

Beleuchtungskonzept für die Räume von 12 Schulen in Frankfurt/Main

Kurzfassung

Untersucht wurden die Beleuchtungsanlagen von 12 Schulen in Frankfurt. Die Energiebezugsfläche beträgt rund 56.000 m² mit verschiedenen Klassen- und Fachräumen sowie Turnhallen mit Nebenräumen.

Die Beleuchtung wurde seinerzeit wenig nach räumlichen Erfordernissen der jeweiligen Sehaufgabe gestaltet. Der Kennwert für die installierte Leistung beträgt daher fast durchgängig 15-25 W/m² in den Klassenräumen und im Mittel im gesamten Schulgebäude 13 W/m² und liegt damit weit über den Vorgaben nach dem Leitfaden für Elektrische Energie (LEE) und den Richtlinien der Stadt Frankfurt für 2008.

Für die unterschiedlichen Raumtypen wurde zuerst eine neue Beleuchtungsanordnung mit Spiegelrasterleuchten, Drei-Banden-Lampen im T16 / T5 Standard mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG), konzipiert. Als weitere Variante, und letztendlich diesem Bericht zugrunde gelegte Konzeption, wurde dieselbe Anordnung, aber mit Lichtsteuerung im Form von Leistungsregelung und Präsenzmeldern gewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Richtwerte nach dem Hessischen Leitfaden für Energie (LEE) nicht überschritten und die verbesserten Richtwerte als Zielwerte erreicht wurden. Einige Räume wurden erhalten, da die Beleuchtung entweder von untergeordneter Bedeutung ist oder erst kürzlich ein Ersatz der Beleuchtung stattgefunden hat.

Insgesamt kann so die installierte Leistung von 13 auf 4 W/m² als Mittelwert über alle Räume und Nutzungszonen (zwischen 100 - 300 Lux) gesenkt werden. Dies entspricht einer Verringerung der installierten Leistung um rund 70 %. Gleichzeitig wird der Richtwert für Beleuchtungsausstattung in den sanierten Räumen nach LEE erreicht. Die Zahl der sanierten Leuchten verringert sich von 5800 auf 5000. Die durchschnittlich installierte Leistung pro Leuchte sinkt von 100 W auf 39 W.

Die Gesamtmaßnahme erfordert Investitionskosten von rund 950.000.- €. Der Stromverbrauch sinkt unter Standardnutzungsbedingungen jährlich um rund 370 MWh im Wert von rund 70.000.- €.

Für die überwiegende Zahl der Räume rechnet sich die Umrüstung unter Vollkostengesichtspunkten und Standardnutzungsbedingungen (bei Vollkostenrechnung nach Frankfurter Modell) innerhalb des Betrachtungszeitraum für technische Maßnahmen von 15 Jahren.

Die Gesamtmaßnahme hat eine Amortisationszeit von 8,1 Jahren unter Vollkostenbetrachtung nach den Richtlinien der Stadt Frankfurt bei einer Preissteigerung von 5% p.a. und Kapitalzinsen von 4,5 % p.a. Bei Inanspruchnahme des Klimaprogramms der Bundesregierung mit 25 % Zuschuss auf die Investitionsmittel verringert sich die Amortisationszeit auf 5,8 Jahre.

Den Hauptanteil an den Maßnahmen haben die Klassen- und Fachräume und Verwaltungsräume sowie die Verkehrsflächen. Dem folgen Turnhallen mit Nebenräumen und Außenbeleuchtung.

Es werden insgesamt 222 t CO₂ pro Jahr eingespart.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	4
2	IST-ZUSTAND, BERECHNUNGEN UND MAßNAHMEN	4
2.1	Allgemein	4
2.2	Energieverbräuche	5
2.3	Methodik und Berechnungsgrundlagen	6
2.3.1	Raumtypen.....	6
2.3.2	Nutzungszeiten und Beleuchtungsstärken.....	8
2.3.3	Basisdaten Vollkostenrechnung	9
3	BELEUCHTUNGSKONZEPT	10
3.1	Klassenräume	10
3.1.1	Klassenraum Standart Raster	10
3.1.1.1	Ist-Zustand	10
3.1.1.2	Maßnahmen	11
3.1.2	Klassenraum Typ KM - KX	14
3.1.2.1	Ist-Zustand	14
3.1.2.2	Maßnahmen	14
3.1.2.3	Kostenrechnung	15
3.1.2.4	Wirtschaftlichkeitsrechnung	15
3.1.2.5	Vergleich der Varianten	17
3.1.3	Anmerkungen zu Fachräumen	17
3.1.4	Flure und Treppen.....	18
3.1.4.1	Ist-Zustand	18
3.1.4.2	Maßnahmen	18
3.1.4.3	Kostenberechnung Flure und Treppen	19
3.1.4.4	Kostenberechnung Flure	19
3.1.4.5	Kostenberechnung Treppen	20
3.1.5	Toilettenanlagen.....	20
3.1.5.1	Ist-Zustand	20
3.1.5.2	Kosten WC	21
3.2	Turnhallen und zugehörige Räume	22
3.2.1	Turnhallen	22
3.2.1.1	Ist-Zustand Turnhallen	22
3.2.1.2	Maßnahmen	23
3.2.1.3	Kostenrechnung Turnhallen	25
3.2.2	Verkehrsflächen der Turnhallen.....	26
3.2.3	Umkleiden, Duschräume, Waschräume, WC.....	27
3.3	Außenanlagen.....	28
3.3.1	Auf- und Einbauleuchten	29
3.3.2	Aufbauleuchten Fassade.....	30
4	GESAMTMAßNAHME	31
5	ZUSAMMENFASSUNG	35

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Klassentyp 70 m ² mit 6x1x49W + 2x1x35W	11
Abbildung 2 Klassentyp 70 m ² mit Anbauleuchten	12
Abbildung 3 Klassentyp 70 m ² mit Pendelleuchten	13
Abbildung 4 Rechenblatt Turnhalle	24
Abbildung 5 Lichtbild sanierte Turnhalle	24

Verzeichnis der Bilder

Bild 1 Typische Beleuchtungen in Klassenräumen	10
Bild 2 Typische Klassenraumähnliche Beleuchtungen	14
Bild 3 Typische Flur und Treppenleuchten	18
Bild 4 Typische WC-Leuchten	21
Bild 5 Typische Turnhallenleuchten	22
Bild 6 Typische Beleuchtung Flure in Turnhallen	26
Bild 7 Typische Beleuchtung Umkleiden	27
Bild 8 Aufbauleuchten Außen	28
Bild 9 Unterbauleuchten im Außenbereich	29
Bild 10 LED Röhren	30
Bild 11 LED Aufbauleuchten	30

Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 1 Vollkostenrechnung Klassenräume	17
Diagramm 2 Gesamtwirtschaftlichkeit der Vollkostenrechnung	32

Verzeichnis der Tabellen im Text

Tabelle 1 Überblick der untersuchten Schulen und Abkürzungen	4
Tabelle 2 Stromverbräuche der 12 Schulen	5
Tabelle 3 Wärmeverbräuche der 12 Schulen	5
Tabelle 4 Übersicht Raumtypen und Bestandsdaten	6
Tabelle 5 Nutzungszeiten nach LEE	8
Tabelle 6 Beleuchtungsstärken für die Nutzungszonen nach LEE und Amev	8
Tabelle 7 Kostenberechnung Klassenraumsanierung	15
Tabelle 8 Vollkostenrechnung Klassenräume	16
Tabelle 9 Kostenzusammenstellung Flure	19
Tabelle 10 Kostenzusammenstellung Treppen	20
Tabelle 11 Kosten WC	21
Tabelle 12 Kostenzusammenstellung Turnhallen	25
Tabelle 13 Kosten Turnhalle Verkehrsflächen	26
Tabelle 14 Kostenübersicht Leuchtensanierung	31
Tabelle 15 Vollkostenrechnung wirtschaftliches Bauen Stadt Frankfurt	33
Tabelle 16 Aufteilung der Investitionskosten auf die 12 Schulen	34
Tabelle 17 Die wichtigsten Daten auf einen Blick	36

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1 Abkürzungen
Anlage 2 Räume und Leuchten im Bestand
Anlage 3 Entwurf der Räume mit neuen Leuchten
Anlage 4 Raumweise Einsparberechnungen
Anlage 5 Dialuxberechnungen
Anlage 6 Technische Daten LED Außenleuchten

1 Einleitung

Im August 2009 erhielten wir den Auftrag, ein Konzept zur Energieeinsparung und Sanierung für die Beleuchtung in 12 Frankfurter Schulen, im folgenden mit den Abkürzungen lt. Tabelle 1 bezeichnet, zu erstellen.

Tabelle 1 Überblick der untersuchten Schulen und Abkürzungen

Abk.	Nr.	Name
AGS	1	August-Gräser-Schule
ASS	2	Albert-Schweitzer-Schule
AcS	3a	Ackermannschule
BGS	3b	Bürgermeister-Grimm-Schule
Bon	4	Bonifatius-Schule
BOS	5	Berthold-Otto-Schule
EKS	6	Erich-Kästner-Schule
IGS	7	Integrierte Gesamtschule
Lei	8	Leibnitzschule
LRS	9	Ludwig-Richter-Schule
STS	10	Staufenbergsschule
HLS	11	Helene-Lange-Schule
GGs	12	Gebrüder-Grimm-Schule

In Vor-Ort Terminen wurden die Beleuchtungsstärken und die elektrische Verschaltung aufgenommen, da es i.d.R. keine Pläne für die Kabeltrassen und Verschaltungen gibt. Alle relevanten Maße und Daten sind in den Tabellen der Anlage 2 enthalten.

Es ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den 12 Schulen eigentlich um 17 Schulen handelt. IGS und BGS/AcS sind Doppelschulen und 3 Schulen sind deutlich größer (BOS, HLS, Lei), als für eine Durchschnittsschule zu erwarten.

Bei den Energieausweisen und den Flächenermittlungen im Energiecontrolling sind nur 6 der 12 Schulen übereinstimmend. In einigen Fällen lagen keine maßstabgerechten Pläne vor, so dass die Maße vor Ort ermittelt wurden, bzw. im Rahmen der Ausführungsplanung noch genau ermittelt werden. Die entsprechenden Stellen sind in den Anlagen 2-4 rot markiert.

2 Ist-Zustand

2.1 Allgemein

Alle Räume wurden begangen. Die z.Zt. installierte Beleuchtung, die ermittelten Flächen und die sich daraus ergebenden Beleuchtungsstärken sind in der Anlage 1 im Anhang beigelegt.

Die Energiebezugsfläche der Schulen mit Turnhallen beträgt 56.000 m² mit allen Klassen- und Fachräumen, aber ohne Nebenflächen. Die Gesamtfläche beträgt 63.000 m². Diese Fläche liegt noch niedriger als die Energieausweise und die Energiedatenerfassung, was darauf zurückzuführen ist, dass die Maßstäbe der Pläne nicht immer eindeutig sind. Die raumweise Erfassung dürfte jedoch am genauesten sein.

Die Baukörper stammen von der Jahrhundertwende 1900 bis zu den 1970er Jahren. Es sind unterschiedlich strukturierte Vollgeschosse mit teilweiser Unterkellerung vorhanden. In den Kellergeschossen befinden sich teilweise auch schlecht belichtete Fachräume.

