbrauchseinrichtungen (vgl. Abschnitt 3.7)

Bezüglich des Zustandes der Wasserversorgungseinrichtungen in der Alten Oper kann folgendes festgehalten werden:

- Das Trinkwasser wird derzeit noch über zwei Kiesfilter zur Reinigung geleitet. Es besteht nach Rücksprache mit der Technischen Leitungen sowie der Küchenleitung keine Notwendigkeit für eine Reinigung. Aus diesem Grund sollte die Kiesfilteranlage aus hygienischen Gründen sowie zu Zwecken der Wassereinsparung stillgelegt werden. Die jährliche Wassereinsparung liegt bei rund 25 m³. Diese organisatorische Maßnahme entspricht einer Wasserkostenreduzierung von 115,- EUR/a (**Maßnahme 3.7.I - Organisatorisch**).
- Die Toilettenanlagen im Eingangs- und im Pausenfoyer sind mit Abstand die Bereiche mit den höchsten Wasserverbrauchsmengen. Jedoch ergeben sich keine relevanten Sparmaßnahmen. Die Armaturen in den Toiletten sind mit Selbstschlussmechanismen (Infrarotsensoren) ausgestattet. Die WCs verfügen über Stoptasten, jedoch sind hierfür entsprechende Benutzerhinweisschilder anzubringen (**Maßnahme 3.7.II – Organisatorisch**).
- Um den Wasserverbrauch für die Toilettenanlagen zu reduzieren, wurde in diesem Jahr zu Testzwecken ein wasserloses Urinal im Nordbereich (Büro/Verwaltung) eingebaut. Da sich das wasserlose Urinal in der Praxis dort bewährt hat, wird der Einbau von drei weiteren Urinalen in den Herren-Toiletten des Büro-/Verwaltungsbereichs empfohlen (**Maßnahme 3.7.III**).
- Der Ausgleichsbehälter der Druckerhöhungsanlage für das Trinkwasser ist defekt. Hier muss die bestehende Anlage in naher Zukunft gegen eine neue DEA mit geregelten Antrieben ausgetauscht werden. Die entsprechende Ausschreibung wird derzeit durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt vorbereitet. Eine Realisierung ist noch in 2005 vorgesehen (**Maßnahme 3.7.IV**).



IV. Maßnahmenkatalog nach Priorität

Bei der Erstellung eines Maßnahmenkataloges wurden folgende Prioritäten beachtet:

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

Im Hinblick auf die genannten Prioritäten ergibt sich der nachfolgende Maßnahmenkatalog für eine umfassende Sanierung und Optimierung der Gebäudehülle sowie der Betriebstechnischen Anlagen in der Alten Oper Frankfurt.

Maßnahmen 1. Priorität

Maßnahme I.1:

Maßnahmenbezeichnung	2.I – Änderung der Abrechnungszeiten für Stromleistungsmessung
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 2.1</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Änderung des vertraglich festgelegten Endes für die Stromleistungsmessung von 20.00 Uhr auf 18.00 Uhr</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>keine</i>
Nutzungszeit:	
Energieeinsparung:	
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>2.150,- €/a</i>
Amortisation	<i>sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.2:

Maßnahmenbezeichnung	3.4.III – Änderung der Betriebszeiten Lüftungsanlage „KL 47 - Verwaltung Nordflügel E1/E5“
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.4 und 4.4</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Betrieb der Anlage nur bei Nutzung der Künstlerbereiche (Umkleiden)</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>keine</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom - 8.450 kWh/a – Fernwärme 61.000 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>6.895,- €/a</i>
Amortisation	<i>sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>



Maßnahme I.3:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.III – Änderung des Betriebs der Kühlregisterpumpen
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Änderung der Regelstrategie – Inbetriebnahme der Kühlregisterpumpen nur bei gleichzeitiger Freigabe der Kältemaschinen</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>keine</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom - 1.660 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>185,- €/a</i>
Amortisation	<i>sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.4:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.IV – Überprüfung / Erneuerung Pumpe Kleinkälteanlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Defekter Wechselbetrieb der Kühlwasserpumpen der Kleinkälteanlage funktioniert nicht.</i>
Grund	<i>Bauerhaltung</i>
Investition:	<i>Keine</i>
Energieeinsparung:	-
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	-
Amortisation	-
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>

Maßnahme I.5:

Maßnahmenbezeichnung	3.7.II – Hinweisschilder Toilettenanlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.7</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Anbringen von Hinweisschildern bezüglich Stop-Taste an den WC-Spülungen</i>
Grund	<i>Wassereinsparung</i>
Investition:	<i>Keine bzw. gering</i>
Wassereinsparung:	<i>60 m³/h</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>220,- €/a</i>
Amortisation	<i>Sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Sofort</i>



Maßnahme I.6:

Maßnahmenbezeichnung	2.4.II – Bedarfsgerechte Verbrauchsabrechnung für Parkhaus
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 2.4</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch</i>
Beschreibung:	<i>Weitergabe der Stromkosten für die Technikanlagen des Parkhauses</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>Keine</i>
Nutzungszeit:	<i>-</i>
Energieeinsparung:	<i>Keine</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>26.760,- €/a (Kostenweitergabe)</i>
Amortisation	<i>Sofort</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2005-2006</i>

Maßnahme I.7:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.IV – Austausch Sicherheitsbeleuchtung
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv mit Förderung</i>
Beschreibung:	<i>Vorhandene Sicherheitsleuchten mit Glühlampen werden durch Energiesparlampen ersetzt.</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>6.735,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 15.725 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>5.980,- €/a</i>
Amortisation	<i>1,2 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2005</i>

Maßnahme I.8:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.VI – Energiesparleuchten in Büros Nordseite
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der dimmbaren Glühlampen gegen dimmbare Energiesparlampen in den Büros auf der Nordseite.</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>2420,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 5.840 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>1.220,- €/a</i>
Amortisation	<i>2,2 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2005</i>



Maßnahme I.9:

Maßnahmenbezeichnung	3.2.I – Erneuerung Türdichtungen
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.2 und 4.2</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Erneuerung der Türdichtungen der Personal- und Behinderteneingänge auf der Westseite sowie zur „Opera“-Terrasse</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll und Wirtschaftlich</i>
Investition:	<i>220,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>25 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Fernwärme 8.290 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>150,- €/a</i>
Amortisation	<i>1,5 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2005-2006</i>

Maßnahme I.10:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.VII – Erneuerung MSR – DDC und GLT-Anlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv mit Förderung</i>
Beschreibung:	<i>Einbau einer neuen DDC-Unterstation für die Lüftungsanlage „KL 02 - Großer Saal“ sowie einer neuen GLT-Anlage</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>43.200,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 24.275 kWh/a – Fernwärme 19.180 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>4.795,- €/a</i>
Amortisation	<i>12,8 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>

Maßnahme I.11:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.V – Optimierung der Ventilatoren/Motoren der Lüftungsanlagen KL01-KL03
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv mit Förderung</i>
Beschreibung:	<i>Energetisch optimierte Ventilatoren/Motoren für die RLT-Anlagen „KL01-Außenluft“, „KL02-Großer Saal“ und „KL 03–Mozartsaal“</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>168.080,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 485.275 kWh/a – Zusätzl. Fernwärme 428.180 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>50.420,- €/a</i>
Amortisation	<i>3,8 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006 / 2007</i>



Maßnahme I.12:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.IV – Austausch Stufenbeleuchtung im Großen und im Mozartsaal
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv mit Förderung</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der Stufenbeleuchtung gegen LED-Leuchten</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>21.160,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 20.800 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge- Kostenreduzierung:	<i>27.290,- €/a</i>
Amortisation	<i>0,8 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>

Maßnahme I.13:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.IIIa – Einbau Leuchtstofflampen mit ESG (Betriebszeit > 3000 h/a)
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau von Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten in Bereichen mit Einschaltzeiten von mehr als 3000 Stunden pro Jahr</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>42.760,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 64.530 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge- Kostenreduzierung:	<i>16.560,- €/a</i>
Amortisation	<i>2,9 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>



Maßnahme I.14:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.IIb – Einbau Leuchtstofflampen mit ESG (Betriebszeit 2000-3000 h/a)
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau von Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten in Bereichen mit Einschaltzeiten zwischen 2.000 und 3000 Stunden pro Jahr</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>83.320,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 53.725 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>3.450,- €/a</i>
Amortisation	<i>9,2 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>

Maßnahme I.15:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.IV – Optimierung Lichtsteuerung
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv mit Förderung</i>
Beschreibung:	<i>Änderung der Beleuchtungsschaltungen den Ebenen 1 und 2 durch Installation eines EIB-systems mit Visualisierung an der Pforte</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>97.520,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 26.840 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>12.195,- €/a</i>
Amortisation	<i>10,8 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2007</i>



Maßnahme I.16:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.I – Optimierung der Blindstromkompensationsanlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Erneuerung oder Erweiterung der vorhandenen Blindstromkompensationsanlagenkapazität, um Blindstromanteil zu reduzieren.</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>7.200,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Keine</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>2.795,- €/a</i>
Amortisation	<i>2,9 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>

Maßnahme I.17:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.II – Optimierung der Kühlwasserbeheizung
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5 und 4.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau von 3-Wegeventilen in die Kühlwasserleitungen um die geforderte Kühlwassereintrittstemperatur in die Kältemaschinen ohne elektrische Kühlturmwanneheizung zu ermöglichen.</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll und Wirtschaftlich</i>
Investition:	<i>16.505,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 30.475 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>3.535,- €/a</i>
Amortisation	<i>5,5 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>

Maßnahme I.18:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.III – Optimierung der WRG-Pumpen
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3 und 4.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der Umwälzpumpen des zentralen Wärmerückgewinnungssystems durch eine elektronisch drehzahlgeregelte Pumpe.</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll und Wirtschaftlich</i>
Investition:	<i>19.500,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 16.385 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>3.005,- €/a</i>
Amortisation	<i>8,2 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Vor der Heizperiode 2006-2007</i>



Maßnahme I.19:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.II – Optimierung der Heizungsumwälzpumpen
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3 und 4.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der vorhandenen unregulierten Doppel-Umwälzpumpen durch neue elektronisch drehzahlgeregelte Einzelpumpe.</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll und Wirtschaftlich</i>
Investition:	<i>58.510,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 22.740 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge- Kostenreduzierung:	<i>4.090,- €/a</i>
Amortisation	<i>13,7 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Vor der Heizperiode 2006-2007</i>

Maßnahme I.20:

Maßnahmenbezeichnung	3.4.II – WRG-System für Lüftungsanlage „KL 47 - Verwaltung Nordflügel E1/E5“
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.4 und 4.4</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau eines Kreislaufverbundsystems in Außen- und Fortluft der Lüftungsanlage zur Wärmerückgewinnung.</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll und Wirtschaftlich</i>
Investition:	<i>26.900,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Fernwärme 107.510 kWh/a Strommehrverbrauch durch WRG 8.000 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge- Kostenreduzierung:	<i>6.110,- €/a</i>
Amortisation	<i>5,3 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006-2007</i>



Maßnahmen 2. Priorität

Maßnahme II.1:

Maßnahmenbezeichnung	3.3.I – Änderung der angemeldeten Ferndampfbezugsleistung
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.3</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch und Investiv (HBA – Abt. Energiemanagement)</i>
Beschreibung:	<i>Einbau einer automatischen Zählererfassung der Kondensatmengen durch HBA-Energiemanagement und Ermittlung der max. Ferndampfbezugsleistung als Grundlage für Aktualisierung des Fernwärmevertrag</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>3.000,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Keine</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>9.745,- €/a</i>
Amortisation	<i>0,3 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>

Maßnahme II.2:

Maßnahmenbezeichnung	3.6.IIc – Einbau Leuchtstofflampen mit ESG (Betriebszeit 1000-2000 h/a)
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.6 und 4.6.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau von Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten in Bereichen mit Einschaltzeiten zwischen 1.000 und 2.000 Stunden pro Jahr</i>
Grund	<i>Energetisch und wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>96.730,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 42.170 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>10.520,- €/a</i>
Amortisation	<i>13,2 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>



Maßnahme II.3:

Maßnahmenbezeichnung	2.4.1 – Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung für den Gastronomiebereich
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 2.4</i>
Art der Maßnahme	<i>Organisatorisch und Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau von Strom-, Wärme-, Kälte und Wasserzählern für verpachtete Bereiche</i>
Grund	<i>Wirtschaftlich sinnvoll</i>
Investition:	<i>58.300,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Keine</i>
Energie- und Umweltfolgekostenreduzierung:	<i>52.500,- €/a (Kostenweitergabe)</i>
Amortisation	<i>1,1 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2006</i>

Maßnahme II.4:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.1 – Optimierung Kaltwasserpumpen - Einzelpumpe
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5 und 4.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der Sekundär-Umwälzpumpe durch eine elektronisch drehzahlgeregelte Pumpe.</i>
Grund	<i>Energetisch sinnvoll und Auflagen EnEv (Bei Ersatz)</i>
Investition:	<i>16.350,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 7.400 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolgekostenreduzierung:	<i>1.490,- €/a</i>
Amortisation	<i>17,2 Jahre</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Bei anstehender Pumpensanierung</i>



Maßnahme II.5:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.I – Optimierung Kaltwasserpumpen - Doppelpumpe
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5 und 4.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der Sekundär-Umwälzpumpe durch ein Einbau von elektronisch drehzahlgeregelten <u>Doppel-Pumpen</u> um bei Ausfall einer Pumpe den Betrieb zu gewährleisten.</i>
Grund	<i>Versorgungssicherheit</i>
Investition:	<i>3.610,- € (zusätzliche Kosten zu Maßnahme III.1)</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Wie II.4</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>Wie II.4</i>
Amortisation	<i>Keine</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Bei anstehender Pumpensanierung</i>

Maßnahme II.6:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.II – Optimierung Heizungspumpen
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5 und 4.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Austausch der Heizungs-Umwälzpumpe durch ein Einbau von elektronisch drehzahlgeregelten <u>Doppel-Pumpen</u> um bei Ausfall einer Pumpe den Betrieb zu gewährleisten.</i>
Grund	<i>Versorgungssicherheit</i>
Investition:	<i>19.840,- € (zusätzliche Kosten zu Maßnahme II.5)</i>
Nutzungszeit:	<i>15 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Wie I.19</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>Wie I.19</i>
Amortisation	<i>Keine</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Bei anstehender Pumpensanierung</i>



Maßnahme II.7:

Maßnahmenbezeichnung	3.7.III – Einbau Trockenurinale im Büro-/Verwaltungsbereich
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.7 und 4.7</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau von vier Trockenurinalen in die WC-Anlagen</i>
Grund	<i>Wassereinsparung</i>
Investition:	<i>2.350,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>20 Jahre</i>
Wassereinsparung:	<i>16 m³/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>36 €/a</i>
Amortisation	<i>Keine</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Bei Bedarf</i>

Maßnahme II.8:

Maßnahmenbezeichnung	3.5.V – Kältemittlersatz für Kühltheken E2
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.5</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Kälteaggregate des Thekenbereichs E2 werden mit dem Kältemittel R12 betrieben. Eine Austausch ist nicht zwingend notwendig. Trotzdem sollte im Hinblick auf einen umweltbewussten und sicheren Betrieb eine Umstellung oder eine Ersatzbeschaffung geplant werden.</i>
Grund	<i>Bauerhaltung</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	
Amortisation	<i>Keine</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>Bei Ersatzbeschaffung</i>



Maßnahmen Bauerhaltung

Maßnahme III.1:

Maßnahmenbezeichnung	3.7.V – Außerbetriebnahme Kiesfilteranlage
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.7</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Nicht benötigte Kiesfilter der Trinkwasserversorgung sind stillzulegen, Einbau neuer rückspülbarer Feinfilter</i>
Grund	<i>Wassereinsparung, Verbesserung der Hygiene</i>
Investition:	<i>14.000,- €</i>
Nutzungszeit:	
Wassereinsparung:	<i>25 m³/h</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>115,- €/a</i>
Amortisation	<i>Keine</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2005</i>

Maßnahme III.2:

Maßnahmenbezeichnung	3.7.IV – Erneuerung DEA-Trinkwasser
Erläuterungen im Konzept:	<i>Abschnitt 3.7 und 4.7.</i>
Art der Maßnahme	<i>Investiv</i>
Beschreibung:	<i>Einbau einer neuen Druckerhöhungsanlage für den Trinkwasserbereich mit geregelten Pumpen, da derzeitige Anlage defekt ist.</i>
Grund	<i>Bauerhaltung und energetisch sinnvoll</i>
Investition:	<i>19.700,- €</i>
Nutzungszeit:	<i>20 Jahre</i>
Energieeinsparung:	<i>Strom 8.690 kWh/a</i>
Energie- und Umweltfolge-	
Kostenreduzierung:	<i>1.525,- €/a</i>
Amortisation	<i>keine</i>
Zeitpunkt der Realisierung:	<i>In 2005</i>


Anhang zur Zusammenfassung– Übersicht der untersuchten Maßnahmen - Maßnahmen 1. Priorität

Maßnahmen- bezeichnung	Erläuterungen im Konzept Abschnitt	Art der Maßnahme	Grund	Investition in EUR (NETTO)	Nutzungs- zeit in a	Energie und Wassereinsparung			Energie- u. Umwelt- Folgekosten- reduzierung In EUR	Amorti- sation in a	Zeitpunkt der Realisie- rung
						Strom in kWh/a	Fernwärme in kWh/a	Wasser in m ³ /a			
2.1.I Änderung der Zeiten für Stromleistungsbezug	2.1	Organisatorisch	Wirtschaftlich	Keine					2.150	Sofort	Sofort
3.4.III Änderung Betriebs- zeiten RLT-Anlage KL 47	3.4 und 4.4.	Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	Keine	15	8.450	61.000		6.895	Sofort	Sofort
3.5.III Änderung Betrieb Kühlregisterpumpen	3.5	Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	Keine	15	1.660			185	Sofort	Sofort
3.5.IV Erneuer. Steuerung Pumpe Kleinkältekühlung	3.5	Organisatorisch	Bauerhaltung	Keine							Sofort
3.7.II Hinweisschilder Toilettenanlagen	3.7	Organisatorisch	Wassereinspar. Wirtschaftlich					25	220		Sofort
2.4.II Bedarfsgerechte Abrechnung Parkhaus	2.4	Organisatorisch	Wirtschaftlich						26.760 (Kostenweitergabe)		In 2005-2006
3.6.IV Austausch Sicher- heitsbeleuchtung	3.6 und 4.6	Investiv mit Förderung	Energetisch u. Wirtschaftlich	6.735	15	15.725			5.980	1,2	In 2005
3.6.IV Energiesparleuchten Büros Nordseite	3.6 und 4.6	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	2.420	15	5.840			1.220	2,2	In 2005
3.2.I Erneuerung Türdich- tungen	3.2 und 4.2	Investiv	Wirtschaftlich	220	25		8.290		150	1,6	2005-2006
3.6.VI Sanierung MSR DDC- und GLT	3.6 und 4.6	Investiv u. Organisatorisch	Energetisch u. Wirtschaftlich	43.200	15	24.275	19.180		4.795	12,8	In 2006
3.4.II Optimierung Ventila. u. Motoren KL01-KL03	3.4 und 4.4.	Investiv mit Förderung	Energetisch u. Wirtschaftlich	168.080	15	485.275	-428.180		50.420	3,8	In 2006/2007
3.6.III Austausch Stufen- beleuchtung GS u. MS	3.6 und 4.6	Investiv mit Förderung	Energetisch u. Wirtschaftlich	21.160	15	20.800			27.290	0,8	In 2006
3.6.IIa Einbau LL mit ESG Betriebszeit > 3.000 h/a	3.6 und 4.6	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	42.760	15	64.530			16.560	2,9	In 2006
3.6.IIb Einbau LL mit ESG Betriebszeit 2.000-3.000 h/a	3.6 und 4.6	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	83.320	15	53.725			3.450	9,2	In 2006



Maßnahmen 1. Priorität - Fortsetzung

Maßnahmen- bezeichnung	Erläuterungen im Konzept Abschnitt	Art der Maßnahme	Grund	Investition in EUR (NETTO)	Nutzungs- zeit in a	Energie und Wassereinsparung			Energie- u. Umwelt- Folgekosten- reduzierung In EUR	Amorti- sation in a	Zeitpunkt der Realisie-
						Strom in kWh/a	Fernwärme in kWh/a	Wasser in m ³ /a			
3.6.V Optimierung Licht- steuerung	3.6 und 4.6	Investiv mit Förderung	Energetisch u. Wirtschaftlich	97.520	15	26.840			12.195	10,8	In 2007
3.6.I Optimierung der Blindstromkompensation	3.6 und 4.6	Investiv	Wirtschaftlich	7.200	15				2.795	2,9	In 2006
3.5.II Optimierung Kühlwasserbeheizung	3.5 und 4.5	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	16.505	15	30.475			3.535	5,5	In 2006
3.3.III Optimierung WRG-Pumpen	3.3 und 4.3	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	19.500	15	16.385			3.005	8,2	Vor Heizperio. 2006/2007
3.3.II Optimierung Heizungspumpen	3.3 und 4.3	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	58.510	15	22.740			4.090	13,7	Vor Heizperio. 2006/2007
3.4.II WRG-System für RLT-Anlage KL 47	3.4 und 4.4.	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	26.900	15	-8.000	107.510		6.110	5,3	In 2006-2007
GESAMT				594.030		768.720	-232.200	25	177.805		



Maßnahmen 2. Priorität

Maßnahmen- bezeichnung	Erläuterungen im Konzept Abschnitt	Art der Maßnahme	Grund	Investition in EUR (NETTO)	Nutzungs- zeit in a	Energie und Wassereinsparung			Energie- u. Umwelt- Folgekosten- reduzierung In EUR	Amorti- sation in a	Zeitpunkt der Realisie-
						Strom in kWh/a	Fernwärme in kWh/a	Wasser in m ³ /a			
3.3.I Änderung der ange- meldeten Ferndampfstg.	3.3	Organisatorisch und investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	3.000 HBA	15				9.745	0,3	In 2006
2.4.I Bedarfsgerechte Abrechnung Gastro	2.4	Investiv und Organisatorisch	Wirtschaftlich	58.350	15				52.500 (Kostenweitergabe)		In 2005-2006
3.6.IIc Einbau LL mit ESG Betriebszeit 1.000-2.000 h/a	3.6 und 4.6	Investiv	Energetisch u. Wirtschaftlich	96.730	15	42.170			10.520	13,2	In 2006
3.5.I Optimierung Kaltwasserpumpen	3.5 und 4.5	Investiv Einzelpumpen	Energetisch Bauerhaltung	16.350	15	7.400			1.490	17,2	Bei ansteh. Pumpensan.
3.5.I Optimierung Kaltwasserpumpen	3.5 und 4.5	Investiv Doppelpumpen	Bauerhaltung Versorgungss.	3.610	15						Bei ansteh. Pumpensan.
3.7.III Trockenurinale Büro/Verwaltung	3.7 und 4.7	Investiv	Wasserein- sparung	2.350	20			16	35	-	Nach Bedarf
3.5.V Kältemittlersatz für Kühltheken E2	3.5	Investiv	Bauerhaltung								Sofort oder bei Ersatzbeschaff
GESAMT				197.230		49.570		16	74.290		

Maßnahmen 3. Priorität

Maßnahmen- bezeichnung	Erläuterungen im Konzept Abschnitt	Art der Maßnahme	Grund	Investition in EUR (NETTO)	Nutzungs- zeit in a	Energie und Wassereinsparung			Energie- u. Umwelt- Folgekosten- reduzierung In EUR	Amorti- sation In a	Zeitpunkt der Realisie-
						Strom in kWh/a	Fernwärme in kWh/a	Wasser in m ³ /a			
3.7.I Außerbetriebnahme Kieselfilteranlage	3.7	Organisatorisch	Wassereinspar. Wirtschaftlich	14.000				25	115		In 2005
3.7.IV Erneuerung DEA Trinkwasser	3.7 und 4.7	Investiv	Energetisch u. Bauerhaltung	19.700	20	8.690			1.525	-	Geplante Bau- Erhalt. 2005
GESAMT				33.700		8.690		25	1.640		



Energiekonzept „Alte Oper“: Umsetzungs- und Investitionsplan für Maßnahmen der 1. Priorität (Nettokosten und abzüglich möglicher Förderungen)

Maßnahmen- bezeichnung	NETTO-Investition in EUR			Energie- u. Umweltfolgekostenreduzie- in EUR		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
2.1.I Änderung der Zeiten für Stromleistungsbezug	0			2.150		
3.4.III Änderung Betriebs- zeiten RLT-Anlage KL 47	0			6.895		
3.5.III Änderung Betrieb Kühlregisterpumpen	0			185		
3.5.IV Erneuer. Steuerung Pumpe Kleinkältekühlung	0					
3.7.II Hinweisschilder Toilettenanlagen	0			220		
2.4.II Bedarfsgerechte Abrechnung Parkhaus	0			26.760		
3.6.IV Austausch Sicher- heitsbeleuchtung	6.735			5.980		
3.6.VI Energiesparleuchten Büros Nordseite	2.420			1.220		
3.2.I Erneuerung Türdich- tungen	220			150		
3.6.VII Sanierung MSR DDC- und GLT	9.000 (Planung)	34.200			4.795	
3.4.II Optimierung Ventilatoren u. Motoren KL01-KL03	20.000 (Planung)	132.800	15.280		50.420	
3.6.III Austausch Stufen- beleuchtung GS u. MS		21.160			27.290	
3.6.II a Einbau LL mit ESG Betriebszeit > 3000 h/a		42.760			16.560	
3.6.V Optimierung Licht- steuerung			97.520			12.195
3.6.I Optimierung der Blindstromkompensation		7.200			2.795	
3.5.II Optimierung Kühlwasserbeheizung		16.505			3.535	
3.3.III Optimierung WRG-Pumpen		19.500			3.005	
3.3.II Optimierung Heizungspumpen		58.510			4.090	
3.6.II b Einbau LL mit ESG Betriebszeit 2000-3000 h/a			83.320			3.450
3.4.II WRG-System für RLT-Anlage KL 47			26.900			6.110
GESAMT	38.375,-	332.635,-	223.020,-	43.560,-	112.490,-	21.755,-



1. Aufgabenstellung und Grundlagen

1.1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der Stadt Frankfurt, Abteilung Hochbau-Energiemanagement, war für die Alte Oper Frankfurt (AOF), Opernplatz 1, in Frankfurt am Main ein Energiekonzept zu erstellen.

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

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

- **Aufnahme des Ist-Zustandes**
 - Ermittlung, Darstellung und Beurteilung der Stammdaten für Gebäude und betriebstechnische Anlagen
 - Ermittlung und Beurteilung des Wärme-, Strom-, Kälte und Wasserbedarfs
- **Untersuchung des Energieeinsparpotentials**
 - Aufstellung von Maßnahmen zur Einsparung von Verbrauch und Kosten bei Heizenergie, Strom und Wasser, u.a.
 - Nichtinvestive u. organisatorische Maßnahmen,
 - Verbesserung der Wärmedämmung (Auflagen EnEV),
 - Verbesserung oder Ersatz der Regelungstechnik für Lüftung, Pumpen, Beleuchtung
 - Optimierung technischer Anlagen (Hzg., Lüftung, Klima, Kälte, Beleuchtung, Wasser)
 - Optimierung Energielieferverträge
- **Ermittlung und Darstellung der Wirtschaftlichkeit für anstehende Sanierungsmaßnahmen sowie wirtschaftliche Maßnahmen**
 - Berechnung der Energie- und Wassereinsparung
 - Darstellung der Wirtschaftlichkeit auf Basis der Gesamtkostenberechnung
 - Erarbeitung einer Prioritätenliste und Erstellung eines Maßnahmenkataloges
 - Auswirkungen der Energiesparmaßnahmen auf den Primärenergiebedarf, die Schadstoffemissionen sowie die Anschlussleistung

Begleitet wurde die Bearbeitung des Energiekonzepts von einer Arbeitsgruppe bestehend aus Mitarbeitern des Hochbauamtes und der Alten Oper Frankfurt.



1.2 Grundlagen

Grundlagen des Energiekonzeptes bilden im wesentlichen:

- Angaben von Mitarbeitern der Alten Oper, der HSG - Philipp Holzmann Technischer Service GmbH, sowie der Hochbauabteilung der Stadt Frankfurt
- Stromlastmessungen der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt der Stadt Frankfurt von 2001 bis 2004
- Strom-, Wasser- und Dampfkondensatmengenaufzeichnungen der Technischen Leitung AOF
- Zusammenstellung der Räume mit Flächen; Besucher- und Veranstaltungsstatistiken der Verwaltung
- Bestands- und Planungsunterlagen (u.a. Baubeschreibungen, Funktionsbeschreibungen, Erläuterungsberichte sowie Baupläne und technische Zeichnungen)
- Diplomarbeit „Energiemanagement Alte Oper Frankfurt“, HSG Philipp Holzmann Technischer Service, 1999
- „Betriebskostenanalyse Restauration“, Brendel Ingenieure 1998
- Ergebnisse von Objektbegehungen und Datenaufnahmen vor Ort

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

- der Neufassung der Energiesparverordnung (EnEV) vom 01.01.2005,
- der VDI-Richtlinie 2067 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“,
- der VDI-Richtlinie 2071 „Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen“,
- der VDI-Richtlinie 3807 „Energieverbrauchskennwerte für Gebäude“,
- der VDI-Richtlinie 3808 „Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen“,
- der VDI-Richtlinie 3814 „Gebäudeleittechnik“,
- der DIN 1946 „Lüftungstechnische Anlagen“,
- der DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“,
- der DIN 4710 „Meteorologische Daten“,
- den „Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen“, Hochbauamt der Stadt Frankfurt, 2005,
- dem hessischen Leitfaden „Elektrische Energie im Hochbau“,
- dem hessischen Leitfaden „Heizenergie im Hochbau“,
- der „Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden – MEG“, IWU 2005
- sowie Verfahren der Fachliteratur
u.a.: Recknagel, Sprenger, Schramek: „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2003/04“, Oldenbourg Verlag.

Auf zusätzlich verwendete Quellen wird in den entsprechenden Textpassagen verwiesen.



2. Stammdaten des Energie- und Wasserverbrauchs

In Tafel 2.1.1 sind die relevanten Daten im Bezug auf Energie- und Wassereinsatz in der Alten Oper zusammengestellt. In den weiteren Abschnitten sind die detaillierten Angaben aufgeführt.

Tafel 2.1.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der relevanten Daten bezüglich Energie- und Wassereinsatz

		Ist	Soll	Bemerkungen
GEBÄUDEDATEN				
Energiebezugsfläche EBF	in m ²	12.701		
Gebäudevolumen	in m ³	71.401		
A/V-Verhältnis	in m ⁻¹	0,25		
Personenbelegung im Mittel / Max.		ca. 254 / ca. 3.200		Großer- u. Mozart Saal
Betriebszeit		7.00 – 23.00 Uhr Gastro ganzjährig K & K 4 Wochen Pause		
STROM				
Stromverbrauch	in kWh/a	6.198.922		
Max. Leistungsspitze	in kW	1.338		
Vollbenutzungsstunden	in h/a	4.632	3.600	
Spezifischer Stromverbrauch	in kWh/m ² *a	488	26	Ages Mittelwert
Beleuchtung Installierte Leistung	in kW	815		
Durchschnittl. spezif. Leistung	in W/m ²	33,6	5,7	Standard HBA - FFM
Durchschnittl. Beleuchtungsstärke	in Lux	1.763	230	Standard HBA - FFM
Installierte Leistung Lüftung	in kW	540,2		
	in W/m ²	42		
Spezif. Stromverbrauch Lüftung	in kWh/m ² *a	174	24	Standard HBA - FFM
Zu- / Abluftluftmenge	in m ³ /h	349.440 / 409.955		
Luftwechsel	in h ⁻¹	3,4	0,8	Hess. Leitfaden
Energetisch wirksame Luftmenge	in m ³ /h	240.900	0,45	Passivhaus
Spez. Förderleistung Ventilatoren	in Wh/m ³	0,43	0,37 / 0,15	Grenz- /Zielwert LEE
Stromkosten	in Euro/a	616.509,-		
WÄRME				
Fernwärmeverbrauch	in kWh/a	3.310.896		2004-Witterungsbereinigt
Spezifischer Heizwärmebedarf	in kWh/m ² *a	228	85 - 120	Hess. Leitfaden/ Ages
Installierte Umformerleistung	in kW	3.306		
Gebäude- / RLT-Wärmebedarf	in kW	616,2 / 2.421,6		
Gesamtwärmebedarf	in kW	3.037,9		
Fernwärmekosten	in Euro/a	185.460,-		
WASSER				
Wasserverbrauch	in m ³ /a	20.106		
Spezifischer Wasserverbrauch	in l/m ² *a	1.583	348	Ages Mittelwert
Wasserkosten	in Euro/a	90.112,-		
JAHRESGESAMTKOSTEN	in Euro/a	892.080,-		

Die Jahresgesamtbetriebskosten der Alten Oper liegen bei rund 15 Mio. €. Daran haben die Energie- und Wasserkosten einen Anteil von 4,7 %.



2.1 Elektrischer Strombedarf- und -verbrauch

2.1.1 Gesamtstrombedarf und -verbrauch

Der Strombedarf der Alten Oper wird ausschließlich aus dem Netz der Mainova AG gedeckt. Auf der Mittelspannungsseite des Mainova-Netzes ist eine Messeinrichtung installiert. Eine separate Verbrauchserfassung bzw. -abrechnung des verpachteten Bereichs (Gastronomie) direkt mit der Mainova erfolgt nicht.

Als Sondervertragskunde erfolgt für die Alte Oper eine Abrechnung der bezogenen Arbeit nach Hoch- und Niedertarifzeiten. Als Jahreshöchstleistung gilt der Mittelwert aus den drei höchsten Monatsspitzen, die im Abrechnungsjahr Montag bis Freitag zwischen 06.00 Uhr und 20.00 Uhr sowie Samstags zwischen 06.00 Uhr und 14.00 Uhr gemessen werden (**Business HighPower 2 HT/NT**- Zähler-Nr.: 171 504).

Des Weiteren wird der Blindstromverbrauch erfasst und die Menge in Rechnung gestellt, die während eines Abrechnungsmonats 50 % der in der gleichen Zeit bezogenen Wirkarbeit überschreitet. In Tafel 2.1.2 sind die Jahresstromverbrauchs- und -leistungswerte mit den entsprechenden Jahreskosten für den Wirk- und Blindstrombezug von 1998 und 1999 sowie von 2002 bis 2004 dargestellt.

Tafel 2.1.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Jahreswerte des Stromverbrauchs und der Jahresbezugskosten von 1998 und 1999 sowie 2002 – 2004

Jahr	Strom- Verbrauch in kWh/a	Bezogene Leistung in kW	Vollbenutzungs- stunden in h/a	Jahresstrom- kosten in Euro/a	Spezifischer Strompreis in Euro/kWh	Blindstrom- kosten in Euro/a
1998	4.660.720	1.361	3.423	420.012,-	0,090	3.077,-
1999	5.503.920	1.592	3.456	437.991,-	0,080	1.911,-
2002	6.797.723	1.498	4.537	591.429,-	0,087	967,-
2003	6.910.824	1.568	4.407	646.608,-	0,094	2.410,-
2004	6.198.922	1.338	4.632	616.509,-	0,099	2.083,-

Im Vergleich zu den Jahren 1998/99 lag der Stromverbrauch in 2002-2004 um durchschnittlich 30% höher. Grund sind die längeren Betriebszeiten der elektrischen Anlagen, da sich die Vollbenutzungsstunden im Vergleich von 1998/99 zu 2002-2004 um durchschnittlich 1.000 h erhöht haben.

Nach dem Stromverbrauchshöchststand in 2003 ist der Verbrauch in 2004 erstmals gefallen und zwar um 10,3 %. Ein Hauptgrund für diese Reduzierung des Strombedarfs ist in dem Einbau von neuen Kältemaschinen mit verbesserten Wirkungsgraden zu sehen (vgl. auch Bild 2.1.2 und 2.1.3).

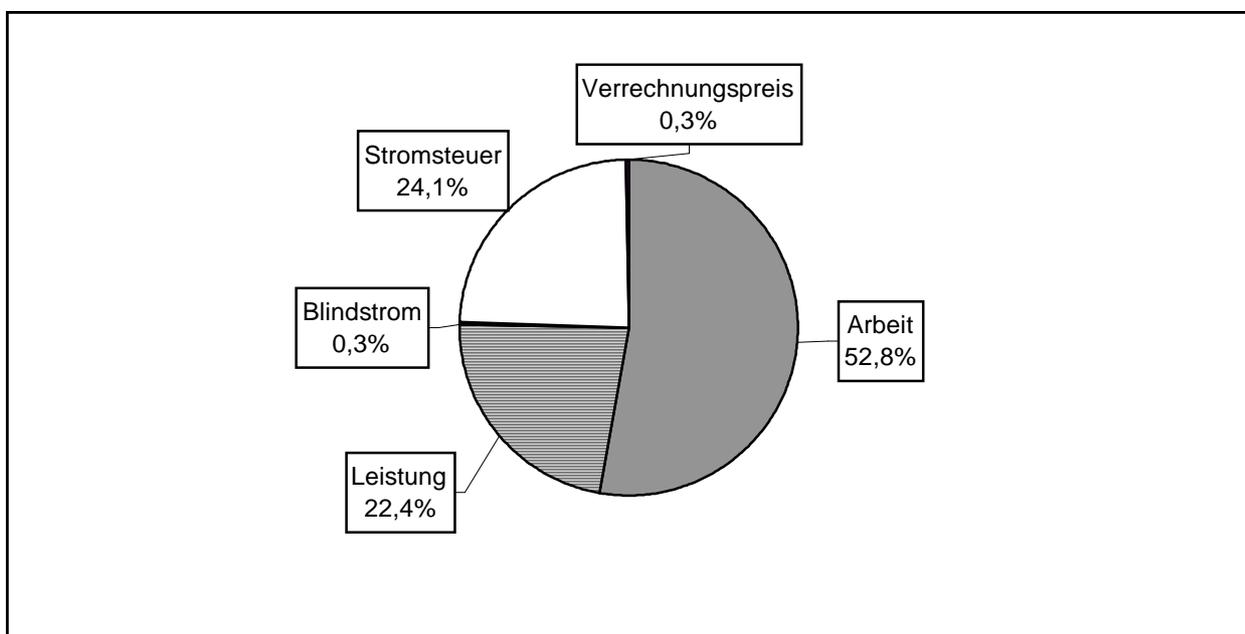


Die spezifischen Stromkosten sind nach dem Tiefstand in 1999 in den letzten drei Jahren jedoch stetig gestiegen und zwar von 1999 bis 2004 um fast 24 %.

