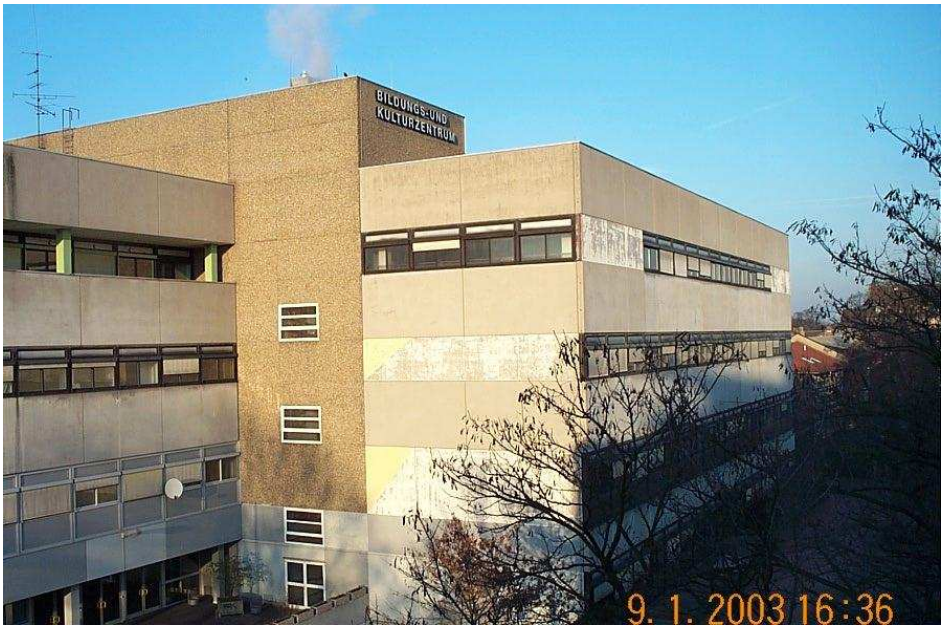
Energiekonzept
Friedrich-Dessauer-Gymnasium
Bildungs- und Kulturzentrum BIKUZ

Gebeschusstr. 5 65929 Frankfurt



Im Auftrag des
Magistrats der Stadt Frankfurt

Februar 2004

Erstellt von:

Ingenieurbüro Kitzerow

Mittelstr. 10

65550 Limburg-Linter

Zusammenfassung

Die wichtigsten Daten des Friedrich-Dessauer- Gymnasiums (FDG) und des Bildungs- und Kulturzentrums (Bikuz) sind zur Übersicht in Tabelle 1 auf Seite 4 dargestellt.

Die Energiebezugsfläche beträgt rund **18.500 m²** und das beheizte Volumen **66.000 m³**. Die Hüllfläche beträgt 27.500 m². Daraus ergibt sich ein A/V – Verhältnis von 0,42 m^{-1} .

Das Gebäude ist vielfältig genutzt: Schulbetrieb (750 Schüler, 150 Lehrer), VHS, Sportveranstaltungen und Vereinstraining, Bücherei, Saalbauveranstaltungen, Cafeteria.

Der Stromverbrauch beträgt rund **3.400 MWh/a**. das entspricht einem spezifischen Verbrauch von **181 kWh/m²a**. Dies ist rund viermal so hoch wie vergleichbare Kennwerte vorgeben (40 kWh/m²a). Hauptursache für den hohen Verbrauch sind permanent laufende Lüftungsanlagen und überhöhte Luftwechsel. Diese liegen bei 2,5 – 3,5 h^{-1} auch während der Ruhezeiten, vergleichbar sollten es 0,8 h^{-1} während der Betriebs- und 0,2 h^{-1} während der Ruhezeiten sein.
Zweitgrößter Verbraucher sind die Leuchtenanlagen, die einerseits überdimensioniert, veraltet (klassische Vorschaltgeräte, alte Reflektortechnik) und teilweise durch die Kombination mit den Lüftungsanlagen erheblich verschmutzt sind. Bedingt durch die baulichen Gegebenheiten gibt es im Hauptgebäude viele außenlichtarme Zonen.
Für Strom musste im Lauf der letzten 5 Jahre im Durchschnitt 330.000 €/a ausgegeben werden.

Diagramm 1 Verbräuche

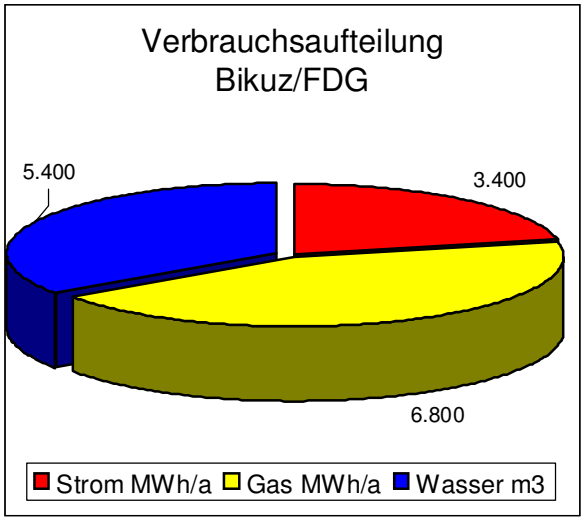
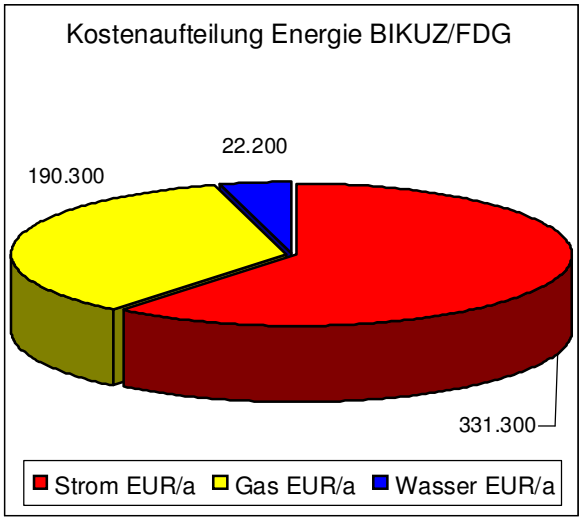


Diagramm 2 Energiekosten



Der Wärmeverbrauch liegt bei **6.800 MWh/a**. Das entspricht einem spezifischen Verbrauch von über **360 kWh/m²a** (Der Grenzwert nach dem Leitfaden für Energie im Hochbau (LEH) beträgt 85 kWh/m²a). Ursachen für den hohen Verbrauch sind veraltete Bausubstanz mit einem hohen Wärmebrückenanteil und unzureichender Dämmung sowie erhebliche Lüftungsverluste durch den laufenden, übermäßigen Betrieb der mechanischen Lüftungsanlagen.
Für Wärme mussten im Durchschnitt der letzten 5 Jahre rund 190.000 €/a ausgegeben werden. Im Spitzenjahr 2002 sogar 250.000 €.

Sämtliche ermittelten Kennzahlen liegen weit außerhalb der denkbaren Ziel- und Richtwerte der gängigen Empfehlungen, wie „LEH“, „LEE“ und „SIA“ geschweige denn den gesetzlichen Vorgaben nach EnEV oder dem Vorläufer der WSVO.

Tabelle 1 Daten BIKUZ/FDG

Energiebezugsfläche	**EBF**		**18.563m²**			
	V_L		66.222m³			
A/V			0,40m⁻¹			
Betriebszeit	(Regel)	6:00 -	22:00	7 Tage, Sa, So eingeschränkt		
Personen im Mittel			547	bei 12 h		34m²/P
Personen max.			928			**20**m²/P
Personenstunden			1.641.125Ph/a			
Stromverbrauch			**3.358.518**kWh/a			
Vollbenutzungsstunden			**3.891**h			**2.000**h
spezifischer Stromverbrauch			**181**kWh/m²a			**40**kWh/m²a
Elektrizitätsverbrauch			**6.139**kWh/(P,a)			**200**kWh/(P,a)
Leistung installiert			**1.036**kW			
Leistung erreicht			**800**kW			
davon:						
- Lüftung			**452**kW			
spez. Leistung			**24**W/m²			**8**W/m²
Luftmenge			**438.780**m³/h		**7**	h⁻¹
energetisch Wirk. Luftmenge			**208.270**m³/h		**3**	**0,8**h⁻¹
- Beleuchtung			**388**kW			
			21W/m²			**10**W/m²
Kosten Strom			**331.323**€/a			
Gasverbrauch			**6.847.525**kWh/a			
Kennwert			**369**kWh/m²a			**85**kWh/m²a
Wärmeverbrauch			**12.517**kWh/(P,a)			
Leistung Heizungsanlage			1.750kW	*2.225*		
Spez.Leistung			94W/m²	120W/m²		
Vollbenutzungsstunden			**3.913**h	*3.078*	**1.500**h	
Kosten Gasverbrauch			**190.275**€/a			
Wasserverbrauch	Wasser		**5.417**m³/a			
	Wasser		**292**l/m²a			
Kennwert	Wasser		**26**l/P,d	10	**20**l/P,d	
Warmwasserverbrauch	Warmwasser		120m³/a			
Kennwert	Warmwasser		**1,1**l/P,d			**15**l/P,d
Kosten Wasserverbrauch			**22.169**€/a			

Der Wasserverbrauch liegt bei rund **5500 m³** pro Jahr. Damit ergibt sich ein Kennwert von rund **26 m³/Pers,d**. Gegenüber Schulen und Verwaltungsgebäuden als Vergleichswert liegt das BIKUZ etwas höher. Die sanitären Anlagen haben einen zeittypischen Standard. Ein Teil des Wassers wird im Bereich der Kühlung und Befeuchtung verbraucht. Die verursachten Kosten liegen bei rund 22.000 €/a.

Das BIKUZ ist ein energetischer „Moloch“. Durch die permanente Nutzung von Lüftungsanlagen und Überdimensionierung von Beleuchtungen werden große Mengen an Strom als auch an Wärme verschenkt.

Den Energiehunger beschreibt das folgende Bild aus Treppenhaus C am besten:

Bild 1 Energiehunger FDG/Bikuz

Insgesamt betragen alle Energiekosten zusammen 560.000 €/a. Durch vielfältige Maßnahmen im Bereich Anlagentechnik, als auch im Bereich Bauphysik lassen sich rund 345.000 €/a einsparen. Gerade weil der Verbrauch so extrem hoch ist, gibt es im Bereich der Lüftungsanlagen bei überschaubaren Investitionskosten erhebliche Einspareffekte mit sehr kurzen Return of Invest. Als Gesamtübersicht über die Maßnahmen empfiehlt sich Tabelle 2 auf Seite 4.

Die Maßnahmen haben aufgrund der Verbrauchsstrukturen folgende Priorität:

1. Lüftung
2. Organisation und Regelung
3. Beleuchtung
4. Bauphysik

Die ausführliche Darstellung der Maßnahmen findet sich in Kapitel 7 und 8 ab Seite 62.

Bereits durch organisatorische Maßnahmen können Einsparungen von fast 30.000 €/a realisiert werden. Dies setzt allerdings die Schulung und Mitwirkung der Hausverwalter voraus. Als Motivationsanreiz ist die Einsparbeteiligung Nutzer (EBN) geeignet, die derzeit im Bikuz immer noch nicht eingeführt ist. Darüber hinaus sind die vorhandenen Regelungsanlagen, z.B. im EB außer Betrieb gesetzt, wodurch Energie verschenkt wird, weil die Anlagen durchweg auf zu hohem Niveau laufen. Durch konsequente Bedienung und Fehlerdokumentation können die Anlagen mittelfristig optimiert werden.

Alle anderen Maßnahmen bedeuten Investitionen in Anlagentechnik und Bausubstanz.

Bei den Maßnahmen zur Anlagentechnik rechnen sich die Maßnahmen im Bereich Lüftungstechnik , insbesondere durch die Verkürzung der Betriebszeiten (vgl. 7.4.1. - 7.4.5. ab Seite 69), und Änderungen an der Beleuchtung (6-9 Jahre, 7.8.1.-7.8.3. ab Seite 81) in Zeiträumen unter 10 Jahren.

Tabelle 2 Einsparpotentiale und Maßnahmen FDG/Bikuz

Durchschnittliche Kosten pro kWh Strom aus Abrechnung	**9,87**	ct/kWh	Legende:
Durchschnittliche Kosten pro kWh Gas	**2,89**	ct/kWh	o = Organisation
Durchschnittliche Kosten pro m3 Wasser	**4,09**	€/m³	a = Anlagentechnik
Durchschnittliche Kosten pro m3 Warmwasser			b = Bauphysik

Maßnahme Typ Nr.	Beschreibung	Verbrauch pro Jahr kWh	Var. spez	Art	Cash pro Jahr EUR	Einsparung pro Jahr kWh	Invest-kosten EUR	ROI Jahre a
		10.206.000			-389.000	-8.098.000	**3.077.000**	
Summe	Organisation			o	-30.000	-620.000	2.000	0,1
	Anlagentechnik			a	-306.000	-5.640.000	855.000	2,8
	Bauphysik			b	-53.000	-1.838.000	2.220.000	41,9
7.1.1.	Stromverträge	331.300€		o				
7.1.2.	Wärmeverträge	190.300€		o				
7.1.3.	Wasserverträge	22.200€		o				
7.1.4.	Hausverwalterverträge	3.358.500€	**2**	o	-26.488	-510.573	2.100	0,1
7.2.1.	Fenster im HG (nur Transmission)	337.000kWh	**4**	b	-4.600	-159.000	366.400	79,7
7.2.2.	Fenster im EB (nur Transmission)	139.000kWh	**4**	b	-1.800	-64.000	140.300	77,9
7.2.3.	WDVS HG	784.000kWh	**4**	b	-17.800	-615.000	384.000	21,6
7.2.4.	WDVS EB	129.000kWh	**4**	b	-3.000	-103.000	63.000	21,0
7.2.5.	Dachdämmung EB	52.000kWh	**4**	b	-1.100	-39.000	90.000	81,8
7.2.6.	Dachdämmung HG	460.000kWh	**4**	b	-9.900	-343.000	792.000	80,0
7.2.7.	Geschossdecke HG	207.000kWh	**4**	b	-5.100	-177.000	44.000	8,6
7.2.8.	Boden zurTiefgarage/Keller HG	445.000kWh	**4**	b	-8.900	-308.000	309.900	34,8
7.2.9.	Boden EB	43.000kWh	**4**	b	-900	-30.000	30.000	33,3
HT		B						
7.8.1.	Beleuchtungsänderung EB Klassen	73.911kWh	**5**	a	-4.800	-48.900	31.000	6,5
7.8.2.	Beleuchtungsänderung HG Klassen	172.977kWh	**5**	a	-9.700	-98.400	92.400	9,5
7.8.2.	Beleuchtung Sporthalle	38.844kWh	**5**	a	-2.700	-27.000	14.700	5,4
		Ist						
HT		637.193						
7.4.1.	Änderung Brandschutz	kWh	**3**	a	-188.000	-3.531.000	236.600	1,3
7.4.3.	Sanierung Anlage 10a,b/11	kWh	**3**	a	-46.700	-753.300	192.700	4,1
7.4.4.	Sanierung Anlage 4,5,7,9	kWh	**3**	a	-17.900	-429.200	164.900	9,2
7.4.5.	Sanierung 21 22 I-III	kWh	**3**	a	-23.600	-403.900	60.800	2,6
7.4.8.2.	WRG Anlage 1,2,11	m³		a				
7.4.8.3.	WRG Anlage 16-19	m³		a				
HT								
7.5.2.	WW Zirkulation				0	-100	0	
7.5.3.	Thermostatventile	H		a	-1.000	-33.800	2.500	2,5
7.5.4.	Regelung/Heizkurven EB	H	**2**	o	-3.200	-109.800	0	
7.3.2.4.	Hydraulischer Abgleich EB	438.400kWh	**2**	a	-2.000	-67.500	6.000	3,0
7.3.3.	Regelung HG	191.540kWh		a	-5.900	-202.500	35.000	5,9
7.9.1.	Solaranlage	19053kWh		a	-200	-5.500	5.000	25,0
7.6.1.	Hauptvorlaufpumpen austauschen	K		a	-3.900	-39.200	13.000	3,3
	0	DT					0	
7.7.1.	Kälte Hauptaggregat				-80.000	-10.100	179.000	2,2
7.9.2.	Wasserzähler Lüftung Kühlturm				0	0	1.000	

ROI ohneZinsen und Preissteigerungen!

Insgesamt lässt sich der Gesamtverbrauch von rund 10 GWh/a durch Ausschöpfung aller Einsparpotentiale um rund 8 GWh/a senken. Davon entfallen 0,6 GWh/a auf organisatorische Maßnahmen, 5,6 GWh/a auf Maßnahmen im Bereich der Anlagentechnik und rund 1,8 GWh/a auf bauphysikalische Maßnahmen zum Wärmeschutz. Die Kosten für Energie sinken dadurch von rund 560.000 €/a um 390.000 €/a auf rund 170.000 €/a. Hierfür sind Investitionen im Bereich Anlagentechnik von rund 0,9 Mio. € und im Bereich Wärmeschutz von 2,2 Mio. € erforderlich.

Das größte Einsparpotential liegt im Bereich der konsequenten Verringerung der Laufzeiten der Lüftungsanlagen. Durch Ausschalten außerhalb der Betriebszeiten werden 3,5 GWh/a oder 190.000 €/a gespart. (vgl. 7.4.1.) In weiteren Schritten können durch Umstellung auf nachfrageorientierten Betrieb weitere 1,6 GWh/a oder 100.000 €/a gespart werden (vgl. Maßnahmen 7.4.3.-7.4.5.)
Diese Maßnahmen sind in ein Gesamtpaket Lüftung zusammengeführt worden (7.6.) und im Rahmen der Vollkostenrechnung nach den Vorgaben des Hochbauamts betrachtet worden.

Bei den Bauphysikalischen Maßnahmen (7.2.1. ff) rechnen sich die Maßnahmen Wärmedämmung der Außenwände , sowie die Maßnahmen zur Dämmung der Geschossdecken und Böden zu angrenzenden Räumen mit über 25 Jahren für bauphysikalische Maßnahmen nicht besonders schnell, was allerdings auch nicht unüblich ist. Dach und Fenster liegen über 50 Jahre, wobei bei den Fenstern der Reparaturbedarf wegen Wasserschäden und die Lüftungsverluste durch Undichtigkeiten nicht berücksichtigt ist.

Für einige Maßnahmen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Dazu gehören die Untersuchung der Verbesserung der Regelungstechnik (7.3.2.2.), die Erstellung von Lastgängen für die Warmwasserverbräuche (7.10.2.1. f) und den Kühlwasserverbrauch, um grundsätzliche Erkenntnisse über Nutzung zu gewinnen und weitergehende Maßnahmen, z.B. Solarenergienutzung oder Sanierung der Kälteanlage planen und bewerten zu können.

Weitere Maßnahmen aus Tabelle 2 wurden nach dem Zwischengespräch auf Maßnahmenpakete zusammengeführt, die mittels Vollkostenrechnung nach den Vorgaben des HBA intensiver untersucht wurden. Dies führt zu folgenden Varianten:

- Organisation und Regelungstechnik (Variante 2, 7.4.1., 7.5.4. S. 62 ff)
- Verbesserung der Anlagentechnik Lüftung (Variante 3, 7.4.1.-7.4.5. ab S.69)
- Wärmeschutz (Variante 4, 7.2.1. – 7.2.10. S. 62 ff)
- Beleuchtungssanierung für die Klassenräume (Variante 5, 7.8.1.-7.8.3 ab S.81)

(Die Spalte 6 Var. Spez aus Tabelle 2 verweist auf die Zugehörigkeit)

Den Effekt der kombinierten Maßnahmen Organisation, Lüftung, Bauphysik und Beleuchtung zeigt das folgende Diagramm 3, in dem die Maßnahmen unter Vollkostenaspekten zusammengeführt sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass hier Maßnahmen unterschiedlicher Kapitallaufzeiten auf Basis einer Kostenschätzung kombiniert werden. Ausführliche Erläuterungen finden sich im Kapitel 8 ab S. 93.

Diagramm 3 Kostenaufteilung

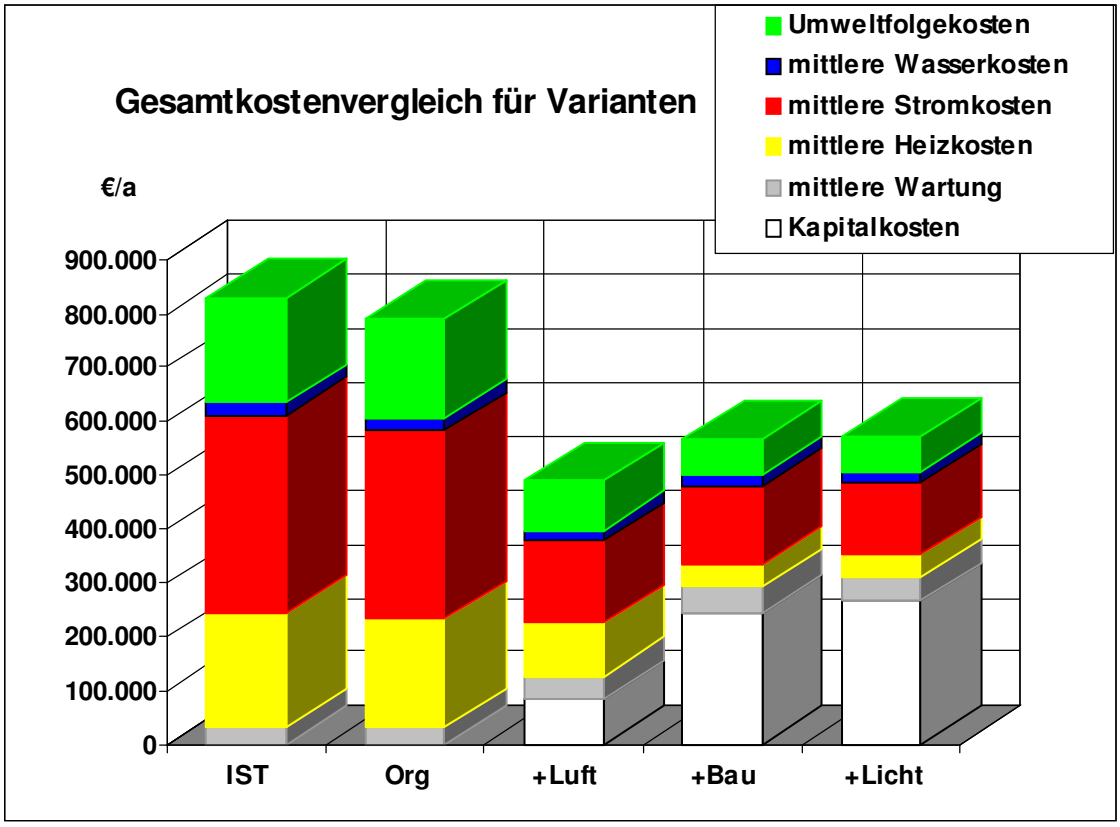


Tabelle 3 Beschriftung zu Diagramm 3 Kostenaufteilung

Variante 1	IST-Zustand
Variante 2	Organisatorische Maßnahmen, EBN
Variante 3	+ neue Brandmeldeanlage, Umrüstung auf FU
Variante 4	+ alle Wärmedämmmaßnahmen und Fenstertausch
Variante 5	+ Beleuchtungstausch in den Klassenräumen Bauteil EB und HG und Leuchten in der Sporthalle

	Variante 1 IST	Variante 2 Org	Variante 3 +Luft	Variante 4 +Bau	Variante 5 +Licht
	€	€	€	€	€
Umweltfolgekosten	195.000	186.000	92.000	69.000	65.000
mittlere Wasserkosten	25.000	25.000	22.000	22.000	22.000
mittlere Stromkosten	367.000	349.000	152.000	145.000	133.000
mittlere Heizkosten	211.000	200.000	98.000	42.000	42.000
Wartung+Instandhaltung	32.000	32.000	41.000	47.000	43.000
Kapitalkosten	0	0	85.000	244.000	267.000
Summe Kosten per a	**830.000**	**792.000**	**490.000**	**569.000**	**572.000**
Mittl. Einsparung pro Jahr gegen 1		**-38.000**	**-340.000**	**-261.000**	**-258.000**
Investitionskosten	**0**	**2.000**	**655.000**	**2.244.000**	**169.000**

alle Kosten incl. 16 % MWSt. Die Kapitalkosten Var. 4 enthalten 25 a Kapitaldienst für Bauphysik. Die Kapitalkosten Var. 5 enthalten 7 a Kapitaldienst für Beleuchtung!

Die Variante 1 zeigt die IST-Situation, allerdings nur mit den Wartungs-, Personal-, und Reinigungskosten, die als Mehr- oder Minderkosten gegenüber den untersuchten Varianten auftreten würden. Hier entstehen fiktive Vollkosten in Höhe von 830.000 €/a.

Die Variante 2 zeigt die Effekte der Umsetzung der vertraglichen Regelung EBN und der konsequenten Bedienung und Fehlereliminierung der vorhandenen Regelungstechnik, besonders im EB. Die mittlere Einsparung kann hier schon 38.000 €/a betragen.

Variante 3 bedeutet Einschränkungen der Betriebszeiten, bzw. Ausschalten der Lüftung in den Ruhezeiten und Ausrüstung der größeren Lüftungsanlagen (4,5,7,9, 10a,b, 11, 22, I-III) mit Frequenzumrichtern (FU), um bedarfsgerecht Luft zuführen zu können. Hier ist die mittlere Einsparung mit rund 340.000 € gegenüber der Basisvariante am größten.

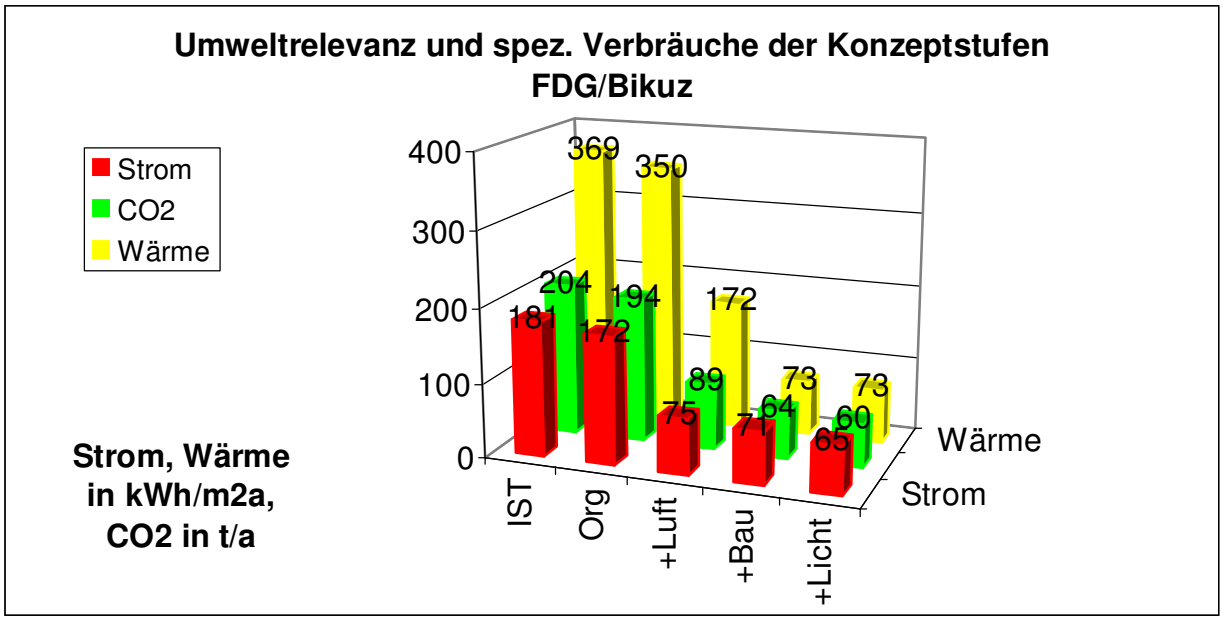
Durch die langen Amortisationszeiten des Wärmeschutzes (Variante 4) reduzieren sich die Einsparungen auf 261.000 €/a. Die Vollkosten von 570.000 € liegen noch deutlich unter dem IST-Zustand.
Wichtiger sind in diesem Zusammenhang die Umweltauswirkungen:
Der spezifische Heizwärmebedarf sinkt von 172 kWh/m^{2}a auf 73 kWh/m^{2}a. Mit Variante 4 wird dann auch der Grenzwert des Heizwärmebedarfs (85 kWh/m^{2}a) eingehalten.

Die Grenzwerte nach dem Leitfaden für Energie im Hochbau (LEH) für den Wärmebedarf können daher nur durch Reduzierung der Lüftung und der damit verbundenen hohen Wärmeverluste und der Maßnahme Wärmeschutz erreicht werden.

Die zusätzliche Beleuchtungssanierung wurde als Variante 5 auf Variante 2 bis 4 beigestellt. Auch hier gibt es eine Kostenentlastung gegenüber dem Ist-Zustand. Gemessen an der Entlastung von Variante 3 und 2 sind die Vollkosten geringfügig höher, weil hier die Kapitalisierung auf 7 Jahre gerechnet ist. Dafür wird mit dieser Maßnahme effektiv Strom gespart. Der Kennwert sinkt von 74 kWh/m^{2}a auf 65 kWh/m^{2}a und liegt damit zwar noch unter dem Richtwert (40 kWh/m^{2}a) für den eine Feinanalyse empfohlen wird, aber deutlich unter den 181 kWh/m^{2}a der IST-Situation.

Das Zusammenspiel der einzelnen Varianten und die sich daraus ergebenen Umweltauswirkungen sind im nachfolgenden Diagramm 4 Umweltauswirkungen der Sanierungsvorschläge zusammengefaßt:

Diagramm 4 Umweltauswirkungen der Sanierungsvorschläge



Alle Varianten führen zu einer dauerhaften Kostenentlastung bei einer Kapitalisierung mit 5 % und einer Preissteigerungsrate von 2 %. Bei konsequenter Umsetzung des Gesamtkonzepts werden die CO_2-Emissionen von 204 t/a auf rund 60 t/a, also um mehr als $^2/_3$ gesenkt.

Das Zusammenspiel zwischen Anlagentechnik und Bauphysik ist im vorliegenden Fall eminent wichtig, weil nur durch die richtige Kombination sowohl Strom als auch Wärme eingespart werden können und die Investitionskosten der Anlagentechnik minimiert werden.

Es wird daher eine Gesamtsanierung vorgeschlagen, die ggf. auch in Bauabschnitte aufgeteilt für die Bauteile EB und HG erfolgen kann. Die Einzelheiten sind in Kapitel 7 und 8 ab S. 62 beschrieben.

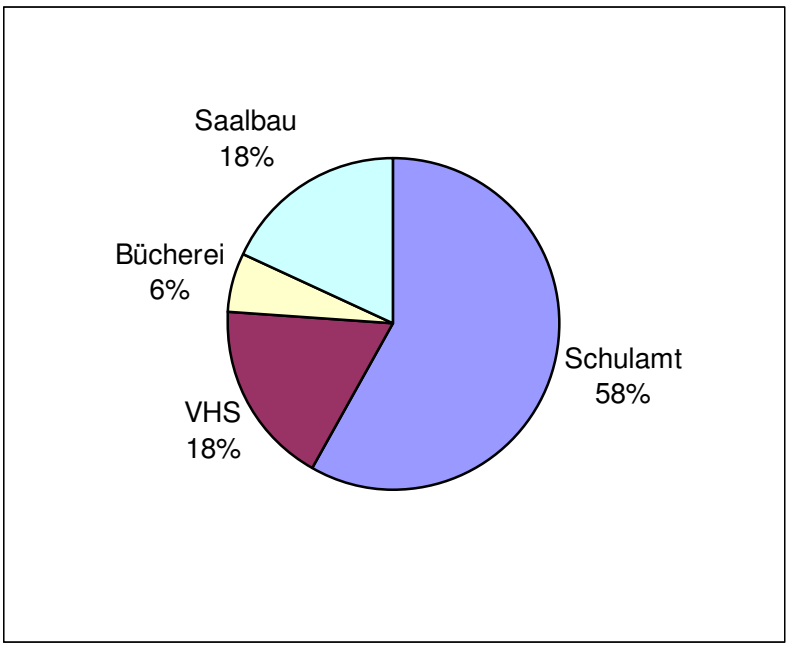
1. Einleitung

Wir erhielten vom Magistrat der Stadt Frankfurt Hochbauamt (Amt 65) den Auftrag für ein Energiekonzept für das Friedrich-Dessauer-Gymnasium, Gebeschusstr.5 zu erstellen.

Das Gebäude liegt im Südwesten der Stadt Frankfurt im Stadtteil Höchst und beherbergt das Friedrich Dessauer Gymnasium im folgenden **„FDG“** genannt sowie das Bildungs- und Kulturzentrum im folgenden „**BIKUZ“** genannt. Neben dem Gymnasium sind die **VHS**, eine Bücherei und diverse **Sportvereine** für die Nutzung der Turnhallen sowie **Vereine** für die Nutzung der Säle untergebracht. Die Räumlichkeiten stehen auch im Rahmen der sonstigen Vermietung kommerziellen und privaten Pächtern zur Verfügung. Im Gebäude wird auch eine Cafeteria betrieben, die mittags ein Vollessen anbietet.

Für die Verwaltung des Gebäudes ist die Saalbau GmbH im Auftrag der Stadt Frankfurt zuständig. Die Saalbau übernimmt die laufenden Kosten und stellt das Personal für die Hausverwaltung. Alle laufenden Kosten, die im Rahmen der Hausverwaltung entstehen, werden ohne Aufschlag den Nutzern weiterberechnet. Der Aufteilungsschlüssel ist zur Zeit wie folgt:

Diagramm 5 Energiekostenaufteilung



Für die bauliche Unterhaltung des Gebäudes ist das Hochbauamt der Stadt Frankfurt zuständig.

Die Stadt Frankfurt dokumentiert seit 1995 die Verbräuche der öffentlichen Liegenschaften. Die Saalbau führte das Energiecontrolling 1998 durch uns ein und dokumentiert seitdem permanent die Energieverbräuche und Kosten ihrer Gebäude.

2. Geschichte und bisherige Maßnahmen

Im März 1998 wurden Thermographieaufnahmen durch die Firma Thermo -Temp GmbH durchgeführt, die erhebliche Wärmebrücken an den Fenster- und Brüstungsanschlüssen aufzeigten.

Im Frühjahr 2000 wurde ein Gutachten über den Einsatz von Frequenzumrichtern (FU) in den Lüftungsanlagen von der Firma Tectrol GmbH erstellt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Luftmengen und Leistungsaufnahmen ausgewählter Anlagen gemessen und die Einsparpotentiale durch FU festgestellt.

1998 wurde die alte 3 Kessel Dampfanlage mit 6 MW Leistung gegen einen 1.750 KW NT Kessel getauscht.
Ein zusätzlicher Kessel mit einer Leistung von 460 kW und eine Hauptverteilung mit neuen Pumpen folgte im Jahr 2002.

Neben den permanenten Reparaturmaßnahmen wurden im Treppenhaus B im Jahr 2002 die Einfachverglasungen gegen Wärmeschutzverglasungen ausgetauscht.

Die Hausverwalter haben in den letzten Jahren die Beleuchtungen in den Fluren reduziert. Viele kleine Maßnahmen wie Umrüstung von Lichtschaltungen (Zonen) laufen permanent im täglichen Reparaturbetrieb. Im Protokoll vom Start-up Termin sind weitere Aktivitäten aufgelistet.
Aufgrund der Komplexität der Anlagen im Gebäude ist bei allen Sparmaßnahmen die Mitwirkung örtlich kundiger Personen - in der Regel der Hausverwalter Technik - unabdingbar.

Aus diesem Grund fanden seitens der Saalbau Energietreffs nach dem Modell des Hessischen Ministeriums „Energietreffs für Hausverwalter“ statt. Im Gegensatz zu den üblichen Fortbildungsmaßnahmen setzt diese Methode pädagogisch auf einen möglichst verständigen Umgang mit Energie. Dabei wird in der Vermittlung der Grundlagen nicht so sehr auf Professionalität sondern vielmehr Vermittlung von einfachen Wiedererkennungseffekten zum Energiesparen und Verständigungstechniken bzw. Benachrichtigungstechniken (Organisation) gelegt.

Im Zuge dieser Maßnahmen fand im Mai 2000 auch ein Vorbereitungsgespräch zur Einführung des Hausmeistercontractings statt. (Modell der Stadt Frankfurt zum Energiesparen EBN). Leider hat sich seither in Bezug auf die Verträge für die Hausverwalter nichts mehr getan. Die Frustration unter dem Personal ist daher entsprechend groß.
Die Hausverwalter glauben „das keine weiteren Einsparmaßnahmen mehr möglich sind“ und hoffen auf eine Rückdatierung der Verträge, „Wir haben schon so viel gespart. Wer honoriert das?“ und „sofern die Verträge überhaupt noch kommen“ sind die gängigen Kommentare.

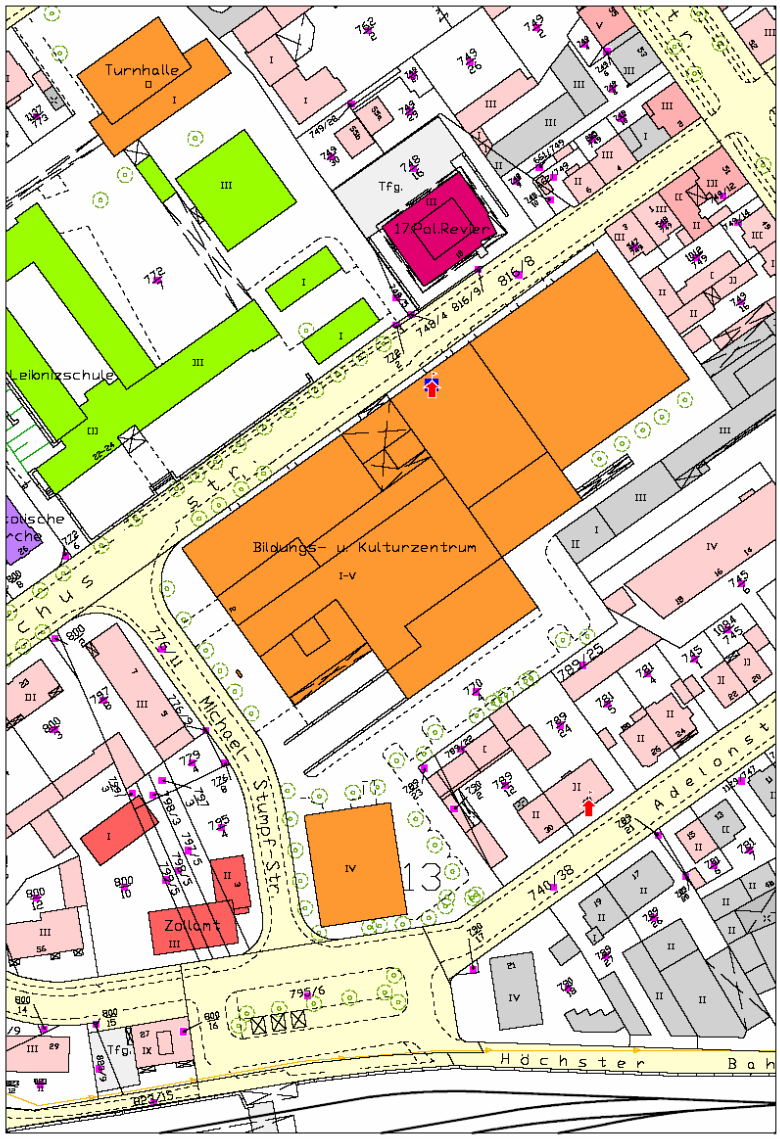
3. IST-Zustand

3.1. Allgemeine Gebäudedaten

Das Gebäude besteht aus einem Hauptgebäude - im folgenden „HG“ genannt - aus dem Jahr 1972 sowie einem Erweiterungsbau - im folgenden „EB“ genannt - aus dem Jahr 1976. Da nach dem Hessischen Leitfaden für Energiebewusste Gebäudeplanung im Hochbau (LEH) einzelne Gebäude getrennt zu untersuchen sind wurde der Wärmebedarf für den EB und HG getrennt ermittelt und für die Gesamtbilanz Endenergiezahl „HG“ und „EB“ wieder gewichtet zusammengefasst, da beide Bauteile an einer gemeinsamen Wärmeversorgung angeschlossen sind. Diese lässt sich nicht sinnvoll abgrenzen, da keine Wärmemengenzähler für die einzelnen Gebäudeteile installiert sind.

Der Lageplan 1 gibt einen Überblick, orange IV (13) ist der Erweiterungsbau EB.