2.2 Energieverbräuche

Der rechnerische Energieverbrauch der Beleuchtung aller Schulen liegt bei rund 593.000 kWh/a bei einem Gesamtverbrauch von 1.700 MWh Strom. Die Stromverbräuche sind in Tabelle 2 dargestellt, die Wärmeverbräuche in Tabelle 3 (nur zur Information, wird für die Förderanträge benötigt)

Tabelle 2 Stromverbräuche der 12 Schulen

Nr.	Schule	2003-2005 MWh/a	2006 MWh/a	2007 MWh/a	2008 MWh/a
Strom	Summe	1.791	1.860	1.802	1.687
1	AGS	64	74	53	25
2	ASS	106	105	105	113
3	BGS-AcS	191	224	207	181
4	Bon	44	44	44	41
5	BOS	590	642	610	538
6	EKS	107	83	65	65
7	IGS	182	206	206	214
8	Lei	92	92	92	92
9	LRS	81	51	74	65
10	StS	149	169	164	180
11	HLS	111	101	118	118
12	GGs	74	67	63	56

Tabelle 3 Wärmeverbräuche der 12 Schulen

Nr.	Schule	2003-2005 MWh/a	2006 MWh/a	2007 MWh/a	2008 MWh/a
Wärme	Summe	12.299	10.919	8.957	9.308
1	AGS	675	790	327	281
2	ASS	1.005	988	657	685
3	BGS-AcS	1.018	932	1.001	984
4	Bon	531	442	405	450
5	BOS	2.670	1.040	1.040	1.040
6	EKS	551	547	482	500
7	IGS	984	1.083	1.069	1.120
8	Lei	873	842	852	862
9	LRS	964	964	918	886
10	StS	928	1.031	431	636
11	HLS	1.514	1.731	1.208	1.402
12	GGs	585	529	568	462

2.3 Methodik und Berechnungsgrundlagen

2.3.1 Raumtypen

Die Räume wurden in Raumgruppen ähnlicher Nutzung (Klassen, Flure, Turnhalle, Nebenräume) zusammengefasst. Es gibt es eine Vielzahl von Klassen- und Fachraumtypen, für die jeweils ein eigenes Beleuchtungskonzept berechnet wurde (vgl. Dialux-Dateien). Um dies überschaubar zu halten, wurden Klassenraumtypen und Größenklassen zusammengefasst.

Tabelle 4 Übersicht Raumtypen und Bestandsdaten

Raum typ	Raumtyp	Fläche Gesamt	Leuchten Bestand	Gesamt-leistung	spez. Leistg.	Verbrauch	spez. Verbr.
Abk.	Raum	m ²	Stk	kW	W/m ²	MWh/a	kWh/m ² a
	Summe	56272	7399	743	13,2	593	10,5
		m ²	Stk	W	W/m ²	kWh/a	kWh/m ² a
	Innenräume Schulbetrieb						
KL	Klassen Standard Raster	23343	3725	375948	16,1	279969	12,0
KM	Klassen Fachräume	4163	744	72875	17,5	42832	10,3
Kü	Klassen Küchen	520	111	13042	25,1	11024	21,2
KV	Klassen Verwaltung	2266	377	40579	17,9	37235	16,4
KX	Klassen Diverse	1304	204	20561	15,8	12336	9,5
	Klassen Summe	31597	5161	523005	16,6	383397	12,1
VFI	Verkehrsflure	13281	722	64620	4,9	62231	4,7
VTr	Verkehrstreppen	4432	416	49912	11,3	49688	11,2
WC	Wassertoiletten	1414	308	17031	12,0	8674	6,1
Wa	Waschräume	160	28	1150	7,2	660	4,1
	Turnhallen und Nebenräume						
H	Turnhalle	2987,1	245	45121	15,1	45.121	15,1
Hem	Turnhalle Geräte	533,7	38	6002	11,2	3.650	6,8
SB	Schwimmbad	0,0	0	0	0,0	0	
HVFI	Turnhalle Flure	476,4	49	3265	6,9	3.166	6,6
HVTr	Turnhalle Treppen	25,9	6	496	19,1	496	19,1
TNDu	Turnhalle Duschen	381,3	49	3344	8,8	1.838	4,8
TNwa	Turnhalle Waschräume	137,6	17	1562	11,4	781	5,7
TUK	Turnhalle Umkleiden	697,1	89	8116	11,6	6.493	9,3
TWC	Turnhalle WC	148,2	40	2062	13,9	1.031	7,0
Au	Außenleuchten		231	17353		25.531	

Tabelle 4 zeigt die Daten.

Die Lichtkonzepte sind unterteilt in Konzepte für

1. Schulräume (Innen)

1.1 Klassenräumen und ähnliche (Typen KI – KX) Größenklassen 20 – 98 m²

1.2 Verkehrsflächen (Flure und Treppenhäuser)

1.3 WC

1.4 Waschräume

2. Turnhallen mit Nebenräumen mit

2.1 Turnhallen und Geräte Räume

2.2 Schwimmbad (nicht im Leistungsumfang)

2.3 Verkehrsflächen für die Hallen (Flure und Treppenhäuser)

2.4 Umkleiden, Dusch- und Waschräume, WC

3. Außenleuchten

Die Aufsummierung über alle Räumlichkeiten für den Bestand sind in der Anlage 2 zusammengefasst.

Die Details für die Sanierung bzw. Einsparung sind in den Anlagen 3 – 4 zusammengestellt.

2.3.2 Nutzungszeiten und Beleuchtungsstärken

Mit den Rechenblättern in Anlehnung LEE wurde der Bestand berechnet. Dabei wurden die Richtwerte des LEE, Amev und des Hochbauamts der Stadt Frankfurt zugrunde gelegt.

Tabelle 5 Nutzungszeiten nach LEE

Nutzungsart	Nutzungs- zeit	Nennbe- leuchtungs- stärke	Tageslicht- nutzung	Richtwert einfach	Richtwert verbessert
	h/a	Lux		h/a	h/a
Schulraum	2000	300	Überwiegend	750	400
			Zum Teil	1000	750
			Ohne	2000	1800
Büro	2750	300	Überwiegend	1000	500
Verkehrsflächen	2750	100	Überwiegend	1000	500
			Ohne	2750	2400

Die erforderlichen Grenz- und Zielwerte richten sich nach den Anforderungen des LEE und den Technischen Standards der Stadt Frankfurt. In der Tabelle 5 sind die für die Nutzungszonen geltenden Beleuchtungsstärken aufgeführt.

Tabelle 6 Beleuchtungsstärken für die Nutzungszonen nach LEE und Amev

Nutzung	Lux
Schulraum	300
Büro	300
Verkehrsflächen	100
Sporthalle Übung	200
Sporthalle Wettkampf	400

Die neue Amev 2008 fordert bei den Klassenräumen eine Tafelbeleuchtung mit 500 lx. Diese wird in der Regel durch die 2.Tafelleuchte erreicht.

2.3.3 Basisdaten Vollkostenrechnung

Die wirtschaftlichen Berechnungen sind nach den Vorlageblättern und Kalkulationsempfehlungen für Vollkostenrechnungen des Hochbauamts der Stadt Frankfurt durchgeführt, soweit nicht objektermittelte Kosten vorlagen.

Der Kapitalzins ist mit 4,5 % per a, die Energiepreissteigerungen mit 5% per a angesetzt. Der Betrachtungszeitraum wird auf 15 Jahre festgelegt.

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/Berechnung. Details können, sofern im Text nicht erläutert, separat abgefragt werden.

Die Benutzungszeit beträgt bei den Schulräumen 750 h/a bis 1000 h/a und bei der Sporthalle 1000 h/a, die Vollbetriebsstunden liegen bei 700-1000 (Fachräume) – 1000 h/a bei den Klassenräumen und 1000 h/a bei der Sporthalle. Damit sind die Benutzungsstunden teilweise etwas geringer als nach den Vorgaben des LEE. Grund hierfür ist der Tageslichtanteil in den Klassenräumen.

Gemäß den Richtlinien der Stadt Frankfurt sind für die CO₂-Emissionen 50 €/t als Umweltfolgekosten anzusetzen.

3 Beleuchtungskonzept

3.1 Klassenräume

3.1.1 Klassenraum Standard Raster

3.1.1.1 Ist-Zustand

Es gibt insgesamt 444 raumähnliche 45 - 87 m² große Klassenzimmer im Bestand mit einer Gesamtfläche von 23.300 m². Die installierte Leistung beträgt im Mittel 16 W/m² und ist somit deutlich über den Grenz- und Zielwerten der Stadt Frankfurt bei Neu- und Umbauten.

Bild 1 Typische Beleuchtungen in Klassenräumen



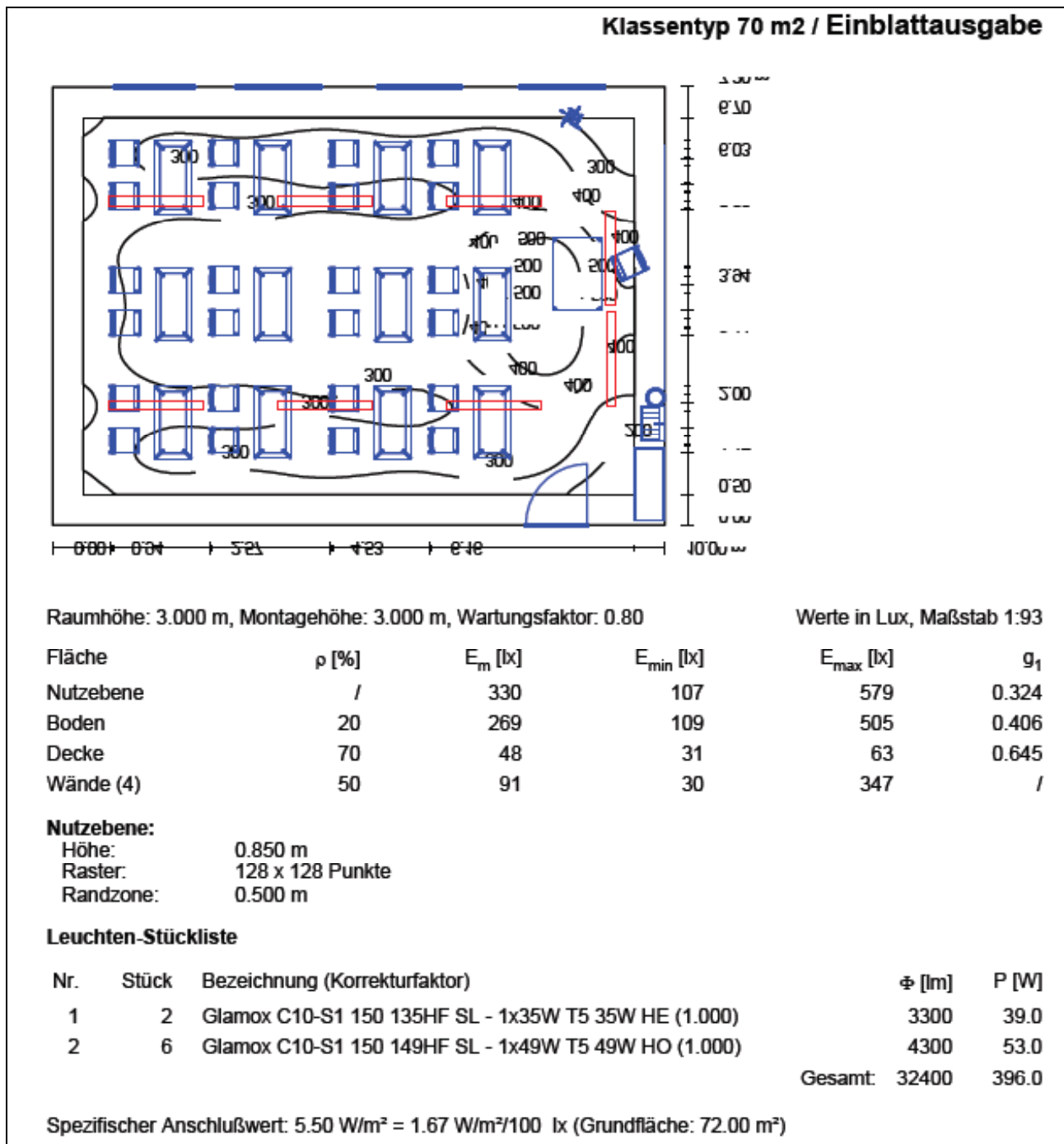
Die Klassenräume verfügen über 2 - 3 Lichtbänder mit 4 – 8 Anbauleuchten mit jeweils zweiflammigen Leuchtmittel a 58 W oder 36 W mit KVG. Jedes Lichtband ist einzeln schaltbar. Es gibt Raster-, Wannen und/oder Pendelleuchten

Die installierte Leistung liegt im Durchschnitt bei 16 W/m² pro Klassenzimmer. Beispiele zeigt Bild 1.

3.1.1.2 Maßnahmen

Als Sanierungsvarianten wurden T16/T5 Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät untersucht (EVG). Die EVG zeichnen sich dadurch aus, dass der Lampenverbrauch durch die längere Brenndauer geringer ist und der Gesamtverbrauch inklusive des EVG niedriger ist als bei VVG und KVG. Allerdings hängt der Verbrauch inklusive EVG stark von der Qualität der Geräte ab. Unter Praxisbedingungen wurden für verschiedene Fabrikate auch bis zu 10% höhere Werte gemessen. Zusätzlich wurde eine Lichtsteuerung mit Präsenzmeldern und Leistungssteuerung untersucht.