Auffallend ist, dass in sämtlichen dargestellten Abrechnungsjahren die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten wurden und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug zwischen 1.000,- und 3.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache lässt auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensation schließen (s. Maßnahme 3.6.I).

Im folgenden Bild ist die prozentuale Verteilung der Jahresstromkosten entsprechend den Rechnungen der Mainova in 2004 dargestellt.

Bild 2.1.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Prozentuale Verteilung der Jahresstromkosten 2004

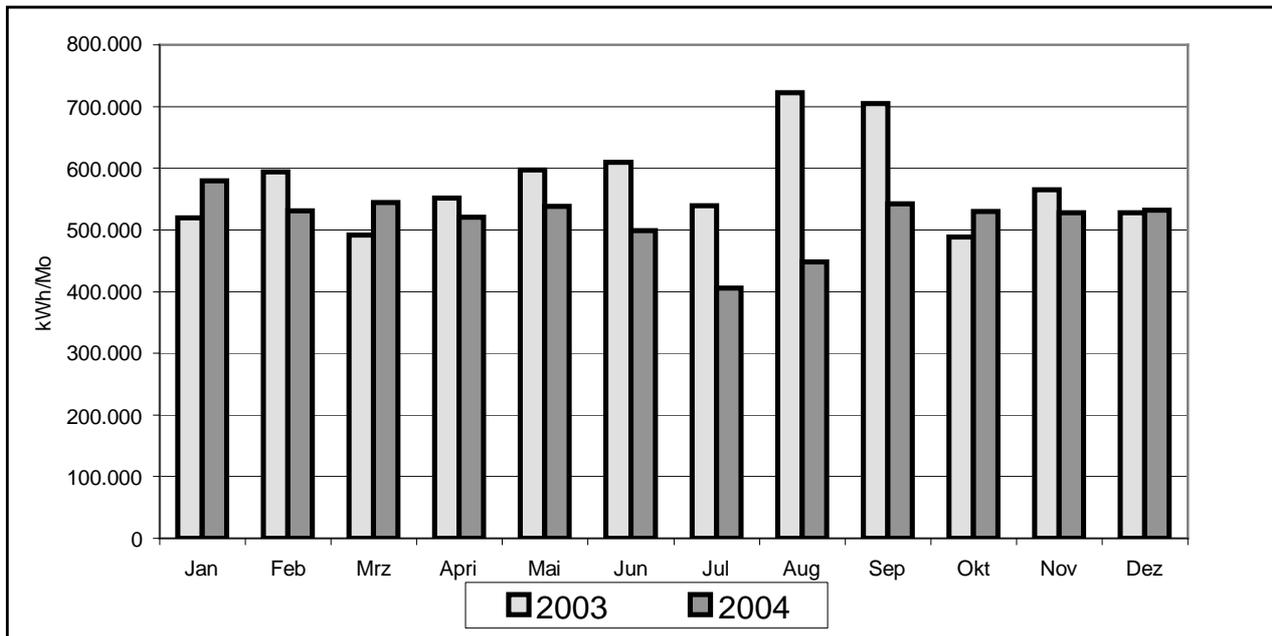


Drei Viertel der jährlichen Stromkosten ergeben sich aus der verbrauchten Strommenge und dem Stromleistungsbezug, fast ein Viertel entfallen auf Steuern und Abgaben.

Den monatlichen Abrechnungen wurden die entsprechenden Verbrauchs- und Leistungsdaten entnommen und sind in den folgenden Bildern 2.1.2 und 2.1.3 für die Jahre 2003 und 2004 dargestellt (vgl. Anhang 2.1.1).

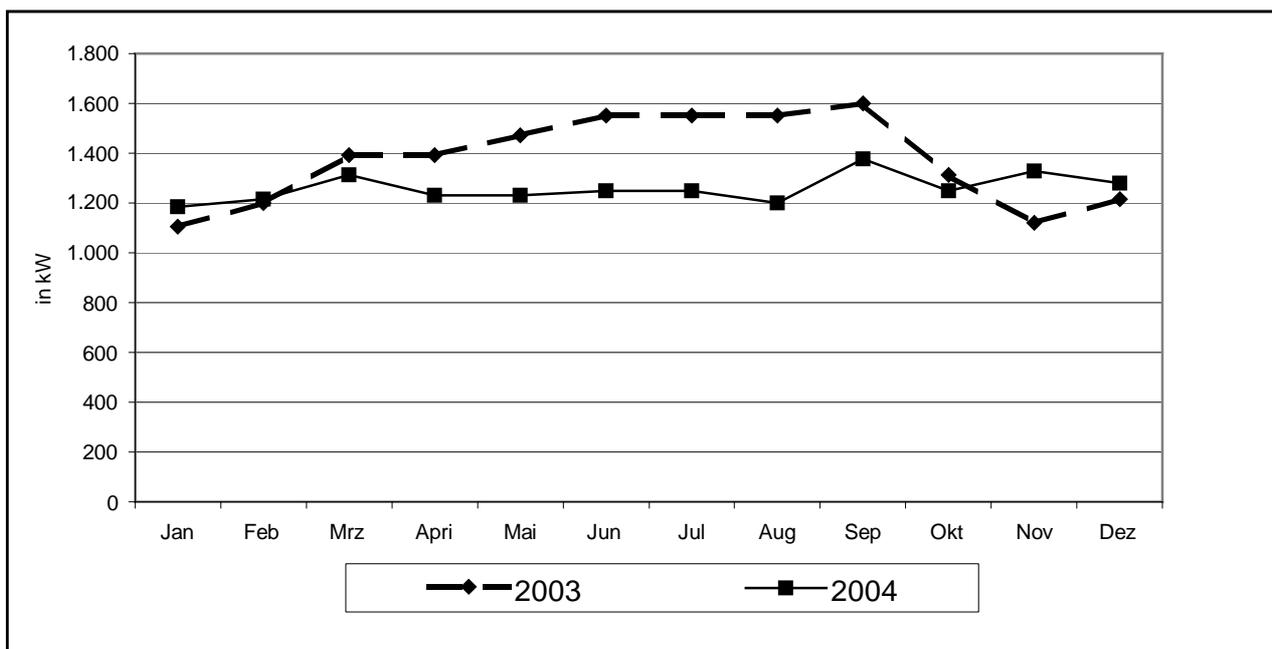


Bild 2.1.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Monatswerte des Wirkstrombezugs in 2003 und 2004



Aufgrund der extrem hohen Außenlufttemperaturen (Jahrhundertssommer 2003) und dem damit verbundenen höheren Kühlbedarf für die Lüftungsanlagen ergab sich für die in 2003 noch nicht erneuerten Kältemaschinen ein deutlich höherer Stromverbrauch in den Sommermonaten als in 2004. Hierin liegt auch der Hauptgrund für den deutlich höheren Stromverbrauch in 2003 gegenüber 2004 liegen.

Bild 2.1.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Monatswerte des Wirkleistungsbezugs in 2004





In 2004 ist keine signifikante Erhöhung der Spitzenstrombezugswerte über das Jahr festzustellen, während in 2003 der Einfluss der Gebäudekühlung und der alten Kältemaschinen in den Sommermonaten deutlich wird. Die Last stieg um bis zu 200 kW auf fast 1.600 kW bzw. um 12 %.

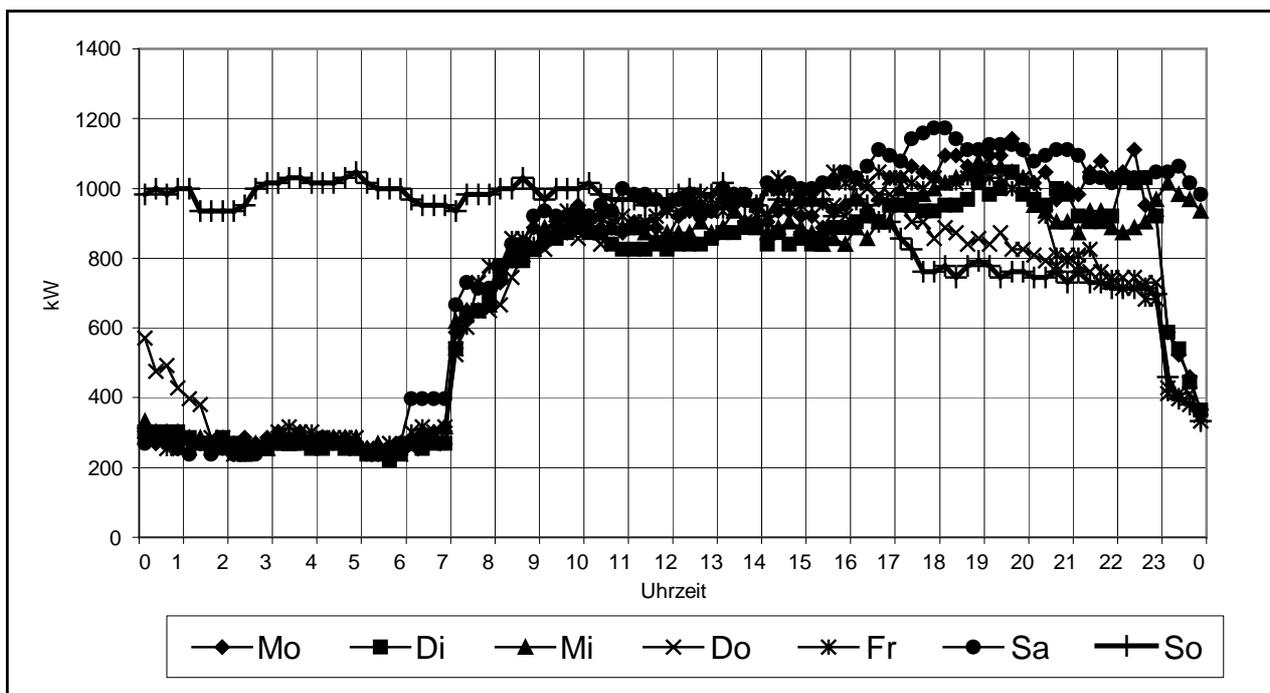
2.1.2 Stromverbrauchsstruktur

Zur Ermittlung der Stromverbrauchsstruktur in der Alten Oper Frankfurt konnte auf

- schreibende Lastmessungen des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement sowie
- interne Stromverbrauchszähler

zurückgegriffen werden und eine Identifikation anhand entsprechender technischer Dokumentationen durchgeführt werden.

Bild 2.1.4 Energiekonzept "Alte Oper": Tagesgang des Stromverbrauchs für eine Woche im Winter (12.-18.01.04)



Die Stromgrundlast liegt bei ca. 220 kW. Den Hauptanteil an der Grundlast haben vornehmlich die Pumpen, die Lüftungsanlagen, die durchgängig betrieben werden sowie die Kühlhäuser. Mit Beginn des Betriebs (zwischen 6.00 Uhr und 7.00 Uhr) steigen die Strombezugswerte auf 800-1.000 kW und fallen erst mit dem Ende des Veranstaltungsbetriebs wieder ab. Eindeutige Spitzenwerte sind nicht auszumachen. Die Lastprofile an den unterschiedlichen Wochentage sind nahezu gleich.

Als Sonderfall ist der Nachtabbau nach einer Veranstaltung am Sonntag mit Weiterbetrieb aller Beleuchtungs- und der Lüftungsanlagen im Großen Saal erkennbar.

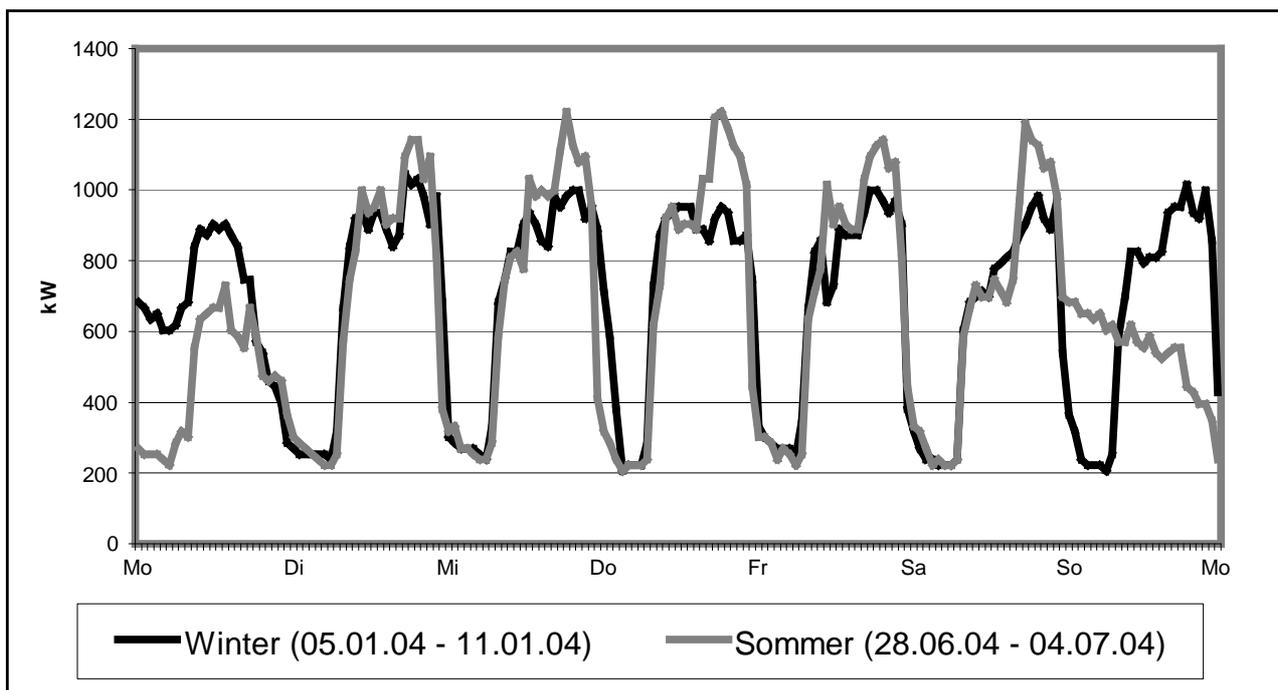


Im folgenden Bild 2.1.5 sind die Wochenganglinien des Strombedarfs im Winter und Sommer dargestellt. Die entsprechende Belegung des Großen-(GS) und des Mozartsaals (MS) sind in Tafel 2.1.3 aufgeführt.

Tafel 2.1.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Belegung des Großen Saals und des Mozartsaals in einer Woche im Winter und einer im Sommer

Wochentag	Winter	Sommer
Montag	Technik-Tag	GS ab 08.00 Uhr Dav Off
Dienstag	GS ab 20.00 Uhr :Magic of dance MS ab 08.00 Uhr Technik-Tag	GS ab 20.00 Uhr West-Side Story
Mittwoch	GS ab 20.00 Uhr :Magic of dance	GS ab 20.00 Uhr West-Side Story
Donnerstag	GS ab 10.30 Uhr Generalprobe MS Willy Astor	GS ab 20.00 Uhr West-Side Story
Freitag	GS ab 19.00 Uhr Orchester	GS ab 20.00 Uhr West-Side Story
Samstag	GS ab 19.00 Uhr Orchester	GS ab 20.00 Uhr West-Side Story
Sonntag	GS ab 19.00 Uhr Orchester	frei

Bild 2.1.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Wochengang des Strombedarfs für eine Woche im Winter (05.01.04-11.01.04) und eine Woche im Sommer (28.06.04-04.07.04)



Die Wochenlastverläufe für die unterschiedlichen Jahreszeiten zeigen, dass die Stromgrundlast sowohl in den Winter- als auch in den Sommermonaten bei ca. 220-250 kW liegt. Ein Unterschied zwischen den Wochentagen ist nicht erkennbar. Die Lastverläufe richten sich ausschließlich nach der Belegung bzw. den Veranstaltungen (vgl. Tafel 2.1.2).

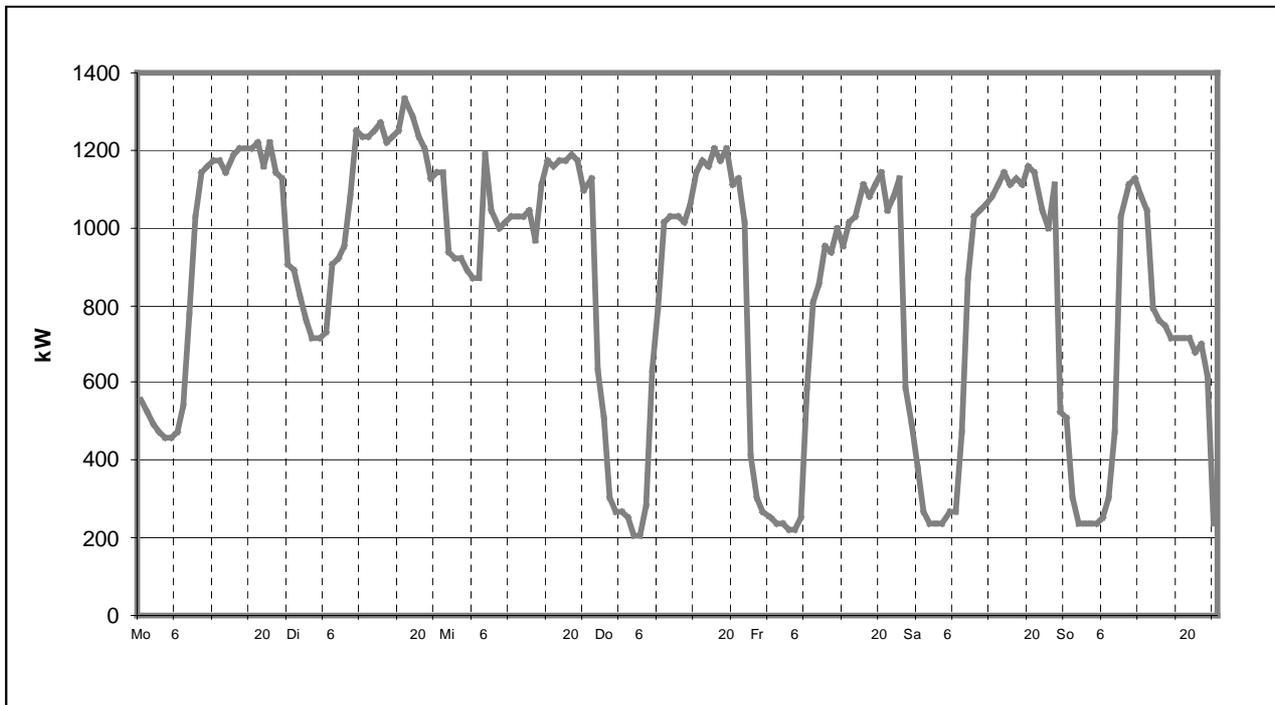
Es zeigt sich deutlich der Einsatz der Kältemaschinen durch jahreszeitlich bedingte hohe Außentemperaturen im Sommer. Hier werden Spitzenwerte von über 1.200 kW erreicht wohingegen im



Winter die Spitzenleistungsbezugswerte bei 1.000 kW liegen.

In Bild 2.16 ist der Wochenverlauf des maximalen Strombezugs im Sommer dargestellt.

Bild 2.1.9 Energiekonzept "Alte Oper": Wochengang des Strombedarfs im Sommer (06.09.04-12.09.04)



Auffallend ist, dass die Bezugsspitzen in den Sommermonaten in der Regel kurz vor 20.00 Uhr mit Beginn der Veranstaltungen anfallen. Da aber die Leistungsmessung durch die Mainova jedoch nur bis 20.00 Uhr erfolgt, d.h., wenn die maximale Bezugsspitze nach 20.00 Uhr entsteht, würde diese für die Berechnung der Leistungskosten nicht relevant werden. Da ein Wegschalten von größeren Stromverbrauchern kaum möglich ist (Nutzungsstruktur und fehlendes Lastmanagement) sollte versucht werden mit dem Versorger eine Regelung zu treffen, dass die Leistungsmessung nur bis ca. 18.00 Uhr erfolgt. Da die Strombezugsspitze der Alten Oper um 20.00 Uhr nicht mit der Bezugsspitze der Mainova von deren Vorlieferanten zusammen fällt, sollte dieser Vertragspunkt verhandelbar sein (**Maßnahme 2.I**).

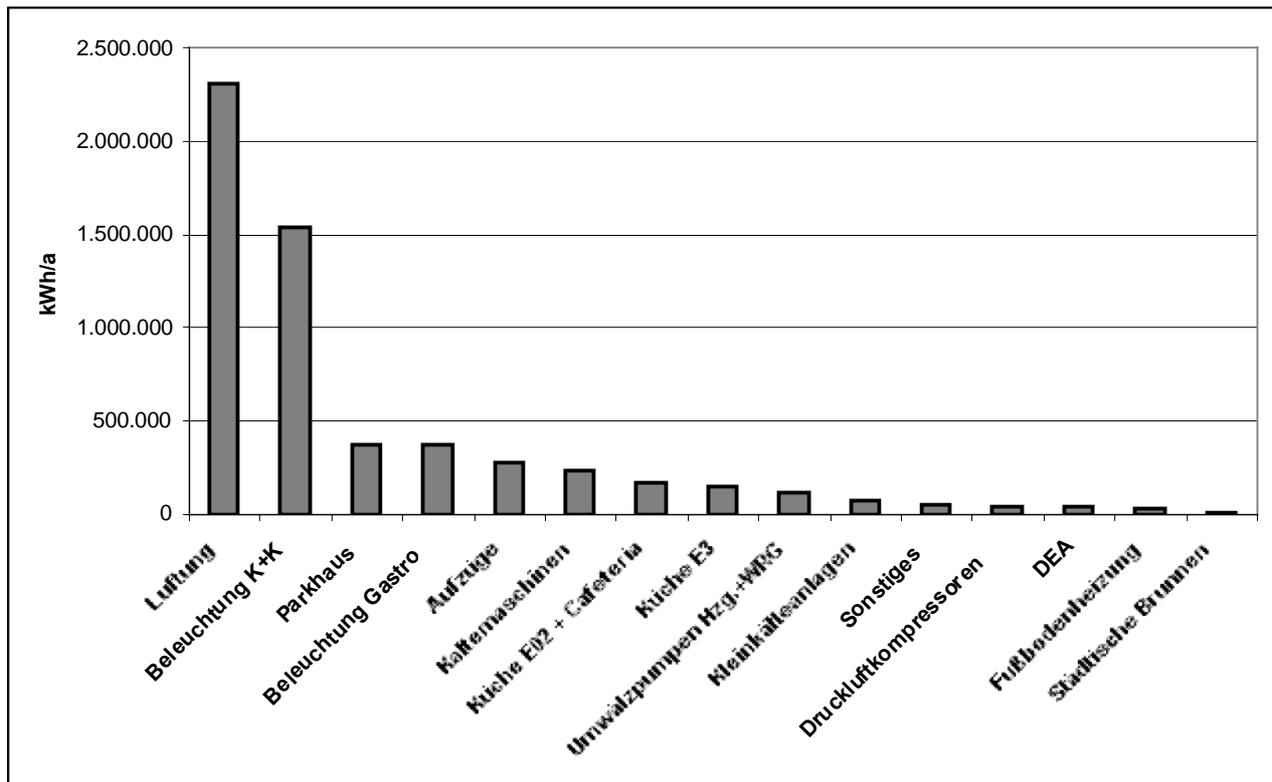
Strom-Schwerpunktverbraucher

Auf Grundlage der 13 internen Stromzähler in der Alten Oper Frankfurt (vgl. Anhang 2.1.2) sowie eigenen Berechnungen von Lastverläufen, Auswertung von Betriebsstundenzählern und spezifischen Daten aus Vergleichsobjekten wurde die prozentuale Verteilung des Gesamtstrombedarfs in der Alten Oper für die Strom-Schwerpunktverbraucher im Zeitraum vom April 2004 bis März 2005 errechnet und in Bild 2.1.6 dargestellt. Die entsprechenden absoluten Zahlen sind im Anhang 2.1.3 zusammengefasst.



Die Differenz zwischen den Stromverbrauchsabrechnungen der Mainova für das Gesamtobjekt und der Summe der Unterzähler liegt bei rund 5 %. Dies liegt wahrscheinlich an den Messungenauigkeiten der internen Zähler und einem nicht erfassten Bereich der Unterverteilung „Hessischer Rundfunk“.

Bild 2.1.6 Energiekonzept „Alte Oper“: Verteilung des Stromverbrauchs auf die Hauptverbraucherbereiche von April 2004 bis März 2005



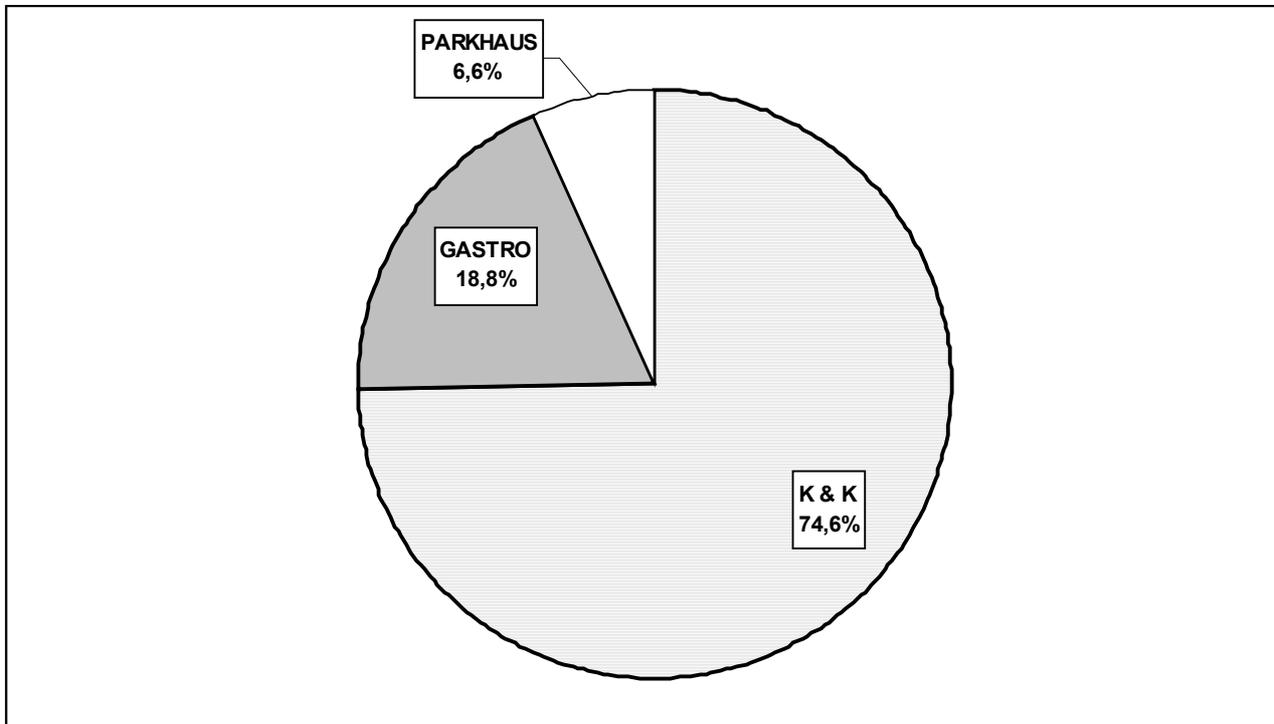
Die „Lüftungsanlagen“ mit 40 % und die „Beleuchtung Konzert & Kongress“ mit knapp 27 % stellen die beiden Hauptverbrauchergruppen in der Alten Oper dar. Nimmt man die Beleuchtung für beide Bereiche (K&K und Gastro) zusammen ergibt sich ein Anteil von rund 33 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper.

Den drittgrößten Verbrauch hat der Bereich Parkhaus. Dieser setzt sich aus der Summe von zwei internen Zählern (Parkhaus und Parkhaus NE) zusammen. Da dieser Bereich „Parkhaus“ verpachtet ist, sollte der Stromverbrauch im Zuge einer bedarfsgerechten Verbrauchsabrechnung ebenfalls separat abgerechnet werden (s. Abschnitt 2.4).

Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse aus der Ermittlung der Strom-Schwerpunktverbraucher wurde eine prozentuale Verteilung für die drei Bereiche Konzert & Kongress (K&K), Gastronomie (Gastro) und Parkhaus errechnet und in Bild 2.1.7. dargestellt.



Bild 2.1.7 Energiekonzept „Alte Oper“: Prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs auf die Bereiche „Konzert & Kongress“ und „Gastro“ von April 2004 bis März 2005



Die Bereiche „Konzert & Kongress“ mit 74,6 % und „Parkhaus“ mit 6,6 % haben am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper Frankfurt, nach Auswertung der internen Zähler sowie eigenen Berechnungen, einen Anteil von 81 %, der des Gastronomiebereichs liegt bei knapp 19 %.

Stromverbraucher, die der Gastronomie zuzuordnen sind und nicht getrennt vom Bereich „Konzert & Kongress“ erfasst werden, u.a. die anteilige Großkälteerzeugung sowie die Heizungs- und Kälteumwälzpumpen, wurden aus dem Bereich „Konzert & Kongress“ herausgerechnet und im Bereich „Gastronomie“ berücksichtigt (vgl. hierzu Abschnitt 2.8).



2.2 Wärmebereitstellung

2.2.1 Fernwärmebezug für Wärmebereitstellung

Die Wärmeversorgung der Alten Oper Frankfurt erfolgt ausschließlich aus dem Dampfnetz „Innenstadt“ der Mainova AG Frankfurt. Die Wärmeübergabe erfolgt mittels zweier Dampfumformer in der Heizzentrale (Ebene 01) für statische Heizung, Lüftungsanlagen und Trink-Warmwasserbereitung. Für die Alte Oper ist eine Gesamtanschlussleistung von 2 x 3.214 kW installiert, wobei die Umformer jedoch redundant ausgelegt sind und nicht parallel betrieben werden.

Für die Verbrauchserfassung und Abrechnung der AOF ist in der Kondensatsammelleitung ein Wärmemengenzähler (Zählernummer 991103) installiert. Als Sondervertragskunde erfolgt eine Abrechnung der bezogenen Ferndampfmenge (in kWh) sowie eines Grundpreises, der sich nach der vertraglich vereinbarten vorzuhaltenden Wärmeleistung (in kW) bemisst (**Bezugstarif ThermoBusiness D**). Die Rechnungsstellung erfolgt monatlich von der Mainova AG an die Alte Oper Konzert und Kongresszentrum GmbH.

Bei der Mainova ist derzeit eine Ferndampfbezugsleistung von 3.306 kW angemeldet, woraus sich eine angemeldete Mehrleistung zur tatsächlichen Umformerleistung von 92 kW (= 2,9 %) ergibt. Der rechnerisch ermittelte Wärmebedarf für die Alte Oper liegt bei 2.356 kW (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die Änderung der angemeldeten Anschlussleistung bei der Mainova auf die tatsächlich installierte Leistung würde zu einer jährlichen Netto-Kosteneinsparung von rund 10,- €/kW führen. Um tatsächliche maximale Bezugsleistung ermitteln zu können, soll eine Zählerverbrauchserfassung durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt (Abteilung Energiemanagement) installiert werden (vgl. **Maßnahme 3.3.I**).

Aus den monatlichen Wärmeverbrauchsabrechnungen der Mainova wurden für 1998-1999 sowie 2002 bis 2004 folgende Jahreswerte ermittelt, wobei neben den absoluten Verbrauchswerten auch die witterungsbereinigten Verbräuche dargestellt sind.

Tafel 2.2.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Jahreswerte und –kosten des Fernwärmebezugs von 1998-1999 sowie 2002 bis 2004

Jahr	Jahresverbrauch		Jahresfernwärmekosten	
	Absolut in kWh _{HU}	Witterungsbereinigt in kWh _{HU}	Gesamt in EUR	Spezifisch in EUR/kWh _{HU}
1998	3.099.528	3.192.513	148.424,-	0,0479
1999	2.952.098	3.217.786	142.493,-	0,0483
2002	2.752.470	2.961.812	147.985,-	0,0538
2003	3.670.902	3.805.444	199.768,-	0,0544
2004	3.304.798	3.310.896	185.461,-	0,0561

Der witterungsbereinigte Fernwärmeverbrauch lag in den vergangenen fünf Jahren bei durchschnittlich **3.297.690 kWh**. Die Verbrauchswerte in den zwei letzten Jahren lagen höher als der

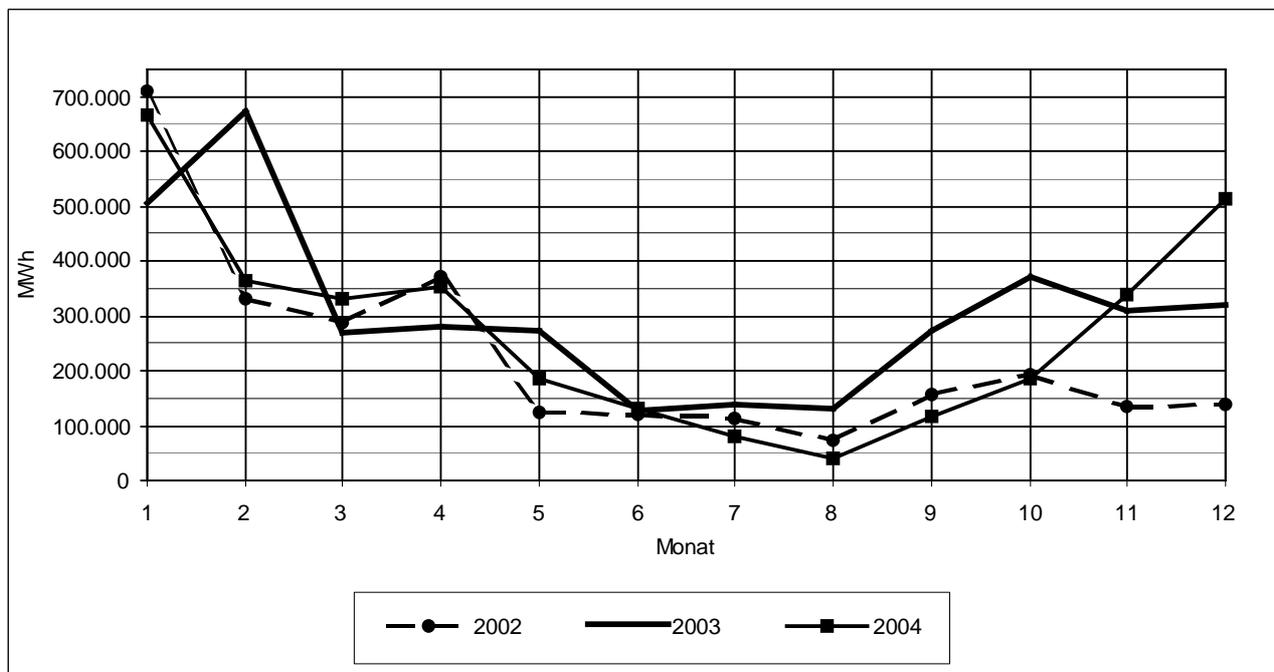


Durchschnittsverbrauch, während in 1998-1999 sowie in 2002 die witterungsbereinigten Fernwärmebezugswerte unter dem Durchschnitt lagen.

In 2003 lag der Fernwärmebezug allerdings um mehr als 16 % über dem langjährigen witterungsbereinigten Verbrauch. Die Gründe hierfür konnten auch nach Rücksprache mit der Technischen Leitung nicht zurückverfolgt werden. Die spezifischen Fernwärmebezugskosten sind seit 1998 kontinuierlich um insgesamt 17% gestiegen. Der Anteil der jährlichen Grundkosten an den Gesamtkosten liegt bei 22 %.

In Bild 2.2.1 ist der Monatsverlauf des Fernwärmebezugs (witterungsbereinigt) für die Alte Oper Frankfurt in den Jahren 2002 bis 2004 dargestellt. Die entsprechenden Verbrauchswerte sind in Anhang 2.2.1 zusammengestellt.

Bild 2.2.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Monatsverlauf des witterungsbereinigten Fernwärmebezugs in 2002 bis 2004

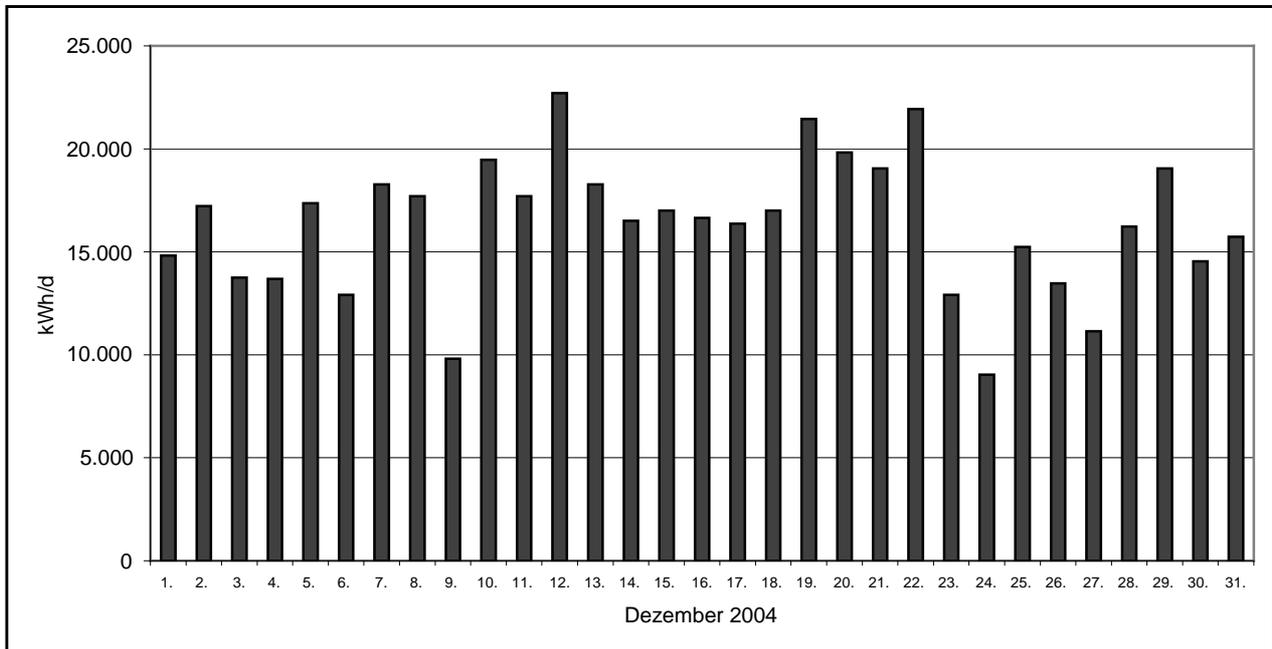


Man erkennt in Bild 2.2.1, dass der Gesamtverbrauch in den verbrauchsschwachen Monaten (Juni-August) auf ca. 15% des maximalen Winterverbrauchs sinkt. Dies zeigt eine deutliche Abhängigkeit des Wärmeverbrauchs vom Heizwärmebedarf (Lüftungs- und Transmissionsverluste) so dass davon auszugehen ist, dass der sommerliche Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung (Dusch- und Waschw Zwecke, Küche) benötigt wird. Des weiteren ist erkennbar, dass der Mehrverbrauch in 2003 vornehmlich im Februar und Oktober auftrat.