Lageplan 1 Friedrich-Dessauer-Gymnasium und Bikuz



3.1.1. Energiebezugsfläche

Die Energiebezugsfläche (EBF) wurde aus Netto(Innen)maßen aus den Plänen ermittelt.

Der Erweiterungsbau hat eine Energiebezugsfläche von:	2.641	m^2
Das Hauptgebäude hat eine Energiebezugsfläche von:	15.562	m^2
Die Energiebezugsfläche (EBF) beträgt in der Summe:	18.562	m^2
Das Gebäudevolumen Volumen		

Der Erweiterungsbau hat ein Volumen von:	8.190	m^3
Das Hauptgebäude hat ein Volumen von:	58.032	m^3
Das Volumen V_e beträgt in der Summe:	66.222	m^3

Die erste Ortsbegehung fand im Zusammenhang mit dem Startup-Termin des Energiegutachtens am 27.08.02 statt. Im Rahmen des Startup-Termins wurden die offensichtlichen Mängel des Gebäudes seitens der Schulleitung und der Hausverwalter zur Kenntnis gegeben. Das Protokoll des Startup-Termins ist beigefügt als

Anlage 1 Protokoll Start-up Termin

Insgesamt fanden bis zum Zwischenbericht am 31.1.03 noch 6 weitere Ortstermine statt, um möglichst viele Daten des komplexen Gebäudes zu erfassen und Betriebszustände bei unterschiedlichen Temperaturen aufzunehmen.
Bei der ersten Ortsbegehung konnten bereits einige Mängel festgestellt werden:

3.2. Bauphysik

Das Gebäude zeigt wie die meisten Gebäude aus den 70er Jahren fast die gesamte Palette möglicher energetischer Baumängel.

- Wärmebrücken im Bereich der Betondecken und Stützen
- Wärmebrücken an thermisch nicht entkoppelte Aluminiumrahmen und Anschlüssen
- Wasserschäden an Außenwänden, Durchfeuchtung der Bauteile
- Teilweise noch Einfachverglasung an Flurfenstern und Außentüren
- Zentimeterbreite Spalte an Außentüren, insbesondere an den unteren Abschlüssen.
- Defekte Thermopenscheiben und Dichtungen in den Fenstern

Die defekten Anschlüsse und Einbindungen der Fensterelemente wurden bereits im Rahmen der Thermographiemessungen März 1998 festgestellt. Die selbst durchgeführten Innenoberflächentemperaturmessungen bestätigen diesen Sachverhalt und zeigen eine weitere Verschlechterung des Zustands, insbesondere im Bereich der Fugendichtheit der Fenster und Anschlüsse, als auch Teildurchfeuchtungen im Bereich der Wasserschäden die zu dem fatalerweise zu einer Verschlechterung des u-Wertes (k-Wertes) führen.
Einige der augenscheinlichsten Mängel sind in den Fotos dokumentiert, einige der Schäden zwischenzeitlich beseitigt.

Bild 2 und Bild 3 Spalt unter der Tür in der Cafeteria

Bild 4 , Bild 5, Bild 6 Hörsaal 4. OG, Wasserschaden Wand, blinde Scheiben und Kondenswasser

Bild 7, Bild 8, Bild 9, Bild 10 Wasserschaden 4.OG VHS , Hörsaal, Treppenhaus B

Bild 11, Bild 12, Bild 13 Verwaltung, VHS Außen 4. OG, Verwaltung innen

Bild 14, Bild 15, Bild 16 Undichte Türen und Fenster im EB

Bild 17 und Bild 18 Wärmebrücke Rollladenkasten, Fenster Dauerlüftung

3.2.1. Allgemeine Auffälligkeiten

Die Oberflächen sowohl der Außen und der Innenwände im Erweiterungsbau EB sind diffusionsdicht ausgeführt und verfügen über wenig Masse (11,5 cm starke Innen- und Außenwände mit Kunststoffbeschichtung). Besonders im Untergeschoss, wo die Räume nicht mechanisch gelüftet werden klagen die Nutzer häufig über Unbehangen und Gerüche.

3.2.2. Übereinstimmung der Pläne

Bis auf wenige Ausnahmen stimmen die Bestandspläne.

Die Geschossbezeichnung ist teilweise unterschiedlich. Es gibt die deutsche Bezeichnung EG bis 3. OG. Die Raumbezeichnung fangen amerikanisch, unten mit 100er Nummern an und gehen nach oben bis zu den 400er Nummern. Gleiches gilt für den EB und die Fahrstühle.

Die Treppe zum Keller im Erweiterungsbau EB außen Nordseite gibt es nicht. Die Treppe zu den Technikräumen liegt innen und ist über eine Außentür neben dem Nordeingang zugänglich.

Im zweiten Stock sind die Räume hinter der Stadtbibliothek zur Schülerbibliothek umgebaut.

Im Gymnastikbereich fehlt die hintere Umkleide. Es gibt nur die vordere Umkleide mit Dusche (vorne die Räume, hinten die Dusche). Die Außentüren existieren nicht. Der Gymnastikraum schließt nach außen mit Glasbausteinen.

3.3. Anlagentechnik/Haustechnik (HT)

3.3.1. Raumheizung (H)

1998 wurde die 3 Kessel-Dampfanlage ausgetauscht gegen einen NT - Kessel mit 1.750 kW. Für den verminderten Betrieb in der Übergangszeit und im Sommer wurde ein zweiter Kessel mit 460 kW im Sommer 2002 installiert.
Bei einer Begehung im Anfang Januar waren bei einer Außentemperatur von –8 °C beide Kessel im Vollastbetrieb, so dass insgesamt eine Wärmeleistung von 2.210 kW zur Verfügung gestellt wurde. Die übergreifende Regelung war zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts noch nicht fertig gestellt, eine Einweisung der Hausverwalter fand bisher noch nicht statt.

3.3.1.1. Technische Daten Kessel 1

Viessmann Vitoplex 300		Type TX3
Nennwärmeleistung		460 kW
Feuerungsnennwärmeleistung		497 kW
MIN. WÄRMELEISTUNG		**276 KW**
Kesselwasserinhalt		605 l
zulässige Vorlauftemperatur		120 °C,
Brenner		Type Vectron
Aufnahmeleistung		1620 W,
ON	max.	700 kW
ONW		240 kW

Das Abgasprotokoll lag noch nicht vor.

Das Flammenbild beider Brenner ist fast durchgängig blau, teilweise leicht orange. Dazwischen Glimmspritzer.

Bild 19 und Bild 20 Kessel 1 **Kessel 2**

3.3.1.2. Technische Daten Kessel 2

Viessmann Paromat Triplex RN
Nennwärmeleistung 1750 kW
Kesselwasserinhalt 2565 l
Stromaufnahme max. 1000 W
Regelung Vitotronic 100, zur Zeit ausgebaut und überbrückt
Brennertyp EK 5220E
Ausführung RO
Nennwärmeleistung 400-2200 kW
Fabrikat 0150165 HC

Viessmann Abgaswärmetauscher
Typenbezeichnung EER
Baujahr 1998
Wärmeleistung 133-166 kW,
Wasserinhalt 380l
Stufe 3003172
Bauartkennzeichen 06-610-015.

Rücklaufanhebung geht von 50 ° auf 64 °C bei 80 °C Vorlauftemperatur

Tabelle 4 Daten Hauptverteiler Heizung

Datum : 09.01.03 Außentemperatur: -8 °C

Art Ziel	T	Pumpe	Stromaufnahme			Leistung			St
	°C	Grundfos	A	A	A				
RL Kessel 1		UPS 50-30/F	0,6	0,68	0,7	115	135	150	2
VL Kessel 1	80	-							
RL Kessel 2		am Kesselrücklauf siehe unten							
VL Kessel 2	79	-							
RL Hauptheizung	80	-							
VL Hauptheizung	62	Doppelpumpe				10500			
RL Neubau	80	-							
VL Neubau	62	UPE 50-60/F	0,2	-	1,51	32	-	335	1/2
RL WW Speicher	80	-							
VL WW Speicher	72	UPE 50-60/2F	1,75	1,85	1,9	350	380	390	
RL Klassen	70	-							
VL Klassen	50	UPE 50-60/F							
RL Reserve	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VL Reserve	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RL Abgastauscher		UPS 50-60/2F	0,39	0,45	0,74	235	270	360	
RL Kessel 1		UPS 50-60/2F							

Die VL-Pumpen sind elektronisch geregelt und entsprechen damit den gesetzlichen Bestimmungen der EnEV. Der Balken verfügt noch über Rücklauf –und Vorlaufreserveanschlüsse.
Beide Kessel liefen am 9.1.2003 durch. Außentemperatur –8 °C.

Die Pumpe 1 vom Kessel liegt auf dem Kessel.
Die Vorlaufhauptheizung läuft über eine separat stehende Doppelpumpe mit eigener Ansteuerung, Grundfos 10,5 kW, Stromaufnahme 144-154 Ampere bei 380-415 V, bei 1400-1460/min. (Pumpe siehe auch Foto). Damit liegt die Antriebsleistung der wichtigsten Pumpen bereits bei 0,5 % der Heizkesselleistung.

Bild 21 und Bild 22 Pumpengruppe HV und neue Hauptverteilung

Das Hauptgebäude wird über einen statischen Heizkreis versorgt. Dieser statische Heizkreis versorgt alle Klassenräume über eine Außentemperatur geführte Vorlauftemperaturregelung. Die Heizkörper haben keine Thermostatventile. Da sie nicht entsprechend fein eingedrosselt sind und zeitgemäß nicht hydraulisch genau berechnet und abgestimmt wurden, werden keine gleichmäßigen Raumtemperaturen erreicht.
Unterverteilungen finden sich für den Bereich Verwaltung in der Lüftungszentrale 1, mit vier Kreisen für Verwaltung, Cafeteria, Innenzone, Toilettenanlagen und eine weitere Unterverteilung mit separatem Wärmetauscher im Sportbereich für weitere vier statische Heizkreise. Dort sind teilweise noch Pumpen mit geringer Leistung installiert. Die Pumpenleistungen sind im Rahmen einer Feinanalyse zu erfassen und im Rahmen des hydraulischen Abgleichs auf Entbehrlichkeit zu überprüfen. (vgl. Maßnahmen 7.3.3.)

Der EB verfügt über eine Zonenregelung von Neuberger (heute Weisshaupt) mit Microtrol 100. Es gibt 42 Einzelkreise, die jeweils 3 oder 4 Heizkörper pro Raum regeln (auf/zu). Die Heizkörper werden mit einem Zonenventil abgeschaltet. (lt. Auskunft der Hausmeister oft defekt). Als Führungsgröße dient die Raumtemperatur, die für jeden Raum individuell eingestellt werden kann. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer Nachtabsenkung.

Nach Auskunft der Hausverwalter soll dieses System nicht besonders gut funktionieren.
Daher wird die Steuerung auf „Dauer“ ohne Absenkbetrieb gefahren.
Durch Einzelmessungen am 9.1.03 konnten daher Raumtemperaturen von 17 – 23 °C festgestellt werden. Energetisch wäre eine Temperatur von 15 °C sinnvoll gewesen (Ferienzeit). Im Rahmen der Maßnahmen (7.3.2.) wird daher eine konsequente Bedienung der Regelung empfohlen. Ggf. kann über einen Datalogger Temperatur und Zeit exponierter Räume aufgezeichnet werden, um die Mängel in der Regelung zu identifizieren.

3.3.2. Wasserbereitung (WW)

Die Warmwasserbereitung verfügt über zwei Buderus Warmwasserspeicher, die vom zentralen Heizungsverteiler geladen werden.

Bild 23 und Bild 24 Warmwasserspeicher und Legionellenregelung

Beide Speicher haben einen Inhalt von 1000 l, sind parallel geschaltet und versorgen zwei Warmwasserkreise mit jeweils eigenem Zirkulationskreis. Die Speicher sind bivalent mit je zwei separaten Wärmetauschern ausgeführt, die z.Zt. in Reihen geschaltet sind. An den unteren Wärmetauscher kann nach Auftrennung problemlos eine Solaranlage angeschlossen werden.

Das Warmwasser wird auf zwei Kreise verteilt. Der eine versorgt die große Sporthalle und zirkuliert mit separater Zirkulationspumpe (Wilo Z 25/70 r 59 -115 W, eingestellt auf Stufe 4). Die Zirkulationspumpe läuft konstant durch.
Dies entspricht nicht mehr den Vorschriften nach EnEV, vgl. Maßnahmen 7.5.1..

Der zweite Zirkulationskreislauf versorgt Bühne, Fotolabor, die Sanitärbereiche der kleinen Turnhalle und Gymnastikräume sowie die Küche.
Eingebaut ist eine Zirkulationspumpe mit 75 W Leistung. Auch diese Pumpe läuft durch (siehe vor)
Im Rahmen der Legionellenvorsorge wird durch die Steuerung einmal täglich die Temperatur auf 70 °C erhöht und alle Leitungen gespült.

Seit der Installation der Legionellenanlage im Jahr 2001 ist ein Kaltwasserzähler in der Zulaufleitung für die Warmwasserbereitung installiert.

Der Durchschnittsverbrauch liegt pro Monat bei 10 m^3, im Winter in der Spitze bis 12 m^3, im Sommer sinkt der Verbrauch auf 4-5 m^3 pro Monat ab (Sommerferien).
Nach Rücksprache mit den Hausverwaltern Technik ist die Versorgungslage der Warmwasserbereitungsanlage ausreichend, lediglich bei der Unterbringung zum Kirchentag (ca. 150 – 200 Nutzer) konnte nicht ausreichend Warmwasser bereitgestellt werden. Dies ist jedoch unter energetischen Gesichtspunkten akzeptabel, da es keinen Sinn macht Kapazitäten für extremen Spitzenbedarf vorzuhalten.

Im Erweiterungsbau und in den Verwaltungstrakten des Hauptgebäudes befinden sich zusätzlich 5 l Warmwasserbereiter (10 Stk.). Diese wurden in den nichtbenutzten Räumen außer Betrieb genommen.

3.3.3. Lüftungsanlagen (L)

Als eine der ersten Schulen wurde das Friedrich-Dessauer-Gymnasium mit einer Vollklimaanlage ausgerüstet. Es gibt reine Abluftanlagen, Lüftungsanlagen (Filtern, Heizen), Teilklimaanlagen (Filtern, Heizen, Kühlen) und Vollklimaanlagen (Filtern, Heizen, Befeuchten, Kühlen)

Aus Gründen des Brandschutzes werden die Anlagen 24 Stunden betrieben, da die Rauchmelder für die Brandmeldeanlage in den Luftkanälen untergebracht sind.
Die Rauchmeldeanlage wurde 1993 nachgerüstet.

Insgesamt gibt es in dem Gebäude 25 Anlagen, davon haben nur die Anlagen 10a und 10b, 11 Rotationswärmetauscher zur Wärmerückgewinnung. Die Anlagen (22 I-III) in der Sporthalle verfügen über Umluftbetrieb und benötigen einen Außenluftanteil von mindestens 30 % zur Frischluftversorgung und Entfeuchtung. (Maßnahmen siehe 7.4.5.2.)

Eine Auflistung der Anlagen findet sich in Tabelle 2 und 3. Die installierte Leistung im Zuluftbereich beträgt 172 kW in der Stufe 1 und 297 kW in der Stufe 2. Dabei wird ein Volumenstrom von 409.000 m^3 gefördert.

Unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung und der Mindestvolumenströme ergibt sich ein energetisch wirksamer Volumenstrom von rund 200.000 m3. Dies entspricht einem mehr als 3-fachen Luftwechsel. (Rund um die Uhr!) (Maßnahmen siehe 7.4.1.-7.4.5.)

Das gleiche gilt für die Abluftströme. Naturgemäß beträgt hier die installierte Leistung nur 153 kW, im Maximum 225 kW. Der Volumenstrom ist mit 419.000 m^3 geringfügig höher.

Die wirksame Luftmenge liegt bei rund 230.000m3 von dem die Garage mit 2 x 13.000 m3/h abzuziehen ist.

Alle Daten zur Wärmerückgewinnung wurden aufgrund von Erfahrungswerten geschätzt.

Der energetisch wirksame Volumenstrom kann bei den Sportanlagen wesentlich steigen, wenn ein Außenluftanteil über 30% gefahren wird. (vgl. Maßnahmen 7.4.1. und 7.4.5.3)

Tabelle 5 Technische Daten Zuluftanlagen BIKUZ/FDG

Anlage Nr.		Anlagendaten					Wirkvolumen
		Luft	Druck	inst. Leistung		f	für min. h^{-1}
		menge	verlust	Stufe 1	Stufe2/Volllast		
Bez.	Anlage	m^3/h	Pa	kW	KW	-	m^3/h
EB	**1-3.OG**	**28.800**		**12,5**	**12,5**	**0,3**	**8.640**
Summe HG		**409.980**		**164,9**	**279,4**		**210.630**
davon:						Stufe 1	**199.630**
1		keine					
2	Küchennebenräume	800	450	0,6	0,6	1	**800**
3	Bühnennebenräume	3.600	750	2,2	2,2	1	**3.600**
4	Vortrag EG	29.700	1000	15,0	15,0	1	**29.700**
5	Cafeteria	25.200	600	11,0	11,0	1	**25.200**
6	Küche neu!	8.000	850	2,5	2,5	0,5	**4.000**
7	Bibliothek	19.500	1100	11,0	11,0	1	**19.500**
8	Schulbücherei	3.500	1000	1,5	1,5	1	**3.500**
9	1.OG	11.900	1000	7,5	7,5	1	**11.900**
10A	Schul Innenzone 1--3 33660	52.100	1900	10,9	33,9	0,25	**13.025**
10B	Schul Aussenzone 1-3	69.000	1850	14,0	42,0	0,25	**17.250**
11	Fachschule 4.. 37800m3	54.900	1850	12,5	37,0	0,25	**13.725**
12		keine					
13	von 23B	4.000	630	1,5	1,5	1	**4.000**
14	von 23B	4.000	630	1,5	1,5	1	**4.000**
15	Turnhalle	12.500	740	5,5	5,5	0,3	**3.750**
16	Turnnebenraum	5.200	750	2,2	2,2	1	**5.200**
17	Umkleide	3.360		1,5	1,5	1	**3.360**
18	Umkleide	3.360		1,5	1,5	1	**3.360**
19	Umkleide	3.360		1,5	1,5	1	**3.360**
20	WC Sport	Keine					
21 I	Tribüne	9.000		4,0	4,0	1	**9.000**
21 II	Tribüne	9.000		4,0	4,0	1	**9.000**
22 I	Sporthalle *	26.000		11,0	11,0	0,3	**7.800**
22 II	Sporthalle	26.000		11,0	11,0	0,3	**7.800**
22 III	Sporthalle	26.000		11,0	11,0	0,3	**7.800**
Vorschub							
23A	10A 10B	121.100					
23B	11,13,14,25, 25 B	69.000	700	9,0	26,0		
24	2-9	113.700	750	11,0	33,0		
22 I - III mindestens 30 % AL 10-11WRG							

* bei 30 % AL-Anteil

Tabelle 6 Technische Daten Abluftanlagen

Anlage Nr.		Anlagendaten				Wirkvolumen	
		Luft Menge	Druck verlust	inst. Leistung Stufe 1	Stufe2/Volllast	f	für min. h^{-1}
Bez.	Anlage	m^3/h	Pa	KW	KW	-	m^3/h
EB	**1-3.OG**	**28.800**		**12,5**	**12,5**	**0,4**	**11.520**
Summe HG		**419.350**		**153,9**	**205,9**		**233.698**
davon						**Stufe 1**	**224.538**
1	Garage 1	13.000	700	13,5	13,5	1	13.000
1	Garage 2	13.000	700	13,5	13,5	1	13.000
2	Küchennebenräume	800	610	0,6	0,6	1	800
3	Bühnennebenräume	3.000	770	1,5	1,5	1	3.000
4	Vortrag EG	22.300	700	7,5	7,5	1	22.300
4	4Bühne	4.600	1110	3,0	3,0	1	4.600
4	4Ozon	1.200	560	0,6	0,6	1	1.200
5	Cafeteria	25.200	700	11,0	11,0	1	25.200
6	Küche !!!	6.800	800	3,0	3,0	0,5	3.400
7	Bibliothek	17.500	700	7,5	7,5	1	17.500
8	Schulbücherei	3.200	700	1,1	1,1	1	3.200
9	1.OG	10.800	700	4,0	4,0	1	10.800
10A	Schul Innenzone	47.350	1150	8,0	24,0	0,25	11.838
10B	Schul Aussen48.000	62.700	1250	12,5	37,0	0,25	15.675
11m36	Fachschule 4..	36.500	500	5,5	17,0	0,25	9.125
11m1-25	Fachschule 4..	720	600	0,6	0,6	1	720
11m17-20	Fachschule 4..	900	580	0,6	0,6	1	900
11m14	Fachschule 4..	1.200	650	0,8	0,8	1	1.200
12EG WC	EG	2.600	680	1,1	1,1	1	2.600
12WC Herren	1.-3.	2.700	640	1,1	1,1	1	2.700
12WC Damen	1.-3.	3.400	700	1,5	1,5	1	3.400
13	Gymnastik	4.150		1,5	1,5	1	4.150
14	Gymnastik	4.150		1,5	1,5	1	4.150
15	Turnhalle	11.500		5,5	5,5	0,3	3.450
16	Turnneben	5.200		2,2	2,2	1	5.200
17	Umkleide	3.360		1,1	1,1	1	3.360
18	Umkleide	3.360		1,1	1,1	1	3.360
19	Umkleide	3.360		1,1	1,1	1	3.360
20	WC sport	2.100		0,9	0,9	1	2.100
21 I	Tribüne	8.000		2,2	2,2	1	8.000
21 II	Tribüne	8.000		2,2	2,2	1	8.000
22 I	Sporthalle	24.900		11,0	11,0	0,3	7.470
22 II	Sporthalle	24.900		11,0	11,0	0,3	7.470
22 III	Sporthalle	24.900		11,0	11,0	0,3	7.470
25	23 B	5.000		1,1	1,1		0
25 B	23B	5.000		1,1	1,1		0
25 C	Maschinen	2.000		1,1	1,1		0

Alle Anlagen arbeiten ungeregelt, entweder 1- oder 2- stufig. Umschaltungen sind in der zeittypischen 70 er Jahre Ausführung für Manuell- oder Automatikbetrieb vorgesehen. Der Automatikbetrieb wird über die Ablufttemperatur zonenweise für Raumgruppen geregelt. Dadurch ergeben sich Probleme bei unterschiedlichen Wärmelasten in den Räumen.

Die Regelung und die Steuerung der Anlage entsprechen dem Stand von 1970, also nicht mehr dem Stand der Technik.

Die Motoren sind nicht drehzahlgeregelt über FU gesteuert.

Nach DIN wird ein Mindestaußenvolumenstrom von 30 m^3/h, Person gefordert. Die SIA sieht einen Außenluftvolumenstrom von 20 m^3/h, Person vor. Die Kapazität aller Lüftungsanlagen beträgt über 300.000 m^3 bereits bei Grundlast. Einige Anlagen sind auf einen 8-9-fachen Luftwechsel ausgelegt. Aus den alten Abnahmemessungen ist zu erkennen, dass dieser eingehalten wird. Geht man davon aus, dass sich im Gebäude max. rund 1500 Personen aufhalten könnten (Durchschnitt 293 Personen, vgl. Tabelle 13 Personenstunden) bedeutet das eine Versorgung von 200 m^3/h, Person, bezogen auf den Durchschnitt 1000 m^3/h, Person. Dies bedeutet eine erhebliche Überdimensionierung. Durch die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten ist eine funktionsbezogene angepasste geregelte Lüftung besonders wichtig, wenn nicht aus Sicherheitsgründen an allen Stellen jederzeit alle denkbar möglichen Maximalfälle bedient werden sollen, wie derzeit im Bestand. (vgl. Maßnahmen Lüftung 7.4.)

Sofern die Luftmengen durchgehend erreicht werden ergibt für das Gesamtgebäude ein energetisch wirksamer Luftwechsel von 3 h^{-1} bereits im Grundbetrieb bei min. Außenluftanteil der Anlagen im Sportbereich.

Die Anlagenkomponenten sind in einem dem Alter entsprechenden Zustand. Einige Anlagen ziehen Nebenluft bzw. die Gehäuse sind nicht mehr 100% druckdicht.

Im Gutachten von Tectrol wurden die großen Anlagen 10a, 10b und 11 auf mögliche Energieeinsparungen untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass die Gesamtluftmenge der Maximalstufe Stufe 2 von 176.000 m^3 zu hoch projektiert ist. Bei der Untersuchung der Anlagen 10a und 10b wurden auch die Förderleistungen in den einzelnen Stufen 1 und 2 ermittelt. Dabei wurden Abweichungen von der projektierten Menge festgestellt.

Allerdings liegt bereits die Förderleistung für die Anlage 10a innen, zonenversorgt, weit über dem Außenluftbedarf für den Schulbetrieb. Daraus gewannen die Gutachter den Eindruck, dass die Regelung der Lüftungsanlage variabel gestaltet werden kann. Es ist zu vermuteten, dass insgesamt wesentlich zu hohe Luftmengen gefördert werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Luftmengen auch zum Heizen und Kühlen mit eingesetzt werden.

Auffälligkeiten:
Pumpengruppen der Lüftungsanlagen sind nicht gedämmt.

Erweiterungsbau

Der Erweiterungsbau verfügt über nur eine Lüftungsanlage, die insgesamt 6 Zonen (Stock 2-4 Ost und West) versorgt.
Die Anschlussleistung beträgt 12,5 kW im Zuluft- und 10 kW im Abluftbereich. Der Volumenstrom beträgt 8 m^3/s = 28.800 m^3/h. Unter Annahme einer 60% WRG liegt der wirksame Luftwechsel bei 11.520 m3/h. Damit wird ein energetisch relevanter Luftwechsel von 1,3 h^{-1} erreicht.
Die Zonenzuluftkanäle verfügen über Nachheizregister. An jeder Zone sind 4 Räume angeschlossen.
Nach den Plänen sitzen die Temperaturfühler für die Heizungssteuerung in den Abluftkanälen.

3.3.4. Kälteanlagen/Klimatisierung (K)

Bei der Kälteanlage handelt es sich um 2 Carrier-Kältemaschinen zur Kälteerzeugung.

Bild 25, Bild 26 und Bild 27 Kältemaschine, defekte Pumpe, Pumpengruppe

Eine der Maschinen ist stillgelegt. Die Freigabe der Kältemaschine erfolgt in den Sommermonaten durch die Hausmeister.
Die Regelung der Maschine erfolgt über eine Dralldrosselung. Die Vorlauftemperatur wird auf ca. 7 °C eingeregelt.

Die Antriebsleistung der Kältemaschine beträgt ca. 70 kW.
Es sind 3 Kaltwasserpumpen mit einer Motorleistung von je 15 kW installiert, davon eine defekt.
Die Kühlung der Kältemaschine erfolgt über 3 Kühlwasserpumpen mit je 18,5 kW.

Die Rückkühlung erfolgt über ein offenes System.
Die Kühlwasser und Kaltwasserpumpen sind nicht geregelt.

Im Rahmen des Tectrol-Gutachtens wurde die Kälteanlage im Mai 2000 an 2 Tagen durchgemessen. Dabei wurde folgendes festgestellt:

Bei 24 °C Außentemperatur wurde eine konstante Wassermenge von 180 m^3/h gefördert. Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf betrug durchschnittlich 1,5 °C. Die Kälteleistung betrug im Maximum 350 kW.

Es wurde festgestellt, dass die Wassermenge um die Hälfte reduziert werden kann, so dass sich eine Verdoppelung der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf ergibt. Für die Monate Juli und August wurde mit einer Erhöhung des Kältebedarfs von 500 kW gerechnet. Daraus ergibt sich eine rechnerische Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf von 5 °C bei gleichzeitiger Reduzierung der Wassermenge auf 90 m^3/h. Bei einer Auslegung von 6 °C/12 °C könnte ca. 620 kW Kälteleistung mit 90 m^3 Kaltwasser in das System abgegeben werden.
Im Rahmen der Untersuchung wurde auch festgestellt, dass eine Regelung unterhalb von 300 kW zur Zeit nicht möglich ist.

Ursprünglich war die Kältemaschine auf Betriebsaufnahme ab 16 °C Außentemperatur eingesellt. Dieser Wert ist durch die Hausverwalter schon auf 18 ° jetzt versuchsweise auf 19 °C Außentemperatur hochgestellt worden, so dass die Kältemaschine später anläuft.

An die Kältemaschine sind die Lüftungsanlagen 4 – 11 angeschlossen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die installierten Leistungen. Diese wurden aus den Revisionsunterlagen entnommen und von kcal auf kW umgerechnet. Es fällt auf, das die installierte Kälteleistung bezogen auf den Bedarf

beim 1,3-fachen des Nennvolumenstroms liegt. Insgesamt wird beim Vollastbetrieb eine Kälteleistung von 1350 kW benötigt. Diese könnte selbst beim Betrieb beider Maschinen wahrscheinlich nicht erreicht werden (Unter energetischen Gesichtspunkten ist dies aber durchaus erwünscht, die Maßnahmen zur Kälte finden sich in 7.7.1.).

Tabelle 7 Installierte Kälteleistung

Anlage Nr.		Anlagendaten							
		Luft	Leistung	Temperaturdifferenz			Leistung	F	Wirkvolumen für min. h^{-1}
		menge	Kälte	Ta	Tz	Ta-Tz	benötigt		
Bez.	Anlage	m^3/h	kW	°C	°C	K	kW	-	m^3/h
EB	**1-3.OG**	**28.800**		**12,5**	**12,5**			**0,3**	**8.640**
Summe HG		**269.800**	**1756**	**276,0**	**143,0**		**1352**		**269.800**
Davon:							1,3	Stufe 1	**225.800**
4	Vortrag EG	29.700	183	29,5	16,0	-13,5	132,3	1	**29.700**
5	Cafeteria	25.200	214	32,0	16,0	-16,0	133,1	1	**25.200**
6	Küche neu!	4.000	49	32,0	18,0	-14,0	18,5	1	**4.000**
7	Bibliothek	19.500	136	31,0	14,0	-17,0	109,4	1	**19.500**
8	Schulbücherei	3.500	26	31,0	16,0	-15,0	17,3	1	**3.500**
9	1.OG	11.900	52	28,0	17,0	-11,0	43,2	1	**11.900**
10A	Schul Innenzone 1--3 33660	52.100	306	30,5	15,0	-15,5	266,5	1	**52.100**
10B	Schul Aussenzone 1-3	69.000	411	30,0	15,0	-15,0	341,6	1	**69.000**
11	Fachschule 4.. 37800m3	54.900	379	32,0	16,0	-16,0	289,9	1	**54.900**
10-11	**WRG**								

3.3.5. Beleuchtung (B)

Die Beleuchtung im Hauptgebäude (HG) besteht überwiegend aus in die Decke integrierten Kombileuchten mit Zu- und Abluftführung. Die Zuluft wird über seitliche Schlitze geführt, die Abluft zwischen den Leuchten. Die Länge der Kombilampen beträgt 150 cm. Sie sind mit 2 Leuchten a 58 W bestückt. Die Reflektoren sind als weiße Steil und Flachreflektoren ausgeführt (inzwischen teilweise stark verschmutzt) und nach unten offen. Nach LEE (A 3.1.4.) wird der Wirkungsgrad zu 0,8 bestimmt und der Verminderungsfaktor v (A 3.1.5.) mit 0,6 (Planungsfaktor p = 1,67) ermittelt.

Die Leuchten im Erweiterungsbau bestehen aus Lampen mit jeweils 2 oder 3 Leuchten a 58 W. Auch diese Leuchten sind altersbedingt verschmutzt, verfügen nicht über verspiegelte Reflektoren.

Da kein Deckenspiegel vorlag, wurden alle Leuchten neu erfasst und in beiliegendem Raumplan aufgenommen (vgl. Tabellen 39 und 40 ab Seite 101). Die Tabellen können auch dazu dienen, systematisch die Beleuchtungsstärken der einzelnen Räume aufzunehmen. Sporadische Messungen in einigen Bereichen zeigten Werte bis 700 Lux.

Zur besseren Übersicht wurden alle Leuchten in Tabelle 8 Übersicht Leuchten HG und EB zusammengefasst.
In den Räumen ist überwiegend eine Leuchtenleistung von mindestens 20 W/m^2 installiert.

Bild 28 und Bild 29 Standardleuchten im Hauptgebäude

Durch Abluftführung über die Lampen wird die Abwärme mit der Abluft abgeführt (Im Sommer erwünscht, im Winter nicht) Im 4 OG gibt es in den Unterrichtsräumen auch Lampen ohne Lüftung. Alle Lampen sind mit KVG ausgestattet.

Bild 30 Standardleuchte ohne Lüftung im 4. OG

In den Sanitärbereichen sind überwiegend Opallampen mit 1 x 58 W Leuchtstofflampen installiert. Die installierte Leistung liegt hier zwischen 3 und 8 W/m^2.

Im Flur 4 OG, Flur 3 OG, Schulbücherei wurden die Lampen schon umgerüstet:
In den Fluren wurde dadurch die installierte Lichtleistung mehr als halbiert. (vgl. Tabelle 4) Sie beträgt im Flur 4.OG nur noch 4 W/m^2. Allerdings werden heute für 100 lx als Richtwert 2,5 W/m^2 und als Zielwert 2 W/m^2 angestrebt.

Bild 31 und Bild 32 Typ 1 x 18 W / 60 im Flur 3. OG **Typ 2 x 18 /60 im 4. OG**

In der Schulbücherei wurden die Lampen ausgetauscht. Nach Klagen durch das Personal wurden zwei weitere Reihen ergänzt. Die Leuchten sind - für diesen Nutzungsbereich eher unüblich – mit Warmtonleuchten bestückt.

Bild 33 und Bild 33 1x 56 W / 150 Schulbücherei 2. OG Warmton!

Daneben gibt es in der Cafeteria und dem unteren Flur auch noch 3 x 18 W / 60 und im Flur zur Turnhalle auch 4 x 18 W / 60.

In den Flurbereichen wurden teilweise die Leuchtmittel entfernt, allerdings nicht überall.

Bild 34 und Bild 35 Sparmaßnahmen in den Fluren. Nur jede 2. Lampe leuchtet, aber nicht überall!

Im Erweiterungsbau EB gibt es als Standardtyp im EG 2-reihige 2 x 58 W / 150 Lampen und im 2-4 Geschoss 3 x 58 W / 150 cm Lampen. Nach LEE (A 3.1.4.) wird der Wirkungsgrad zu 0,8 bestimmt und der Verminderungsfaktor v (A 3.1.5.) mit 0,7 (Planungsfaktor p = 1,43) ermittelt. Alle Lampen sind mit KVG ausgestattet.

Bild 36, Bild 37 und Bild 38Standardleuchte 2- und 3-reihig im EB

Die alten Planungsfaktoren sind durchgängig zu hoch. Mit modernen Lampen sind Planungsfaktoren bis nahe 1 (T5) erreichbar. Damit lassen sich die installierten Leistung deutlich unter 10 W/m^2 für 300 Lux drücken.
Die derzeit installierten Leistungen liegen mit 20 W/m^2 deutlich darüber. (vgl. Maßnahmen 7.8.)

Tabelle 8 Übersicht Leuchten HG und EB

Bauteil	Fläche	Leucht-mittel	Lampen	Leuchten-leistung	Gesamt-leistung	spez. Leistung	Verbrauch
Geschoss	m^2	Stk	Stk	kW	kW	W/m^2	kWh/a
Summe	**26.123**	**5.994**	**3.428**	**313**	**453**	**17,3**	**613.080**
EBF	**18.770**	**5.803**	**3.237**	**302**	**374**	**19,9**	**590.346**
n. EBF	**7.354**	**191**	**191**	**11**	**14**	**1,8**	**22.734**
Bauteil HG	22.936	5.084	3.000	260	323		519.800
UG	7.016	173	173	10,0	12,3	1,8	22.223
1EG	7.016	2.257	1.185	99,2	125,6	17,9	215.606
21.OG	3.709	1.185	744	68,7	84,1	22,7	126.043
32.OG	2.736	744	725	42,4	52,1	19,0	80.599
43.OG	2.460	725	173	40,1	49,4	20,1	75.330
Bauteil EB	3.187	910	428	53	65		93.280
Keller	338	18	18	1,0	1,3	3,8	511
1EG	676	172	98	10,0	12,2	18,1	18.158
21.OG	726	210	102	12,2	14,9	20,5	22.205
32.OG	723	248	104	14,4	17,6	24,3	26.053
43.OG	723	262	106	15,2	18,6	25,7	26.352

Details zur Ausstattung können dem Tabellenanhang ab S.102 entnommen werden.

3.3.6. Sonstige elektrische Verbraucher

Weitere elektrische Verbraucher:

Diverse Haustechnik (DT)

2 Fahrstühle (HG und EG), 1 Lastenaufzug Bühne

Betriebseinrichtungen (BR)

Arbeitshilfen (AH)
Server, PC Räume
PC, Drucker, Kopierer
Elektroheizkörper, Lüfter und Radiatoren

Bild 39 und Bild 40 Folgen veralteter Bausubstanz: ohne Kommentar!

Zentrale Dienste (ZD):
Alarmanlage
Notbeleuchtung
Brandmeldeeinrichtung
Kopierraum

Diese Verbraucher sind im Rahmen einer Feinanalyse zu untersuchen. Für die Berechnung der Leistungen und Verbräuche sind diese abgeschätzt. (vgl. Tabelle 13 auf Seite 42)

Als weiterer Verbraucher wurde die Küche aufgenommen. Die einzelnen Geräte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Insgesamt summiert sich die installierte Leistung zu 72 kW.

Tabelle 9 Verbraucher und installierte Leistung in der Küche

Verbraucher	Anzahl		Leistung KW Inst.
Summe	29		71,55
Friteusen	2		6
Kochplatten	6		24,85
Warmhalteofen	1		1,5
Wärmschrank	1		0,7
Hähnchengrill	1		5
Kreideplatte	1		7,5
Kaffeemaschine	1		1
Kakaomaschine	1		1
Kühlagreggate	2	(Theke, Innentheke)	0,5
Kühlhaus	1	12 m2, - 18 °	2
Konvektormate	2	2	4
Kühlschränke hoch	7	0,2	1,4
Spülmaschine Durchlauf	1		10
Klarspülmaschine	1		5
Absaughaube	1	4m lang, 1200 m tief	1,1

3.3.7. Sanitär/Wasser (S)

Im Gebäude befinden sich 53 Toilettenanlagen, die überwiegend als bodenstehende Flachspüler ausgestattet sind. Im Reparaturfall werden diese gegen Tiefspüler ausgetauscht. Bei den Tiefspülern sind die meisten (Stichprobe) auf 6 - 6,5 l Wassermenge (Standard Spülkästen für 9 l) eingestellt. Die Flachspüler sind teilweise auf 7, in der Regel auf 8-9 l eingestellt, eine weitere Verringerung ist bei Flachspülern problematisch.
Daneben gibt es 8 trockene Urinalanlagen die täglich gespült werden. Im Sportbereich sind 7 Urinalanlagen als Reinanlagen,
Es gibt kein getrenntes Trinkwasser-Brauchwassernetz.

Die 169 Waschbecken verfügen in den öffentlich zugänglichen Bereich über einstellbare Druckspüler mit mechanischer Zeitabschaltung.

Die 55 Duschen sind teilweise alte Beckenanlagen oder erneuert mit Spararmatur und Stoptaste.

Weiterer Wasserverbraucher ist der Kühlturm, dessen Verbrauch jedoch nicht separat gemessen wird. (Siehe Maßnahmen 7.)

4. Energiedaten

4.1. Verbräuche

Im BIKUZ/FDG werden zur Zeit rund 3300 MWh Strom und 6500 MWh Wärme in Form von Gas und 5200 m^3 Wasser verbraucht.
Durch die Vertragsverhandlungen mit der MKW (SÜWAG) sank der spezifische Strompreis von 11,07 ct/kWh 2001auf 9,59 ct/kWh.

Bezogen auf die Energiebezugsfläche ergeben sich spezifische Verbräuche für

Strom **178 kWh/m^2a**

(Ab 80 kWh/m^2a wird die Durchführung einer Feinanalyse empfohlen.)

Die Leistungsspitze von
800 kW führt beim Strom zu **3891** **Vollbenutzungsstunden.**
(Der Richtwert beträgt 2000h)

Gas **363 kWh/m^2a**

Die installierte Leistung
von 1750 kW führt zu **3913** **Benutzungsstunden.**
(Der Richtwert liegt bei 1500 h)

Die Energiedaten zeigen dringenden Handlungs-/Sanierungsbedarf!

