

## Bericht Lichtkonzept für die Sporthalle der Friedrich-Ebert-Schule, Frankfurt

### Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	2
2. Ist-Zustand .....	2
3. Berechnungen .....	3
3.1 Betriebszeiten .....	3
3.2 Rechenwerte EDS für die Sporthalle .....	3
3.3 Rechenwerte EDS für die Dusch- und Umkleideräume .....	4
4. Maßnahmen.....	4
4.1 Turnhalle.....	4
4.2 Dusch- und Umkleideräume / Flure .....	5
5. Kostenrechnung zu den Maßnahmen .....	5
5.1 Sporthalle .....	5
5.2 Duschen und Umkleiden .....	8
6. Zusammenfassung.....	10
7. Anlagen .....	11

### Verzeichnis der Bilder

Bild 1 Turnhalle Friedrich-Ebert Schule .....	1
Bild 2 Deckenansicht Leuchten Turnhalle    Bild 3 Deckenansicht Umkleiden .....	2

### Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Nutzungsstunden Sporthalle Friedrich-Ebert-Schule .....	2
Tabelle 2 Kostenzusammenstellung Lichtsanierung Sporthalle .....	5
Tabelle 3 Gesamtkostenrechnung Sporthalle .....	6
Tabelle 4 Kostenzusammenstellung Beleuchtung Umkleiden und Duschen .....	7
Tabelle 5 Gesamtkosten Umkleiden/Duschen .....	8
Tabelle 6 Rechenblatt für Sporthalle Bestand.....	10
Tabelle 7 Rechenblatt für Sporthalle Sanierung mit EVG .....	11
Tabelle 8 Rechenblatt für Umkleiden .....	12
Tabelle 9 Rechenblatt für Umkleiden mit EVG.....	13
Tabelle 10 Lampen in der Turnhalle Friedrich Ebert Schule .....	14

### Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 1 Gesamtkostenvergleich Leuchtensanierung Sporthalle .....	7
Diagramm 2 Gesamtkostenvergleich Beleuchtung Umkleiden / Duschen .....	9

## 1. Einleitung

Die Untersuchung wurde durch das Referat Energiemanagement der Stadt Frankfurt auf Anregung des Hausverwalters, dem permanenter Lichtbedarf in der Sporthalle auffiel, in Auftrag gegeben.

Untersucht wurden die Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch die Beleuchtung in

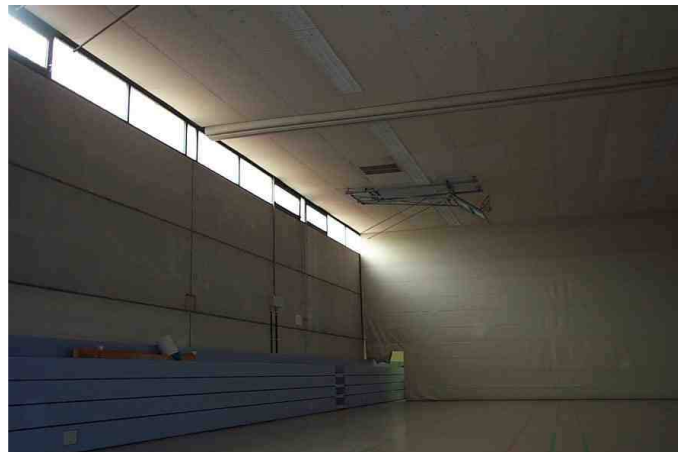
- der Turnhalle
- den Umkleieräumen, Duschen und den Fluren (WCs)

In 2 Vor-Ort Terminen wurden die Beleuchtungsstärken und die elektrische Verschaltung aufgenommen, da die vorhandenen Pläne zwar den Bestand der Brandmeldetechnischen Einrichtungen und der Leuchten, aber nicht der Kabeltrassen und Verschaltungen zeigen.

## 2. Ist-Zustand

Die Turnhalle besteht aus drei einzeln abtrennbaren Hallen mit je ca. 460 m<sup>2</sup> EBF, die als einzelne Turnhallen autark nutzbar sind. Die Gesamtfläche der Halle beträgt insgesamt rund 1.400 m<sup>2</sup>. Die Zonen sind lichttechnisch gleich ausgestattet. Der Außenlichtanteil ist gering, so dass im Regelfall die Beleuchtung an ist (vgl. Bild 1).