Die Auswertung der von der Technischen Leitung seit 2004 täglich dokumentierten Dampfkondensatmengen ermöglichen eine Aussage des Verlaufs des Fernwärmebezugs u.a. in einem Wintermonat (Bild 2.2.2) sowie in den Sommermonaten außerhalb der Veranstaltungszeiten (Bild 2.2.3).

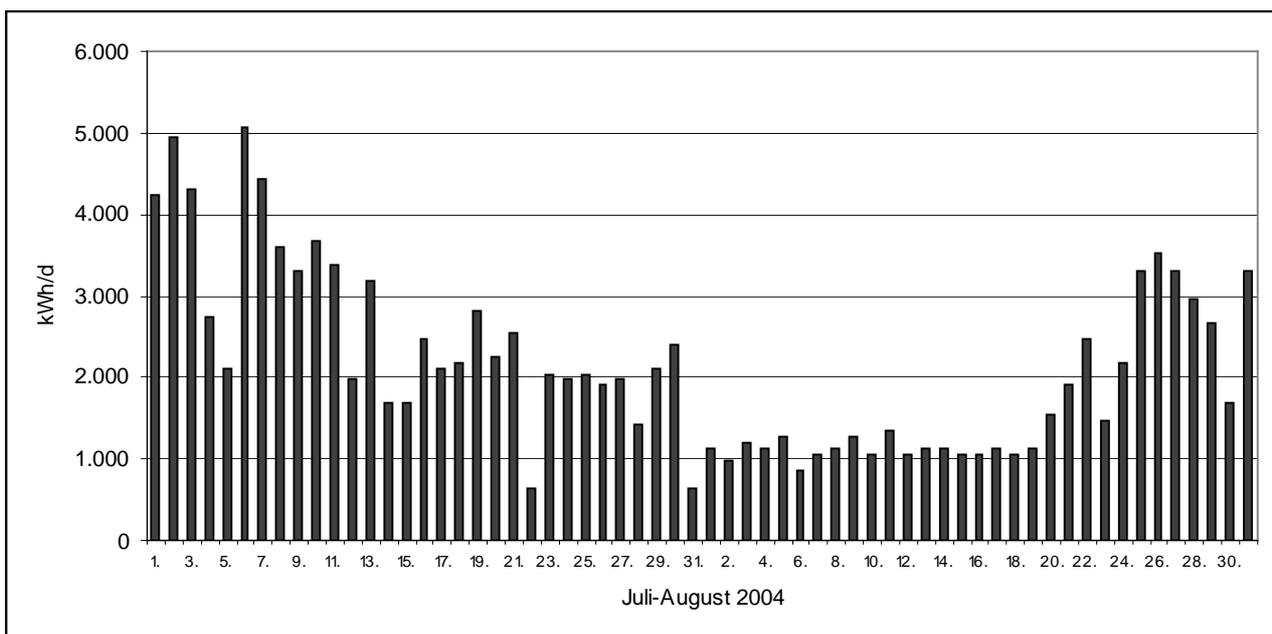


Bild 2.2.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Verlauf des Fernwärmebezugs im Dezember 2004



Die durchschnittliche tägliche Fernwärmebezugsmenge in den Wintermonaten liegt zwischen 10.000 und 15.000 kWh. Ein typischer Wochenverlauf ist nicht zu erkennen. Der Bedarf ist Abhängig von Veranstaltungen und Witterung. So waren z.B. am 12.Dezember sowohl der Große Saal als auch der Mozartsaal ab 11.00 Uhr morgens durchgehend belegt. Am 24. Dezember war die Alte Oper geschlossen.

Bild 2.2.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Verlauf des Fernwärmebezugs außerhalb des Veranstaltungsbetriebs (12.07.04 – 22.08.04) im Sommer 2004





Der Verlauf des Ferndampfbezuges außerhalb der Veranstaltungszeit zeigt ein Absinken der täglichen Ferndampfbezugsmenge auf durchschnittlich 1.000 kWh². Dies entspricht rund 8 - 10 % des Ferndampfbezugs in den Wintermonaten. Diese Wärmemenge wird benötigt für

- die Warmwasserbereitung,
- zu Dusch-/Waschzwecken des Personals,
- in der Küche sowie
- zur Deckung der Wärmeverteilungsverluste.

2.2.2 Verteilung des Heizwärmebedarfs

Der tatsächliche Heizwärmebedarf für die statische Heizung, die RLT-Anlagen sowie die Warmwasserbereitung wird in der Alten Oper Frankfurt derzeit nicht erfasst.

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

Im Rahmen des Energiekonzeptes wurden die typischen Tagesganglinien des Heizwärmebedarfs für die Alte Oper Frankfurt auf der Basis folgender Grundlagen ermittelt:

- Temperaturverläufe für typische Tage nach DIN 4710 „Meteorologische Daten“
- Aufzeichnungen der Tagesverbrauchswerte (Kondensat und Wasser) durch die Technische Leitung der Alten Oper
- Angaben über Verbrauchsmengen und -zeiträume der Küchenleitung und Technischen Leitung der Alten Oper
- Monatswerte des Fernwärme- und Wasserbezugs (Abrechnungen Mainova AG)
- Gebäudewärmebedarf (vgl. auch Abschnitt 2.2)
- Stammdaten und Betriebszeiten der RLT-Anlagen (vgl. auch Abschnitt 3.4)

Wie bereits dargestellt, ergeben sich keine relevanten Betriebsunterschiede zwischen Werk- und Sonn-/Feiertagen. Unterschiede zwischen Voll- und Teillastbetrieb ergeben sich nur im Tagesverlauf in Abhängigkeit von der Belegung/Nutzung.

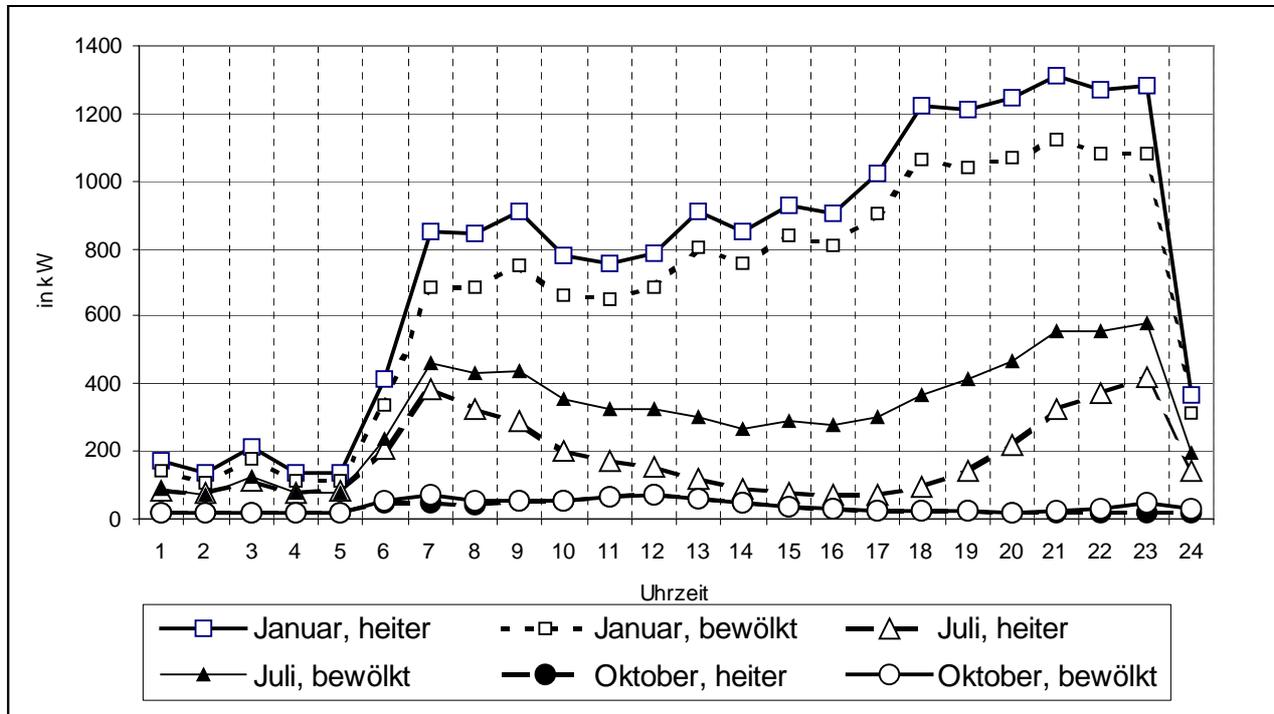
Unter Berücksichtigung der genannten Voraussetzungen wurden Tagesganglinien für folgende typischen Tage erstellt (vgl. Bild 2.2.4):

- Heiterer und trüber Wintertag im Januar
- Heiterer und trüber Übergangstag im Oktober
- Heiterer und trüber Sommertag im Juli

² Anmerkung: Der außerordentlich überhöhte Bezug in der Zeit vom 23. bis 30. Juli 2004 war auf ein Hochheizen der Räumlichkeiten im Foyer zurückzuführen, da es dort zu Feuchteschäden gekommen war.



Bild 2.2.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Typische Tagesganglinien des Heizwärmebedarfs



Bei der Bilanzierung der Tagesganglinien zeigte sich, dass in den typischen Sommertagen die Wärmegrundlast bis auf 40 kW fällt. In den Wintermonaten und in den Übergangszeiten steigen die Bedarfsmaxima, in Abhängigkeit von der Außentemperatur sowie dem Vollastbetrieb der RLT-Anlagen gegen Abend (20⁰⁰-21⁰⁰ Uhr) an.

Eine Bilanzierung des Heizwärmebedarfs für die einzelnen Verbrauchergruppen ist in der Tafel 2.2.2 enthalten. Die entsprechenden Monatswerte können Anhang 2.2.2 entnommen werden.

Tafel 2.2.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Jahresbilanz des Heizwärmebedarfs für die einzelnen Verbrauchergruppen

Verbrauchergruppe	Heizenergiebedarf	Anteil am Gesamtverbrauch	Durchschnittliche Jahres-Wärmebezugskosten
RLT-Anlagen	2.617,4 MWh/a	79,1 %	146.835,- €/a
Statische Heizung	250,4 MWh/a	7,6 %	14.050,- €/a
Warmwasserbereitung ³	145,8 MWh/a	4,4 %	8.180,- €/a
Systemverluste für Hzg.+WW	293,9 MWh/a	8,9 %	16.500,- €/a
Gesamt	3.307,5 MWh/a		185.565,- €/a

Insgesamt wurden in der Alten Oper Frankfurt in den vergangenen Jahren durchschnittlich rund 3.308 MWh an Fernwärme zur Wärmebereitstellung eingesetzt. Davon wurden 3.013,6 kWh an

³ Nutzwärme



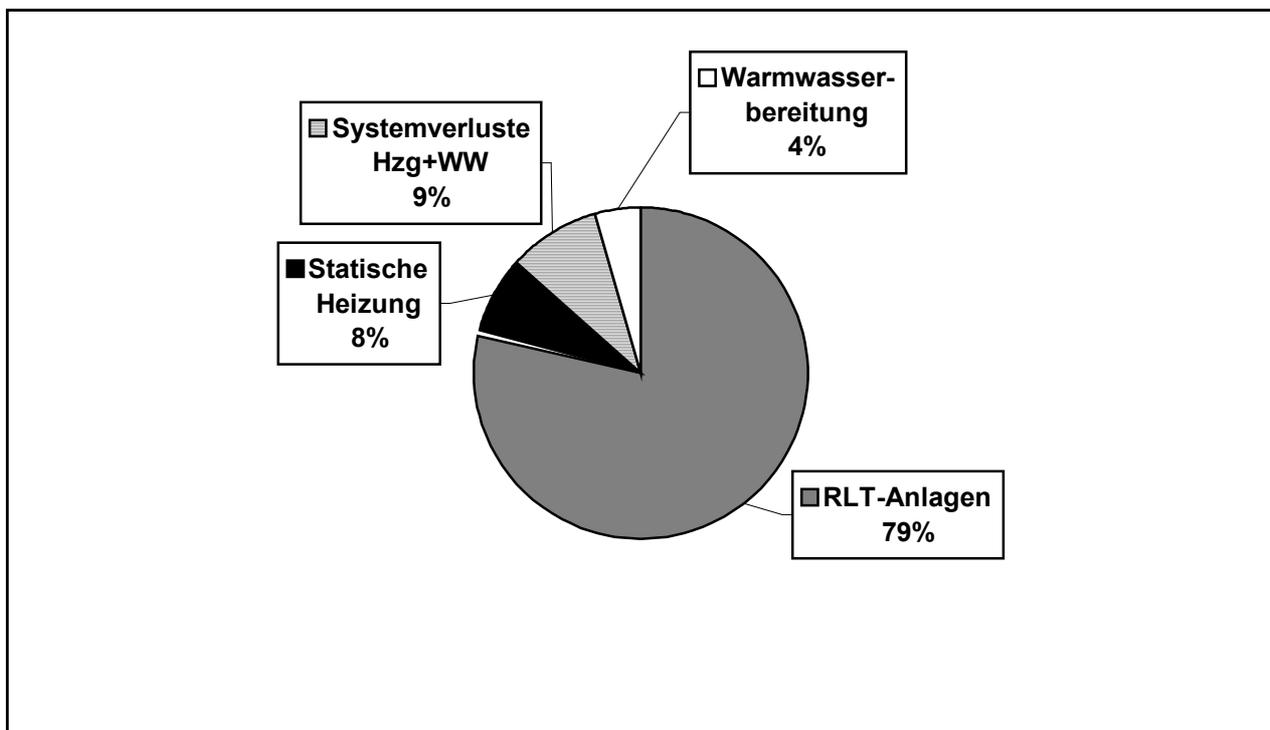
Nutzwärme verbraucht, d.h., rund 9 % der eingesetzten Fernwärme gingen als Verluste für die Verteilung von Heizwärme und Warmwasser verloren.

Den größten Anteil mit 78 % am Heizwärmebedarf und den Jahreswärmebezugskosten haben die Lüftungsanlagen. Die Heizwärmeversorgung der statischen Heizungen hat einen Anteil von 7,5 % am Gesamtheizwärmebedarf.

Für die Warmwasserbereitung (Nutzwärme) der Gastronomie- und des Kongressbereichs ergaben sich 4,4 % des Gesamtheizenergiebedarfs der Alten Oper. Die anteilige Verteilung zwischen Gastronomie und Kongressbereichen ist in Abschnitt 2.4 beschrieben.

Im folgenden Bild 2.2.5 ist die Verteilung des Heizwärmebedarfs in der Alten Oper noch einmal grafisch dargestellt.

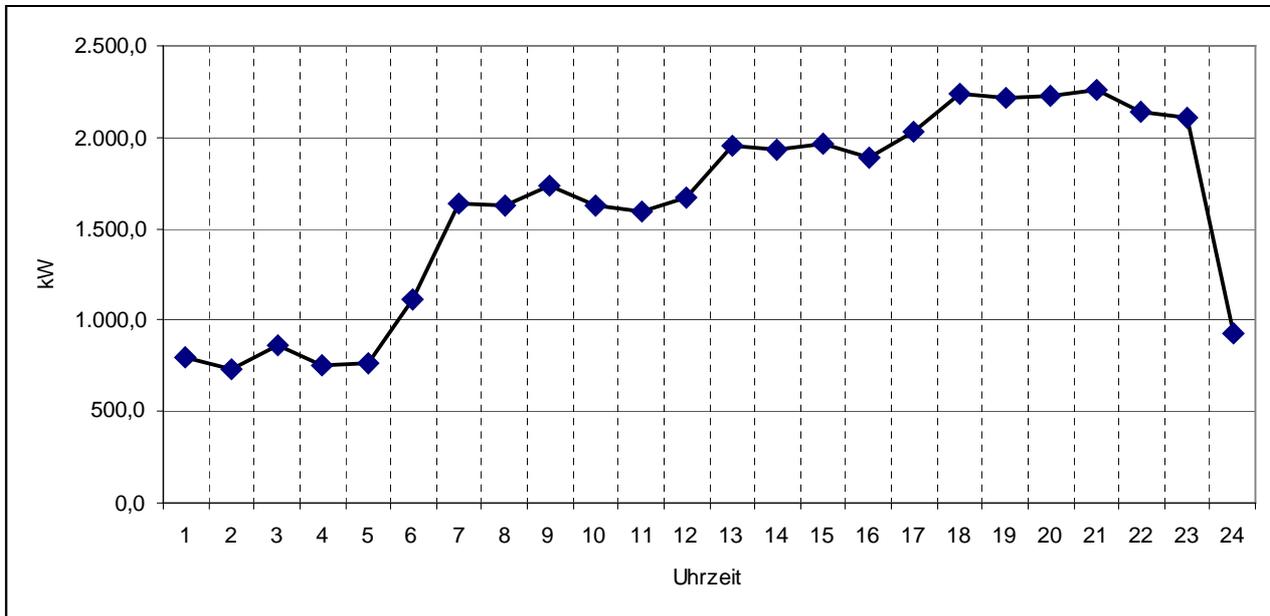
Bild 2.2.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Verteilung des Heizwärmebedarfs auf die einzelnen Verbrauchergruppen



Um die maximale Wärmebezugsleistung zu ermitteln, wurde auf Grundlage des Test-Referenzjahres für Frankfurt ein Tagesverlauf des Wärmebedarfs mit maximalen Außenlufttemperaturen im Winter erstellt und in Bild 2.2.6 dargestellt.



Bild 2.2.6 Energiekonzept „Alte Oper“: Tageslastgang des Heizwärmebedarfs bei maximalen Außenlufttemperaturen (Winter)



Das Bild zeigt, dass in den Abendstunden an einem Wintertag mit maximalen Außenlufttemperaturen ein Spitzenwärmebedarf von 2.265 kW erreicht wird. Dieser Bedarf deckt sich annähernd mit dem rechnerisch in Abschnitt 3.2.2 ermittelten Bedarf von 2.356 kW.

Im Vergleich zur angemeldeten Fernwärmebezugsleistung von 3.306 kW errechnet sich hieraus eine Reduzierung des notwendigen Bedarfs zwischen 1.040 und 950 kW (**vgl. Maßnahme 3.3.I**).



2.3 Wasserverbrauch

Die Alte Oper Frankfurt verfügt über eine Einspeisung mit zwei Einspeisezählern aus dem Versorgungsnetz der Mainova AG.

Die Messstelle mit zwei Zählern (Nr. 111 438 und 111 443) befindet sich in der Sanitärzentrale in der Ebene 01 (s. Lageplan im Anhang 3.1.1.). Die jährlichen Abrechnungen der Mainova erhält die „Alte Oper Konzert & Kongresszentrum GmbH“. Für die Alte Oper ist derzeit der **AquaClassic-Tarif** der Mainova gültig. Die untervermieteten Bereiche der Gastronomie werden nicht separat abgerechnet, d.h., sie werden in der Mainova-Rechnung nicht gesondert erfasst bzw. abgerechnet.

Die jährlichen Wasserverbrauchswerte sowie die Bezugskosten für 2002 bis 2004 sind in der folgenden Tafel 2.3.1 dargestellt.

Tafel 2.3.1 Energiekonzept „Alte Oper“ - Jahreswerte des Wasserbezugs und –kosten von 2002 - 2004

Jahr	Wasser- verbrauch in m ³ /a	Wasserkosten			
		Wasser in EUR	Kanal in EUR	Gesamt in EUR	Spez. Wasserpreis in EUR/m ³
2002	20.285	44.527,-	35.702,-	80.229,-	3,96
2003	22.175	45.777,-	39.028,-	84.805,-	3,82
2004	20.106	41.615,-	48.497,-	90.112,-	4,48

Der Wasserbezug ist in den letzten drei Jahren nahezu konstant geblieben. Der durchschnittliche Wasserbezug lag bei 20.855 m³/a. Lediglich in 2003 gab eine Erhöhung, die aufgrund des heißen Sommers auf den zusätzlichen Wasserbedarf für die Kühltürme zurückzuführen ist.

Die Bezugskosten sind allerdings von 2002 bis 2004 um über 12 % bzw. rund 10.000,- € gestiegen. Dies liegt hauptsächlich an den um fast 37 % gestiegenen Abwassergebühren (von 1,76 €/m³ auf 2,34 €/m³), während der Trinkwasserpreis von 2,20 €/m³ auf 2,07 €/m³ im gleichen Zeitraum leicht gefallen ist.

Von der Stadt Frankfurt werden jährlich für folgende Bereiche die Kanalbenutzungsgebühren zurückerstattet, die in Folge von Verdunstung und Versickerung nicht in die Entwässerungsanlage eingeleitet werden:

- 50 % der Wassermenge für die Befeuchtung der Raumluft (Luftwäscher)
- 50 % der Wassermenge für offenen Kühlturm

Diese Wassermenge wird mittels der beiden internen Wasserzähler für die Wasseraufbereitungsanlagen der Kühltürme sowie der Luftwäscher ermittelt. Die erstattete Gebühr für nicht in die Kanalisation eingeleitetes Abwasser lag in den vergangenen beiden Jahren bei durchschnittlich rund 4.960,- €.



Für folgende Bereiche sind interne, nichtgeeichte Wasseruhren für Unterzählungen installiert, die seit Juni 2004, neben den Hauptzählern, täglich bzw. monatlich abgelesen und von der Technischen Leitung dokumentiert werden. In Anhang 2.3.1 ist eine schematische Darstellung des Trinkwassersystems mit den eingebauten Wasserzählern aufgeführt.

Tafel 2.3.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der internen Wasserzähler

Bezeichnung	Zähler-Nr.	Standort	Ablese-Intervall	Verbraucher
Sprinklerzentrale (Haupttrinkwasser)	9301871	Sanitärzentrale E02	Täglich	Technikwasser, Gastrobereich, Parkhaus K+K (Speicher, Toiletten, etc.)
Gastro (Kaltwasser Süd)	9534061-	Sanitärzentrale E02	Täglich	Gastro: WW-Speicher, Küche, Enthärtungsanlage, Toiletten, etc.
Parkhaus	5249	Sanitärzentrale E02	Täglich	- DEFEKT -
Küche	24941	Sanitärzentrale E02	Monatlich	Gastro Küchenbereich
Enthärtungsanlage Gastro		Sanitärzentrale E02	Täglich	Enthärtetes Wasser für Gastro
Wäscher	204940	Sanitärzentrale E02	Monatlich	Luftwäscher der Lüftungsanlagen
Kühlturm Zähler Sanitär	24052290	Sanitärzentrale E02	Monatlich	Kühltürme Kältemaschinen inkl. Gastro
Kühlturm Zähler Werkstatt	205052		Monatlich	Kühltürme Kältemaschinen inkl. Gastro
Heizungsnachspeisung		Heizzentrale E02	-	Heizwassernachspeisung

Auf Grundlage dieser Unterzählungen kann der Wasserverbrauch des verpachteten Gastronomiebereichs (Restaurant, Küche, Bistro (Cafe Rosso), Büro E01) teilweise direkt abgelesen bzw. rechnerisch ermittelt werden.

Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass noch zu klären ist, ob die Zählerdifferenz zwischen Hauptzähler und „Zähler Sprinklerzentrale“ ausschließlich dem Abgang „Rosso“ zugeordnet werden kann. Zwischen diesen Zählungen befinden sich noch folgende Abgänge in der Heiz- und der Sanitärzentrale:

- Nachspeisung Heizung
- Sprinkleranlage (wöchentliche Überprüfung mit ca. 0,5 m³ Wasserverbrauch)
- Feuerlöschanlage
- Kiesfilterrückspülung

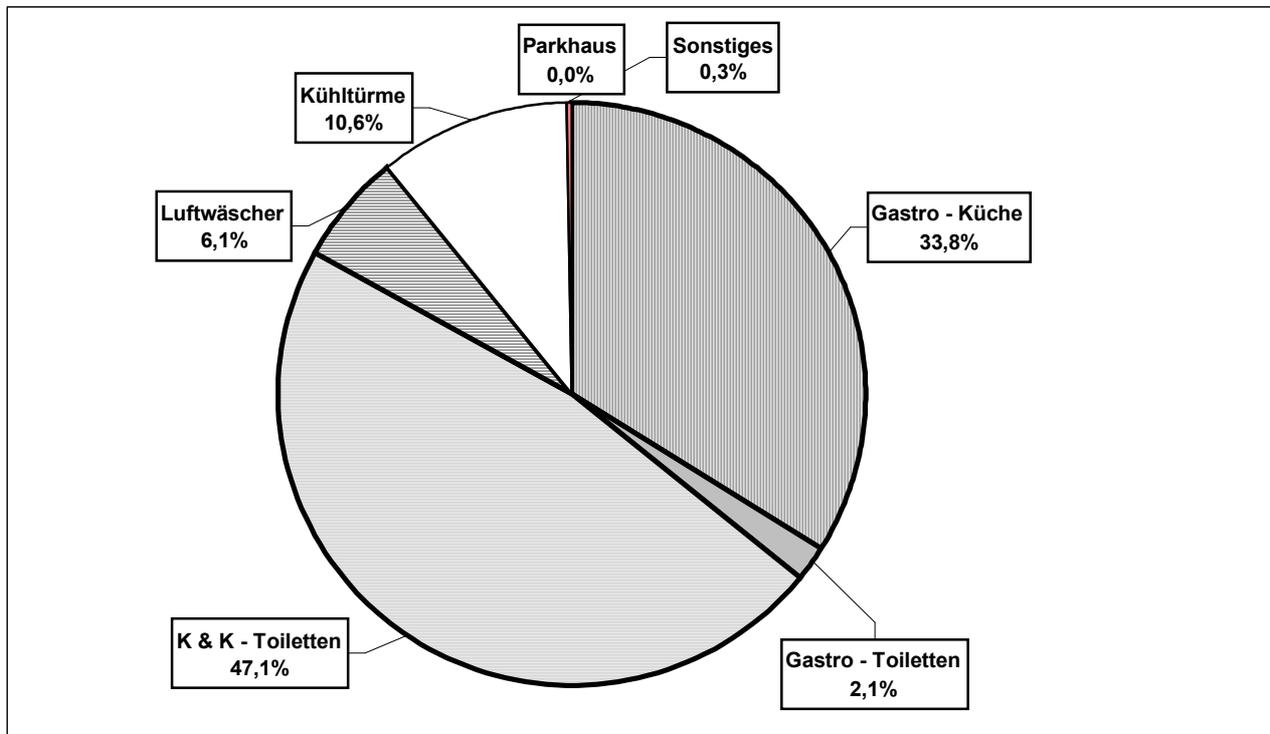
Des weiteren ist die Höhe der Wasserentnahmemengen des Bereichs „Parkhaus“ unklar, da dieser Zähler defekt ist.

Die ermittelten Verbrauchswerte der einzelnen Unterzähler sind im Anhang 2.3.2 zusammengestellt. Auf Grundlage dieser Verbrauchszählungen sowie einer Abschätzung des Wasserbedarfs für Toiletenspülungen im Gastronomiebereich⁴ wurde die Verteilung des Wasserbedarfs in der Alten Oper ermittelt und in Bild 2.3.1 dargestellt (vgl. Anhang 2.3.3).

⁴ vgl. „Betriebskostenanalyse Restauration“, Brendel Ingenieure 1998



Bild 2.3.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Verteilung des Wasserbedarfs auf die einzelnen Verbraucher



Der Wasserbedarf in der Alten Oper verteilt sich in etwa zu zwei Drittel auf den Bereich „Kongress und Kultur“ und zu einem Drittel auf den „Gastronomiebereich“. Fast die Hälfte des Wasserverbrauchs wird für die Toilettenspülungen benötigt (siehe Maßnahme 3.7.III – Einbau Trockenurinale im Büro-/Verwaltungsbereich).

Im Bereich „K&K“ hat das Technikwasser für die Luftwäscher der Lüftungsanlagen und die Kühltürme einen Anteil von 17 %, wobei jedoch berücksichtigt werden muss, dass hieran der Bereich „Gastro“ einen nicht separat erfassten anteiligen Wasserverbrauch für den Kühlturm der Kleinkälteanlagen hat.

Aufgrund des defekten Wasserzählers (seit 2000) kann derzeit der Wasserverbrauch des Parkhauses nicht berücksichtigt werden. Ältere Verbrauchsaufzeichnungen bzw. Zählerstände existieren nicht.



2.4 Bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung (Maßnahme 2.4.I)

In der Alten Oper Frankfurt sind, entsprechend dem derzeit gültigen Pachtvertrag, die in der folgenden Tafel 2.4.1 aufgeführten Bereiche an die Fa. Käfer & Kuffler GmbH & Co. vermietet.

Tafel 2.4.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Verpachtete Bereiche

Funktion / Ebene	Fläche in m ²
Bistro / Cafe im Vestibül einschl. Versorgungslogistik	98,0
Altes Foyer (Restaurant Opera E3)	257,0
Gastronomiefläche im Merchandising-Bereich	60,0
Büffets im Alten und Neuen Foyer, Wintergarten, der Ebene 2 und Sitzflächennutzung	400,0
Nebenraum im ehemaligen Opernkeller	8,0
Toilettenanlagen im ehemaligen Opernkeller	79,5
Großküche mit Nebenräumen in der Ebene 1, Anlieferung und die Lagerräume E01	860,0
Sozial- und Umkleieräume für Mitarbeiter	39,0
Büroräume in der Ebene 01	48,0
Gesamter verpachteter Bereich	1849,5

Die Alte Oper Frankfurt verfügt über eine beheizte Nutzfläche von rund 12.700 m² (vgl. Abschnitt 3.1). Der Anteil des verpachteten Gastronomiebereichs liegt bei 14,6 % bzw. 1.850 m².

Für eine bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung des Gastronomiebereichs sind die in den folgenden Abschnitten aufgeführten untervermieteten Bereiche von der Versorgung der Alten Oper zu trennen bzw. durch entsprechende Zählerleinrichtungen separat zu erfassen.

2.4.1 Stromversorgung

In der Alten Oper sind derzeit in der NSHV folgende Unterzähler zur Erfassung des Gastronomie-Stromverbrauchs installiert (vgl. auch Anhang 3.6.1)

Tafel 2.4.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Installierte interne Stromzähler mit Verbrauchsmengen „Gastro“

Bereich	Bereich NSHV	Jahresverbrauch in kWh/a	Bemerkungen
Gastro Beleuchtung & Steckdosen	Feld 1	369.150	Garderobe 2.18 wird erfasst. Nutzung nur zu 90 % durch Gastro.
Gastro Fußbodenheizung	Feld 14	0	FB-Hz in Cafeteria und Küche wird nicht mehr genutzt.
Gastro Technik	Feld 19	245.368	Von den 7 Abgängen gehören nicht zu Gastro: - UV Übertragungswagen für Opernvorplatz - UV Fluchtwege E02 Süd - „Kleine“ Kältemaschine - UV-Personalcafeteria (Kraft)
Gastro Küche E3	Feld 21	151.279	
Gastro NE(Netzersatz)	Feld 26	128.226	Sanitärzentrale E02 und Tonregie sind K+K zuzuordnen



Folgende Verbraucher bzw. Verbrauchsbereiche werden derzeit nicht durch die oben aufgeführten internen Zähler erfasst:

- Aufzüge 3 und 4:** Nutzung hauptsächlich für Toiletten in E5 durch Gäste des Restaurants und des Bistros. Sind derzeit durch Zähler „K&K Technik“ erfasst. Hochrechnung ergab einen Jahresstromverbrauch von 86.725 kWh/a sowie 460 kWh/a für die Abluftventilatoren der Aufzugsmaschinenräume.
- Heizungs-:** Zur Versorgung der Heizkörper sowie der Heizregister der Lüftungsanlagen (KL 37 -
- Umwälzpumpen** KL42) sowie der WW-Bereitung. Erfassung als Teil des Zählers „K&K-Technik“. Errechneter Jahresstromverbrauch ausschließlich für die Bereiche Gastro 7.825 kWh/a und inkl. dem anteilmäßigen Verbrauch für beide Bereiche (Primär- und WRG-Pumpen) 19.870 kWh/a.
- Kälte-:** Zur Versorgung der Kühlregister der Lüftungsanlagen (KL 37, KL 38, KL 41). Erfas-
- Umwälzpumpen** sungs als Teil des Verbrauchs des Zählers „Kälte“. Errechneter Jahresstromverbrauch 4.325 kWh/a bzw. inkl. anteilmäßigem Verbrauch für Primär- und Kühlwasserpumpen 8.990 kWh/a.
- Kälteerzeugung:** Anteiliger Stromverbrauch für Kältemaschinen und Kühlturmventilatoren zur Kälteerzeugung für die Lüftungsanlagen (KL 37, KL 38, KL 41). Erfassung derzeit durch Zähler „Kälte“. Geschätzter Jahresstromverbrauch 26.830 kWh/a.
- Lüftungsanlagen:** Die Lüftungsanlagen „KL 06 - Foyer Großer Saal“ und „KL 08 Eingangshalle“ werden in beiden Bereichen genutzt. Folgende Abluftventilatoren dienen zur Entrauchung und sind in den Feldern „K+K NE“ aufgeschaltet: **KL 37** Restaurant E01, **KL 38** Küche, **KL 39** WC E01 West, **KL 40** WC E01+E02, **KL 42** Warenannahme, **KL 23** - Aufzugsmaschinenraum Baldachin.
- Sonstiges:** In der UV 02.4 ist seit 07.03.2000 ein Elektrizitätszähler eingebaut. Erfasster Bereich unklar. Hängt am Zähler K & K Beleuchtung (Feld 2) .Verbrauchte Strommenge seit März 2000 (1.920 Tage): 9.878 kWh bzw. **1.878 kWh/a**.

2.4.2 Wärme-/Kälteversorgung

Für eine bedarfsgerechte Wärme- und Kältemengenzählung sind in der Alten Oper bereits die in Tafel 2.4.3 aufgeführten Zähleinrichtungen vorhanden.

**Tafel 2.4.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Installierte interne Wärme-/Kältemengenzähler**

Bereich	Standort	Fabrikat / Typ	Verbraucher	Bemerkung
Wärmemengen-Zähler				
Verteiler K & K HZ 06	Heiz- zentrale E02	Spanner Pollux N 100 / DN	Statische Heizung K&K, WW-Speicher K&K, Klimazentralen E02 und E06, Konvektor Cafe Rosso	Defekt
Verteiler Gastro HZ 06	Heiz- zentrale E02	Spanner Pollux N 100 / DN	Stat. Heizung Gastro, WW-Speicher Gastro, Klimazentrale (HZ19) KL37-KI42	Zählung aktiv
Abgang Rosso Konvektor	Heiz- zentrale E02		Konvektor Cafe Rosso	Zählung aktiv
Kondensat- mengenzähler				
WW - Speicher K & K	Sanitär- zentrale E02	Spanner Pollux N 100 / DN	WW-Speicher für den Bereich K & K	Defekt
WW - Speicher Gastro	Sanitär- zentrale E02	Spanner Pollux N 100 / DN	WW-Speicher für den Bereich Gastronomie	Defekt
Kältemengen- Zähler				
		IWKA autarkon EWZ 24 / DN 250	Kälteerzeugung	Defekt
		IWKA autarkon EWZ 11 / DN 200	Klimakälte Bereich K&K	Defekt
		IWKA autarkon EWZ 11 / DN 65	Klimakälte Bereich Gastro (KL37, KL 38, KL41)	Defekt

Die o.g. Zähleinrichtungen sind defekt. Die ursprünglich vorhandene Aufschaltung auf die GLT-Anlage ist nicht mehr aktiv und eine erneute Aufschaltung nicht mehr möglich, da keine Kapazität für weitere Datenpunkte in der GLT vorhanden ist (vgl. Abschnitt 3.6.8).

Für eine bedarfsgerechte Wärme- und Kältemengenabrechnung sind folgende Lüftungsanlagen separat zu erfassen und der Verbrauch gegebenenfalls nach versorgter Fläche anteilmäßig umzulegen.

Lüftungsanlagen:	Jahresenergie- Kosten (vgl. Abs. 3.4.2)	Versorgte Gesamtfläche	Fläche Gastro	Anteilige Energie- Kosten für Gastro
„KL 06 Foyer Großer Saal“	11.115,- €/a	672 m ²	257 m ²	4.250,- €/a
„KL 08 Eingangshalle“	6.760,- €/a	602 m ²	98 m ²	1.100,- €/a

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass seit Mitte 2005 ein Verbrauchskostenabrechnungssystem für lufttechnische Anlagen auf dem Markt⁵ (Testphase) ist, welches ermöglicht, die Energiekosten einer zentralen lufttechnischen Anlage verbrauchsgerecht auf mehrere Abnehmer umzulegen. Leider konnten derzeit noch keine Kosten für das System genannt werden.

⁵ vgl. „Zentrale Luftaufbereitung gerecht abrechnen“, TGA Fachplaner 06-2005



2.4.3 Wasserversorgung

Um den Wasserverbrauch in der Alten Oper bedarfsgerecht abrechnen zu können, sind neben den installierten Wasserzählern (vgl. Tafel 2.3.2) folgende Bereiche zu erfassen:

Cafe Rosso: Einbau in Abgang Technikraum E01 Südostseite

Parkhaus: Austausch des defekten Zählers am Verteilerabgang Sprinklerzentrale

Kühlwasser: Erfassung des benötigten Kühlwassers für Kühlturm der Kleinkälteanlagen. Abgang zum Kühlturm in der Kältezentrale

2.4.4 Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten

Folgende Wartungs- und Instandhaltungskosten für Anlagen in verpachteten Bereichen werden derzeit schon erfasst und direkt mit den Pächter abgerechnet.

Tafel 2.4.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der derzeit erfassten Wartungs- und Instandhaltungskosten in 2004 für den Bereich Gastronomie

Bereich	Wartung in EUR/a	Reparaturen in EUR/a	Verbrauchsmaterial in EUR/a
Allgemein Gastronomie-/Küchentechnik	14.800,- (HSG)	4.700,-	
Abwasserbehandlungsanlage	9.000,- (Enviro) ⁶	8.800,-	8.200,-
Kleinkälteanlagen		4.700,-	
Dunstabzugshauben			490,- (Filter)
Geräte (Automaten)	670,- (AVS)	975,-	
Küchengeräte		3.470,-	
Netto-GESAMT	24.470,-	17.945,-	8.690,-

In 2004 fielen rund 51.000,- EUR an Wartungs-, Reparatur- und Instandhaltungskosten für den Bereich „Gastronomie“ an, die direkt mit dem Pächter abgerechnet wurden.