Abbildung 1 Rechenblatt Klassentyp 70 m² mit 6x1x49W + 2x1x35W



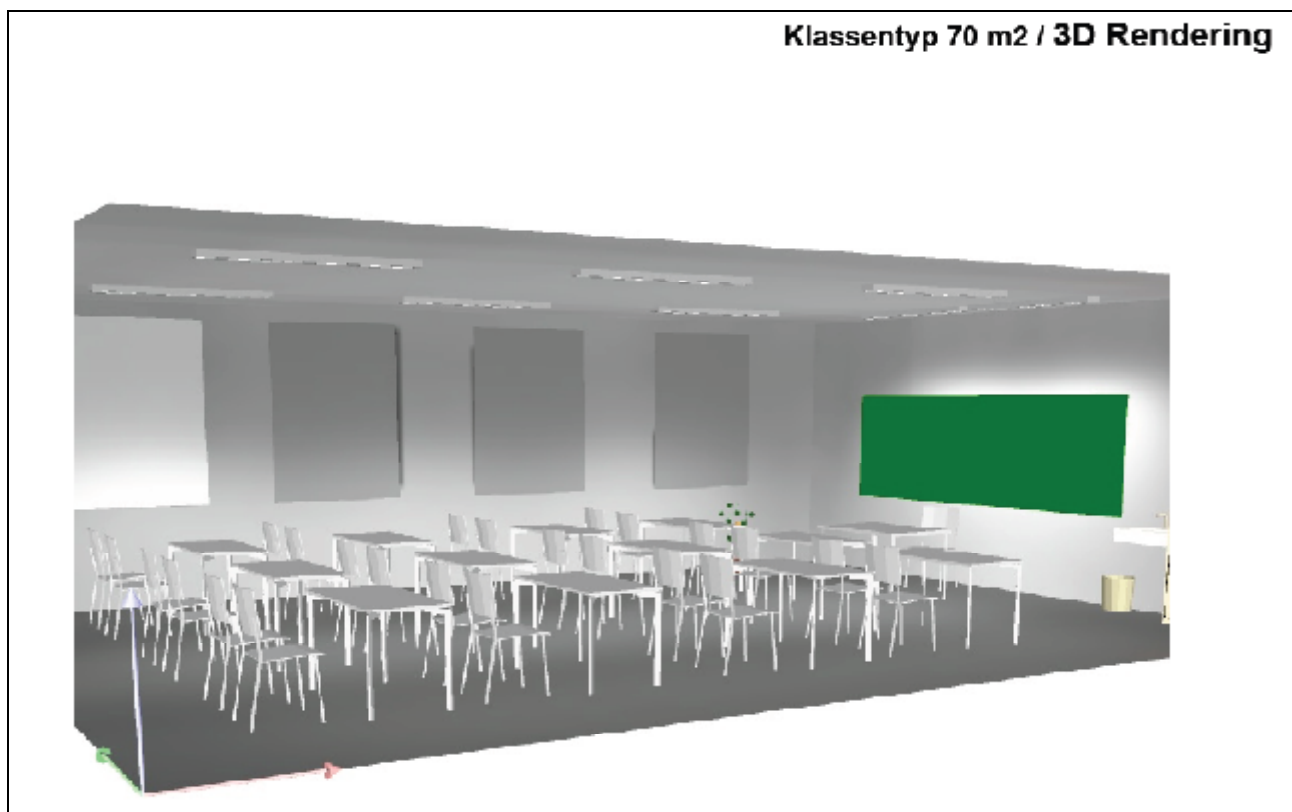
Die Räume wurden nach Größen und Formen sortiert. Für jede Klassenraumgröße 87, 70, 63, 56, 46 und 38 m² wurde eine Dialuxberechnung durchgeführt. Dabei wurde immer das in Frankfurt bereits im Rahmen der letzten Sanierungskampagne entwickelte Grundkonzept durchgesetzt:

Als Standard jeweils 2 Reihen a 3 Leuchten und 2 separate Tafelleuchten. Die unterschiedliche Raumgröße wird durch die Leistung der Einzelleuchten auf möglichst genau 300 lx mit einer Randzone von 0,5 m ausgelegt. Dabei können dann die Einzelleuchten zwischen 2 x 35 W, 1x 54 W, 1 x 49 W, 1 x 35 W bis 1 x 28W betragen. Die 2 Tafelleuchten sind bis auf wenige Ausnahmen immer jeweils 1 x 35 W.

Im Abbildung 1 ist die Raumverteilung für das 70 m² Klassenzimmer dargestellt. Die anderen Klassenraumgrößen und Typen sind in den Anlagen 5 dargestellt. Bei den längeren Raumtypen können auch 4 Leuchten pro Reihe auftreten, analog bei den kleineren 2 Leuchten pro Reihe. Bei breiten Räumen gibt es auch bis zu 3 Reihen.

Die Berechnung mit DiaLux zeigt, dass in den mittleren Klassentypen eine Leuchtenzahl von 8 ausreicht, um die erforderliche Beleuchtungsstärke von 300 Lux (hier 330) zu erreichen. Die installierte Leistung liegt dann bei jeweils 6 Stk 49 W-Leuchten und 2 Stk 35 W Leuchten (T16 1x49 W und 1x35 W plus EVG) mit EVG bei 5,5 W/m². Die Anordnung besteht aus zwei Leuchtenreihen mit jeweils 3 Leuchten und zwei querliegenden Leuchten über dem Lehrertisch bzw. Tafelbereich (T16 1x35 W plus EVG).

Abbildung 2 Klassentyp 70 m² mit Anbauleuchten



Die gleiche Berechnung wurde auch mit Pendelleuchten (80/20) durchgeführt. Das Ergebnis ist ähnlich. Da der Lichteindruck insgesamt noch gleichmäßiger wird, insbesondere durch die Deckenaufhellung, werden dort wo möglich oder bereits vorhanden, die leuchten abgependelt ausgeführt. Den Lichteindruck zeigt Abbildung 3.

Als zusätzliche Variante wurde die Tageslichtabschaltung in Kombination außenlichtabhängiger Beleuchtungssteuerung gerechnet. Diese Variante zeichnet sich dadurch aus, das Benutzer

unabhängig Licht nur dann in der Stärke zugeschaltet werden kann, die ausreichend ist, wenn der Außenlichtanteil nicht mehr für die Beleuchtungsstärke von 300 Lux ausreicht. Gleichzeitig wird durch einen Präsenzmelder sichergestellt, dass diese Funktion nur bei Raumnutzung stattfindet und ansonsten die Beleuchtung abgeschaltet ist.

Diese Variante spart besonders viel Strom bei hohem Fensteranteil, der hier bedingt gegeben ist. Die Investitionskosten sind höher und der bauliche Eingriff aufwendiger.

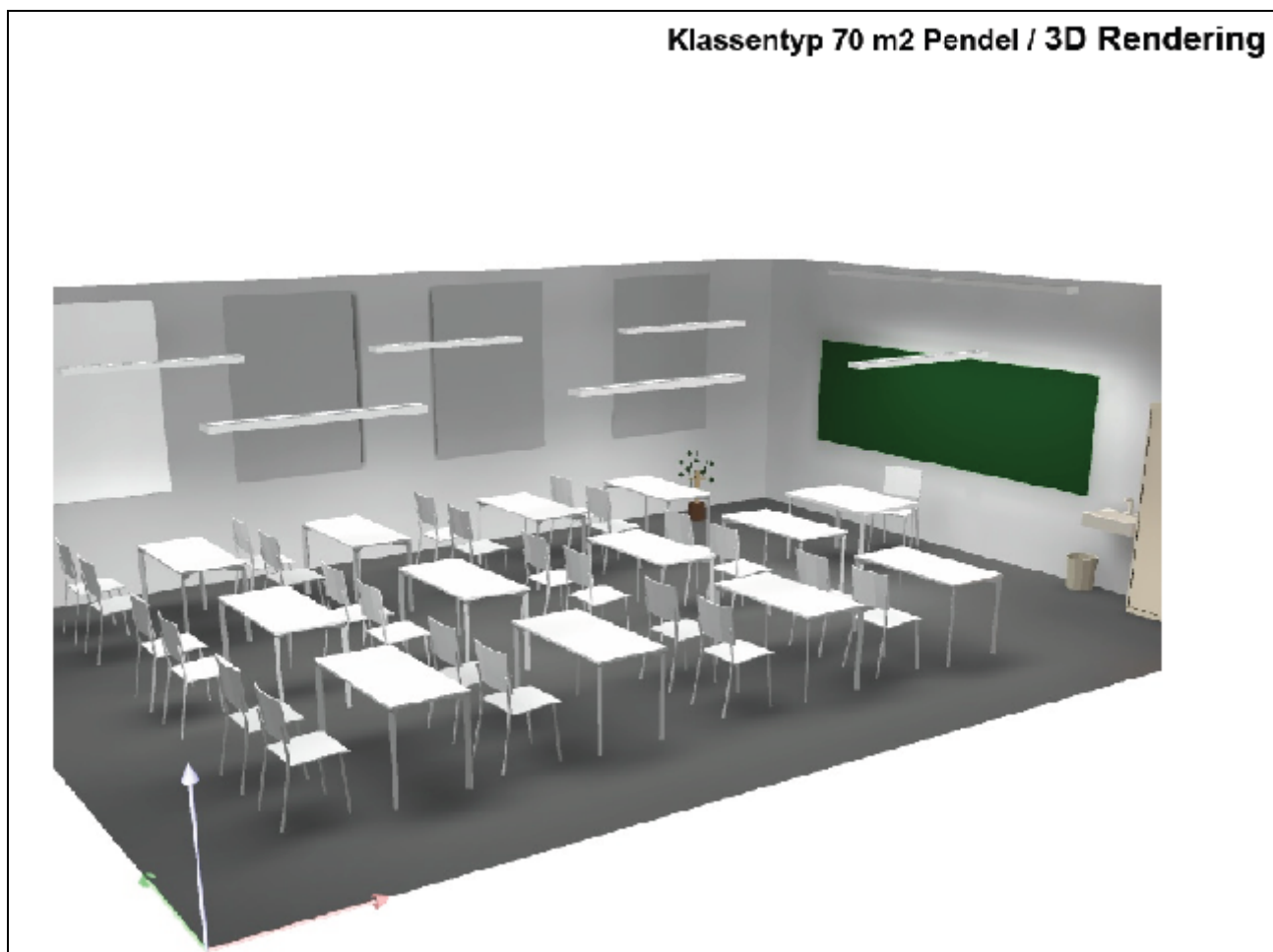
Dabei wurde ein System (Phillips oder vgl.) gewählt, das

1. komplett abschaltbar ist
2. dimmbar ist
3. Lichtregelung frei voreinstellbar
4. trennbar für Wand und Fenster

Das System arbeitet mit einer zentralen Lichtsteuerung mit integriertem Präsenzmelder, die direkt in der sog. Mutterleuchte sitzt. Von dieser werden alle anderen Leuchten mittels Bus angefahren. Diese haben dann nur noch ein dimmbares EVG (Dali), um die Lichtleistung einzustellen. Die Mutterleuchte kann bis zu 9 Leuchten ansteuern, d.h. in einigen Räumen mit mehr als 9 Leuchten ist ein zweites Gerät vorgesehen.

Über eine Fernbedienung wird einmal die Grundeinstellung vorgenommen, in die die Leuchten nach dem Abschalten immer wieder zurückfallen, wenn z.B. gedimmt worden ist. Damit ist dieses System weitestgehend unempfindlich gegen Verstellen, da nur noch mittels Taster ein/aus-geschaltet oder gedimmt werden kann.

Abbildung 3 Klassentyp 70 m² mit Pendelleuchten



3.1.2 Klassenraum Typ KM - KX

3.1.2.1 Ist-Zustand

Alle Räume, die nicht in das vorgenannte Raster (2 Reihen plus 2 Tafelleuchten) fallen sind in diese Gruppen zusammengefasst. Dazu gehören Werk-, Musik-, Koch- und sonstige Fachräume aber auch die Verwaltungsräume, wie Lehrerzimmer, Sekretariat, Elternzimmer und ähnliche. Typische Beispiele sind in Bild 2 dargestellt.