**Bild 1 Turnhalle Friedrich-Ebert Schule**



Jede Einzelturnhalle verfügt über 4 Lichtbänder a 8 (2 x 4) Einbauleuchten von denen 4 direkt hintereinander mit jeweils 3 Lampen a 58 W pro Leuchte angeordnet sind (siehe Bild 2). Von den 4rer Lichtbändern werden über drei Taster jeweils die innenliegenden Einbauleuchten über je einen Taster und die außenliegenden gemeinsam mit einem Taster geschaltet. Damit ergibt sich die Möglichkeit abgestuft  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{3}{4}$  der Gesamtleistung von insgesamt 20,5 kW Betriebsleistung (KVG) bzw. 6,8 kW pro Einzelhalle zu schalten.

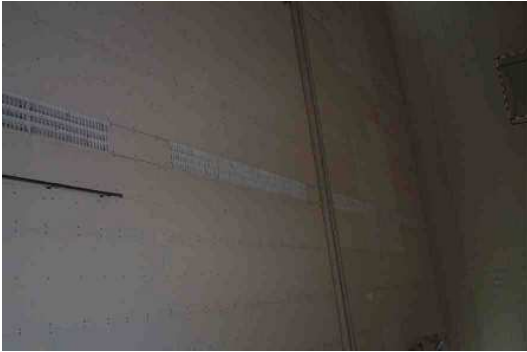
Die Wände sind in Sichtbeton gehalten bzw. verschmutzt, so dass der Reflexionsgrad eher gering ist.

Jedem Turnhallenteil sind jeweils 1 Flur mit 3 Leuchten a 2 Lampen a 58 W mit abgehängten Decken zugeordnet.

Vom Flur gehen jeweils 2 Umkleiden ab, die in 4 Duschräume mit 6 Zapfstellen münden. Im Flur, den Umkleiden und den Duschen brennt nach Auskunft des Hausmeisters fast permanent Licht.

Darüber hinaus gibt es noch kleine separate Lehrerumkleiden mit Duschen und WCs. Diese sind wegen der geringen Nutzung und geringen Leistungen nicht betrachtet.

**Bild 2 Deckenansicht Leuchten Turnhalle**    **Bild 3 Deckenansicht Umkleiden**



Die vorhandene Beleuchtung ist in der Tabelle 10 auf Seite 14 aufgelistet. Die insgesamt installierte Leistung liegt bei rund 30 kW, der Verbrauch bei mindestens 45.000 kWh pro Jahr.

### 3. Berechnungen

#### 3.1 Betriebszeiten

Die Sporthalle wird vormittags von der Schule und nachmittags, sowie Sams- und Sonntags durch Vereine (überwiegend im Winterhalbjahr) genutzt. Die Nutzungszeiten zeigt Tabelle 1.

**Tabelle 1 Nutzungsstunden Sporthalle Friedrich-Ebert-Schule**

Ort	Nutzer	Uhr	Uhr	Personen	Stunden	Häufigkeit		Summe	E
		Von	Bis			pro d o. Ereig	pro Woche		
				n	h/d o. h/E	Anz/Wo		h	
SP	Schule	08:00	16:00	1	8,0	5,0	40	1.600h/a	
SP	Reinigung	16:00	17:30	1	1,5	5,0	40	300h/a	
SP	Samstagssport	13:00	22:00	1	9,0	1,0	25	225h/a	
SP	<b>Sonntagssport</b>	09:00	22:00	<b>1</b>	<b>13,0</b>	<b>1,0</b>	<b>25</b>	<b>325h/a</b>	
SP	Wochensport	17:30	22:30	1	5,0	5,0	25	625h/a	
Summe Nutzungsstunden								<b>3.075h</b>	

Die Benutzungszeiten sind in der Tabelle 1 Nutzungsstunden Sporthalle Friedrich-Ebert-Schule aufgelistet. Danach wird die Halle rund 3.000 h pro Jahr genutzt. Für die Berechnung der Verbräuche für die einstufigen Beleuchtungen wurde von 2.500 h ausgegangen. Da die Beleuchtung der Halle mehrstufig ist wird von 1.750 Vollbenutzungsstunden ausgegangen.

#### 3.2 Rechenwerte EDS für die Sporthalle

Die Turnhalle hat nur einen geringen Tageslichteinfall, so dass im Regelfall die Beleuchtung in Betrieb ist. Für den Betrieb der Halle wird ein Richtwert für die Nennbeleuchtungsstärke von ( $E_n$ ) von 300 Lux (lx) gemäß LEE zugrunde gelegt. Lt AMEV- Richtlinie müssen im Übungsbetrieb 200 Lux und im Wettkampfbetrieb 400 Lux erreicht werden. Der Wettkampfbetrieb ist nicht geplant.