Weiterhin fallen in der Alten Oper die in Tafel 2.4.5 zusammengestellten Wartungsarbeiten an, die von der HSG durchgeführt werden und die anteilmäßig dem Bereich „Gastronomie“ zugeordnet werden sollten.

⁶ Wartungsvertrag in Vorbereitung



Tafel 2.4.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der anteilmäßig zu erfassenden Wartungs- und Instandhaltungskosten in 2004 für den Bereich Gastronomie

Bereich	Wartung HSG in EUR/a	Verbrauchsmaterial in EUR/a
- Reinigung Dunstabzugshauben	11.005,-	
Lüftungsanlagen		
- Dampfbefeuchter	4.190,-	
- Geräte und Filterwechsel KL11-KL58	12.460,-	
- Luftbefeuchter	3.390,-	
Kälteversorgung		
Großkälteanlagen	k.A.	
Kühltürme (Sommerpause)	1.900,-	
- Kühltürme	1.935,-	
Heizungsanlage H01-HZ22	1.930,-	
Wasseraufbereitung	565,-	3.660,- (ST DOS T300)
Druckluftversorgung	970,-	
Dienstleistungen		
- Programmierung ZLT	18.225,-	
- Sprinklerprüfung (wöchentlich)	45.750,-	
Elektroversorgung		
- Notstromdiesel	985,-	495,-
- Trafostation	1.120,-	
Netto-GESAMT	104.425,-	4.155,-

Für die Technikbereich in der Alten Oper fallen jährlich knapp 108.600,- EUR für Wartungsarbeiten (inkl. Verbrauchsmaterialien) an, die anteilig vom verpachteten Gastronomiebereich mitgetragen werden müssten. Einen genauen Abrechnungsschlüssel gilt es noch festzulegen. Zum Beispiel würde eine Verteilung nach Nutzfläche für den Gastronomiebereich (14,6 %) einen jährlichen Anteil von 15.850,- Euro bedeuten.

2.4.5 Berechnung der Betriebskosten für den Bereich Gastronomie

Im folgenden werden, anhand der vorliegenden Verbrauchs-, Betriebs- und Leistungsdaten der Energie- und Wasserversorgungseinrichtungen in der Alten Oper, für den verpachteten Gastronomiebereich, die jährlichen Energie- und Wasserkosten ermittelt und in der Tafel 2.4.6 dargestellt.


Tafel 2.4.6 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der jährlichen Netto-Energie- und Wasserkosten für den Gastronomiebereich

1. Bereich Strom		Verbrauch	Bemerkungen
1.1 Erfasster Verbrauch durch interne Stromzähler			
Feld 01 - Beleuchtung und Steckdosen	in kWh/a	369.150	
Feld 21 - Küche E 3	in kWh/a	151.280	
GESAMT	in kWh/a	520.430	
1.2 Erfasster Verbrauch, der nur anteilig Gastro zugeordnet werden kann			
Feld 19 - Technik	in kWh/a	132.670	Küche / Bistro /Theke E2
Feld 19 - Technik	in kWh/a	35.930	Lüftung E02 - KL39-42
Feld 26 - Gastro Netzersatz	in kWh/a	9.169	Bistro Beleuchtung
Feld 26 - Gastro Netzersatz	in kWh/a	91.850	Aufzüge 5,6 und 9
GESAMT	in kWh/a	269.619	
1.3 Nicht erfasster Verbrauch (Bedarf rechnerisch ermittelt)			
Aufzüge 3 und 4 (anteilig)	in kWh/a	62.916	70 % d. Fahrten für Gastro
Hzg.-Pumpen	in kWh/a	27.695	
Kälte-Pumpen	in kWh/a	13.315	
Lüftungsanlage KL 28 - Küche	in kWh/a	158.080	
GESAMT	in kWh/a	262.006	
Gesamtstromverbrauch	in kWh/a	1.052.055	
Gesamtstromkosten netto	in EURO/a	74.890,-	Nur Kosten für Arbeit
2.1 Lüftungsanlagen (Strom/Wärme/Kälte)			
KL 06 - Foyer Großer Saal (anteilig)	in EURO/a	4.250,-	
KL 08 - Eingangshalle (anteilig)	in EURO/a	1.100,-	
2.2 Lüftungsanlagen (Wärme/Kälte)			
KL 38 - Küche	in EURO/a	15.050,-	
KL 39 - WC-, Flur, Duschen E01	in EURO/a	1.425,-	
KL 40 - WC E01+E02	in EURO/a	1.900,-	
KL 41 - Warenannahme	in EURO/a	915,-	
KL 42 - Müllraum / Fettabscheider	in EURO/a	3.650,-	
Gesamtenergiekosten RLT-Anlagen netto	in EURO/a	28.290,-	
3. Bereich Wasser			
Erfasster / Errechneter Verbrauch	in m ³ /a	6.795,-	
Gesamtwasserkosten	in EURO/a	28.780,-	
GESAMT ENERGIE- / WASSERKOSTEN	in EURO/a	131.960,-	

Die ermittelten Energie- und Wasserkosten für den Gastronomiebereich liegen bei jährlich fast 132.000,- Euro. Derzeit ist zwischen Pächter und der Alten Oper GmbH ein monatlicher Pauschalbetrag von 6.620,- € vertraglich vereinbart. Daraus errechnet sich eine Differenz zwischen ermittelten und in Rechnung gestellten Energie- und Wasserkosten in Höhe von **52.520,- €/a**.



Berücksichtigt man zusätzlich einen derzeit nicht abgerechneten Anteil an den Wartungs- und Instandhaltungskosten von 15.850,- Euro/a (vgl. Abschnitt 2.4.4) so errechnen sich daraus zusätzlich zu erstattende Betriebskosten für den Gastronomiebereich von 68.370,- Euro pro Jahr. Die Gesamtbetriebskosten Technik für den Gastronomiebereich belaufen sich dann auf 198.900,- Euro/a.

2.4.6 Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit für eine verbrauchsabhängige Abrechnung

Für eine bedarfsgerechte Verbrauchserfassung und –abrechnung sind die untervermieteten Bereiche in der Alten Oper durch entsprechende Zähleinrichtungen zu erfassen und abzurechnen. In der folgenden Tafel 2.4.7 sind die Kosten für die Zähler zusammengestellt. In Anhang 2.4.1 sind die einzelnen zu erfassenden Bereiche aufgelistet.

Tafel 2.4.7 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionen für eine verbrauchsabhängige Abrechnung der Betriebskosten

BEREICH	NETTOGESAMT
1. Elektrozähler	26.000,- Euro
2. Wärmemengenzähler m. Impulsausgang	11.000,- Euro
3. Kältemengenzähler m. Impulsausgang	13.400,- Euro
3. Wasserzähler m. Impulsausgang	1.050,- Euro
4. Kondensatzähler m. Impulsausgang	6.900,- Euro
Gesamt	58.350,- Euro

Die Investitionskosten für die verbrauchsabhängige Erfassung und Abrechnung der verpachteten Bereiche „Gastro“ in der Alten Oper belaufen sich auf 58.350,- Euro. Dieser Summe steht eine jährliche Differenz zwischen tatsächlichen und abgerechneten Energie- und Wasserkosten in Höhe von 52.500,- Euro gegenüber. Daraus ergibt sich, dass die Investition in Zählereinrichtungen und gleichzeitiger verbrauchsabhängiger Abrechnung innerhalb kürzester Zeit refinanziert wäre (Maßnahme 2.4.I).

2.4.7 Verbrauchsabhängige Abrechnung der Stromkosten mit dem Parkhaus

Als Ergänzung zu den vorgenannten Abschnitten sollte auch mit dem Parkhauseigner eine verbrauchsabhängige Abrechnung der Stromkosten erfolgen, da hierfür entsprechende Stromzähler vorhanden sind.

Auf Grundlage dieser Messungen ergibt sich für das „Parkhaus“ ein Strombedarf von jährlich 375.930 kWh. Daraus errechnen sich jährliche Stromkosten in Höhe von **26.760,- Euro/a**, die dem Bereich Parkhaus in Rechnung gestellt werden sollte (**Maßnahme 2.4.II**).



3. Stammdaten zur Liegenschaft

3.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Die Alte Oper wurde Mitte des 19. Jahrhunderts erbaut und am 20. Oktober 1880 eingeweiht. Bei einem Luftangriff im März 1944 brannte das Opernhaus bis auf die Umfassungsmauern aus. Ende der 70-iger Jahre des letzten Jahrhunderts begannen die Wiederaufbauarbeiten.

Das Konzept sah vor, dass die Alte Oper Frankfurt nicht mehr als reines Opernhaus, sondern als modernes Konzert- und Kongresszentrum genutzt werden sollte. Die Einweihung erfolgt im August 1981. Träger der jetzigen Alten Oper Frankfurt ist die „Alte Oper Konzert und Kongresszentrum GmbH“.

Die Räumlichkeiten gliedern sich wie folgt:

- **Großer Saal** mit 2.500 Plätzen für Konzerte, Kongresse, Versammlungen und andere Veranstaltungen
- **Mozart Saal** mit 700 Plätzen, u.a. für Kammermusik, Solistenkonzerte, Vorträge, Lesungen
- **Hindemith Saal** mit 350 Plätzen, u.a. für Solistenkonzerte, Vorträge, Lesungen, Arbeitsgruppensitzungen
- **Altes Foyer** und **Neues Foyer** für Restaurant „Opera“
- **Konferenzräume** Mendelssohn Salon, Telemann Salon, Humperdinck Salon, Schumann Salon, Liszt Salon, Pfitzner Salon
- **Stimm- und Umkleideräume** für Schauspieler, **Garderoben** für Besucher
- **Büroräume** für Verwaltung und Marketing
- **Treppenhäuser, Gänge, Flure**
- **Technikräume** für Klima-, Kälte-, und Heizungsanlagen und sonstige Technik

In der folgenden Tafel 3.1.1 sind die beheizten Flächen und die Raumvolumina für die einzelnen Bereiche zusammenstellt.

Tafel 3.1.1a Energiekonzept „Alte Oper“ - Beheizte Nutzflächen und Volumen des Bereichs Konzert & Kongress

Gebäude	Beheizte Fläche in m ²	Raumvolumen in m ³
Großer Saal	2.289	32.880
Mozart Saal	926	5.237
Hindemith Saal	316	1.696
Konferenzräume	462	1.555
Foyer (Kongressbereich)	1.939	8.293
Treppenhäuser, Aufgänge, Wandelgänge	3.618	11.240
Garderoben, Umkleideräume, Toiletten	763,5	1.909
Büroräume	339	827
Werkstätten	199	497
G E S A M T „Konzert & Kongress“	10.851,5	64.134



Tafel 3.1.1b Energiekonzept „Alte Oper“ - Beheizte Nutzflächen und Volumen der Gastronomie

Gebäude	Beheizte Fläche in m ²	Raumvolumen in m ³
Gastronomie		
- Restaurant Opera, Foyer und Küche, Büffets	657	3.472
- Gastronomiefäche im Merchandising-Bereich	60	171
- Toilettenanlage und Nebenraum im ehm. Opernkeller	87,5	219
- Bistro	98	590
- Küche E01 inkl. Sozial- und Umkleideräume	899	2.697
- Büroräume E01	48	118
G E S A M T „Gastronomie“	1849,5	7.267
G E S A M T Alte Oper	12.701	71.401

Die Alte Oper Frankfurt verfügt über eine beheizte Nutzfläche von rund 12.700 m². Der Anteil des verpachteten Gastronomiebereichs liegt bei 14,6 % bzw. 1.850 m².

Der Bereich „K&K“ der Alten Oper Frankfurt ist außer einer Sommerpause (im Jahr 2004 5 Wochen vom 12.07. bis 15.08.) gangjährig in Betrieb, während im Gastronomiebereich ohne Betriebsferien gearbeitet wird

Im Jahr 2004 fanden in der Alten Oper insgesamt 337 Veranstaltungen mit rund 448.500 Besuchern statt. Von den Veranstaltungen waren fast 93 % Musikveranstaltungen und rund 7 % Kongresse. Im Großen Saal wurden rund 260 Konzerte und Kongresse durchgeführt, im Mozart Saal waren es 68 Veranstaltungen.



3.2 Gebäude und Bauteile

Nach der Zerstörung im 2. Weltkrieg begann 1976 der Wiederaufbau. Das Gebäude besitzt eine historische Fassade aus Sandstein. Die Fenster sind teilweise Sonderanfertigungen und wurden mit Isolierverglasung ausgeführt. Die Dachflächen erhielten Wärmeisolierungen mit Dämmstärken zwischen 6 und 16 cm.

3.2.1 Gebäudekenndaten

Die Bestandspläne zur Berechnung der Hüllflächen bzw. die Baubeschreibungen zum Aufbau der Gebäudehüllflächen der einzelnen Bauteile, lagen nur unvollständig vor. Für die Ermittlung der Flächen/Volumen wurden den Konzeptersteller Gebäudegrundrisse und Schnitte zur Verfügung gestellt. Die Erfassung/Berechnung der übrigen Flächen und Baukonstruktionen musste durch Inaugenscheinnahme vor Ort und in Gesprächen mit dem Auftraggeber/Nutzer erfolgen.

Gebäudeflächen und -volumen

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

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

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

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

Außenwand und Dach: Flächen gegen Außenluft oder hinterlüftete Konstruktionen.

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

Außenwand gegen Erdreich: Wandflächen beheizter Räume gegen Erdreich

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

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

Tafel 3.2.1a Energiekonzept „Alte Oper“ - Gebäudekenndaten

Gebäude		Alte Oper Frankfurt
Reale Energiebezugsfläche	in m ²	12.701,0
Beheiztes Gebäudevolumen	in m ³	71.401,0
Summe wärmeübertragende Umfassungsfläche	in m ²	17.522,9
A/V-Verhältnis		0,25

**Tafel 3.2.1b Energiekonzept „Alte Oper“ - Gebäudekenndaten**

Gebäude		Alte Oper Frankfurt
Außenwandfläche	in m ²	7.423,3
Dachfläche	in m ²	4.395,0
Grundfläche	in m ²	3.886,0
Außenwand gegen Erdreich	in m ²	806,4
Fenster-/Fenstertürenflächen		
- Ost	in m ²	297,3
- West	in m ²	272,5
- Nord	in m ²	131,0
- Süd	in m ²	311,5

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

Wärmedurchgangskoeffizienten

Die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten (u-Werte) der Gebäudehüllflächen wurde, unter Zugrundelegung der Baubeschreibungen (soweit vorhanden), gemäß den Richtlinien der DIN-EN ISO 6946 (11/96) und DIN EN ISO 10077-1 (11/2000) durchgeführt. Konnte die Zusammensetzung der Bauteile nicht genau ermittelt werden, so wurde auf die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz, die während des Baus in Kraft war (Wärmschutzverordnung 1977), zurückgegriffen. Im Anhang 3.2.1 sind die u-Werte der jeweiligen Gebäudebauteile und dem entsprechenden Flächenanteil zusammengefasst.

3.2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs sowie des Heizwärmebedarfs

Ermittlung des Wärmebedarfs

Unter Zugrundelegen der ermittelten Gebäudehüllflächen bzw. -volumina und den entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizienten (u-Werte) wird für die einzelnen Bauteile bzw. Gebäude überschlagsmäßig der Gesamtwärmebedarf nach der A/V-Methode⁷ ermittelt. Gemäß dieser Methode wird der maximale Wärmebedarf wie folgt berechnet:

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

⁷ Vgl. Recknagel/Sprenger/Schrameck: Taschenbuch Heizung/Klimatechnik 03/04, Oldenbourg-Verlag, München



Bei den Berechnungen wurde für die Alte Oper die nachfolgenden Grunddaten angesetzt:

Durchschnittliche Gebäude-Innentemperatur: 20 °C
 Außentemperatur, Luft + Dachraum: - 12 °C
 Mindestluftwechsel: 0,5 h⁻¹ (bei mechanisch belüfteten Flächen: 0,2 h⁻¹)

Tafel 3.2.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Normwärmebedarf

Transmissionswärmebedarf (Q_T)	in kW	456,4
Raumvolumen, freie Lüftung (V _{Rfr})	in m ³	2.142
Raumvolumen, mech. Lüftung (V _{Rmech})	in m ³	69.259
Lüftungswärmebedarf (Q_L)	in kW	159,9
Normwärmebedarf (Q_N)	in kW	616,2
Nutzfläche (A)	in m ²	12.701
Spez. Wärmebedarf	in W/m²	49

Für die Alte Oper Frankfurt errechnet sich ein Gebäudewärme-Leistungsbedarf von rund **616 kW**. Der spezifische Wärmebedarf liegt bei 49 W/m². Das Berechnungsdatenblatt befindet sich in Anhang 3.2.1.

Aufgrund der Tatsache, dass die innenliegenden Räume der Alten Oper Frankfurt mechanisch belüftet werden müssen, ergibt sich ein zusätzlicher Wärmebedarf für die Lüftungsanlagen, der wie folgt berechnet werden kann:

$$\begin{aligned}
 Q_{RLT} &= \text{Wärmebedarf für RLT-Anlagen in Watt} \\
 &= V_L * 0,33 * (T_{ZU} - T_{AU}) - V_L * 0,33 * f_{WRG} * (T_{AB} - T_{AU}) \text{ in W} \\
 V_L &= \text{Luftvolumenstrom m}^3/\text{h} \text{ (ermittelt nach Vorgaben der DIN 1988)} \\
 0,33 &= \text{Spez. Wärmekapazität von Luft in Wh/m}^3\text{K} \\
 f_{WRG} &= \text{Faktor der Wärmerückgewinnung (da nur 59,4 \% der Zuluft=207.650 m}^3/\text{h durch} \\
 &\quad \text{eine WRG erwärmt werden (vgl. Abschnitt 3.4), folgt daraus: } 0,60 * 0,594 = 0,356) \\
 T_{ZU} &= \text{Zulufttemperatur in } ^\circ\text{C} \\
 T_{AU} &= \text{Außentemperatur in } ^\circ\text{C} \\
 T_{AB} &= \text{Ablufttemperatur } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Tafel 3.2.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Wärmebedarf für Lüftungsanlagen

Luftvolumenstrom (V _L)	in m ³ /h	349.440
WRG-Faktor (f _{WRG})		0,36
Zulufttemperatur (T _{ZU})	in °C	24
Außentemperatur (T _{AU})	in °C	-12
Ablufttemperatur (T _{AB})	in °C	19
RLT-Wärmebedarf (Q_{RLT})	in kW	2.899,8

Entsprechend der „AMEV - Richtlinie für die Planung und Ausführung von Heiz- und Wasserer-



wärmungsanlagen in öffentlichen Gebäuden“ wird für die Bestimmung des notwendigen Wärmebedarfs der RLT-Anlagen ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,6 vorgegeben.

Für die Heizwärmeversorgung der Alten Oper errechnet sich somit ein Gesamtwärmebedarf von **2.356,2 kW** (= 616,3 kW + 0,6 * 2.899,8 kW).

Die beiden vorhandenen redundant ausgelegten Ferndampfumformer verfügen über eine Übertragungsleistung von jeweils 3.214 kW. Berücksichtigt man Heizwärmeverteilungsverluste im Gebäude in Höhe von 5 % so ergibt sich, dass die Wärmetauscher um rund 30 % überdimensioniert sind (vgl. Maßnahme 3.3.1).

Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Als Instrument zur planerischen Bearbeitung eines verbesserten Wärmeschutzes steht der Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (1996) des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit zur Verfügung. Diese Leitfaden basiert auf der bewährten Norm des schweizerischen Ingenieur und Architekten Vereins (SIA 380/1 - Energie im Hochbau“). Für öffentliche Bauvorhaben in Hessen war das Verfahren als Wärmeschutznachweis nach geltender Wärmeschutzverordnung im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren zugelassen.

Ein Gebäude lässt sich als ein dynamisches System beschreiben, das durch unterschiedliche Wärmeströme definiert ist. Dies sind einerseits die Wärmeverluste durch die Außenfläche des Gebäudes (Transmission) und durch den Austausch von Innen- gegen Außenluft (Lüftung), andererseits die Wärmegewinne durch die solare Einstrahlung und durch die Wärmeabgabe von Personen und Geräten. Hinzu kommt der Wärmestrom, der dem Gebäude über die Heizanlage zugeführt wird, um die Innentemperatur auf dem gewünschten Niveau zu halten. Dieser wird als **Nutzheizenergiebedarf** bezeichnet.

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

Für die Alte Oper Frankfurt wurde, entsprechend dem beschriebenen Berechnungsgang des Leitfadens „Energiebewusste Gebäudeplanung“, der Heizenergiebedarf ermittelt. Die Berechnungen und die Ergebnisse sind im Anhang 3.2.2 dargestellt. Nachfolgend sind die relevanten Daten der Alten Oper zusammengefasst und erläutert.

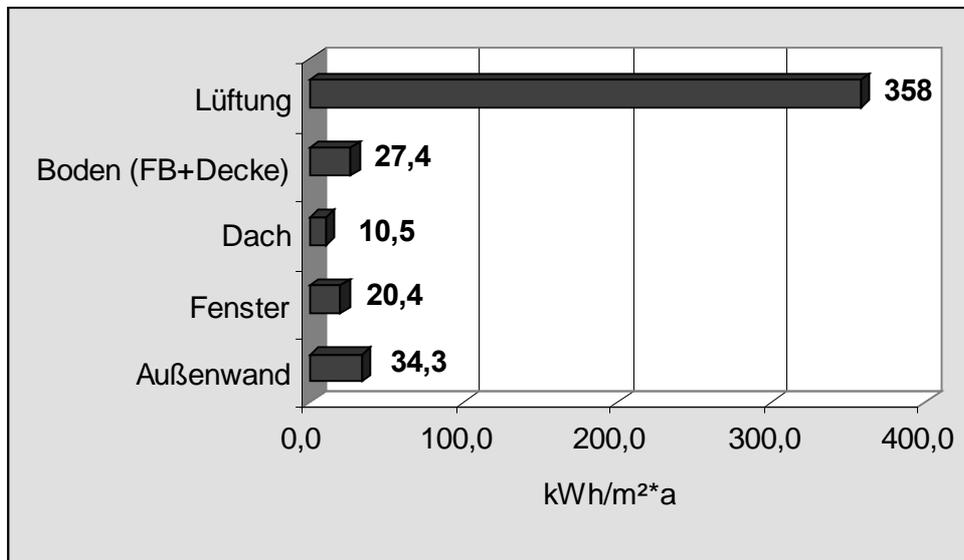
Transmissions- und Lüftungswärmeverluste

Der Transmissionswärmebedarf wird berechnet aus den Wärmeverlusten von Wand, Dach, Fenster und Boden an die Außenluft, an das Erdreich bzw. an unbeheizte Räume. Die Lüftungswärmeverluste berechnen sich aus dem Außenluftwechsel, dem beheizten Gebäudevolumen sowie der Außen- und Raumlufttemperatur.



Im folgenden Bild 3.2.1 sind die spezifischen Transmissions- und Lüftungswärmeverluste pro Quadratmeter Energiebezugsfläche der Alten Oper aufgeführt.

Bild 3.2.1 Energiekonzept „Alte Oper“ – Verteilung der spezifischen Wärmeverluste



Die nach dem hessischen Leitfaden berechneten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste betragen für die Alte Oper rund 5.685 MWh/a, woran die Lüftungswärmeverluste einen Anteil von rund 80 % haben. Bei den Transmissionswärmeverlusten liegt der höchste Anteil bei den Außenwandflächen (37 %). Die Wärmeverluste gegen Boden (Kellerdecke und erdreichberührende Bauteile) liegen bei rund 30 %. Die Fenster und Fenstertüren haben einen Anteil von 22 % an den Wärmeverlusten während die Dachflächen nur einen Anteil von ca. 11 % haben.

Wärmegewinne

Bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs werden folgende Wärmegewinne berücksichtigt:

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

Freie Wärme aus Elektroanlagen: Wird aus dem für Raumheizung verwertbaren Teil des Elektrizitätsverbrauchs für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen der während der Heizperiode innerhalb des beheizten Gebäudevolumens abgegeben wird, bestimmt. Hierbei ist von entscheidender Bedeutung, dass der Elektrizitätsbedarf der zentralen Zu- und Abluftanlagen (ca. 1.756,2 MWh/a) für die Zuluftventilatoren komplett und für die Abluftventilatoren teilweise als Wärmegewinn (als Abwärme der Ventilatoren) während der Heizzeit genutzt werden können.

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

Wärmebedarf für Brauchwassererwärmung: Wirkt als negative innere Wärmequelle, da Kaltwasser auf Raumtemperatur aufgeheizt werden muss.



Für die Alte Oper errechnen sich jährliche Wärmegewinne in Höhe von rund 2.793,6 MWh. Die Solargewinne haben daran einen Anteil von 4 % und die Inneren Wärmegewinne von 96 %.

HEIZWÄRMEBEDARF

Der Heizwärmebedarf ergibt sich aus dem Nutzenergiebedarf für Transmission und Lüftung abzüglich der Wärmegewinne und ist in Tafel 3.2.4 zusammengestellt.

Tafel 3.2.4 Energiekonzept „Alte Oper“ – Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs und des Energiekennwertes Heizung

Transmissions- / Lüftungswärmeverluste	Q_V	5.685,5	MWh/a
Nutzbare Wärmegewinne	Q_G	2.793,6	MWh/a
Heizwärmebedarf	$Q_H=Q_V-Q_G$	2.891,9	MWh/a
Energiekennwert Heizwärme	Q_H/EBF	227,7	(kWh/m ² a)
Grenzwert		85	(kWh/m ² a)
Grenzwertüberschreitung		168	(%)
Grenzwert erfüllt		Nein	

Die Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs nach dem Hessischen Nachweisverfahren zeigt eine Grenzwertüberschreitung von 168 % gegenüber einem Gebäude, das nach energetischen Optimierungsgesichtspunkten errichtet wurde. Die genannte Grenzwertüberschreitung zeigt ein relevantes Einsparungspotential, welches durch den Hauptverbrauchsbereich der Lüftung realisiert werden könnte.

3.2.3 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Sanierungsmaßnahmen

Der derzeitige Wärmeschutz und der Heizenergiebedarf der Alten Oper Frankfurt kann wie folgt bewertet werden:

- Der nach dem Hüllflächenverfahren rechnerisch ermittelte Jahresheizwärmebedarf aller drei Gebäude beträgt **2.891,9 MWh** für die Raumbeheizung. Der Gesamtwärmebedarf liegt bei rund **2.356 kW**.
- Für die Außenwände der Alten Oper sind in den nächsten Jahren stellenweise Sanierungen der vorgesetzten Sandsteinfassade (Austausch einzelner Steine) geplant. Da diese Erneuerungen nicht durchgängig erfolgen ist das Anbringen einer Wärmedämmung hinter dem Sandstein nicht möglich.
- Der geforderte Grenzwert des spezifischen Heizenergiebedarfs nach Hessischem Leitfaden für neu zu errichtende Gebäude (Theater) von 85 kWh/m²*a wird bei weitem nicht erreicht, sondern mit **228 kWh/m²*a** um **168 %** überschritten. Aus den ermittelten Werten kann somit ein relevantes Einsparungspotential abgeleitet werden, das vornehmlich durch die Reduzierung der



Lüftungswärmeverluste realisiert werden könnte.

Die Transmissionswärmeverluste können nicht relevant bzw. wirtschaftlich vermindert werden, da die Außenfassade nicht verändert werden kann, das Dach bereits gedämmt und die Kosten für den Austausch der Verglasung zu hoch sind (überwiegend Sonderanfertigungen).

- Aufgrund von Witterungseinflüssen haben sich teilweise die großen Holztüren (Personal- und Behinderteneingang Westseite, Terrasse Opera) verzogen. Es kommt zu erheblichen Undichtigkeiten, die mit einem erhöhten Lüftungswärmebedarf verbunden sind (**vgl. Maßnahme 3.2.I**).

Maßnahme 3.2.I Erneuerung der Dichtungen zwischen Holztüren und Rahmen

Durch die Erneuerung der Dichtungen zwischen den Holztüren und Rahmen der Personal- und Behinderteneingänge auf der Westseite sowie zur „Opera“-Terrasse können die Lüftungswärmeverluste reduziert werden. Hierzu müssen die alten Dichtungen entfernt werden und durch neue ersetzt werden.



3.3 Stammdaten der Wärmeversorgungsanlagen

Die Wärmeversorgung der statischen Heizungen, der Brauchwasserbereitung sowie der Raumluft-Technischen-(RLT)Anlagen erfolgt über ein zentrales Warmwasser-Heiznetz. Die Versorgung erfolgt durch einen indirekten Anschluss mittels Gegenströmer-Wärmeüberträger an das Ferndampfnetz der Mainova AG.

3.3.1 Stammdaten der zentralen Wärmeübergabestation

Der Anschluss an das Ferndampfnetz der Mainova AG erfolgt in der Heizzentrale Ebene 01, über zwei redundant ausgelegte Dampfumformer im Gegenstromprinzip. Die Regelung der Leistung sowie der Erfassung der abgenommenen Wärmemenge erfolgt auf der Kondensatseite.

Die Anschlussleistung jedes Umformers beträgt **3.214 kW**. Das Ferndampfsystem wird mit einer Dampftemperatur von 150°C und einem Dampfdruck von 2,3-2,5 bar betrieben. Die Kondensat-Rücklauf Temperatur war ursprünglich auf maximal 60°C begrenzt. Beim Überschreiten von 60°C Kondensattemperatur erfolgte eine Leistungsanpassung der Umformer durch Schließen von Drosselventilen im Kondensatrücklauf. Da dies keine vertraglich bindende Vorgabe war, wurde diese Regelung außer Betrieb genommen.

Die Umformer werden auf der Heißwasserseite außentemperaturabhängig gleitend mit einer Heizwasser-Vorlauf Temperatur zwischen 80°C (Winter) und 65 °C (Sommer) geregelt.

Bei der Mainova ist derzeit eine Ferndampfbezugsleistung von 3.306 kW angemeldet, woraus sich eine angemeldete Mehrleistung zur tatsächlichen Umformerleistung von 92 kW (= 2,9 %) ergibt. Hier sollte eine Korrektur der max. installierten Umformerleistung als Abrechnungsgröße mit der Mainova angestrebt werden. Eine genaue Ermittlung der tatsächlichen maximalen Fernwärmebezugsleistung kann durch eine automatische Erfassung der Kondensatzählerstände durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt (Abteilung Energiemanagement) erfolgen. (**vgl. Maßnahme 3.3.1**).

3.3.2 Stammdaten des Warmwasserheiznetzes

Die Anlage ist als Pumpen-Warmwasserheizsystem mit einer maximalen Vorlauf Temperatur von 80°C und einer Rücklauf Temperatur von 55°C konzipiert. Über den Hauptverteiler (HZ05) in der Heizzentrale E01 werden die beiden Unterverteilungen „HZ06 – Konzert und Kongress“ sowie „HZ16 Gastronomie“ versorgt. Die Verteilergruppen und die Versorgungsstränge mit den entsprechenden Heizleistungen sind in Tafel 3.3.1 aufgelistet. Ein entsprechendes Heizungsanlagen-übersichtsschema befindet sich im Anhang 3.3.1.

Beide Verteiler sowie der Abgang „Cafe Rosso Konvektor“ verfügen über Wärmemengenzähler, die jedoch defekt sind oder nicht regelmäßig abgelesen werden.

Die Regelung der statischen Heizkreise (HZ08 – HZ11 und HZ18) erfolgt witterungsgeführt in Abhängigkeit von der Außentemperatur, wobei bei einer Außentemperatur von –12°C eine maximale



Heizwasser-Vorlauftemperatur von 80°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C vorgegeben ist. In den Nachtstunden (außerhalb der Betriebszeiten) erfolgt eine Absenkung der Heizwassertemperaturen. In den Sommermonaten wird, zwischen Mitte Mai und Ende September, die Wärmeversorgung für die statischen Heizkreise abgeschaltet.

Die Regelung erfolgt durch pneumatische Drosselventile in den jeweiligen Heizwasserrücklaufleitungen (Rücklaufbeimischung).

In der Heizzentrale befindet sich noch ein Heizwasser-Pufferspeicher mit 100 m³ Inhalt, der jedoch nur in den ersten Jahren des Betriebs genutzt wurde, um Versorgungsausfälle des Fernwärmenetzes abfangen zu können. Seit mehreren Jahren wird der Speicher nicht mehr genutzt und wurde abgeschiebert sowie entleert.

Tafel 3.3.1 Energiekonzept „Alte Oper“ – Stammdaten der vorhandenen Heizkreise mit installierten Umwälzpumpen sowie der WRG-Pumpen

Standort/ Heizkreisbezeichnung	Hersteller/Typ	Heiz- Leistungs- Bedarf in kW	Volumen- Strom in m ³ /h	Förder- Höhe In mWS	Elektr. Leistungs- Aufnahme in kW	Regelung
Primärverteilung						
Kondensatpumpe 2 St.					0,92	
Primärpumpe 3 St.	WILO IP 80/224		55,0	13	4,0/1,1	2 Stufen
Verteiler HZ06 - Konzert und Kongress						
Statische Heizung Nord	WILO TS 40/80	90	2,5	3,7	0,17	-
Stat. Hzg. Süd + Foyer	WILO TS 40/80	69	2,1	3,8	0,17	-
Stat. Hzg. Flur, Treppen Ost	WILO TS 40/80	76	2,4	3,8	0,17	-
Stat. Hzg. Flur, Treppen West	WILO TS 30/70	70	2,2	4,0	0,12	-
Klima E02 HZ12	Wilo DP 100/200	2.345	68,0	8,5	4,0	-
Klima E06 HZ13	Wilo DP 50/200	680	19,4	9,0	1,5	-
FB-Hzg-Cafeteria	WILO TS 30/70	6,2	1,1	3,2	0,07	-
Café Rosso Konvektor	WILO Star E25 1/3	6,0	1,1	2,2	0,062	dp-stufenlos
WW-Bereitung	WILO TS 50/90	146	6,2	4,9	0,37	-
Verteiler HZ16 – Gastronomie						
Klima Gastronomie HZ19	WILO TS 50/90	271	9,0	4,3	0,37	-
Stat. Heizung	WILO TS 30/70	15	0,5	3,3	0,12	-
WW-Bereitung	WILO TS 50/90	146	6,2	4,9	0,37	-
WRG-System						
Außenluftaufbereitung	2 St. WILO IP 125/315		100,0	24,6	15,0	-

Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, verfügen, außer dem Heizkreis „Cafe Rosso Konvektor“, sämtliche aufgeführten Heizkreise über jeweils zwei redundant ausgelegte Pumpen. Die Umschaltung erfolgt von Hand je nach Bedarf.



3.3.3 Stammdaten der elektrischen Fußbodenheizung

In der Alten Oper Frankfurt sind zwei elektrische Fußbodenheizsysteme installiert, wobei ein System für die Personal-Cafeteria (installierte Heizleistung 53 kW) abgeschaltet wurde. Das zweite System (HZ15) versorgt die in Tafel 3.3.2 aufgeführten Bereiche.

Tafel 3.3.2 Energiekonzept „Alte Oper“ – Stammdaten der elektrischen Fußbodenheizung (HZ15)

Bereich	Betrieb
Bistro	Nov-März 24 h Bereitschaft, 2 h ein / 2 h aus
Kartenvorverkauf	Nov-März 24 h Bereitschaft, 2 h ein / 2 h aus
Windfang	Ausgeschaltet
Foyer	Ausgeschaltet
Behindertenrampe	Betrieb bei 2-3°C Außentemp. und entsprechender Feuchte
Wendeltreppe / Parkhaus	Betrieb bei 2-3°C Außentemp. und entsprechender Feuchte

Der Stromverbrauch dieser elektrischen Fußbodenheizungen wird durch einen internen Stromzähler in der NSVH erfasst und monatlich abgelesen (vgl. Abschnitt 2.1.2).

3.3.4 Stammdaten der Trink-Warmwasserversorgung

In der Alten Oper Frankfurt sind zwei verschiedene Trink-Warmwassersysteme für unterschiedliche Nutzungsbereiche (Konzert & Kongress sowie Gastronomie) installiert. In der Sanitärzentrale E02 sind zwei stehende WW-Speicher aufgestellt, die sowohl mit Dampf-Kondensat (Grundbeheizung im unteren Bereich) als auch mit Heizwasser (Zusatz/Spitzenlast) beheizt werden.

Die Verteilung des Brauchwassers erfolgt über Zirkulationsleitungen mit entsprechenden Zirkulationspumpen. Eine Unterbrechung der Trink-Warmwasserzirkulation außerhalb der Betriebszeiten erfolgt, aufgrund der langen Leitungswege und den damit verbundenen hohen Wasserverlusten (Weglaufen von kaltem Wasser), nicht.

Die technischen Daten der einzelnen Trinkwarmwassersysteme sind in Tafel 3.3.3 aufgeführt.

Tafel 3.3.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Trinkwarmwassersysteme

Bereich	Konzert & Kongress (HZ07)	Gastronomie (HZ 17)
Hersteller	Wolf KG Behälterbau	Wolf KG Behälterbau
Leistung	146 kW	146 kW
Baujahr	1980	1980
Speicherinhalt	5.000 l	4.000 l
Speichertemperatur	60°C	60°C
Zirkulationspumpe	Grundfos UP 40/50 FB	Grundfos UP 40/50 FB
Pumpenleistung	160 W	160 W

Beide Speicher verfügen auf der Kondensatseite über Wärmemengenzähler (Spanner Pollux N 100), die jedoch defekt bzw. nicht mehr in Betrieb sind.



3.3.5 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Hinsichtlich seines Zustandes und seiner Konzeption ist das Warmwasserheizsystem in der Alten Oper Frankfurt wie folgt zu bewerten:

- Bei der Mainova ist derzeit eine Ferndampfbezugsleistung von 3.306 kW angemeldet. Die rechnerisch ermittelte Spitzenlast liegt bei 2.356 kW (vgl. Abschnitt 3.2.2.). Daraus ergibt sich eine angemeldete Mehrleistung zur tatsächlichen Umformerleistung von 950 kW (= 28 %). Es ist eine Korrektur der max. installierten Umformerleistung als Abrechnungsgröße mit der Mainova anzustreben (**vgl. Maßnahme 3.3.I**).
- Vorrangig aus hygienischen Gründen sollte die Größe der WW-Speicher überprüft werden, denn zu geringe Entnahmemengen im Vergleich zur Speichergröße führen zu langen Standzeiten des Warmwassers im Speicher. Daraus ergibt sich eine erhöhte Legionellen-gefahr.
- Von den installierten Umwälzpumpen wird derzeit nur die neu installierte Pumpe für den Bereich „Cafo Rosso-Konvektor“ mit einer elektronischen Drehzahlregelung betrieben. Alle ungeregelten Primär- und Sekundärpumpen für die statischen Heizkreise könnten durch drehzahlgeregelte Pumpen ersetzt werden, da diese einen überhöhten Stromverbrauch verursachen. Im Rahmen einer Modernisierung bzw. Austausches müssen gemäß EnEV selbsttätig in mindestens 3 Stufen regelbare elektronische Pumpen eingebaut werden (**s. Maßnahme 3.3.II**).
- Die beiden redundant ausgelegten Umwälzpumpen des Kreislaufverbundsystems zur Wärmerückgewinnung werden derzeit wechselseitig ungeregelt betrieben. Aufgrund der hohen elektrischen Anschlussleistung und der langen Betriebszeit ergibt sich ein relevantes Einsparpotential bei einem geregelten lastabhängigen Betrieb der Pumpen (**s. Maßnahme 3.3.III**).
- Für eine exakte Verbrauchserfassung und -abrechnung sollte der Wärmeverbrauch des verpachteten Restaurantbereichs (statische Heizkreise sowie die Lüftungsanlagen) mittels Wärmemengenzähler erfasst werden. Eine Aufschaltung der Messeinrichtungen auf eine erneuerte GLT ist vorzusehen (**s. Maßnahme 2.4.I und Maßnahme 3.6.VII**).