Allen Räumen ist gemein, dass sie völlig veraltete Leuchten mit KVG in 2,3,4 Fachkombinationen in 36, 58 W oder 18 W verfügen. Sofern Klarsichtwannen vorhanden waren sind diese im Lauf der Jahre blind geworden. Die Dimensionierung liegt im Mittel bei 17 W/m^2 .

Es gibt allerdings auch Extremfälle bis zu 40 W/m^2 .

Bild 2 Typische Klassenraumähnliche Beleuchtungen



Es kommt prinzipiell das gleiche Konzept zur Anwendung, aber ohne Tafelleuchten, so dass alle Leuchten i.d.R. im selben Raster untergebracht sind.

Auch hier wird die installierte Leistung auf 6 W/m^2 mit T5/16 Leuchten EVG mit Dali optimiert.

3.1.2.2 Maßnahmen

Die Räume werden für eine Sanierung mit einflammigen T16/5 1x18, 28, 35, 49 54 W plus EVG) Leuchten mit EVG vorgeschlagen. Es wird knapp auf 300 Lux ausgelegt. Es kommt die gleiche Lichtsteuerung wie in den Klassenräumen zum Einsatz.

3.1.2.3 Kostenrechnung

Die Kostenzusammenstellung für die 659 Klassen KI – KX ergibt einen Einzel-Bruttopreis bei den Leuchten mit EVG von 128 Euro pro Leuchte bzw. eine Gesamtsumme von 437.000 Euro. Die Kostenberechnung mit der Lichtsteuerung führt zu einem Durchschnittspreis von 185.- €/Leuchte bzw. zu insgesamt 633.000.- € Investitionsvolumen. Insgesamt werden in dieser Gruppe rund 4000 Leuchten demontiert und rund 3400 Leuchten neu installiert. Die Kostenberechnung zeigt Tabelle 7

Tabelle 7 Kostenberechnung Klassenraumsanierung

Position	Typ EVG	Einheit	Stk	Variante EVG+LS EZ €/Stk	Gesamt €		Stk	Variante EVG+LS EZ €/Stk	Gesamt €
Leuchtensanierung		plus							
Demontage Leuchten	2 x 58		4078	10,00	40.780		4.078	10,00	40.780
Demontage Kabel			2039	2,50	5.098		2.039	2,50	5.098
Demontage Sonstiges			3416		0		3416		0
Leuchten	1 x 49/54/35	Stk	3416	80,00	273.280		3.416	80,00	273.280
Leuchten	2 x 49	Stk	0	120,00			0	120,00	
Leuchten	1 x 18	Stk	0	55,00			0	55,00	
ESL	1 x 15	Stk	0	15,00			0	15,00	
Kabel	3 x 1,5	m	0	1,80			0	1,80	
Kabel	5 x 1,5	m	5200	2,00	10.400				
Dalimehrpreis			3416	20,00	68.320				
Steuergerät			520	150,00	78.000				
Singlepräsenzmelder									
Leitungsführungskanal	15x15	m	5124	1,90	9.736		5.124	1,90	9.736
AP Dosen			520	10,00	5.200		520	10,00	5.200
Lichtschalter			520	15,00	7.800		520	15,00	7.800
Lichttaster			520	15,00	7.800		0		
Malerarbeiten		20m ²	1708	15,00	25.620		1.708	15,00	25.620
Fahrgerüst			0	250,00				250,00	
Anfahrt			1	55,00	55		1	55,00	55
Wagnis Unterkonstruktion			0	20,00			0	20,00	
Summe netto					532.088				367.568
Steuer			19%		101.097				69.838
Summe brutto				185,36	633.185			128,05	437.406

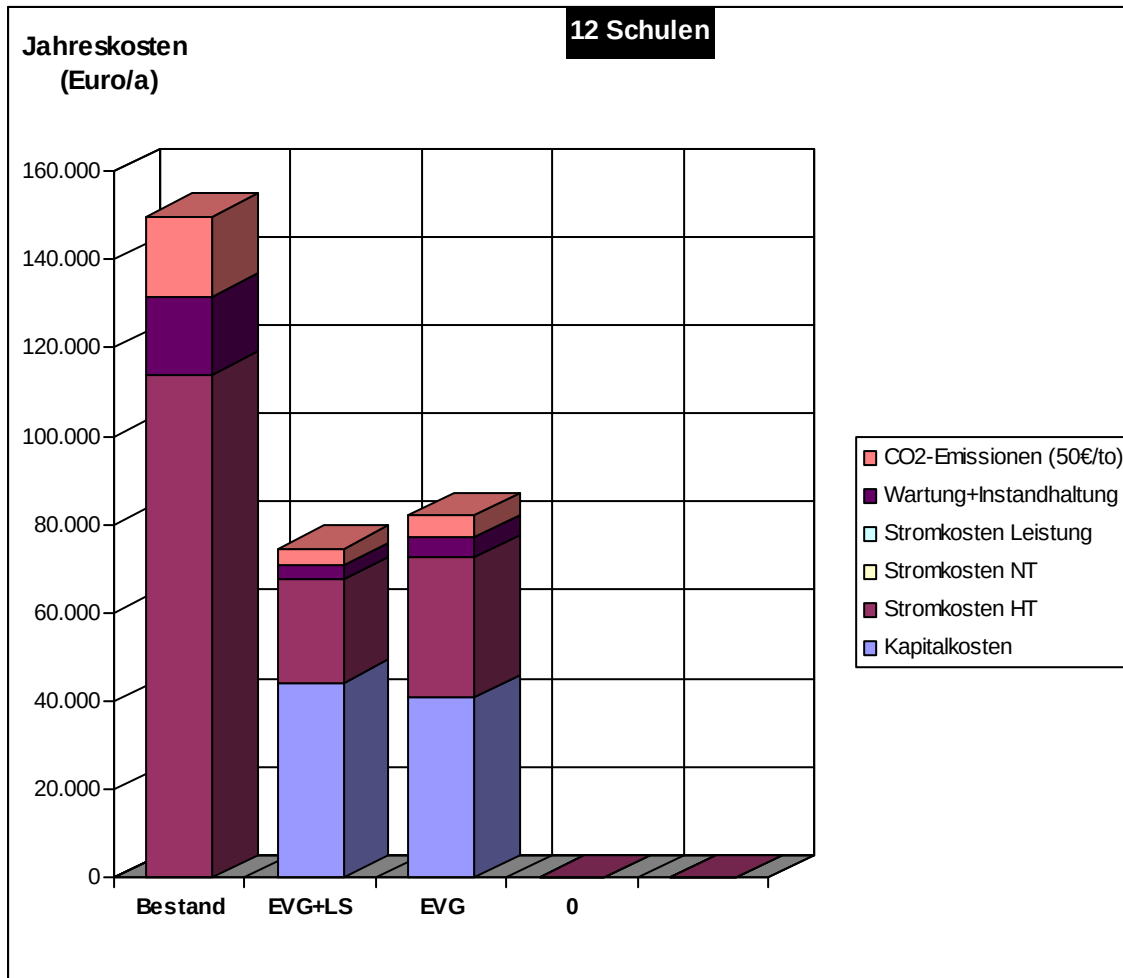
3.1.2.4 Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Tabelle 8 dargestellt.

Die Maßnahme amortisiert sich nach den vorgegebenen Standardbedingungen bei Leuchten nur mit EVG bei durchschnittlich 750 Bh nach 4,6 Jahren. Die Variante mit Tageslichtsteuerung ist daran gemessen unwirtschaftlicher, da die Amortisationszeit 6,2 Jahre beträgt. Durch den Zuschuss der Bundesregierung von 25% auf die Investitionssumme sinkt die Amortisationszeit auf 4,5 Jahre. Damit ist diese Variante trotz der höheren Investitionskosten durch die Einsparung an Strom dann günstiger.

Tabelle 8 Vollkostenrechnung Klassenräume

A. Allgemeine Daten					
A1	Liegenschaftsbezeichnung	12 Schulen	A2 Unterab.		
A3	Gebäudebereich	Klassenräume und ähnliche	A4 Str-Nr.		
A5	Straße		A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	15a			
A8	Kapitalzins	4,5%	A9 Annuitätsfaktor	0,093	
A10	Preissteigerung Energie	5%	A11 Mittelwertfaktor	1,45	
B. Varianten					
B0	Variante 0	Kürzel	Bezeichnung		
B1	Variante 1	Bestand	Anbauleuchten KVG		
B2	Variante 2	EVG+LS	Anbau Spiegel-Rasterleuchten	EVG pl. LS	
B3	Variante 3	EVG	Anbau Spiegel-Rasterleuchten	EVG	
B4	Variante 4				
C. Kenngrößen					
		Bestand	EVG+LS	EVG	
C1	Beleuchtete Fläche	31.597	31.597	31.597	m²
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	300	300	300	Lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	300	300	300	Lux
C4	Nutzungsdauer HAT	750	550	750	h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0		h/a
C6	Anzahl der Leuchten	4.078	3.416	3.416	Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	128	43	43	W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	17	5	5	W/m²
C9	Investition pro Leuchte	0	185	128	€/Leuchte
C10	Strompreis HAT	0,200	0,200	0,200	€/kWh
C11	Strompreis NT	0,145	0,145	0,145	€/kWh
C12	Leistungspreis	0	0		€/kWha
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	50%	50%	50%	%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	16.000	16.000	H
C15	Kosten für Lampenwechsel	30	20	20	€/Leuchte
D. Kapitalkosten					
		Bestand	EVG+LS	EVG	
D1	Investitionskosten	0	633.185	437.406	€
D2	Zuschüsse/Erlöse		-158.296		€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	474.889	437.406	€
D4	Kapitalkosten	0	44.219	40.729	€/a
D5	spez. Kapitalkosten	0	1		€/m²a
E. mittl. Betriebskosten					
		Bestand	EVG+LS	EVG	
E1	Stromkosten HAT	78.451	16.018	21.843	€/a
E2	Stromkosten NT	0	0		€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0		€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	12.234	2.316	3.158	€/a
E5	heutige Betriebskosten	90.685	18.334	25.000	€/a
E6	mittl. Betriebskosten	131.618	26.609	36.285	
E7	spez. Betriebskosten	3	1	1	€/m²a
F. Umweltfolgekosten					
		Bestand	EVG+LS	EVG	
F1	CO2-Emissionen (50€/to)	18.044	3.684	5.024	€/a
F2	Umweltfolgekosten	18.044	3.684	5.024	€/a
F3	spez. Umweltfolgekost.	1	0		€/m²a
G. Gesamtkosten					
		Bestand	EVG+LS	EVG	
G1	Gesamtkosten	149.662	74.512	82.037	€/a
G2	spez. Gesamtkosten	5	2	3	€/m²a
Amortisationszeit (Basis: Variante 1)			6,2	4,6	
Amortisationszeit mit Förderung			4,5		
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MwSt.)					

Diagramm 1 Vollkostenrechnung Klassenräume

3.1.2.5 Vergleich der Varianten

Im Vergleich der Varianten sind die EVG-Varianten in jedem Fall wirtschaftlicher als der Bestand, wobei die Lichtsteuerung + EVG wegen der Förderung etwas günstiger ist.

Aus diesem Grund wird die Ausführung dieser Variante empfohlen. Die installierte Leistung pro Fläche sinkt im Vergleich des Ist-Zustandes von 16 W/m^2 auf 6 W/m^2 .

Durch die Lichtsteuerung wird zusätzlich Energie gespart, weil die Betriebsstunden von 750 auf 550 sinken.

Die Einsparung an Leistung und Energie liegt somit bei ca. 75% für die Sanierung, bezogen auf den gesamten Bestand (incl. der Leuchten, die erhalten bleiben) in dieser Gruppe bei über 60%.