Der Wasserverbrauch liegt bei **26 l/Pers,d**. Obwohl wegen der gemischten Nutzung des Gebäudes keine Vergleichswerte vorliegen erscheint der Wert hoch (Schulen und Verwaltungsgebäude 10-20 l/Pers,d). Der Werte für Warmwasser ist dagegen mit 1,1 l/ Pers,d niedrig (Sporthallen 15l/Pers,d)
Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Verbräuche und Kosten im HT/NT sowie die Leistung für Strom und Gas, Wasser für die Jahre 1998-2002.

Tabelle 10 Energieverbräuche und Kosten

Kosten pro Jahr	Strom HAT Summe EUR/a	Strom NT Summe EUR/a	Strom Leistung Summe EUR/a	Strom Summe EUR/a	Gas Summe EUR/a	Wasser Summe EUR/a
Mittelwert	127.124	84.492		331.323	190.275	22.169
1998	153.854	111.709	0	307.438	187.265	25.932
1999	143.115	65.912	73.677	342.958	133.301	20.692
2000	114.328	83.014	79.915	368.331	188.671	19.243
2001	116.364	85.172	0	325.918	251.863	22.978
2002	107.959	76.652		311.970	230.000	22.000
2003	0	0	0 Neue Verträ-je	0	0	0

Abbildung 1 Energiekosten und Verteilung 1998 - 2002

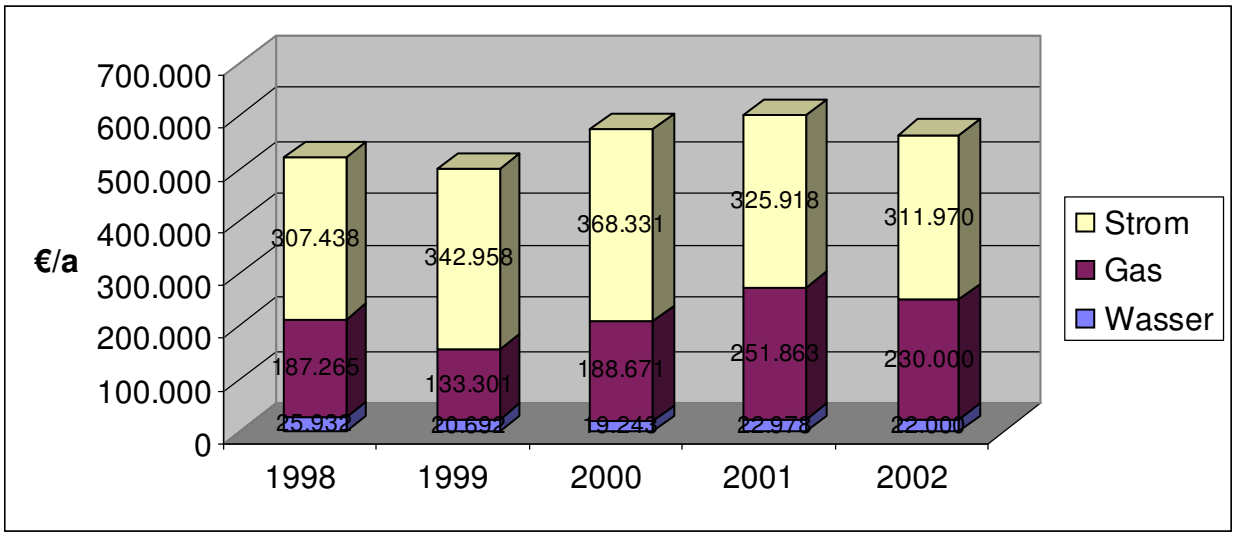


Tabelle 11 Energieverbräuche von 1998 - 2002

Verbräuche pro Jahr	Strom HAT Summe kWh/a	Strom NT Summe kWh/a	Strom Leistung Mittel kW	Strom Leistung Max kW	Strom Summe kWh/a	Gas Summe kWh	Wasser Summe *** m3
Mittelwert			626		3.358.518	6.847.525	5.417
1998	1.977.090	1.435.500	624	730	3.412.590	8.990.066	6.491
1999	2.034.410	1.507.610	623	729	3.542.020	6.135.066	5.046
2000	1.927.640	1.399.670	623	729	3.327.310	5.769.170	5.000
2001	1.961.960	1.436.050	608	773	3.398.010	6.758.286	5.276
2002	1.820.260	1.292.400	656	800	3.112.660	6.585.036	5.272
2003	0	0	0		0	0	0

Tabelle 12 Spezifische Energiekosten

spezifische Kosten	Strom HAT Summe ct/kWh	Strom NT Summe ct/kWh	Strom Leistung Mittel €/kW	Strom Leistung Max €/kW	Strom Summe ct/kWh	Gas Summe ct/kWh	Wasser Summe *** €/m^3
Mittelwert	6,54	5,97			9,87	2,89	4,09
1998	0,0778	0,0778	0		9,01	2,08	4,00
1999	0,0703	0,0437	118	101	9,68	2,17	4,10
2000	0,0593	0,0593	128	110	11,07	3,27	
2001	0,0593	0,0593	0		9,59	3,73	4,36
2002	0,0593	0,0593	0		10,02	3,49	4,17
2003	0	0	0		0	0	0

Für Energie und Wasser mussten im Jahr 2002 rund 600.000 € aufgewandt werden.

Die Abbildung 1 Energiekosten und Verteilung 1998 - 2002 auf Seite 33 stellt die Kostenaufteilung für Wasser, Gas und Strom für die letzten 5 Jahre dar.

Der größte Teil davon entfällt auf Strom mit durchschnittlich 330 T€ pro Jahr. Der Gasbezug kostet rund 200 T€ pro Jahr. Daran gemessen sind die Wasserkosten mit 22 T€ pro Jahr eher bescheiden.

4.2. Verträge

4.2.1. Stromverträge

Von der Saalbau wurde im Jahr 1999 ein leistungsunabhängiger Festpeisvertrag mit der SÜWAG (ehem. MKW) abgeschlossen, der vom 1.1.2001 bis zum 31.12. 2003 läuft.
Dieser sieht einen Netto-kWh-Preis incl. Leistung, Messgebühren, Grundpreisen von 11,6 DPf/kWh (= 5,93 ct/kWh) vor. Hinzu kommen Ökosteuer, KWK, EEG und Umst.

Der Vertrag bezieht sich auf 4 Häuser der Saalbau im SÜWAG Einzugsbereich (BIKUZ (12), Sossenheim (26), Zeilsheim (33) und Nied (21)) .
Gemessen an den alten G-Tarifen der MKW, die die Saalbau vor dem Jahr 2000 hatte, konnte insgesamt eine Einsparung von 35 % gegenüber dem ursprünglichen Zustand (1998) erreicht werden.

Im Rahmen der Verhandlungen konnte auf einen Leistungspreis verzichtet werden, so dass die Energiesparmaßnahmen bei der Saalbau sich direkt in 100 % Einsparungen pro kWh ausdrücken.

Im Jahr 2001 wurde auch zwischen der SÜWAG und der Stadt Frankfurt eine Rahmenvereinbarung ähnlich dem Vertrag Mainova./Stadt Ffm. eingeführt.

Wendet man diese allein auf das BIKUZ an, ließen sich die Kosten erheblich senken, allerdings würden die anderen drei Häuser Sossenheim, Zeilsheim und Nied dann erheblicher teurer werden, wenn hier die Tarife aus dem Vertrag mit der Stadt Ffm. zum Tragen käme.

Saldiert ist die Lösung Vertragspaket der Saalbau Häuser BIKUZ, Zeilsheim, Sossenheim, Nied genauso teuer wie die rabattierte Vertragsgestaltung gemäß Rahmenvereinbarung mit der Stadt Ffm. Dies bedeutet, dass im Falle von Energieeinsparungen die Entlastungen für die vier Häuser deutlicher ausfallen als bei dem rabattiertem aber Leistungspreis orientierten Tarif in der Rahmenvereinbarung.

Eine Änderung der vertraglichen Gestaltung ist nach dem 31.12.2003 möglich, kann also im Sommer 2003 verhandelt werden. Der Vertrag enthält eine Option der Verlängerung um ein Jahr. Diese Option hat die Saalbau 2003 ausgeübt. Damit gilt der Vertrag mit den v.g. Konditionen bis 31.12.2004.

Ziel der Saalbau für weitere Vertragsverhandlungen ist ein möglichst einfacher, leistungsunabhängiger Arbeitstarif, wie bereits abgeschlossen.

4.2.1. Gasverträge

Die Gasversorgung erfolgt durch die Mainowa im Rahmen des normalen Versorgungstarifs VG 1.
Für den genannten Tarif gibt es die üblichen Rabatte. Die Vertragstruktur war mit Stand vom 31.12.02 wie folgt:

Leistungspreis	0,587990	€ / kWh/d
Arbeitspreis	0,023090	€ / kWh

Messwert Einzelleistung: 34.864 kWh/d
Ein Anstieg des H_o, wie bei einigen Stadtwerken beobachtet, kann im Bereich der Mainowa zur Zeit nicht festgestellt werden. Der Brennwert H_o = 11,680 ist seit 1998 fast unverändert.

Die Liberalisierung des Gasmarktes ist leider noch nicht so weit fortgeschritten, dass die Durchleitungsmodalitäten geregelt sind, so dass eine freie Wahl des Wettbewerbers zur Zeit eher nicht möglich ist.

4.2.2. Wasserverträge

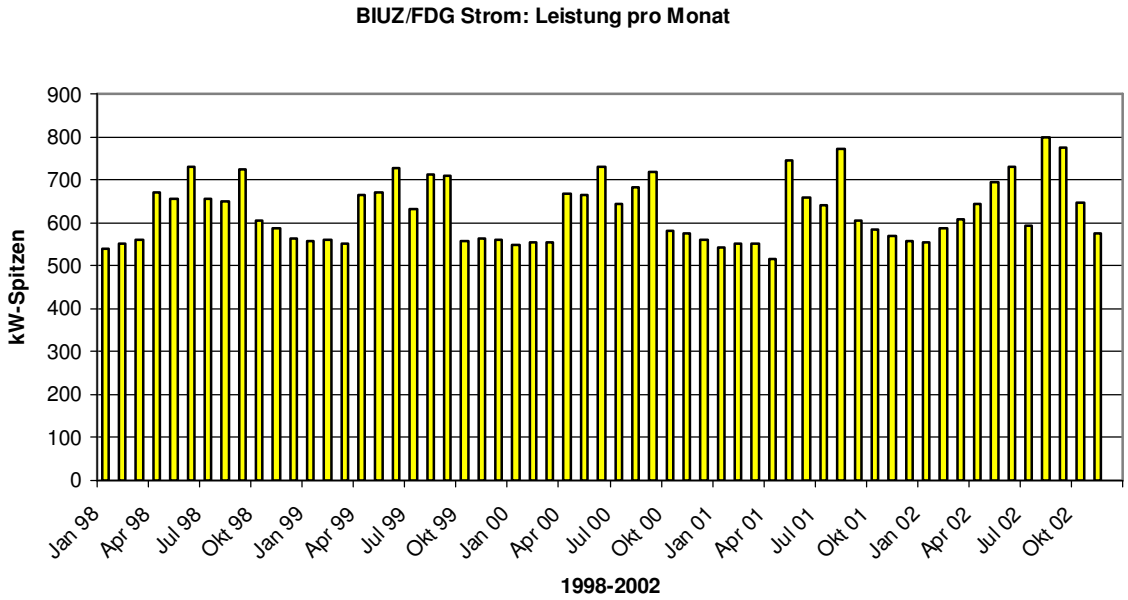
Der Wasserpreis liegt bei 1,87 €/m^3 zuzügl. 7 % MwSt. (Erhöhung auf 16 % geplant).
Der Abwasserpreis beträgt 1,76 €/m^3. Die Grundgebühr beträgt 39,14 €/a. Im Jahre 2002 lag die Grundwasserabgabe bei 0,1278 €/m^3.
Die Ausgleichsabgabe soll mit Datum vom 1.1.2003 wegfallen, so dass es hier Entlastungen gibt.
Die Versorgung ist im Rahmen des allgemeinen Tarifgefüges mit der Mainowa geregelt. Es gibt keine spezielle Vertragsvereinbarung.

4.3. Lastgänge

4.3.1. Stromlast

Leistung
Jahreslastgänge Leistung Diagramm 1 sind die Monatshöchstleistungen seit Januar 98 aufgezeichnet.

Abbildung 2 Strom Leistungswerte pro Monat 1998 - 2002



Deutlich zu erkennen sind die ausgeprägten Spitzen mit Inbetriebnahme der Kältemaschine im April, die dann zwischen 680 und 750 kW liegen. Je nach Lage der Sommerferien sind die Spitzen dann entweder im Juli oder August wegen der verringerten Kühllast nicht mehr ausgeprägt hoch.
Außerhalb des Betriebes der Kältemaschine laufen „nur“ die Lüftungsanlagen in den Monaten September/Oktober bis März. Hier beträgt die Spitzenlast rund 550 kW.
Während die Jahre 1998 bis 2000 vom Verlauf her fast identisch sind, gibt es im Mai 2001 und im September 2001 eine deutliche Erhöhung der Leistungsspitze auf rund 780 kW . Diese Entwick-

lung wiederholt sich im Jahre 2002. Hier gibt es eine ausgeprägte Spitze von 800 kW ab August und eine Spitze von 780 kW im Sept.

Diese Leistungsspitzen haben zwar insgesamt nicht zu einem höheren Stromverbrauch geführt, der Verbrauch sank im Jahr 2002 gegenüber 2001 um rund 5 % (von 3400 MWh auf 3100 MWh).

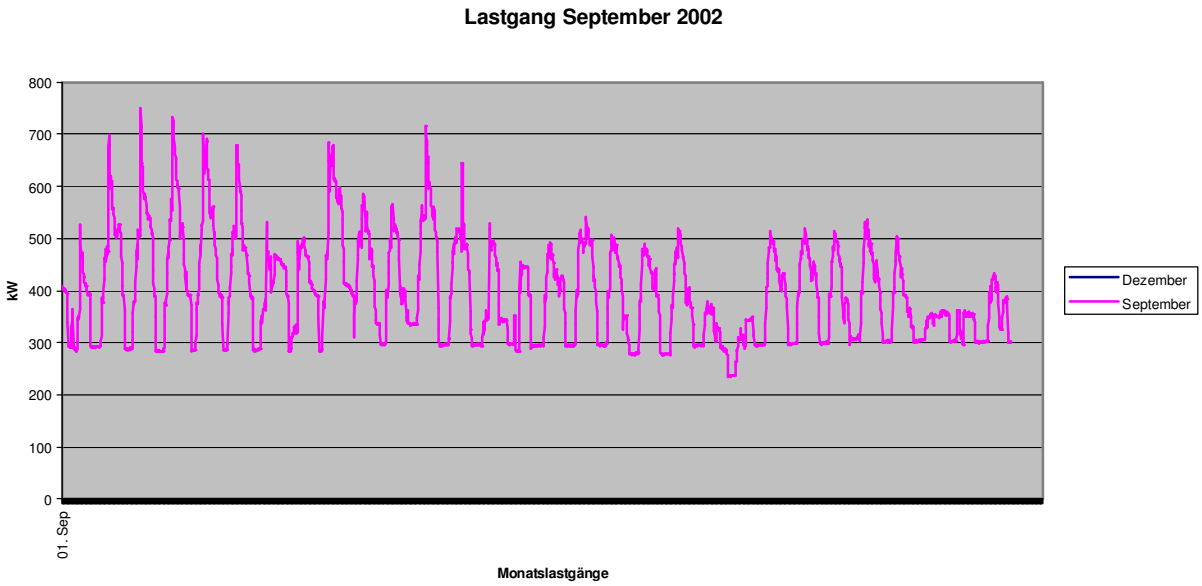
Hier macht sich der Vertragsabschluss für einen reinen Arbeitspreis dann erfreulich bemerkbar (vgl. Verträge 4.2.1. Stromverträge S. 34).

Die leichten Erhöhungen der Spitzen in 2001 und 2002 sind nicht signifikant und sollten weiter beobachtet werden.

Von der SÜWAG wurden die Stromlastgänge für die Monate Sept. und Dez. abgefordert und ausgewertet.
Die Septemberwerte sind für Aussagen im Übergang von Kühl- auf Lüftungs-/Heizungsbetrieb interessant. Das Abschalten der Kühlanlage zeigt sich auch deutlich in den Lastgängen.

In Diagramm 1 ist der Stromlastgang über den Monat September aufgezeichnet und zeigt die ¼ Stundenwerte vom 1.9. – 30. 9.02. Wie man deutlich erkennen kann, hat das Gebäude einen ausgeprägten Montags-Freitags Betrieb.

Abbildung 3 Stromlastgang September 2002

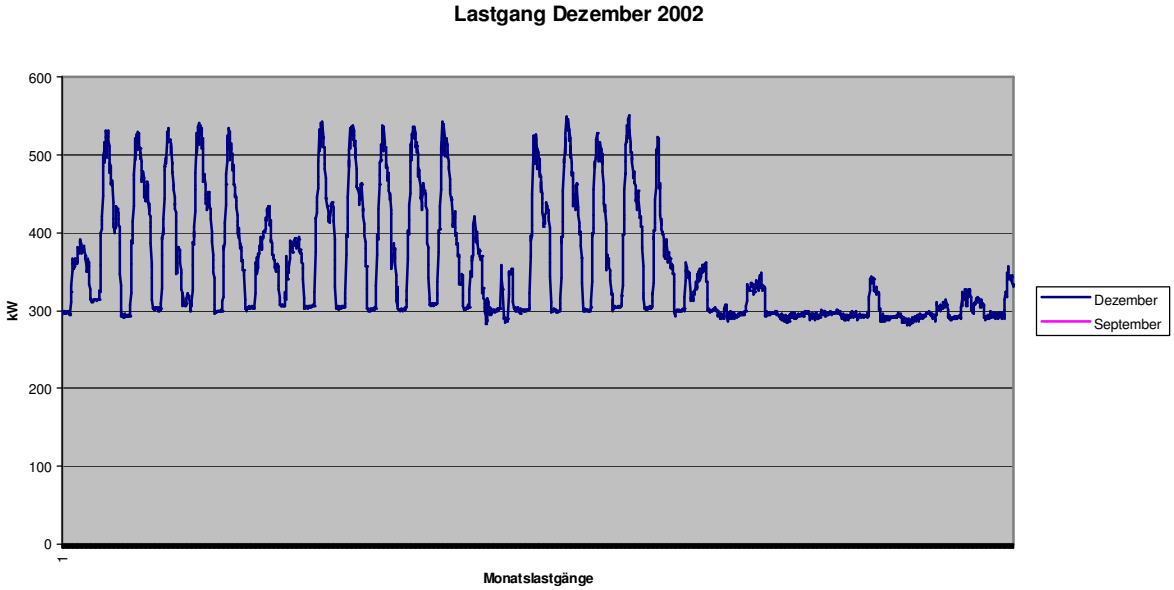


In der 1. Septemberwoche wird der Spitzenwert mit 750 kW am Dienstag gegen Mittag erreicht.

Ab Mitte September wurde die Kältemaschine abgeschaltet. Dies erkennt man deutlich durch die Verringerung der Leistung. Der Spitzenwert liegt jetzt nur noch am Dienstag bei 550 kW, d. h. rund 200 kW werden im wesentlichen durch die Kältemaschine und deren Nebenaggregate sowie die Stufe 2 der Lüftungsanlagen verursacht.

Zum Vergleich wurde der Dezember herangezogen. Hier ist die Kältemaschine abgeschaltet.

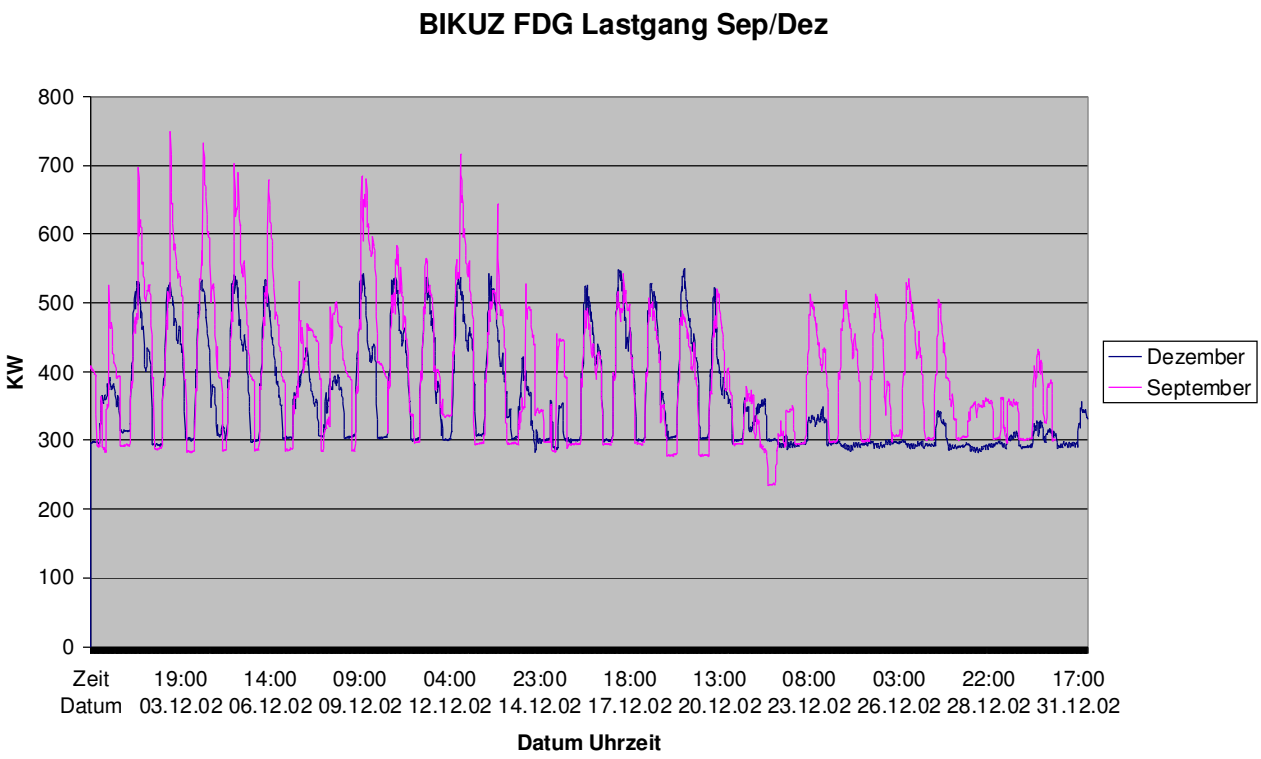
Abbildung 4 Stromlastgang Dezember 2002



Auch hier liegt der Spitzenwert bei rund 550 kW.
Die Grundlast ist wie im September mit 300 KW rund um die Uhr durchlaufen zu erkennen. Mit Beginn der Schulferien bleibt die hohe Grundlast erhalten. Die Tagesspitzen entfallen. An den Wochenenden gibt es Leistungsspitzen von bis zu 400 kW durch Veranstaltungen im Saal.

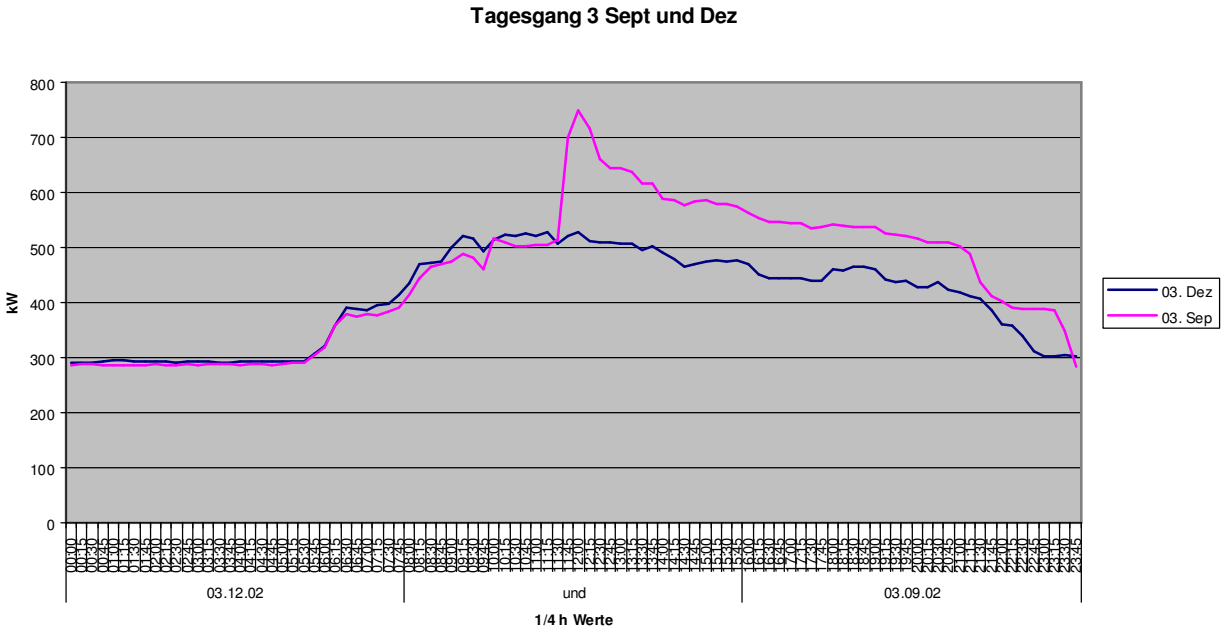
Schön zu erkennen sind die hohen Leistungsspitzen der Kältemaschine und der Lüftung Stufe 2, wenn man wie im folgenden Bild die Lastgänge September und Dezember übereinander legt.

Abbildung 5 Vergleich der Lastgänge September und Oktober



Der typische Tagesverlauf stellt sich wie folgt dar:

Abbildung 6 Tageslastgang Strom Vergleich Sept – Dez 2002



Das Gebäude hat eine ausgeprägt hohe Grundlast von rund 300 kW, die im wesentlichen durch die durchlaufende Lüftungsanlagen auf Stufe 1 (vgl. Maßnahmenkatalog) und die dazugehörigen Nebenaggregate, z.B. Heizungspumpen verursacht wird.

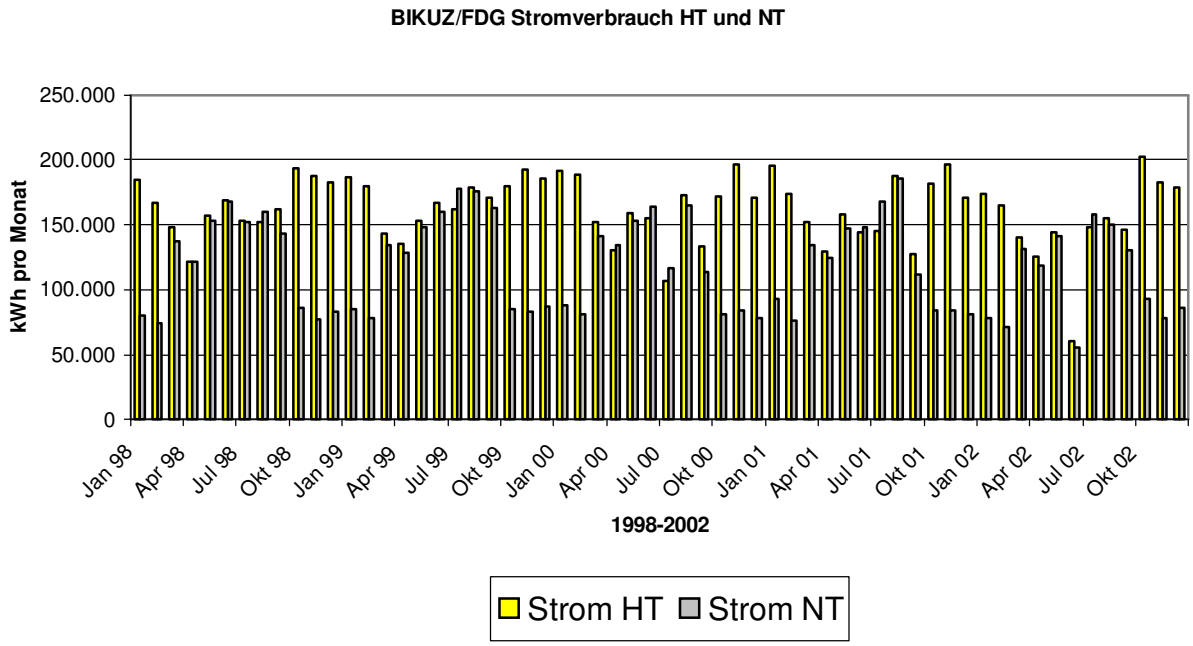
Diese Grundlast läuft permanent von 23:00 – 6:00 Uhr früh durch.

Um 6:00 steigt der Strombedarf mit Arbeitsaufnahme durch die Putzkolonne, die Hausverwalter durch Einschalten der Beleuchtung an. Für die Putzaktivitäten wird die volle Beleuchtung eingeschaltet. Gegen 7:00 erhöht sich die Leistung durch die Aufnahme des Schul- (Beleuchtung in Klassenräumen) und Küchenbetriebes (Kochen Cafeteria), um dann stetig bis zur ersten Spitze von 550 kW um 10:00 Uhr hoch zu laufen.
Diese bleibt dann bis zum frühen Nachmittag, um dann stetig abzufallen. Die Leistung nimmt kontinuierlich ab, um dann zwischen 22:00 und 23:00 Uhr wieder auf die Grundlast von 300 kW zufallen.

Im Sommer bzw. hier im Spätsommer wird durch die Wärmelast die Kühlung gegen 11:45 angefahren. Diese lässt den Strombedarf um 200 kW auf rund 750 kW steigen. Selbst Anfang September fahren Lüftung und Kühlung auf die Maximallast von 750 kW. Diese nimmt dann kontinuierlich wieder ab, bleibt aber gegenüber dem reinen Lüftungsbetrieb mit rund 100 kW deutlich höher und fällt auch erst gegen Mitternacht auf die Grundlast von 300 kW ab.

HT und NT–Verläufe
Die tarifliche Gestaltung mit der SÜWAG ist z.Zt. unabhängig von HT und NT Zeiten.
Abbildung 7 zeigt die Stromverbräuche im HT und NT-Bereich von Jan. 98 bis Dez. 2002. Deutlich zu erkennen höhere HT Verbräuche in den Sommermonaten, verursacht durch die Kältemaschine. Dagegen gleich hohe HT und NT-Anteile in Winter, was verursacht wird durch die durchlaufend hohe Grundlast von rund 300 kW.
(vergleiche Stromlastgänge Wochenwerte, Tageswerte)

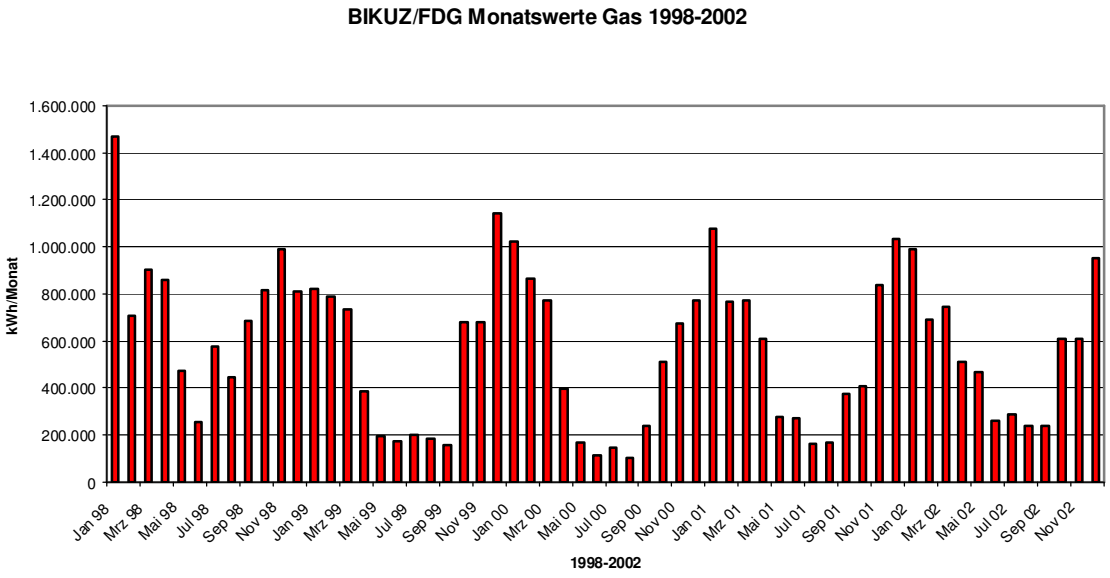
Abbildung 7 HT und NT Verbräuche



4.3.2. Gas

In Abbildung 6 sind die Lastgänge für Gas als Monatswerte von Jan. 98 bis zum Jahresende 2002 dargestellt.

Abbildung 8 Monatswerte Gas



Deutlich zu erkennen sind die extrem hohen Verbrauchswerte im Jan.1998 von rund 1500 MWh, als die alte Dampfkesselanlage noch im Betrieb war.
Extrem sind auch die Verbräuche von Mai bis Sept, wenn eigentlich nur die Wärmeabnahme Warmwasser bedient werden muss.

Auch dies ist auf die alte Kesselanlage zurückzuführen, die systemimmanent erhebliche Stillstands- und Bereitstellungsverluste hatte.

Im Jahr 98 wurde die Kesselanlage umgerüstet auf den jetzigen Kessel 2 (vgl. Ist-Zustand). Dadurch fallen die Monatshöchstverbräuche auf rund 1.000 MWh in den Monaten mit den höchsten Verbräuchen (Januar und Dezember).
Die Verbräuche von Mai 99 bis Sept. 99 und im Folgejahr 2002 sind erfreulicherweise verringert, allerdings mit 200 MWh pro Monat noch sehr hoch. Eigentlich soll nur die Warmwasserbereitung (10m^3/Monat = 550 kWh) dargestellt werden.

Aufgrund der Belegungszahlen sollten auch die Nachheizregister der Lüftungsanlagen eigentlich nicht mehr in Betrieb sein.
Diese Entwicklung setzt sich mit leicht steigender Tendenz im Jahr 2001 fort, was ggf. durch die Heizgradtage in diesem Monat zu erklären ist. Allerdings wiederholt sich die Entwicklung im Jahr 2002. Auch hier liegen die Sommerverbräuche höher als die Referenzwerte 1999 und 2000. Ursache könnte die Montage des kleineren Kessels 1 sein, da seit der Installation zwei Kessel in Betrieb sind und die Regelung noch nicht fertiggestellt war.
Im Jan. 2003 lief die Anlage noch mit einem regelungstechnischen Provisorium.

Während der Referenzmessung bei –8 °C Außentemperatur am 9.1.2003 waren beide Kesselanlagen in Betrieb.

Leider liegen seit Oktober 2002 keine Stundenwerte vor, da das Tarifgerät defekt ist. Zum 29.1.2003 wurde ein neues Gerät mit Fernauslese installiert. Der dafür notwendige Telefonanschluß ist noch nicht vorhanden.

Der Erweiterungsbau zeigte ein deutlich überhöhtes Wärmeprofil im abgesenkten Betrieb. Temperaturen zwischen 18 °C und 23 °C in den Räumen während der Ferien (Absenkbetrieb 15 °C). Dies ist teilweise auch auf die Regelung zurückzuführen, die auf Konstantbetrieb lief.(vgl. Maßnahmen 7.3.2.)

Im Hauptgebäude wurde dagegen in einigen Räumen über Kälte geklagt. Teilweise wurden hier nur Temperaturen bis 16 °C gemessen (vgl. Anlage AN Temperaturprofil)

5. Leistungen und Verbräuche

Aus den vorgenannten Leistungsangaben und Daten wurde die Tabelle Leistungen und Verbräuche zusammengestellt.
In einigen Bereichen handelt es sich insbesondere bei den untergeordneten Leistungen um Schätzwerte. Diese könnten im Rahmen einer Feinanalyse weiter präzisiert werden.

Sowohl die Gesamtleistung als auch die Verbräuche treffen die Ergebnisse der Lastgänge und der jährlichen Verbräuche hinreichend genau.

Tabelle 13 Leistungen und Verbräuche

Zentrale Anlage		Leistung installiert kW	Gleich zeitigk. f	Leistung Sommer kW	Leistung Winter kW	Vollast pro Jahr h/a	Verbrauch pro Jahr kWh/a	Proz. Anteil am Verbrauch %
Summe Strom								
- Daten IST (Summe)		**1034,41**		**800**	**590**		**3.358.518**	**100,0%**
- Leistung/Verbrauch berechnet		**1034,41**		**708**	**552**		**3.548.654**	
davon:								
- Lüftung	L					2000		
- Sporthalle		78	0,95	74	74	8600	640.528	18,0%
- Grund/Stufe 1 Z 02 / 1-9		192	0,95	183	183	8600	1.570.274	44,2%
- Stufe 2 Zentrale 02		145	0,5	72		1000	72.250	2,0%
- Restl.Lüftungsanlagen		37	0,9	33	37	8600	319.060	9,0%
- Beleuchtung	B							
- Beleuchtung EB		63	0,5	31	31	1500	94.146	2,7%
- Beleuchtung HG		323	0,5	162	162	1500	485.096	13,7%
- Heizung								
- Heizung (Strom)	HH	18	0,95	17	17	8600	142.975	4,0%
- Klima	K							
- Kälte Hauptaggregat		80	0,95	76		2000	152.000	4,3%
- Kälte Nebenaggregat		12	0,95	11		2000	22.800	0,6%
- Diverse Haustechnik	DT	*10*	0,5	5	5	2000	10.000	0,3%
- Küche	ZD	72	0,5	36	36	1000	35.775	1,0%
- Zentrale Dienste (Sonst.)	ZD	*5*	0,5	3	3	1500	3.750	0,1%
- Arbeitsmittel	AH	*10*	0,5	5	5	1500	7.500	0,2%
Summe Gas		**2.225**				**3.078**	**6.847.525**	**100,0%**
Leistung/Verbrauch berechnet		**2.833**					**7.146.095**	
davon:								
HT Kessel 1	WW	475		475				
Kessel 2	H	1.750			1.750	3.913	6.847.525	100,0%

Die Tabelle zeigt deutlich die höchsten Leistungen im Bereich der Lüftung und der Beleuchtung. Danach folgen Kältemaschine und Cafeteria.
Durch die vielen Betriebsstunden der Lüftung führt die hohe Leistung auch zu einem Verbrauch von 2500 MWh/a. Das ist fast ¾ des Gesamtverbrauchs.

Die Beleuchtung stellt rund ein Drittel (37%) der installierten Leistung. Durch die geringeren Betriebsstunden wird 1/6 (16 %) des Gesamtverbrauchs erreicht.

Die Kälteanlage stellt 9% der installierten Leistung, aber nur 5 % des Verbrauchs. Gleiches gilt für die Küche. Einer relativ hohen Leistung von 72 (7%) stehen wenige Betriebsstunden gegenüber, so dass der Verbrauch bei 1% des Gesamtverbrauchs liegt.

Die Aufteilung des Verbrauchs und der Leistung zeigen die folgenden Tortendiagramme. Allerdings dürfen diese nicht darüber hinwegtäuschen, dass durch die extrem hohen Werte der Lüftung und Beleuchtung hier ein entsprechend verzerrtes Bild entsteht.

Von daher ist immer die Betrachtung der spezifischen Kennwerte entscheidend.