Maßnahme 3.3.I Änderung der angemeldeten Ferndampfbezugsleistung

Bei der Mainova ist die tatsächlich installierte Umformerleistung als max. Bezugs- und Abrechnungsleistung anzuzeigen. Der rechnerische Bedarf liegt um 950 kW niedriger als der angemeldete Bedarf von 3.306 kW. Dies würde zu einer jährlichen Netto-Kosteneinsparung von 9.745,- € führen.

Eine genaue Ermittlung der tatsächlichen maximalen Fernwärmebezugsleistung kann durch eine automatische Erfassung der Kondensatzählerstände durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt (Abteilung Energiemanagement) erfolgen. Entsprechende Gespräche wurden bereits mit der Mainova geführt. Die Kosten für den Einbau eines Kondensatzählers mit Impulsausgang liegen bei ca. 3.000,- €.



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

Die Heizungsumwälzpumpen haben zum Teil mit einer Nutzungsdauer von über 20 Jahren das Ende der technischen Nutzungszeit von 12 Jahren erreicht bzw. überschritten. Aus Gründen der Bauerhaltung steht in absehbarer Zeit eine Sanierung an. Entsprechend der EnEV werden insgesamt sechs Umwälzpumpen für die statische Heizung und drei Primärpumpen für die Lufteerhitzer durch elektronische drehzahlgeregelte Umwälzpumpen ersetzt. Weiterhin werden für die drei Heizungsprimärpumpen neue an den tatsächlichen Bedarf angepasste Pumpen installiert.

Maßnahme 3.3.III Optimierung der WRG-Umwälzpumpen des Kreislaufverbundsystems

Aus energetischen Gründen und zur Bauerhaltung sollten im Kreislaufverbundsystem zur Wärmerückgewinnung eine neue Pumpe mit verminderter elektrischer Leistung sowie einer Differenztemperaturregelung (Pumpenregelung oder durch die DDC) vorgesehen werden.



3.4 Stammdaten der Klima- und Lüftungsanlagen

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

Die Heizwärmeversorgung der RLT-Anlagen erfolgt über das zentrale Warmwasser-Heizsystem. Gemäß der Definition der DIN 1946 können RLT-Anlagen in Bezug auf ihre thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen in Gruppen eingeteilt werden.

Thermodynamische Luftbehandlungsfunktionen sind:

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

Nach der DIN 1946 sind:

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

3.4.1 Zentrale Außenluftaufbereitung (KL01)

Die zentrale Außenluftansaugung und –aufbereitung für die Alte Oper erfolgt durch die Anlage KL01 in der Zentrale Ebene E02 durch Außen- und Fortventilatoren sowie einer zentralen rekupe-rativen Wärmerückgewinn (WRG) mittels Kreislaufverbundsystem.

Die Außenluft (264.000 m³/h) wird durch drei, in der Außenluftsammlerkammer installierte, Axial-Schubventilatoren aus einer Höhe von 28,90 m angesaugt. Über Druckfühler können diese an die jeweiligen Betriebsbedingungen (Anzahl der eingeschalteten Anlagen) durch Laufradverstellung stufenlos angepasst werden.

Die Fortluft (203.000 m³/h) wird mittels zweier Axial-Schubventilatoren in der Fortluftsammlerkammer über einen Betonluftkanal auf der Westseite ins Freie geblasen. Die Fortluft für die Bereiche Küche, Restaurant, Olymp und ein Teilstrom des Großen Saals wird wegen Geruchsbelästigung und baulicher Gegebenheiten direkt in der Ebene 6 ins Freie geleitet.

Im Außenluftstrom sind vier Wärmerückgewinnungsregister und in der Fortluftsammlerkammer acht Register mit jeweils insgesamt 960 kW Übertragungsleistung von Luft an Wasser eingebaut. Die Tauscher werden durch ein Rohrnetz mit zwei Umwälzpumpe und Regelung verbunden.

Je nach Witterungslage wird die Außenluft vorerwärmt oder vorgekühlt. Bei einer Außenlufttemperatur von mehr als 27°C wird diese vorgekühlt und bei einer Außenlufttemperatur von weniger als +5 °C erwärmt. Als Wärme-/Kälteträger dient ein Glykol/Wasser-Gemisch. Der Wirkungsgrad liegt bei 50-55% (die Außenluft wird bei 0°C auf ca. 7-8°C erwärmt).



Auslegungsdaten des WRG-Systems:

- Außenlufterwärmung: Luft $-12^{\circ}\text{C}/0^{\circ}\text{C}$ Sole: $+0,3^{\circ}\text{C}/-10^{\circ}\text{C}$
- Außenluftkühlung: Luft $+24^{\circ}\text{C}/+11^{\circ}\text{C}$ Sole: $+10^{\circ}\text{C}/+0,3^{\circ}\text{C}$

3.4.2 Klima- und Lüftungsanlagen

In der Alten Oper Frankfurt werden derzeit 54 Klima-, Teilklima- und Lüftungsanlagen betrieben, die vornehmlich in den Lüftungszentralen der Ebene 02 und der Ebene 6 installiert sind. In der folgenden Tafel 3.4.1 sind die Anlagen mit Bezeichnungen der jeweiligen Lüftungsgeräte sowie Standort und Versorgungsbereich, gegliedert nach Luftbehandlungsfunktion, zusammengestellt. Weiterhin ist für jede RLT-Anlage das jeweilige Anlagensystem (ZU = Zuluft / AB = Abluft / UL = Umluftbeimischung) sowie der Betrieb über die zentrale WRG aufgeführt.

Tafel 3.4.1a Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Klima- / Lüftungsanlagen

Anlage Nr.	ZLT-Nr.	Bezeichnung	Standort Ebene	Versorgungsbereich	Anlagen-System		WRG m ³ /h
Klimaanlagen							
6.1	KL02	Großer Saal	E02 Mitte	Großer Saal, Regie, Dolmetscher-Bühnenräume	ZU / UL	X	103.750
6.3/6.5 6.4	KL02	Großer Saal	E02 Mitte E06 Nord	Abluft Großer Saal, Regie-Dolmetscher-, Bühnenräume	AB / UL	X	63.300
15.1/15.3	KL03	Mozart Saal	E02 Mitte	Mozart Saal, Regie, Dolmetscherkabi-	ZU/ AB /	X	33.550
7.1/7.2	KL04	Hindemith Saal (Saal A)	E02 Süd	Hindemith Saal	ZU / AB	X	16.500
7.3 7.5	KL05	Olymp (Saal B)	E02 Mitte E6 Süd	Olymp, Regie- und Dolmetscherkabi-	ZU AB	X	16.000
15.4 15.5	KL10	Chorproben/Solistenräume	E02 NW E02 Mitte	Chorproben/Solistenräume	ZU AB	X	5.600
Teil-Klimaanlagen							
8.1/8.4	KL06	Foyer Großer Saal	E02 Süd	Neues Foyer, Restaurant / Küche Ope-	ZU / AB	X	13.400
9.1/9.2	KL07	Garderobe E02	E02 Süd	Garderoben-Foyer, Bank, Telex	ZU / AB	X	13.750
14.1/14.2	KL08	Eingangshalle E1	E02 Mitte	Vestibül, Eingang E1	ZU / AB	X	9.000
4.5 4.8	KL11	Konferenzraum	E02 Mit.-O E02 Süd	Konferenzraum	ZU AB	X	5.500
4.9	KL12	Personalcafeteria	E02 Mitte	Personal – Cafeteria	ZU / AB	X	4.000
12.3/12.4	KL29	Nordvorbau E02+E01	E02	Nordvorbau E02+E01	ZU/ AB /		
4.1 4.2	KL37	Restaurant E01	E02 Süd E6 Süd	Mozart-Foyer	ZU AB		
4.3 4.4	KL38	Küche	E02 Süd E6 Süd	Küche	ZU AB		
10.1/10.4	KL43	Mehrzweckräume Ost	E6 Ost	Mehrzweckräume Ost	ZU/ AB /		
10.5/10.6	KL44	Wandelgänge Ost	E6 Ost	Wandelgänge Ost	ZU/ AB /		
11.1/11.4	KL45	Mehrzweckräume Westseite	E6 West	Mehrzweckräume Westseite	ZU/ AB /		
11.5/11.6	KL46	Wandelgänge Westseite	E6 West	Wandelgänge Westseite	ZU/ AB /		
12.1/12.2	KL47	Verwaltung Nordflügel E1/E5	E6 Nord	Verwaltung Nordflügel E1/E5	ZU/ AB		
7.6/7.7	KL49	Foyer Saal A und B	E6 Süd	Foyer Hindemithsaal und Olymp	ZU/ AB /		
20.1/20.2	KL54	Lichtregie	E02	ELA+ Lichtregieanlagen	ZU/ AB /		



Tafel 3.4.1b Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Klima- und Lüftungsanlagen

Anlage Nr.	ZLT-Nr.	Bezeichnung	Standort Ebene	Versorgungsbereich	Anlagen-System		WRG m ³ /h
Lüftungsanlagen							
	KL01	Außenluftaufbereitung			ZU / AB		
14.3	KL09	Eingang Südflügel	E02 SO	Vorhalle	ZU		
19.1/19.2	KL13	Kassenräume E01	E02		ZU / AB		
9.6	KL14	Lager Flügel E2	E02	Lager Flügel / Harfe E2	ZU		
13.1/13.2	KL15	Stuhllager E02/E2	E02 Mi.-O	Stuhllager, Computer, Garderobenber.	ZU / AB	X	3.800
13.3/13.4	KL16	Werkstatträume E02	E02	Werkstatträume	ZU / AB		
3.3	KL17	Heizungszentrale	E02	Übergabestation Fernwärme E02	AB	X	22.000
3.11	KL18	Technikzentrale E02	E02	Technikzentrale E02	AB	X	6.000
3.11	KL19	Technikzentrale E02	E02		AB	X	3.000
4.13	KL20	Technikz.E02 – Toiletten E01	E02 Ost	Technikzentrale Ost und Toilette	AB	X	1.000
3.1	KL21	Aufzugsmasch.raum A5.1/A5.2	E02 Mitte	Aufzugsmaschinenraum	AB		
3.2	KL22	Aufzugsschacht A5.1 und 5.2	E02 Süd		AB	X	1.300
3.5.1	KL23	Aufzugsmasch.raum Baldachin	E02	Baldachinaufzugsmaschinenraum	AB		
3.5.2	KL24	Aufzugsmasch.raum	E02	Aufzugsmaschinenraum Tischlerwerk-	AB		
7.9	KL25	Abluft WC, Garderobe Saal	E02 Süd	WC, Garderobe Saal A+B			
9.3	KL26	WC- u. Duschräume E1 und	E02 Mi-O	WC-/Duschräume, Schreibraum E1/E2	ZU	X	5.900
9.5			E02 Mitte		AB		
14.4	KL27	Toiletten Eingangshalle E1	E02	Toiletten Eingangshalle E1	AB	X	800
15.6/15.7	KL28	WC- u. Duschräume E01	E02 Mitte	WC und Duschen Kernbereich E01	ZU / AB		
3.4	KL30	Sanitärzentrale	E02	Sanitärzentrale	ZU / AB		
3.6	KL31	Batterieraum	E02	Batterieraum	ZU / AB		
3.7	KL32	Niederspannungs-HV	E02	Niederspannungs-HV	ZU / AB		
3.8	KL33	Mittelspannungs-HV	E02	Mittelspannungs-HV	ZU / AB		
3.9	KL34	Aufzugsmasch.raum A6 u. A7		Aufzugsmasch.raum A6 und A7	AB		
3.12	KL35	Kältezentrale	E02	Kältezentrale	ZU / AB		
5.1	KL39	WC-, Flur-, Duschr. E01	E02 Nord	WC-, Flur-, Duschräume West/Ost E01	ZU		
5.3			E02 Mitte		AB		
5.4/5.5	KL40	Toiletten, Flure, Nebenr.	E02 S-W	Toiletten, Flure, Nebenräume E01/E02	ZU / AB		
5.6	KL41	Warenannahme	E01 SW	Warenannahme	ZU		
19.3	KL42	Müllraum/Fettabscheider	E02	Müllraum/Fettabscheider	ZU / AB		
5.1	KL48	WC-Nordflügel E1-E5	E6 Nord	WC-Nordflügel E1-E5	AB		
7.8	KL50	WC-Anlagen Foyer Saal A und	E6 Süd	WC-Anlagen Foyer Hindemithsaal und	AB		
10.1	KL51	Aufzugsmaschinenraum A3-A4	Dach E7		AB		
10.2	KL52	Aufzugsmaschinenraum A1-A2			k.A.		
20.3/20.4	KL55	Klimazentrale Nord			Zu / AB		
12.6/12.7	KL56	Klimazentrale Nord-West		Lt. Technik Tonstudie E5	ZU / AB		

Von den aufgeführten Lüftungsanlagen werden 207.650 m³/h über das zentrale Wärmerückgewinnungssystem der Alten Oper geführt.

In der Tafel 3.4.2 sind die wesentlichen technischen Daten der Klima- und Lüftungsanlagen in der Alten Oper Frankfurt zusammengestellt.

**Tafel 3.4.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Technische Daten der Klima- und Lüftungsanlagen**

Anlage / Versorgungsbereich	Luftmengen		Ventilator-Motorleistung		Ventilator Pressung ZU/AB in Pa	VE in kW	NE in kW	Kühler in kW
	Zuluft in m ³ /h	Abluft in m ³ /h	Zuluft in kW	Abluft in kW				
KL01 Außenluftaufbereitung	264.000	203.000	3 x 36	2 x 36	1.140	4 x 240		8 x 120
KL02 Großer Saal Nacherhitzer Zuluft Ränge	2x51.875		2 x 45		950	1.387	3 x 250 2 x 14,9	881
Abluft 6.3		47.100		30,0 ⁸	109			
Abluft 6.4		2x21.000		2 x 7,5	730			
Abluft 6.5		16.200		7,5	670			
KL03 Mozartsaal	33.550	33.550	5,5 / 16	4 / 13	580/630	422	124,5	272
KL04 Hindemith	16.500	14.800	7,5	4,0	610/40	201	64	141
KL05 Olymp	16.000	16.000	7,5	7,5	520/500	202	73	136
KL06 Foyer Großer Saal	13.400	13.400	3,0 / 4,5	2,0 / 6,0	600/760	131	19 + 8,1	86
KL07 Garderoben-Foyer E02	13.750	13.750	3,7/5,5/16	1,0/4,0	700/550	144	2 x 14,4	82,5
KL08 Eingangshalle E1	9.000	8.000	4,0	2,2	k.A.	101	-	58,3
KL09 Eingang Südflügel	2.400		1,1		520	33,5	-	-
KL10 Chorproben / Solisten	5.600	5.000	3,0	2,2	600/470	70	20,7	33,7
KL11 Konferenzraum	5.500	5.100	3,0	1,5	660/530	36,4	7,6	25,8
KL12 Personalcafeteria	4.000	4.000	0,5 / 2,0	0,37 / 1,5	450/480	45	-	24,1
KL13 Kassenräume	1.250	1.050	0,37	0,25	270/180	15,7	-	8,0
KL14 Lager Flügel E2	Außer	Betrieb						-
KL15 Stuhllager E02/E2	3.800	3.800	2,2	2,2	570/560	35,7	-	-
KL16 Werkstatträume E02	2.400	2.400	0,26 / 1,1	0,30 / 0,45	190/160	28,5		
KL17 Heizungszentrale		22.000		2,8/6/12,8	200	-	-	-
KL18/KL19 Technikzentr.E02		3 x 3.000		3 x 0,22	100	-	-	-
KL20 Tech.zentr.E02 - WCE01		1.000		0,25	420	-	-	-
KL21 Aufzugm.-raum A5.1/A5.2		4.000		0,37 / 1,5	330	-	-	-
KL22 Aufzugschacht A5.1/ A5.2		1.300		0,37	430	-	-	-
KL23 Aufzugmaschr. Baldachin		1.000		0,37	410	-	-	-
KL24 Aufzugraum Tischlerwerk		1.200		0,37	250	-	-	-
KL25 WC+Garderobe Saal A+B		2.240		0,34 / 1,0	510	-	-	-
KL26 WC-/Duschräume E1+E2	5.900	6.950	3,0	0,5 / 2,0	550/450	62		4 x 2,33
KL27 Toiletten EingangshalleE1		800		0,18	370	-	-	-
KL28 WC- u. Duschräume E01	2.300	3.250	1,1	0,3 / 1,3	410/520	21,7	-	-
KL29 Nordvorbau E02+E01	2.620	2.400	2,2	1,1	340/330	32	-	15,7
KL30 Sanitärzentrale	2.000	2.000	0,35	0,22	220/70			-
KL31 Batterieraum	400	400	0,25	0,25	120/120			-

⁸ FU nachträglich installiert



Anlage / Versorgungsbereich	Luftmengen		Ventilator-Motorleistung		Ventilator Pressung ZU/AB in Pa	VE in kW	NE in kW	Kühler in kW
	Zuluft in m ³ /h	Abluft in m ³ /h	Zuluft in kW	Abluft in kW				
KL32 Niederspannungs-HV	1.200	1.200	0,55	0,22	210/50			-
KL33 Mittelspannungs-HV	1.000	1.000	0,55	0,22	250/114			-
KL34 Aufzugsm.-raum A6+A7		3.000		0,75	250	-	-	-
KL35 Kältezentrale	5.000	5.000	1,7	1,7	410/170	38,5		-
KL37 Restaurant E01 Lt Datenaufnahme Vor-Ort	8.500	8.000 12.500	(2,0) / 6,0	1,5 / 4,5 5,5	510/590	89		42
KL38 Küche	24.500	27.400	3/4,5/13	3/4,5/13	610/840	261/31		164
KL39 WC/Flur/Duschen E01	1.500	1.500	0,75	0,15 / 0,75	370/510	14,1		-
KL40 WC, Flure E01+E02	2.000	1.450	0,26 / 1,1	0,3 / 0,55	300/320	18,8		-
KL41 Warenannahme	850		0,25		210	7,8		5,1
KL42 Müllraum/Fettscheider	2.500	3.200	0,25/0,77	0,37 / 1,5	400/370	23,5		-
KL43 Mehrzweckräume Ostseite	10.100	9.550	2,0 / 6,0	1,0 / 3,3	490/480	91,2/106	4 St 20,4	65
KL44 Wandelgänge Ostseite	8.500	7.950	4,0	3,0	410/480	92,7/101		51,2
KL45 Mehrzweckräume West	8.500	7.700	1,5 / 4,5	0,8 / 2,5	460/400	85,4	4 St 17,2	54,5
KL46 Wandelgänge West	8.500	7.600	3,0	2,2	370/460	101		51,2
KL47 Verwalt. Nordflügel E1-E5	6.050/ 10.920	5.300/ 9.115	1,0/ 3,3	(1,0) / 3,3	400/360	118,9/ 143,0		74
KL 48 WC-Nordflügel E1-E5		1.800		0,18/0,75	370	-	-	-
KL49 Foyer Saal A und B	5.200	4.400	0,66/2,0	0,34/1,0	350/250	58		33,4
KL50 WC-Foyer Saal A +B		800		0,18 / 0,55	340	-	-	-
KL51 Aufzugsm.-raum A1-A4		2.500		0,06	75	-	-	-
KL54 Lichtregie	2.100	2.100	0,65/2,5	0,33/1,4	1250/1050	27	k.A. 2 St	18
KL55 Klimazentrale Nord	2.000	2.000	0,75	0,75	140/130	15		17
KL56 Klimazentrale Nord-West	2.500	2.500	0,34/1,0	0,34/1,0	k.A.	288		21

In der Alten Oper Frankfurt sind 54 Lüftungsanlagen mit einer Gesamtzuluftmenge 349.440 m³/h und einer Gesamtabluftmenge von 405.955 m³/h, installiert. Die klimatisierte Gesamtzuluftmenge beträgt rund 70 % (240.900 m³/h). Der Anteil der Anlagen, die über eine WRG verfügen, liegt bei 59,4 % bzw. 207.650 m³/h (vgl. Tafel 3.4.1).

Für die Zu- und Ablufförderung sind Ventilatoren mit einer Gesamtmotorleistung von 540 kW installiert.

Für die Zuluftherwärmung ist eine Heizleistung von insgesamt 5.306 kW installiert. Entsprechend der „AMEV - Richtlinie für die Planung und Ausführung von Heiz- und Wassererwärmungsanlagen in öffentlichen Gebäuden“ wird für die Bestimmung des notwendigen Wärmebedarfs der RLTA-Anlagen ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,6 vorgegeben. Für die Alte Oper liegt dieser Gleichzeitigkeitsfaktor mit 0,46 sogar noch niedriger. Probleme hierdurch ergaben sich in der Praxis nicht.



Für die Befeuchtung der Zuluft in den Wintermonaten sind die in der folgenden Tafel 3.4.3 aufgeführten Befeuchtungsanlagen eingebaut.

Tafel 3.4.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Technische Daten der Befeuchtungsanlagen

Lüftungsanlage	Fabrikat Typ	Pumpe	Düsen- Anzahl	Massenstrom m ³ /h	Düsendruck mFLS	Leistung In kW
Sprühbefeuchter						
KL02 Großer Saal	V2AZ	Ritz 65-160/11/2	42	28,0	30	11,0
KL03 Mozartsaal			30	21,0	32	4,0
KL04 Hindemith	ERZ Norm	Ritz 32-160/3/2	20	10,8	34	3,0
KL05 Olymp	ERZ Norm	Ritz 32-160/3/2	20	10,8	34	3,0
KL10 Chorproben/Solisten	ERZ Norm	Ritz 3102/1,5/2	9	2,7	32	1,5
KL54 Lichtregie		Ritz	6	2,5		0,75
Elektrische Dampfbefeuchter						
KL29 Nordvorbau E02+E01						28,0
KL47 Verwalt. Nordflügel E1-E5	KAUT-K-464					34,2

Anlage KL02 – Großer Saal, Regie-, Dolmetscherkabinen und Bühnenräume

Gemäß DIN 1946 handelt sich bei diesem kombinierten Zu- und Abluftgerät mit Umluftbeimischung um eine Teil-Klimaanlage mit drei Luftbehandlungsfunktionen (Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten). Das Lüftungszentralgerät wurde 1980 in der Technikzentrale Ebene 02 (Raum 02.09) installiert.

Durch diese Anlage werden der Große Saal sowie die dazugehörigen Regie-, Dolmetscher- und Bühnenräume über die aufbereitete Außenluft der Anlage KL01 raumluftechnisch versorgt. Eine statische Beheizung des Saals ist nicht vorhanden.

Im Auslegungsfall werden insgesamt 103.750 m³/h mittels zweier parallel angeordneter Radialventilatoren und über entsprechende Auslässe in den Saal und die Nebenräume (Drallauslässe) eingeblasen. Die Luftmenge wird zur Abführung der anfallenden Wärmelast bei maximaler Ausleuchtung und Belegung (2.500 Personen) benötigt. Aus hygienischen Gründen ist eine Frischluftmenge von nur 50.000 m³/h notwendig.

Der Hauptteil des Zuluftvolumenstroms wird über Weitwurfdüsen von der Ost- und der Westseite in den Großen Saal eingeblasen. Im Fußbodenbereich erfolgt das Einblasen der Zuluft über Schlitzauslässe in den Stufen. Zusätzlich kann wärmere Zuluft (nachgeschaltete Zonennacherhitzer) zu den Rängen eingebracht werden. Die Elektronacherhitzer für die Nebenräume sind ausgeschaltet und nicht mehr in Betrieb.

Die Weitwurfdüsen im Szenenbereich können von einer Zweitschaltstelle im Bühnenraum West entsprechend zu- und abgeschaltet werden.

Durch eine manuelle Notumschaltung könnte die Belüftung des Mozartsaals durch die Zuluftanlage des Großen Saals erfolgen.



Bei Teilbelegung oder Aufbauarbeiten kann der Große Saal über eine fünfstufige Schaltung raumlufttechnisch betrieben werden, wobei unabhängig von den Stufenschaltungen im Anfahrzustand über ein Zeitrelais bei Außenlufttemperaturen bis 15°C mit 100 % Umluft gefahren wird. Erst nach einem fest vorgegebenen Zeitraum wird die Mischklappenregelung aktiviert.

Stufe 1:	30.000 m ³ /h	Probetrieb: Eine Belüftung erfolgt nur Dirigentenszenenbereich sowie Regie-, Dolmetscherkabinen und Bühnenräume
Stufe 2:	57.320 m ³ /h	Wie Stufe 1, jedoch zusätzlich aber Belüftung über sämtliche Düsenauslässe, außer vor der Hubwand
Stufe 3:	73.520 m ³ /h	Wie Stufe 2, jedoch zusätzliche Belüftung über Schlitzauslässe unter Rang A
Stufe 4:	93.960 m ³ /h	Wie Stufe 3, jedoch zusätzliche Belüftung über fahrbare Stufen-Auslässe (Kongressbestuhlung)
Stufe 5:	103.750 m ³ /h	Wie Stufe 4, jedoch zusätzliche Belüftung über feste Stufen-Auslässe (Konzertbestuhlung)

Die Regelung der Luftmengen erfolgt über saugseitig angeordnete Drallregler an allen Zu- und Abluftventilatoren. Hierbei werden die Zuluftventilatoren druckabhängig und die Abluftventilatoren parallel zu den Zuluftventilatoren geregelt.

Die Abluftabsaugung im Großen Saal erfolgt vorrangig im Deckenbereich über Direktabsaugung von Abluftlampen und der Beleuchterbrücken durch die Anlagen 6.3 und 6.4. In den Nebenräumen und dem Bereich unter Rang A wird die Abluft durch Anlage 6.3 über Deckenfugen abgesaugt. Bei Vollastbetrieb werden die Abluftvolumenströme der Anlagen 6.3 und 6.5 über ein Abluftsystem in die Abluftsammelkammer der Ebene 02 geführt und von dort in den zentralen Fortluftkanal über die WRG ins Freie geblasen.

Die Abluft der Anlage 6.4 wird aus baulichen Gründen über ein Abluftsystem in der Ebene 6 Nord geleitet und dort ohne Wärmerückgewinnung ins Freie geblasen. Je nach Mischklappenstellung wird die Abluft der Anlage 6.3. dem Zuluftgerät (Anlage 6.1) wieder zugeführt (Umluftbetrieb).

Weitere Funktionen, die durch die DDC geregelt werden sind

- die Mischklappen
- die Taupunkttemperatur
- die Abluftfeuchte Maximalbegrenzung,
- die Nacherhitzer und
- die Zonnenerhitzer (West- und Ostseite)

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur Sommer:	+ 26 °C
Raumtemperatur Winter:	+ 22 °C
Relative Luftfeuchte Sommer:	50 % +/- 5 %
Relative Luftfeuchte Winter:	45 % +/- 5 %
Zulufttemperatur (Seitlich und von oben):	4°C über Raumtemperatur = + 30°C
Zulufttemperatur (von unten):	8°C über Raumtemperatur = + 34°C
Außenluftanteil:	0 – 100 %



Belüftete Fläche: 1.275 m²
Raumluftwechsel: 2,9 h⁻¹

Anlage KL03 Mozartsaal, Regie- und Dolmetscherkabinen

Es handelt sich bei diesem kombinierten Zu- und Abluftgerät mit Umluftbeimischung um eine Teil-Klimaanlage mit drei Luftbehandlungsfunktionen (Heizen, Kühlen, Befeuchten), welches 1980 in der Technikzentrale Ebene 02 (Raum 02.09) installiert wurde.

Durch diese Anlage werden der Mozartsaal sowie die dazugehörigen Regie- und Dolmetscherkabinen über die aufbereitete Außenluft der Anlage KL01 raumlufttechnisch versorgt. Statische Heizkörper sind nicht installiert.

Im Rangbereich der Ebene 1 wird die Zuluft über Schlitzbänder eingeblasen. Am Brüstungsbereich unter den Rängen (Parkette Ebene 01) erfolgt die Zuglufteinbringung über die in den Düsenpaketen nach unten integrierten Schlitzauslassen sowie Einzelauslessee und Drallauslässe zum Küchenbereich hin.

Das Einblasen der Zuluft in die Nebenräume erfolgt über Drallauslässe im Deckenbereich. Die zusätzliche Zulufterwärmung für die Nebenräume mittels elektrischer Nacherhitzer ist nicht mehr in Betrieb.

Je nach Belegung des Saals sind die Ventilatoren der Zu- und Abluftanlage in zwei Stufen schaltbar. Wie Anlage KL02 wird auch diese unabhängig von der Stufenschaltung im Anfahrzustand über ein Zeitrelais bei Außenlufttemperaturen bis 15°C mit 100 % Umluft gefahren. Erst nach diesem fest vorgegebenen Zeitraum wird die Mischklappenregelung aktiviert.

Die Abluft wird über Schattenfugen in der Decke Ebene 1 abgesaugt und über ein Abluftkanalsystem in die Abluftsammelkammer der Ebene 02 geführt und von dort über die WRG ins Freie geleitet.

Die Regelung der Luftmengen erfolgt über saugseitig angeordnete Drallregler an den Zu- und Abluftventilatoren. Hierbei werden die Zuluftventilatoren druckabhängig und die Abluftventilatoren parallel zu den Zuluftventilatoren geregelt.

Weitere Funktionen, die durch die DDC geregelt werden sind

- die Mischklappen
- die Taupunkttemperatur
- die Abluftfeuchte Maximalbegrenzung und
- der Nacherhitzer

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur Sommer: + 26 °C
Raumtemperatur Winter: + 22 °C
Relative Luftfeuchte Sommer: 50 % +/- 5 %
Relative Luftfeuchte Winter: 45 % +/- 5 %
Zulufttemperatur (von oben): 6°C über Raumtemperatur = + 32x°C
Zulufttemperatur (seitlich): 10°C über Raumtemperatur = + 36°C
Außenluftanteil: 0 – 100 %



Belüftete Fläche: 1.013 m²
Raumluftwechsel: 10,7 h⁻¹

KL 04 – Hindemith-Saal, Regie-, Dolmetscher-, Wasch- und Umkleideräume

Der Hindemith-Saal und sämtliche Nebenräume werden über die aufbereitete Außenluft der Anlage KL01 raumlufttechnisch versorgt. Es handelt sich bei diesem kombinierten Zu- und Abluftgerät um eine Teil-Klimaanlage mit drei Luftbehandlungsfunktionen (Heizen, Kühlen, Befeuchten). Das Lüftungszentralgerät wurde 1980 in der Technikzentrale Ebene 02 (Raum 02.09) installiert.

Die Zuluft wird mittels Weitwurfdüsen, die sich in den Saalwänden befinden, in den Saal eingeblasen. In den Nebenräumen erfolgt das Einblasen der Zuluft über Drallauslässe im Deckenbereich.

Ein Umluftbetrieb ist nicht vorgesehen, d.h., dass 100 % Außenluft eingeblasen wird. Die elektrischen Nacherhitzer sind nicht mehr in Betrieb.

Die Abluft des Hindemithsaals wird über die zentrale WRG ins Freie geblasen, wohingegen aus Gründen einer möglichen Geruchsbelästigung die Abluft der Wasch-, Toiletten- und Umkleideräume von der Anlage KL25 ins Freie abgeführt wird.

Die Luftmenge kann durch eine pneumatische Dralldrosselregelung der Belegung angepasst werden.

Weitere Funktionen, die durch die DDC geregelt werden sind

- die Taupunkttemperatur
- die Abluftfeuchte Maximalbegrenzung und
- der Nacherhitzer

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur Sommer: + 26 °C
Raumtemperatur Winter: + 22 °C
Relative Luftfeuchte Sommer: 50 % +/- 5 %
Relative Luftfeuchte Winter: 45 % +/- 5 %
Zulufttemperatur (seitlich / von oben): 8°C über Raumtemperatur = + 34°C
Außenluftanteil: 100 %
Belüftete Fläche: 490 m²
Raumluftwechsel: 8,87 h⁻¹

KL 05 – Olymp, Regie- und Dolmetscherkabinen

Der Olymp und sämtliche Nebenräume werden über die aufbereitete Außenluft der Anlage KL01 raumlufttechnisch versorgt. Es handelt sich bei diesem kombinierten Zu- und Abluftgerät um eine Teil-Klimaanlage mit drei Luftbehandlungsfunktionen (Heizen, Kühlen, Befeuchten). Das Lüftungszentralgerät wurde 1980 in der Technikzentrale Ebene 02 (Raum 02.09) installiert.

Das Einblasen der Zuluft erfolgt von oben nach unten über quadratische Drallauslässe. Die Abluft wird im Saal unter der Decke und in den Kabinen in den Deckenfugen von der Anlage 7.5 abgesaugt und in der Zentrale der Ebene 6 – Süd ins Freie geblasen (ohne WRG).



Die Luftmenge kann durch eine pneumatische Dralldrosselregelung der Belegung angepasst werden.

Weitere Funktionen, die durch die DDC geregelt werden sind

- die Taupunkttemperatur
- die Abluftfeuchte Maximalbegrenzung und
- der Nacherhitzer

Auslegungsdaten:

Raumtemperatur Sommer:	+ 26 °C
Raumtemperatur Winter:	+ 22 °C
Relative Luftfeuchte Sommer:	50 % +/- 5 %
Relative Luftfeuchte Winter:	45 % +/- 5 %
Zulufttemperatur (seitlich / von oben):	8°C über Raumtemperatur = + 34°C
Außenluftanteil:	100 %
Belüftete Fläche:	400 m ²
Raumluftwechsel:	7,9 h ⁻¹

3.4.3 Energievergleichskennwerte der Lüftungsanlagen

Der Energievergleichskennwert dient zur Bewertung des Energiebedarfs einer Betriebseinheit (RLT-Anlage) für den Bezug einer Norm-Energiedienstleistung (Luftförderung). Durch die Normierung ist der Energievergleichskennwert ein Maß für die energetische Qualität der Anlagentechnik, der Anlagennutzung und der baulichen Rahmenbedingungen.

Die ermittelten Vergleichskennwerte werden mit vorgegebenen Grenz- und Zielwerten verglichen. Der Leitfaden für Elektrische Energie im Hochbau (LEE) gibt, je nach Anlagenklasse, für Sanierungen und Neubauten Grenzwerte vor, die von energiegerecht geplanten Anlagen eingehalten werden können. Die vorgegebenen Zielwerte können durch die Kombination der besten technischen Komponenten bzw. Systeme erreicht werden. Zum Erreichen kann eine das wirtschaftliche Optimum übersteigende Mehrinvestition erforderlich sein.

In der folgenden Tafel 3.4.4 sind die Energievergleichskennwerte für die wichtigsten Lüftungsanlagen dargestellt und den jeweiligen Grenz- und Zielwerten gegenüber gestellt. Die Kennwerte der übrigen Lüftungsanlagen sind in Anhang 3.4.1 zusammengestellt.



Tafel 3.4.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Energievergleichskennwerte der wichtigsten Lüftungsanlagen

Anlage / Versorgungsbereich	Luftmengen		Ventilator-Motorlstg. Zuluft+Abluft in kW	Energie-Vergleichs Kennwert in Wh/m ³	Grenzwert Überschreitung Sanierung	Zielwert Überschreit.
	Zuluft In m ³ /h	Abluft in m ³ /h				
LÜFTUNGSANLAGEN MIT WRG	(0,43 Wh/m³) (0,18 Wh/m³)					
KL 02 Großer Saal	103.750	105.300	142,50	0,68	59%	279%
KL 03 Mozart Saal	33.500	33.550	29,00	0,43	1%	140%
KL 04 Hindemith Saal	16.500	14.800	11,50	0,37	-15%	104%
KL 06 Foyer Großer Saal	13.400	13.400	10,50	0,39	-9%	118%
KL 07 Garderobe E02	13.750	13.750	20,00	0,73	69%	304%
KL 08 Eingangshalle	9.000	8.000	6,20	0,36	-15%	103%
LÜFTUNGSANLAGEN OHNE WRG	(0,36 Wh/m³) (0,14 Wh/m³)					
KL 01 Außenluftaufbereitung	264.000	204.000	180,00	0,38	7%	175%
KL 05 Olymp	16.000	16.000	11,00	0,34	-5%	146%
KL38 Küche	24.500	27.400	26,00	0,50	39%	258%
KL43 Mehrzweckräume Ostseite	10.100	9.550	9,30	0,47	31%	238%
KL45 Mehrzweckräume West	8.500	7.700	7,00	0,43	20%	209%
KL47 Verwalt. Nordflügel E1-E5	10.920	9.115	6,60	0,33	-8%	135%

Die Tafel zeigt, dass einzelne der dargestellten Lüftungsanlagen den Grenzwert einhalten können, die Mehrzahl der Lüftungsanlagen den jeweiligen Grenzwert jedoch überschreiten. Der vorgegebene Zielwert wird von keiner der vorhandenen Lüftungsanlagen erreicht.

3.4.4 Energiekosten der Klima- und Lüftungsanlagen

Um einen Überblick über die jährlichen Energiekosten der wichtigsten Lüftungs- und Teil-Klimaanlagen zu bekommen und um daraus entsprechende Einsparpotentiale ableiten zu können, wurden in Tafel 3.4.5 die jährlichen Kosten für den Wärmebezug, die Stromkosten für den Betrieb der Ventilatormotoren und soweit vorhanden die Stromkosten für die Kälteerzeugung der relevanten Lüftungsanlagen zusammengestellt.