3.1.3 Anmerkungen zu Fachräumen

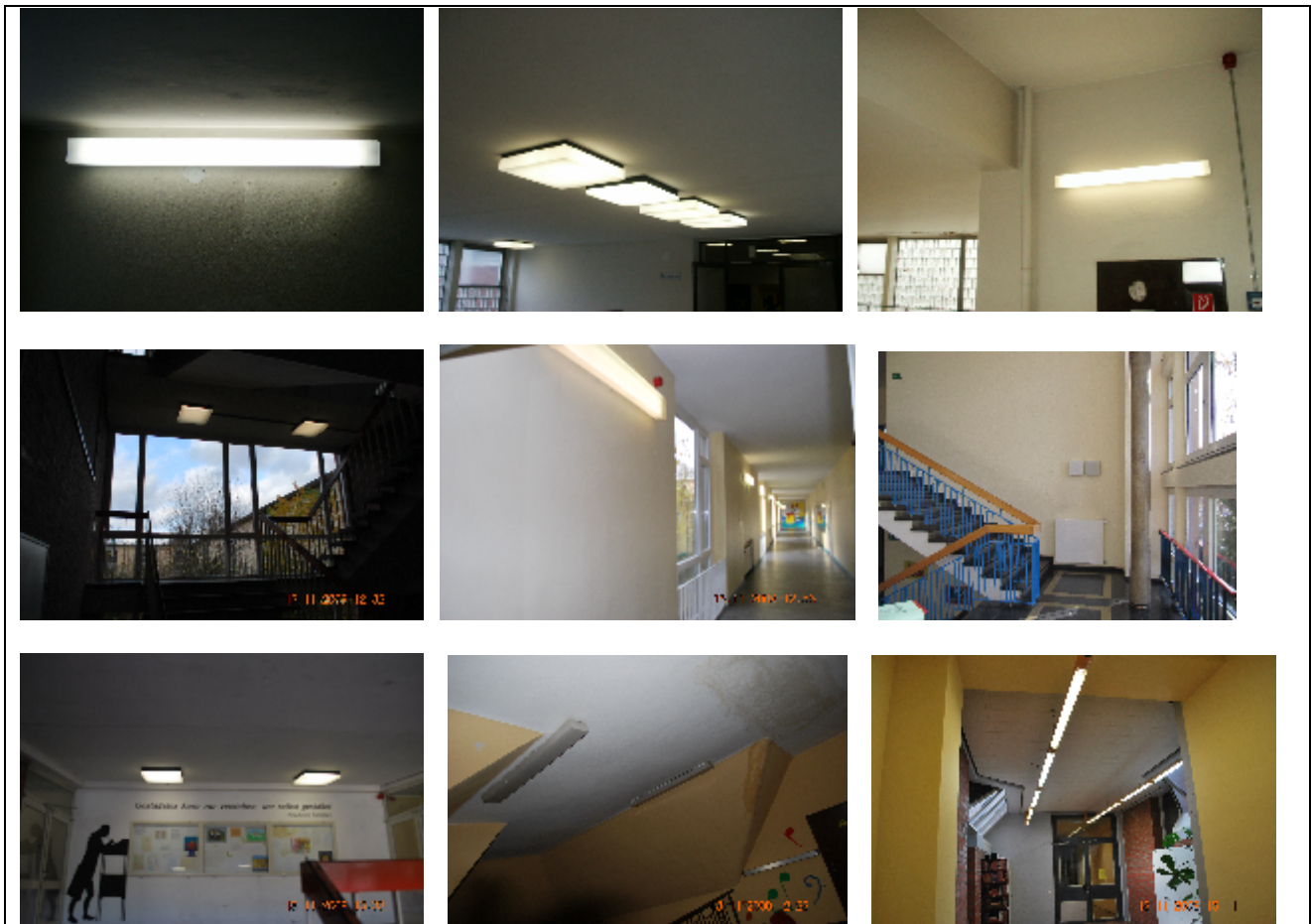
Für die Werkräume gibt es keine klare Lichtvorgabe. Für die unterschiedlichsten Tätigkeiten werden überwiegend 300 Lux angegeben. In Einzelfällen sind es auch 500 Lux oder mehr. Die Auslegung erfolgt auch auf 300 Lux.

3.1.4 Flure und Treppen

3.1.4.1 Ist-Zustand

Wie in den Bildern in Bild 3 ersichtlich, gibt es unterschiedlich installierte Beleuchtungsanlagen bei den Fluren. Teilweise sind vierflammige Leuchten mit 4 x 18 W und KVG installiert, teilweise sind auch Leuchtstoffröhren mit KVG und 1 x 58 W oder 2 x 58 W Leuchtmittel vorhanden.

Bild 3 Typische Flur und Treppenleuchten



Die installierte Leistung ist dementsprechend sehr unterschiedlich und reicht von ca. 2 bis 13 W/m² in den Fluren. Die meisten Flure sind nicht sehr hoch überdimensioniert, die Leuchtenwirkungsgrade sind aber aufgrund der veralteten Technik überwiegend schlecht.

3.1.4.2 Maßnahmen

Eine Sanierung ist vor allem als Modernisierungsmaßnahme wegen der veralteten Leuchten zu empfehlen. Durch die Bauweise (fast alle Leitungen liegen unter Putz und die Schalter haben keinen Nullleiter) müssten Bewegungsmelder zur Lichtsteuerung zusätzlich auf Putz oder unter Putz gelegt werden, was einen hohen Aufwand bedeutet. Aus diesem Grunde werden alle Leuchten mit Präsenzmeldern direkt in der Leuchte ausgestattet, so dass diese auf den alten Brennstellen installiert werden können.

Die Leuchten werden daher durchgehend gegen neue in T5/16 Technik mit EVG und Präsenzmelder ausgetauscht.

3.1.4.3 Kostenberechnung Flure und Treppen

3.1.4.4 Kostenberechnung Flure

Insgesamt sind 593 Leuchten im Wert von 90.000.- € (netto) zu tauschen. Die Differenzierung auf Flure ist in Anlage 3 zusammengestellt. Die Kostenzusammenstellung enthält Tabelle 9.

Tabelle 9 Kostenzusammenstellung Flure

Position	Typ EVG	Einheit	Stk	Variante EVG+LS EZ €/Stk	Gesamt €	Stk	Variante EVG EZ €/Stk	Gesamt €
Leuchtensanierung		plus						
Demontage Leuchten	2 x 58		619	10,00	6.190	619	10,00	6.190
Demontage Kabel			309,5	2,50	774	310	2,50	774
Demontage Sonstiges			593		0	593		0
Leuchten	1x35/49 Stk		593	80,00	47.440	593	80,00	47.440
Leuchten	2 x 49 Stk		0	120,00		0	120,00	
Leuchten	1 x 18 Stk		0	55,00		0	55,00	
ESL	1 x 15 Stk		0	15,00		0	15,00	
Kabel	3 x 1,5 m		0	1,80		0	1,80	
Kabel	5 x 1,5 m		0	2,00				
Dalimehrpreis			593	0,00	0			
Steuergerät			0	150,00	0			
Singlepräsenzmelder			593	50,00	29.650			
Leitungsführungskanal 15x15	m		889,5	1,90	1.690	890	1,90	1.690
AP Dosen			0	10,00		0	10,00	
Lichtschalter			0	15,00		0	15,00	
Lichttaster			0	15,00		0		
Malerarbeiten		m ²	296,5	15,00	4.448	297	15,00	4.448
Fahrgerüst			0	250,00			250,00	
Anfahrt			1	55,00	55	1	55,00	55
Wagnis Unterkonstruktion			0	20,00		0	20,00	
Summe netto					90.246			60.596
Steuer			19%		17.147			11.513
Summe brutto				181,10	107.393		121,60	72.110

3.1.4.5 Kostenberechnung Treppen

Insgesamt sind 402 Leuchten im Wert von 61.000.- € (netto) zu tauschen. Die Differenzierung auf die Treppen ist in Anlage 3 zusammengestellt. Die Kostenzusammenstellung enthält Tabelle 10.

Tabelle 10 Kostenzusammenstellung Treppen

Position	Typ EVG	Einheit	Stk	Variante EVG+LS EZ €/Stk	Gesamt €	Stk	Variante EVG EZ €/Stk	Gesamt €
Leuchtensanierung		plus						
Demontage Leuchten 2 x 58			401	10,00	4.010	401	10,00	4.010
Demontage Kabel			200,5	2,50	501	201	2,50	501
Demontage Sonstiges			402		0	402		0
Leuchten 1x35/49 Stk			402	80,00	32.160	402	80,00	32.160
Leuchten 2 x 49 Stk			0	120,00		0	120,00	
Leuchten 1 x 18 Stk			0	55,00		0	55,00	
ESL 1 x 15 Stk			0	15,00		0	15,00	
Kabel 3 x 1,5 m			0	1,80		0	1,80	
Kabel 5 x 1,5 m			0	2,00				
Dalimehrpreis			402	0,00	0			
Steuergerät			0	150,00	0			
Singlepräsenzmelder			402	50,00	20.100			
Leitungsführungskanal 15x15 m			603	1,90	1.146	603	1,90	1.146
AP Dosen			0	10,00		0	10,00	
Lichtschalter			0	15,00		0	15,00	
Lichttaster			0	15,00		0		
Malerarbeiten m ²			201	15,00	3.015	201	15,00	3.015
Fahrgerüst			0	250,00			250,00	
Anfahrt			1	55,00	55	1	55,00	55
Wagnis Unterkonstruktion			0	20,00		0	20,00	
Summe netto					60.987			40.887
Steuer		19%			11.588			7.769
Summe brutto				180,53	72.574		121,03	48.655

3.1.5 Toilettenanlagen

3.1.5.1 Ist-Zustand

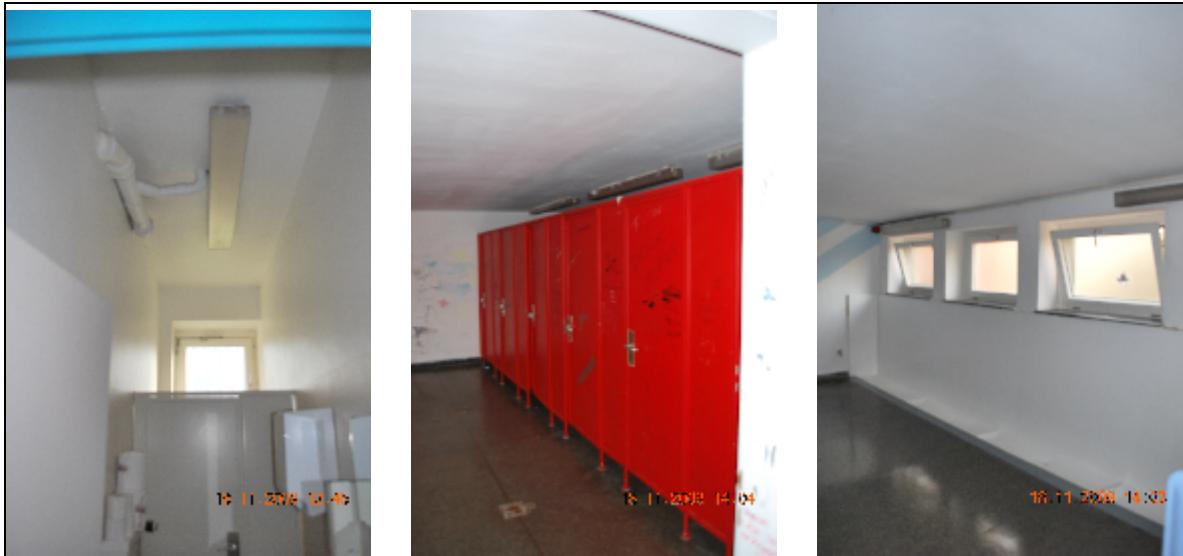
Die Beleuchtungsanlagen in den WCs sind mit durchschnittlich 12 W/m² oftmals deutlich überdimensioniert.

Bild 4 zeigt typische WC Beleuchtungen.

In den WC sollen Opalleuchten mit Präsenzmelder und Energiesparleuchten mit max. 15 W zum Einsatz kommen, um die installierte Leistung in Richtung 2 W/m² zu dimensionieren.

Insgesamt 175 Leuchten im Wert von 19.000.- € (netto) zu installieren, die Kostenzusammenstellung zeigt Tabelle 11.