Orientierungsmessungen in 0,85 m bis 1,00 m Höhe zeigten bei Vollbeleuchtung Beleuchtungsstärken zwischen 220 und 260 Lux. Damit wird der Zielwert von 300 Lux nicht aber der AMEV Wert

200 Lux für Trainingsbetrieb erreicht. Die gemessenen Werte wurden in das Rechenblatt EDS mit 240 Lux Beleuchtung eingegeben.

Damit gibt es für die abgetrennte Einzelturnhalle einen theoretischen Lampenbedarf von 94 Stück. Installiert sind 96 Lampen, womit die Berechnungen und gemessenen Werte hinreichend übereinstimmen. (Die Berechnung ist in Tabelle 6 Rechenblatt für Sporthalle Bestand auf Seite 10 beige-fügt)

Damit ist die bestehende Beleuchtung nach Leitfaden für die Turnhalle unterdimensioniert. Darauf weist auch der Kennwert von  $12 \text{ W/m}^2$  (vgl. Tabelle für die installierte Leistung) hin, der für ein Gebäude dieses Alters eher niedrig liegt. Der Trainingswert von 200 Lux wird erreicht.

Daher wurde ein Austausch gegen Leuchten mit Dreibandlampen und EVG untersucht. Die Berechnung zeigt, dass bei Austausch der dreiflämmigen gegen zweiflämmige Leuchten die Vorgabe LEE von 300 Lux mit 64 Lampen knapp erreicht wird. Hierzu braucht die Anordnung im bestehenden Deckenspiegel nicht verändert zu werden. Werden nur 200 Lux gefordert reichen theoretisch 44 Lampen aus. Diese Anordnung könnte durch Austausch der Einbauleuchten gegen einflämige (gleich 32 Lampen) und 3 Zwischenreihen a 4 Aufbauleuchten mit je einer Lampe erreicht werden. Hierzu sind jedoch die statischen Voraussetzungen der Decke zu prüfen und zusätzliche Verkabelungsarbeiten erforderlich. Als praktikablere Lösung wurde daher der Austausch der Einbauleuchten untersucht, da auch hiermit die 200 Lux Lösung geschaltet werden kann. (Die Berechnung ist in Tabelle 7 Rechenblatt für Sporthalle Sanierung mit EVG auf Seite 11 beige-fügt)

### 3.3 Rechenwerte EDS für die Dusch- und Umkleideräume

Die Umkleiden, Flure und Duschen haben nur einen geringen Tageslichteinfall, so dass im Regelfall die Beleuchtung in Betrieb ist. Für den Betrieb wird ein Richtwert für die Nennbeleuchtungsstärke von ( $E_n$ ) von 200 Lux (lx) zugrunde gelegt, der mit der bestehenden Beleuchtung z.Zt sicher erreicht wird.

Orientierungsmessungen in 0,85 m bis 1,00 m Höhe zeigten bei Vollbeleuchtung Beleuchtungsstärken zwischen 220 und 300 Lux. Damit wird der Zielwert von 200 Lux erreicht. Die gemessenen Werte wurden in das Rechenblatt EDS mit 200 Lux Beleuchtung eingegeben.

Die Berechnungen zeigen dass für die geforderte Beleuchtungsstärke auch jeweils 2 einflämige Leuchten mit EVG ausreichen würden. Vgl. Rechenblatt Tabelle 9 Rechenblatt für Umkleiden mit EVG Seite 13.

Daher wurde neben der zeitlichen Nutzungseinschränkung über Bewegungsmelder auch die Umrüstung der Leuchten untersucht.

## 4. Maßnahmen

### 4.1 Turnhalle

Die vorhandene Beleuchtung sollte gegen Einbau Spiegelraster Einbauleuchten mit EVG, Dreiband-Leuchtstofflampen sowie ggf. Schutzgitter ausgetauscht werden. Anstelle der Einbausituation mit 3 Leuchten werden jeweils Lampen mit 2 Leuchten eingebaut. Die Verschaltung wird derart geändert das jeweils pro Lichtband die 4 in Reihe liegenden Leuchten, 3 in Reihe liegende Leuchten oder 1 Leuchte geschaltet werden kann. Damit ergibt sich als Schaltmöglichkeit  $\frac{1}{8}$  (Not- und Reinigungsarbeiten),  $\frac{3}{8}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{5}{8}$  oder  $\frac{7}{8}$  der Gesamtleistung. Damit ist die Abstufung günstiger als bei der jetzigen Situation. Die  $\frac{5}{8}$  Stufe entspricht dabei der Trainingssituation mit 200 Lux.