Diagramm 6 Stromverbrauch nach Bereichen

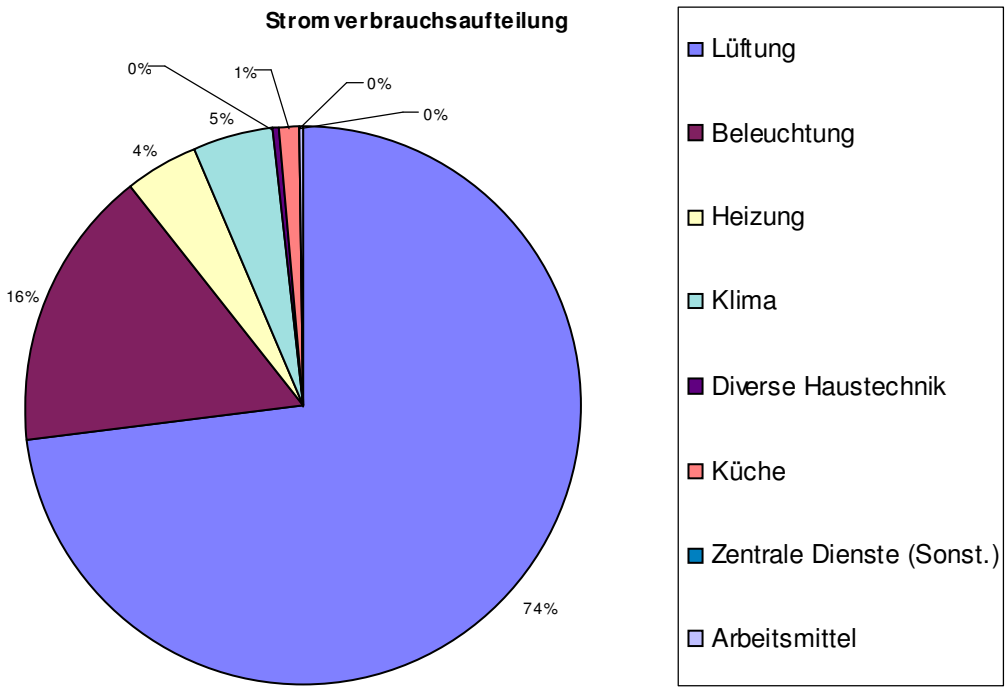
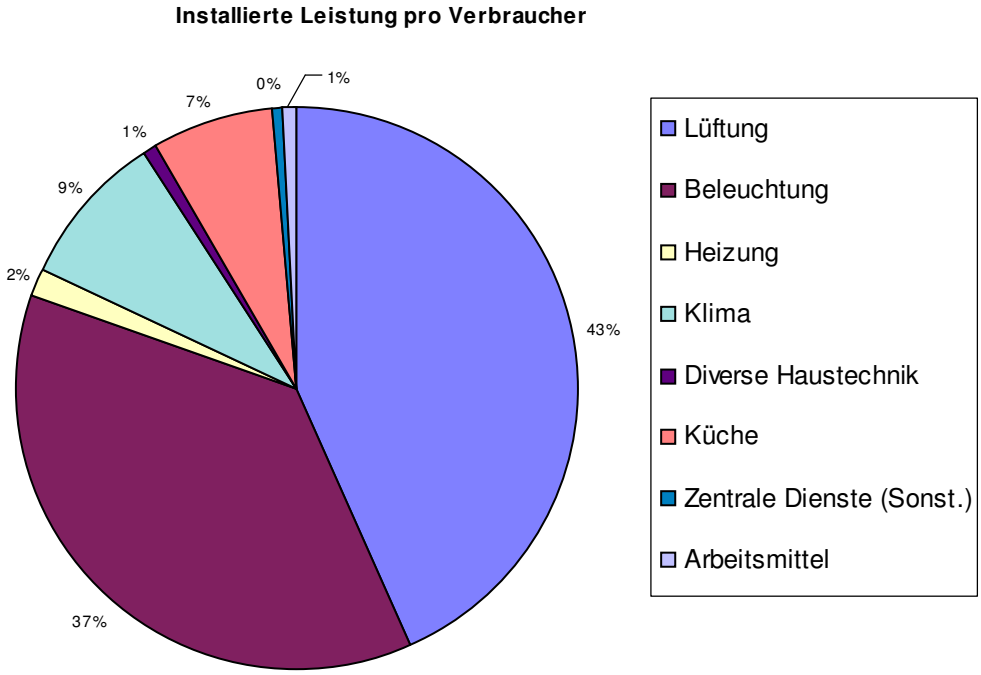


Diagramm 7 Strombedarf (inst. Leistung) nach Bereichen



6. Berechnungen, Analysen und Kennwerte

6.1. Ergebnisse der Berechnungen Leistungs- und Verbrauchswerte

Die vg. Leistungs- und Verbrauchswerte führen zu folgenden spezifischen Kennwerten:

Tabelle 14 Spezifische Verbräuche und Installierte Leistungen

Zentrale Anlage		Leistung installiert kW	Leistung spez W/m²	Vollast pro Jahr h/a	Verbrauch pro Jahr kWh/a	Verbrauch spez kWh/m²a	Proz. Anteil am Verbrauch %
			18.563				
Strom							
- Daten IST Summe		**1034,41**	**55,7**		**3.358.518**	**181**	
Leistung/Verbrauch berechnet		**1034,41**			**3.548.654**	**191**	**100,0%**
davon:							
- Lüftung	L	452	24,4	5754	2.602.112	140	73,3%
- Beleuchtung	B	386	20,8	1500	579.242	31	16,3%
- Heizung	HH	18	0,9	8170	142.975	8	4,0%
- Klima	K	92	5,0	1900	174.800	9	4,9%
- Diverse Haustechnik	DT	*10*	0,5	1000	10.000	1	0,3%
- Küche	ZD	72	3,9	500	35.775	2	1,0%
- Zentrale Dienste (Sonst.)	ZD	*5*	0,3	750	3.750	0	0,1%
- Arbeitsmittel	AH	*10*	0,5	750	7.500	0	0,2%
Gas							
- Daten IST Summe		**2.225**	**119,9**	**3.078**	**6.847.525**	**369**	**100,0%**
Leistung/Verbrauch berechnet		**2.833**			**7.146.095**		
davon:							
- Kessel 1	WW	475	25,6				
- Kessel 2	H	1.750	94,3		6.847.525		100,0%

Wie bereits bei den Verbräuchen fallen sofort auch die hohen spezifischen Leistungen und Verbräuche bei Lüftung und Beleuchtung auf. Zum Vergleich mit den Kennwerten siehe 6.3. Leitfaden LEE Seite 59.

6.2. Leitfadenberechnung (LEH)

Nach Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung, sind getrennte Gebäudekörper auch getrennt zu berechnen. Von daher wurde das Hauptgebäude „HG“ und der Erweiterungsbau „EB“ für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs getrennt. Dies zieht sich bis zu den bauphysikalischen Maßnahmen Wärmedämmverbundsystem, Dämmung der Geschossdecken und Fenstertausch durch. Auch die k-Werte sind unterschiedlich berechnet, da es sich um leicht unterschiedliche Wandaufbauten handelt.
Daher gibt es zwei Ergebnisse für den Heizwärmebedarf. Diese wurden dann für die Berechnung der Heizzahl gemäß Leitfaden wieder zusammen gerechnet, da es sich um eine gemeinsame Energiebereitstellung für beide Gebäude handelt.

Die angenommenen k-Werte wurden aus dem Gebäudewandaufbau berechnet und in den kalten Monaten Dez. und Jan. noch mal durch Oberflächenmessungen überprüft, so dass sie für den Bestand als hinreichend genau angenommen werden können.
Dort wo die Abweichung vom DIN-Rechenwert nicht zu groß war, wurde der DIN-Wert eingestellt.

Beide Gebäuden fallen in die **Gebäudekategorie III**. Nach Leitfaden ist ein Grenzwert von **75 KWh/m²a** und ein Zielwert von **50 kWh/m²** anzustreben.
Da das Gebäude im Luftwechsel über 0,6 h^{-1} liegt kann auch die **Gebäudekategorie V angewandt werden**.
Nach Leitfaden ist ein Grenzwert von **85 KWh/m²a** und ein Zielwert von **60 kWh/m²** anzustreben.

Nach Leitfaden ist ein Luftwechsel von 1,5 h^{-1} anzunehmen. Dieser kann beim BIKUZ allerdings nicht angesetzt werden, weil der Luftwechsel im einstufigen Betrieb der Lüftungsanlagen bereits wesentlich über 1,5 h^{-1}. liegt. Der Großteil der Lüftungsanlagen ist einen Luftwechsel von 6 h^{-1} bis 9 h^{-1} -fach ausgelegt und läuft 8600 h pro Jahr.
Unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung der 3 größten Anlagen und unter Ansatz eines Wirkungsgrads für den Rotationswärmtauscher von 75 % ergibt sich ein Luftwechsel von ca. 3 h^{-1} . Als Rechenwert wird daher 2,5 h^{-1} angesetzt.

Die tatsächlichen Bedingungen sind noch schlechter, aber mit der Methodik des Leitfadens allein nicht genau zu erfassen.
Der Leitfaden sieht einen maximalen Stromverbrauch (Tabelle 14, [A6]) von 700 kWh/Person,a vor. Im Bikuz liegt dieser Wert bei rund 6000 kWh/Person,a also fast 9 mal so hoch. Dies führt bei einem Luftwechsel von 3,25 h^{-1} zum gleichen Heizwärmebedarf wie die rechnerisch nach Vorschrift Leitfaden angesetzte Paarung 700 kWh/Person,a und einem Luftwechsel von 2,5 h^{-1}. (vgl. Diagramm 9 Heizwärmevergleich Leitfaden und IST Zustand auf Seite 54)

Daraus ist abzuleiten, dass die unter Maßnahmen in 7.4.1. ff unter Lüftung ab S.69 angegebenen Maßnahmen eher an der unteren Grenze der möglichen Potentiale liegen.

Für die Berechnung nach Leitfaden (LEH) ist eine Ermittlung der Personenstunden erforderlich, da der Leitfaden kein Gebäude mit derart gemischten Nutzung vorsieht. Auch für die LEE Berechnungen konnte nicht in allen Fällen auf Literaturwerte zurückgegriffen werden.

Dabei mussten einige Abschätzungen vorgenommen werden, die im folgenden erläutert werden. Alle Zahlen sind in der Tabelle Personenstunden zusammengefasst.

- Schulbetrieb
Im Gebäude befinden sich zur Zeit 775 Schüler und 140 Lehrer, von denen im Durchschnitt 100 Lehrer anwesend sind. Davon geben im Schnitt 55 Lehrer Unterricht. Der Unterricht geht von 7:55 bis 15:45 Uhr.
In der Verwaltung arbeiten 5 Mitarbeiter.

- Schulbibliothek
In der Schulbibliothek arbeitet 1 Person von Montags bis Donnerstags, von 9:00 bis 15:00 Uhr und Freitags 9:00 bis 13:30 Uhr.

- Bibliothek
Die Bibliothek verfügt im Durchschnitt über 5 Mitarbeiter und ist Dienstags bis Samstags geöffnet (Di 13:00 – 19:00 Uhr, Mi 11:00 – 17:00, Do 13:00 – 19:00, Fr 13:00 – 19:00, Sa 10:00 – 13:00 Uhr). Da man die Nutzungshäufigkeit der Bibliothek nicht nur über Ausleihen und Anzahl der Ausleihen erfassen wollte, wurde im Jahr 2000 ein Bewegungszähler im Türbereich angebracht. In diesem Jahr gab es in der Bibliothek bzw. im Türbereich 81.000 Bewegungen. Unter der Woche wurden in der Bibliothek acht Stunden gearbeitet, am Samstag mit durchschnittlich 3 Personen 4 Stunden.

- VHS
Die VHS belegt 47 Räume der Schule und bietet im BIKUZ insgesamt 334 Kurse an. Die 47 Räume werden wie folgt genutzt:

8 Räume in der Zeit von 9:00 – 12:00 Uhr,
8 Räume in der Zeit von 13:00 – 17:00 Uhr,
47 Räume in der Zeit von 18:00 – 22:00 Uhr.

Einmal im Quartal findet ein Wochenendkursus statt. Die VHS nutzt die Räumlichkeiten auch regelmäßig Samstags, gelegentlich Sonntags.
Die VHS bietet 18.000 Stunden a' 45 min. an mit durchschnittlich 10 Teilnehmern plus Dozent. Hieraus wurden dann die Personenstunden ermittelt. Zusätzlich sind in der Verwaltung inkl. des Leiters 10 Mitarbeiter beschäftigt.

- Personal
Putzpersonal besteht aus 6-8 Personen, die Mo – Fr in der Zeit von 6:00 – 10:00 Uhr und 15:00 – 18:00 Uhr anwesend sind.
- Hausverwalter im Bereich Technik 2, jeweils einschichtig. Hausverwalter für die Organisation zweischichtig mit 3 Mitarbeitern.

- Externe Veranstaltungen / Saalbau
1. Sporthalle
Ist i. d. R. unter der Woche 18:00 bis 22:00 Uhr belegt, Sa und So je nach Veranstaltungen ganztägig. Genaue Belegungspläne lagen nicht vor.

Die Saalbereiche der Saalbau werden zu 90 % für Hochzeiten und andere Familienfeiern von (überwiegend türkische Hochzeiten) genutzt. Die Nutzungszeit wurde mit 5 Stunden als Durchschnitt für Vor-, Nachbereitung und Hauptnutzung unterstellt und findet an rund 40 Wochenenden mit a' 500 Personen statt.

Jeden 1. Sonntag im Monat findet eine Computerbörse mit rund 400 Teilnehmern statt.
Jeden Samstag findet die Veranstaltung Sofortmaßnahmen am Unfallort statt. Jeden Sonntag treffen sich die Briefmarkensammler und so weiter. Insgesamt eine Vielzahl von Einzelaktivitäten die pauschal abgeschätzt werden.

Alle vorgenannten Aktivitäten wurden in der Tabelle Personenstunden mit Nutzungszeiten und Anwesenheiten bewertet.

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Personenstundenzahl von 547 Personen. Nach Leitfaden wäre ein Wert von 925 Personen für Schulbetrieb zugrunde zu legen.
In der folgenden Tabelle sind alle Daten zusammengestellt:

Tabelle 15 Personenstunden

Ort	Nutzer	Personen Anzahl n	Stunden pro d o.Ereig h/d o. h/E	Häufigkeit pro Woche Anz/Wo	Summe pro Jahr Persh	Einheit
HG,EB	Lehrer	100	6,0	5,000	156.000	Persh
HG,EB	Schüler	775	6,0	5,000	1.209.000	Persh
HG	Verwaltung	5	8,0	5,000	10.400	Persh
HG, EB	VHS Besucher	11	13875	0,019	152.625	Persh
HG	VHS Verwaltung	8	8,0	5,000	16.640	Persh
HG	Biblothek Besucher	1558	0,3	1,000	24.300	Persh
HG	Biblothek	5	8,0	5,000	10.400	Persh
HG	Schulbücherei	1	8,0	5,000	2.080	Persh
HG,EB	Putzpersonal	7	8,0	5,000	14.560	Persh
HG,EB	technische Hausverwalter	2	8,0	5,000	4.160	Persh
HG,EB	organisatorische Hausverwalter	3	16,0	5,000	12.480	Persh
HG	Feiern	500	4,0	0,900	93.600	Persh
HG	Sporthalle	40	5,0	6,000	62.400	Persh
HG	Briefmarken, sonst.	20	3,0	6,000	18.720	Persh
HG	Computerbörse	400	0,3	0,231	1.440	Persh
HG	Sofortmaßnahmen	20	8,0	1,000	8.320	Persh
Summe Personenstunden					**1.641.125**	Persh
davon Hauptgebäude					**1.495.252**	Persh
davon Erweiterungsbau					**145.873**	Persh
Betriebsstunden HG		350	16		**5.600**	h
Erweiterungsbau		250	8		**2.000**	h
Durchschnittliche Personenzahl bezogen auf Betriebszeit					**293,1**	Pers.
Hauptgebäude					**267,0**	Pers.
Erweiterungsbau					**72,9**	Pers.
Korrigierter Wert auf genutzte gewichtete Flächen				12 h	**547,0**	Pers.
Wärmeabgabe pro Jahr bei Durchschnitt			100W/Pers.		164.113	kWh/a

Für den Erweiterungsbau EB wurden die auf den angehängten Tabelle 42 Heizwärme 1 EB bis Tabelle 44 Resultat Heizwärme EB ab S. 111 eingegebenen Daten eingesetzt. Damit ergibt sich für den EB im Ergebnis ein Heizwärmebedarf Q_H von **620 MWh, a**. Dies entspricht einem spezifischen Wert von **235 kWh/m²a**. Damit sind weder Grenzwert noch Zielwert des Leitfadens erreicht.

Die Heizwärmebedarfsrechnung für das Hauptgebäude (Tabelle 45 Heizwärme 1 HG bis Tabelle 47 Resultat Heizwärme HG ab Seite 112) ergibt ein Wert von **6143 MWh/a** oder ein spezifischer Wert von **385 kWh/m²a**.

Leitfadenberechnung gesamt

Die Summe aus dem EB und dem Hauptgebäude wurde in der Gesamttabelle eingefügt.

Die k-Werte, g-Werte wurden entsprechend ihren Anteilen gewichtet. Die Berechnung führt insgesamt zu einem Bruttonutzwärmebedarf Heizung von **6750 MWh**, der sich aus **2600 MWh Transmissionsverlust** , **4830 MWh Lüftungsverlusten** sowie 680 MWh Wärmegewinnen (der freien Wärme, Abwärme Elektrizität, Personen, der Wasserablaufverluste und der solaren Einstrahlung) zusammen setzt.

Der spezifische Heizwärmebedarf liegt bei **364 kWh/m²a**.

Die Grenz- (75 kWh/ m^2a) und Zielwerte (50 kWh/m^2a) für den Heizwärmebedarf werden damit nicht erreicht. Das liegt neben den Transmissionswärmeverlusten (140 kWh/m^2a) daran, das der Lüftungsverlust mit 260 kWh/m^2a extrem hoch ist.

Abschließend wurde mit den vorgenommenen Werten die Heizzahl ermittelt. Für einige Daten mussten anhand der Pläne plausible Abschätzungen vorgenommen werden, da z.B für Zirkulationsleitungen keine Bestandspläne zum herausmessen vorlagen. Auch die Schornsteinfegerprotokolle lagen zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht vor.

Das Ergebnisblatt zeigt einen berechneten Jahresenergieverbrauch von 7100 MWh. Dies erfordert eine Heizleistung von rund 2800 kW.

Daraus ergibt sich eine Energiekennzahl für die Wärme von **385 kWh/m^2** a.

Die berechneten Werte liegen jedoch höher als die IST-Werte.

Der tatsächliche Verbrauch liegt bei rund 6800 MWh, was einen spezifischen Verbrauch von **363 kWh/m^2** a bedeutet.

Die Abweichung lässt sich erklären:
- aus den angenommenen Lüftungsverlusten, die im Extremfall doch niedriger zu sein scheinen, das heißt, dass die Lüftungsanlagen ihre projektierten Sollwerte nicht erreichen.
- Die Raumtemperatur von 20 ° C wird in einigen Bereichen nicht erreicht (VHS, Flure)

Durch die neue Heizungsanlage werden sowohl die Grenz- (0,85) als auch die Zielwerte (0,9) der Heizzahl erreicht**. Die Heizzahl liegt bei 0,94.**
Die Berechnungsdaten sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle 16 Heizwärme 1 Gesamtgebäude

Datenblatt Heizwärmebedarf

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit
A.	**Nutzung**		Anhang D1, D2	
[A1]	Erwärmung Kaltwasser	DT_{KW}	6	K
[A2]	Personenzahl	n_P	547,0	P
[A3]	tägl. Aufenthaltszeit Personen		16	h/Tag
[A4]	durchschnittl. Wärmeabgabe pro Person		100	W/P
[A5]	Wasserverbrauch pro Person und Tag	WA	15	l/(Pd)
[A6]	Stromverbrauch pro Person und Jahr		700	kWh/(Pa)
[A7]	Reduktionsfaktor Elektrizität	f_e	0,7	-
[A8]	energetisch wirksamer Luftwechsel	n	2,50	1/h
[A9]	spez. Wärmespeicherfähigkeit Luft	c_L*r_L	0,33	Wh/(m³K)
[A10]	spez. Wärmespeicherfähigkeit Wasser	c_W*r_W	1,16	Wh/(l K)
B.	**Klimadaten**		Anhang D4	
[B1]	Länge der Heizperiode	HT	268	Tage/a *
[B2]	Heizgradtage	HGT	3685	K Tage/a *
[B3]	Globalstrahlung horizontal	GH	490	kWh/(m²a *)
[B4]	Globalstrahlung Süd	GS	478	kWh/(m²a *)
[B5]	Globalstrahlung Ost	GO	309	kWh/(m²a *)
[B6]	Globalstrahlung West	GW	316	kWh/(m²a *)
[B7]	Globalstrahlung Nord	GN	176	kWh/(m²a *)
C.	**Geometrische Daten**			
[C1]	Dach gegen außen [1)]	A_d	7.378,34	m²
[C2]	oberste Geschossdecke [2)]		1.117,44	m²
[C3]	Wand gegen außen	A_w	7.428,88	m²
[C4]	Boden gegen außen	A_h	1.117,44	m²
[C5]	Wand gegen Keller		0,00	m²
[C6]	Wand gegen Erdreich		0,00	m²
[C7]	Boden gegen Keller		8.499,78	m²
[C8]	Boden gegen Erdreich		0,00	m²
[C9]	Fenster horizontal	A_{fH}	124,00	m²
[C10]	Fenster Süd	A_{fS}	522,81	m²
[C11]	Fenster Ost	A_{fO}	357,27	m²
[C12]	Fenster West	A_{fW}	357,27	m²
[C13]	Fenster Nord	A_{fN}	627,45	m²
[C14]	Energiebezugsfläche	EBF	18.562,58	m²
[C15]	Beheiztes Volumen netto	VL	66.222,02	m³
	Wärme übertragende Umfassungsfläche:	A	27.530,67	m²
	A/V - Verhältnis:	A/V	0,42	m^{-1}

* pro Heizperiode

[1)] ohne Anteil oberhalb einer gedämmten obersten Geschossdecke (Abminderung wurde ausgeschaltet, weil nichtgedämmt)

[2)] falls gedämmt

Tabelle 17 Heizwärme 2 Gesamtgebäude

Bikuz

Datenblatt Heizwärmebedarf

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit
D.	**k-Werte, g-Werte, f**			
[D1]	Dach gegen außen [1)]	k_d	0,790	W/(m²K)
[D2]	oberste Geschossdecke [2)]		2,100	W/(m²K)
[D3]	Wand gegen außen	k_w	1,390	W/(m²K)
[D4]	Boden gegen außen	k_h	0,000	W/(m²K)
[D5]	Wand gegen Keller		0,000	W/(m²K)
[D6]	Wand gegen Erdreich		0,000	W/(m²K)
[D7]	Boden gegen Keller		1,300	W/(m²K)
[D8]	Boden gegen Erdreich		0,000	W/(m²K)
[D9]	Fenster horizontal	k_{fH}	0,000	W/(m²K)
[D10]	Fenster Süd	k_{fS}	2,900	W/(m²K)
[D11]	Fenster Ost	k_{fO}	2,900	W/(m²K)
[D12]	Fenster West	k_{fW}	2,900	W/(m²K)
[D13]	Fenster Nord	k_{fN}	2,900	W/(m²K)
[D14]	g-Wert Fenster horizontal	g_H	0,700	
[D15]	g-Wert Fenster Süd	g_S	0,700	
[D16]	g-Wert Fenster Ost	g_O	0,700	
[D17]	g-Wert Fenster West	g_W	0,700	
[D18]	g-Wert Fenster Nord	gN	0,700	
[D19]	Glasanteil Fenster	f_r	0,80	
[D20]	Beschattung und Verschmutzung	f_b	0,80	

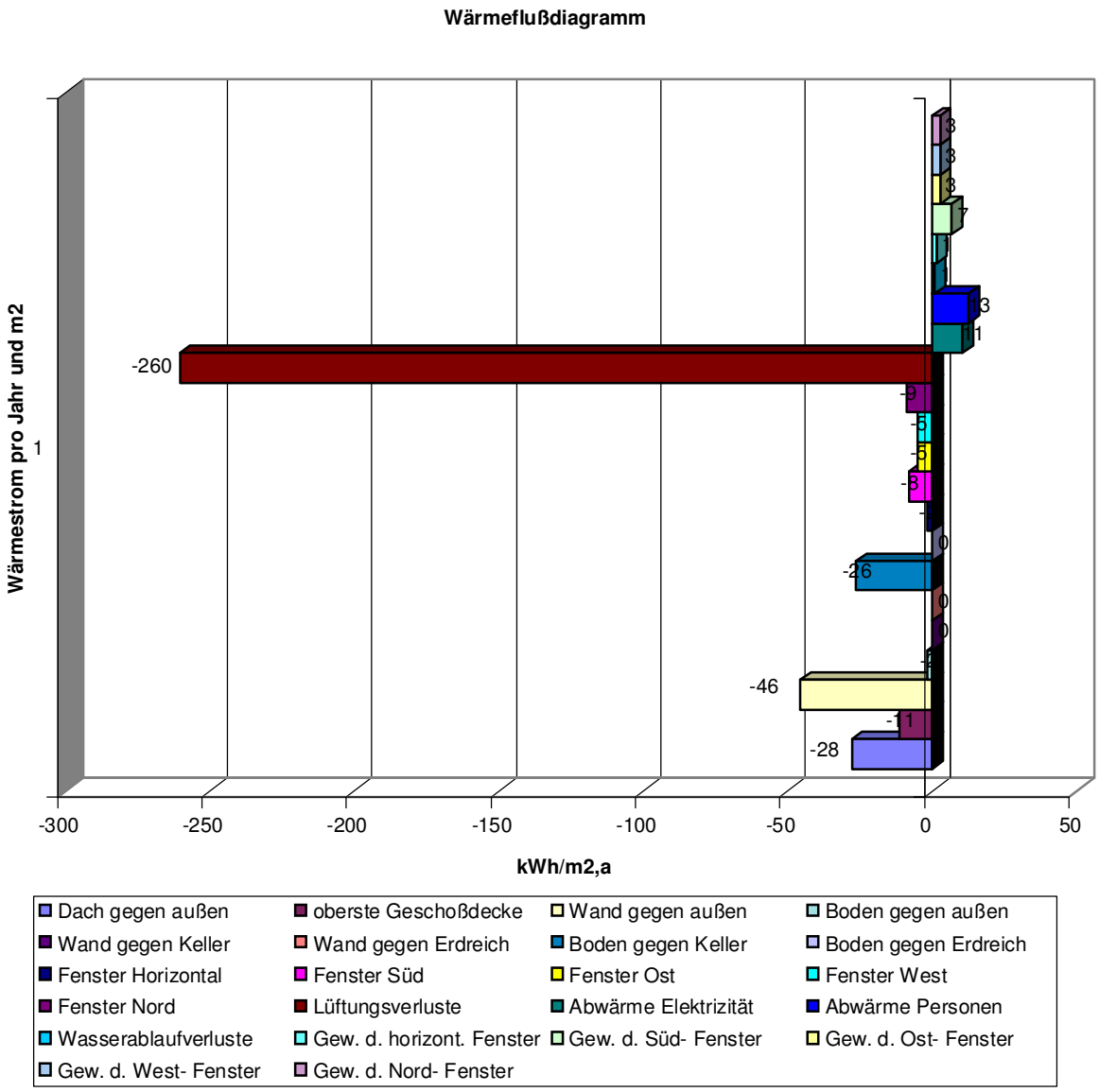
[1)] ohne Anteil oberhalb einer gedämmten obersten Geschossdecke

[2)] falls gedämmt

Tabelle 18 Heizwärme Gesamtgebäude Resultat

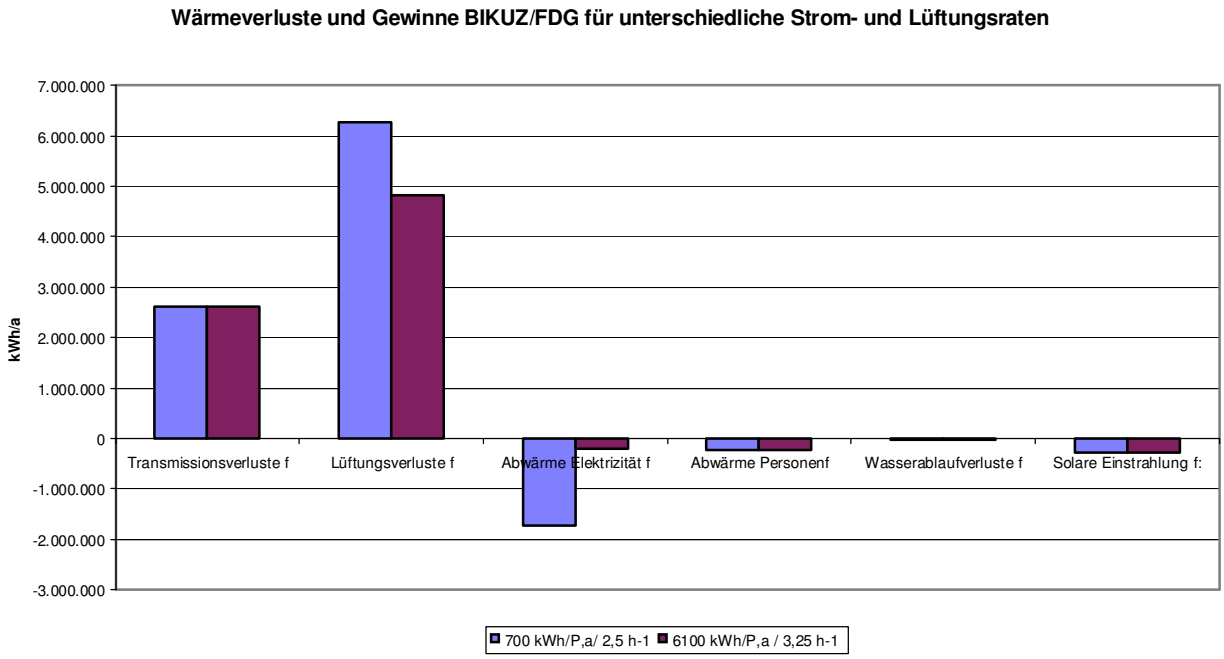
Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit	Leitfaden	kWh/a
E.	**Transmissionsverluste**				HW-1 - 1	
[E1]	Dach gegen außen [1)]		27,77	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	515.507
[E2]	oberste Geschossdecke [2)]		11,18	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	207.535
[E3]	Wand gegen außen		49,20	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	913.244
[E4]	Boden gegen außen		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E5]	Wand gegen Keller		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E6]	Wand gegen Erdreich		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E7]	Boden gegen Keller		26,32	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	488.618
[E8]	Boden gegen Erdreich		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E9]	Fenster Horizontal		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E10]	Fenster Süd		7,22	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	134.089
[E11]	Fenster Ost		4,94	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	91.630
[E12]	Fenster West		4,94	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	91.630
[E13]	Fenster Nord		8,67	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	160.926
[E14]	Transmissionsverluste [f]	q_T	140,24	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	2.603.180
F.	**Lüftung**					
[F1]	Lüftungsverluste [f]	q_L	260,30	kWh/(m²a *)	HW-1 - 2	4.831.757
G.	**Wärmeverluste**					
[G1]	Bruttonutzwärmebedarf Heizung [f]	q_{BH}	400,53	kWh/(m²a *)	HW-1 - 3	7.434.937
H.	**Freie Wärme**				HW-2 - 4	
[H1]	Abwärme Elektrizität [f]	q_e	10,60	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.1	196.815
[H2]	Abwärme Personen [f]	q_p	12,64	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.2	234.571
[H3]	Wasserablaufverluste [f]	q_{wa}	0,82	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.3	15.306
	Solare Einstrahlung [f]:					
[H4]	~ durch horizontale Fenster		1,47	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	27.220
[H5]	~ durch Süd- Fenster		6,03	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	111.957
[H6]	~ durch Ost- Fenster		2,66	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	49.457
[H7]	~ durch West- Fenster		2,72	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	50.577
[H8]	~ durch Nord- Fenster		2,67	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	49.473
[H9]	Summe Strahlung [f]	q_s	15,55	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	288.685
[H10]	Freie Wärme [f]	q_f	37,97	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	704.766
[H11]	Verhältnis Freie Wärme/Verluste	q_f/q_{BH}	0,09	-	HW-3 - 5	
[H12]	Gewinnfaktor	f_g	0,97	-	HW-3 - 5	
[H13]	Wärmegewinn [f]	q_g	36,89	kWh/(m²a *)	HW-3 - 5	684.724
I.	**Heizwärmebedarf**					
[I1]	Heizwärmebedarf [f]	q_H	363,65	kWh/(m²a *)	HW-3 - 7	6.750.213
[I2]	Heizwärmebedarf	**Q_H**	**6.750.213**	**kWh/a ***	HW-3 - 6	
K.	**Grenz- /Zielwert Heizwärmebedarf**					363,6
[K1]	Grenzwert Bauwerksart	H_g	75,00	kWh/(m²a *)	HW-3 - 8	75,0
[K2]	Grenzwert H_g erfüllt ?		NEIN	JA/NEIN	HW-3 - 8	NEIN
[K3]	Zielwert Bauwerksart	H_z	50,00	kWh/(m²a *)	HW-3 - 8	50,0
[K4]	Zielwert H_z erreicht ?		NEIN	JA/NEIN	HW-3 - 8	NEIN

Diagramm 8 Wärmefluß des Gesamtgebäudes



Wie die **Tabelle 18 Heizwärme Gesamtgebäude Resultat** und **Diagramm 8 Wärmefluß des Gesamtgebäudes** zeigen, sind die Wärmeverluste im wesentlichen durch Lüftungsverluste bestimmt. Die am Eingang des Kapitels dargestellte Problematik zwischen Leitfadenberechnung und Realität ist nochmals im folgenden Diagram dargestellt. Hier sind die unterschiedlichen spezifischen Stromverbräuche und möglichen Luftwechsel in Ihren Auswirkungen in der Bilanzierung als Balkendiagramm gegenübergestellt. Da die Stromverbräuche im wesentlichen durch die Lüftung beeinflusst werden (vgl. Tabelle 12) und die Lüftungsanlagen wiederum die Lüftungsverluste verursachen, kompensieren sich Verluste und Gewinne. (Vgl. Maßnahmen 7.4.1.), was bedeutet, dass die gewonnene Wärme sofort hinaus gelüftet wird.

Diagramm 9 Heizwärmevergleich Leitfaden und IST Zustand



In den folgenden **Tabelle 19 Heizzahl 1** bis **Tabelle 21 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie** wird die Heizzahl nach Leitfaden berechnet. Ein Teil der Angaben, insbesondere der Leitungslängen musste an Hand der Zeichnungen geschätzt werden, da keine Unterlagen vorlagen und der Verlauf der Leitungen durch die abgehängten Decken nicht augenscheinlich zu verfolgen ist.

Tabelle 19 Heizzahl 1

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit	Leitfaden	kWh/a
A.	**Allgemeine Daten**				HZ-1 - 1	
A1	Energiebezugsfläche	EBF	18.562,58	m²		
A2	Heizenergiebedarf [f] (berechnet)	q_H	363,65	kWh/(m²a)		6.750.213
A3	Länge der Heizperiode	HT	268	Tage/a		
A4	Personenbelegung	F_P	33,93	m²/P		
A5	Personenzahl	P	547	Personen		
A6	Nutzenergiebedarf Warmwasser [1)]	Q_{WW}	1	kWh/(Pa)	12.993.808	
A7	Wärmebedarf [f]	q_W	363,7	kWh/(m²a)		6.750.760
A8	solarer Deckungsgrad Wasser	s_{WW}	0,00			
A9	solarer Deckungsgrad Heizung	s_H	0,00			
A10	reduzierter Wärmebedarf [f]	$q_{W\s}$	363,68	kWh/(m²a)		
B.	**Warmwasserspeicher [1), 2)]**				HZ-2 - 3.1	
B1	Speichertemperatur	t_{sp}	60,00	°C		
B2	mittlere Umgebungstemperatur d. Speichers	$t_{u, sp}$	15,00	°C		
B3	mittlere Temperaturdifferenz	Dt	45,00	K		
B4	Speicherinhalt	V_{sp}	2000,00	l		
B5	Speicheroberfläche	A_{sp}	1,34	m²		
B6	k-Wert Speicher	k_{sp}	0,30	W/(m²K)		
B7	Wärmeverlustleistung Speicher [3)]	Q_{sp}	27,04	W		
B8	Wärmeverlust [f] Speicher [3)]	q_{sp}	0,01	kWh/(m²a *)		237
C.	**Verteilungs- und Leitungsverluste Heizung**				HZ-1 - 2	
C1	Vorlauftemperatur	t_v	80,00	°C		
C2	Rücklauftemperatur	t_r	60,00	°C		
C3	mittlere Temperatur des Heizwassers	t_{Hm}	70,00	°C		
C4	Temperatur unbeheizter Räume	t_u	15,00	°C		
C5	mittlere Temperaturdifferenz	Dt	55,00	K		55
C6	Länge Verteilleitungen	L_H	500,00	m	DN 18, 26 mm Dämm. , o,o4	
C7	zusätzl. Länge f. Armaturenverluste	L_{HA}	100,00	m		
C8	k-Wert Rohrleitung	k*	0,22	W/(mK)		
C9	Wärmeverlustleistung	Q_{VH}	7.161,00	W	7.161,00	
C10	Wärmeverluste Heizungsverteilung	q_{VH}	2,48	kWh/(m²a)		46.060
D.	**Verteilungs- und Leitungsverluste Warmwasser (Einzelleitung) [1), 4)]**				HZ-2 - 3.2	
D1	Warmwassertemperatur	t_{WW}	50,00	°C		
D2	Raumlufttemperatur	t_i	15,00	°C		
D3	Gesamtlänge [4] aller Warmwasserein-zelleitungen (unbeheizter Bereich)	L_{EU}	190,00	m		
D4	Gesamtlänge [4] aller Warmwasserein-zelleitungen (beheizter Bereich)	L_{EB}	0,00	m		
D5	Zahl der Warmwasserzapfstellen	Z_{WW}	25,00			
D6	spezifische Speicherfähigkeit Leitun-	W	0,70	Wh/(mK)		

	gen				
D7	mittlere Zahl der Erwärmungsvorgänge	n_a	1,00	1/(P Tag)	
D8	Wärmeverluste [f] Einzelleitungen	q_{VU}	2,00	kWh/(m²a)	37.179

[1] Falls die Warmwasserbereitung nicht über den Heizkessel erfolgt, ist der Wert "0" einzusetzen (s.a. Fußnote 9).
[2] Falls für Heizung und Trinkwasser getrennte Speicher verwendet werden, ist die Berechnung "B." für jeden Speicher durchzuführen.
[3] Falls die Wärmeverlustleitung des Speichers abhängig von der Speichertemperatur bekannt ist (Typenprüfung), vereinfacht sich die Berechnung von (B8), s.a. C 3.2.
[4] Bei Systemen mit Zirkulationsbetrieb werden unter "D." die Verluste der Ausstoßleitungen zu den Zapfstellen berechnet. Bei Systemen ohne Zirkulationsbetrieb werden unter "D." die Verluste

des gesamten Warmwasserverteilsystems berechnet, die Berechnung von "E." entfällt in diesem Fall.
[5] Bei getrennter Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser sind die Wärmeerzeuger einzeln zu berechnen.
[6] *: Falls die Warmwasserbereitung nicht über den Heizkessel erfolgt.

[7] bei Neuanlagen: (F9) (F1) $(1/h_K-1)/(A1)$; s. C 3.2 "F".
[8] Bei mehreren Wärmeerzeugern oder -speichern sind für (B8) und (F13) die Summenwerte einzusetzen.