Bild 4 Typische WC-Leuchten



3.1.5.2 Kosten WC

Tabelle 11 Kosten WC

Position	Typ EVG	Einheit	Stk	Variante EVG+LS EZ €/Stk	Gesamt €	Stk	Variante EVG EZ €/Stk	Gesamt €
Leuchtensanierung		plus						
Demontage Leuchten	2 x 58		204	10,00	2.040	204	10,00	2.040
Demontage Kabel			102	2,50	255	102	2,50	255
Demontage Sonstiges			0			0		
Leuchten	1 x 49	Stk	0	80,00		0	80,00	
Leuchten	2 x 49	Stk	0	120,00		0	120,00	
Leuchten	1 x 18	Stk	0	55,00		0	55,00	
ESL Opal	1 x 15	Stk	175	45,00	7.875	175	45,00	7.875
Kabel	3 x 1,5	m	0	1,80		0	1,80	
Kabel	5 x 1,5	m	0	2,00				
Dalimehrpreis			0	0,00				
Steuergerät			0	150,00	0			
Singlepräsenzmelder			175	50,00	8.750			
Leitungsführungskanal 15x15		m	0	1,90		0	1,90	
AP Dosen			0	10,00		0	10,00	
Lichtschalter			0	15,00		0	15,00	
Lichttaster			0	15,00		0		
Malerarbeiten		m ²	0	15,00		0	15,00	
Fahrgerüst			0	250,00			250,00	
Anfahrt			1	55,00	55	1	55,00	55
Wagnis Unterkonstruktion			0	20,00		0	20,00	
Präsenzmelder				115,00				
Summe netto					18.975			10.225
Steuer			19%		3.605			1.943
Summe brutto			129,03	129,03	22.580			12.168

3.2 Turnhallen und zugehörige Räume

Die Schulen verfügen über im wesentlichen 10 baugleiche Sporthallen zwischen 270 und 400 m². In den Sporthallen findet nur Trainingsbetrieb statt.

Die Sanierung der Turnhallen, der Verkehrsflächen und der Dusch und Umkleideräume wurden separat kalkuliert.

3.2.1 Turnhallen

3.2.1.1 Ist-Zustand Turnhallen

Die Gesamtfläche der Turnhallen beträgt zwischen 279 und 400m². Der Außenlichtanteil ist durch Oberlichtfenster groß, so dass im Regelfall die Beleuchtung tagsüber nicht an sein muss (vgl. Bild 5).

Diese sind mit veralteten Rasterleuchten in 2 x 58 W bzw. 3 x 58 ausgestattet. 2 Turnhallen sind mit 250 W Natriumdampflampen ausgestattet. Die installierte Leistung liegt zwischen 12 und 24 W/m².

Bild 5 Typische Turnhallenleuchten



Die Turnhallen verfügen über 3 (2) Lichtbänder a 6 – 12 Einbauleuchten (mittlere Reihe mit 9 Einbauleuchten) mit jeweils 3 x 58 W oder 2 x 58 W KVG- Leuchten. (Bild 11)

Im Bestand ist eine Leistung von $15,1 \text{ W/m}^2$ installiert.

Die Nutzungszeit der Hallen beträgt rund 2.500 h pro Jahr. Für die Berechnung der Verbräuche für die Beleuchtung wurde von etwa 1.000 Vollbenutzungsstunden ausgegangen.

Für den Betrieb der Hallen wird ein Richtwert für die Nennbeleuchtungsstärke von (E_n) von 200 Lux (lx) gemäß AMEV-Richtlinie zugrunde gelegt. Im Übungsbetrieb müssen 200 Lux und im Wettkampfbetrieb 400 Lux erreicht werden.

3.2.1.2 Maßnahmen

Für die typische Turnhalle ergibt das Rechenblatt für Leuchten mit einem Lichtstrom von 6700 Lumen und einem Wirkungsgrad von 80 % eine Leuchtenzahl von 18 Stk 2x36W.

Die vorhandene Beleuchtung sollte gegen Einbau Spiegelrasterleuchten mit EVG, Dreiband-Leuchtstofflampen sowie ggf. Schutzgitter ausgetauscht werden.

Anstelle der dreiflämmigen Leuchten mit 3 x 58 W werden jeweils die gleiche Leuchtenanzahl zweiflämig 2 x 36 W mit EVG insgesamt also 18 Leuchten mit je 2 Leuchtmitteln, eingesetzt. Abbildung 4 zeigt die typische Anordnung.

Die veraltete und überdimensionierte Beleuchtung wird gegen neue energiesparende Leuchten mit EVG in T26/T8 Technik ausgetauscht werden. (Anm.: Die Turnhallen liegen teilweise sehr exponiert und die Decken sind schlecht bis gar nicht gedämmt. Wegen des geringeren Eigentemperaturbedarfs zur Erreichung der Lichtleistung sind daher T8 Leuchten vorgesehen.)

Die 3-flämigen Einbauleuchten in der Decke werden gegen 2-flämige, getrennt schaltbare ballwurfsichere Rasterleuchten mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) in 2 x 36 W gewechselt.

Die Verschaltung der Beleuchtung wird verändert:

Stufe 1 Mittelreihe	1. Flamme
Stufe 2 Seitenreihen	1. Flamme
Stufe 3 alle Reihen	2. Flamme

Das Lichtbild zeigt Abbildung 5. Trotz der Ausdünnung der Beleuchtung wird ein gleichmäßiger Lichteindruck erreicht.

Von den Lichtreihen werden über drei Taster jeweils die einzelnen Lichtbänder über je einen Taster geschaltet. Damit ergibt sich die Möglichkeit abgestuft jeweils nur 1/6 der Gesamtleistung zu schalten. Durch einen Präsenzmelder werden die Stufen 1 – 3 blockiert, bzw. freigegeben.

Die Position der Leuchten im Deckenspiegel wird auf optimale Anordnung verändert, wenn die Decken erneuert werden.

Der Nebenräume für die Geräte werden zusätzlich mit einer Lichtsteuerung (Bewegungsmelder) versehen.

Abbildung 4 Rechenblatt Turnhalle

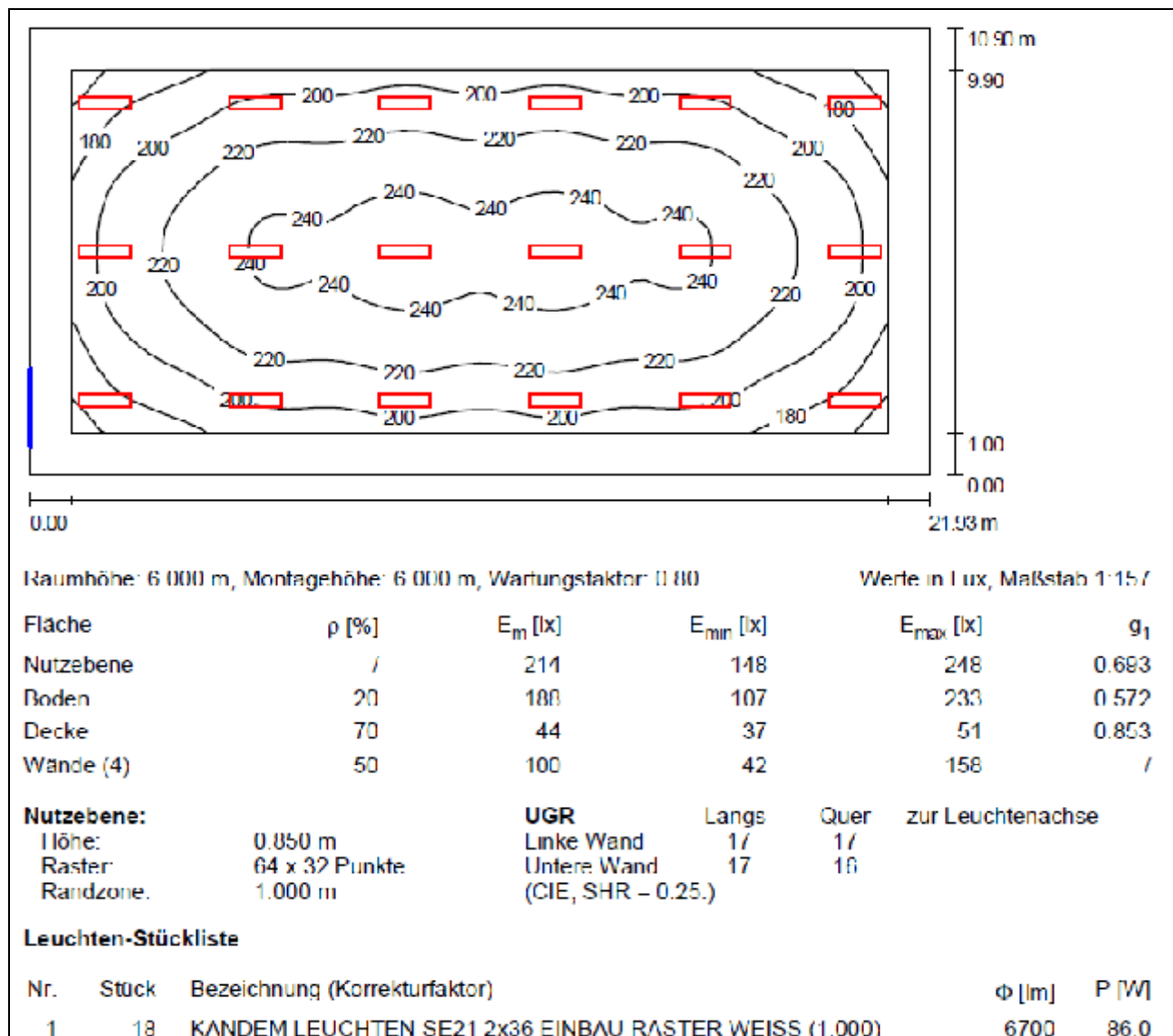


Abbildung 5 Lichtbild sanierte Turnhalle



3.2.1.3 Kostenrechnung Turnhallen

Als Sanierungsvarianten wurden Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät untersucht (EVG). Die Kostenzusammenstellung ergibt einen Einzel-Bruttopreis von ca. 216 Euro pro Leuchte mit bzw. eine Gesamtsumme von 40.000.- Euro (brutto) bei den 184 Leuchten mit EVG. Mit Lichtsteuerung in Form von Präsenzmeldern liegen die Kosten bei 216.- €/Leuchte insgesamt bei 40.000.-€. (incl. Mwst.) Tabelle 12 zeigt die Kostenzusammenstellung.

Tabelle 12 Kostenzusammenstellung Turnhallen

Position	Typ EVG	Einheit	Stk	Variante EVG+LS EZ €/Stk	Gesamt €	Stk	Variante EVG EZ €/Stk	Gesamt €
Leuchtensanierung		plus						
Demontage Leuchten	2/3 x 58		235	10,00	2.350	235	10,00	2.350
Demontage Kabel			117,5	2,50	294	118	2,50	294
Demontage Sonstiges			184		0	184		0
Leuchten	2 X 36	Stk	160	140,00	22.400	160	140,00	22.400
Leuchten	1 x 36	Stk	24	120,00	2.880	24	120,00	2.880
Notleuchten	1 x 18	Stk	0	55,00		0	55,00	
ESL	1 x 15	Stk	0	15,00		0	15,00	
Kabel	3 x 1,5	m	0	1,80		0	1,80	
Kabel	5 x 1,5	m	180	2,00	360			
Dalimehrpreis				20,00				
Steuergerät			18	0,00	0			
Singlepräsenzmelder			18	150,00	2.700			
Leitungsführungskanal 15x15	m		240	1,90	456	240	1,90	456
AP Dosen			18	10,00	180	18	10,00	180
Lichtschalter			18	15,00	270	18	15,00	270
Lichttaster			18	15,00	270	0		
Malerarbeiten		20m ²	80	15,00	1.200	80	15,00	1.200
Fahrgerüst			0	250,00			250,00	
Anfahrt			1	55,00	55	1	55,00	55
Wagnis Unterkonstruktion			0	20,00		0	20,00	
Summe netto					33.415			30.085
Steuer			19%		6.349			5.716
Summe brutto				216,11	39.764		194,57	35.801

3.2.2 Verkehrsflächen der Turnhallen

Auch die Beleuchtung der Verkehrsflächen ist mit $7,5 \text{ W/m}^2$ erheblich überdimensioniert. Bild 6 zeigt typische Beleuchtungen. Die Leuchten in den Fluren werden konsequent auf 2 W/m^2 dimensioniert. Die Kosten sind in Tabelle 13 zusammen gestellt.