Tafel 3.4.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der jährlichen Netto-Energiekosten der wichtigsten Lüftungsanlagen

Anlage / Versorgungsbereich	Betriebszeiten	Wärmebezugs-kosten in EUR	Stromkosten Ventilator-Motoren in EUR	Stromkosten Kälteerzeugung in EUR	Gesamt in EUR
KL01 AU-Aufbereitung	07.00-23.00 Uhr	-	92.230,-	-	92.230,-
KL02 Großer Saal	13.00-23.00 Uhr	11.930,-	35.060,-	5.940,-	-10,-
KL03 Mozart Saal	15.00-23.00 Uhr	6.130,-	7.840,-	1.930,-	-8,-
KL04 Hindemith Saal	17.00-22.00 Uhr	1.065,-	2.270,-	1.000,-	-5,-
KL05 Olymp	13.00-23.00 Uhr	5.425,-	4.040,-	965,-	-10,-
KL06 Foyer Gr. Saal	06.00-01.00 Uhr	4.360,-	6.140,-	610,-	5,-
KL07 Garderobe E02	07.00-23.00 Uhr	3.620,-	10.250,-	585,-	-16,-
KL08 Eingangshalle	07.00-23.00 Uhr	3.170,-	3.180,-	415,-	-16,-
KL38 Küche	06.00-23.50 Uhr	13.880,-	14.580,-	1.160,-	33,-
KL43 Mehrzweckr. Ost	07.00-23.00 Uhr	4.205,-	4.765,-	460,-	-16,-
KL45 Mehrzweckr. West	07.00-23.00 Uhr	3.540,-	3.590,-	385,-	-16,-
KL47 Verwaltung Nord	07.00-23.00 Uhr	11.520,-	3.380,-	525,-	-16,-
GESAMT		0,-	0,-	0,-	0,-

Die Netto-Gesamtenergiekosten für die wichtigsten Lüftungsanlagen liegen bei rund 270.1050,- EUR pro Jahr. Das entspricht einem Anteil von rund 30 % an den Gesamtenergiekosten für Wärme und Strom. Hierbei liegen die Kosten für den Strombezug um knapp 132.500,- EUR höher als die für den Wärmebezug. Die Hauptverbraucher stellen die Lüftungsanlage „KL01 Außenluftaufbereitung“ und „KL02 Großer Saal“ mit zusammen über 145.000,- EUR/a (=53,7 %) dar.

Auffallend sind die hohen Energiekosten für die Lüftungsanlage „KL 47 Verwaltung Nordflügel E1/E5“ mit 15.425,- EUR/a. Hauptgrund hierfür ist die lange Betriebszeit und das fehlende Wärmerückgewinnungssystem (**vgl. Maßnahme 3.4.III**).

3.4.5 Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

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

- Insgesamt sind 54 Lüftungsanlagen installiert. Davon verfügen 25 Anlagen über eine Kühlfunktion, 39 Anlagen sind kombinierte Zu- und Abluftgeräte und 15 reine Fortluftanlagen. Außer der Anlage „KL47 Verwaltung Nordflügel E1/E5“ verfügen sämtliche energetisch relevanten Anlagen über ein Wärmerückgewinnungssystem.
- Die Raumluftechnischen Anlagen verursachen, aufgrund ihrer Versorgungsfunktionen (Be- und Entlüften, Heizen, Kühlen), der derzeitigen Betriebsweise sowie ihrer Konzeption, die nicht mehr dem Technischen Stand entspricht, den mit Abstand höchsten Energieverbrauch aller betriebstechnischen Anlagengruppen der Alten Oper Frankfurt.



- Sämtliche elektrischen Nacherhitzer werden aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen nicht mehr betrieben.
- Die Radialventilatoren und Motoren der zentralen Zu- und Abluftgeräte haben mit 25 Jahren das Ende Ihrer technischen Nutzungsdauer erreicht. Die Ventilatoren und Motoren verfügen, gegenüber modernen Einheiten über schlechtere Wirkungsgrade bei der Luftförderung. Des Weiteren wird derzeit bei den RLT-Anlagen „KL01 Außenluftaufbereitung“, „KL02 Großer Saal“ und „KL03 Mozart Saal“ der Volumenstrom luftseitig durch Verstellen der Leitschaukeln am Ventilator an den Bedarf angepasst. Hierbei vermindert sich jedoch die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilatorantriebs nur geringfügig, da der Antriebsmotor weiterhin den Ventilator mit konstanter Drehzahl antreibt. Aus diesen Gründen werden für die energetisch relevantesten Lüftungsanlagen (KL01-KL03) neue Ventilatoren und stufenlos regelbare Motoren mittels Frequenzreglern empfohlen (**s. Maßnahme 3.4.I**).

- Probleme beim Betrieb der Klimaanlage „KL02 – Großer Saal“ konnten im Laufe der Konzepterstellung durch das Technische Personal der Alten Oper beseitigt werden. Eine Ursache zum Beispiel waren falsch verdrahtete Temperaturfühler, die zu einer falschen Mittelwertbildung der Saaltemperatur führte.

Grundsätzlich entspricht die MSR-Technik nicht mehr dem Stand der Technik. Grundfunktionen für einen energetisch und wirtschaftlich optimierten Betrieb, wie die Visualisierung der Anlagendaten sowie eine Trenderfassung bzw. –auswertung ist nicht möglich. Aus diesem Grund wird die Installation einer neuen DDC-Unterstation für die Anlage KL02 sowie einer übergeordneten GLT-Anlage empfohlen (**s. Maßnahme 3.6.VII**).

- Die Anlage „KL47 Verwaltung Nordflügel E1/E5“ verfügt über kein WRG-System. Dies führt zu hohen jährlichen Energiekosten. Aus diesem Grund wird der Einbau eines effektiven WRG-Systems (Kreislaufverbund) empfohlen (**s. Maßnahme 3.4.II**).

Die Versorgung der Büros/Verwaltung ist nicht zwingend notwendig, da die Räume über Fenster verfügen. Da ein Trennen der Luftführung für die beiden zu versorgenden Bereiche (Büro/Verwaltung und Künstlerumkleiden) nur mit erheblichen Aufwand möglich ist, wird das Wegschalten der Lüftungsanlage außerhalb der Nutzung für die Künstlerumkleiden als organisatorische Maßnahme empfohlen (**s. Maßnahme 3.4.III**).

Maßnahme 3.4.I Optimierung der Lüftungsanlage KL01-KL03 durch Erneuerung der Ventilatoren und Motoren

Die Zu- und Abluftanlagen „KL02 Großer Saal“ und „KL 03 Mozart Saal“ mit den höchsten Stromverbrauchswerten werden mit neuen optimierten Radialventilatoren mit höheren Wirkungsgraden ausgestattet, die somit eine geringere Motorantriebsleistung benötigen.

Des Weiteren werden die Ventilator-/Motoreinheiten der Anlagen „KL01 – Außenluftaufbereitung“, „KL02 - Großer Saal“ und „KL 03 - Mozart Saal“ mit Frequenzumrichtern für einen lastabhängigen Betrieb ausgerüstet.



Maßnahme 3.4.II Einbau eines WRG-Systems für die Lüftungsanlage „KL 47 Verwaltung Nordflügel E1/E5“

Zu- und Abluftgerät der KL 47 stehen in räumlicher Nähe in der Lüftungszentrale in der Ebene 6. Der Einbau eines Kreislaufverbundsystems mit Rippenrohr-Wärmetauschern im Außen- und Fortluftkanal, Rohrleitungen, Pumpe und Ausdehnungsgefäß zur Wärmerückgewinnung sind baulich möglich. Die rückgeführte Wärme kann in der Übergangszeit durch einen Bypass begrenzt werden, um zu hohe Raumtemperaturen zu vermeiden.

Maßnahme 3.4.III Wegschalten der Lüftungsanlage „KL 47 Verwaltung Nordflügel E1/E5) im Tagbetrieb

Hierbei handelt es sich um eine organisatorische Maßnahme, die durch Vorgabe folgender Betriebszeiten in der GLT-Anlage realisiert werden kann: Betrieb täglich 7.00 Uhr bis 9.00 Uhr, 12.00 Uhr bis 13.30 Uhr und dann durchgehend ab 16.00 Uhr bis 23.00 Uhr (Nutzungszeit der Künstlerumkleideräume).



3.5 Stammdaten der Kälteversorgungsanlagen

3.5.1 Groß-Kälteversorgungsanlagen

Zur Erzeugung von Klima-Kaltwasser (+6°C/12°C) wurden im Februar/März 2004 drei neue wassergekühlte halbhermetische Schraubenverdichter mit stufenloser Leistungsregelung und zwei offenen Kühltürmen installiert. Die Kältemaschinen und die offenen Kühltürme sind in der Kältezentrale E02 aufgestellt. Die Kältemaschine mit der kleineren Leistung ist für die Versorgung im Winter und in der Übergangszeit vorgesehen.

Die Überwachung und Steuerung der Kältemaschinen und der Kühltürme mit jeweils drei Ventilatoren erfolgt im Schaltschrank in der Kältezentrale.

In Tafel 3.5.1 sind die wichtigsten Stammdaten der Kältemaschinen und der Kühltürme zusammengefasst.

Tafel 3.5.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Kälteversorgungsanlage

Bezeichnung	Kältemaschine 1	Kältemaschine 2	Kältemaschine 3	Kühlturm 1	Kühlturm 2
Hersteller/Typ	TRANE	TRANE	TRANE	GOHL	GOHL
Typ	RTHD D1-D3-E3	RTHD D1-D3-E3	RTWB 212-SP-1704	DT 3/58 Z	DT 3/58 Z
Baujahr	2004	2004	2004	2004	2004
Kälteleistung (6°/12°C)	1.055 kW	1.055 kW	364 kW		
Kühlleistung (30°/35°C)				1.674 kW	1.674 kW
Leistungsstufen	25 - 100 %	25 – 100 %	10-100 %		
Elektr. Leistungsaufnahme	206 kW	206 kW	88 kW	7,5 / 29 kW	7,5 / 29 kW
Kältemittel	R 134 A - 222 kg	R 134 A – 222 kg	R 134 A – 60 kg		
Luftmenge				105.000 m ³ /h	105.000 m ³ /h

Die Wasserumwälzung bis zum Verteiler/Sammler übernehmen für die beiden leistungsstärkeren Kältemaschinen 1 und 2 drei in der Rücklaufsammelleitung der Kältemaschinen angeordnete Umwälzpumpen. Eine der drei Pumpen dient dabei jeweils als Reserve. Die kleine Kältemaschine 3 verfügt über eine Kaltwasserumwälzpumpe im Rücklauf.

Zur Verbesserung der Hydraulik sind im Primärkreis drei Kaltwasser-Pufferspeicher mit jeweils 1.500 l Inhalt eingebaut.

Auf der Sekundärseite erfolgt die Kaltwasserverteilung mit Systemtemperaturen von 6°C/12° für zwei Stränge „Gastronomie“ und „Konzert & Kongress“ jeweils durch parallel geschaltete Doppelpumpen (Wechselbetrieb durch GLT) zu den in Tafel 3.5.2 aufgeführten Verbrauchern (vgl. Kälteanlagenschema in Anhang 3.5.1.).

Die Einschaltung der Pumpen erfolgt kriterienabhängig und zwar durch Freigabeschaltung der GLT und bei Kaltwassergebrauch einer Lüftungsanlage mit Kühler.



Tafel 3.5.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Kältepumpen und –verbraucher sowie der Kühlwasserpumpen

Bezeichnung Verbraucher	ZLT Nr.	Kälte- Leistung in kW	Pumpen- Hersteller Typ	Volumen- Strom In m ³ /h	Förder- Höhe in mWS	Leistungs- Aufnahme in kW
Kältemaschine 1		1.055	Wilo Ipn 150/280-15/4	170	19,0 (4)	15
Kältemaschine 2		1.055	Wilo Ipn 150/280-15/4	170	19,0 (4)	15
Kältemaschine 3		364	Wilo IPn 80/180-2,2/4	61,2	8,0 (2)	2,2
Gastronomie						
Sekundärverteilerpumpe			2 St. Wilo IPn 65/224-2,2/4	30,5	13,0	2,2
4.1 Restaurant	KL37	42,0	Wilo P 50/250 (II)	3,9	11,0	0,95
4.3 Küche	KL38	164,0	Wilo P 65/250 (II)	22,4	6,4	1,8
5.6 Warenannahme	KL41	5,1	keine			
Konzert&Kongress						
Sekundärverteilerpumpe			2 St. Wilo IPn 150/265-15/4	153	17,5	15
Strang 1						
4.5 Konferenz	KL11	25,8	Keine		5,0	
8.1 Foyer Großer Saal	KL06	86,0	Keine			
14.1 Eingangshalle	KL08	56,3	Keine			
19.1 Kassenraum	KL13	8,0	Keine			
7.6 Foyer Kleiner Saal E6-Süd	KL49	33,4	Keine			
7.1 Hindemith Saal	KL04	141,0	Wilo P 65/250	19,4	7,8	2,0
15.1 Mozart-Saal	KL03	272,0	Wilo P 80/250	39,1	9,0	3,4
7.3 Olymp	KL05	136	Wilo P 65/250	19,6	12,0	2,2
4.9 Cafeteria	KL12	24,1	keine			
6.1 Großer Saal	KL02	838,0	Wilo IPn 125/200-4/4	128,0	8,0	4,0
9.1 Garderoben	KL07	82,5	keine			
Strang 2						
10.1 Mehrzweckräume Ost	KL43	65,0	keine			
10.5 Wandelgänge Ost	KL44	51,2	Keine			
12.1 Nordflügel E1-5	KL47	74,0	keine			
11.1 Mehrzweckräume West	KL45	54,5	Keine			
11.5 Wandelgänge West	KL46	51,2	keine			
12.3 Nordvorbau	KL29	15,7	keine			
9.3a-d Nachkühler Schreib- Schreibraum (4 St.)	KL26 KL26	4 x 2,3	Keine			
15.4 Chorproben	KL10	33,7	keine			
Kühlwasserpumpen						
Kältemaschine 1		1.674	Wilo IPn 150/300-18,5/4	205	22,5	18,5
Kältemaschine 2		1.674	Wilo IPn 150/300-18,5/4	205	22,5	18,5
Kältemaschine 3		597	Grundfos TP 80-170/4	73	11,2	4,0

Für eine bedarfsgerechte Verbrauchserfassung der beiden Bereiche „Konzert und Kongress“ sowie „Gastronomie“ sind folgende Kältemengenzähler installiert, die jedoch nicht mehr an die GLT angeschlossen bzw. nicht mehr in Betrieb sind.



- Im Sammelvorlauf der Kältemaschinen zum Verteiler: Typ IWKA autarkon EWZ 24 – DN 250
- Im KW-Rücklauf Gastronomie: Typ IWKA autarkon EWZ 11 – DN 65
- Im KW-Rücklauf Konzert & Kongress: Typ IWKA autarkon EWZ 11 – DN 200

In der folgenden Tafel 3.5.3 ist die Verteilung des Strombedarfs für Kältemaschinen, Pumpen und Ventilatoren des Kältesystems dargestellt.

Tafel 3.5.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Verteilung des Strombedarfs für das Kältesystem

Bezeichnung Verbraucher	Elektrische Leistung in kW	Betriebs- bzw. Volllaststunden in h/a	Jahres- stromverbrauch in kWh/a
Kälteerzeugung			
Kältemaschine 1	1.055	345 / 242	49.880
Kältemaschine 2	1.055	529 / 399	82.240
Kältemaschine 3	364	207 / 170	14.995
Gesamt Kälteerzeugung	2.474	1.081 / 812	147.115
Kaltwassersystem			
Primärpumpen			
Kältemaschine 1	15,0	345	5.175
Kältemaschine 2	15,0	529	7.935
Kältemaschine 3	2,2	207	455
Sekundärpumpen K & K			
Sekundärverteilerpumpe			
KL 04 Hindemithsaal	2,0	874	1.748
KL 03 Mozartsaal	3,4	874	2.972
KL 05 Olymp	2,2	874	1.923
KL 02 Großer Saal	4,0	874	3.496
Sekundärpumpen Gastro			
Sekundärverteilerpumpe			
KL 37 Restaurant	0,95	874	830
KL 38 Küche	1,8	874	1.573
Gesamt Kaltwassersystem			41.140
Kühlwassersystem			
Kühltürme			
Kühlturm 1	29,0	437	12.673
Kühlturm 2	29,0	437	12.673
Kühlwasserpumpen			
Pumpe KM 1 Kühlturm	18,5	345	6.383
Pumpe KM 2 Kühlturm	18,5	529	9.787
Pumpe KM 3 Kühlturm	4,0	207	828
Gesamt Kühlwassersystem			42.340
Gesamt Kältesystem			230.600

Für das gesamte Kältesystem in der Alten Oper werden jährlich 230.600 kWh an Strom benötigt. Dies entspricht einem Anteil von rund 4 % am Gesamtstromverbrauch.

Unter Zugrundelegung einer Gesamtvollbenutzungsstundenzahl der Kältemaschinen von 812 Stunden/Jahr errechnet sich daraus ein jährlicher Kältebedarf von **738.670 kWh**. Die Vollbenutzungs-



stunden liegen in der gleichen Größenordnung wie vergleichbare Objekte mit ähnlichem Klimatisierungsstandard.

Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Auf der Basis der erhobenen Daten kann die bauliche und konzeptionelle Situation des Kälteversorgungssystems in der Alten Oper Frankfurt wie folgt bewertet werden:

- Die jährlich erzeugte Kältemenge liegt bei rund 738.670 kWh. Die drei Kältemaschinen, die Kalt- und Kühlwasserpumpen sowie die Kühlturmventilatoren verbrauchen zusammen jährlich 230.600 kWh Strom. Dies entspricht einem Anteil von rund 4 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper.
- Aufgrund von Problemen an den Motor-Absperrklappen im Kalt- und Kühlwassersystem konnte das neu installierte Kälteerzeugungssystem seit der Inbetriebnahme im März 2004 nicht einwandfrei betrieben werden. Die Kälteversorgung war jedoch gewährleistet und nach Auskunft der Technischen Leitung kann es in diesem Zeitraum zu keinen Komforteinbußen durch die Klimaanlage bei Veranstaltungen. Der Austausch der Motorklappen wurde mittlerweile durchgeführt.
- Schnittstellenprobleme bei der Datenübertragung zwischen der GLT und der Steuerung der Kältemaschinen sind mittlerweile behoben. Jedoch kann die Kältemaschine für die Winter-/Übergangszeit derzeit noch nicht einwandfrei betrieben werden, da diese im Anfahrzustand nach 10 Minuten aussteigt.
- Die neu installierte Kühlwasserpumpe der Kältemaschine 3 wurde während der Konzepterstellung ausgetauscht, da diese nicht die geforderte Mindestumwälzwassermenge erreichte.
- Die beiden Umwälzpumpen im Sekundär-Kaltwasserverteilnetz werden ungeregelt betrieben, was zu einem überhöhten Strombedarf für den Anlagenbetrieb führt (**s. Maßnahme 3.5.I**).
- Das Wasser in den beiden Kühltürmen muss permanent durch eine elektrische Wannenheizung auf +25°C gehalten werden. Grund hierfür ist eine Vorgabe vom Kältemaschinenhersteller Trane, der fordert, dass die minimale Kühlwassereintrittstemperatur in die Kältemaschine nicht unter +23-25°C liegen darf. Die Umrüstung auf eine Regelung der Kühlwassereintrittstemperatur in die Kältemaschinen mittels Dreiwegeventilen ist zu empfehlen (**s. Maßnahme 3.5.II**).
- Die Ventilatoren (je 29 kW) der neu errichteten Kühltürme verfügen über eine temperaturgesteuerte 2-stufige Regelung. Die nachträgliche Umrüstung mit einer FU-Regelung führt, aufgrund der relativ geringen Laufzeiten sowie der Höhe der Investitionskosten, zu keiner Wirtschaftlichkeit.
- Die Sekundär-Kaltwasserpumpen werden in Betrieb genommen, wenn die entsprechende Lüftungsanlage eine Kälteanforderung an die Regelung weitergibt. Diese Betriebsweise erfolgt aber auch dann, wenn die Kältemaschinen nicht in Betrieb sind, z.B. außerhalb der Veranstaltungen oder in der Sommerpause. (**Maßnahme 3.5.III - Organisatorisch**).



Maßnahme 3.5.I Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpe

Entsprechend dem Austausch der Heizungs-Umwälzpumpen werden für die beiden Sekundär-Doppel-Kaltwasserverteilerpumpen neue elektronisch drehzahlgeregelte Umwälzpumpen vorgesehen, um Strombedarf zu reduzieren.

Maßnahme 3.5.II Umrüstung der elektrischen Kühlwasserbeheizung

In die Kühlwasserleitungen der Kältemaschinen werden Dreiwegeventile mit Motorantrieben eingebaut. Im Anfahrzustand der Kältemaschinen und Kühltürme wird das „kalte“ Kühlwasser erst dann, durch Umschalten der Drei-Wege-Ventile, über die Kühltürme geführt, wenn eine Kühlwasser Austrittstemperatur aus den Kühltürmen von mehr als 25°C erreicht wird.

Maßnahme 3.5.III Regelungstechnische Änderung der Betriebsweise der Kühlregisterpumpen

Um den Betrieb der Sekundär-Kaltwasserpumpen bei gleichzeitig ausgeschalteten Kältemaschinen zu vermeiden, muss eine entsprechende Abfrage (Kältemaschine betriebsbereit) in der Regelung vorgesehen werden. Die Freigabe der Pumpen erfolgt nur dann, wenn die Kältemaschinen betriebsbereit sind. Durch diese organisatorische bzw. programmiertechnische Maßnahme könnte bei einer angenommenen Laufzeit von 100 h/a ohne Kälteerzeugung ein Strombedarf von 1.660 kWh bzw. rund 135 €/a eingespart werden.



3.5.2 Kleinkälteversorgungsanlagen

Der Gastronomiebereich verfügt über zentrale Küchenkälteanlagen in der Ebene 02, die zur Kühlung verderblicher Güter benötigt werden. Die Kühlung der Kleinkälteanlagen erfolgt über einen offenen Kühlturm mit zweistufigem Ventilator.

Anhand der installierten Betriebsstundenzähler und der elektrischen Anschlussleistung der Kühlaggregate, der Kühlwasserpumpen, des Kühlturmventilators sowie der Abtauheizung (Betrieb ca. 2 h/d) wurde der Jahresstromverbrauch für die Kleinkälteanlagen ermittelt und in Tafel 3.5.4 zusammengestellt.

Tafel 3.5.4 Energiekonzept Alte Oper: Stammdaten und Jahresstromverbrauch der Kleinkälteanlagen für die Gastronomie

Bezeichnung Verbraucher	Verdichter Leistung in kWe	Abtau- Heizung in kWe	Verdampfer Ventilator in kWe	Betriebs Stunden in h/a	Jahres- Stromverbrauch in kWh
01 – Spirituosen	0,4		0,2	671	402
02 - Getränke	1,5		1 x	966	1.450
03 – Wein	0,5		1 x	446	223
04 – Rotwein	0,5		1 x	530	265
05 – Tiefkühl	3,0	2,7 + 0,2	1 x 0,4	2.371	10.177
06 – Vorkühl	1,1		1 x	615	677
07 - Kühlraum	1,6	2,7 + 0,2	1 x 0,4	2.326	6.768
09 - Bankett	1,5	7,5 + 0,2	4 x	2.824	9.857
10 – Tiefkühlung	2,2	2,0 + 0,2	1 x	3.914	10.217
11 – Konditorei	1,1	4,5 + 0,2	2 x	1.147	4.692
12 – Getränke	1,1		2 x	2.248	2.473
13 – Gemüse	1,5		1 x 0,5	1.388	2.777
14 – Fleisch	0,37	2,3 + 0,2	1 x	1.878	2.520
15 – Küche	0,37	2,3 + 0,2	0,5	2.195	3.735
16 – Kaltausgabe	0,5			1.193	597
17 – Zyklon 1	3,7	4,0 + 0,2	2 x 0,5	590	5.838
18 – Zyklon 2	3,7	4,0 + 0,2	2 x 0,5	560	5.699
Kühlwasserpumpe 1	0,75			154	116
Kühlwasserpumpe 2	0,75			3.894	2.921
Kühlturmventilator	1,4 / 5,5			1.162 / 598	4.917
Kühlturmpumpe	0,75			486	365
Wannenheizung	2			30	60
Rohrbegleitheizung		2 x 0,35 / 1 x 0,16		30	21
Bistro	4 x 0,3		4 x 0,09	k.A.	
Theke E2	4 x 0,3		4 x 0,1	k.A.	
Theke E6	2 x 0,6		2 x 0,1	Außer Betrieb	0
GESAMT					76.765



Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Energiesparmaßnahmen

Auf der Basis der erhobenen Daten kann die technische und konzeptionelle Situation der Kleinkälteversorgungsanlagen für die Kühlung von verderblichen Gütern des Gastronomiebereichs in der Alten Oper Frankfurt wie folgt bewertet werden:

- Für die 20 Kleinkälteanlagen der Gastronomie ist ein jährlicher Strombedarf von 76.765 kWh notwendig.
- Die zeitgesteuerte Umschaltung der Kühlwasserpumpen funktioniert nicht (s. Betriebszeiten). Dies führt zu einem erhöhten Verschleiß einer Pumpe. Hier sollte aus Gründen der Betriebssicherheit eine Überprüfung der Steuerung erfolgen (**Maßnahme 3.5.IV-Organisatorisch**).
- Die Kälteaggregate des Thekenbereichs E2 werden mit dem Kältemittel R12 betrieben. Eine Austausch ist nicht zwingend notwendig. Das Ersatzgebot nach § 10 Abs. 2 der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vom 6. Mai 1991 bezieht sich auf R12-haltige Erzeugnisse, ausgenommen steckerfertige Geräte, falls die Kältemittel in diesen in einem dauerhaft geschlossenen Kreislauf geführt werden und die Kältemittelmenge unter 1 kg liegt. Trotzdem sollte im Hinblick auf einen umweltbewussten und sicheren Betrieb (keine Verfügbarkeit mehr von R12) eine Umstellung oder eine Ersatzbeschaffung eingeplant werden (**Maßnahme 3.5.V-Organisatorisch**).
- Die übrigen Kühlaggregate werden mit den derzeit zugelassenen Kältemitteln R 413A und R 404A betrieben.



3.6 Stammdaten der Elektroanlagen und Regelungstechnik

Die Elektroversorgung der Alten Oper erfolgt vollständig aus dem Versorgungsnetz der Mainova. Die drei Trafostationen befinden sich im Eigentum der Alten Oper GmbH. Die Messung des Stromverbrauchs erfolgt auf der Mittelspannungsseite mit HT/NT- und Leistungszählung. Die Niederspannungshauptverteilung (NSHV) und die Blindstromkompensationsanlage befindet sich in der Ebene 02.

In Anhang 3.6.1 ist eine Zusammenstellung der einzelnen Abgänge mit Verbrauchsstellen sowie Messorten der internen Stromzähler in der NSHV aufgeführt.

3.6.1 Blindstromkompensationsanlage

Im Abschnitt 2.1 wurde dargestellt, dass in den vergangenen drei Jahren die zulässigen Blindstromverbrauchswerte überschritten wurden und somit von der Mainova Kosten für den Blindstrommehrbezug in Höhe von jährlich rund 2.000,- € in Rechnung gestellt wurden. Diese Tatsache geht auf eine ungenügend arbeitende Blindstromkompensationsanlage (Fa. F+G MC 6/12, Baujahr 1996, 2 Anlagen Standort E 02.42) zurück (**s. Maßnahme 3.6.I**).

3.6.2 Beleuchtungsanlagen

Die Beleuchtung der Veranstaltungs-, Konferenz-, Gastronomie- und Pausenräume sowie der Büroräume und Verkehrswege erfolgt durch die in der Tafel 3.6.1 aufgeführten Systeme.

Hierbei wurde unterschieden zwischen der Nutzungsart der zu beleuchtenden Flächen sowie der Art der Beleuchtung. Die Nutzungstunden der einzelnen beleuchteten Bereiche wurden nach Rücksprache mit technischen Mitarbeitern der Alten Oper festgelegt. Die genaue Aufstellung ist in Anhang 3.6.2 enthalten.

Tafel 3.6.1a Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Beleuchtung

Beleuchtungsart	Bereich	Fläche in m ²	Leistung in kW	Strom- verbrauch in kWh/a	Strom- kosten in Euro/a
Dekorations-/Akzentbeleuchtung	Hauptnutzfläche HNF	7.864,7	509	1.063.336	126.950
Arbeitsplatzbeleuchtung	Nebennutzfläche NNF	699,4	25	51.715	6.187
Raumbeleuchtung	Nebennutzfläche NNF	1.070,0	48	102.234	12.102
Arbeitsplatzbeleuchtung	Funktionsfläche FF	2.465,9	51	159.136	16.441
Raumbeleuchtung	Funktionsfläche FF	4.441,6	38	55.887	7.774
Verkehrsbeleuchtung	Funktionsfläche FF	4.687,8	145	259.288	33.067
Gesamt		21.229,3	815	1.691.596	202.520

Die Beleuchtungsanlagen haben mit einem rechnerischen Verbrauch von rund 1,7 Mio. kWh/a einen Anteil von mehr als 27 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper in 2004 (vgl. Abschnitt 2.1). Die installierte Anschlussleistung der Leuchten beträgt 815 kW.



In der folgenden Tafel 3.6.1b sind die durchschnittlichen spezifischen Leistungswerte sowie die Beleuchtungsstärken für die jeweilige Beleuchtungsart/Bereich des Ist-Zustandes den Grenzwerten nach LEE gegenübergestellt.

Tafel 3.6.1b Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Beleuchtung im Vergleich zu den Grenzwerten nach LEE

Beleuchtungsart	Bereich	Fläche In m ²	Leistung in kW	Durchschn. Spez. Lstg.		Beleuchtungsstärke	
				IST in W/m ²	SOLL in W/m ²	IST Lux	SOLL Lux
Dekorations-/Akzentbeleuchtung	HNF	7.864,7	509	47,2	6,5	1.016	260
Arbeitsplatzbeleuchtung	NNF	699,4	25	44,3	11,3	1.957	451
Raumbeleuchtung	NNF	1.070,0	48	45,3	5,6	2.032	224
Arbeitsplatzbeleuchtung	FF	2.465,9	51	31,7	4,1	1.752	164
Raumbeleuchtung	FF	4.441,6	38	26,3	3,2	1.792	129
Verkehrsbeleuchtung	FF	4.687,8	145	4,3	2,7	1.352	106
Durchschnitt				33,6	5,7	1.763	230

Die installierte spezifische Beleuchtungsleistung liegt durchschnittlich 34 W/m² weit über den Richtwerten des Hessischen Leitfadens „Elektrische Energie im Hochbau (LEE)“ mit durchschnittlich 6 W/m². Die Ist-Werte der Beleuchtungsstärke liegen mit durchschnittlich 1.763 Lux ebenfalls weit über den Grenzwerten.

In der folgenden Tafel 3.6.2. sind für den Bereich „Dekorations- und Akzentbeleuchtung“ die Daten der Beleuchtung für die einzelnen Hauptverbraucher (Veranstaltungssäle) zusammengestellt.

Tafel 3.6.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Verteilung des Stromverbrauchs für Dekorations- und Akzentbeleuchtung auf einzelne Bereiche

Bereich	Verbrauch in kWh/a	Anteil
Großer Saal	773.451	73,0%
Mozart Saal	63.710	6,0%
Neues Foyer	49.481	4,7%
Aufenthaltsbereich E2	48.040	4,5%
Altes Foyer / Balkon	31.694	3,0%
Eingangs-Foyer	24.758	2,3%
Hindemith Salon	18.965	1,8%
Außenbeleuchtung	11.738	1,1%
Telemann Salon	10.913	1,0%
Wintergarten	8.361	0,8%
Schumann Salon	5.729	0,5%
Mendelsohn Salon	5.225	0,5%
Liszt Saal	4.709	0,4%
Pfitzner Salon	3.218	0,3%

Die Beleuchtung für den Großen Saal hat mit 773.500 kWh/a den mit Abstand höchsten Anteil am



Stromverbrauch für die Dekorations- und Akzentbeleuchtung in der Alten Oper. Das Restaurant „Opera“ mit Neuem Foyer hat einen rechnerischen Stromverbrauch von 79.750 kWh/a.

In der folgenden Tafel 3.6.3 ist die Zusammenstellung der in der Alten Oper eingesetzten Leuchtmittel mit den entsprechenden Leistungs- und Verbrauchsdaten aufgeführt.

Tafel 3.6.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der eingesetzten Leuchtmittel

Leuchtmittel	Anzahl in Stk.	Verbrauch in kWh/a	Leistung in kW
Energiesparlampe	153	4.511	1,9
Leuchtstofflampe	2.498	381.430	166,1
Leuchtstofflampe EVG	227	36.490	4,7
Halogen	3.945	657.625	306,5
Kerzenlampe	144	10.428	9,6
Kompaktleuchtstofflampe.	73	799	0,4
Ringleuchtstofflampe	181	9.005	4,7
Standardlampe (Glühbirne)	4.685	734.805	250,5
Standardlampe verspiegelt	436	56.098	26,2

In der Alten Oper sind rund 12.350 Stück Leuchtmittel installiert. Den größten Anteil daran haben die Standardlampen mit Glühbirnen. Den zweitgrößten Bereich stellen die Halogenleuchten dar. Hierbei sind im Großen Saal und 930 Stk. und im Foyer, Neuem Foyer und Aufenthaltsbereich E2 zusammen 1.780 Stk. installiert. Den dritten Bereich stellen die Leuchtstofflampen mit 2.775 Stück. Davon sind rund 8 % mit energiesparenden elektronischen Vorschaltgeräten ausgestattet.

Die Beleuchtungssysteme in der Alten Oper lassen sich wie folgt bewerten:

- Die Beleuchtungsanlagen haben einen Anteil von mehr als 27 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper. Sowohl die spezifische Anschlussleistung der Leuchten als auch die Beleuchtungsstärke liegt für die Beleuchtung weit über den vorgegebenen Grenzwerten und lassen somit auf ein erhebliches Einsparungspotential schließen.
- Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) sollten gegen Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten (sogenannte T5-Leuchten) ausgetauscht werden. Aufgrund der besseren Leuchtleistung kann teilweise die Anzahl der Leuchten bzw. Leuchtmittel für einzelne Räume reduziert werden. Dieser Austausch wird bereits im Rahmen der Renovierung der Flure des Nordbereichs abschnittsweise durchgeführt und bis September 2005 abgeschlossen sein. (**s. Maßnahme 3.6.IIa – 3.6.IIc**).
- Aufgrund von Wärmestau und Erschütterungen müssen die Stufenleuchten der beiden Säle häufig gewechselt werden. Nach Auskunft der Techn. Leitung werden jährlich ca. 2.100



Leuchten gewechselt. Dafür müssen täglich ca. 1,5 Stunden für Wartung und Instandhaltung der Stufenbeleuchtung aufgewandt werden. Um die Betriebssicherheit sicherzustellen, den Strombedarf sowie die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren muss die Stufenbeleuchtung in beiden Sälen erneuert werden (**s. Maßnahme 3.6.III**).

- In der Alten Oper sind 488 Sicherheitsleuchten als Notbeleuchtung installiert, die während der Öffnungszeiten in Betrieb sein müssen. Diese Allgebrauchsglühlampen verfügen über eine elektrische Leistung von je 15 W und eine durchschnittliche Lebensdauer von ca. 1.000 Stunden. Um den Stromeinsatz zu vermindern und um die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren, können die Leuchtmittel durch 3 W Sockel E14-Energiesparlampen, bei gleicher Lichtausbeute, ersetzt werden (**s. Maßnahme 3.6.IV**).
- Die einzelnen Nutzungsbereiche in der Alten Oper können derzeit nicht separat zu- und abgeschaltet werden. Wird zum Beispiel für einen Wandelgangbereich in einer Ebene eine Beleuchtung benötigt, werden automatisch von Ebene 1 bis 6 sämtliche Wandelgänge mit eingeschaltet. Eine entsprechende automatische Abschaltung ist ebenfalls nicht vorhanden, so dass die einmal eingeschalteten Bereiche in der Regel ganztätig in Betrieb bleiben. Um eine optimierte Lichtsteuerung zu erreichen, ist eine Änderung der Beleuchtungsschaltung auf Einzelschaltung der Bereiche vorzusehen (**s. Maßnahme 3.6.V**).
- In der Alten Oper sind über 4.600 Glühlampen installiert. Der weitaus größte Teil davon ist für dimmbare Bereiche (u.a. Großer Saal Unterer Rang) vorgesehen und dort zu Gruppen von bis zu 20 Stück zusammengeschlossen. Derzeitige dimmbare Energiesparlampen (ESL) können jedoch nur zu Gruppen von max. 3 Stück verbunden werden. Aus diesem Grund können derzeit nur die Glühlampen in den Büros auf der Nordseite durch dimmbare ESL ersetzt werden (**Maßnahme 3.6.VI**).

3.6.3 Aufzüge

In der Alten Oper sind insgesamt 11 Aufzüge (Baujahr 1979) mit einer Gesamtanschlussleistung von 160,0 kW installiert. Davon sind 8 Personen- und 3 Lastenaufzüge. In Tafel 3.6.4a + 3.6.4b. sind die wichtigsten Daten der einzelnen Aufzüge zusammengestellt.

Tafel 3.6.4a Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Personenaufzüge

Bezeichnung Neu/Alt	Standort	Nutzer	Elektrische Leistung	Unterverteilung
1 / A 1	Südwest	K + K	17 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 23 - K+K NE
2 / A 2	Südwest	K + K	17 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 23 - K+K NE
3 / A 3	Südost	Gastro (WC E5) / K+K	17 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 23 - K+K NE
4 / A 4	Südost	Gastro (WC E5) / K+K	17 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 23 - K+K NE
5 / A 5.1	Mitte	Gastro	41 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 26 –Gastro NE
6 / A 5.2	Mitte	Gastro	41 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 26 –Gastro NE
7 / A 6	Nord	K + K	30 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 23 - K+K NE
8 / A 7	Nord	K + K	30 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 23 - K+K NE

**Tafel 3.6.4b Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Lastenaufzüge**

Bezeichnung Neu/Alt	Standort	Nutzer	Elektrische Leistung	Unterverteilung
9 / A 8 – Baldachin	Küche	Gastro	17 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 26 -Gastro NE
10 / A 9	Schreinerei	K + K	41 kW + 1,5 kW (Pumpe)	Feld 24 - K+K NE
11 / A 10	Küche Rosso	Gastro		

Aufzeichnungen über die jährlichen Fahrten liegen nicht vor. Nach Schätzungen der Technischen Leitung ist von insgesamt täglich ca. 4.400 Fahrten auszugehen.

Anhand von gemessenen vergleichbaren Aufzugsanlagen durch Aufzugshersteller, kann vom einem durchschnittlichen Strombedarf pro Fahrt von 180 Wh ausgegangen werden. Bezogen auf die Gesamtfahrtzahl des Aufzugs ergibt sich somit ein **Jahresstromverbrauch von 282.990 kWh**.