Tabelle 20 Heizzahl 2

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit	Leitfaden	kWh/a
E.	**Verteilungs- und Leitungsverluste Warmwasser (Zirkulationsleitung)** [1), 4)]				HZ-3 - 3.3	
E1	Gesamtlänge Zirkulationsleitungen (unbeheizter Bereich)	L_{ZU}	180,0	m		
E2	zusätzl. Länge für Armaturenverluste (unbeheizter Bereich)	L_{ZUA}	5,0	m		
E3	Gesamtlänge Zirkulationsleitungen (beheizter Bereich)	L_{ZB}	0,0	m		
E4	zusätzl. Länge für Armaturenverluste (beheizter Bereich)	L_{ZBA}	0,0	m		
E5	k-Wert Rohr	k*	0,207	W/(mK)		
E6	Betriebszeit Zirkulationspumpe	b_{Zb}	24	h/Tag		
E7	mittlere Wärmeverlustleistung	Q_{VZ}	1340,3	W		
E8	Wärmeverluste [f] Zirkulationsleitungen	q_{VZ}	0,63	kWh/(m²a)		11.741
F.	**Wärmeerzeugung** [5)]				HZ-4 - 4	
F1	(obere) Nennwärmeleistung (Kessel)	Q_K	1750	kW		
F2	Siegertscher Koeffizient		0,481	1/K		
F3	Abgastemperatur	t_A	90,00	°C		
F4	durchschnittl. Verbrennungslufttemp.	t_L	15	°C		
F5	mittlere Temperaturdifferenz	Dt	75	K		
F6	CO_2-Gehalt des Abgases	CO_2	9,00	%	X	
F7	Betriebsbereitschaftsverlust	$q_{b, rel}$	0,002			
F8	Abgasverlust	$q_{a, rel}$	0,040			
F9	Vollbenutzungsstunden	b_{VH}	3912	h/a		6845976
F9*	Vollbenutzungsstunden [6)]	b_{VH}	3884	h/a		
F10	Bereitschaftsdauer -ganzjährig -nur Heizperiode	B	8760	h/a		
F11	Betriebsverlustwärme [f 7)]	q_{VB1}	15,38	kWh/(m²a)		285.575
F12	Bereitschaftsverlustwärme [f]	q_{VB2}	0,78	kWh/(m²a)		14.544
F13	Summe Wärmeerzeugungsverluste [f]	q_{VE}	16,17	kWh/(m²a)		300.119
G.	**Wärmeverluste** [8)]					
G1	Summe der Wärmeverluste	q_V	21,30	kWh/(m²a)		395.335
G1*	Summe der Wärmeverluste [6)]	q_V	18,65	kWh/(m²a)		346.179
G2	nicht anrechenbare Wärmeverluste	$q_{V/S}$	0,00	kWh/(m²a)		0
G2*	nicht anrechenbare Wärmeverluste [6)]	$q_{V/S}$	0,00	kWh/(m²a)		0
H.	**Heizzahl (Nutzungsgrad)**					
H1	berechnete Heizzahl	H	0,94			
I.	**Grenzwert Heizzahl**					
I1	Grenzwert	h_G	0,85		X	
I2	Grenzwert erfüllt?		JA			
I3	Zielwert	h_Z	0,90		X	
I4	Zielwert erfüllt?		JA			
K.	**Energiekennzahl**					
K1	Energiekennzahl Wärme	E_W	384,97	kWh/(m²a)		7.146.095
K1*	Energiekennzahl Wärme [9)]	E_W	387,65	kWh/(m²a)		7.195.799

Tabelle 21 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie

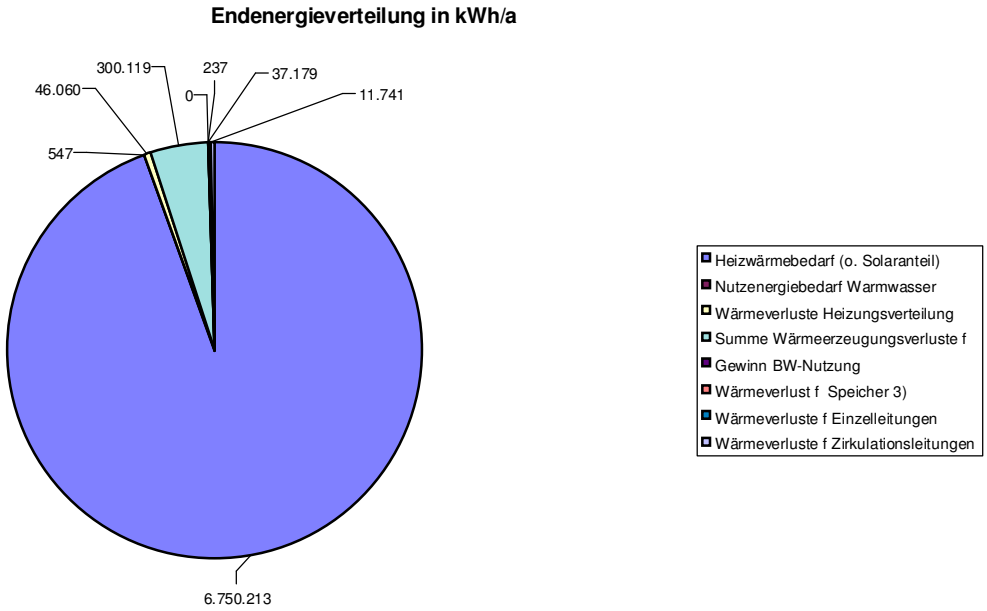
Heizwärmebedarf (o. Solaranteil)	q_H	:	363,65kWh/m²·a
Nutzenergiebedarf Warmwasser	$q_{W\s} - q_H$	:	0,03kWh/m²·a
Wärmeverluste Heizungsverteilung	q_{VH}	:	2,48kWh/m²·a
Summe Wärmeerzeugungsverluste [f]	q_{VE}	:	16,17kWh/m²·a
Gewinn BW-Nutzung		:	0,00kWh/m²·a
Wärmeverlust [f] Speicher [3)]	q_{sp}	:	0,01kWh/m²·a
Wärmeverluste [f] Einzelleitungen	q_{VU}	:	2,00kWh/m²·a
Wärmeverluste [f] Zirkulationsleitungen	q_{VZ}	:	0,63kWh/m²·a
Summe der Wärmeverluste	q_V	:	21,30kWh/m²·a
Wärmebrückenverluste	$q_{WBr.}$	:	0,00kWh/m²·a
Energiekennzahl Wärme	$q_{W\s} + q_V + q_{WBr.}$	:	384,97kWh/m²·a
Berechneter Jahresenergieverbrauch	**EBF*($q_{W\s}$ ...)**	**:**	**7.146.095kWh/a**
Heizleistung		**:**	**2.833,2kW**
Maximaler Jahresheizenergieverbrauch	Q´	:	21,02kWh/m³·a
Maximaler Jahresheizenergieverbrauch	Q´´ = Q´/0,32	:	65,69kWh/m²·a
Temperaturdifferenz (außen/innen) kältester Tag/Innentemperatur	DT	:	32,00K
Wärmegewinne	q_g	:	36,89kWh/m²·a
Nutzenergiebedarf Warmwasser	$q_w - q_H$	:	0,03kWh/m²·a
Zusätzlicher Energiegewinn durch BW	**Brennwert**		0,0% 0,00kWh/m²·a

Durch die neue Kesselanlage liegt die Heizzahl bei 0,94 (Tabelle 24). Damit werden Grenz- und Zielwert nach Leitfaden eingehalten. Dies darf allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass der Heizwärmebedarf sehr hoch ist.

Wie die Tabelle 25 zeigt liegt der Endenergiebedarf durch den bereits hohen Heizwärmebedarf bei 384,97 kWh/m^2,a. (siehe Maßnahmen 7.2. und 7.4.)
Die Verteilung zeigt Diagramm 6. Der Heizwärmebedarf stellt mit 363,65 kWh/m^2,a den höchsten Anteil dar. Nach der alten WSVO wären 66 kWh/m^2,a einzuhalten.
Die Wärmeerzeugungsverluste mit 16,17 kWh/m^2,a sind im wesentlichen auf Betriebsverluste (Tabelle 24 [F13]) zurückzuführen, was bei den hohen Vollbenutzungsstunden von 3900 h (Richtwert 1500 h) auch nicht verwundert.

Demzufolge stellt der Warmwasserbedarf mit 0,03 kWh/m^2,a nur einen geringen Anteil dar. Auffällig sind die hohen Leitungsverluste mit 2,0 kWh/m^2,a und die Verluste der Zirkulationsleitungen mit 0,63 kWh/m^2,a die in der Summe den Warmwasserbedarf erheblich überschreiten. (vgl. Maßnahmen 7.5.1)

Diagramm 10 Aufteilung des Endenergiebedarfs



Bezüglich der Emissionen ist mit folgenden Werten zu rechnen:

	CO_2 [t/a]	SO_2 [kg/a]	CO [kg/a]	NOx [kg/a]
Gas	**1.357,76**	**28,58**	**1.286,30**	**786,07**

6.3. Leitfaden LEE

6.3.1. Beleuchtung

Um die Effektivität der bestehenden Lampen und Leuchtensysteme zu beurteilen, wurde die Leitfadenberechnung gemäß LEE für den Bestand und für eine mögliche Sanierung durchgeführt.

Dies wurde unter zu Hilfenahme des Rechenblattes EDS Beleuchtung in Tabelle 48 Beleuchtung 300 lx Bestand auf Seite 115 vorgenommen. Hierfür wurde ein Pilotraum im EB ausgesucht und mit einer Normbeleuchtungsstärke von 300 Lux und 500 Lux gerechnet, da nach Aussagen der Hausmeister 300 Lux Beleuchtungsstärke in einigen Räumen von den Nutzern als nicht ausreichend empfunden wird, obwohl die Vorgaben der Stadt Frankfurt für Schulgebäude eindeutig sind. Nach den technischen Standards des HBA sollen Klassenräume nicht mehr als 300 Lux Beleuchtungsstärke haben. Die neue AMEV Bel-Bildschirme 2002 weisen darauf hin, dass sogar für CAD Arbeitsplätze 500 Lux nicht überschritten werden sollen. Daher ist auf jeden Fall die energiesparende Variante mit 300 Lux vorzuziehen.

Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellenblättern in der Anlage zusammengefasst. Bei einer Normbeleuchtungsstärke von 300 Lux würde bei den Altlampen eine Lampenzahl von 12 im Raum ausreichen. Installiert sind 24 Lampen, also die doppelte Anzahl.Tabelle 48 Beleuchtung 300 lx Bestand Bei einer Normbeleuchtungsstärke von **500 Lux** benötigt man **21 Lampen** (siehe Tabelle aus dem Leitfadenrechenblatt)

Da sich die Deckenlampen im EB besonders gut für eine Sanierung eignen (keine Kombination mit Lüftung), wurde die selbe Berechnung sowohl für 300 als auch 500 Lux auch für eine 3-Bandenleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) durchgeführt. Die Auslegung auf 300 Lux benötigt nur 7 Lampen statt 24. Sinnvoll anzuordnen sind 2 Reihen je 4 Lampen (anstelle der Altlampen). Bei einer Anforderung von 500 Lux werden 12 Lampen benötigt, also die Hälfte der derzeit installierten Lampen.

Bei angenommenen Vollbetriebsstunden von 1000h/Jahr, verringert sich der Energiebedarf von 1470 kWh (21 Lampen Bestand) auf 730 kWh bei 500 Lux (-60 %). Bei einer Auslegung auf 300 Lux verringert sich der Energiebedarf von 880 kWh (12 Lampen Bestand) auf 439 kWh (-70 %) pro Raum.
Im Bestand mit den 24 Lampen werden bei 1000 Vollbetriebsstunden **1700 kWh**/Jahr verbraucht. Prinzipiell passen die vorgenannten Aussagen auf alle Schulräume aber auch auf die Büros, da das Gebäude fast durchgehend über den gleichen Ausstattungsstandard und das gleiche Lampenrastermaß und Anordnung verfügt.

Daher wurde im Bereich Energieeinsparpotential und Maßnahmen einmal die energetische Sanierung hochgerechnet auf 300 Lux und 500 Lux um die unterschiedlichen Gesamtpotentiale zu zeigen. (vgl. Maßnahmen Beleuchtung 7.8.1.)

Um die Vorgaben des HBA mit 300 Lux einzuhalten wird als Interimslösung empfohlen alle Leuchten insbesondere im EB mit Einsatz eines Luxmeters konsequent auszuschalten. Damit nähert sich dann auch die durchschnittlich installierte Leistung von 21 W/m^2 dem Richtwert nach LEE 2000 von 10 W/m^2 und der Verbrauch von 31 kWh/m^{2}a dem Richtwert von 15 kWh/m^{2}a.

6.3.2. Lüftung

Aufgrund der hohen Kanalgeschwindigkeiten (> 7 m/s), Luftwechselzahlen (6-9 fach), Pressungen bis zu 1500 Pa und den 24 h Stundenbetrieb macht die Leitfadenberechnung erst nach Festlegung eines neuen Lüftungskonzepts Sinn (vgl. Kennwerte).

Die installierte Leistung von 27 W/m^2 und der Verbrauch von 140 kWh/m^2a bei einer Besetzungsdichte von 11 m^2/P liegen weit über dem Grenzwert nach LEE 2000 von 9 kWh/m^2a.

Die sonstigen Verbraucher sind im Rahmen einer Feinanalyse zu ermitteln.

6.4. Kennwerte auf einen Blick

Die Tabelle gibt einen zusammenfassenden Überblick über die in Kapitel 6 behandelten und berechneten Kennwerte.

Tabelle 22 Die wichtigsten Kennwerte auf einen Blick

Bezeichnung	Bereich	Einheit	Ermittelte Werte	Rechen-werte	Richt-werte	
Energiebezugsfläche	**EBF**	**m^2**	**18.563**			
Nettovolumen	V_L	m^3	66.222			
A/V		m^{-1}	0,42			
Personenbelegung	EBF/P	m^2/P			**20**	m^2/P
Personen		P	547			
Personenstunden		Ph/a	1.641.125	821	**928**	P/d
Verbrauch	Strom	kWh/a	3.358.518	Mittel der letzten 5 Jahre		
Kennwert	Strom	kWh/m^2a	**181**	80 Feinanalyse	**40**	
Elektrizitätsverbrauch	Strom	kWh/(P,a)	5.690		**200**	
Spez.Leistung	Strom	W/m^2	35		**1,5 - 3,5**	
Leistung	Strom	kW	800			
Vollbenutzungsstunden	Strom	h	**3.891**		**2.000**	
Verbrauch	Gas	kWh/a	6.847.525	Mittel der letzten 5 Jahre		
Kennwert	Gas	kWh/m^2a	**369**		**85**	**60**
Wärmeverbrauch	Gas	kWh/(P,a)	**12.517**			
Spez.Leistung	Gas	W/m^2	94		**100**	**120**
Leistung	Gas	kW	1.750	2.225		
Vollbenutzungsstunden	Gas	h	**3.913**	3.078	**1.500**	
Verbrauch	Wasser	m3/a	5.417	Mittel der letzten 5 Jahre		
	Wasser	l/m^2a	**292**			
Kennwert	Wasser	l/P,d	**26**		**10**	20
Verbrauch	Warmwasser	m3/a	120			
Kennwert	Warmwasser	l/P,d	0,60		1	**15**

7. Maßnahmen

7.1. Optimierung der Energielieferverträge

7.1.1. Strom

Der Stromvertrag MKW/SÜWAG – Saalbau läuft noch bis Ende 2004. Im Sommer 2004 könnten daher Verhandlungen für neue Verträge aufgenommen werden, da innerhalb des Verbundes der vier Häuser der Saalbau das BIKUZ den größten Abnehmer darstellt. Da der Vorzugstarif aus dem Vertrag der Stadt Frankfurt mit der SÜWAG mit Einzelpositionen günstiger ausfallen würde, könnte man versuchen die drei Häuser Zeilsheim, Sossenheim und Nied separat in einen Vertrag zu verhandeln und für BIKUZ die Vereinbarung mit der Stadt Frankfurt anzunehmen.
Natürlich können die Verträge auch zum Ende des Jahres gekündigt werden und im Sommer 2004 allgemein ausgeschrieben werden.
Sofern ein leistungsbezogener Tarif angenommen wird sind verstärkt Maßnahmen zum Lastmanagement umzusetzen. (vgl. 7.10. ff)

Grundsätzlich ist auch in Erwägung zu ziehen Bezahlung und Abschluß der Verträge über die Stadt laufen zu lassen, wenn hierdurch bessere Konditionen als bei der Saalbau GmbH erzielt werden. Dies bleibt allerdings einer juristischen Prüfung vorbehalten und darf wegen der aktuellen Rechtsprechung leider nicht im Rahmen des Energiegutachtens erörtert werden.

7.1.2. Gas

Bei den Gasverträgen gibt es z. Zt. keinen Handlungsspielraum bezüglich zusätzlicher Rabatte durch die Mainowa. Da die Abnahmemenge des BIKUZ für den Wärmebedarf relativ groß ist, könnte man sich hier auch Versorgerangebote aus dem Umkreis einholen, ggf öffentlich ausschreiben.

7.1.3. Wasser

Kein Handlungsspielraum bezüglich des Tarifs.
Der Verbrauch durch den Kühlturm könnte von den Kanalgebühren abgesetzt werden. Hierzu muß die Menge gemessen werden.
Sofern der Stadt Frankfurt zusätzliche Konzessionsrabatte gewährt werden, sollten alle Verträge von der Saalbau auf die Stadt umgestellt werden, da die Saalbau als GmbH diesen zusätzlichen Vorteil nicht erhält.

7.1.4. Hausverwalterverträge

Es wird vorgeschlagen die 2001 besprochenen Verträge Prämiensystem für die Hausverwalter abzuschließen. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die Einsparpotentiale zwischen 5 – 20 % liegen können. Gemessen an den Gesamtkosten ergibt sich bei nur 5% Einsparung eine ein Potential von 28.500 €/a oder 500 MWh.

7.2. Verbesserung der Wärmedämmung

Für alle Maßnahmen im Bereich der Wärmedämmung wurden die Bauteilwerte des Hochbauamts (HBA), die teilweise noch über die Bauteilwerte nach EnEV hinausgehen, zugrunde gelegt. Dies schließt nicht aus, dass teilweise noch bessere Werte erreicht werden, diese müssen jedoch dann gesondert berechnet werden.

Für die Berechnung der Einsparung wurden die u-(k)Werte und für die Fenster auch die g-Werte in die Leitfadenberechnung Heizwärme übernommen und die Differenz der Transmissionsverluste als Einsparpotential angenommen. Die tatsächliche Einsparung dürfte höher sein, weil die positiven Effekte der höheren Oberflächentemperaturen und die daraus resultierenden niedrigeren Raumtemperaturen noch nicht berücksichtigt sind.

Alle Maßnahmen wurden mit Kosten gemäß der Tabelle 23 Investitionskosten Wärmeschutz auf Seite 65 hinterlegt, so dass für jede Einzelmaßnahme eine Abschätzung des ROI möglich ist. Alle Einzelkalkulationen wurden dann im Rahmen der Vollkostenrechnung gemäß HBA als Variante 4 in der Gesamtbetrachtung als Bauphysikalische Maßnahme berücksichtigt. (vgl. auch Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik auf Seite 66)

7.2.1. Austausch der Fenster im HG

Insgesamt hat das HG eine Fensterfläche von 1.300 m^2 . Bei Austausch der Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 337.000 kWh/a auf 178.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 159.000 kWh/a oder rund 4.600 €/a.
Außerdem gibt es Energieeinsparungen im Bereich der Lüftung. Diese sind nicht quantifizierbar, da die Fugenbeiwerte (a-Werte) der Fenster im Bestand nicht bekannt sind.
Die Fenster der Südfassade werden z.Zt. ausgetauscht, weitere Fenster sind für 2004 geplant. Aus der Ausschreibung liegen daher Kosten vor. Die spezifischen Kosten betragen 255.- €/m^2 Fensterfläche. Der Austausch aller Fenster führt zu Gesamtkosten von 366.000 €. Damit beträgt das ROI rund 69 Jahre (ohne Lüftungsverluste!)

7.2.2. Austausch der Fenster im EB

Der EB hat eine Fensterfläche von 550 m^2. Bei Austausch der Fenster ändert sich der Transmissionswärmeverlust von 139.000 kWh/a auf 82.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 64.000 kWh/a oder 2.000 €/a. Außerdem gibt es Energieeinsparungen im Bereich der Lüftungsverluste. Diese sind nicht quantifizierbar, da die Fugenbeiwerte (a-Werte) der Fenster im Bestand nicht bekannt sind. Der Austausch aller Fenster führt zu Gesamtkosten von 140.000 €. Damit beträgt das ROI rund 77 Jahre.

7.2.2.1.Austausch Fenster und Fassade im EB

Da die Fassade des EB vorgesetzt ist bietet sich an, über einen Austausch der Fassadenelemente incl. der Fenster nachzudenken. (vgl. WDVS EB) Werden nur die Fenster ausgetauscht beträgt die Einsparung 64.000 kWh pro Jahr oder 2.000 €/a.

7.2.3. Wärmedämmverbundsystem HG

Bei den Außenwänden im HG handelt es sich um eine Gesamtfläche von 6.400 m^2. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 784.000 kWh auf 129.000 kWh bei Anbringung einer Wärmedämmung mit einer Dämmstärke von 12 cm (rechnerisch 0,29 W/m^2K bei λ = 0,040 = HBA Standard). Das entspricht einer Einsparung von 615.000 kWh/a oder 18.000 €/a. Die Kosten für die Investition betragen 384.000 €. Das ROI berechnet sich damit zu 22 Jahren.

7.2.4. Wärmedämmverbundsystem EB

Bei einer Dämmstärke von 12 cm (rechnerisch 0,29 W/m^2K, λ = 0,040) werden die HBA – Werte sicher erreicht. Die Gesamtfläche beträgt 1.050 m^2. Die Transmissionswärmeverluste verringern sich von 129.000 KWh/a auf 26.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 103.000 kWh/a oder 3.000 €/a. Die Kosten betragen 63.000 €. Das ROI berechnet sich damit zu 21 Jahren.
Allerdings wäre beim EB zu überlegen -da eine vorgehängte Fassade inklusive der Fenster handelt - ob nicht eine Gesamtlösung Fensteraußenwand mit Integration der Außenlamellen und

Fenster sinnvoll wäre. In diesem Bereich könnten dann noch zusätzliche mechanische Verschattungselemente für die Fenster vorgesehen werden, um hier die Wärmebelastung im Sommer gering zu halten.

7.2.5. Dachdämmung EB

Das Dach des EB hat eine Fläche von 750 m^2
Da bereits eine Dämmung von 8 cm vorhanden ist würde rechnerisch eine Dämmung von weiteren 10 cm ausreichen, um einen u-Wert von 0,3 W/m^2K zu erreichen. Der Transmissionswärmeverlust sinkt von 52.000 kWh/a auf 13.000 kWh/a, die Einsparung beträgt 39.000 kWh/a = 1.100 €/a. Diese Maßnahme ist kostengünstig im Rahmen der nächsten Dachsanierung durchzuführen.
Die Kosten für ein Vollsanierung liegen bei ca. 90.000 € und rechnen sich daher erst nach 80 Jahren.

7.2.6. Dachdämmung HG

Das Dach des HG hat eine Fläche von 6600 m^2
Der Dachaufbau ist wie beim Erweiterungsbau ausgeführt. Der Transmissionswärmeverlust sinkt von 460.000 kWh/a auf 117.000 kWh/a, die Einsparung beträgt 343.000 kWh/a oder 10.000 €/a. Diese Maßnahme ist kostengünstig im Rahmen der nächsten Dachsanierung durchzuführen.
Die Kosten für ein Vollsanierung liegen bei 792.000 € und rechnen sich daher erst nach 80 Jahren.
Im Bereich der Sporthalle wird die Decke in Kürze saniert und mit einer Dämmung versehen. Aufgrund der baulichen Randbedingungen und des notwendigen Gefälles für die Einläufe wird eine durchgängige Dämmebene von 12 cm Höhe wahrscheinlich nicht möglich sein. Nach den jetzt vorliegenden Unterlagen wird allerdings im Mittel eine Dämmstärke von 12 cm eingehalten (8-20 cm Aufbauhöhe).

7.2.7. Geschossdecke HG

Die Fläche der Geschossdecke beträgt 1100 m^2. Da diese an die Technikzentralen grenzt und über keinen nennenswerten Bodenaufbau verfügt, ist der u-Wert mit knapp über 2 W/m^2K sehr hoch und die Wärmeverluste entsprechend groß. Mit einer Dämmschichtdicke von 12 cm (Wärmeleitklasse 0,04) werden die Werte nach HBA eingehalten. Der Transmissionswärmeverlust verringert sich von 207.000 kWh/a auf 29.000 kWh/a. Dies entspricht einer Ersparnis von 177.000 kWh/a oder rund 5.100 €/a. Die Maßnahme kostet rund 44.000 € und rechnet sich damit nach rund 9 Jahren. Allerdings sollten hier noch zusätzliche Maßnahmen zur Wärmebrückenreduzierung an den Bauteilanschlüssen realisiert werden. Dafür ist eine Planung erforderlich.

7.2.8. Boden zur Tiefgarage HG

Dämmung des Bodens des EG im HG von der Garage aus unter der Decke. Auch hier reicht bereits eine Dämmstärke von 12 cm (λ = 0,040) aus, um auf einer Fläche von insgesamt 7750 m^2 die Werte von u = 0,45/m^2K zu erreichen. Der Transmissionsverlust dieses Bauteils verringert sich von 445.000 kWh auf 137.000 kWh. Das entspricht einer Einsparung von 310.000 kWh/a oder rund 9.000 €/a. Die Maßnahme kostet rund 310.000 € und rechnet sich nach 35 Jahren.

Hier ist außerdem die Fläche Boden gegen außen über den Eingangsbereichen enthalten.

7.2.9. Boden EB

Die Stahlbetondecke des EG wird sowohl von den technischen Zentralen, als auch vom Bereich des Kriechkellers gedämmt. Der zulässige Wert des HBA kann bereits mit einer Dämmstärke von 10 cm erreicht werden. Die Gesamtfläche beträgt 750 m^2.
Der Transmissionswärmeverlust verringert sich dadurch von 43.000 kWh/a auf 14.000 kWh/a. Das entspricht einer Einsparung von 29.000 kWh/a oder rund 900 €/a. Die Maßnahme kostet rund 30.000 € und rechnet sich nach 33 Jahren.

Bei einer vollständigen Umsetzung aller Maßnahmen zur Einhaltung bzw. Unterschreitung der Bauteilgrenzwerte nach EnEV, bzw. HBA werden im EB und im HG 1.800 MWh/a an Transmissionswärmeverlusten gespart. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass durch ein gesteigertes Behaglichkeitsgefühl durch Erhöhung der Oberflächentemperaturen die Raumtemperatur abgesenkt werden kann und damit weitere Energie gespart wird.

7.2.10. Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik

Bei der Bauphysik wurden die Maßnahmen 7.2.1. – 7.2.9. in einem Paket zusammengefasst. Dabei sind auch die Maßnahmen berücksichtigt, die z.Z. bereits umgesetzt werden. Dazu gehören der Teilaustausch der Fenster an der Südfassade HG und die Sanierungsarbeiten des Sporthallendaches.
Die Kostenschätzung ist mit Ausschreibungswerten aus den Daten des Hochbauamts und aktuellen Ausschreibungsergebnissen durchgeführt. Die Kapitalisierung wurde für einen Zeitraum von 25 Jahren vorgenommen.
Die angenommenen Investitionskosten sind in der Tabelle 23 zusammengefaßt.
Die Investitionskosten betragen insgesamt 2,2 Mio € bei Zugrundelegung von erzielten Ausschreibungspreisen im Jahr 2003. Die Kalkulationsempfehlungen der Abteilung Energiemanagement liegt teilweise noch unter diesen Werten.

Tabelle 23 Investitionskosten Wärmeschutz

300Bauwerk - Baukonstruktion	**Menge** (m^3)	**sp. Preis** (€/m^3)	**Investition** (€)
310Baugrube	0	0	0
320Gründung: Fundamente			0
Gründung: Bodenaufbauten	(m^2)	(€/m^2)	(€)
Boden gegen Keller/Erde	8.500	40	339.991
Boden gegen außen	253	40	10.138
330Außenwände	(m^2)	(€/m^2)	(€)
Wand gegen außen	7.371	60	442.270
Wand gegen Keller/Erde	0	60	0
Außenfenster und -türen	2.047	255	521.859
			0
340Innenwände	(m^2)	(€/m^2)	(€)
Innenwände	0	50	0
Innentüren und Fenster	0	300	0
350Decken	(m^2)	(€/m^2)	(€)
oberste Geschoßdecke	1.117	40	44.698
sonstige Geschoßdecken	0	45	0
360Dächer	(m^2)	(€/m^2)	(€)
Dach gegen außen	7.378	120	885.401

Wenn es gelingt die Investitionssumme von 1,5 Mio € zu erreichen, wird der ROI bereits nach 25 Jahren erreicht. Alle Werte sind in der nachfolgenden Tabelle 24 Gesamtkosten Wärmeschutz zusammengefasst.

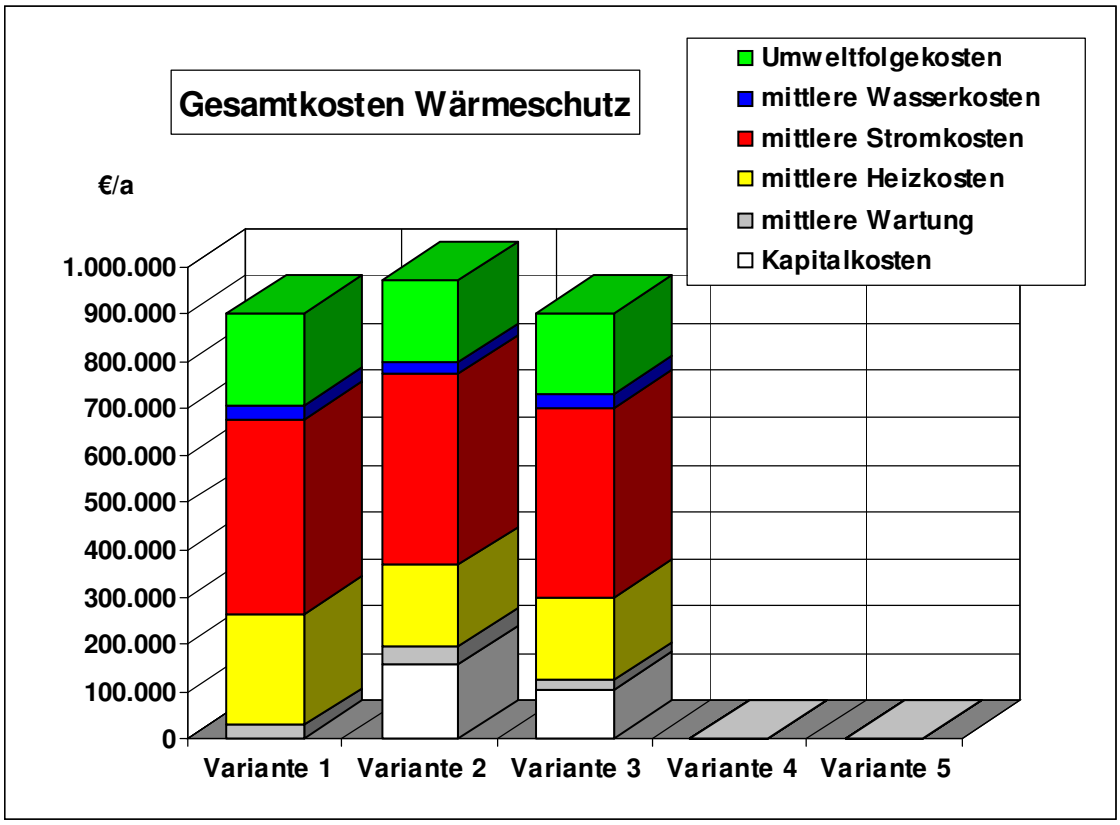
Tabelle 24 Gesamtkosten Wärmeschutz FDG

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement

A.	**Allgemeine Daten**									
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Bikuz**					A2	Unterab.		
A3	Gebäudebezeichnung	**Bauteil HG und EB**					A4	Str.-Nr.		
A5	Straße						A6	Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	25	a		A8	Währung			€	
A9	Kapitalzins	5%			A10	Annuitätsfaktor			0,07	
A11	Preissteigerung	2%			A12	Mittelwertfaktor			1,24	
B.	**Varianten**	**Bezeichnung**								
B0	**Variante 1**	**IST-Zustand**								
B1	**Variante 2**	**Wärmeschutz nach Frankfurter Standard**								
B2	**Variante 3**	**Grenzkosten**								
B3	**Variante 4**									
B4	**Variante 5**									
C.	**Kenngrößen**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**				
C1	Bezugsfläche (NGF)	18.563	18.563	18.563	18.563	18.563	m²			
C2	Personenzahl	547	547	547	547	547	P			
C3	spez. Heizwärmebedarf	364	270	1			kWh/m²a			
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	94%	94%	94%	94%	94%	%			
C5	spez. Strombezug	181	177	1			kWh/m²a			
C6	spez. CO2-Emissionen	203	179	1	0	0	kg/m²a			
C7	spez. Trinkwasserbezug	9,90	9,90	9,90			m³/P a			
D.	**Kapitalkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**				
D1	Investitionskosten (DIN 276)	0	2.244.356	1.467.475			€			
D2	Zuschüsse/Erlöse		0				€			
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	2.244.356	1.467.475	0	0	€			
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**159.243**	**104.121**	**0**	**0**	€/a			
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**9**	**6**	**0**	**0**	€/m²a			
E.	**mittl. Betriebskosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**				
E1	Personal+Reinigungskosten						€/a			
E2	Wartung+Instandhaltung	23.351	29.061	17.284			€/a			
E3	Heizkosten	190.275	139.243	139.243	0	0	€/a			
E4	Stromkosten	331.323	324.697	324.697			€/a			
E5	Wasserkosten	22.169	22.169	22.169			€/a			
E6	Verwaltung+Versicherung						€/a			
E7	**heutige Betriebskosten**	**567.118**	**515.170**	**503.392**	**0**	**0**	€/a			
E8	**mittl. Betriebskosten**	**705.293**	**640.687**	**626.040**			€/a			
E9	**spez. Betriebskosten**	**38**	**35**	**34**	**0**	**0**	€/m²a			
F.	**Umweltfolgekosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**				
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	188.439	166.050	166.050	0	0	€/a			
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	5.417	5.417	5.417	0	0	€/a			
F3	**Umweltfolgekosten**	**193.856**	**171.467**	**171.467**	**0**	**0**	€/a			
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	**10**	**9**	**9**	**0**	**0**	€/m²a			
G.	**Gesamtkosten**	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**				
G1	**Gesamtkosten**	**899.149**	**971.397**	**901.629**	**0**	**0**	€/a			
G2	**spez. Gesamtkosten**	**48**	**52**	**49**	**0**	**0**	€/m²a			
G2	**Amortisationszeit (Basis: Variante 1)**			**26,2**			a			

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

Diagramm 11 Kostenaufteilung Wärmeschutz



Der spezifische Heizwärmebedarf sinkt von 364 kWh/m^{2}a auf 270 kWh/m^{2}a. Dieser Wert ist immer noch viel zu hoch und wird durch die hohen Lüftungsraten verursacht. Der spezifische Stromverbrauch verbessert sich nur geringfügig, weil mit dieser Maßnahme allein nichts an der Anlagentechnik, insbesondere der Lüftung, bewirkt wird.
Demzufolge sind Umweltfolgekosten noch relativ hoch, weil die spezifischen CO_2-Emissionen nur durch die Wärme (Gas) gesenkt werden.

Insgesamt sind die Kosten mit rund 960.000.- € pro Jahr höher als die jetzigen Kosten von 900.000.- €/a. Damit rechnet sich die Gesamtmaßnahme Wärmeschutz in 25 a nicht.

Hierfür wäre es erforderlich die Investitionssumme unter 1,5 Mio € darzustellen. Dies ist im Rahmen von Reparaturmaßnahmen möglich, weil dann nur die Mehrkosten für die jeweilige Maßnahme zum Tragen kommen.

7.3. Verbesserung der Regelungstechnik/Anlagentechnik

7.3.1. Gebäudeleittechnik

Prinzipiell wäre wegen der vielen übergreifenden Einflüsse zwischen Lüftungen und Heizungsanlagen sowie im HG und EB und Lichtsysteme der Einsatz einer GLT zu befürworten. Diese ermöglicht es alle haustechnischen Anlagen zentral zu überwachen, zu steuern und zu regeln. Es ließen sich komplexe Zeitpläne realisieren, die Anlagen gleitend einschalten und energieoptimiert betreiben. Hierfür ist ein separates Konzept zu entwickeln.

Folgende Regelkreise sind verbesserungswürdig:

7.3.2. Heizungsregelung EB

Die jetzige Regelung im Erweiterungsbau läuft auf Dauerbetrieb, weil die Regelung insgesamt nicht funktionieren soll. Daraus ergibt sich während er Ruhezeiten ein zu hohes Temperaturniveau. Einsparpotentiale vergleiche 7.5.4. Regelung EB.

7.3.2.1.Bedienung der Regelung

Konsequente Bedienung der Regelung incl. Nachtabsenkung. Akribische Dokumentation der Fehler und Störquellen, um die Funktion zu optimieren.

7.3.2.2.Neue Temperaturfühler in Klassenräumen EB

Z.Zt. sind die Temperaturfühler in den Abluftkanälen untergebracht. Optimaler wäre eine Positionierung im Bereich der Wand außerhalb der direkt belichteten Zonen.
Die Anordnung der Temperaturfühler sollte überprüft und geändert werden. (vgl. auch 7.3.2.5. und 7.4.3.)

7.3.2.3.Magnetventile austauschen EB

Die Störanfälligkeit der Magnetventile dokumentieren. Die Störanfälligkeit der Magnetventile ließe sich sicherlich durch den Einsatz eines anderen Fabrikats beseitigen.

7.3.2.4.Hydraulische Abstimmung der Heizkreise EB

Die mangelnde hydraulische Abstimmung der Heizkörper kann zur Unterversorgung von Heizkörpern führen. Letzteres spielt allerdings eine eher untergeordnete Rolle, da jeweils nur 3 Heizkörper an einem Ventil angeschlossen sind. Wichtiger ist die Eindrosselung der Stränge und Ventile.

7.3.2.5.Nachrüstung DDC für Regelung EB

Da es einen zentralen Schaltschrank (Ebene 1 im Hausmeisterraum) gibt, wäre es denkbar in diesen eine DDC nachzurüsten, die die Verknüpfungen zwischen Temperatur und Öffnung der Heizkreise unter Einbeziehung einer Kommunikation mit der Lüftungsregelung besser darstellt. Diese Maßnahme greift nur, wenn die Maßnahme aus 7.5.4. (Seite 78) an der bestehenden Regelung nicht greift.

Sicher ließe sich über diese DDC im Bussystem auch eine DDC für die Lüftungsanlage betreiben. Der Vorteil wäre, dass die Lüftungsanlage nicht mehr auf Stufe 1 durchfahren muss, sondern lastorientiert arbeiten kann und dass darüber hinaus ab bestimmten Betriebsfällen z. B. bei großer innerer Wärmelast die Heizung frühzeitig abgesenkt wird und nur noch gelüftet wird.

Z. Zt. arbeiten einige Heizzonen auch bis 23 °C oder heizen trotz laufender Lüftung (Kühlung). (vgl. dazu auch Aktennotiz)

Aktivitäten:
- Fehlerdokumentation
- Optimierung Anordnung Temperaturfühler
- Stellventile austauschen
- DDC in Schaltschrank einplanen

7.3.3. Regelungstechnik HG

Der Vorlauf der Heizung für die Klassenräume kommt aus einem gemeinsamen Vorlauf ohne hydraulische Abstimmung. Hier wäre eine Zonenaufteilung und Vorlaufregelung mittels witterungsgeführten Außentemperaturregelung sinnvoll. Über die DDC können unterschiedliche Nutzungszeiten hinterlegt werden.
In diese Regelung könnten die Unterkreise aus dem Innenbereich der Cafeteria und dem Sportteil mit integriert werden.

7.3.4. Regelung der Lüftungstechnik HG

Da die Lüftungstechnik Stufe 1 nur über die Ablufttemperaturfühler gefahren wird (Stufe 1 oder 2), könnte über eine Ergänzung durch Luftqualitätskriterien (z. B. CO_2 als Leitgröße aber auch Raumluftqualitätsfühler) angedacht werden. Dadurch würde die Lüftungsanlage insbesondere der Innenzone während der benutzungsschwachen Zeiten auf den notwendigen Luftwechsel herunter gefahren werden. Diese Maßnahme kann jedoch nur in Verbindung mit der Maßnahme „geändertes Brandmeldekonzept“ und Änderung der Anlagen auf Frequenzumrichter durchgeführt werden (vgl. 7.4.1. Lüftung – 7.4.4.)
Im Rahmen des Zwischengesprächs wurde seitens der Schulleitung eine überarbeitetes Raumkonzept avisiert. Dies hätte sowohl Konzequenzen für die Lüftung, als auch für die Beleuchtung.

Es sollte versucht werden soviel Räume als möglich aus dem Lüftungsverbund zu nehmen und auf Fensterlüftung umzustellen. Dies ist generell bei allen Räumen zu prüfen, die bereits neue Fenster erhalten haben oder werden.

7.4. Lüftung

Hauptproblem der Lüftung sind die durchlaufenden Betriebszeiten ohne Aus- und Teillastbetrieb. Dadurch wird Strom und Wärme unnötig verbraucht. Grund für die ungewöhnliche Betriebsweise der Lüftungsanlagen ist das Brandmeldsystem. Die Rauchmelder sind in den Lüftungskanälen installiert und benötigen eine Mindestanströmung von 2 m/s. Auf diese Geschwindigkeit lässt sich die Lüftung nicht abregeln.

7.4.1. Änderung Brandschutz (Variante Luft1)

Durch ein konsequente Änderung des Brandmeldekonzepts lassen sich die Lüftungsanlagen beliebig Ein- und Ausschalten! Dahinter liegt das größte Einsparpotential.

7.4.1.1. Verringerung der Betriebszeit der Lüftung nachts.

Die Lüftungsanlagen können während der Nachtstunden d. h. von 22:00 bis 06:00 Uhr ausgeschaltet werden. Dafür ist die Umstellung der Lüftung auf ein anderes Brand- bzw. Rauchmeldesystem notwendig. (vgl. 7.4.1.3.)

Dies entspricht einer Benutzungszeit von 2920 Std/Jahr. Die Leistung der Lüftungsanlage auf der Stufe 1 beträgt rund 270 kW. Damit werden mit dieser Maßnahme während der Nachtstunden insgesamt 790.000 kWh/a Strom (= 80.000 €/a) eingespart. Darüber hinaus werden entsprechende Wärmemengen, die sonst weggelüftet werden, eingespart. Diese Menge beträgt geschätzt rund 1400 MWh/a im Wert von 51.000 €/a.