Bild 6 Typische Beleuchtung Flure in Turnhallen



Tabelle 13 Kosten Turnhalle Verkehrsflächen

Position	Typ EVG	Einheit	Stk	Variante EVG+LS EZ €/Stk	Gesamt €	Stk	Variante EVG EZ €/Stk	Gesamt €
Leuchtensanierung		plus						
Demontage Leuchten 2 x 58			401	10,00	4.010	401	10,00	4.010
Demontage Kabel			200,5	2,50	501	201	2,50	501
Demontage Sonstiges			49		0	49		0
Leuchten 1x35,49,54 Stk			49	80,00	3.920	49	80,00	3.920
Leuchten 2 x 49 Stk		Stk	0	120,00		0	120,00	
Leuchten Stk		Stk	0	55,00		0	55,00	
ESL Stk		Stk	0	15,00		0	15,00	
Kabel 3 x 1,5 M		M	0	1,80		0	1,80	
Kabel 5 x 1,5 M		M	0	2,00				
Dalimehrpreis			49	0,00	0			
Steuergerät			0	150,00	0			
Singlepräsenzmelder			49	50,00	2.450			
Leitungsführungskanal 15x15 M		M	73,5	1,90	140	74	1,90	140
AP Dosen			0	10,00		0	10,00	
Lichtschalter			0	15,00		0	15,00	
Lichttaster			0	15,00		0		
Malerarbeiten m ²		m ²	24,5	15,00	368	25	15,00	368
Fahrgerüst			0	250,00			250,00	
Anfahrt			1	55,00	55	1	55,00	55
Wagnis Unterkonstruktion			0	20,00		0	20,00	
Summe netto					11.443			8.993
Steuer			19%		2.174			1.709
Summe brutto					277,91 13.618			218,41 10.702

Insgesamt werden 49 Leuchten im Gesamtwert von rund 11.000.- (netto) saniert.

3.2.3 Umkleiden, Duschräume, Waschräume, WC

Auch die Beleuchtung der Nebenräume ist mit durchschnittlich 12 W/m^2 erheblich überdimensioniert.

Bild 7 zeigt typische Beleuchtungen. Die Leuchten werden konsequent auf 2 W/m^2 dimensioniert und erhalten Präsenzmelder. Dort, wo Nulleiter vorhanden sind, erfolgt die Montage von opto/akustischen Präsenzmeldern direkt in der Schalterdose, ansonsten in der Leuchte. Die Feuchträume erhalten wasserfeste Wannenleuchten.

Die durchschnittlichen Kosten sind pro Leuchte mit 130.- in den Dusch- und Waschräumen, 140.- in den Umkleiden und 120.- in den WC kalkuliert. Insgesamt werden 142 Leuchten im Gesamtwert von knapp 19.000.- netto saniert.

Bild 7 Typische Beleuchtungsanlagen Umkleiden



3.3 Außenanlagen

Bei den Außenleuchten sind 2 Typen zu unterscheiden:

1. Einbauleuchten in Gänge und unter Decken
2. Aufbauleuchten an Fassaden

Bild 8 Aufbauleuchten Außen



3.3.1 Auf- und Einbauleuchten

Die Einbauleuchten sind in der Regel klassische 18/36/58 W Kombinationen mit KVG.

Hier sind 26 Stk 18 W, 15 Stk 36 W und 33 Stk 58 W insgesamt 74 Leuchten installiert, sowie 6 Stk. mit Glühlampen 60 W

Bild 9 Unterbauleuchten im Außenbereich



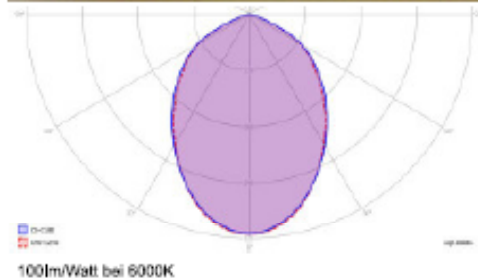
Die klassischen Leuchtstoffröhren werden durch LED Röhren ersetzt, so dass das Leuchtgehäuse erhalten bleiben. Den LED Typ zeigt Bild 10.
Die Starter und Vorschaltgeräte werden überbrückt oder, wo leicht möglich, ausgebaut.

Die Glühlampen werden durch Energiesparlampen ersetzt.

Dies verursacht in der Summe Kosten von knapp 7.000.-

Bild 10 LED Röhren

Technische Daten: Power TL LED Röhre CL Coverlos			
	TL-1500-CL	TL-1200-CL	TL-600-CL
Anzahl LED:	420 DIP LED	330 DIP LED	168 DIP LED
Lichtstrom (lm):	typ. 1800	typ. 1500	typ. 730
Nennleistung:	18 Watt	15 Watt	8 Watt
Konstruktionsleistung:	21 Watt	17 Watt	10 Watt
Länge:	1500mm	1200mm	600mm
Gewicht:	475 gr	401 gr	227 gr
Betriebsspannung:	230 VAC / 12 VDC		
Powerfaktor:	>0,9		
Arbeitstemperatur:	-40 -60 °C		
Lichtfarbe:	4000-4500K, 5000-6000K, 6000-6500K (Standardwerte auf Anfrage)		
CRI_Ra:	Ra ~ 80		
Socket:	G13		
Abstrahlwinkel:	120° / 90°		
Durchmesser:	26 mm		
Mittlere Lebensdauer:	30,000 - 50,000 Std*		
Lichtstromrückgang:	30% nach 30,000 Std*		
Energieeffizienz:	Brutto: 100 lm/W, mit Verlustanteile 85 lm/W		
Vorteil:	verbesserte Kühleigenschaften durch Aluminium-Housing, Keine Standtemperatur innerhalb der Glas-hülle, Keine Bruchgefahr des Glases mehr,		



3.3.2 Aufbauleuchten Fassade

Die Aufbauleuchten sind in der Regel HQL – Strahler. Diese werden durch LED-Außenleuchten ersetzt. Dies sind insgesamt 40 Stk mit Gesamtkosten von rund 32.000.

Die genaue Aufstellung ist in der Anlage 4 beigefügt.

Bild 11 LED Aufbauleuchten



Technische Daten in Anlage 6

4 Gesamtmaßnahme

Für die unterschiedlichen Raumtypen wurde eine neue Beleuchtungsanordnung mit neuen Spiegelrasterleuchten im T16/ T5 Standard mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) konzipiert. Als weitere Variante, und letztendlich diesem Bericht zugrunde gelegte Konzeption, wurde dieselbe Anordnung, aber mit Lichtsteuerung gewählt. Die Kostenübersicht zeigt Tabelle 14.

Tabelle 14 Kostenübersicht Leuchtensanierung

Raum typ	Raum typ	Kosten netto*)	Fläche san.	Leucht. neu	Gesamt-leistung	spez. Leistg.	Verbr.	spez. Verbr. San	Strom san **)	Proz auf San.
Abk.	Raum		m ²	Summe	kW	W/m ²	MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	in %
	Summe	805.000	47313	5082	195	4,1	119	2,5	-370	-76
			m ²	Stk	W	W/m ²	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/a	in %
	Innenräume Schulbetrieb									
KL	Klassen Standard Raster		19517	2600	110460	5,7	61309	3	-184968	-75%
KM	Klassen Fachräume		3156	481	19342	6,1	8379	3	-20988	-72%
Kü	Klassen Küchen		102	18	735	7,2	465	5	-1620	-78%
KV	Klassen Verwaltung		1484	195	9380	6,3	6351	4	-15383	-71%
KX	Klassen Diverse		940	122	5701	6,1	2417	3	-5986	-71%
	Klassen Summe	532.000	25200	3416	145618	5,8	78921	3	-228945	-74%
VFI	Verkehrsflure	90.000	12076	593	17374	1,4	12629	1	-45644	-78%
VTr	Verkehrstreppen	61.000	4276	402	11730	2,7	8747	2	-31585	-78%
WC	Toiletten	19.000	1041	175	2625	2,5	1018	1	-6057	-86%
Wa	Waschräume	500	91	6	0	0,0	0	0	-121	
	Turnhallen und Nebenräume									
H	Turnhalle	33.400	2355	160	11520	4,9	8640	3,7	-28174	-77%
Hem	Turnhalle Geräte	incl.	437	24	1203	2,8	505	1,2	-1895	-92%
SB	Schwimmbad		0	0	0	0,0	0	0,0	0	
HVFI	Turnhalle Flure	11.400	465	40	1065	2,3	791	1,7	-2022	-72%
HVTr	Turnhalle Treppen	incl.	26	4	56	2,2	42	1,6	-454	-92%
TNDu	Turnhalle Duschen	5.200	375	40	1092	2,9	457	1,2	-1357	-75%
TNwa	Turnhalle Waschräume	2.100	138	16	442	3,2	166	1,2	-615	-79%
TUK	Turnhalle Umkleiden	8.000	687	57	1660	2,4	996	1,4	-5474	-85%
TWC	Turnhalle WC	3.500	148	29	487	3,3	183	1,2	-848	-82%
Au	Außenleuchten	39.000		120	4		5408		-16591	-75%

In einigen Räumen wird die Beleuchtung erhalten, da diese entweder von untergeordneter Bedeutung ist oder erst kürzlich ein Ersatz stattgefunden hat.

Insgesamt kann so die installierte Leistung von 13 auf 4 W/m² als Mittelwert über alle Räume und Nutzungszonen (zwischen 100 - 300 Lux) gesenkt werden. Dies entspricht einer Verringerung der installierten Leistung um rund 70%.

Die Gesamtmaßnahme führt inklusive der Flure, Eingangshalle und Nebenräume sowie der Sporthallen und der Nebenräume der Sporthallen zu Kosten in Höhe von 805.000.- Euro (netto).

Im direkten Vergleich ergeben sich durchschnittliche Kennwerte für alle Maßnahmen, die in Tabelle 14 dargestellt sind. Hier ist die Summe aller Maßnahmen zusammen gefasst. Dabei sind auch alle Leuchten enthalten, die im Rahmen der Sanierung erhalten bleiben.

Bezieht man diese Kosten quasi auf eine durchschnittliche Leuchte und wendet auf diese die Wirtschaftlichkeitsrechnung der Stadt Frankfurt an, so rechnet sich die Maßnahme unter Standardnutzungsbedingungen bei durchschnittlich 814 Betriebsstunden über alle Räume innerhalb von 6,3 Jahren (vgl. GesWi , Tabelle 15). Wendet man die Lichtsteuerung an, so sinken die Betriebsstunden auf rund 570 h/a. Wegen der höheren Investitionssumme beträgt die Amortisation 8,1 Jahre. Wenn die Bundesförderung in Höhe von 25% auf die Investitionssumme zum Tragen kommt verringert sich dieser Wert auf 5,8 Jahre. Das Ergebnis der Berechnungen zeigt neben Tabelle 15 Diagramm 2 anschaulich.