Rechnet man die Aufzüge 3 und 4 mit 70 % zum Bereich Gastronomie ergibt sich folgende Verteilung der Jahresstromverbrauchswerte für die Aufzüge:

Kongress und Konzert: 117.820 kWh/a = 58,4 %

Gastronomie: 165.170 kWh/a = 41,6 %

Knapp 60 % des Jahresstromverbrauchs für die Aufzüge entfallen auf den Bereich „Gastronomie“ und rund 40 % auf „Kongress & Konzert“.

Die Aufzugsanlagen befindet sich, aufgrund regelmäßiger Kontrollen und Wartungen, in einem funktionssicheren Zustand, Optimierungsmaßnahmen sind nicht gegeben. Die Lüftung lässt sich im Aufzug von jedermann schalten. Das Licht brennt rund um die Uhr. Eine Zeitschaltuhr ist aufgrund der täglich wechselnden Betriebszeiten (Aufbau/Abbau/Veranstaltungen) nach Rücksprache mit der technischen Leitung kaum realisierbar.

3.6.4 Rohrbegleit- und Rinnenheizungen

Um das Einfrieren von Rohrleitungen (Kalt-, Warm- und Zirkulationsleitungen) in unbeheizten Bereichen der Alten Oper zu verhindern sind fünf Rohrbegleitheizungen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 4,1 kW installiert. Des weiteren verfügt die Alte Oper Frankfurt über eine Dachrinnenbeheizung, um das Herabstürzen von Eiszapfen im Winter zu verhindern. Es sind 10 Anlagen mit insgesamt 10,14 kW installiert. Die Steuerung (SPS) wurde vor zwei Jahren erneuert.

Auf Grundlage der Jahresdauerlinie für die Außenlufttemperatur in Frankfurt ergeben sich jährlich 185 Stunden, an denen die Außenlufttemperatur unter die Gefriergrenze fällt. Daraus errechnet sich ein Gesamtstrombedarf für die Rohrbegleit- und Rinnenheizungen von 2.635 kWh/a.

3.6.5 Stromverbrauch der PC-Arbeitsplätze

Die vorhandenen fünfzehn PC-Arbeitsplätze verfügen über eine Gesamtanschlussleistung von 1.800 Watt. Bei einer jährlichen Nutzungsdauer von 1.000 h errechnet sich daraus ein jährlicher Stromverbrauch von **1.800 kWh**.



3.6.6 Geräte in den Büröküchen

In den Bürobereichen der Verwaltung der Alten Oper Frankfurt sind die in Tafel 3.6.5 aufgeführten Küchengeräte installiert. Der Verbrauch wurde anhand der aufgeführten Geräteleistungsangaben sowie den abgeschätzten Nutzungszeiten errechnet.

Tafel 3.6.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Stammdaten der Büröküchengeräte

Bereich	Gerät	Leistung in kW	Verbrauch in kWh/a
E1 – 1.08	5 l Kochendwasserspeicher	2,0	533
	Kochplatte	2,2	704
	Kaffeemaschine	0,13	333
	Mikrowelle	1,2	115
	Kühlschrank	0,8	402
E1 – 1.12	5 l Kochendwasserspeicher	2,0	533
	Wasserkocher	2,2	352
	Kaffeemaschine	0,13	333
	Kühlschrank	0,8	402
E3	Wasserkocher	2,2	352
	Kaffeemaschine	0,13	333
	Mikrowelle	1,2	115
	Kühlschrank	0,8	402
E4	5 l Kochendwasserspeicher	2,0	533
E5	2 Kühlschränke	2 x 0,8	803
GESAMT			6.244

Für die Geräte in den Kleinküchen der Verwaltung werden jährlich rund 6.250 kWh an Strom verbraucht.

3.6.7 Küchengeräte Gastronomie

Der verpachtete Gastronomiebereich (Fa. Käfer & Kuffler GmbH & Co.) in der Alten Oper umfasst die in Tafel 3.6.6 aufgeführten Bereiche, in denen eine Küche betrieben wird.

Tafel 3.6.6 Energiekonzept „Alte Oper“: Verpachtete Bereiche mit Küchenbetrieb und Öffnungszeiten

Bereich	Öffnungs- und Betriebszeiten	
Küche E02	9.00 – 19.00 Uhr	7 Tage / Woche
Küche Restaurant "Opera" E3	9.00 – 23.00 Uhr	7 Tage / Woche
	Pause zwischen 15.00-18.00 Uhr	
Küche Bistro Rosso	Okt.-April 11.00-20.00 Uhr	7 Tage / Woche
	Mai-Sep. 10.00 – 22.00	7 Tage / Woche
Küchentheke E2	Abends 6 Stunden	4 Tage / Woche



In Anhang 3.6.3 sind sämtliche Küchengeräte für die o.g. Bereiche zusammengestellt. Anhand der installierten Anschlussleistung der einzelnen Geräte sowie einer Abschätzung der Nutzungsstunden in Zusammenarbeit mit der Küchenleitung ergeben sich die in Tafel 3.6.7 zusammengestellten Jahresstromverbrauchswerte für die Bereiche. Diesen rechnerischen Werten sind die Verbrauchswerte der internen Stromzähler gegenübergestellt.

Tafel 3.6.7 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Stromverbrauchswerte für die verpachteten Küchenbereiche

Bereich	Errechneter Verbrauch in kWh/a	Verbrauch Lt. Zähler in kWh/a	Interner Zähler
Küche Restaurant "Opera" E3	151.748	151.279	Zähler 21
Küche E02	161.846	Zusammen 168.603	Vbr. Kleinkälte (vgl. Abs 3.5.2)
Küche Bistro Rosso	53.728		
GESAMT	367.322	319.882	

Die Zusammenstellung zeigt, dass anhand der installierten internen Stromverbrauchszähler der Verbrauch der verpachteten Küchenbereiche nicht hinreichend genau erfasst werden kann. Die Abweichung zwischen errechnetem und gemessenem Verbrauch differiert um mehr als 13 %. Hier müssen weitere Unterzählungen installiert werden.

3.6.8 MSR-Technik und Gebäudeleittechnik

Die Alte Oper verfügt derzeit über ein DDC-System mit übergeordneter Gebäudeleittechnik von der Fa. Johnson Control International (JCI), die im Jahr 1995 von einem analogen Regelungssystem umgerüstet wurde. Obwohl das derzeitige System erst 10 Jahre alt ist, muss es als veraltet und nicht mehr dem Stand der Technik entsprechend bewertet werden. Gründe hierfür sind u.a.

- Fehlende Eingriffsmöglichkeit des technische Personals in die Steuerung durch Änderung von Regelparametern.. Eine Korrektur/Änderung ist nur durch Mitarbeiter der Fa. JCI möglich, dies bedingt einem hohen Kosten- und Zeitverzögerungsfaktor.
- Aufgrund des veralteten Systems gibt es kaum noch entsprechendes „Know-how“ bei den externen Programmierern.
- Eine Visualisierung der Daten, u.a. Temperaturverläufe, Ventilstellungen, Trenderfassung, zum Nachvollziehen von Steuerungsabläufen ist nicht möglich. Diese ist aber bei so komplexen Systemen wie zum Beispiel der Lüftungsanlage im Großen Saal unbedingte Voraussetzung, um eine Energie- und Kostenoptimierung durchführen zu können.
- Das ehemals vorhandene Energieoptimierungsmodul kann nicht mehr genutzt werden, da die vorhandenen Zähler und das Leistungssignal für einen Lastabwurf von der GLT abgeklemmt werden mussten, da das System keine Reserven hatte.
- Notwendige Erweiterungen (u.a. für FU-Regelungen der Ventilatoren, Aufschaltung der Zähleinrichtungen) mit zusätzlichen Datenpunkten können nicht realisiert werden, da das System keine zusätzlichen Kapazitäten besitzt.



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

Um eine bedarfsgerechte und zeitnahe Betriebsweise (u.a. automatische Zu- und Abschaltung einzelner Anlagen) zu erreichen und um entsprechende Überwachungs- und Regelfunktionen (Trenderfassung, Datenvisualisierung) durchführen zu können, ist eine moderne, dem Stand der Technik entsprechende busfähige GLT einzubauen. Vorteile

- Überwachung der Ist- und Sollwerte
- Realisierung komplizierter Zeitschaltpläne
- Zyklisches Schalten bzw. gleitendes Einschalten von Heizungs-, Lüftungs-, Kälte- und Elektroanlagen
- Energieoptimierter Betrieb der Wärme-, Kälte- und Stromversorgung.

3.6.9. Beschreibung der Energiesparmaßnahmen

Auf der Basis der erhobenen Daten können folgende Vorschläge für energiesparende Maßnahmen im Bereich der Elektrizitätsanwendung und MSR-Technik in der Alten Oper Frankfurt gemacht werden:

Maßnahme 3.6.I: Optimierung der Blindstromkompensationsanlage

Die bestehende Blindstromkompensationsanlage muss um 50-100 kVA erweitert werden, um den Blindstromanteil in der Alten Oper innerhalb dem Bereich zu halten (max. 50 % von der in einem Abrechnungsmonat entnommenen Wirkarbeit), der nicht von der Mainova in Rechnung gestellt wird.

Maßnahme 3.6.II: Einbau von Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten

Leuchtstofflampen (LL) mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) sollten gegen Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG), sogenannte T5-Leuchten, ausgetauscht werden. Die Leuchten mit EVG haben eine bessere Energieausnutzung bzw. Lichtleistung und eine deutlich längere Lebensdauer gegenüber den KVG. Da sich die Wirtschaftlichkeit eines Leuchtenwechsels mit der Dauer der Betriebszeit verbessert, wird im Folgenden die Maßnahme in drei Bereiche mit unterschiedlichen Einschaltzeiten der Leuchten unterteilt:

- a.) LL mit Betriebszeit von mehr als 3.000 h/a
- b.) LL mit Betriebszeiten zwischen 2.000 und 3000 h/a
- c.) LL mit Betriebszeiten zwischen 1.000 und 2.000 h/a



Maßnahme 3.6.III: Austausch der Stufenbeleuchtung im Großen Saal u. Mozart-Saal

Um die Betriebssicherheit sicherzustellen, den Strombedarf sowie die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren muss die Stufenbeleuchtung in beiden Sälen erneuert werden. Hierzu werden die vorhandenen 264 Leuchten mit einer Leistung von je 15 W durch langlebigere und robustere LED-Leuchten mit je 1,2 W zuzüglich der Trafoverlustleistung ersetzt.

Maßnahme 3.6.IV: Austausch Glühlampen-Sicherheitsleuchten gegen Energiesparlampen

Um den Stromeinsatz zu vermindern und um die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren, werden die vorhandenen Sicherheitsleuchten (488 Glühlampen mit je 15 W Leistung) durch 3 Watt Sockel E14-Energiesparlampen, bei gleicher Lichtausbeute, ersetzt. Die Lebensdauer verlängert sich, gegenüber den herkömmlichen Glühlampen von 1.000 Stunden auf 12.000 Stunden.

Maßnahme 3.6.V: Optimierung der Lichtsteuerung

Um eine optimierte Lichtsteuerung in der Alten Oper zu erreichen, ist eine Änderung der Beleuchtungsschaltung auf Einzelschaltung der Bereiche vorzusehen. Die Schaltung erfolgt durch die Installation eines EIB-Bussystems. Hierzu werden in einem ersten Schritt zu den einzelnen Unterverteilungen in den Ebenen 1 und 2 (6 UV je Ebene) neue M-Busleitungen verlegt. In der Pforte wird ein PC mit Visualisierung zum Schalten der einzelnen Bereiche installiert. Vor Ort werden separate Schalter und je Ebene zwei Bedientableaus zum Steuern der Beleuchtung in der jeweiligen Ebene eingebaut.

Maßnahme 3.6.VI: Einbau von dimmbaren Energiesparlampen in den Büros - Nordseite

Die dimmbaren Glühlampen (60 W) in den Büros auf der Nordseite werden durch neue dimmbare Energiesparlampen (11 W) ersetzt. Diese haben eine bessere Energieausnutzung sowie eine längere Lebensdauer gegenüber den herkömmlichen Glühlampen.

Maßnahme 3.6.VII: Erneuerung der DDC-Unterstationen und GLT-Anlage

Das neue System ist modular aufzubauen, d.h., im ersten Schritt wird für die Lüftungsanlage „KL 02 - Großer Saal“ eine neue DDC-Unterstation errichtet und eine entsprechende GLT installiert. Parallel dazu wird das vorhandene JCI-System für die übrigen Bereiche weiter betrieben. Dies bedingt, dass teilweise neue Fühler parallel zu den alten Fühlern eingebaut werden müssen, da Fühlerwerte für mehrere Bereiche benötigt werden.

Bsp.: Zulufttemperatur Großer Saal wird neben dem Heizregister der Lüftungsanlage auch für die Kälteerzeugung und die Lüftungsanlage KL03 Mozartsaal benötigt.

Durch den modularen Aufbau kann eine stückweise Erweiterung des Systems durch Installation weiterer DDC-Unterstationen und Aufschaltung auf die GLT realisiert werden. Die vorhandenen



Schaltschränke können weiter genutzt werden.

Hierbei sind die Vorgaben der „Leitlinien wirtschaftliches Bauen“ (früher Technische Standards) für den Bereich Mess-, Steuer- und Regelungstechnik des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt zu beachten um einheitliche Oberflächen für eine spätere zentrale GLT für städtische Liegenschaften zu schaffen.

- Die einzelnen DDC-Unterstationen sollen zur Verknüpfung über eine einheitliche, herstellerrunabhängige Schnittstelle verfügen.
- Als Managementebene ist vor Ort ein herstellerrunabhängiges Prozess-Visualisierungssystem (PVS) vorzusehen. Das PVS ersetzt den Leitreechner einer herstellerrunabhängigen GLT.



3.7 Stammdaten der Wasserversorgungsanlagen

Die Wasserversorgung der Alten Oper Frankfurt erfolgt aus dem Versorgungsnetz der Mainova. Für die städtischen Brunnenanlagen auf der Ost- und Westseite des Opernplatzes ist vor dem Hauptzähler ein Abgang mit einer separaten Zählung installiert.

3.7.1 Wasserverbrauchseinrichtungen

Folgende Bereiche werden in der Alten Oper aus dem Trinkwassernetz versorgt:

Trinkwasser⁹

Das als Trinkwasser zu Koch-, Dusch- und Waschzwecken sowie zur Toilettenspülung für die Bereiche „K&K“ und „Gastro“ vorgesehene Trinkwasser wird vor der Nutzung als Rohwasser über zwei Kiesfilter (Fa. Grünbeck 12/20-2 B 3072 , Baujahr 1980, Volumen = 2.500 l) geleitet. Die Rückspülpumpen verfügen über eine Förderleistung von 25 m³/h. Nach Auskunft des technischen Personals der HSG erfolgt alle 3 Monate eine Filtrerrückspülung. Die Dauer beträgt 15 min.

Das Trinkwasser für den Küchenbereich wird zusätzlich noch durch eine zentrale Enthärtungsanlage in der Sprinklerzentrale aufbereitet.

Insgesamt sind in der Alten Oper derzeit 36 WC-Anlagen mit 86 Toiletten und Urinalen installiert, die von Besuchern der Veranstaltungen, Gästen der Gastronomie sowie den Bediensteten der Alten Oper benutzt werden.

In der folgenden Tafel 3.7.1 ist, auf Grundlage der Besucherzahlen und Veranstaltungen, eine Aufteilung des Wasserverbrauchs auf die einzelnen Toilettenbereiche zusammengestellt.

Tafel 3.7.1 Energiekonzept „Alte Oper“ – Aufteilung des Wasserverbrauchs auf die einzelnen Toilettenbereiche

Bereich der Toilettenanlage	Wasserverbrauch in m ³ pro Jahr	Anteil in %
Eingangsbereich E1	1.568	18,0
Pausenfoyer E2	5.607	64,3
Ebene 5 Restaurantbesucher	420	4,8
Ebene 6	750	8,6
Ebene 8 - Rang Olymp	375	4,3
Summe	8.720	

Die höchsten Wasserverbrauchsmengen ergeben sich in den Toilettenanlagen im Eingangsbereich und im Pausenfoyerbereich. In diesen Bereichen ist mit den höchsten Einsparungen bei wassersparende Maßnahmen zu rechnen und sollten demnach vorrangig untersucht werden.

⁹ Bezeichnung Typenschild Sanitärzentrale „Gebrauchswasser“



Technikwasser

Für die Nutzung als Technikwasser (Luftwäscher, Kühlturm) wird das Rohwasser auf 2°dH enthärtet (Enthärtungsanlage Fa. Schweitzer Chemie). Im Anschluss erfolgt für das Kühlturmwasser eine Korrosionsschutz- und Biociddosierung. Für die Bereiche „Luftwäscher“ und „Kühltürme“ sind jeweils separate Wasserzähler installiert.

3.7.2 Druckerhöhungsanlagen

Die Alte Oper Frankfurt verfügt über drei unterschiedliche Druckerhöhungs(DEA)-Systeme, die alle in der Sanitärzentrale E02 untergebracht sind. In der folgenden Tafel sind die wesentlichen technischen Daten und der jährliche Stromverbrauch der einzelnen DEA zusammengefasst.

Tafel 3.7.2 Energiekonzept „Alte Oper“ – Stammdaten und Stromverbrauch der Druckerhöhungsanlagen (DEA)

Funktionsbereich/ Pumpentyp	Volumen- strom in m ³ /h	Pumpen- Zahl	Max. Druck	Elektrische Leistung in kW	Betriebs- Stunden in h/a	Strom- Verbrauch in kWh/a
Feuerlöschsystem						
Grundfos		2	5,5 bar	5,5 kW	219/158	2.070
Technikwasser Luftwäscher / Kühlturm						
Grundfos CP 8-60	9,0	2	6,0 bar	5,5 kW	1.145/1.718	15.875
Trinkwasser						
Grundfos CP8-60	9,0	3	5,5 bar	5,5 kW	1.569/1.250/959	20.775
GESAMT						38.720

Für die installierten Pumpen der Druckerhöhungsanlagen in der Alten Oper werden jährlich 38.720 kWh an Strom verbraucht. Dies entspricht einem Anteil von 0,6 % am Gesamtstromverbrauch der Alten Oper.

Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Wassersparmaßnahmen

Bezüglich des Zustandes der Wasserversorgungseinrichtungen in der Alten Oper kann folgendes festgehalten werden:

- Das Trinkwasser wird derzeit noch über zwei Kiesfilter zur Reinigung geleitet. Es besteht nach Rücksprache mit der Technischen Leitungen sowie der Küchenleitung keine Notwendigkeit für eine Reinigung. Aus diesem Grund sollte die Kiesfilteranlage aus hygienischen Gründen sowie zu Zwecken der Wassereinsparung stillgelegt werden. Die jährliche Wassereinsparung liegt bei rund 25 m³. Diese organisatorische Maßnahme entspricht einer Wasserkostenreduzierung von 115,- EUR/a (**Maßnahme 3.7.I - Organisatorisch**).
- Die Toilettenanlagen im Eingangs- und im Pausenfoyer sind mit Abstand die Bereiche mit den höchsten Wasserverbrauchsmengen. Jedoch ergeben sich keine relevanten Spar-



maßnahmen. Die Armaturen in den Toiletten sind mit Selbstschlussmechanismen (Infrarotsensoren) ausgestattet. Die WCs verfügen über Stopptasten, jedoch sind hierfür entsprechende Benutzerhinweisschilder anzubringen (**Maßnahme 3.7.II – Organisatorisch**).

- Um den Wasserverbrauch für die Toilettenanlagen zu reduzieren, wurde in diesem Jahr zu Testzwecken ein wasserloses Urinal im Nordbereich (Büro/Verwaltung) eingebaut. Da sich das wasserlose Urinal in der Praxis dort bewährt hat, wird der Einbau von drei weiteren Urinalen in den Herren-Toiletten des Büro-/Verwaltungsbereichs empfohlen (**Maßnahme 3.7.III**).
- Der Ausgleichsbehälter der Druckerhöhungsanlage für das Trinkwasser ist defekt. Hier muss die bestehende Anlage in naher Zukunft gegen eine neue DEA mit geregelten Antrieben ausgetauscht werden. Die entsprechende Ausschreibung wird derzeit durch das Hochbauamt der Stadt Frankfurt vorbereitet. Eine Realisierung ist noch in 2005 vorgesehen (**Maßnahme 3.7.IV**).



3.8 Stammdaten der Druckluftversorgung

Die Druckluftversorgung in der Alten Oper für die Steuerung der pneumatischen Antriebe der Brandschutzklappen der Lüftungsanlagen sowie die Regel- und Stellventile der Heizungs-, Kälte- und Lüftungsanlagen erfolgt über drei Kompressoren, wobei zwei Kompressoren in der Grundlast arbeiten und ein Hubkolbenkompressor bei Bedarf (Spitzenlast) automatisch zugeschaltet wird.

Die Kompressoren halten den Druck in einem Druckbehälter (Druckluftpuffer) stets konstant. Zur Entfeuchtung und Wasserausscheidung der Luft ist ein Lufttrockner nachgeschaltet.

In der folgenden Tafel 3.8.1 sind die wichtigsten Daten der Druckluftherzeugungsanlage sowie der entsprechende Jahresstromverbrauch aufgeführt.

Tafel 3.8.1 Energiekonzept „Alte Oper“ – Stammdaten und Stromverbrauch der Druckluftversorgungsanlagen (DEA)

Hersteller/Typ	Druckluftmenge in l/min	Baujahr	Elektrische Leistung in kW	Betriebs- Stunden in h/a	Strom- Verbrauch in kWh/a
Boge B2 Rm	2.200	1980	15,0	Nur für Spitzenlast	1.500
Gardner Denver ES 7-10 EANA	1.000	1999	7,5	2.000	15.000
Boge S8 - 30642	720	1999	5,5	2.000	11.000
Lufttrockner Gardner GDD 0225			0,7	2.000	1.400
GESAMT			28,7		28.900

Der rechnerisch ermittelte Stromverbrauch für die Druckluftversorgungsanlage liegt bei knapp 29.000 kWh/a.

Bewertung des Ist-Zustandes und Vorschläge für mögliche Wassersparmaßnahmen

- Die spezifische Förderleistung der Druckluftversorgungsanlage in der Alten Oper liegt mit **7,6 kW/(m³/min)** im Bereich von guten effizient arbeitenden Druckluftversorgungsanlagen¹⁰, die spezifische Werte von 5,5 bis 7,5 kW/(m³/min) aufweisen. Demnach ist die Anlage als energetisch und technisch in Ordnung zu bewerten.
- Die Wartungs- und Instandhaltungskosten (Undichtigkeiten, geplatzte Schläuche, etc.) für die installierte Druckluftversorgungsanlage sind mit jährlich rund 9.600,- € zwar sehr hoch, aber eine Umrüstung der pneumatischen auf elektrische Antriebe ist zum Beispiel für die Brandschutzklappen sehr aufwendig, da in vielen Bereichen die Decken geöffnet werden müssten, so dass eine Umrüstung als nicht sinnvoll erachtet werden muss.

¹⁰ Vgl. „Effiziente Druckluftsysteme“, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004



4. Wirtschaftlichkeitsberechnung für energiesparende Maßnahmen

4.1 Grundlagen und -daten der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

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

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

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

Bestandteile der Gesamtkostenberechnung sind:

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

Für die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurde von der Stadt Frankfurt ein einheitlicher Kapitalzinssatz von 5,5 % und eine Preissteigerung von 5 % vorgegeben.

$$K_k = \text{Kapitalkosten in €/a}$$
$$= I * a$$

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

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

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

- **Betriebskosten**, die zum einen die verbrauchsgebundenen Kosten, d.h., die Heiz-, Strom und Wasserkosten enthalten. Die **Ökosteuer**, die ab dem 01.04.1999 auf die Energieträger Erdgas und Strom erhoben wird, ist berücksichtigt. Des weiteren werden die Kosten für die Wartung und Instandhaltung sowie Bedienung und Betreuung von technischen Anlagen einbezogen. Zur Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten wurden folgende spezifischen Brutto-Energiepreise (Stand Juli 2005) angesetzt:



Netto-Fernwärmebezugspreis (Thermo-Business D)

Arbeitspreis:	3,83 Ct/kWh
Grundpreis:	
0-100 kW	15,39 €/kW*a
die nächsten 400 kW:	12,83 €/kW*a
> 500 kW:	10,26 €/kW*a

Spezifische Netto-Strompreise (Business HighPower 2 HT/NT)

Hier wird der derzeitige Bezugstarif von der Mainova AG angesetzt.

Arbeitspreis HT-Wirkarbeit

0-700.000 kWh	0,0674 €/kWh
die nächsten 7.000.000 kWh:	0,0600 €/kWh
Arbeitspreis NT-Wirkarbeit:	0,0441 €/kWh
Leistungspreis:	107,16 €/kW*a (Mittelwert aus den drei höchsten Monatsleistungen)
Vertragsrabatt:	6 % auf Wirkarbeits- und Leistungskosten
Stromsteuer:	0,0205 €/kWh
Verrechnungspreis:	1.680,00 €/a

Spezifische Netto-Wasserpreise (AquaClassic)

Hier wird der derzeitige Bezugstarif von der Mainova AG angesetzt.

Wasserpreis	1,88 €/m ³
Abwassergebühr:	1,76 €/m ³

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

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

4.2 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wärmeschutzmaßnahmen

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

Maßnahme 3.2.1 Erneuerung der Dichtungen zwischen Holztüren und Rahmen

Die Kosten für das Anbringen der Dichtungen für rund 17 m² Türenfläche der Personal- und Behinderteneingänge auf der Westseite sowie zur „Opera“-Terrasse liegen inkl. Arbeitslohn bei 220,- €.

Mit einer errechneten Heizenergieeinsparung von 1.620 kWh/a ergibt die Jahresgesamtkostenberechnung, dass sich die untersuchte Optimierungsmaßnahme nach weniger als zwei Jahren amortisiert und sich somit als wirtschaftliche Maßnahme darstellt. Das entsprechende Berechnungsblatt ist in Anhang 4.2.1 dargestellt.



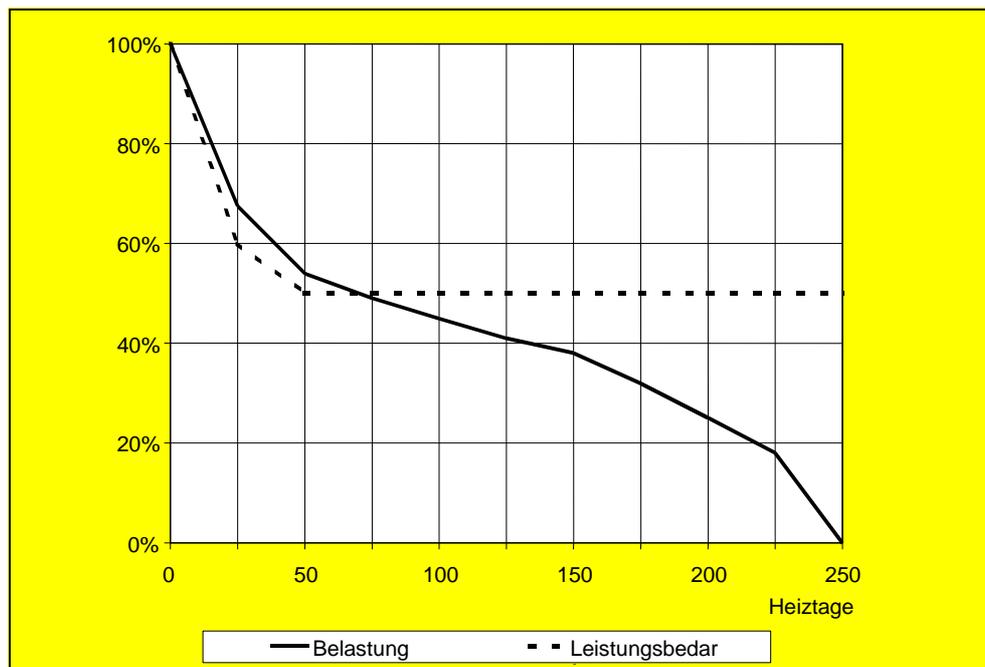
4.3 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeversorgung

4.3.1 Optimierung der Heizungsumwälzpumpen für statische Heizkreise (Maßnahme 3.3.II)

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

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

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



Auf Basis des dargestellten Belastungs- und Leistungsbedarfsverlaufes (vgl. Bild 4.3.1) wurden für die Umwälzpumpen im Ist- und Soll-Zustand Berechnungen zum Leistungsbedarf durchgeführt (vgl. Tafel 4.3.1). Hierbei wurden für die statischen Heizgruppen der Einsatz von Pumpen mit integrierter Differenzdruckregelung und für Lüftungsanlage eine Temperaturdifferenzregelung geprüft.



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

Standort/ Heizkreisbezeichnung	Betriebs- zeit in h/a	Ist-Zustand		Soll-Zustand	
		Stromverbrauch in kWh/a	Leistungsbedarf in kW	Stromverbrauch in kWh/a	Leistungsbedarf in kW
PRIMÄRPUMPEN					
Primärpumpe 1	3.050	9.948	4,00	6.447	3,00
Primärpumpe 2	3.050	9.948	4,00	7.272	3,00
Primärpumpe 3	3.050	9.948	4,00	7.272	3,00
SEKUNDÄRPUMPEN					
Statische Heizung Nord	5.832	732	0,17	385	0,09
Stat. Hzg. Süd + Foyer	5.832	732	0,17	385	0,09
Stat. Hzg. Flur, Treppen Ost	5.832	732	0,17	385	0,09
Stat. Hzg. Flur, Treppen West	5.832	603	0,14	385	0,08
Klima E02 HZ12	4.800	14.640	4,00	6.746	2,91
Klima E06 HZ13	4.800	5.490	1,50	2.069	1,05
FB-Hzg-Cafeteria	5.832	603	0,14	252	0,08
Klima Gastronomie HZ19	4.800	1.354	0,37	926	0,24
Stat. Heizung Gastro	5.832	517	0,12	252	0,08
GESAMT		55.244	18,78	32.777	13,71
Einsparung gegen Ist				22.467	5,07

Durch den Einbau von drehzahlgeregelten Pumpen könnte der jährliche Strombedarf um rund 22.500 kWh vermindert werden. Durch die bedarfsgerechte Auslegung würde der maximale Gesamtleistungsbedarf der Pumpen um 5,1 kW bzw. ca. 27 % verringert.

Investition und Jahreskostenberechnung

Für den Austausch mit Demontage der alten und Montage der elf neuen Pumpen ist mit Kosten in Höhe von netto 38.670,- € (inkl. Baunebenkosten) zu rechnen. Die Mehrkosten für eine notwendige redundante Auslegung für die Versorgungssicherheit durch Installation von Doppelpumpen liegen bei 19.840,- Euro.

In der Tafel 4.3.2 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Heizungsumwälzpumpen in der Alten Oper aufgeführt. (Berechnungsblatt s. Anhang 4.3.1)



Tafel 4.3.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für den Einsatz von drehzahlgeregelten Heizungsumwälzpumpen (Einzel- u. Doppelpumpen)

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierte Umwälzpumpe Einzel	Optimierte Umwälzpumpen Doppel
Investitionskosten	in €		38.670,-	58.510,-
Kapitalkosten	in €/a		3.850,-	5.830,-
Mittlere Betriebskosten				
Instandhaltung/Wartung	in €/a	385,-	385,-	585,-
Stromkosten	in €/a	6.070,-	3.760,-	4.090,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	6.455,-	4.145,-	4.675,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	9.295,-	5.970,-	6.730,-
Umweltfolgekosten				
CO ₂ -Emissionen	in €/a	1.880,-	1.115,-	1.215,-
Gesamtkosten	in €/a	11.170,-	10.935,-	13.775,-
Amortisationszeit				
Basis Ist-Zustand	in a		13,7	Keine

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch den Einbau von drehzahlgeregelten Heizungs-Umwälzpumpen im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand um jährlich 235,- € gesenkt werden können. Diese Maßnahme ist aus energetischen Gründen zu empfehlen. Da die Amortisationszeit innerhalb der technischen Nutzungsdauer der Pumpen liegt kann auch eine Empfehlung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen.

Die Mehrkosten für eine notwendige redundante Auslegung durch Installation von Doppelpumpen kann nicht durch die Betriebs- und Umweltfolgekosteneinsparung ausgeglichen werden, so dass diese Kosten unter „Bauerhaltung / Betriebssicherheit“ laufen müssen.

4.3.2 Optimierung der WRG-Umwälzpumpen des Kreislaufverbundsystems (Maßnahme 3.3.III)

Wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, sollte im Kreislaufverbundsystem zur Wärmerückgewinnung eine neue Pumpe mit verminderter elektrischer Leistung sowie einer Differenztemperaturregelung (Pumpenregelung oder durch die DDC) vorgesehen werden. Durch den Austausch kann der jährliche Strombedarf um rund 16.300 kWh und die elektrische Anschlussleistung um 4,70 kW (31 %) reduziert werden.

In der folgenden Tafel 4.3.3 sind die Ergebnisse der Jahreskostenberechnung zusammengestellt (Berechnungsblatt s. Anhang 4.3.2).



Tafel 4.3.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für den Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen im WRG- System(Einzel- u. Doppelpumpen)

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierte WRG-Pumpen Einzel	Optimierte WRG-Pumpen Doppel
Investitionskosten	in €		19.500,-	27.000,-
Kapitalkosten	in €/a		1.945,-	2.690,-
Mittlere Betriebskosten				
Instandhaltung/Wartung	in €/a	195,-	195,-	270,-
Stromkosten	in €/a	4.795,-	3.090,-	3.130,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	4.990,-	3.285,-	3.400,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	7.175,-	4.725,-	4.895,-
Umweltfolgekosten				
CO ₂ -Emissionen	in €/a	1.475,-	920,-	935,-
Gesamtkosten	in €/a	8.660,-	7.590,-	8.515,-
Amortisationszeit				
Basis Ist-Zustand	in a		8,2	13,9

Aus der Jahresgesamtkostenberechnung ergibt sich, dass sich die untersuchte Optimierungsmaßnahme für eine Einzelpumpenaustausch nach 8,2 Jahren und für einen Doppelpumpenaustausch nach knapp 14 Jahren amortisiert und sich somit als wirtschaftliche Maßnahme darstellt.



4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an den Lüftungs- und Klimaanlageanlagen

4.4.1 Optimierung der Lüftungsanlagen KL 01 – KL03 durch Erneuerung der Ventilatoren und Motoren (Maßnahme 3.4.I)

Die Zu- und Abluftanlagen „KL02 Großer Saal“ und „KL 03 Mozart Saal“ mit den höchsten Stromverbrauchswerten werden mit neuen optimierten Radialventilatoren mit höheren Wirkungsgraden ausgestattet, die somit eine geringere Motorantriebsleistung benötigen.

Des Weiteren werden die Ventilator-/Motoreinheiten der Anlagen „KL01 – Außenluftaufbereitung“, „KL02 - Großer Saal“ und „KL 03 - Mozart Saal“ mit Frequenzumrichtern für einen lastabhängigen Betrieb ausgerüstet.

Berechnung der Energieeinsparung

Durch die oben beschriebene Maßnahme kann sowohl der Stromleistungsbedarf als auch der Jahresstromverbrauch vermindert werden. Jedoch ergibt sich ein zusätzlicher Heizwärmebedarf für die KL02 und KL03 in der Heizperiode, da ein Teil der Motor- und Ventilatorabwärme entfällt. Dem steht eine Reduzierung des notwendigen Kühlbedarfs in den Sommermonaten gegenüber.

Die Energiebilanzen werden auf Basis der Ist- und Soll-Leistungsdaten der Ventilatormotoren sowie der jährlichen Laufzeiten der Anlagen im Vollastbetrieb, unter Berücksichtigung der Abschaltzeiten, errechnet und sind in der folgenden Tafel 4.4.1 dargestellt.

Tafel 4.4.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Energiebilanz für RLT-Anlagen KL01-KL03 für Ist-Zustand und nach der Optimierung von Ventilatoren und Motoren

Bereich		Ist-Zustand	Optimierung KL01-KL03	Einsparung
Strombedarf Lüftung	in kWh/a	1.317.760	861.030	465.730
Strombedarf Kühlung	in kWh/a	112.580	84.035	28.545
Stromleistungsbedarf	in kW	351,5	278,0	73,5
Stromkosten	in €/a	142.520,-	98.395,-	44.125,-
Heizwärmebedarf	in kWh/a	484.055	876.240	-392.185
Fernwärmekosten	in €/a	18.065,-	35.325,-	-17.260,-

Durch die untersuchte Maßnahme könnte der Jahresstrombedarf um ca. 494.300 kWh und der Stromleistungsbedarf um 73 kW vermindert werden. Dem steht ein Mehrbedarf an Heizwärme von rund 392.200 kWh/a gegenüber.

Insgesamt könnte durch die Realisierung der Maßnahme, bei derzeitigen Energiepreisen, eine Jahresenergiekosteneinsparung von **26.865,- €** erzielt werden.

Investitionen und Jahreskostenberechnung

Für den Austausch mit Demontage der alten und Montage der neuen Ventilatoren und Motoren sowie dem Einbau von Frequenzumformern ist mit den in Tafel 4.4.2. zusammengestellten Investitionskosten zu rechnen:



Tafel 4.4.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionskosten für die Optimierung der Lüftungsanlagen KL01 - KL03

Bereich		Nettokosten
Ventilatoren	in €	28.500,-
Motoren / Riemenantrieb	in €	11.700,-
Zubehör	in €	14.700,-
Frequenzumrichter	in €	61.300,-
Regelung	in €	29.000,-
Montagekosten	in €	28.500,-
Demontagekosten / Herrichten der Kammer	in €	9.000,-
Gesamtkosten	in €	182.700,-
Baunebenkosten	in €	27.400,-
Netto-Gesamtkosten	in €	210.100,-
<i>Zuschuss 20 % d. förderfähigen Kosten</i>	<i>in €</i>	<i>42.020,-</i>
Verbleibende Netto-Investition	in €	168.080,-

Durch die Förderung der beschriebenen Maßnahme im Rahmen des Landesprogramms „Stromeffizienz.Komm“ reduzieren sich die Investitionskosten auf Netto knapp 168.100,- €.

In der Tafel 4.4.3 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung gemäß dem Arbeitsblatt des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt Abteilung Energiemanagement für die Optimierung der Lüftungsanlagen KL01 bis KL03 in der Alten Oper Frankfurt aufgeführt (vgl. Anhang 4.4.1).