Aktivitäten:
- Brandmeldekonzept ändern
- Abschalten der Lüftung, ggf. automatisch

7.4.1.2.Verringerung der Luftversorgungs tagsüber

Das tatsächliche Potential aus der vg. Maßnahme ist jedoch noch größer, wenn davon ausgegangen wird, dass der Schulbetrieb und der VHS-Betrieb i. d. R. früher zu Ende ist, d. h. in einigen Etagen die Lüftungsanlagen noch früher abgestellt werden könnten.
Insbesondere an den Wochenenden ist kein durchgehender Lüftungsbetrieb notwendig.

Das Potential hieraus lässt sich mit rund 4 Std/Tag und 16 Std. an 50 Sonntagen sowie 8 Std. an 50 Samstagen abschätzen. Das ergibt eine Gesamtstundenzahl von 2200. Mit einer Verbrauchsleistung von 220 kW multipliziert entspricht das einem Einsparpotential von **440.000 kWh/a oder 43.000 €/a.**

Hierbei ist berücksichtigt, dass die Anlagen im EB und HG, Sportbereich und Saalbau unterschiedliche Betriebszeiten haben. Bei konsequenter Beschränkung auf diese Betriebszeiten können die Einsparungen noch größer sein.

7.4.1.3. Ergebnis der Maßnahme Brandschutzanlage ändern

Die Änderung der Brandmeldeanlage erfordert Investitionskosten von 236.000 €. Dem stehen Einsparungen aus den Maßnahmen 7.4.1.1. und 7.4.1.2. in Höhe von 201.000 € gegenüber, so dass sich die Maßnahme in knapp über einem Jahr rechnet.

Die Einzeldaten sind in Tabelle 25 zusammengefaßt:

Tabelle 25 Kostenschätzung und Einsparpotentiale Änderung Brandschutz

Investitionskosten						
neue Brandmeldeanlage						160.000
Unvorhergesehenes		160.009		10,0%		16.001
Planung/Projektierung						28.000
Mwst						32.640
Summe						236.641
Wartung						8.181
Einsparungen	h	kW	f	kWh		0
Strom	2.920	271	1	790.152		77.950
Gas	2.920	0,3395	0,9	1.476.495	4.831.757	42.741
Strom	2.150	205	1	440.750		43.481
Gas	2.150	0,1894	0,9	823.595	4.831.757	23.841
Summe	5.070			3.530.992		188.013
ROI						1,3

Investitionskosten aus Tectrol-Gutachten und Kostenschätzung Hochbauamt umgerechnet.

Insgesamt werden durch die Maßnahme 3.500.000 kWh/a Strom und Wärme gespart.

7.4.2.2.Verringerung der Luftversorgung Innenzone durch Luftqualitätsregelung

Die Versorgung der Innenzonen erfolgt bedarfsgerecht über einen Luftqualitätsfühler oder CO_2-Wert. Für diese Maßnahme ist eine separate Planung erforderlich.

7.4.3. Nachrüstung Anlage 10a,b und 11 (Variante Luft2)

Durch die Nachrüstung von Frequenzumrichtern für die Anlagen 10 und 11 kann die Versogung besser dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden. Dabei besteht auch die Möglichkeit einzelne Zonen komplett abzuschiebern und nur noch mit Fensterlüftung zu versorgen. Tabelle 26 zeigt die Einzelheiten der Kostenschätzung und Einsparpotentialen.

Tabelle 26 Kostenschätzung und Einsparungen Anlage 10a,b und 11

Frequenzumformer	Stk	Leist/kW		Gesamt		
Anlage 10a, 10b, 11	5	30		180		37.500
Verkabelung						18.000
Lumi Druckwasserbefeuchter mit Wasseraufbereiter						81.807
Regelung						15.000
Unvorhergesehenes		152.307		10,0%		15.231
Planung/Projektierung		167.537		15,0%		25.131
Summe						192.668
Einsparungen	h	kW		kWh		
Strom Nacht	in Brandmeldeanlage					
Strom Tag	3.530	90		317700		31.342
Summe Strom				317700	0,00	31.342
	m^3	Anl.	m^3	kWh		
Wirsamer Luftwechsel	44.000	1	44000	435600		15.214
Summe Wärme			44000	435600	3,49	15.214
Wasser			660			2.701
Summe						46.556
ROI						4,1

Zusätzlich sollen die Wabenbefeuchter durch Druckwasserbefeucher ausgetauscht werden. Diese Maßnahme senkt den Druckverlust im System und wurde von Tectrol (vgl. Bericht) vorgeschlagen. Dadurch wird Strom und Wasser gespart. Nur für die Anlagen 10a und 10b. Einzelheiten vgl. Tectrolgutachten.

Die Investitionssumme beträgt insgesamt 190.000 €. Bei angenommenen Einsparungen von 46.000 €/a beträgt das ROI 4 Jahre.

7.4.4. Nachrüstung Anlage 4,5,7,9. (Variante Luft3)

Durch die Nachrüstung von Frequenzumrichtern für die Anlagen 4,5,7,9 kann die Versorgung besser dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden. Die Anlagen sind nach 10 und 11 die nächst kleineren und verfügen nicht über Wärmerückgewinnung. Dabei besteht auch die Möglichkeit einzelne Zonen komplett abzuschiebern und nur noch mit Fensterlüftung zu versorgen. Tabelle 27 zeigt die Einzelheiten der Kostenschätzung und Einsparpotentialen.

Die Investitionssumme beträgt insgesamt 165.000 €. Bei angenommenen Einsparungen von 18.000 €/a beträgt das ROI 9 Jahre. Dabei werden 80.000 kWh Strom und 350.000 kWh Wärme eingespart.

Tabelle 27 Kostenschätzung und Einsparungen Anlage 4,5,7 und 9

Frequenzumformer	Stk	Leist/kW		Gesamt		€
Anlage 4,5,7,9	4	44,5		86.300		15.575
Verkabelung						18.000
Kanalnetz						81.807
Regelung						15.000
Unvorhergesehenes		130.382		10,0%		13.038
Planung/Projektierung		143.420		15,0%		21.513
Summe						164.933
Einsparungen	h	kW		kWh		€
Strom Nacht/Tag aus	in Brandmeldeanlage					
Strom Tag	3.530	22,25	0,5	78.543		7.748
Summe Strom				78.543	0,00	7.748
	m3	Anl.	m3	kWh		
Wirsamer Luftwechsel	86.300	0,4105	35423	350.689		10.152
Wirsamer Luftwechsel						
Summe Wärme			35423	350.689	2,89	10.152
Summe						17.900
ROI						9,2

7.4.5. Nachrüstung Anlage 21,22 (Variante Luft4)

Durch die Nachrüstung von Frequenzumrichtern für die Anlagen 22 I-III kann die Versorgung besser dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden. Die Anlagen sind nach 10 und 11 die nächst kleineren und verfügen nicht über Wärmerückgewinnung, sondern nur über Drosselklappen für den Außenluftanteil. Tabelle 28 zeigt die Einzelheiten der Kostenschätzung und Einsparpotentialen.

Die Investitionssumme beträgt insgesamt 60.000 €. Bei angenommenen Einsparungen von 25.000 €/a beträgt das ROI 2,5 Jahre. Dabei werden 170.000 kWh Strom und 230.000 kWh Wärme eingespart.
Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Maßnahme zur Änderung der Brandmeldeanlage umgesetzt wird und damit die Anlage während der Nachtstunden außer Betrieb geht. Ansonsten verdoppeln sich die Einsparungen auf 56.000 € und das ROI verkürzt sich auf 1,2 Jahre.

Tabelle 28 Kostenschätzung und Einsparungen FU Anlage 21, 22

Frequenzumformer	Stk	Leist/kW		Gesamt		€
Anlage 22 I, 22 II, 22 III	6	11		66		23.100
Verkabelung						10.000
Regelung						15.000
Unvorhergesehenes		48.100		10,0%		4.810
Planung/Projektierung		52.910		15,0%		7.937
Summe						60.847
Einsparungen	h	kW	f	kWh		
Strom Nacht	*2.920*	*66*		*192.720*		~~*19.012*~~
Gas	*2.920*	*0,083*	*0,9*	*360.121*	4.831.757	~~*12.578*~~
Strom Tag	5.680	30		170.400		16.810
Gas	5.680	0,1611	0,3	233.503	4.831.757	8.156
Summe Einsparung				956743,7	9,87	56.556
Summe Einsparung nach Brandmeldekonzept						24.966
Quercheck Wärme	m3	Anl.	m3	kWh		
Wirsamer Luftwechsel	7000	3	21000	207900		
Wirsamer Luftwechsel	4900	3	14700	145530		
Summe Wärme			35700	353430	3,49	12.344
ROI	*ohne Brandmeldekonzept*					*1,1*
ROI	nach Brandmeldekonzept					2,4

7.4.4. Einzelraumversorgung

Den niedrigsten Energieverbrauch hat eine bedarforientierte Einzelraumreglung. Die Auftrennung des Kanalnetzes der Anlagen 10a, 10b und 11 ist erforderlich. Jeder Raum wird mit eigenen Zuluftgittern und Volumenstromreglern ausgestattet. Über Qualitäts- und Temperaturfühler wird die Lüftung nur bedarforientiert eingeschaltet.

Aktivitäten:

- Brandmeldekonzept ändern
- Einbau von Wurfgittern
- Einbau von Volumenstromreglern (Einzelraumregelung, Planung erforderlich).

Bei Realisierung der Maßnahmen 7.4.1 und 7.4.2. verleiben rund 3000 Stunden für den FU-Betrieb. Bei Halbierung der Leistung von 190 kW werden so rund 285.000 kWh Strom also rund 10.000 €/a für Strom gespart. Für die Untersuchung dieser Variante ist eine Detailplanung erforderlich.

7.4.5.1. Änderung Ventilatoren und Motoren

7.4.5.1.1.Austausch Ventilator Anlage 1

Die Anlage 1 (Garage) sollte mit einem neuen Ventilator mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln und angepassten Antrieb ausgestattet werden. Es wird davon ausgegangen das die Antriebsleistung durch diese Maßnahme von insgesamt 27 kW auf 20 kW reduziert wird. Bei 8000 h reduziert sich der Verbrauch um 56.000 kWh oder 5.524 €/a.

7.4.5.1.2.Austausch von Gebläsen und Antrieben Anlage 10, 11

7.4.5.1.3.Austausch von Gebläsen und Antrieben Anlage 4, 5, 7, 9

Fast alle Anlagen verfügen über vorwärtsgekrümmte Ventilatoren. Nach den alten Revisionsunterlagen sind die Kombinationen Gebläse/Motor nicht auf das Kanalnetz abgestimmt. Die installierte Gesamtleistung der größten Anlagen im EB, 4, 5. 7, 10, 11, beträgt in der Summe 279 kW. Diese könnten auf 200 kW durch FU und Ventilatorumbau reduziert werden. Der Einspareffekt hängt davon ab, ob Nachtabschaltung und reduzierte Tagschaltung 7.4.1. und 7.4.2. durchgeführt wird. Wenn eine Restbetriebszeit von 3000 erreicht wird, beträgt die Einsparung rund 237.000 kWh Strom oder 23.000 € pro Jahr.

7.4.5.2.Wärmerückgewinnung für die Anlage 4,5,7,9

Die Anlagen 4,5,7,9 könnten mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet werden.
Damit brauchen rund 75.800 m^3/h nicht weggelüftet werden. Bei einem Wirkungsgrad der WRG von 85 % ergibt sich eine Einsparung von rund 78.000 kWh Wärme pro Jahr bei verringerter Betriebszeit (Maßnahme 7.4.1. und 7.4.2.) von rund 35.000 kWh oder 1300 €/a.

7.4.5.3.Wärmerückgewinnung für die Anlage 22

Gleiches gilt für die Anlage 21 I-II und 22 I-III. Hier wäre Platz für einen liegenden Rotationswärmetauscher auf den Anlagen. Das Potential liegt bei 75.000 m^3/h im Vollbetrieb. Es bleiben bei einem Wirkungsgrad der WRG von 85 % und verringerter Betriebszeit (Maßnahme 7.4.1. und 7.4.2.) rund 35.000 kWh oder 1300 €/a.

7.4.6. Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen an den Lüftungsanlagen

Wie die Ausführungen zeigen gibt es einige Ansatzpunkte zum Energiesparen im Bereich der Lüftungsanlagen.
Daher wurden die Maßnahmen selektiert, die die größten Einsparungen versprechen. Das größte Potential bietet die Reduzierung der Betriebszeiten gemäß 7.4.1. Die Untersuchungen von Tectrol haben gezeigt, dass der Einsatz von Frequenzumrichtern zur Verringerung der Luftmengen zu erheblichen Einsparungen während der Betriebszeiten führen kann. Dies wurde auf die Maßnahmen 7.4.3. – 7.4.5 ausgedehnt. Diese wurden als zusätzliche Maßnahmen auf das Brandmeldekonzept aufgelegt.
Die Daten sind in Tabelle 29 dargestellt.
Die Maßnahme Reduzierung der Luftmengen durch neue Brandmeldeanlage führt bereits zu einer Reduzierung der Vollkosten von 800.000 €/a auf 560.000 €/a. Dies liegt an dem kurzen ROI der Investitionen in die Brandmeldeanlage von 1,3 Jahren. Durch die Kapitalisierung auf 10 Jahre Laufzeit sinken dann die Betriebskosten erheblich.

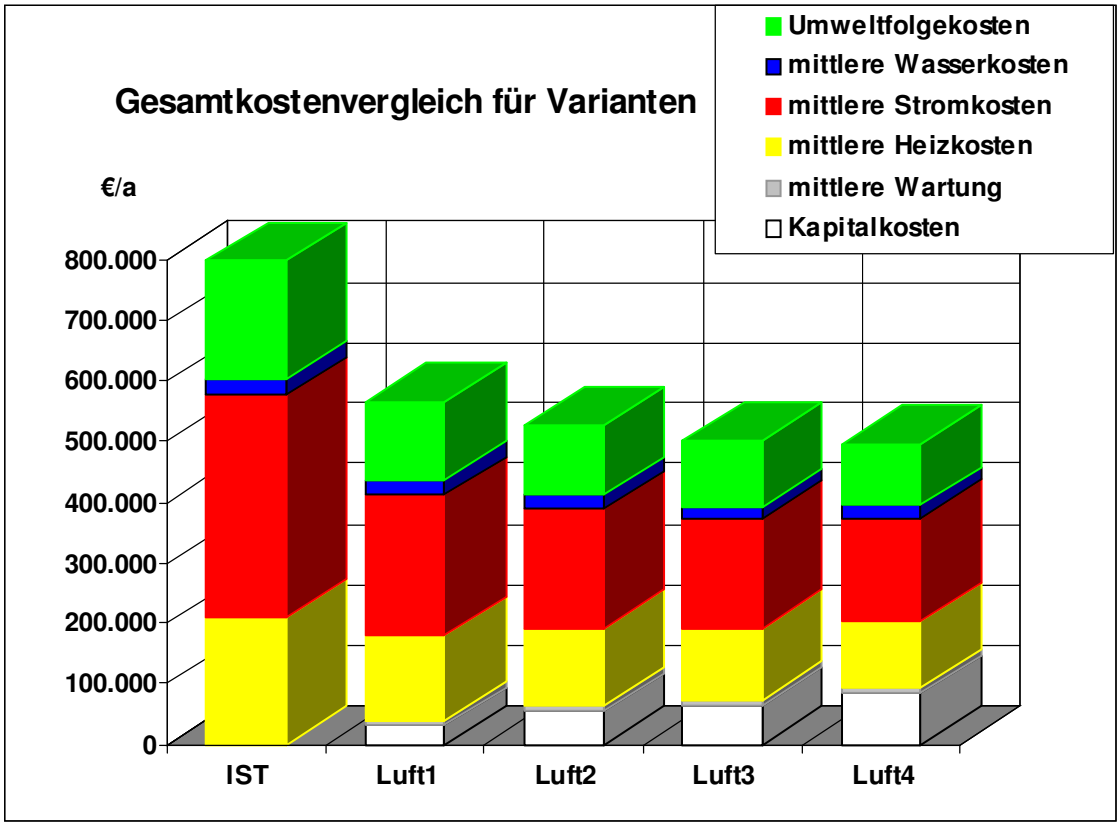
Tabelle 29 Wirtschaftlichkeitsrechnung für Maßnahmen Lüftung 7.4.1. – 7.4.5.

A.	**Allgemeine Daten**									
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**FDG/Bikuz**					A2 Unterab.			
A3	Gebäudebezeichnung	**Bauteil HG/EB**					A4 Str.-Nr.			
A5	Straße						A6 Haus-Nr.			
A7	Betrachtungszeitraum	10	a	A8	Währung		€			
A9	Kapitalzins	5%		A10	Annuitätsfaktor		0,13			
A11	Preissteigerung	2%		A12	Mittelwertfaktor		1,11			
B.	**Varianten**	**Bezeichnung**								
B0	**IST**	**IST-Zustand**								
B1	**Luft1**	**Brandmeldeanlage neu**								
B2	**Luft2**	**+ Anlage 10a, 10b, 11 FU**								
B3	**Luft3**	**+ Anlage 22 I, 22 II, 22 III FU**								
B4	**Luft4**	**+ Anlage 4,5,7,9 FU**								
C.	**Kenngrößen**	**IST**	**Luft1**	**Luft2**	**Luft3**	**Luft4**				
C1	Bezugsfläche (NGF)	18.563	18.563	18.563	18.563	18.563	m²			
C2	Personenzahl	547	547	547	547	547	P			
C3	spez. Heizwärmebedarf	369	245	222	209	190	kWh/m²a			
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	1	1	1	1	1	%			
C5	spez. Strombezug	181	115	98	88	84	kWh/m²a			
C6	spez. CO2-Emissionen	204	132	115	106	99	kg/m²a			
C7	spez. Trinkwasserbezug	10	10	9	9	9	m³/P a			
D.	**Kapitalkosten**	**IST**	**Luft1**	**Luft2**	**Luft3**	**Luft4**				
D1	Investitionskosten (DIN 276)	0	236.641	192.668	60.847	164.933	€			
D2	Zuschüsse/Erlöse	0	0	0	0	0	€			
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	236.641	429.309	490.156	655.088	€			
D4	**Kapitalkosten**	0	30.646	55.597	63.477	84.837	€/a			
D5	**spez. Kapitalkosten**	0	2	3	3	5	€/m²a			
E.	**mittl. Betriebskosten**	**IST**	**Luft1**	**Luft2**	**Luft3**	**Luft4**				
E1	Personal+Reinigungskosten	0	0	0	0	0	€/a			
E2	Wartung+Instandhaltung	0	8.181	8.181	8.181	8.181	€/a			
E3	Heizkosten	190.275	126.362	114.257	107.769	98.024	€/a			
E4	Stromkosten	331.323	209.893	178.551	161.741	153.992	€/a			
E5	Wasserkosten	22.169	22.169	19.468	19.468	19.468	€/a			
E6	Verwaltung+Versicherung	0	0	0	0	0	€/a			
E7	**heutige Betriebskosten**	543.767	366.604	320.457	297.158	279.665	€/a			
E8	**mittl. Betriebskosten**	602.507	406.206	355.074	329.259	309.876	€/a			
E9	**spez. Betriebskosten**	32	22	19	18	17	€/m²a			
F.	**Umweltfolgekosten**	**IST**	**Luft1**	**Luft2**	**Luft3**	**Luft4**				
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	189.578	122.507	107.013	98.705	92.080	€/a			
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	5.417	5.417	9.514	9.514	9.514	€/a			
F3	**Umweltfolgekosten**	194.995	127.924	116.527	108.219	101.594	€/a			
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	11	7	6	6	5	€/m²a			
G.	**Gesamtkosten**	**IST**	**Luft1**	**Luft2**	**Luft3**	**Luft4**				
G1	**Gesamtkosten**	797.502	564.776	527.199	500.955	496.307	€/a			
G2	**spez. Gesamtkosten**	43	30	28	27	27	€/m²a			
G2	**Amortisationszeit (Basis: Variante 1)**		**0,9**	**1,4**	**1,4**	**1,8**	a			

Die Maßnahmen Luft 2 – Luft 4, die sich auf die Reduzierung der Leistung mittels Frequenzumrichter an den Anlagen 4,5,7,9,10,11 und 22 beziehen führen nicht mehr zu so deutlichen Vollkostenerleichterungen, weil die Amortisationszeiten bei höherem Kapitaleinsatz länger sind.

Insgesamt reduzieren sich die Vollkosten immerhin noch auf unter 500.000.- €. Damit werden durch die wichtigsten Maßnahmen in der Lüftung 300.000.- € per gespart.

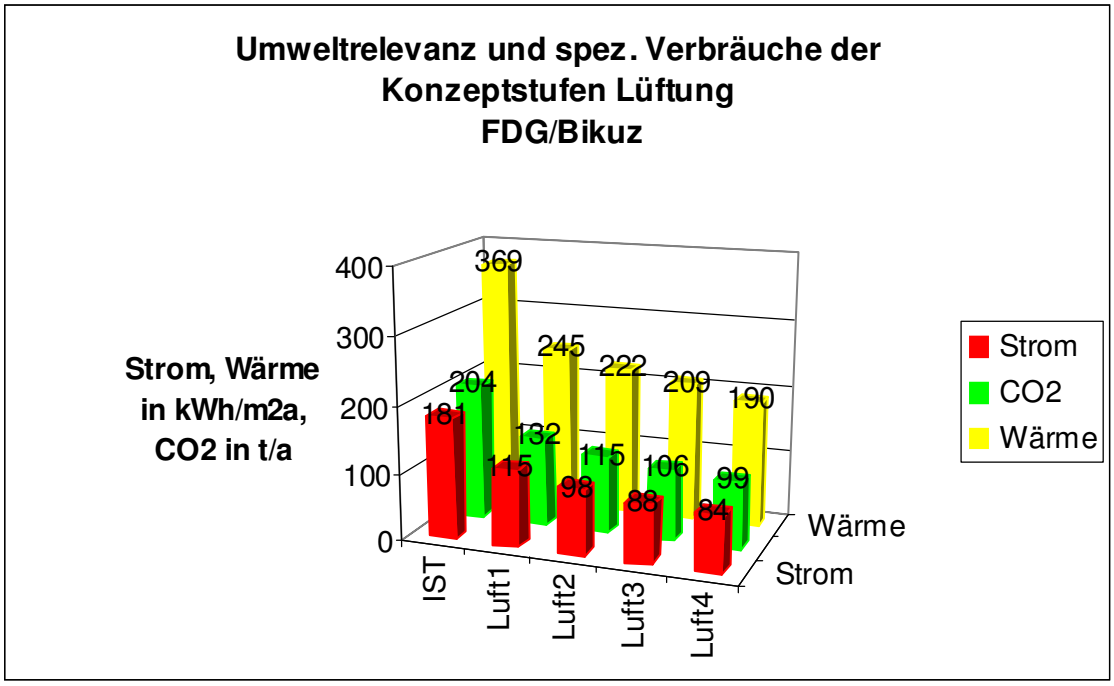
Diagramm 12 Gesamtkostenvergleich für die Maßnahmen Lüftung



In Bezug auf die Umweltrelevanz sind die Maßnahmen im Bereich der Lüftung am effektivsten. Die Einschränkung der Betriebszeiten (Variante Luft 1) führt zu einer erheblichen Verringerung der Kennwerte. Der Heizwärmeverbrauch sinkt von 369 kWh/m^{2}a auf 245 kWh/m^{2}a. Der Stromverbrauch sinkt von 181 kWh/m^{2}a auf 115 kWh/m^{2}a.

Durch die weiteren Maßnahmen sinkt der Wärmebedarf auf 190 kWh/m^{2}a und der Stromverbrauch auf 84 kWh/m^{2}a.
Die CO_2-Emissionen halbieren sich durch alle Maßnahmen (vgl. Diagramm 13 Umweltrelevanz der Maßnahmen Lüftung).

Diagramm 13 Umweltrelevanz der Maßnahmen Lüftung



7.5. Heizung

7.5.1. Kesselanlage

Die Kesselanlage wurde bereits ausgetauscht und hält die Heizzahlen ein. Die Anlage ist für den jetzigen Bedarf zu klein (vgl. Heizwärmbedarf). Durch die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen wird die Anlage ausreichend dimensioniert sein. Voraussetzung sind die Verringerung der Betriebszeiten und Volumenströme der Lüftungsanlagen, da hier die höchsten Wärmeverluste entstehen.
Anzustreben ist den Betrieb während des Sommerhalbjahres einzustellen und die Wärmeerzeugung mittels Solaranlage darzustellen.

7.5.2. WW Zirkulation

Zeitschaltung für die Zirkulationspumpen installieren. Daraus resultiert eine Halbierung der Betriebszeit.

7.5.3. Thermostatventile

In einigen öffentlich nicht zugänglichen Verwaltungsbereichen gibt es immer noch Handventile. Hier sollten Thermostatventile nachgerüstet werden. Dazu ist eine Aufnahme der Heizkörper erforderlich, da keine Unterlagen über die Heizungsanlage vorliegen.

7.5.4. Regelung EB

Regelung Erweiterungsbau konsequent nutzen und dokumentieren, um Fehler aufzudecken (siehe Regelung). Wir empfehlen, dass die Regelung im Winter 2003/2004 in Betrieb gesetzt wird und

mittels Datalogger in ausgewählten Räumen eine Temperaturerfassung stattfindet, um die Wirsamkeit zu überprüfen.

Anmerkung: Jedes Grad weniger Raumtemperatur spart rund 6 % Energie. Daher Temperatur so niedrig wie nötig einstellen.

Gepaart mit Dämmmaßnahmen an den Außenwänden steigt die Oberflächentemperatur der Wand. Dadurch kann die Raumtemperatur noch weiter gesenkt werden, da die empfundene Temperatur der Mittelwert aus Oberflächentemperatur und Raumtemperatur ist. Bei gleicher empfundener Temperatur können die Raumtemperaturen in gut gedämmten Räumen also noch niedriger eingestellt werden.

Der Transmissionswärmebedarf beträgt rund 360.000 kWh pro Jahr. Geht man davon aus, dass die Temperatur im Durchschnitt immer um 5 K zu hoch ist ergibt sich eine Einsparung von rund 100.000 kWh oder 4.000 €/a.
Hierfür sind keine investiven Maßnahmen erforderlich.

7.6. Pumpen

7.6.1. Hauptvorlaufpumpe austauschen

Austausch der Doppelpumpen gegen Inline-Doppelpumpen (siehe Tectrol-Gutachten Seite 51 und 53). Die Einsparung durch Regelung EET mit FU kann bis zu 70% betragen. Dies ergibt eine jährliche Stromeinsparung von rund 32.000 kWh oder 4.000 €/a. Die Investitionskosten hierfür betragen rund 21.500.-, so dass sich diese Maßnahme nach ca 5,2 Jahren rechnet. (vgl. Tabelle 30 Seite 80)
Alternativ können die Frequenzgeregelten Pumpen auch mit dp-Regelung eingesetzt werden. Die Investitionskosten verringern sich dann auf 17.000 €. Die Stromersparnis kann mit 21.000 kWh angesetzt werden, so dass rund 2.000 €.- gespart werden. Damit liegt der ROI bei 8,2 Jahren und damit länger als bei der Volumenstromregelung.

Tabelle 30 Austausch der Hauptvorlaufpumpen gegen Inline-Pumpen mit EET-Regelung

Inline Doppelpumpe mit EET Volumenstromregelung

Investitionskosten						€	
Inline Doppelpumpe							7.000
Regelung EE mit FU							8.000
Stauscheiben							2.000
Unvorhergesehenes			17.000		10,0%		1.700
Planung/Projektierung			18.700		15,0%		2.805
Summe							21.505
Einsparungen	H	kW	f	kWh			
Strom	8600		7 0,7	42140		0,7	4.157
ROI							5,2

Tabelle 31 Austausch der Hauptvorlaufpumpen gegen Inline-Pumpen mit dp-Regelung

Inline Doppelpumpe mit dp-Regelung

Investitionskosten					€	
Inline Doppelpumpe						7.000
Regelung mit FU						6.500
Unvorhergesehenes		13.500		10,0%		1.350
Planung/Projektierung		14.850		15,0%		2.228
Summe						17.078
Einsparungen	H	KW	f	kWh		
Strom	8600		7	0,35 21070	0,7	2.079
ROI						8,2

7.6.2. Elektronische Pumpen im Hauptverteilerbalken

Alle Pumpen müssen bei wesentlichen Änderungen als elektronische Pumpen ausgelegt werden (EnEV). (Im Hauptverteiler bereits erfolgt)

7.6.3. Unterverteilungen Pumpen

Die vier Unterstationen verfügen noch über kleinere Pumpengruppen, die im Rahmen von Tauschaktionen nachgerechnet, bzw. auf Entbehrlichkeit überprüft werden sollten.

7.7. Kälte

7.7.1. Erneuerung Kältemaschine

Die Kältemaschinen und die Kühl- und Kaltwasseranlage werden im Rahmen einer Sanierung erneuert. Dadurch sollen nach Angaben der Fa. Tectrol rund 4.000 m^3 Wasser und 66.000 kWh Strom eingespart werden. Dies entspricht 17.500 € für Wasser und 6.000 € für Strom. Vor dem Hintergrund, dass pro Jahr insgesamt 5200 m^3 Wasser verbraucht werden, erscheint die Annahme für die Kälte sehr hoch. Es sind daher genauere Untersuchungen erforderlich, insbesondere sollte als erstes die Maßnahme Zwischenzähler für Wasserverbrauch Kühlturm umgesetzt werden.(7.9.2.)

7.7.2.1.Erneuerung Pumpen

Als kleine Lösung wurde vorgeschlagen, die Kaltwasserpumpen auszutauschen und eine EET-Volumenstromregelung einzusetzen. Dadurch könnte die Regelung im Bereich von 180 kW bis 300 kW erreicht werden. Mit dieser Maßnahme müssen in den Kühlregistern Stauscheiben eingebaut und Bypässe geschlossen werden. Diese Maßnahme ist relativ leicht umzusetzen, hat jedoch nur Einsparung bei den Antriebsleistungen der Kaltwasserpumpen zur Folge.

7.7.2.2. Erneuerung Anlage und Pumpen

Als effektivere Möglichkeit wurde im Tectrol-Gutachten vorgeschlagen eine Komplettsanierung durchzuführen und eine Rückkühlung als geschlossenes System zu konzipieren. Dabei ist die Anlage so zu wählen, dass die Kälteleitung variabel abgerufen werden kann. Durch eine kombinierte Regelung nach der Kaltwasser Vor- und Rücklauftemperatur und nach Volumenstrom werden Einschaltspitzen vermieden. Für ein geschlossenes Rückkühlsystem werden Kosten für die Wasser-

aufbereitung und Abwasserkosten reduziert. Vorgeschlagen wurde der Einsatz des MBM-Kombirückkühlsystems.
Die Daten zu Kosten und Einsparungen zeigt die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 32 Kosten und Einsparungen Kälteanlage

Investitionskosten						€
Kältemaschine		500				80.000
Regelung mit FU						10.000
Rückkühlung						60.000
Verkabelung						10.000
Umbau						12.000
Unvorhergesehenes		172.000		10,0%		17.200
Planung/Projektierung		189.200		10,0%		18.920
Summe						208.120
Einsparungen	h	kW	f	kWh		
Strom	500	130	1	65000	0,7	6.412
Wasser	500			3665		15.000
Wartung/Reparatur						2.000
Summe						23.412
ROI						8,9

Bei Investitionskosten von insgesamt 208.000 € sollen Einsparungen von 23.000 €/a erreicht werden. Das entspräche einem ROI von 9 Jahren.

Die angebenen Einsparung im Wasserbereich sind seitens Tectrol mit 3665 m^3 sehr hoch angegeben. Im Bikuz werden insgesamt nur 5.000 m^3 verbraucht!

Der Bereich Kälte sollte daher durch eine separate Planung untersucht werden.

7.7.3. Sommerlicher Wärmeschutz

7.7.3.1.Sommerlicher Wärmeschutz im EB

Der Erweiterungsbau verfügt leider nur über wenig Bauteilmasse, die Fassade ist vorgehängt und die Innendecken abgehängt. Dadurch ist die thermische Speicherkapazität relativ klein und damit der erforderliche Kälteenergiebedarf eher hoch. Bezogen auf die Raumgrößen von 50 bis 68 m^2 und bis zu 30 Schülern gibt es Kältelasten über 40 W/m^2. Der bisherige Sonnenschutz wird manuell bedient. Insofern bleibt als Maßnahme nur die Kühlung über die Lüftung mittels Kältemaschine.

7.7.3.1.1.Automatische Sonnenschutzsteuerung

Sonnenschutz automatisch herunterfahren.

7.7.3.1.2.Regelung einstellen

Konsequente Ausnutzung des Komfortbereichs der Regelung (Temperatur und Feuchte).

7.7.3.1.3.Außenlichtabhängige Beleuchtungssteuerung.

Innenlicht bei ausreichend Beleuchtung abschalten, um die Inneren Wärmelasten zu reduzieren.

7.7.3.1.4.Wärmeschutz bei Fenstertausch

Beim Austausch der Fenster(vgl. Maßnahme 7.2.2.) sollte auf Reflexionsgläser geachtet werden.

7.7.3.1.5.Verbesserung der Speichermasse

Beim Austausch der Außenfassade EB sollte auf eine hohe Speichermasse geachtet werden, um die Bauteil- und Nachtkühlung zu nutzen.

7.8. Beleuchtung

Die Beleuchtungssanierung wurde exemplarisch für die Klassenräume im Hauptgebäude (HG), im Erweiterungsbau (EB) und für die Sporthalle (HG, sp) untersucht.

Als Sanierungsvarianten wurden Leuchten mit verlustarmen Vorschaltgerät (VVG) und elektronischen Vorschaltgerät untersucht (EVG). Die EVG zeichnen sich dadurch aus, dass der Lampenverbrauch niedriger liegt und der Gesamtverbrauch inclusive des EVG niedriger ist. Durch das elektronische Vorschaltgerät nimmt als Nebeneffekt die Lampenlebensdauer zu.

Als zusätzliche Variante wurde die Tageslichtabschaltung in Kombination außenlichtabhängiger Beleuchtungssteuerung gerechnet. Diese Variante zeichnet sich dadurch aus, das benutzerunabhängig Licht nur dann eingeschaltet werden kann, wenn der Außenlichtanteil nicht mehr ausreicht, um die Beleuchtungsstärke von 300 Lux zu erreichen. Diese Variante spart besonders viel Strom und ist im FDG durch den hohen Fensteranteil prinzipiell sinnvoll. Allerdings sind die Investitionskosten höher und der bauliche Eingriff aufwendiger.

Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten ausgegangen:

- Leuchten mit verlustarmen Vorschaltgerät (VVG) 87 €
- Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) 102 €
- Leuchten mit EVG und Tageslichtsperre (LS) 205 €

Da ein Teil der Leuchten kombinierte Zu- bzw. Abluftgitter sind wurde für die Kostenschätzung davon ausgegangen, dass für die Leuchtensanierung ein neuer Deckenspiegel mit aufgesetzten Leuchten geschaffen wird, da hier die Investitionskosten und der Nachrüstungsaufwand am geringsten sind. Zudem wird die Verschmutzung der Lampen hierdurch dauerhaft verhindert. Der neue Deckenspiegel hat auch den Vorteil, dass die Beleuchtung individuell auf Sitz- und Lehrbereiche abgestimmt werden kann.
Die Lüftungsgitter können unverändert beibehalten werden, sofern keine Maßnahmen an der Lüftung durchgeführt werden.

7.8.1. Erweiterungsbau (EB)

Im EB bietet sich der Austausch der alten Lampen geradezu an, da es sich hier um aufgesetzte Standardleuchten handelt, die weder durch Lüftungsanlagen noch durch spezielle Rasterfelder auf den Decken beeinträchtigt werden.
Es wird daher empfohlen alle Klassenräume bezüglich der Nutzung und der Beleuchtungsstärken neu festzulegen, um ein angepasstes Leuchtenkonzept raumbezogen zu entwickeln. Dies wurde im Zwischengespräch seitens der Schulleitung bereits avisiert.

Durch die Leitfadenberechnung kann abgeschätzt werden, dass bereits bei Beibehaltung von 500 Lux Beleuchtung fast 50 % des Lichtverbrauchs eingespart werden kann. Die durchgängige Auslegung auf 300 Lux führt zu einem Einsparpotential von 75 %.

Der Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten hätte darüber hinaus auch erhebliche Verlängerung der Lebensdauer der Leuchten zur Folge (15.000 Betriebsstunden statt 4.000 bis 6.000

Betr./h), so dass per Saldo auch weniger Arbeitsaufwand für Leuchtentausch auf die Hausverwaltung zukommt.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Tabelle 33 Wirtschaftlichkeitsberechnung Leuchtensanierung EB dargestellt. Es wurde mit dem Vertragspreis gemäß SÜWAG/Saalbauvertrag gerechnet. Bei der Gesamtkostenbetrachtung schneidet die Variante 2 mit EVG am günstigsten ab. In die Betrachtung wurden nur die Unterrichträume einbezogen. Ggf. gibt es weitere Potentiale in den Fluren und Vorbereitungsräumen. Die zugrunde gelegten Räume sind im Anhang Tabelle 39 Leuchten im EB für Wirtschaftlichkeitsrechnung dargestellt.

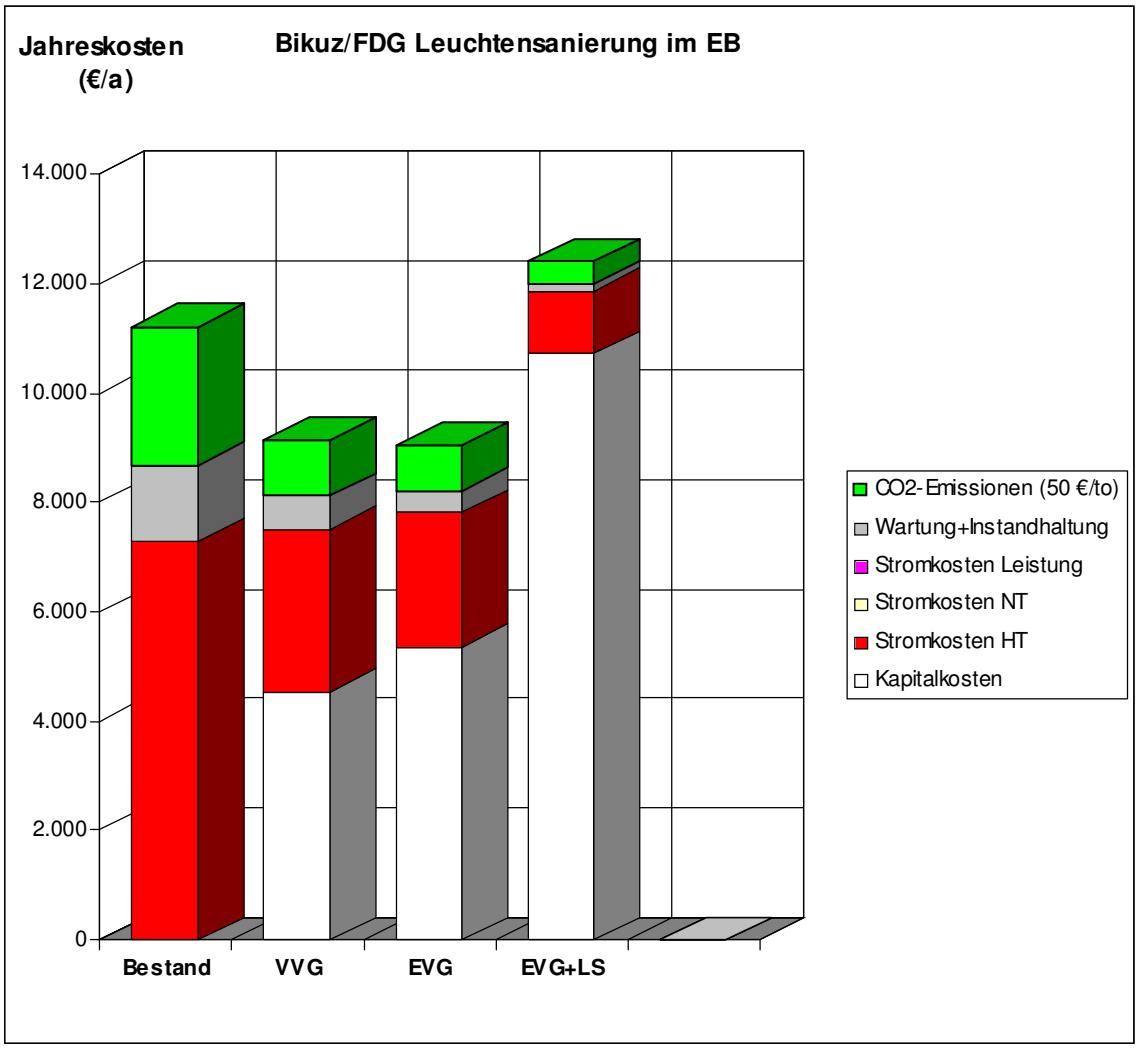
Die noch betriebskosten- und umweltfreundlichere Variante der außenlichtabhängigen Beleuchtung (Variante 3) schneidet wegen der hohen Kapitalkosten bei den Gesamtkosten leider schlechter ab.