Sollte sich herausstellen, das nach Öffnung der Decke ein Verziehen der bestehenden Kabel nicht im erforderlichen Umfang möglich ist kann alternativ auch folgende Verschaltung vorgesehen werden:

Eine Lampe aus einem innenliegenden Feld wird auf ein außenliegendes geschleift. Dies kann ohne Probleme durchgeführt werden, da die bisher installierte Leistung nicht erreicht oder überschritten wird. Damit lässt sich auch die vorgeschlagene Schaltung realisieren.

Zusätzlich sollten die Wände weiß gestrichen werden, um den Reflexionsgrad zu erhöhen.

## 4.2 Dusch- und Umkleieräume / Flure

Da die Duschen und Umkleieräume seltener genutzt werden als die Turnhalle ist ein bedarfsorientiertes Beleuchtungskonzept sinnvoll. Um die Beleuchtung nur während der tatsächlichen Benutzung zu gebrauchen empfehlen wir den Einbau von Bewegungsmeldern (opto/akustisch) statt der manuellen Taster.

Dadurch lassen sich die Betriebszeiten auf weniger als 1500 Betriebsstunden vermindern. Zusätzlich wurde die Ausrüstung mit Dreibandlampen und EVG untersucht.

In den Fluren ist bereits jede 2. Lampe herausgedreht. Damit wird ein Austausch der Leuchten überflüssig.

## 5. Kostenrechnung zu den Maßnahmen

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

Der Kapitalzins ist mit 5 % per a, die Energiepreissteigerungen mit 2% per a angesetzt. Der Betrachtungszeitraum wird auf 7 Jahre festgelegt.

Gemäß den Richtlinien der Stadt Frankfurt sind für die CO<sub>2</sub>-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.**

### 5.1 Sporthalle

Als Sanierungsvarianten wurden Leuchten mit verlustarmen Vorschaltgerät (VVG) und 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 zusätzliche Variante wurde die Tageslichtabschaltung in Kombination außenlichtabhängiger Beleuchtungssteuerung gerechnet. Diese Variante zeichnet sich dadurch aus, dass benutzerunabhängig Licht nur dann eingeschaltet werden kann, wenn der Außenlichtanteil nicht mehr ausreicht, um die Beleuchtungsstärke von 200/300 Lux zu erreichen.

Diese Variante spart besonders viel Strom bei hohem Fensteranteil, der hier allerdings nicht gegeben ist. Die Investitionskosten sind höher und der bauliche Eingriff aufwendiger. Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten ausgegangen:

### Tabelle 2 Kostenzusammenstellung Lichtsanierung Sporthalle

Position	Stk	Variante EVG (Var. 2)		Variante VVG (Var. 1)	
		EZ €/Stk	Gesamt €	EZ €/Stk	Gesamt €
Demontage Lampen	96	15,90	1.526	15,90	1.526
Montage von Langfeldleuchten	96	31,80	3.053	31,80	3.053
Leuchten 2 X	96	90,00	8.640	70,00	6.720
Fahrgerüst	1	110,00	110	110,00	110
Anfahrt	5	55,00	275	55,00	275
Wagnis			500		500
Summe netto			14.104		12.184
Steuer	16%		2.257		1.949
Summe brutto	96	170,43	16.361	147,23	14.134

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Tabelle 3 Gesamtkostenrechnung Sporthalle dargestellt. Aus Vereinfachungsgründen wurde der HT- und NT- Bereich nicht differenziert. Die Aussagen werden dadurch nicht verfälscht. Es wurde mit dem Mittelwert gemäß den Mainovaabrechnungen für Objekte dieser Größenordnung gerechnet. Die Berücksichtigung des differenzierten Preisgefüges (Leistungspreis) führt tendenziell zum gleichen Ergebnis.

Bei der Gesamtkostenbetrachtung schneidet die Variante 2 mit EVG und 6.150.- €/a am günstigsten ab, obwohl die Investitionskosten mit 16.400.- € höher als bei dem Austausch gegen VVG liegen.