Diagramm 2 Gesamtwirtschaftlichkeit der Vollkostenrechnung

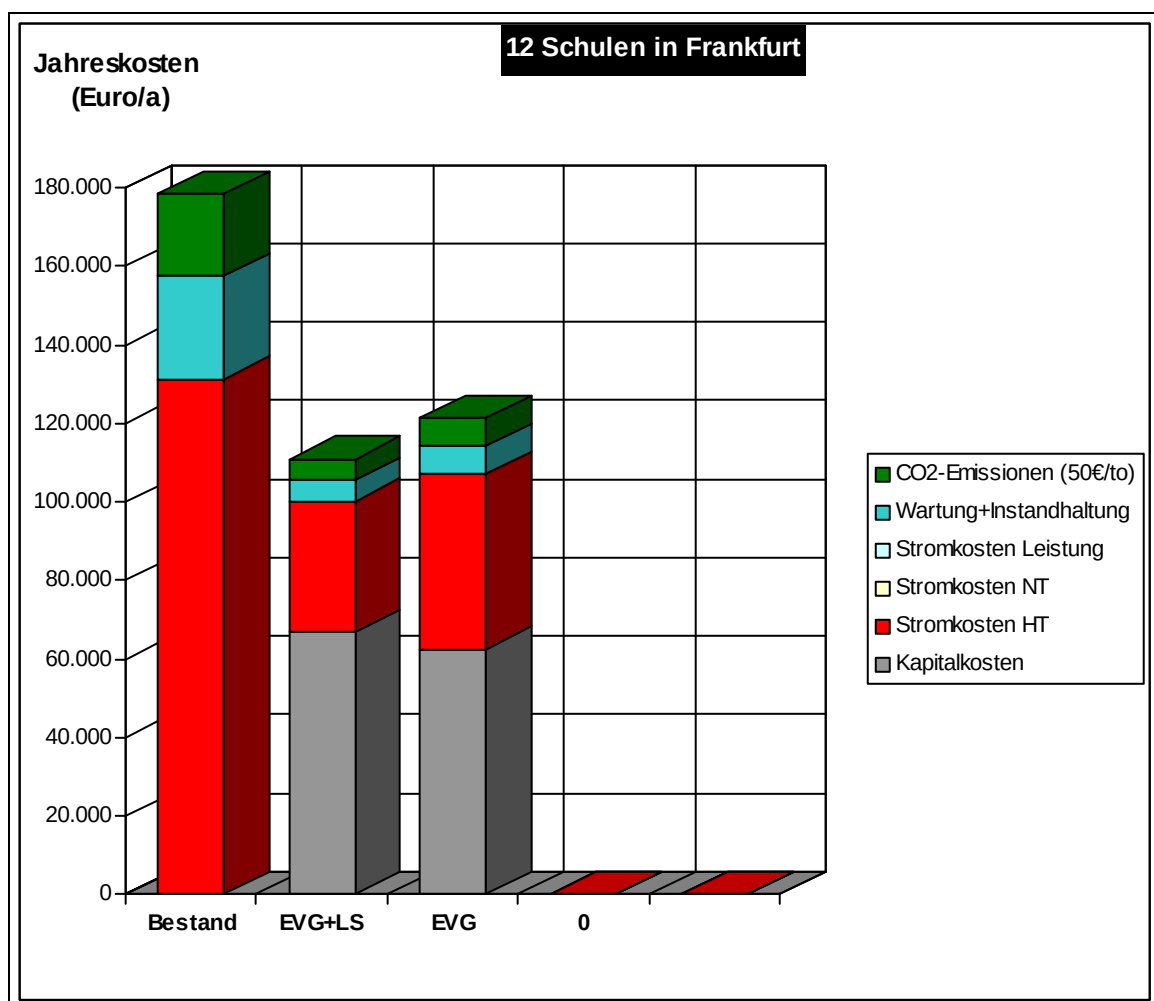


Tabelle 15 Vollkostenrechnung wirtschaftliches Bauen Stadt Frankfurt

Allgemeine Daten				
Liegenschaftsbezeichnung	12 Schulen in Frankfurt	A2 Unterab.		
Gebäudebereich	Schule, Turnhallen, Außen	A4 Str-Nr.		
Straße		A6 Haus-Nr.		
Betrachtungszeitraum	15A			
Kapitalzins	4,5%	A9 Annuitätsfaktor	0,093	
Preissteigerung Energie	5%	A11 Mittelwertfaktor	1,45	
Varianten	Kürzel	Bezeichnung		
Variante 0	Bestand	Anbauleuchten KVG		
Variante 1	EVG+LS	Spiegel-Rasterleuchten EVG pl. LS		
Variante 2	EVG	Spiegel-Rasterleuchten EVG		
Variante 3				
Variante 4				
Kenngößen	Bestand	EVG+LS	EVG	
Beleuchtete Fläche	47.313	47.313	47.313	m²
Soll-Beleuchtungsstärke	100 - 300	100 - 300	100 - 300	lux
Ist-Beleuchtungsstärke	100 - 300	100 - 300	100 - 300	lux
Nutzungsdauer HT	814	570	814	h/a
Nutzungsdauer NT	0	0		h/a
Anzahl der Leuchten	5.823	5.082	5.082	Stück
Anschlußleistung Leuchte	100	39	39	W/Leuchte
Leistung pro Fläche	12	4	4	W/m²
Investition pro Leuchte	0	188	132	€/Leuchte
Strompreis HT	0,200	0,200	0,200	€/kWh
Strompreis NT	0,145	0,145	0,145	€/kWh
Leistungspreis	0	0		€/kWha
Anteil Bel. an Leistungsmax.	50%	50%	50%	%
Lebensdauer d. Leuchtmittel	7.500	16.000	16.000	h
Kosten f. Leuchtmitteltausch	30	20	20	€/Leuchte
Kapitalkosten	Bestand	EVG+LS	EVG	
Investitionskosten	0	957.950	670.565	€
Zuschüsse/Erlöse		-239.488		€
Eigenkapitaleinsatz	0	718.463	670.565	€
Kapitalkosten	0	66.899	62.439	€/a
Spez. Kapitalkosten	0	1		€/m²a
mittl. Betriebskosten	Bestand	EVG+LS	EVG	
Stromkosten HT	94.798	22.595	32.267	€/a
Stromkosten NT	0	0		€/a
Stromkosten Leistung	0	0		€/a
Wartung+Instandhaltung	18.960	3.570	5.099	€/a
heutige Betriebskosten	113.758	26.165	37.365	€/a
Mittl. Betriebskosten	165.107	37.975	54.231	
Spez. Betriebskosten	2	1	1	€/m²a
Umweltfolgekosten	Bestand	EVG+LS	EVG	
CO2-Emissionen (50€/to)	21.804	5.197	7.421	€/a
Umweltfolgekosten	21.804	5.197	7.421	€/a
Spez. Umweltfolgekost.	0	0		€/m²a
Gesamtkosten	Bestand	EVG+LS	EVG	
Gesamtkosten	186.910	110.071	124.091	€/a
Spez. Gesamtkosten	4	2	3	€/m²a
Amortisationszeit (Basis: Variante 1)		8,1	6,3	
Amortisationszeit mit Förderung		5,8		

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

Die Vollkosten sinken von rund 187.000.- auf knapp 110.000.- €/a.

Insgesamt werden 5082 Leuchten (incl. 80 Leuchtmittel) mit durchschnittlichen Kosten von 188.- €/Leuchte inklusive aller Nebenkosten neu angebracht. Rund 2300 Leuchten im Bestand bleiben erhalten, weil in Nebenräumen von untergeordneter Bedeutung oder bereits ersetzt.

Die Verteilung der Investitionssumme auf die einzelnen Schulen zeigt Tabelle 16. Im Rahmen der Abwicklung ist die schulweise Ausschreibung vorgesehen.

Tabelle 16 Aufteilung der Investitionskosten auf die 12 Schulen

	Liegenschaft	Invest. (€)	akt. Einspar. (€/a)
1	Ackermansschule / Bürgermeister-Grimm-Schule	127.000	-13.600
2	August-Gräser-Schule	48.400	-4.200
3	Albert-Schweitzer-Schule	60.800	-3.400
4	Berthold-Otto-Schule	68.900	-5.800
5	Brüder-Grimm-Schule	54.500	-6.400
6	Bonifatiuschule	33.000	-2.000
7	Erich-Kästner-Schule	45.800	-2.400
8	Helene-Lange-Schule	138.600	-7.000
9	IGS Nordend	129.600	-8.600
10	Ludwig-Richter-Schule	53.700	-3.000
11	Leibnizschule	85.100	-7.600
12	Stauffenbergschule	110.300	-10.200
	Summe (incl. Mwst.)	955.700	-74.200

5 Zusammenfassung

Untersucht wurden die Beleuchtungsanlagen von 12 Schulen in Frankfurt. Die Energiebezugsfläche beträgt rund 56.000 m² mit verschiedenen Klassen- und Fachräumen und Turnhallen. Vorgeschlagen wird eine Sanierung mit verschiedenen hocheffektiven verspiegelten Leuchtentypen in T16/T5 -Technik mit EVG und Lichtsteuerung.

Insgesamt gibt es in den untersuchten Schulen 7.400 Leuchten bei einer beleuchteten Gesamtfläche von 56.000 m². Die gesamt installierte elektrische Leuchtenleistung beträgt 743 kW. Dies entspricht einer spezifischen Leistung von 13,2 W/m². Der Verbrauch liegt bei 593 MWh/a oder 10,5 kWh/m²a.

Von diesen werden rund 5.800 Leuchten von einer Gesamtfläche von 47.000 m² demontiert und durch 5.100 neue energiearme Leuchten, mit Präsenz- und/oder Leistungssteuerungen versehen, ersetzt. Der Rest bleibt im Bestand, weil entweder bereits erneuert oder in Nebenräumen von untergeordneter Bedeutung mit geringen Betriebsstunden.

Installiert sind 599 kW Lichtleistung in den zu sanierenden Bereichen. Diese wird auf 195 kW reduziert. Damit reduziert sich auch die mittlere installierte Leistung von 13 W/m² auf 4 W/m². Dies entspricht einer Verringerung der installierten Leistung um rund 70%. Die Anzahl der Leuchten wird dabei von 5.800 auf 5.000 reduziert. Die installierte Systemleistung verringert sich dabei von durchschnittlich 100 W auf 39 W pro Leuchte. Die wichtigsten Daten sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Der Stromverbrauch verringert sich von 490 MWh auf 113 MWh bei einer durchschnittlichen Betriebsstundenzahl von 570 h statt 814 h. Dadurch findet außerdem eine Entlastung um 222 t CO₂/a statt.

Bei allen Umrüstungen wird der geforderte Beleuchtungsstandard von 300 Lux in den Büro-, Fach und Klassenräumen erreicht. Die Sanierungsvariante mit Drei-Banden Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) ist gegenüber dem Bestand unter Vollkostengesichtspunkten nach dem Berechnungsmodell der Stadt Frankfurt am günstigsten.

Für die überwiegende Zahl der Räume rechnet sich die Umrüstung unter Vollkostengesichtspunkten und Standardnutzungsbedingungen (bei Vollkostenrechnung nach Frankfurter Modell) innerhalb von 6 Jahren. In der Praxis werden einige Räume durch verringerte Nutzung nicht die Einsparpotentiale unter Standardnutzungsbedingungen erreichen.

Die gesamte Maßnahme amortisiert sich dennoch nach rund 8,1 Jahren nach den Vollkostenberechnungen der Stadt Frankfurt, bei Inanspruchnahme der Förderung für die Lichtsteuerung und die LED-Leuchten nach 5,8 Jahren

Limburg-Linter, den 24.01.2010

Hans-Gerhard Kitzerow

Tabelle 17 Die wichtigsten Daten auf einen Blick

Position	Einheit	IST	Neu
Fläche	m ²	47000	47000
Lichtanschlussleistung (el)	kW	599	195
spez. Leistung	W/m ²	12,7	4,1
Anzahl Leuchten	Stk	5823	5082 *)
Durchschnittliche Leistung pro Leuchte	W/Leuchte	100	39
rechnerischer Verbrauch pro Jahr	MWh/a	488	119
spez. Verbrauch	kWh/m ² a	10,3	2,4
Investitionskosten (netto)	€	0	805.000

*) incl LED Leuchtmitteltausch

Anlage 1

Verzeichnis der Abkürzungen Räume

K Klassen und ähnliche, davon

KL	Klassenräume und klassenraumähnliche im Klassenraster
KM	Musikzimmer, Aufenthalt, Pausenhallen Werken, Nebenräume ect.
KV	Verwaltungsräume, Lehrerzimmer, Sekretariat, Büros ect.
KX	Sonstige Räume (Arzt, Elternsprechzimmer, Lehrmittel) ect.
Kü	Küchen und Kochräume

VFl	Flure
VTr	Treppenhäuser
WC	Toilettenräume
Wa	Waschräume

Th	Turnhallen
H	Turnhalle
Hem	Geräteräume
SB	Schwimmbad
Nr	Nebenraum
TNDu	Dusche
TNWa	Waschräume
TUK	Umkleiden
Te	Technik
TVFL	Flur
TVTr	Treppe
TWC	WC Toilettenräume

AU	Außenbereiche
----	---------------

Abkürzungen Schulen

Abk.	Nr.	Name
AGS	1	August-Gräser-Schule
ASS	2	Albert-Schweitzer-Schule
AcS	3a	Ackermannschule
BGS	3b	Bürgermeister-Grimm-Schule
Bon	4	Bonifatius-Schule
BOS	5	Berthold-Otto-Schule
EKS	6	Erich-Kästner-Schule
IGS	7	Integrierte Gesamtschule
Lei	8	Leibnitzschule
LRS	9	Ludwig-Richter-Schule
STS	10	Stauffenbergschule
HLS	11	Helene-Lange-Schule
GGs	12	Gebrüder-Grimm-Schule