Für die Sporthalle und die Flure können andere Lampenkonzepte zum Tragen kommen. Insbesondere in den Fluren kann durch systematische Stilllegung einzelner Betriebsteile Beleuchtungsstunden eingespart werden (vgl. Maßnahmen 7.1. Organisation).

Tabelle 33 Wirtschaftlichkeitsberechnung Leuchtensanierung EB

	Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Bikuz/FDG**				A2 Unterab.		
A3	Gebäudebereich	**Erweiterungsbau Klassenräume**				A4 Str-Nr.		
A5	Straße					A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	7	A					
A8	Kapitalzins	5%		A9	Annuitätsfaktor	0,173		
A10	Preissteigerung Energie	2%		A11	Mittelwertfaktor	1,08		
	Varianten	**Kürzel**	**Bezeichnung**					
B0	Bestand	**Bestand**	Wannenleuchten 2 x 58 W, KVG					
B1	Leuchte mit VVG	**VVG**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, VVG					
B2	Leuchte mit EVG	**EVG**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, EVG					
B3	Leuchte mit EVG und LS	**EVG+LS**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, EVG					
B4			mit Tagesichtsteuerung					
	Kenngrößen	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**			
C1	Beleuchtete Fläche	1.712	1.712	1.712	1.712	1.712	m²	
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	300	300	300	300	300	lux	
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	500					lux	
C4	Nutzungsdauer HT	1.500	1.500	1.500	700		h/a	
C5	Nutzungsdauer NT	0	0	0	0		h/a	
C6	Anzahl der Leuchten	274	303	303	303		Stück	
C7	Anschlußleistung Leuchte	180	66	55	55		W/Leuchte	
C8	Leistung pro Fläche	29	12	10	10	0	W/m²	
C9	Investition pro Leuchte	0	87	102	205		€/Leuchte	
C10	Strompreis HT	0,099	0,099	0,099	0,099		€/kWh	
C11	Strompreis NT	0,099	0,099	0,099	0,099		€/kWh	
C12	Leistungspreis	0	0	0	0		€/kW,a	
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	70%	70%	70%	70%		%	
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	7.500	12.000	16.000	1	h	
C15	Kosten für Lampenwechsel	25	10	10	10		€/Leuchte	
	Kapitalkosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**			
D1	**Investitionskosten**	**0**	**26.337**	**30.984**	**61.969**	**0**	€	
D2	Zuschüsse/Erlöse						€	
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	26.337	30.984	61.969	0	€	
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**4.551**	**5.355**	**10.709**	**0**	€/a	
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**3**	**3**	**6**	**0**	€/m²a	
	mittl. Betriebskosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**			
E1	Stromkosten HT	7.295	2.961	2.467	1.151	0	€/a	
E2	Stromkosten NT	0	0	0	0	0	€/a	
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0	0	0	€/a	
E4	Wartung+Instandhaltung	1.391	611	379	129	0	€/a	
E5	**mittl. Betriebskosten**	**8.686**	**3.572**	**2.846**	**1.280**	**0**	€/a	
E6	**spez. Betriebskosten**	**5**	**2**	**2**	**1**	**0**	€/m²a	
	Umweltfolgekosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**			
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	2.513	1.020	850	397	0	€/a	
F2	**Umweltfolgekosten**	**2.513**	**1.020**	**850**	**397**	**0**	€/a	
F3	**spez. Umweltfolgekost.**	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	€/m²a	
	Gesamtkosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**			
G1	**Gesamtkosten**	**11.199**	**9.143**	**9.051**	**12.386**	**0**	€/a	
G2	**spez. Gesamtkosten**	**7**	**5**	**5**	**7**	**0**	€/m²a	
	(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)							

Diagramm 14 Kosten für verschiedene Leuchtenvarianten im EB



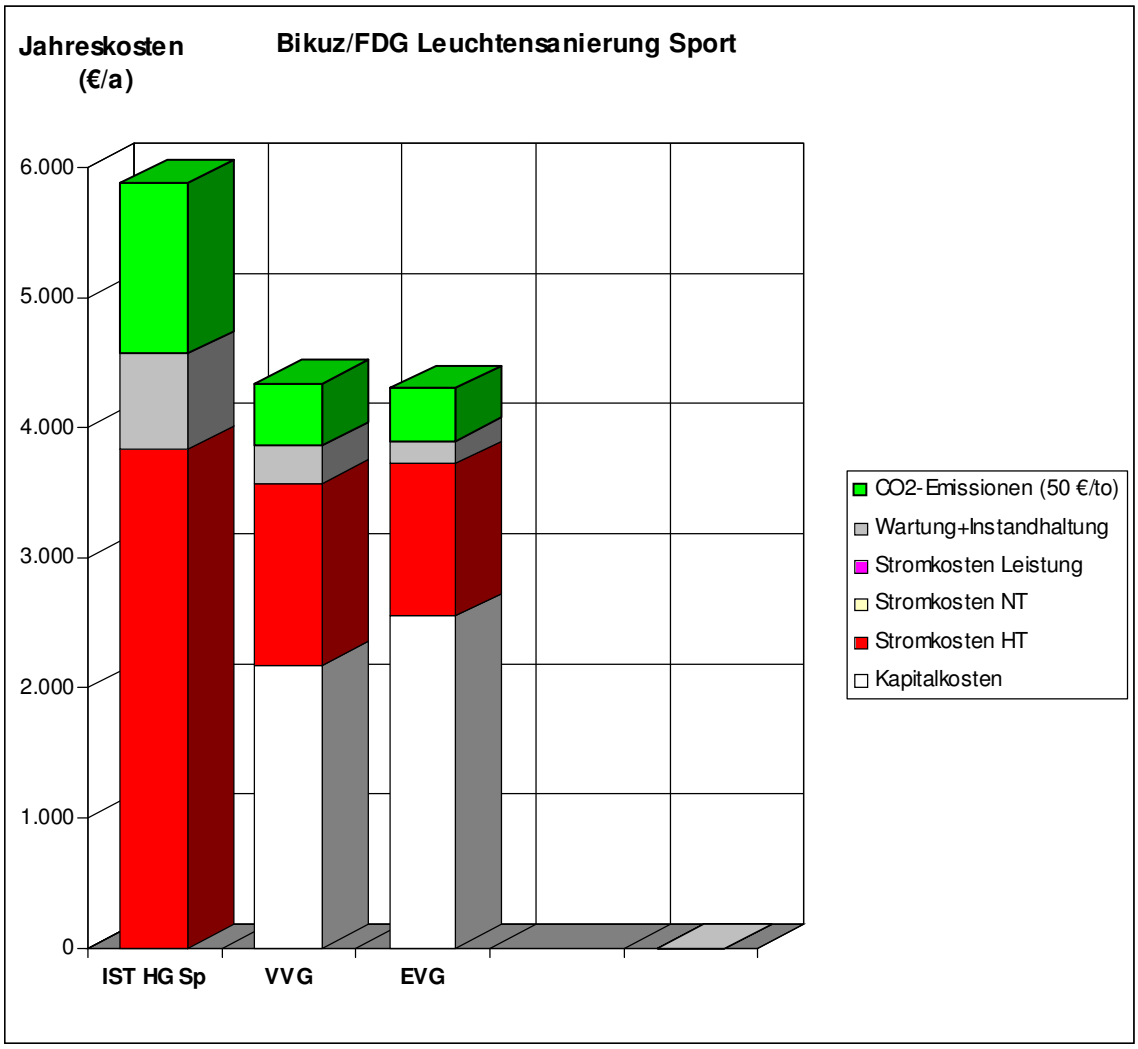
7.8.2. Sporthalle im HG

Das Leuchtensystem der Sporthalle ist völlig veraltet. Die Leuchten hängen sehr hoch und sind verschmutzt. Hier gibt es Leuchtenkonzepte mit tiefer abgehängten Leuchten, die ballwurfsicher sind. Auch hier liegt ein erhebliches Einsparpotential vor. Da die Leuchten Lüftungs- und Deckenraster unabhängig sind ist der Austausch einfach. Es wurden die 144 Leuchten ausgetauscht gegen abgehängte mit VVG oder EVG.
Da kaum Außenlichtanteil vorhanden ist macht eine Variante mit Lichtssteuerung keinen Sinn. Bei der Vollkostenbetrachtung schneidet die Variante mit EVG am günstigsten ab. Die Vollkosten sinken von 5.800 €/a auf 4.300 €/a. Die Daten sind in Tabelle 34 Wirtschaftlichkeitsrechnung Leuchtensanierung Sporthalle zusammengefasst, die optische Darstellung in Diagramm 15 Kostenvergleich Leuchtensanierung Sporthalle auf Seite 87.

Tabelle 34 Wirtschaftlichkeitsrechnung Leuchtensanierung Sporthalle

	Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Bikuz/FDG**				A2 Unterab.		
A3	Gebäudebereich	**Sporthalle**				A4 Str-Nr.		
A5	Straße					A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	7	a					
A8	Kapitalzins	5%		A9	Annuitätsfaktor	0,173		
A10	Preissteigerung Energie	2%		A11	Mittelwertfaktor	1,08		
	Varianten	**Kürzel**	**Bezeichnung**					
B0	Bestand	**IST HG Sp**	Wannenleuchten 2 x 58 W, KVG					
B1	Leuchte mit VVG	**VVG**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, VVG					
B2	Leuchte mit EVG	**EVG**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, EVG					
B3								
B4			mit Tagesichtsteuerung					
	Kenngrößen	**IST HG Sp**	**VVG**	**EVG**	**0**			
C1	Beleuchtete Fläche	1.712	1.712	1.712	1.712	1.712	m²	
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	300	300	300	300	300	lux	
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	500					lux	
C4	Nutzungsdauer HT	1.500	1.500	1.500			h/a	
C5	Nutzungsdauer NT	0	0	0			h/a	
C6	Anzahl der Leuchten	144	144	144			Stück	
C7	Anschlußleistung Leuchte	180	66	55			W/Leuchte	
C8	Leistung pro Fläche	15	6	5		0	W/m²	
C9	Investition pro Leuchte	0	87	102			€/Leuchte	
C10	Strompreis HT	0,099	0,099	0,099			€/kWh	
C11	Strompreis NT	0,099	0,099	0,099			€/kWh	
C12	Leistungspreis	0	0	0			€/kW,a	
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	70%	70%	70%			%	
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	7.500	12.000		1	h	
C15	Kosten für Lampenwechsel	25	10	10			€/Leuchte	
	Kapitalkosten	**IST HG Sp**	**VVG**	**EVG**				
D1	**Investitionskosten**	**0**	**12.516**	**14.725**		**0**	€	
D2	Zuschüsse/Erlöse						€	
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	12.516	14.725		0	€	
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**2.163**	**2.545**		**0**	€/a	
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**1**	**1**		**0**	€/m²a	
	mittl. Betriebskosten	**IST HG Sp**	**VVG**	**EVG**				
E1	Stromkosten HT	3.834	1.407	1.173		0	€/a	
E2	Stromkosten NT	0	0	0		0	€/a	
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0		0	€/a	
E4	Wartung+Instandhaltung	731	290	180		0	€/a	
E5	**mittl. Betriebskosten**	**4.565**	**1.697**	**1.353**		**0**	€/a	
E6	**spez. Betriebskosten**	**3**	**1**	**1**		**0**	€/m²a	
	Umweltfolgekosten	**IST HG Sp**	**VVG**	**EVG**				
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	1.321	485	404		0	€/a	
F2	**Umweltfolgekosten**	**1.321**	**485**	**404**		**0**	€/a	
F3	**spez. Umweltfolgekost.**	**1**	**0**	**0**		**0**	€/m²a	
	Gesamtkosten	**IST HG Sp**	**VVG**	**EVG**				
G1	**Gesamtkosten**	**5.886**	**4.345**	**4.301**		**0**	€/a	
G2	**spez. Gesamtkosten**	**3**	**3**	**3**		**0**	€/m²a	

Diagramm 15 Kostenvergleich Leuchtensanierung Sporthalle



7.8.3. Hauptgebäude (HG)

Der Austausch der Leuchten im HG kann nicht abgetrennt von der Sanierung der Lüftungsanlage gesehen werden. Es gibt zwar Spiegelrastereinsätze für bestehende Beleuchtungssysteme, allerdings wäre dadurch weiterhin die Verschmutzungsgefahr durch die Abluft gegeben.

Im Rahmen eines großen Konzeptes Lüftung (vgl. hierzu Lüftung) wäre die Lüftungsanlagen bedarfsorientiert anzupassen. Dazu ist die Installation einer Einzelraumregelung erforderlich. Eine Möglichkeit wäre die Umnutzung der Zuluftschlitze. Diese werden dauerhaft als Abluftöffnung genutzt. Zusätzlich werden separate Zuluftgitter mit dem entsprechenden Vorteil moderner Lüftungsgitter (Wurfweiten, Heiz/Kühlumstellung) eingesetzt. Da die Decken als Rasterdecken zu öffnen sind, kann der Aufwand in Grenzen gehalten werden.

Ein Lampentausch ohne die Änderung der Belüftungseinrichtung macht wahrscheinlich wegen der erneuten Verschmutzung der Lampen keinen Sinn, führt ggf. entweder zu erhöhtem Reinigungsaufwand und damit zu erhöhtem Ärger in einigen Jahren. Bei Umsetzung der Maßnahmen „Reduzierung Betriebszeit“ können die Reinigungsintervalle allerdings verlängert werden.

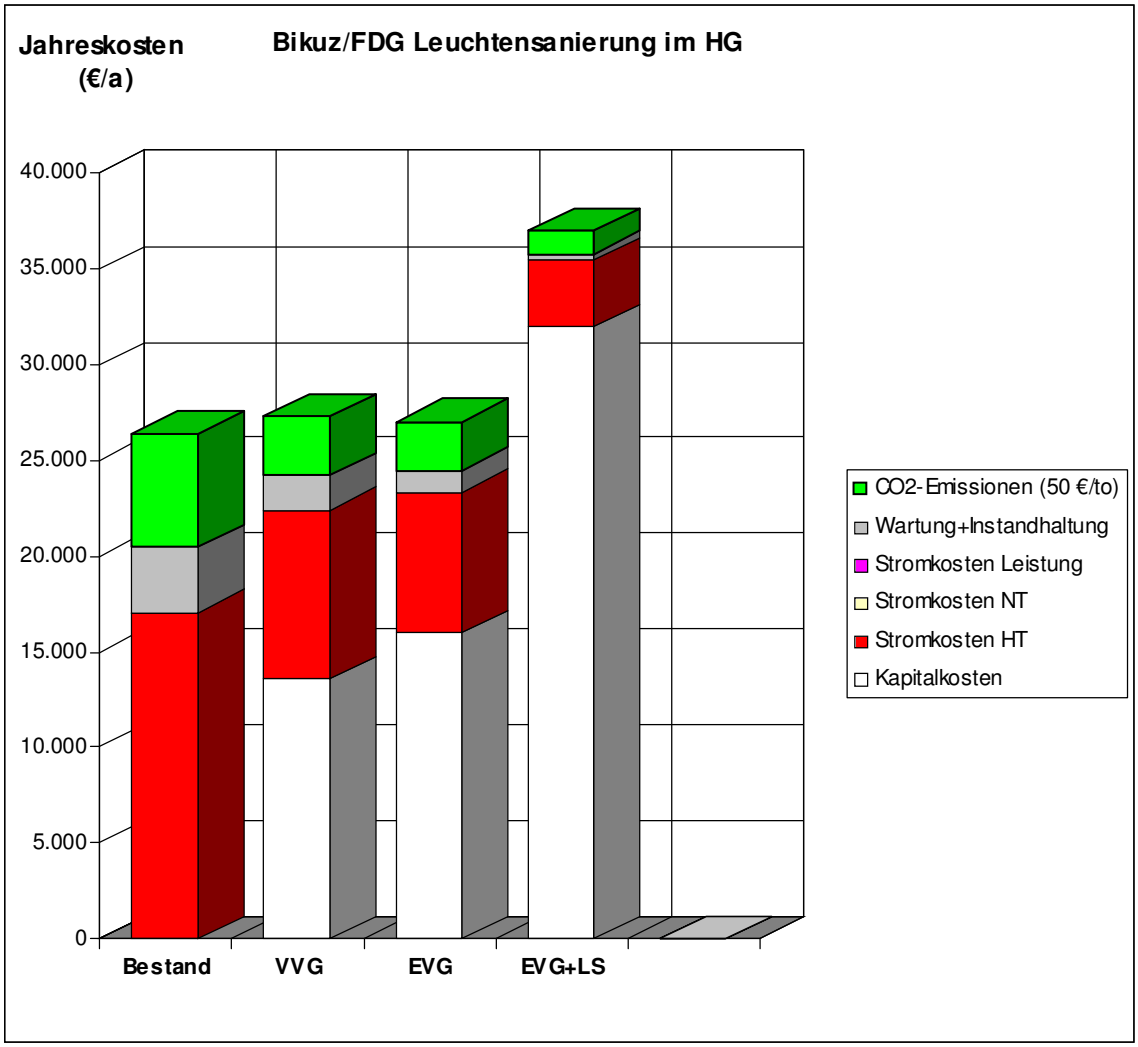
Daher wurde bei der Abschätzung der Wirtschftlichkeit dieser Maßnahme daher davon ausgegangen, dass die Leuchten unäbhängig von den alten Leuchten neu installiert werden. Ferner wurden zusätzliche Leuchten vor den Tafeln vorgesehen.

Tabelle 35 Wirtschaftlichkeitsrechnung Leuchtensanierung HG

	Allgemeine Daten						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Bikuz/FDG**			A2 Unterab.		
A3	Gebäudebereich	**Hauptgebäude Klassenräume**			A4 Str-Nr.		
A5	Straße				A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	**7**	A				
A8	Kapitalzins	5%	A9	Annuitätsfaktor	0,173		
A10	Preissteigerung Energie	2%	A11	Mittelwertfaktor	1,08		
	Varianten	**Kürzel**	**Bezeichnung**				
B0	Bestand	**Bestand**	Wannenleuchten 2 x 58 W, KVG				
B1	Leuchte mit VVG	**VVG**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, VVG				
B2	Leuchte mit EVG	**EVG**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, EVG				
B3	Leuchte mit EVG und LS	**EVG+LS**	Spiegel-Rasterleuchten 1 x 58 W, EVG				
B4			mit Tagesichtsteuerung				
	Kenngrößen	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**		
C1	Beleuchtete Fläche	4.775	4.775	4.775	4.775	4.775	m²
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	300	300	300	300	300	lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	500					lux
C4	Nutzungsdauer HT	1.500	1.500	1.500	700		h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0	0	0		h/a
C6	Anzahl der Leuchten	826	904	904	904		Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	140	66	55	55		W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	24	12	10	10	0	W/m²
C9	Investition pro Leuchte	0	87	102	205		€/Leuchte
C10	Strompreis HAT	0,099	0,099	0,099	0,099		€/kWh
C11	Strompreis NT	0,099	0,099	0,099	0,099		€/kWh
C12	Leistungspreis	0	0	0	0		€/kW,a
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	70%	70%	70%	70%		%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	7.500	12.000	16.000	1	h
C15	Kosten für Lampenwechsel	21	10	10	10		€/Leuchte
	Kapitalkosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**		
D1	**Investitionskosten**	**0**	**78.575**	**92.442**	**184.883**	**0**	€
D2	Zuschüsse/Erlöse						€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	78.575	92.442	184.883	0	€
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**13.579**	**15.976**	**31.951**	**0**	€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**3**	**3**	**7**	**0**	€/m²a
	mittl. Betriebskosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**		
E1	Stromkosten HT	17.073	8.833	7.361	3.435	0	€/a
E2	Stromkosten NT	0	0	0	0	0	€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0	0	0	€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	3.411	1.823	1.130	384	0	€/a
E5	**mittl. Betriebskosten**	**20.483**	**10.656**	**8.491**	**3.819**	**0**	€/a
E6	**spez. Betriebskosten**	**4**	**2**	**2**	**1**	**0**	€/m²a
	Umweltfolgekosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**		
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	5.881	3.043	2.536	1.183	0	€/a
F2	**Umweltfolgekosten**	**5.881**	**3.043**	**2.536**	**1.183**	**0**	€/a
F3	**spez. Umweltfolgekost.**	**1**	**1**	**1**	**0**	**0**	€/m²a
	Gesamtkosten	**Bestand**	**VVG**	**EVG**	**EVG+LS**		
G1	**Gesamtkosten**	**26.365**	**27.278**	**27.003**	**36.954**	**0**	€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**6**	**6**	**6**	**8**	**0**	€/m²a
	(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)						

Es wurden nur die Klassenräume untersucht. Die Daten befinden sich in Tabelle 40 Leuchten im HG für Wirtschaftlichkeitsrechnung in Anhang.
Die Sollbeleuchtungsstärke wurde auf 300 Lux gemäß den Vorgaben der Stadt Frankfurt festgelegt. Die Anzahl der Leuchten nimmt von 826 auf 904 zu und die Anschlussleistung von 140 W auf 55 W(EVG) ab.
Die Investitionskosten betragen bei EVG rund 92.000 €. Durch den geringeren Stromverbrauch hat diese Variante die geringsten Betriebskosten. Allerdings sind durch die höhere Leuchtenzahl die Vollkosten geringfügig höher als bei der IST-Situation. Die Variante der Lichtabhängigen Steuerung (EVG+LS) ist von den Vollkosten her sehr hoch, obwohl diese wegen des hohen Außenlichtanteils der Räume sehr sinnvoll wäre.

Diagramm 16 Kostenvergleich Leuchtensanierung HG



7.9. Wasser

7.9.1. Solaranlage

Die Warmwasserbereitung könnte über Solaranlage erfolgen. Die Warmwasserspeicher sind bivalent und verfügen bereit über 2 separate Wärmetauscher. Siehe Bild 23 und Bild 24 Warmwasserspeicher und Legionellenregelung auf Seite 17.
Der durchschnittliche Warmwasserverbrauch liegt bei 10 m^3/Monat. Das entspricht einem spezifischen Verbrauch von durchschnittlich 350 l/Tag. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es wahrscheinlich Abnahmespitzen bei den Sportveranstaltungen gibt.

Allerdings liegt kein Lastprofil vor. Es wird daher empfohlen einen stündlichen Lastgang für Warmwasser zu erstellen.

Begründung: Für einen gleichmäßigen, durchschnittlichen Verbrauch von rund 350 l/Tag wären die zwei 1000l Speicher überdimensioniert.
Bei einem gleichmäßigen Abnahmeprofil wäre eine Kollektorfläche von 7-10 m^2 und 1 Speicher ausreichend.
Sofern Spitzen abzudecken sind, muss die Dimensionierung anders gerechnet werden.
(Laut Auskunft der Hausmeister hat die Warmwasserdeckung bisher immer gereicht bis auf den Extremfall Kirchentag. 150 Besucher waren in der Sporthalle untergebracht und wollten innerhalb kurzer Zeit duschen).

Da aufgrund der langen Wege auf die Zirkulation nicht verzichtet werden kann macht eine Solaranlage zumindest für Deckung dieser Grundlastverluste Sinn. Diese machen immerhin 11.700 kWh pro Jahr aus (vgl. Tabelle 20 Heizzahl 2) und sollen durch Zeitschaltung eingeschränkt werden. (vgl. 7.5.2 WW Zirkulation)
Mit 10 m^2 Kollektorfläche könnten pro Jahr rund 5500 kWh gewonnen werden. Das entspricht 159 €/a. Bei einer Investitionssumme von 5000 € entspricht das einer Amortisationszeit von 30 a. Wesentlich besser sähe die Bilanz aus, wenn die Solaranlage den gesamten WW-Bedarf in den Sommermonaten decken könnte. Dann entfallen zusätzlich die Bereitschaftsverluste des Kessel, da dieser abgeschaltet werden kann. Bei 475 kW Kesselleistung bedeutet das rund 2,5 kW in 3000 h mithin 7.500 kWh. Damit würde sich die Amortisationszeit auf weniger als 15 a verkürzen.
Aus diesem Grund ist die Erfassung des Lastgangs wichtig.

7.9.2. Wasserzähler Kühlung

Die Verluste des Kühlturm werden zur Zeit nicht erfasst. Es wird daher die Installation eines Wasserzählers vorgeschlagen.

7.10. Organisation/Sonstige

7.10.1.Raumplanung

Der EB ist durchgängig beleuchtet, obwohl im Gebäude oder in einzelnen Etage keine Aktivität mehr ist.
Vorschlag: Zonenweise Licht ausschalten und Türen abschließen. Unterricht auf Hauptgebäude verlagern.

7.10.2.Putzkolonnen

Schaltung für Putzkolonnen. Z.Z. sind die Putzkolonnen zweimal am Tag tätig, wobei alle Beleuchtungen aktiviert werden. Besser wäre eine abgestufte kontinuierliche Betriebsamkeit.

7.10.3.Lastabwurf Kühlhaus

Lastabwurf der Kühlanlagen während der Mittagsstunden (Lastspitzen) wäre sinnvoll, wurde allerdings nicht weiter untersucht, da separat mit Pächter abgerechnet wird und der Tarif z.Z. leistungsfrei ist.

7.10.4.Gaskochherd

Umstellung auf Gaskochplatten. Diese Maßnahme dient außer dem umweltfreundlicheren Brennstoff auch dem Lastmanagement im Stromverbrauch. Hier gilt das gleiche wie vor.
Im Rahmen der nächsten Küchensanierung zu berücksichtigen.

8. Wirtschaftlichkeit von Maßnahmenpaketen

In Tabelle 36 Kostenzusammenstellung für die Maßnahmenpakete sind die Einzelmaßnahmen mit Ihren Kalkulationsgrundlagen aus dem Kapitel 7 zusammengestellt.

Die Einzelmaßnahmen gemäß der Tabelle sind - sofern quantifizierbar - mit Kostenschätzungen versehen aus denen sich das ROI ausrechnen lässt, damit eine grundlegende Entscheidung der Weiterverfolgung der Maßnahmen entschieden werden kann. Sofern die Maßnahmen nach den technischen Vorgaben des Hochbauamts der Stadt Frankfurt durchgeführt werden ist keine Gesamtkostenrechnung erforderlich. Bei einigen Maßnahmen wurde eine Vollkostenrechnung durchgeführt (vgl. Beleuchtung, Lüftung)

Aus den Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenpaketen ist eine Gesamtmaßnahme zusammengestellt worden die in Ihrer Gesamtheit ein schlüssiges Gesamtkonzept ergibt.

Sofern das nachfolgend untersuchte Gesamtkonzept nicht zum Tragen kommt, können die Einzelmaßnahmen gemäß Kapitel 7 und Tabelle 2 auf Seite 4 succesive durchgeführt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Einzelmaßnahmen sich möglichst ergänzend zum Gesamtkonzept verhalten.

Die folgenden Maßnahmen sind alle nach den Vorlageblättern und Kalkulationsempfehlungen des Hochbauamts durchgeführt, soweit nicht objektermittelte Kosten vorlagen.

Der Kapitalzins ist mit 5 % per a, die Energiepreissteigerungen mit 2% per a angesetzt. Gemäß den Richtlinien der Stadt Frankfurt sind für die CO_2-Emissionen 50 €/t als Umweltfolgekosten anzusetzen.

Bei der Berechnung der folgenden Gesamtkosten ist in der Regel von den Vollkosten ausgegangen worden, wenn keine anderen Basiszahlen vorlagen. Vollkosten bedeuten in diesem Fall, dass alle ansetzbaren Mehrkosten durch die Maßnahme angesetzt sind. Die Kalkulationen bewegen sich im Rahmen einer Kostenschätzung. Details können, sofern im Text nicht erläutert separat abgefragt werden.

Das Gesamtpaket läuft unter folgender Prioritätenliste ab:

- Ausschöpfung der organisatorischen Maßnahmen
- Sanierung der Lüftungsanlagen
- Ausführung Wärmeschutz
- Sanierung der Beleuchtungsanlagen

Die Zusammenstellung zeigt Tabelle 36.

Für die Kostenschätzung wurden folgende Randbedingungen angenommen:

Die Variante 1 zeigt die IST Situation, allerdings nur mit den Wartungs-, Personal-, und Reinigungskosten, die als Mehr- oder Minderkosten gegenüber den untersuchten Varianten auftreten würden. Diese Variante hat Gesamtkosten in Höhe von 830.000 €/a.

Die Variante 2 zeigt den Effekt des EBN und der konsequenten Umsetzung der Sparmaßnahmen im Bereich der Regelung. Dadurch sinken Vollkosten auf 790.000 €/a, d.h. es werden Einsparungen von 40.000.- €/a erreicht.

Tabelle 36 Kostenzusammenstellung für die Maßnahmenpakete

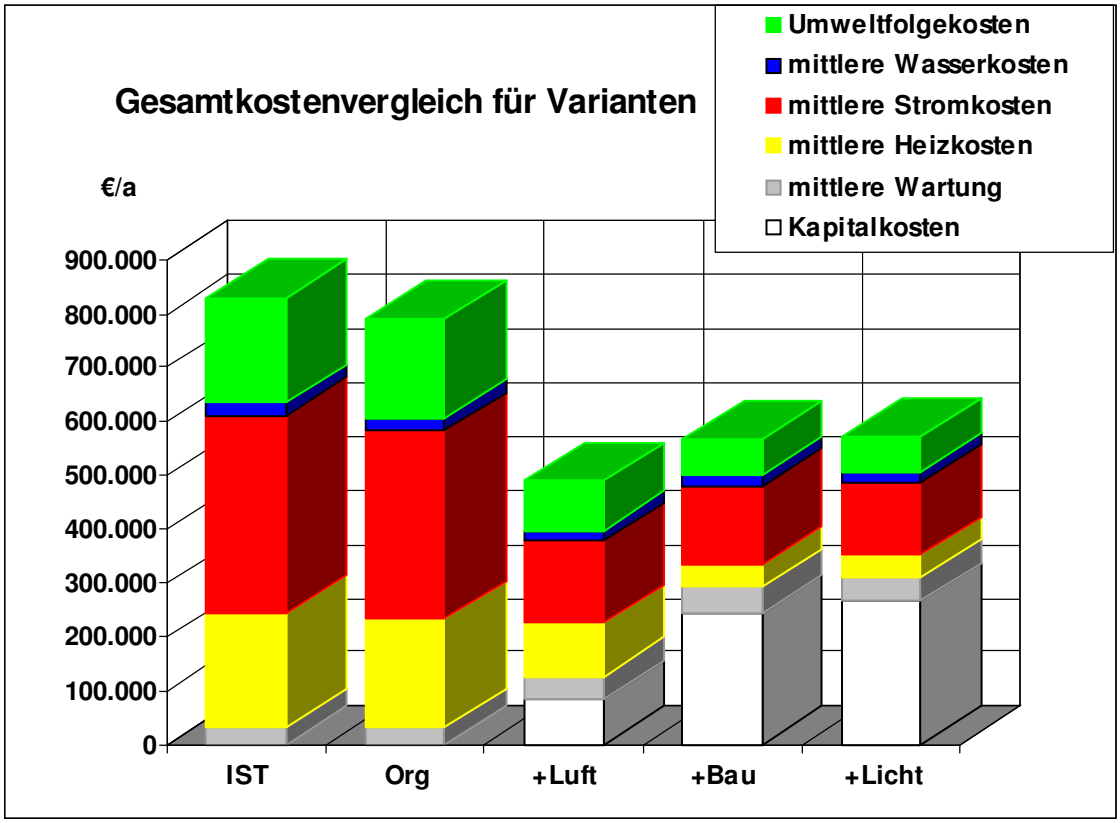
A.	**Allgemeine Daten**								
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**FDG/BIKUZ**					A2 Unterab.		
A3	Gebäudebezeichnung	**Gesamt**					A4 Str.-Nr.		
A5	Straße						A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	10	a	A8	Währung		€		
A9	Kapitalzins	5%		A10	Annuitätsfaktor		0,13		
A11	Preissteigerung	2%		A12	Mittelwertfaktor		1,11		
B.	**Varianten**	**Bezeichnung**							
B0	**IST**	**IST-Zustand**							
B1	**Organisation**	**optimierte Ausführung**							
B2	**Lüftung**	**7.4.6.**							
B3	**Bauphysik**	**7.2.10.**							
B4	**Beleuchtung**	**7.8.**							
C.	**Kenngrößen**	**IST**	**Organisation**	**Lüftung**	**Bauphysik**	**Beleuchtung**			
C1	Bezugsfläche (NGF)	18.563	18.563	18.563	18.563	18.563	m²		
C2	Personenzahl	547	547	547	547	547	P		
C3	spez. Heizwärmebedarf	369	350	172	73	73	kWh/m²a		
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	94%	94%	94%	94%	94%	%		
C5	spez. Strombezug	181	172	75	71	65	kWh/m²a		
C6	spez. CO2-Emissionen	204	194	89	64	60	kg/m²a		
C7	spez. Trinkwasserbezug	9,90	9,90	8,70	8,70	8,70	m³/P a		
D.	**Kapitalkosten**	**IST**	**Organisation**	**Lüftung**	**Bauphysik**	**Beleuchtung**			
D1	Investitionskosten (DIN 276)			655.088	2.244.356	169.135	€		
D2	Zuschüsse/Erlöse						€		
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	0	655.088	2.244.356	169.135	€		
D4	**Kapitalkosten**	**0**	**0**	**84.837**	**244.080**	**267.080**	€/a		
D5	**spez. Kapitalkosten**	**0**	**0**	**5**	**13**	**14**	€/m²a		
E.	**mittl. Betriebskosten**	**IST**	**Organisation**	**Lüftung**	**Bauphysik**	**Beleuchtung**			
E1	Personal+Reinigungskosten						€/a		
E2	Wartung+Instandhaltung	28.884	28.884	37.064	42.774	38.931	€/a		
E3	Heizkosten	190.275	180.761	88.510	37.478	37.478	€/a		
E4	Stromkosten	331.323	314.757	137.426	130.800	119.804	€/a		
E5	Wasserkosten	22.169	22.169	19.468	19.468	19.468	€/a		
E6	Verwaltung+Versicherung						€/a		
E7	**Heutige Betriebskosten**	**572.651**	**546.571**	**282.469**	**230.520**	**215.681**	€/a		
E8	**mittl. Betriebskosten**	**634.511**	**605.614**	**312.982**	**255.422**	**238.980**	€/a		
E9	**spez. Betriebskosten**	**34**	**33**	**17**	**14**	**13**	€/m²a		
F.	**Umweltfolgekosten**	**IST**	**Organisation**	**Lüftung**	**Bauphysik**	**Beleuchtung**			
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	189.578	180.099	82.601	59.264	55.586	€/a		
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	5.417	5.417	9.514	9.514	9.514	€/a		
F3	**Umweltfolgekosten**	**194.995**	**185.516**	**92.115**	**68.778**	**65.100**	€/a		
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	**11**	**10**	**5**	**4**	**4**	€/m²a		
G.	**Gesamtkosten**	**IST**	**Organisation**	**Lüftung**	**Bauphysik**	**Beleuchtung**			
G1	**Gesamtkosten**	**829.506**	**791.130**	**489.935**	**568.280**	**571.159**	€/a		
G2	**spez. Gesamtkosten**	**45**	**43**	**26**	**17**	**31**	€/m²a		
G2	**Amortisationszeit (Basis: Variante 1)**			**1,6**	**3,3**	**0,3**	a		

Variante 3 ist die Summe der Maßnahmen aus dem Bereich Lüftung: Einschränkungen der Betriebszeiten der Lüftung und Ausrüstung der wichtigsten Anlagen mit Frequenzumrichtern (FU), um bedarfsgerecht Luft zuführen zu können. (Aus Maßnahme 7.4.1.,7.4.2. (7.4.3), 7.4.5. ab Seite ff). Diese Maßnahme führt zu erheblichen Einsparungen von Strom und Gas (und CO_2). (Vgl. Pkt. 7.4.6)
Dem stehen bei Investitionskosten von 655.000 € nur Kapitalkosten von 85.000.- €/a gegenüber. Dadurch sinken die Vollkosten auf 490.000 €/a.

Variante 4 zeigt die Umsetzung der Bauphysikalischen Maßnahmen. Diese führen zu höheren Vollkosten, weil die Amortisationszeiten deutlich über 25 a liegen.
Durch die hohen Einsparungen bei Maßnahmen Lüftung wird trotzdem ein geringes Vollkostenniveau erreicht. Diese betragen dann 570.000 €/a gegenüber der Ausgangssituation von 830.000 €/a.

In Variante 5 ist die Beleuchtungssanierung dargestellt. Da sich diese über den kapitalisierten Zeitraum von 7 a rechnet, verändern sich die Vollkosten nur geringfügig nach oben.

Diagramm 17 Kostenzusammenfassung aller Varianten



9. Zusammenfassung der Maßnahmen und Ergebnisse

Erwartungsgemäß haben die organisatorischen Maßnahmen den schnellsten ROI, weil hier außer Weiterbildung, Hinweise und konsequente Anwendung wenig Investitionen getätigt werden müssen. Hier kann das Hausverwalterbeteiligungsmodell (EBN) fördernd wirken, setzt allerdings die aktive Mitarbeit der Hausverwalter und den Abschluß der seit 2 Jahren avisierten Verträge voraus.

Insgesamt lässt sich der Gesamtverbrauch von rund 10 GWh/a durch Ausschöpfung aller Einsparpotentiale um rund 8 GWh/a senken. Davon entfallen 0,6 GWh/a auf organisatorische Maßnahmen, 5,6 GWh/a auf Maßnahmen im Bereich der Anlagentechnik und rund1,8 GWh/a auf bauphysikalische Maßnahmen zum Wärmeschutz. Die Kosten für Energie sinken dadurch von rund 560.000 €/a um 340.000 €/a auf rund 220.000 €/a. Hierfür sind Investitionen im Bereich Anlagentechnik von rund 0,8 Mio € und im Bereich Wärmeschutz von 2,2 Mio € erfoderlich.

Das größte Einsparpotential liegt im Bereich der konsequenten Verringerung der Laufzeiten der Lüftungsanlagen. Durch Ausschalten außerhalb der Betriebszeiten werden 3,8 GWh/a oder 214.000 €/a gespart. (vgl. 7.4.1.) In weiteren Schritten können durch Umstellung auf nachfrageorientierten Betrieb weitere 1,6 GWh/a oder 100.000 €/a gespart werden (vgl. Maßnahmen 7.4.3.-7.4.5.)
Diese Maßnahmen sind in ein Gesamtpaket Lüftung zusammengeführt worden (7.6.) und im Rahmen der Vollkostenrechnung betrachtet worden.

Bei den Bauphysikalischen Maßnahmen (7.2.1. ff) rechnen sich die Maßnahmen Wärmedämmung der Außenwände , sowie die Maßnahmen zur Dämmung der Geschossdecken und Böden zu angrenzenden Räumen mit über 25 Jahren für bauphysikalische Maßnahmen nicht besonders schnell, was allerdings auch nicht unüblich ist. Dach und Fenster liegen über 50 Jahren, wobei bei den Fenstern der Reparaturbedarf und die extrem hohen Lüftungsverluste durch Undichtigkeiten nicht berücksichtigt ist.

Für einige Maßnahmen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Dazu gehören die Untersuchung der Verbesserung der Regelungstechnik (7.3.2.2.) sowie die Erstellung von Lastgängen für die Warmwasserverbräuche (7.10.2.1. f) sowie über den Kühlwasserverbrauch, um grundsätzliche Erkenntnisse über Nutzung zu gewinnen und weitergehende Maßnahmen, z.B. Solarenergienutzung oder Sanierung der Kälteanlage planen und bewerten zu können.