Die noch betriebskosten- und umweltfreundlichere Variante der außenlichtabhängigen Beleuchtung (Variante 3) schneidet wegen der hohen Kapitalkosten von 38.000.- € bei den Gesamtkosten schlechter ab, insbesondere auch deshalb, weil durch den geringen Außenlichtanteil die Nutzungszeit zu kurz ist.

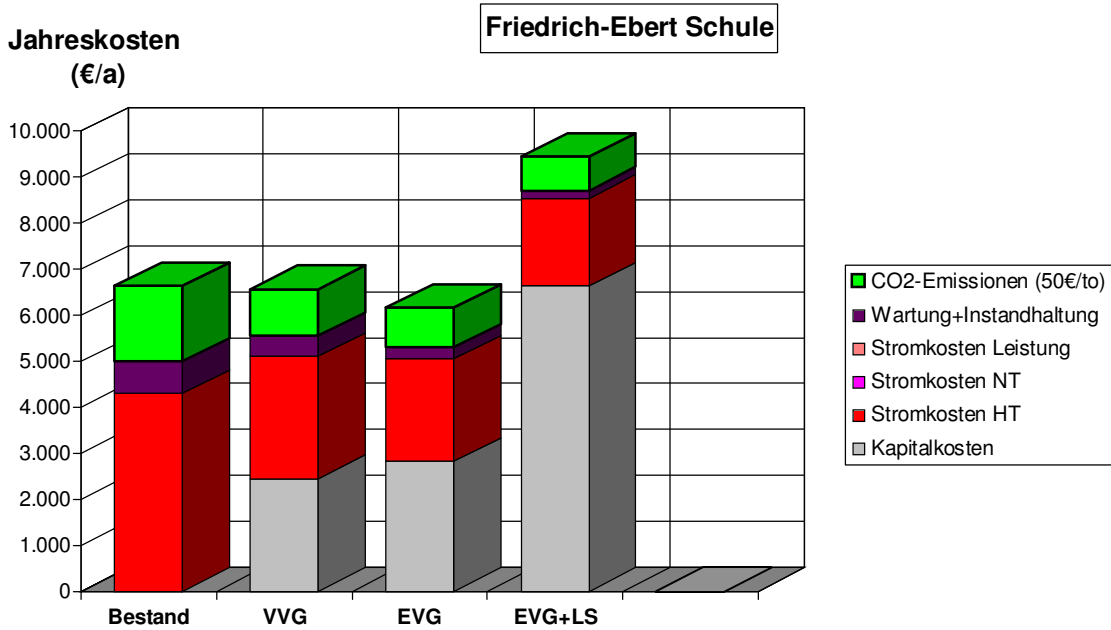
Die Sanierungsvariante mit EVGs ist auch gegenüber dem Bestand unter Vollkostengesichtspunkten am günstigsten. Außerdem wird die geforderterte Lichtstärke von 300 Lux gemäß LEE erreicht und die 200 Lux gemäß AMEV für Trainingsbetrieb überschritten.

Damit ist die Leuchtensanierung in der Sporthalle sinnvoll.