Tafel 4.4.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Lüftungsanlagen KL01, KL02 und KL03

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierung RLT-Anlage KL01 - KL03
Investitionskosten nach Abzug der Förderung	in €		168.080,-
Kapitalkosten	in €/a		16.745,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	3.150,-	3.150,-
Heizkosten	in €/a	18.065,-	35.325,-
Stromkosten	in €/a	142.520,-	98.395,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	163.735,-	136.870,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	235.610,-	196.955,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	1.061,6	826,7
Umweltfolgekosten durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	53.080,-	41.315,-
Gesamtkosten	in €/a	288.690,-	255.015,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		3,8



Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch den Einbau von optimierten Ventilatoren und Motoren in die Lüftungsanlagen „KL02 – Großer Saal“ und „KL03 – Mozart Saal“ sowie Frequenzumformer in die Lüftungsanlagen „KL01 – Außenluftaufbereitung“ und KL02/KL03 im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand, unter Berücksichtigung einer Förderung der Maßnahme mit rund 42.000,- € durch das Land Hessen, um jährlich 33.675,- € niedriger liegen. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen und sollte umgehend realisiert werden.

4.4.2 Einbau eines WRG-Systems in die Lüftungsanlage „KL 47 - Verwaltung Nordflügel E1/E5“ (Maßnahme 3.4.II)

Für die in Abschnitt 3.4.5 beschriebene Optimierungsmaßnahme für die Lüftungsanlage KL47 wird im folgenden Abschnitt eine Gesamtkostenberechnung durchgeführt, um die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme darstellen zu können.

Berechnung der Energieeinsparung

Bei der Berechnung der Energieeinsparung bzw. Energiekostenreduzierung ist zu berücksichtigen, dass wegen der Druckverluste der Wärmeaustauscher und wegen der Umwälzpumpe ein zusätzlicher Strombedarf für das WRG-System entsteht.

Für das WRG-System wird von einer Rückwärmezahl von 40 % ausgegangen. Die Betriebszeit der Lüftungsanlage KL 47 liegt bei jährlich 5.600 Stunden.

In der folgenden Tafel 4.4.4 ist die entsprechende Energiebilanz für den Ist-Zustand und die Optimierungsvariante gegenübergestellt.

Tafel 4.4.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Energiebilanz der KL 47 für Ist-Zustand und WRG-Variante

Bereich		Ist-Zustand	WRG-Variante	Einsparung
Heizwärmebedarf	in kWh/a	285.760	178.245	107.515
Fernwärmekosten	in €/a	11.520,-	7.185,-	4.335,-
Strombedarf	in kWh/a	43.410	51.385	7.975
Stromkosten	in €/a	3.495,-	4.135,-	-640,-

Durch den Einbau eines Kreislaufverbundsystems in die Lüftungsanlage KL 47 können die jährlichen Energiekosten um rund 3.800,- Euro/a reduziert werden.

Investitionen und Jahreskostenberechnung

Für den Einbau des WRG-Systems ist mit den in Tafel 4.4.5 zusammengestellten Investitionskosten zu rechnen.



Tafel 4.4.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionskosten für das WRG-System in der KL47

Bereich		Nettokosten
WRG-System inkl. Wärmetauscher, Pumpe, Rohrleitungen und Zubehör	in €	16.400,-
Demontage-/Montagearbeiten Kanäle	in €	2.500,-
Regelung	in €	3.500,-
Baunebenkosten	in €	4.500,-
Netto-Gesamtkosten	in €	26.900,-

Die Ergebnisse der Jahreskostenberechnung für den Einbau des WRG-Systems in die KL47 sind in der Tafel 4.4.6 zusammengestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt ist im Anhang 4.4.2 enthalten. Bei der Jahreskostenberechnung muss berücksichtigt werden, dass sich für das WRG-System ein zusätzlicher Wartungs- und Instandhaltungsaufwand ergibt.

Tafel 4.4.6 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für den Einbau eines WRG-Systems in die KL47

Maßnahme		Ist-Zustand	WRG-Variante
Investitionskosten	in €		26.900,-
Kapitalkosten	in €/a		2.250,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a		540,-
Heizkosten	in €/a	11.520,-	7.190,-
Stromkosten	in €/a	3.495,-	4.140,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	15.015,-	11.870,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	23.915,-	18.890,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	101,7	80,0
Umweltfolgekosten durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	5.085,-	4.000,-
Gesamtkosten	in €/a	29.000,-	25.140,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		5,2

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch den Einbau einer WRG-Anlage im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand um jährlich 3.860,- € gesenkt werden können, woraus sich eine Amortisationszeit von 5,2 Jahren errechnet. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen und sollte realisiert werden.



4.4.3 Wegschalten der Lüftungsanlage „KL 47 Verwaltung Nordflügel E1/E5“ im Tagbetrieb (Maßnahme 3.4.III)

Die Reduzierung der Betriebszeiten der Lüftungsanlage KL 47 außerhalb der Nutzungszeit der Künstlerumkleiden (7.00 Uhr bis 9.00 Uhr, 12.00 Uhr bis 13.30 Uhr und 16.00 Uhr bis 23.00 Uhr) stellt eine rein organisatorische Maßnahme dar, die vom Betriebspersonal der Alten Oper umgesetzt werden kann, für die keine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchgeführt wird.

Durch die Realisierung dieser Maßnahme können jährlich knapp 61.000 kWh an Fernwärme und 8.450 kWh an Strom eingespart werden. Dies entspricht einer Reduzierung der jährlichen Energiekosten um rund 3.150,- € und sollte demnach umgehend realisiert werden.

Berücksichtigt werden muss, dass sich die Maßnahmen 3.4.II und 3.4.III überschneiden. Durch die kurzfristige Umsetzung der Maßnahme 3.4.III mit kürzeren Laufzeiten der Lüftungsanlage, ergibt sich bei einer Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme 3.4.II. mit einer Amortisationszeit von 6,5 Jahren.



4.5 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an den Kälteversorgungsanlagen

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

Für die Maßnahme 3.5.I „Optimierung der Sekundär-Kaltwasserumwälzpumpen“ durch den Einbau von zwei elektronisch drehzahlgesteuerten Umwälzpumpen wurden entsprechend der Variante 3.3.I „Optimierung der Heizungsumwälzpumpen“ die Investitionskosten, die Stromeinsparung und Stromkostenreduzierung ermittelt und eine Jahreskostenberechnung erstellt. Hierbei wurde zwischen dem Einbau einer Einzel- und einer Doppelpumpe (Redundante Auslegung zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit) unterschieden.

Die Ergebnisse sind in der Tafel 4.5.1 zusammengestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt ist im Anhang 4.5.1 enthalten.

Tafel 4.5.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenrechnung für die Optimierung der Kaltwasser-Sekundärumwälzpumpen

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierung	
			KW-Einzelpumpe	KW-Doppelpumpe
Strombedarf	in kWh/a	57.765	50.370	51.105
	in kW	104,9	102,0	104,5
Investitionskosten	in €		16.350,-	19.960,-
Kapitalkosten	in €/a		1.630,-	1.990,-
Mittlere Betriebskosten				
Wartung/Instandhaltung	in €/a	165,-	165,-	200,-
Stromkosten	in €/a	14.945,-	14.080,-	14.380,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	15.110,-	14.245,-	14.580,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	21.735,-	20.495,-	20.975,-
Umweltfolgekosten				
CO ₂ -Emissionen	in €/a	1.965,-	1.710,-	1.750,-
Gesamtkosten	in €/a	23.700,-	23.840,-	24.715,-
Amortisationszeit				
Basis Ist-Zustand	in a		17,2	Keine

Für den Austausch durch Doppelpumpen ist mit Nettokosten in Höhe von rund 20.000,- € bzw. 16.500,- € für Einzelpumpen zu rechnen. Unter Berücksichtigung von vermiedenen Strom- und Umweltfolgekosten in Höhe von 1.490,- €/a für Einzelpumpen bzw. 1.170,- €/a bei Doppelpumpen errechnet sich daraus Amortisationszeiten, die außerhalb der durchschnittlichen technischen Nutzungszeit von 15 Jahren liegen. Die Maßnahme ist jedoch aus energetischen Gründen zu empfehlen und sollte im Rahmen der Bauunterhaltung durchgeführt werden.



4.5.2 Optimierung der Kühlturm-Kühlwasserbeheizung (Maßnahme 3.5.II)

Im folgenden Abschnitt wird für die in Abschnitt 3.5.1 beschriebene Änderung der Kühlturm-Kühlwasserbeheizung für die Kältemaschinen durch Einbau von Motor-Dreiwegeventilen eine Jahreskostenbilanz erstellt.

Der derzeit notwendige Strombedarf für die Erwärmung des Nachspeisewassers (2.125 m³/a) auf eine vorgegebene Kühlwassertemperatur von +25 °C sowie zur Deckung der Verdunstungsverluste durch die elektrische Kühlturmwannebeheizung beträgt 32.120 kWh/a. Daraus errechnen sich Stromkosten in Höhe von jährlich 2.190,- EUR.

Die Kosten für den Einbau von Drei-Wege-Ventilen vor dem Kühlwassereintritt in die Kältemaschinen könnte dieser Strombedarf vermieden werden. Die Kosten für diese Dreiwegeventile (2 x DN 200, 1 x DN 125) liegen inkl. Antriebe sowie der Aufschaltung auf die DDC bei 16.500,- € (inkl. Baunebenkosten).

Die Ergebnisse der Jahreskostenberechnung für die Optimierung der Kühlwasserbeheizung sind in der Tafel 4.5.2 zusammengestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt ist im Anhang 4.5.2 enthalten.

Tafel 4.5.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenrechnung für die Optimierung der Kühlturm-Kühlwasserbeheizung

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierung Kühlwasserbeheizung
Strombedarf	in kWh/a	32.130	1.650
Investitionskosten	in €		16.500,-
Kapitalkosten	in €/a		1.645,-
Mittlere Betriebskosten			
Wartung/Instandhaltung	in €/a		330,-
Stromkosten	in €/a	2.190,-	125,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	2.190,-	455,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	3.155,-	655,-
Umweltfolgekosten			
CO ₂ -Emissionen	in €/a	1.090,-	55,-
Gesamtkosten	in €/a	4.245,-	2.355,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		5,5

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch den Einbau von Motor-Dreiwegeventilen in die Kühlwasserkreisläufe der Kühltürme, im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand, um jährlich 1.890,- € gesenkt werden können, woraus sich eine Amortisationszeit von unter 6 Jahren für die untersuchte Maßnahme ergibt. Diese Maßnahme ist somit aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen.



4.6 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Optimierungsmaßnahmen an Elektroanlagen und Regelungstechnik

4.6.1 Erneuerung der Blindstromkompensationsanlage (Maßnahme 3.6.I)

Da die installierte Blindstromkompensationsanlage in der Alten Oper nicht ausreichend arbeitet, fallen jährlich rund 2.000,- EUR an Blindstrombezugskosten an. Die Kosten für die Erweiterung der Anlage liegen bei ca. 7.200,- EUR bzw. jährlichen Kapitalkosten in Höhe von 720,- €.

Daraus errechnet sich eine Amortisationszeit von 2,9 Jahren für die Maßnahme (s. Berechnungsblatt Anhang 4.6.1). Diese stellt zwar keine Energiesparmaßnahme dar ist aber aus wirtschaftlichen Gründen umgehend zu realisieren.

4.6.2 Einbau von Leuchtstofflampen mit ESG (Maßnahme 3.6.IIa-3.6.IIc)

In der Alten Oper sind rund 2.500 Leuchtstofflampen (vgl. Abschnitt 3.6.2) mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) und unterschiedlicher Einschaltdauer installiert. Diese sollten gegen Leuchten mit EVG (sogenannte T5-Leuchten) und einer besserer Lichtausbeute ausgetauscht werden. In den Fluren des Nordtrakt wurden im Rahmen der Flursanierung bereits 52 Stück ausgetauscht.

Da die Wirtschaftlichkeit dieser Optimierungsmaßnahme maßgeblich von der Einschaltdauer der jeweiligen Leuchte abhängt, wurden die Leuchtstofflampen (LL) in drei Bereiche mit unterschiedlichen Betriebszeiten eingeteilt. Aufgrund der besseren Lichtausbeute sowie einer Überdimensionierung der installierten Beleuchtungsstärke wurde die Anzahl der Leuchten in den Optimierungsvarianten dem tatsächlichen Bedarf angepasst. Die Zuordnung der einzelnen Leuchten/Räume in die jeweilige Maßnahme ist in Anhang 4.6.2a zusammengestellt.

In der folgenden Tafel 4.6.1 sind die Ergebnisse der Energiebilanz für den Istzustand und die drei Optimierungsvarianten dargestellt.

Tafel 4.6.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Energiebilanz für den Einbau von Leuchtstofflampen mit ESG

Maßnahme / Einschaltdauer	Anzahl Leuchten Ist / Soll	Ist (LL m. KVG)		Soll (LL m. EVG)		Einsparung gegen Ist	
		Strombedarf in kWh/a	Leistung in kW	Strombedarf in kWh/a	Leistung in kW	Strombedarf in kWh/a	Leistung in kW
a) LL > 3.000 h/a	366 / 232	138.120	12,9	45.980	4,5	92.140	8,4
b) LL 2.000-3.000 h/a	488 / 318	83.460	17,0	29.740	6,2	53.720	10,8
c) LL 1.000-2.000 h/a	616 / 378	63.620	26,2	21.450	8,9	42.170	17,3

Durch den Austausch der Leuchtstofflampen mit KVG gegen Leuchtstofflampen mit ESG kann der jährliche Strombedarf um 188.000 kWh und die elektrische Anschlussleistung um 36,5 kW reduziert werden.



Die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für die einzelnen Varianten sind in Tafel 4.6.2 aufgeführt, das gesamte Berechnungsblatt befindet sich im Anhang 4.6.2b bis 4.6.2d.

Tafel 4.6.2 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenrechnung für den Einbau von LL mit ESG für die einzelnen Varianten

Maßnahme		a) LL > 3000 h/a		b) LL 2.000 – 3.000 h/a		c) LL 1.000 - 2000 h/a	
		IST-Zustand	Optimierung	IST-Zustand	Optimierung	IST-Zustand	Optimierung
Leuchten		Ist – KVG	Neu mit EVG	Ist – KVG	Neu mit EVG	Ist – KVG	Neu mit EVG
Investitionskosten	in €		42.760,-		83.315,-		96.735,-
Kapitalkosten	in €/a		4.260,-		8.300,-		9.635,-
Mittlere Betriebskosten							
Wartung/Instandhaltung	in €/a	7.765,-	4.650,-	5.955,-	3.665,-	4.290,-	2.485,-
Stromkosten	in €/a	10.330,-	3.465,-	7.170,-	2.570,-	6.805,-	2.295,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	18.095,-	8.115,-	13.125,-	6.235,-	11.095,-	4.780,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	26.040,-	11.675,-	18.890,-	8.970,-	15.965,-	6.880,-
Umweltfolgekosten							
CO ₂ -Emissionen	in €/a	3.285,-	1.095,-	2.840,-	1.010,-	2.165,-	730,-
Gesamtkosten	in €/a	29.325,-	17.030,-	21.725,-	18.280,-	18.130,-	17.245,-
Amortisationszeit							
Basis Ist-Zustand	in a		2,9		9,2		13,2

Die Kosten für die Gesamtmaßnahme liegen bei fast 223.000,- Euro. Je nach Betriebszeit der Leuchten erhöht sich die Amortisationszeit von knapp 3 Jahren (mehr als 3.000 h/a) bis auf rund 13 Jahre bei einer Einschaltdauer zwischen 1.000-2.000 h/a. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass die Varianten a) und b) vorrangig zu realisieren sind.

4.6.3 Austausch der Stufenbeleuchtung im Großen Saal und Mozartsaal (Maßnahme 3.6.III)

Um die Betriebssicherheit sicherzustellen, den Strombedarf sowie die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren muss die Stufenbeleuchtung in beiden Sälen erneuert werden.

Berechnung der Energieeinsparung

Die Reduktion des Stromleistungsbedarfs sowie die Verminderung des Jahresstrombedarfs werden auf Basis der Ist- und Soll-Leistungsdaten der Leuchten sowie der jährlichen Betriebszeit der Leuchten errechnet.



Tafel 4.6.3 Energiekonzept „Alte Oper“: Verminderung des Jahresstrombedarfs durch Erneuerung der Stufenbeleuchtung im Großen Saal und im Mozart Saal

Standort/	Anzahl Leuchten	Ist-Zustand		Soll-Zustand	
		Strom- verbrauch in kWh/a	Leistungs- bedarf in kW	Strom- verbrauch in kWh/a	Leistungs- bedarf in kW
Großer Saal	202	17.450	3,03	1.535	0,27
Mozart Saal	62	5.360	0,93	470	0,08
GESAMT	264	22.810	3,96	2.005	0,35
Einsparung gegen Ist				20.805	3,61

Durch die untersuchte Maßnahme könnte der Jahresstrombedarf für die Stufenbeleuchtung um ca. 21.000 kWh und der Stromleistungsbedarf um rund 3,6 kW vermindert werden.

Investitionen und Jahreskostenberechnung

Für den Austausch mit Demontage der alten und Montage der neuen Leuchten ist mit den in Tafel 4.6.4 zusammengestellten Investitionskosten zu rechnen:

Tafel 4.6.4 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionskosten für die Erneuerung der Stufenbeleuchtung im Großen Saal und im Mozart Saal

Bereich		Nettokosten
LED-Platine (3 St. pro Stufenleuchte) mit Glas	in €	3.100,-
Trafos	in €	3.500,-
Montagekosten	in €	16.400,-
Gesamtkosten	in €	23.000,-
Baunebenkosten	in €	3.450,-
Netto-Gesamtkosten	in €	26.450,-
<i>Zuschuss 20 % d. förderfähigen Kosten</i>	<i>in €</i>	<i>5.290,-</i>
Verbleibende Netto-Investition	in €	21.160,-

Durch die Förderung der beschriebenen Maßnahme im Rahmen des Landesprogramms „Stromeffizienz.Komm“ reduzieren sich die Investitionskosten auf netto rund 21.150,- €.

In der Tafel 4.6.5 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung gemäß dem Arbeitsblatt des Hochbauamtes der Frankfurt Abteilung Energiemanagement (s. Anhang 4.6.3) für die Erneuerung der Stufenbeleuchtung im Gossen Saal und im Mozart Saal der Alten Oper Frankfurt aufgeführt.



Tafel 4.6.5 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für die Erneuerung der Stufenbeleuchtung im Großen Saal und im Mozart Saal

Maßnahme		Ist-Zustand	Erneuerung Stufenbeleuchtung
Investitionskosten nach Abzug der Förderung	in €		21.160,-
Kapitalkosten	in €/a		2.110,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	17.690,-	1.000,-
Stromkosten	in €/a	1.955,-	175,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	19.645,-	1.175,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	28.270,-	1.685,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	15,5	1,4
Umweltfolgekosten			
Durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	775,-	70,-
Gesamtkosten	in €/a	29.045,-	3.865,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		0,8

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch die Erneuerung der Stufenbeleuchtung im Großen Saal und dem Mozart Saal im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand, unter Berücksichtigung einer Förderung der Maßnahme mit rund 5.300,- € durch das Land Hessen, um jährlich fast 25.200,- € gesenkt werden können. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen und sollte aus Gründen der Betriebssicherheit umgehend realisiert werden.

4.6.4 Austausch Glühlampen-Sicherheitsleuchten gegen Energiesparlampen (Maßnahme 3.6.IV)

Um den Stromeinsatz zu vermindern und um die Wartungs- und Instandhaltungskosten zu reduzieren, werden die Sicherheitsleuchten (ca. 490 St. Allgebrauchsglühlampen) durch 3 Watt Sockel E14-Energiesparlampen, mit gleicher Lichtausbeute, ersetzt. Die Lebensdauer verlängert sich, gegenüber den herkömmlichen Glühlampen, von 1.000 Stunden auf 12.000 Stunden.

Berechnung der Energieeinsparung

Die Reduktion des Stromleistungsbedarfs sowie die Verminderung des Jahresstrombedarfs werden auf Basis der Ist- und Soll-Leistungsdaten der Leuchten sowie der jährlichen Betriebszeit der Leuchten errechnet.



Tafel 4.6.6 Energiekonzept „Alte Oper“: Verminderung des Jahresstrombedarfs durch Erneuerung der Sicherheitsleuchten

Bereich	Anzahl Leuchten	Ist-Zustand		Soll-Zustand	
		Strom- Verbrauch in kWh/a	Leistungs- bedarf in kW	Strom Verbrauch in kWh/a	Leistungs- bedarf in kW
		Hauptnutzflächenbeleuchtung	10	480	0,15
Verkehrsflächenbeleuchtung	318	16.790	4,77	5.596	1,59
Nebennutzfläche – Arbeits- platzbeleuchtung	27	1.036	0,41	346	0,14
Nebennutzfläche – Raumbel- leuchtung	97	3.725	1,46	1.242	0,49
Funktionsfläche – Arbeitsplatz- beleuchtung	18	778	0,27	259	0,09
Funktionsfläche – Raumbel- leuchtung	18	778	0,27	259	0,09
GESAMT	488	23.587	7.33	7.862	2.45
Einsparung gegen Ist				15.725	4.88

Durch die untersuchte Maßnahme könnte der Jahresstrombedarf für die Notbeleuchtung um 15.725 kWh und der Stromleistungsbedarf um rund 4,9 kW vermindert werden.

Investitionen und Jahreskostenberechnung

Für den Austausch mit Demontage der alten und Montage der neuen Leuchten ist mit den in Tafel 4.6.7 zusammengestellten Investitionskosten zu rechnen:

Tafel 4.6.7 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionskosten für die Erneuerung der Sicherheitsbeleuchtung

Bereich		Nettokosten
Kosten für Leuchten und Austausch	in €	7.320,-
Baunebenkosten	in €	1.100,-
Netto-Gesamtkosten	in €	8.420,-
<i>Zuschuss 20 % d. förderfähigen Kosten</i>	<i>in €</i>	<i>1.685,-</i>
Verbleibende Netto-Investition	in €	6.735,-

Durch die Förderung der beschriebenen Maßnahme im Rahmen des Landesprogramms „Stromeffizienz.Komm“ reduzieren sich die Investitionskosten auf Netto rund 6.750,- €.



In der Tafel 4.6.8 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung gemäß dem Arbeitsblatt des Hochbauamtes der Frankfurt Abteilung Energiemanagement für die Erneuerung der Sicherheitsbeleuchtung in der Alten Oper Frankfurt aufgeführt (s. Anhang 4.6.4).

Tafel 4.6.8 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für die Erneuerung der Sicherheitsleuchten

Maßnahme		Ist-Zustand	Erneuerung Sicherheitsbeleuchtung
Investitionskosten nach Abzug der Förderung	in €		6.735,-
Kapitalkosten	in €/a		670,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	2.965,-	745,-
Stromkosten	in €/a	2.345,-	780,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	5.310,-	1.530,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	7.640,-	2.195,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	16,0	5,4
Umweltfolgekosten			
Durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	805,-	265,-
Gesamtkosten	in €/a	8.445,-	3.135,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		1,2

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch die Erneuerung der Notbeleuchtung im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand, unter Berücksichtigung einer Förderung der Maßnahme mit rund 1.700,- € durch das Land Hessen, um jährlich 5.300,- € gesenkt werden können. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen und sollte aus Gründen der Betriebssicherheit umgehend realisiert werden.

4.6.5 Optimierung der Lichtsteuerung (Maßnahme 3.6.V)

Um eine optimierte Lichtsteuerung in der Alten Oper zu erreichen, ist eine Änderung der Beleuchtungsschaltung auf Einzelschaltung der Bereiche vorzusehen. Die Schaltung erfolgt durch die Installation eines EIB-Bussystems. Zu den Unterverteilungen in den Ebenen 1 und 2 werden M-Busleitungen verlegt, in der Pforte ein PC zum Schalten der einzelnen Bereiche installiert und vor Ort separate Schalter und Bedientableaus zum Steuern der Beleuchtung in der jeweiligen Ebene eingebaut.

Berechnung der Energieeinsparung

Die Reduktion des Jahresstrombedarfs durch die Installation einer Lichtsteuerungsanlage in der Alten Oper Frankfurt wird auf Basis der jährlichen Ist- und Soll-Betriebszeiten der Leuchten in den Ebenen 1 und 2 errechnet.



Tafel 4.6.9 Energiekonzept „Alte Oper“: Verminderung des Jahresstrombedarfs durch Optimierung der Lichtsteuerung in den Ebenen 1 und 2

Standort	Installierte Leuchtenleistung in kW	Ist-Zustand		Soll-Zustand	
		Durchschnittl. Betriebszeit in h/a	Strom- verbrauch in kWh/a	Durchschnittl. Betriebszeit in h/a	Strom- Verbrauch in kWh/a
Ebene 1	11,48	2.455	28.189	1.351	15.504
Ebene 2	14,04	2.240	31.456	1.232	17.301
GESAMT	25.52		59.645		32.805
Finsparung gegen Ist					26.805

Durch die untersuchte Maßnahme könnte der Jahresstrombedarf für die Beleuchtung in den Ebenen 1 und 2 um ca. 26.800 kWh vermindert werden.

Investitionen und Jahreskostenberechnung

Für die beschriebene Lichtsteueranlage ist mit den in Tafel 4.6.10 zusammengestellten Investitionskosten zu rechnen:

Tafel 4.6.10 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionskosten für die Optimierung der Lichtsteueranlage in den Ebenen 1 und 2

Bereich		Nettokosten
Zentrale Anlagenteile (PC, Software, Spannungsversorgung)	in €	28.000,-
Umbau der beiden Ebenen 1 und 2	in €	78.000,-
Gesamtkosten	in €	106.000,-
Baunebenkosten	in €	15.900,-
Netto-Gesamtkosten	in €	121.900,-
<i>Zuschuss 20 % d. förderfähigen Kosten</i>	<i>in €</i>	<i>24.380,-</i>
Verbleibende Netto-Investition	in €	97.520,-

Durch die Förderung der beschriebenen Maßnahme im Rahmen des Landesprogramms „Stromeffizienz.Komm“ reduzieren sich die Investitionskosten auf Netto rund 97.500,- €.

In der Tafel 4.6.11 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung gemäß dem Arbeitsblatt des Hochbauamtes der Frankfurt Abteilung Energiemanagement für die Optimierung der Lichtsteueranlage aufgeführt (vgl. Anhang 4.6.5).



Tafel 4.6.11 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für die Optimierung der Lichtsteueranlage in den Ebenen 1 und 2

Maßnahme		Ist-Zustand	Optimierung Lichtsteuerung
Investitionskosten nach Abzug der Förderung	in €		97.520,-
Kapitalkosten	in €/a		9.715,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	12.500,-	6.875,-
Stromkosten	in €/a	6.640,-	4.425,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	19.140,-	11.300,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	27.540,-	16.255,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	40,6	22,3
Umweltfolgekosten durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	2.030,-	1.115,-
Gesamtkosten	in €/a	29.565,-	27.090,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		10,8

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch die Optimierung der Lichtsteuerung in den Ebenen 1 und 2 im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand, unter Berücksichtigung einer Förderung der Maßnahme mit rund 24.400,- € durch das Land Hessen, um jährlich rund 2.500,- € gesenkt werden können, woraus sich eine Amortisationszeit von rund 11 Jahren ergibt. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen.

4.6.6 Einbau von dimmbaren Energiesparlampen in den Büros - Nordseite (Maßnahme 3.6.VI)

80 dimmbare Glühlampen (60 W) in den Büros auf der Nordseite werden durch neue dimmbare Energiesparlampen (ESL) mit 11 Watt Leistung ersetzt. Diese haben eine bessere Energieausnutzung sowie eine längere Lebensdauer gegenüber den herkömmlichen Glühlampen.

Berechnung der Energieeinsparung

Die Reduktion des Stromleistungsbedarfs sowie die Verminderung des Jahresstrombedarfs werden auf Basis der Ist- und Soll-Leistungsdaten der Leuchten sowie der jährlichen Betriebszeit der Leuchten errechnet.



Tafel 4.6.12 Energiekonzept „Alte Oper“: Verminderung des Jahresstrombedarfs durch den Einbau von dimmbaren Energiesparlampen in den Bürobereichen Nord

Bereich	Anzahl Leuchten	Ist-Zustand		Soll-Zustand	
		Strom- Verbrauch in kWh/a	Leistungs- bedarf in kW	Strom Verbrauch In kWh/a	Leistungs- bedarf in kW
		Ebene 2	12	1.986	0,34
Ebene 3	29	3.723	0,81	731	0,32
Ebene 4	36	4.161	1,00	827	0,40
Ebene 5	3	394	0,09	72	0,03
GESAMT	80	10.264	2.24	2.016	0.88
Einsparung gegen Ist				8.248	1.36

Durch die untersuchte Maßnahme könnte der Jahresstrombedarf für die Beleuchtung in den Büros auf der Nordseite um 8.250 kWh und der Stromleistungsbedarf um rund 1,4 kW vermindert werden.

Investitionen und Jahreskostenberechnung

Für den Austausch der Glühlampen gegen dimmbare ESL in den Büros ist mit den in Tafel 4.6.13 zusammengestellten Investitionskosten zu rechnen:

Tafel 4.6.13 Energiekonzept „Alte Oper“: Zusammenstellung der Investitionskosten für den Einbau von dimmbaren ESL in den Büros auf der Nordseite

Bereich		Nettokosten
Kosten für Leuchten und Austausch	in €	2.000,-
Baunebenkosten	in €	420,-
Netto-Gesamtkosten	in €	2.420,-

Eine Förderung der beschriebenen Maßnahme im Rahmen des Landesprogramms „Stromeffizienz.Komm“ ist nicht möglich, so dass von Netto-Investitionskosten in Höhe von rund 2.400,- € ausgegangen werden muss.

In der Tafel 4.6.14 sind die Ergebnisse der Gesamtkostenberechnung für den Einbau von dimmbaren ESL in den Büros aufgeführt (s. Anhang 4.6.6).



Tafel 4.6.14 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenberechnung für den Einbau von dimmbaren ESL in den Büros auf der Nordseite

Maßnahme		Ist-Zustand	Erneuerung Sicherheitsbeleuchtung
Investitionskosten	in €		2.420,-
Kapitalkosten	in €/a		240,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	360,-	225,-
Stromkosten	in €/a	715,-	140,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	1.075,-	365,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	1.550,-	525,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	4,9	1,0
Umweltfolgekosten			
Durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	245,-	50,-
Gesamtkosten	in €/a	1.795,-	815,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		2,2

Die Berechnungen zeigen, dass die Gesamtkosten durch die Erneuerung der Bürobeleuchtung im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand um jährlich knapp 1.000,- € gesenkt werden können. Diese Maßnahme ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen und sollte umgehend realisiert werden.

4.6.7 Erneuerung der DDC-Unterstationen und GLT-Anlage (Maßnahme 3.6.VII)

Im Folgenden wird die Erneuerung der vorhandenen MSR-Regelung in der Alten Oper sowie die Realisierung eines effektiven Gebäudemanagements durch das Aufschalten der DDC-Unterstationen für die Lüftungsanlage KL02 auf eine GLT untersucht und bewertet.

Investitionskosten

In Tafel 4.6.15 ist die Kostenschätzung für die notwendigen Investitionen zum Erneuern und Aufschalten der DDC-Anlagen für die KL02 (Großer Saal) sowie einer übergeordneten GLT aufgeführt.



Tafel 4.6.15 Energiekonzept „Alte Oper“: Investitionskosten für Erneuerung der DDC für die KL02 (Großer Saal) und Aufschalten auf die GLT

Kostengruppe		Kosten
1. Erneuerung DDC (6 Unterstationen)		
1.1 Feldgeräte	in EUR	800,-
1.2 DDC-Regelung	in EUR	12.000,-
-----1.3 Dienstleitungen (Projektierung, Umbau Schaltschrank)	in EUR	14.000,-
-----1.4 Sonstiges	in EUR	700,-
2. GLT-System	in EUR	8.500,-
Bau- u. Baunebenkosten (20 %)	in EUR	7.200,-
Netto-Gesamtkosten	in EUR	43.200,-

Die Gesamtkosten für die untersuchte Maßnahme belaufen sich auf ca. 43.000,- €.

Energieeinsparung

Die Energieeinsparung (Heizenergie-, Kälte- und Strombedarfsmengen) durch eine bedarfsgerechte und zeitnahe Schaltung der Lüftungsanlage KL02 durch die neue DDC-Anlage sowie einer Überwachung und Optimierung der Betriebsweise durch die übergeordnete GLT ist in der folgenden Tafel 4.6.16 zusammengestellt.

Tafel 4.6.16 Energiekonzept „Alte Oper“: Energiesparung durch Erneuerung der DDC-Station für die KL02 – Großer Saal sowie Einbau einer GLT-Anlage

		Ist-Zustand	Optimierung DDC	Einsparung gegen Ist	
Heizenergiebedarf	in kWh/a	245.944	226.760	19.184	7,8 %
Strombedarf (Ventilatoren)	in kWh/a	273.600	253.901	19.699	7,2 %
Strombedarf für Kälteerzeugung	in kWh/a	73.809	69.233	4.576	6,2 %

Durch die Erneuerung der DDC- und der GLT kann der Heizenergiebedarf für die Lüftungsanlage KL02 um fast 8 % reduziert werden. Der Strombedarf für die Ventilatoren und die Kälteerzeugung kann um rund 24.300 kWh bzw. 7 % verringert werden.

Jahreskostenberechnung

Für die beschriebene Optimierungsmaßnahme wurde eine Jahres-Gesamtkostenrechnung durchgeführt und die Ergebnisse in Tafel 4.6.17 zusammengestellt. Die entsprechende Berechnung ist im Anhang 4.6.7 dargestellt.



Tafel 4.6.17 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenrechnung für die Erneuerung der DDC und Aufschaltung auf die GLT

Maßnahme		Ist-Zustand	Erneuerung DDC für KL02 und GLT
Investitionskosten	In €		43.200,-
Kapitalkosten	in €/a		4.305,-
Mittlere Betriebskosten			
Instandhaltung/Wartung	in €/a	650,-	650,-
Heizkosten	in €/a	9.915,-	9.140,-
Stromkosten	in €/a	26.290,-	24.450,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	36.865,-	34.240,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	53.030,-	49.270,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	290,6	269,9
Umweltfolgekosten durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	14.530,-	13.495,-
Gesamtkosten	in €/a	67.560,-	67.070,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		12,8

Für die Erneuerung der MSR-Technik mit dem gleichzeitigen Umschalten auf die GLT errechnet sich eine Amortisationszeit, die innerhalb der technischen Nutzungszeit der Maßnahme von 15 Jahren liegt. Diese Optimierungsmaßnahme ist demnach aus energetischen und aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen.

Des Weiteren muss die Erneuerung der MSR-Technik in der Alten Oper aus den in Abschnitt 3.6.8 aufgeführten Gründen der Bauerhaltung (Betriebssicherheit) in absehbarer Zeit erfolgen.



4.7 Wirtschaftlichkeitsbewertung von Wassersparmaßnahmen

In Abschnitt 3.7 wurden die Wasserversorgungs- und -verbrauchseinrichtungen in der Alten Oper Frankfurt erfasst und bewertet. In den folgenden Abschnitten werden diese empfohlenen Maßnahmen wirtschaftlich bewertet:

4.7.1 Einbau von wasserlosen Urinalen im Büro-/Verwaltungsbereich (Maßnahme 3.7.III)

Im Büro-/Verwaltungsbereich werden vier bestehende Urinale durch wasserlose Urinale ersetzt. Eine Umrüstung ist ohne größeren Aufwand machbar, ein Trinkwasseranschluss wird nicht mehr benötigt.

Trinkwasser- und Kostenersparnis

Für wasserführenden Urinale im Nordtrakt errechnet sich derzeit folgender jährlicher Trinkwasserverbrauch:

- Personenzahl: 50 P
- Spülmenge pro Urinal: 2,5 l/Sp.
- Spülhäufigkeit: 0,5 Sp./P*d
- Nutztage: 260 d/a

- **Trinkwasserverbrauch:** $50 \text{ P} \times 2,5 \text{ l/p} \times 0,5 \text{ Sp./P*d} \times 260 \text{ d/a} = 16.250 \text{ l/a}$

Der Trinkwasserverbrauch für die Urinale im Nordtrakt liegt bei derzeit rund $16 \text{ m}^3/\text{a}$. Daraus errechnen sich, bei spezifischen Kosten von $3,63 \text{ €/m}^3$, jährliche Trinkwasserkosten in Höhe von 59 Euro.

Investition und Gesamtkostenberechnung (vgl. Berechnungsblatt im Anhang 4.7.1)

Für den Einbau der vier Trockenurinale muss mit Kosten in Höhe von 2.350,- Euro gerechnet werden, woraus sich jährliche Kapitalkosten in Höhe von 195,- Euro ergeben. Dem stehen Trinkwasser- und Umweltfolgekosteneinsparungen in Höhe von knapp 100,- Euro/a gegenüber. Daraus errechnet sich keine Wirtschaftlichkeit für die untersuchte Maßnahme. Aus Gründen der Reduzierung des Wasserbedarfs sollte diese Maßnahme jedoch realisiert werden.

4.7.2 Erneuerung der Druckerhöhungsanlage (DEA) für Trinkwasser (Maßnahme 3.7.IV)

Die DEA für den Trinkwasserbereich in der Alten Oper ist defekt und muss in naher Zukunft durch eine neue, elektronisch drehzahlgeregelte DEA ersetzt werden. Die Kosten hierfür belaufen sich auf 19.700,- Euro. Dem steht eine Stromeinsparung von 8.700 kWh/a bzw. einer Stromkosteneinsparung von rund 660,- Euro/a gegenüber.

In Tafel 4.7.1 sind die Ergebnisse der Jahreskostenberechnung für die untersuchte Erneuerung der DEA dargestellt. Das entsprechende Berechnungsblatt befindet sich im Anhang 4.7.2.



Tafel 4.7.1 Energiekonzept „Alte Oper“: Gesamtkostenrechnung für die Erneuerung der DEA-Trinkwasser

Maßnahme		Ist-Zustand	Erneuerung DEA-Trinkwasser
Investitionskosten	in €		19.700,-
Kapitalkosten	in €/a		1.965,-
Mittlere Betriebskosten			
Wartungs- und Instandhaltungskosten	in €/a	495,-	295,-
Stromkosten	in €/a	1.570,-	915,-
Heutige Betriebskosten	in €/a	2.065,-	1.210,-
Mittlere Betriebskosten	in €/a	2.970,-	1.740,-
CO ₂ -Emissionen	in t/a	14,13	8,22
Umweltfolgekosten durch CO ₂ -Emissionen	in €/a	705,-	410,-
Gesamtkosten	in €/a	3.675,-	4.115,-
Amortisationszeit			
Basis Ist-Zustand	in a		23,2

Für die untersuchte Erneuerung der DEA-Trinkwasser in der Alten Oper errechnet sich eine Amortisationszeit, die außerhalb der technischen Nutzungsdauer der DEA ist. Trotzdem muss diese Maßnahme aus Gründen der Bauerhaltung (Versorgungssicherheit und Hygieneschutz) umgesetzt werden.