Aus allen Maßnahmen wurden nach dem Zwischengespräch Maßnahmenpakete zusammengeführt, die mittels Vollkostenrechnung nach den Vorgaben des HBA intensiver untersucht wurden. Dies führte zu folgenden Schwerpunkten:

- Organisation und Regelungstechnik (Variante 2, 7.4.1., 7.5.4. S. 62 ff)
- Verbesserung der Anlagentechnik Lüftung (Variante 3, 7.4.1.-7.4.5. ab S.69)
- Wärmeschutz (Variante 4, 7.2.1. – 7.2.10. S. 62 ff)
- Beleuchtungssanierung für die Klassenräume und Sporthalle (Variante 5, 7.8.1.-7.8.3 ab S.81)

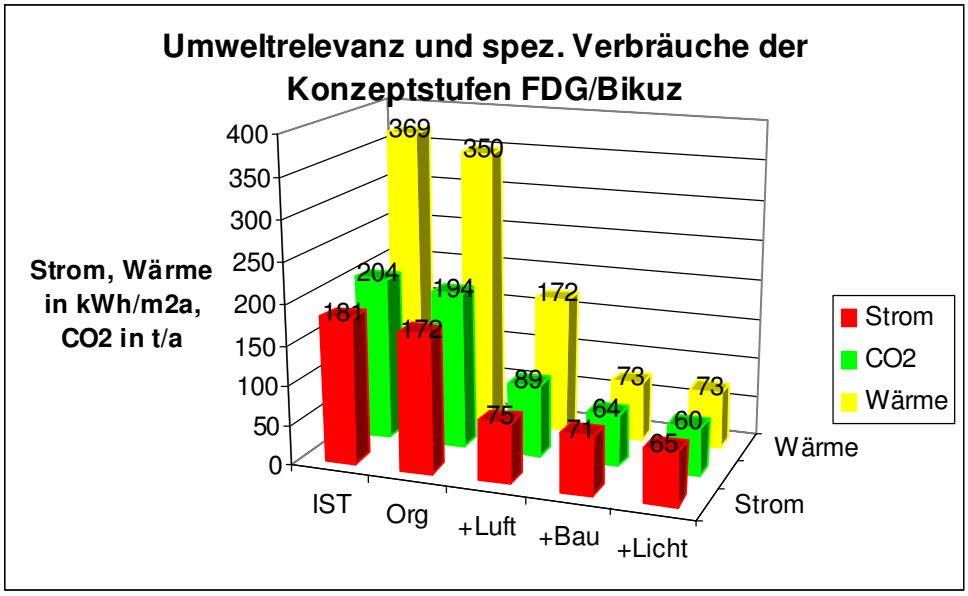
Die Umweltrelevanz der kombinierten Maßnahmen Organisation, Lüftung, Bauphysik und Beleuchtung zeigt das folgende Diagramm, in dem die Maßnahmen unter Vollkostenaspekten zusammengeführt sind.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass hier Maßnahmen unterschiedlicher Kapitallaufzeiten auf Basis einer Kostenschätzung kombiniert werden. Ausführliche Erläuterungen finden sich im Kapitel 8.

Durch diese Maßnahmen sinkt der spezifische Stromverbrauch von 181 auf 65 kWh/m^{2}a. der Heizwärmebedarf sinkt von 369 auf 73 kWh/m^{2}a.

Der Stromverbrauch ist dann zwar immer noch hoch kann aber durch weitere Maßnahmen im Bereich der Lüftung und Kühlung sowie der Beleuchtung weiter gesenkt werden. Hierzu sollten im Rahmen einer Feinanalyse das Raumkonzept und die Nutzungszonen definiert werden und alle Verbraucher systematisch erfasst werden.

Diagramm 18 Umweltrelevanz des Konzepts



Da die Maßnahmen der Bauphysik auch Einfluß auf die Anlagentechnik haben wäre die gleichzeitige Durchführung aller Maßnahmen wünschenswert und sinnvoll. Durch die vorgenannte Kombination der Maßnahmenpakete wird bei geringeren Vollkosten ein Gebäudestandard erreicht, der die Grenzwerte der Leitfäden einhält und den Zielwerten nahe kommt.

Linter, den 12.12.2003

10. Quellen

(1) Energieeinsparung durch Volumenstromregelung, Stadt Frankfurt Förderprogramm Energie, TECTROLmbH, Mai – August 2000;
(2) Datenblätter Energiereferat der Stadt Frankfurt;
(3) LEH (Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung im Hochbau) Hessisches Umweltministerium 1999;
(4) LEE (Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau), Hessisches Umweltministerium, 1996;
(5) EnEV (Energieeinsparverordnung vom 17.01.02);
(6) Infrarotthermographische Messung und Inspektion der Außenoberflächen des Schulgebäudes des FDG in Frankfurt, Prüfbericht F2801 JS1 Thermo-Temp GmbH, Berlin, März 1998;
(7) Monatsauswertungen der Verbrauchswerte 1999, 2000, 2001 der Stadt Ffm;
(8) Diverse Ausführungs- und Revisionspläne;
(9) Augregierte Kostenwerte, GM System Stadt Frankfurt;
(10) SÜWAG - Rechnungen der Saalbau GmbH;
(11) Gebäudedatenbankauszüge des Energiereferats der Stadt Frankfurt;
(12) Exceldatei SÜWAG/MKW für ¼ Stundenwerte September und Dezember 02;
(13) Mainova Rechnungen an die Saalbau von 1988 bis 2002 (Monatsrechnungen);
(14) Eigene Messungen.

11. Verwendete Software

(1) Esther 1.0 (Taupunkt, U-Wertberechnung), Isover 2002;
(2) Argos 1.01 (Wärmebrücken), Isover 2002;
(3) Schimmel 1.0, Obermeyer Software 2002;
(4) Metropolis 4.0, 1997, Günther Software;
(5) Energieplan;
(6) MS-Excel Leitfadenberechnung nach Rechenvorgabe LEH (Ing.-Büro Kitzerow);
(7) MS-Excel Leitfadenberechnung nach Rechenvorgabe LEE (Ing.-Büro Kitzerow);
(8) Stromsparcheck, Impuls-Programm, IVU;
(9) IVU Standardnutzung, Version Stadt Frankfurt;
(10) MS-Excel Wirtschaftlichkeitsrechnungen der Stadt Frankfurt (umgestellt auf €);
(11) Polysun 3.3.

12. Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 1 Verbräuche Diagramm 2 Energiekosten 3
Diagramm 3 Kostenaufteilung 8
Diagramm 4 Umweltauswirkungen der Sanierungsvorschläge 10
Diagramm 5 Energiekostenaufteilung 11
Diagramm 6 Stromverbrauch nach Bereichen 11
Diagramm 7 Strombedarf (inst. Leistung) nach Bereichen 11
Diagramm 8 Wärmefluß des Gesamtgebäudes 11
Diagramm 9 Heizwärmevergleich Leitfaden und IST Zustand 11
Diagramm 10 Aufteilung des Endenergiebedarfs 11
Diagramm 11 Kostenaufteilung Wärmeschutz 11
Diagramm 12 Gesamtkostenvergleich für die Maßnahmen Lüftung 11
Diagramm 13 Umweltrelevanz der Maßnahmen Lüftung 11
Diagramm 14 Kosten für verschiedene Leuchtenvarianten im EB 11
Diagramm 15 Kostenvergleich Leuchtensanierung Sporthalle 11
Diagramm 16 Kostenvergleich Leuchtensanierung HG 11
Diagramm 17 Kostenzusammenfassung aller Varianten 11
Diagramm 18 Umweltrelevanz des Konzepts 11

13. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Daten BIKUZ/FDG 4
Tabelle 2 Einsparpotentiale und Maßnahmen FDG/Bikuz 6
Tabelle 3 Beschriftung zu Diagramm 3 Kostenaufteilung 8
Tabelle 4 Daten Hauptverteiler Heizung 11
Tabelle 5 Technische Daten Zuluftanlagen BIKUZ/FDG 11
Tabelle 6 Technische Daten Abluftanlagen 11
Tabelle 7 Installierte Kälteleistung 11
Tabelle 8 Übersicht Leuchten HG und EB 11
Tabelle 9 Verbraucher und installierte Leistung in der Küche 11
Tabelle 10 Energieverbräuche und Kosten 11
Tabelle 11 Energieverbräuche von 1998 - 2002 11
Tabelle 12 Spezifische Energiekosten 11
Tabelle 13 Leistungen und Verbräuche 11
Tabelle 14 Spezifische Verbräuche und Installierte Leistungen 11
Tabelle 15 Personenstunden 11
Tabelle 16 Heizwärme 1 Gesamtgebäude 11
Tabelle 17 Heizwärme 2 Gesamtgebäude 11
Tabelle 18 Heizwärme Gesamtgebäude Resultat 11
Tabelle 19 Heizzahl 1 11
Tabelle 20 Heizzahl 2 11
Tabelle 21 Ergebnisblatt Heizzahl /Endenergie 11
Tabelle 22 Die wichtigsten Kennwerte auf einen Blick 11
Tabelle 23 Investitionskosten Wärmeschutz 11
Tabelle 24 Gesamtkosten Wärmeschutz FDG 11
Tabelle 25 Kostenschätzung und Einsparpotentiale Änderung Brandschutz 11
Tabelle 26 Kostenschätzung und Einsparungen Anlage 10a,b und 11 11
Tabelle 27 Kostenschätzung und Einsparungen Anlage 4,5,7 und 9 11
Tabelle 28 Kostenschätzung und Einsparungen FU Anlage 21, 22 11
Tabelle 29 Wirtschaftlichkeitsrechnung für Maßnahmen Lüftung 7.4.1. – 7.4.5. 11
Tabelle 30 Austausch der Hauptvorlaufpump. gegen Inline-Pumpen mit EET-Regelung 11
Tabelle 31 Austausch der Hauptvorlaufpumpen gegen Inline-Pumpen mit dp-Regelung 11
Tabelle 32 Kosten und Einsparungen Kälteanlage 11
Tabelle 33 Wirtschaftlichkeitsberechnung Leuchtensanierung EB 11
Tabelle 34 Wirtschaftlichkeitsrechnung Leuchtensanierung Sporthalle 11
Tabelle 35 Wirtschaftlichkeitsrechnung Leuchtensanierung HG 11
Tabelle 36 Kostenzusammenstellung für die Maßnahmenpakete 11
Tabelle 37 Leuchten im EB 11
Tabelle 38 Leuchten im HG 11
Tabelle 39 Leuchten im EB für Wirtschaftlichkeitsrechnung 11
Tabelle 40 Leuchten im HG für Wirtschaftlichkeitsrechnung 11
Tabelle 41Leuchten im HG Sport für Wirtschaftlichkeitsrechnung 11
Tabelle 42 Heizwärme 1 EB 11
Tabelle 43 Heizwärme 2 EB 11
Tabelle 44 Resultat Heizwärme EB 11
Tabelle 45 Heizwärme 1 HG 11
Tabelle 46 Heizwärme 2 HG 11
Tabelle 47 Resultat Heizwärme HG 11
Tabelle 48 Beleuchtung 300 lx Bestand 11
Tabelle 49 Beleuchtung 300 lx Neu 11
Tabelle 50 Beleuchtung 500 lx Bestand 11
Tabelle 51 Beleuchtung 500 lx Neu 11

14. Verzeichnis der Bilder

Bild 1 Energiehunger FDG/Bikuz 5
Bild 2 und Bild 3 Spalt unter der Tür in der Cafeteria 11
Bild 4 , Bild 5, Bild 6 Hörsaal 4. OG, Wasserschaden Wand, blinde Scheiben und Kondenswasser 11
Bild 7, Bild 8, Bild 9, Bild 10 Wasserschaden 4.OG VHS , Hörsaal, Treppenhaus B 11
Bild 11, Bild 12, Bild 13 Verwaltung, VHS Außen 4. OG, Verwaltung innen 11
Bild 14, Bild 15, Bild 16 Undichte Türen und Fenster im EB 11
Bild 17 und Bild 18 Wärmebrücke Rollladenkasten, Fenster Dauerlüftung 11
Bild 19 und Bild 20 Kessel 1 Kessel 2 11
Bild 21 und Bild 22 Pumpengruppe HV und neue Hauptverteilung 11
Bild 23 und Bild 24 Warmwasserspeicher und Legionellenregelung 11
Bild 25, Bild 26 und Bild 27 Kältemaschine, defekte Pumpe, Pumpengruppe 11
Bild 28 und Bild 29 Standardleuchten im Hauptgebäude 11
Bild 30 Standardleuchte ohne Lüftung im 4. OG 11
Bild 31 und Bild 32 Typ 1 x 18 W / 60 im Flur 3. OG Typ 2 x 18 /60 im 4. OG 11
Bild 33 und Bild 33 1x 56 W / 150 Schulbücherei 2. OG Warmton! 11
Bild 34 und Bild 35 Sparmaßnahmen in den Fluren. Nur jede 2. Lampe leuchtet, aber nicht überall! 11
Bild 36, Bild 37 und Bild 38Standardleuchte 2- und 3-reihig im EB 11
Bild 39 und Bild 40 Folgen veralteter Bausubstanz: ohne Kommentar! 11

15. Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Energiekosten und Verteilung 1998 - 2002 11
Abbildung 2 Strom Leistungswerte pro Monat 1998 - 2002 11
Abbildung 3 Stromlastgang September 2002 11
Abbildung 4 Stromlastgang Dezember 2002 11
Abbildung 5 Vergleich der Lastgänge September und Oktober 11
Abbildung 6 Tageslastgang Strom Vergleich Sept – Dez 2002 11
Abbildung 7 HT und NT Verbräuche 11
Abbildung 8 Monatswerte Gas 11

16. Verzeichnis der Abkürzungen

FDG - Friedrich-Dessauer-Gymnasium
BIKUZ - Bildungs- und Kulturzentrum
EB - Erweiterungsbau
HG - Hauptgebäude
vg. - vorgenannte
vgl. - vergleiche
HT - Haustechnik
BR - Betriebseinrichtungen
B - Beleuchtung
AH - Arbeitshilfen
DT - Diverse Technik
ZD - Zentrale Dienste
H - Raumheizung
WW - Wassererwärmung
L - Lüftung
K - Klimatisierung
HH - Hilfsenergie Heizung

Anhang Rechenblätter

Tabelle 37 Leuchten im EB

Tabelle 38 Leuchten im HG

Tabelle 39 Leuchten im EB für Wirtschaftlichkeitsrechnung

Tabelle 40 Leuchten im HG für Wirtschaftlichkeitsrechnung

Tabelle 41Leuchten im HG Sport für Wirtschaftlichkeitsrechnung

Tabelle 42 Heizwärme 1 EB

Datenblatt Heizwärmebedarf BIKUZ EB

Pos.	Bezeichnung	Abk.	Wert	Einheit
A.	**Nutzung**		Anhang D1, D2	
[A1]	Erwärmung Kaltwasser	DT_{KW}	6	K
[A2]	Personenzahl	n_P	72,0	P
[A3]	tägl. Aufenthaltszeit Personen		8	h/Tag
[A4]	durchschnittl. Wärmeabgabe pro Person		100	W/P
[A5]	Wasserverbrauch pro Person und Tag	WA	15	l/(Pd)
[A6]	Stromverbrauch pro Person und Jahr		700	kWh/(Pa)
[A7]	Reduktionsfaktor Elektrizität	f_e	0,7	-
[A8]	energetisch wirksamer Luftwechsel	N	1,50	1/h
[A9]	spez. Wärmespeicherfähigkeit Luft	c_L*r_L	0,33	Wh/(m³K)
[A10]	spez. Wärmespeicherfähigkeit Wasser	c_W*r_W	1,16	Wh/(l K)
B.	**Klimadaten**		Anhang D4	
[B1]	Länge der Heizperiode	HT	268	Tage/a *
[B2]	Heizgradtage	HGT	3685	K Tage/a *
[B3]	Globalstrahlung horizontal	GH	490	kWh/(m²a *)
[B4]	Globalstrahlung Süd	GS	478	kWh/(m²a *)
[B5]	Globalstrahlung Ost	GO	309	kWh/(m²a *)
[B6]	Globalstrahlung West	GW	316	kWh/(m²a *)
[B7]	Globalstrahlung Nord	GN	176	kWh/(m²a *)
C.	**Geometrische Daten**			
[C1]	Dach gegen außen [1)]	A_d	748,78	m²
[C2]	oberste Geschossdecke [2)]		0,00	m²
[C3]	Wand gegen außen	A_w	1.048,88	m²
[C4]	Boden gegen außen	A_h	0,00	m²
[C5]	Wand gegen Keller			m²
[C6]	Wand gegen Erdreich			m²
[C7]	Boden gegen Keller		752,78	m²
[C8]	Boden gegen Erdreich		0,00	m²
[C9]	Fenster horizontal	A_{fH}	4,00	m²
[C10]	Fenster Süd	A_{fS}	32,81	m²
[C11]	Fenster Ost	A_{fO}	173,77	m²
[C12]	Fenster West	A_{fW}	173,77	m²
[C13]	Fenster Nord	A_{fN}	167,45	m²
[C14]	Energiebezugsfläche	EBF	2.641,94	m²
[C15]	Beheiztes Volumen netto	VL	8.190,02	m³
	Wärme übertragende Umfassungsfläche:	A	3.102,23	m²
	A/V - Verhältnis:	A/V	0,38	m^{-1}

Tabelle 43 Heizwärme 2 EB

Datenblatt Heizwärmebedarf BIKUZ EB

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit
D.	**k-Werte, g-Werte, f**			
[D1]	Dach gegen außen [1)]	k_d	0,790	W/(m²K)
[D2]	oberste Geschossdecke [2)]		0,000	W/(m²K)
[D3]	Wand gegen außen	k_w	1,390	W/(m²K)
[D4]	Boden gegen außen	k_h	0,000	W/(m²K)
[D5]	Wand gegen Keller		0,000	W/(m²K)
[D6]	Wand gegen Erdreich		0,000	W/(m²K)
[D7]	Boden gegen Keller		1,300	W/(m²K)
[D8]	Boden gegen Erdreich		0,000	W/(m²K)
[D9]	Fenster horizontal	k_{fH}	4,000	W/(m²K)
[D10]	Fenster Süd	k_{fS}	2,900	W/(m²K)
[D11]	Fenster Ost	k_{fO}	2,900	W/(m²K)
[D12]	Fenster West	k_{fW}	2,900	W/(m²K)
[D13]	Fenster Nord	k_{fN}	2,900	W/(m²K)
[D14]	g-Wert Fenster horizontal	g_H	0,700	
[D15]	g-Wert Fenster Süd	g_S	0,700	
[D16]	g-Wert Fenster Ost	g_O	0,700	
[D17]	g-Wert Fenster West	g_W	0,700	
[D18]	g-Wert Fenster Nord	gN	0,700	
[D19]	Glasanteil Fenster	f_r	0,80	
[D20]	Beschattung und Verschmutzung	f_b	0,80	

Tabelle 44 Resultat Heizwärme EB

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit	Leitfaden	kWh/a
E.	**Transmissionsverluste**				HW-1 - 1	
[E1]	Dach gegen außen [1)]		19,80	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	52.315
[E2]	oberste Geschossdecke [2)]		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E3]	Wand gegen außen		48,81	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	128.941
[E4]	Boden gegen außen		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E5]	Wand gegen Keller		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E6]	Wand gegen Erdreich		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E7]	Boden gegen Keller		16,38	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	43.274
[E8]	Boden gegen Erdreich		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E9]	Fenster Horizontal		0,54	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	1.415
[E10]	Fenster Süd		3,19	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	8.416
[E11]	Fenster Ost		16,87	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	44.567
[E12]	Fenster West		16,87	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	44.567
[E13]	Fenster Nord		16,26	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	42.947
[E14]	Transmissionsverluste [f]	q_T	138,70	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	366.441
F.	**Lüftung**					
[F1]	Lüftungsverluste [f]	q_L	135,71	kWh/(m²a *)	HW-1 - 2	358.541
G.	**Wärmeverluste**					
[G1]	Bruttonutzwärmebedarf Heizung [f]	q_{BH}	274,41	kWh/(m²a *)	HW-1 - 3	724.982
H.	**Freie Wärme**				HW-2 - 4	
[H1]	Abwärme Elektrizität [f]	q_e	9,80	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.1	25.904
[H2]	Abwärme Personen [f]	q_p	5,84	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.2	15.437
[H3]	Wasserablaufverluste [f]	q_{wa}	0,76	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.3	2.015
	Solare Einstrahlung [f]:					
[H4]	~ durch horizontale Fenster		0,33	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	878
[H5]	~ durch Süd- Fenster		2,66	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	7.027
[H6]	~ durch Ost- Fenster		9,10	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	24.055
[H7]	~ durch West- Fenster		9,31	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	24.600
[H8]	~ durch Nord- Fenster		5,00	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	13.203
[H9]	Summe Strahlung [f]	q_s	26,41	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	69.762
[H10]	Freie Wärme [f]	q_f	41,29	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	109.089
[H11]	Verhältnis Freie Wärme/Verluste	q_f/q_{BH}	0,15	-	HW-3 - 5	
[H12]	Gewinnfaktor	f_g	0,95	-	HW-3 - 5	
[H13]	Wärmegewinn [f]	q_g	39,43	kWh/(m²a *)	HW-3 - 5	104.164
I.	**Heizwärmebedarf**					
[I1]	Heizwärmebedarf [f]	q_H	234,99	kWh/(m²a *)	HW-3 - 7	620.818
[I2]	Heizwärmebedarf	**Q_H**	**620.818**	**kWh/a ***	HW-3 - 6	
K.	**Grenz- /Zielwert Heizwärmebedarf**					235,0
[K1]	Grenzwert Bauwerksart	H_g	85,00	kWh/(m²a *)	HW-3 - 8	85,0
[K2]	Grenzwert H_g erfüllt ?		NEIN	JA/NEIN	HW-3 - 8	NEIN
[K3]	Zielwert Bauwerksart	H_z	65,00	kWh/(m²a *)	HW-3 - 8	65,0
[K4]	Zielwert H_z erreicht ?		NEIN	JA/NEIN	HW-3 - 8	NEIN

Tabelle 45 Heizwärme 1 HG

Datenblatt Heizwärmebedarf

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit
A.	**Nutzung**		Anhang D1, D2	
[A1]	Erwärmung Kaltwasser	DT_{KW}	6	K
[A2]	Personenzahl	n_P	267,0	P
[A3]	tägl. Aufenthaltszeit Personen		16	h/Tag
[A4]	durchschnittl. Wärmeabgabe pro Person		100	W/P
[A5]	Wasserverbrauch pro Person und Tag	WA	15	l/(Pd)
[A6]	Stromverbrauch pro Person und Jahr		700	kWh/(Pa)
[A7]	Reduktionsfaktor Elektrizität	f_e	0,7	-
[A8]	energetisch wirksamer Luftwechsel	n	2,55	1/h
[A9]	spez. Wärmespeicherfähigkeit Luft	c_L*r_L	0,33	Wh/(m³K)
[A10]	spez. Wärmespeicherfähigkeit Wasser	c_W*r_W	1,16	Wh/(l K)
B.	**Klimadaten**		Anhang D4	
[B1]	Länge der Heizperiode	HT	268	Tage/a *
[B2]	Heizgradtage	HGT	3685	K Tage/a *
[B3]	Globalstrahlung horizontal	GH	490	kWh/(m²a *)
[B4]	Globalstrahlung Süd	GS	478	kWh/(m²a *)
[B5]	Globalstrahlung Ost	GO	309	kWh/(m²a *)
[B6]	Globalstrahlung West	GW	316	kWh/(m²a *)
[B7]	Globalstrahlung Nord	GN	176	kWh/(m²a *)
C.	**Geometrische Daten**			
[C1]	Dach gegen außen [1)]	A_d	6.629,56	m²
[C2]	oberste Geschossdecke [2)]		1.117,44	m²
[C3]	Wand gegen außen	A_w	6.380,00	m²
[C4]	Boden gegen außen	A_h	0,00	m²
[C5]	Wand gegen Keller		0,00	m²
[C6]	Wand gegen Erdreich		0,00	m²
[C7]	Boden gegen Keller		7.747,00	m²
[C8]	Boden gegen Erdreich		0,00	m²
[C9]	Fenster horizontal	A_{fH}	120,00	m²
[C10]	Fenster Süd	A_{fS}	490,00	m²
[C11]	Fenster Ost	A_{fO}	183,50	m²
[C12]	Fenster West	A_{fW}	183,50	m²
[C13]	Fenster Nord	A_{fN}	460,00	m²
[C14]	Energiebezugsfläche	EBF	15.920,64	m²
[C15]	Beheiztes Volumen netto	VL	58.032,00	m³
	Wärme übertragende Umfassungsfläche:	A	23.311,00	m²
	A/V - Verhältnis:	A/V	0,40	m^{-1}

Tabelle 46 Heizwärme 2 HG

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit
D.	**k-Werte, g-Werte, f**			
[D1]	Dach gegen außen [1)]	k_d	0,790	W/(m²K)
[D2]	oberste Geschossdecke [2)]		2,100	W/(m²K)
[D3]	Wand gegen außen	k_w	1,390	W/(m²K)
[D4]	Boden gegen außen	k_h	0,000	W/(m²K)
[D5]	Wand gegen Keller		0,000	W/(m²K)
[D6]	Wand gegen Erdreich		0,000	W/(m²K)
[D7]	Boden gegen Keller		1,300	W/(m²K)
[D8]	Boden gegen Erdreich		1,300	W/(m²K)
[D9]	Fenster horizontal	k_{fH}	0,000	W/(m²K)
[D10]	Fenster Süd	k_{fS}	2,900	W/(m²K)
[D11]	Fenster Ost	k_{fO}	2,900	W/(m²K)
[D12]	Fenster West	k_{fW}	2,900	W/(m²K)
[D13]	Fenster Nord	k_{fN}	2,900	W/(m²K)
[D14]	g-Wert Fenster horizontal	g_H	0,700	
[D15]	g-Wert Fenster Süd	g_S	0,700	
[D16]	g-Wert Fenster Ost	g_O	0,700	
[D17]	g-Wert Fenster West	g_W	0,700	
[D18]	g-Wert Fenster Nord	gN	0,700	
[D19]	Glasanteil Fenster	f_r	0,80	
[D20]	Beschattung und Verschmutzung	f_b	0,80	

[1)] ohne Anteil oberhalb einer gedämmten obersten Geschossdecke

[2)] falls gedämmt

Tabelle 47 Resultat Heizwärme HG

Pos.	Bezeichung	Abk.	Wert	Einheit	Leitfaden	kWh/a
E.	**Transmissionsverluste**				HW-1 - 1	
[E1]	Dach gegen außen [1)]		29,09	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	463.191
[E2]	oberste Geschossdecke [2)]		13,04	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	207.535
[E3]	Wand gegen außen		49,26	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	784.304
[E4]	Boden gegen außen		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E5]	Wand gegen Keller		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E6]	Wand gegen Erdreich		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E7]	Boden gegen Keller		27,97	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	445.344
[E8]	Boden gegen Erdreich		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E9]	Fenster Horizontal		0,00	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	0
[E10]	Fenster Süd		7,89	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	125.673
[E11]	Fenster Ost		2,96	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	47.063
[E12]	Fenster West		2,96	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	47.063
[E13]	Fenster Nord		7,41	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	117.979
[E14]	Transmissionsverluste [f]	q_T	140,58	kWh/(m²a *)	HW-1 - 1	2.238.153
F.	**Lüftung**					
[F1]	Lüftungsverluste [f]	q_L	271,28	kWh/(m²a *)	HW-1 - 2	4.318.873
G.	**Wärmeverluste**					
[G1]	Bruttonutzwärmebedarf Heizung [f]	q_{BH}	411,86	kWh/(m²a *)	HW-1 - 3	6.557.026
H.	**Freie Wärme**				HW-2 - 4	
[H1]	Abwärme Elektrizität [f]	q_e	6,03	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.1	96.061
[H2]	Abwärme Personen [f]	q_p	7,19	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.2	114.490
[H3]	Wasserablaufverluste [f]	q_{wa}	0,47	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.3	7.470
	Solare Einstrahlung [f]:					
[H4]	~ durch horizontale Fenster		1,65	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	26.342
[H5]	~ durch Süd- Fenster		6,59	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	104.931
[H6]	~ durch Ost- Fenster		1,60	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	25.402
[H7]	~ durch West- Fenster		1,63	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	25.978
[H8]	~ durch Nord- Fenster		2,28	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	36.270
[H9]	Summe Strahlung [f]	q_s	13,75	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	218.923
[H10]	Freie Wärme [f]	q_f	26,51	kWh/(m²a *)	HW-2 - 4.4	422.004
[H11]	Verhältnis Freie Wärme/Verluste	q_f/q_{BH}	0,06	-	HW-3 - 5	
[H12]	Gewinnfaktor	f_g	0,98	-	HW-3 - 5	
[H13]	Wärmegewinn [f]	q_g	25,99	kWh/(m²a *)	HW-3 - 5	413.856
I.	**Heizwärmebedarf**					
[I1]	Heizwärmebedarf [f]	q_H	385,86	kWh/(m²a *)	HW-3 - 7	6.143.170
[I2]	Heizwärmebedarf	**Q_H**	**6.143.170**	**kWh/a ***	HW-3 - 6	
K.	**Grenz- /Zielwert Heizwärmebedarf**					385,9
[K1]	Grenzwert Bauwerksart	H_g	85,00	kWh/(m²a *)	HW-3 - 8	85,0
[K2]	Grenzwert H_g erfüllt ?		NEIN	JA/NEIN	HW-3 - 8	NEIN
[K3]	Zielwert Bauwerksart	H_z	65,00	kWh/(m²a *)	HW-3 - 8	65,0
[K4]	Zielwert H_z erreicht ?		NEIN	JA/NEIN	HW-3 - 8	NEIN

Tabelle 48 Beleuchtung 300 lx Bestand

Rechenblatt EDS Beleuchtung 300 lx KVG Bestand				
Projekt Betriebseinheit				
Normbeleuchtungsstärke	300	lx		
Energiebezugsfläche	50	m2		
Geforderter Lichtstrom	15000	lm		
Raumindex	1,25	k= l x b /h x (l+b)		2,8
Raumwirkungsgrad	0,7	Kurve 1,2,3,4	8	6,25
Lichtstrom Lampe	4800	lm		
Leistung Lampe	58	W		
Leistung VSG pro Lampe	13	W		
Leistung gesamt	71	W		
Wirkungsgrad Lampensystem	68	lm/W		
Wirkungsgrad Leuchte	0,6			
Verminderungsfaktor	0,6	0,8 normal bis 0,6 stark		
Benötigter Lichtstrom	59.524			
Lampenzahl	12	n	24	
Pmax	880	W		
Nutzungszeit	2000	h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,5			
Vollbetriebsstunden	1000	h/a		
Jahresenergiebedarf	880.456	Wh/a		
Energiedienstleistung	30.000.000	lx m^2 h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	600.000	Wh/m^2a		
Vergleichskennwert	0,02934854			

Tabelle 49 Beleuchtung 300 lx Neu

Rechenblatt EDS Beleuchtung 300 lx EVG				
Projekt Betriebseinheit				
Normbeleuchtungsstärke	300	lx		
Energiebezugsfläche	50	m^2		
Geforderter Lichtstrom	15000	lm		
Raumindex	1,25	k = l x b /h x (l+b)		2,8
Raumwirkungsgrad	0,7	Kurve 1,2,3,4	8	6,25
Lichtstrom Lampe	5400	lm		
Leistung Lampe	58	W		
Leistung VSG pro Lampe	4	W		
Leistung gesamt	62	W		
Wirkungsgrad Lampensystem	87	lm/W		
Wirkungsgrad Leuchte	0,8			
Verminderungsfaktor	0,7	0,8 normal bis 0,6 stark		
Benötigter Lichtstrom	38.265			
Lampenzahl	7	n	24	
Pmax	439	W		
Nutzungszeit	2000	h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,5			
Vollbetriebsstunden	1000	h/a		
Jahresenergiebedarf	439.342	Wh/a		
Energiedienstleistung	30.000.000	lx m^2 h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	600.000	Wh/m^2a		
Vergleichskennwert	0,01464475			

Tabelle 50 Beleuchtung 500 lx Bestand

Rechenblatt EDS Beleuchtung 500 lx Bestand				
Projekt Betriebseinheit				
Normbeleuchtungsstärke	500	lx		
Energiebezugsfläche	50	m2		
Geforderter Lichtstrom	25000	lm		
Raumindex	1,25	k= l x b /h x (l+b)		2,8
Raumwirkungsgrad	0,7	Kurve 1,2,3,4	8	6,25
Lichtstrom Lampe	4800	lm		
Leistung Lampe	58	W		
Leistung VSG pro Lampe	13	W		
Leistung gesamt	71	W		
Wirkungsgrad Lampensystem	68	lm/W		
Wirkungsgrad Leuchte	0,6			
Verminderungsfaktor	0,6	0,8 normal bis 0,6 stark		
Benötigter Lichtstrom	99.206			
Lampenzahl	21	n	24	
Pmax	1467	W		
Nutzungszeit	2000	h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,5			
Vollbetriebsstunden	1000	h/a		
Jahresenergiebedarf	1.467.427	Wh/a		
Energiedienstleistung	50.000.000	lx m^2 h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	1.000.000	Wh/m^2a		
Vergleichskennwert	0,02934854			

Tabelle 51 Beleuchtung 500 lx Neu

Rechenblatt EDS Beleuchtung 500 lx EVG				
Projekt Betriebseinheit				
Normbeleuchtungsstärke Energiebezugsfläche Geforderter Lichtstrom	500 50 25000	lx m^2 lm		
Raumindex Raumwirkungsgrad	1,25 0,7	k = l x b /h x (l+b) Kurve 1,2,3,4	 8	2,8 6,25
Lichtstrom Lampe Leistung Lampe Leistung VSG pro Lampe Leistung gesamt Wirkungsgrad Lampensystem	5400 58 4 62 87	lm W W W lm/W		
Wirkungsgrad Leuchte Verminderungsfaktor	0,8 0,7	 0,8 normal bis 0,6 stark		
Benötigter Lichtstrom	63.776			
Lampenzahl Pmax	12 732	n W	24	
Nutzungszeit Vollbetriebszeitfaktor fv Vollbetriebsstunden	2000 0,5 1000	h/a h/a		
Jahresenergiebedarf Energiedienstleistung Spez. Jahresenergiebedarf	732.237 50.000.000 1.000.000	Wh/a lx m^2 h / a Wh/m^2a		
Vergleichskennwert	0,01464475			

ZUSAMMENFASSUNG **1**

1. EINLEITUNG **11**

2. GESCHICHTE UND BISHERIGE MAßNAHMEN **11**

3. IST-ZUSTAND **11**

3.1. ALLGEMEINE GEBÄUDEDATEN 11
3.1.1. Energiebezugsfläche *11*
3.2. BAUPHYSIK 11
3.2.1. Allgemeine Auffälligkeiten *11*
3.2.2. Übereinstimmung der Pläne *11*
3.3. ANLAGENTECHNIK/HAUSTECHNIK (HT) 11
3.3.1. Raumheizung (H) *11*
3.3.1.1. Technische Daten Kessel 1 11
3.3.1.2. Technische Daten Kessel 2 11
3.3.2. Wasserbereitung (WW) *11*
3.3.3. Lüftungsanlagen (L) *11*
3.3.4. Kälteanlagen/Klimatisierung (K) *11*
3.3.5. Beleuchtung (B) *11*
3.3.7. Sanitär/Wasser (S) *11*

4. ENERGIEDATEN **11**

4.1. VERBRÄUCHE 11
4.2. VERTRÄGE 11
4.2.1. Stromverträge *11*
4.2.1. Gasverträge *11*
4.2.2. Wasserverträge *11*
4.3. LASTGÄNGE 11
4.3.1. Stromlast *11*
4.3.2. GAS 11

5. LEISTUNGEN UND VERBRÄUCHE **11**

6. BERECHNUNGEN, ANALYSEN UND KENNWERTE **11**

6.1. ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN LEISTUNGS- UND VERBRAUCHSWERTE 11
6.2. LEITFADENBERECHNUNG (LEH) 11
6.3. LEITFADEN LEE 11
6.3.1. Beleuchtung *11*
6.3.2. Lüftung *11*
6.4. KENNWERTE AUF EINEN BLICK 11

7. MAßNAHMEN **11**

7.1. OPTIMIERUNG DER ENERGIELIEFERVERTRÄGE 11
7.1.1. Strom *11*
7.1.2. Gas *11*
7.1.3. Wasser *11*
7.1.4. Hausverwalterverträge *11*
7.2. VERBESSERUNG DER WÄRMEDÄMMUNG 11
7.2.1. Austausch der Fenster im HG *11*
7.2.2. Austausch der Fenster im EB *11*
7.2.2.1. Austausch Fenster und Fassade im EB 11
7.2.3. Wärmedämmverbundsystem HG *11*
7.2.4. Wärmedämmverbundsystem EB *11*

7.2.5. Dachdämmung EB ... 11
7.2.6. Dachdämmung HG ... 11
7.2.7. Geschossdecke HG ... 11
7.2.8. Boden zur Tiefgarage HG ... 11
7.2.9. Boden EB ... 11
7.2.10. Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen Bauphysik ... 11
7.3. VERBESSERUNG DER REGELUNGSTECHNIK/ANLAGENTECHNIK ... 11
7.3.1. Gebäudeleittechnik ... 11
7.3.2. Heizungsregelung EB ... 11
7.3.2.1. Bedienung der Regelung ... 11
7.3.2.2. Neue Temperaturfühler in Klassenräumen EB ... 11
7.3.2.3. Magnetventile austauschen EB ... 11
7.3.2.4. Hydraulische Abstimmung der Heizkreise EB ... 11
7.3.2.5. Nachrüstung DDC für Regelung EB ... 11
7.3.3. Regelungstechnik HG ... 11
7.3.4. Regelung der Lüftungstechnik HG ... 11
7.4. LÜFTUNG ... 11
7.4.1. Änderung Brandschutz (Variante Luft1) ... 11
7.4.1.1. Verringerung der Betriebszeit der Lüftung nachts. ... 11
7.4.1.2. Verringerung der Luftversorgungs tagsüber ... 11
7.4.1.3. Ergebnis der Maßnahme Brandschutzanlage ändern ... 11
7.4.2.2. Verringerung der Luftversorgung Innenzone durch Luftqualitätsregelung ... 11
7.4.3. Nachrüstung Anlage 10a,b und 11 (Variante Luft2) ... 11
7.4.4. Nachrüstung Anlage 4,5,7,9. (Variante Luft3) ... 11
7.4.5. Nachrüstung Anlage 21,22 (Variante Luft4) ... 11
7.4.4. Einzelraumversorgung ... 11
7.4.5.1. Änderung Ventilatoren und Motoren ... 11
7.4.5.1.1. Austausch Ventilator Anlage 1 ... 11
7.4.5.1.2. Austausch von Gebläsen und Antrieben Anlage 10, 11 ... 11
7.4.5.1.3. Austausch von Gebläsen und Antrieben Anlage 4, 5, 7, 9 ... 11
7.4.5.2. Wärmerückgewinnung für die Anlage 4,5,7,9 ... 11
7.4.5.3. Wärmerückgewinnung für die Anlage 22 ... 11
7.4.6. Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen an den Lüftungsanlagen ... 11
7.5. HEIZUNG ... 11
7.5.1. Kesselanlage ... 11
7.5.2. WW Zirkulation ... 11
7.5.3. Thermostatventile ... 11
7.5.4. Regelung EB ... 11
7.6. PUMPEN ... 11
7.6.1. Hauptvorlaufpumpe austauschen ... 11
7.6.2. Elektronische Pumpen im Hauptverteilerbalken ... 11
7.6.3. Unterverteilungen Pumpen ... 11
7.7. KÄLTE ... 11
7.7.1. Erneuerung Kältemaschine ... 11
7.7.2.1. Erneuerung Pumpen ... 11
7.7.2.2. Erneuerung Anlage und Pumpen ... 11
7.7.3. Sommerlicher Wärmeschutz ... 11
7.7.3.1. Sommerlicher Wärmeschutz im EB ... 11
7.7.3.1.1. Automatische Sonnenschutzsteuerung ... 11
7.7.3.1.2. Regelung einstellen ... 11
7.7.3.1.3. Außenlichtabhängige Beleuchtungssteuerung. ... 11
7.7.3.1.4. Wärmeschutz bei Fenstertausch ... 11
7.7.3.1.5. Verbesserung der Speichermasse ... 11

7.8. BELEUCHTUNG 11
7.8.1. Erweiterungsbau (EB) 11
7.8.2. Sporthalle im HG 11
7.8.3. Hauptgebäude (HG) 11
7.9. WASSER 11
7.9.1. Solaranlage 11
7.9.2. Wasserzähler Kühlung 11
7.10. ORGANISATION/SONSTIGE 11
7.10.1. Raumplanung 11
7.10.2. Putzkolonnen 11
7.10.3. Lastabwurf Kühlhaus 11
7.10.4. Gaskochherd 11
8. WIRTSCHAFTLICHKEIT VON MAßNAHMENPAKETEN 11
9. ZUSAMMENFASSUNG DER MAßNAHMEN UND ERGEBNISSE 11
10. QUELLEN 11
11. VERWENDETE SOFTWARE 11
12. VERZEICHNIS DER DIAGRAMME 11
13. VERZEICHNIS DER TABELLEN 11
14. VERZEICHNIS DER BILDER 11
15. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN 11
19. VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN 11