**Tabelle 3 Gesamtkostenrechnung Sporthalle**

<b>A. Allgemeine Daten</b>						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	<b>Friedrich-Ebert Schule</b>		A2 Unterab.		
A3	Gebäudebereich	<b>Sporthalle</b>		A4 Str-Nr.		
A5	Straße			A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	<b>7</b> <sup>a</sup>				
A8	Kapitalzins	<b>5%</b>	A9 Annuitätsfaktor	<b>0,173</b>		
A10	Preissteigerung Energie	<b>2%</b>	A11 Mittelwertfaktor	<b>1,08</b>		
<b>B. Varianten</b>						
	<b>Kürzel</b>	<b>Bezeichnung</b>				
B0	Variante 0	<b>Bestand</b>	Wannenleuchten gedeckt 3 x 58 W, KVG			
B1	Variante 1	<b>VVG</b>	Spiegel-Rasterleuchten 2 x 58 W, VVG			
B2	Variante 2	<b>EVG</b>	Spiegel-Rasterleuchten 2 x 58 W, EVG			
B3	Variante 3	<b>EVG+LS</b>	Spiegel-Rasterleuchten 2 x 58 W, EVG			
B4	Variante 4		mit Tageslichtsteuerung			
<b>C. Kenngrößen</b>						
		Bestand	VVG	EVG	EVG+LS	
C1	Beleuchtete Fläche	1.380	1.380	1.380	1.380	m <sup>2</sup>
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	300	300	300	300	lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	240	280	300	300	lux
C4	Nutzungsdauer HT	1.750	1.750	1.750	1.500	h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0	0	0	h/a
C6	Anzahl der Leuchten	96	96	96	96	Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	213	132	110	110	W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	15	9	8	8	W/m <sup>2</sup>
C9	Investition pro Leuchte	0	147	170	400	€/Leuchte
C10	Strompreis HT	0,120	0,120	0,120	0,120	€/kWh
C11	Strompreis NT	0,120	0,120	0,120	0,120	€/kWh
C12	Leistungspreis	0	0	0	0	€/kW,a
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	50%	50%	50%	50%	%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	7.500	12.000	16.000	1h
C15	Kosten für Lampenwechsel	31	20	19	19	€/Leuchte
<b>D. Kapitalkosten</b>						
		Bestand	VVG	EVG	EVG+LS	
D1	<b>Investitionskosten</b>	<b>0</b>	<b>14.134</b>	<b>16.361</b>	<b>38.400</b>	<b>0</b> €
D2	Zuschüsse/Erlöse					€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	14.134	16.361	38.400	0€
D4	<b>Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>2.443</b>	<b>2.827</b>	<b>6.636</b>	<b>0</b> €/a
D5	<b>spez. Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b> €/m <sup>2</sup> a
<b>E. mittl. Betriebskosten</b>						
		Bestand	VVG	EVG	EVG+LS	
E1	Stromkosten HT	4.294	2.661	2.218	1.901	0€/a
E2	Stromkosten NT	0	0	0	0	0€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0	0	0€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	702	442	260	171	0€/a
E5	<b>mittl. Betriebskosten</b>	<b>4.996</b>	<b>3.103</b>	<b>2.477</b>	<b>2.072</b>	<b>0</b> €/a
E6	<b>spez. Betriebskosten</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b> €/m <sup>2</sup> a
<b>F. Umweltfolgekosten</b>						
		Bestand	VVG	EVG	EVG+LS	
F1	CO <sub>2</sub> -Emissionen (50€/to)	1.646	1.020	850	729	0€/a
F2	<b>Umweltfolgekosten</b>	<b>1.646</b>	<b>1.020</b>	<b>850</b>	<b>729</b>	<b>0</b> DM/a
F3	<b>spez. Umweltfolgekost.</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b> DM/m <sup>2</sup> a
<b>G. Gesamtkosten</b>						
		Bestand	VVG	EVG	EVG+LS	
G1	<b>Gesamtkosten</b>	<b>6.642</b>	<b>6.566</b>	<b>6.155</b>	<b>9.437</b>	<b>0</b> DM/a

**Diagramm 1 Gesamtkostenvergleich Leuchtensanierung Sporthalle**



**5.2 Duschen und Umkleiden**

Als Sanierungsvarianten wurden die 16 Lichttaster durch Bewegungsmelder ausgetauscht. Hier wurden sowohl normale optische Bewegungsmelder als auch optisch/akustische Bewegungsmelder untersucht. Zusätzlich wurde die noch der Austausch der Leuchten gegen einfache verspiegelt mit Dreibandleuchten und EVG untersucht

Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten ausgegangen:

**Tabelle 4 Kostenzusammenstellung Beleuchtung Umkleiden und Duschen**

Position	Stk	Variante Bewegungsmelder normal (Variante 1)		Variante Bewegungsm. mit zusätzlich Akustik (Variante 2)	
		EZ €/Stk	Gesamt €	EZ €/Stk	Gesamt €
Demontage	16	2,30	37	2,30	37
Bewegungsmelder opt.	16	115,00	1.840	0	0
Bewegungsm. Opt/akus	16	0	0	138,00	2.208
Wagniszuschlag			200		200
Summe netto			2.077		2.445
Steuer			332		391
Summe brutto	20	120,45	2.409	141,80	2.836

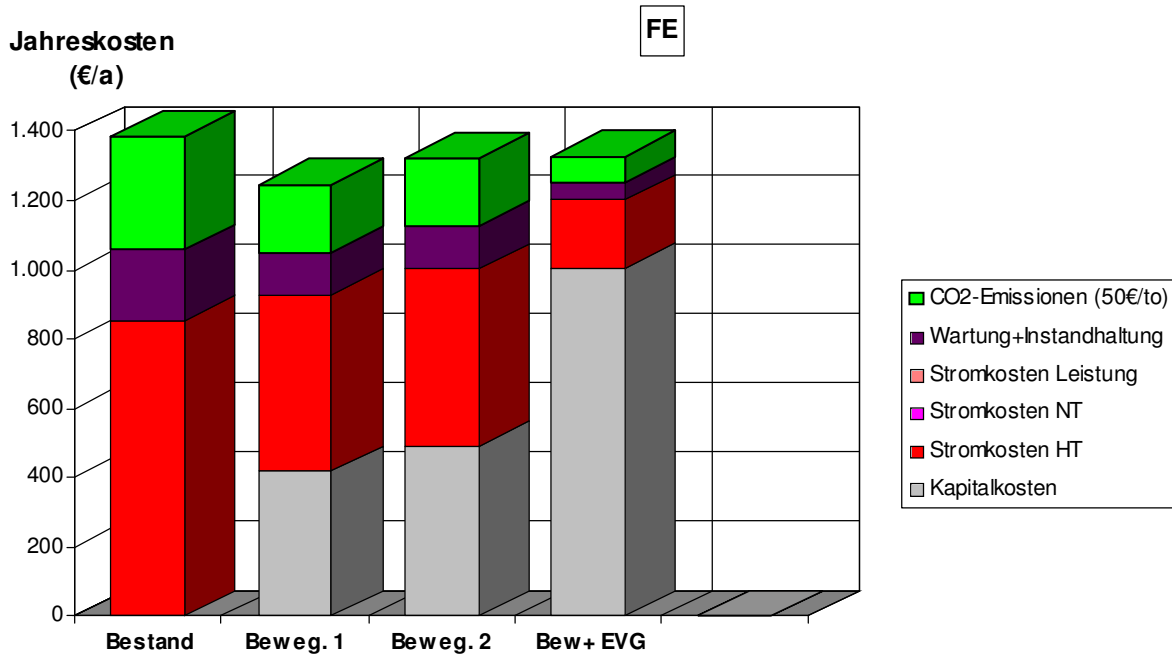
Die Investitionskosten für den Leuchtaustausch wurden wie für die Sporthalle angesetzt (vgl. Seite 5 Tabelle 2 Kostenzusammenstellung Lichtsanierung Sporthalle).



**Tabelle 5 Gesamtkosten Umkleiden/Duschen**

<b>A. Allgemeine Daten</b>						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	<b>FE</b>		A2 Unterab.		
A3	Gebäudebereich	<b>Sporthalle Umkleiden</b>		A4 Str-Nr.		
A5	Straße			A6 Haus-Nr.		
A7	Betrachtungszeitraum	7 <sup>a</sup>				
A8	Kapitalzins	5%	A9 Annuitätsfaktor	0,173		
A10	Preissteigerung Energie	2%	A11 Mittelwertfaktor	1,08		
<b>B. Varianten</b>						
	<b>Kürzel</b>	<b>Bezeichnung</b>				
B0	Variante 0	<b>Bestand</b>	Freistrahler Aufbauleuchten abgedeckt 2 x 58 W, KVG			
B1	Variante 1	<b>Beweg. 1</b>	Bestand plus optischer Bewegungsmelder			
B2	Variante 2	<b>Beweg. 2</b>	Bestand plus opt. Akustischer Bewegungsmelder			
B3	Variante 3	<b>Bew+ EVG</b>	zusätzlich Austausch gegen Spiegelraster EVG			
B4	Variante 4					
<b>C. Kenngrößen</b>						
		Bestand	Beweg. 1	Beweg. 2	Bew+ EVG	
C1	Beleuchtete Fläche	209	209	209	209	m <sup>2</sup>
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	200	200	200	200	lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	200	200	200	200	lux
C4	Nutzungsdauer HT	2.500	1.500	1.500	1.500	h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0	0	0	h/a
C6	Anzahl der Leuchten	20	20	20	20	Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	142	142	142	55	W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	14	14	14	5	0 W/m <sup>2</sup>
C9	Investition pro Leuchte	0	120	142	291	€/Leuchte
C10	Strompreis HT	0,120	0,120	0,120	0,120	€/kWh
C11	Strompreis NT	0,120	0,120	0,120	0,120	€/kWh
C12	Leistungspreis					€/kW,a
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	0%	0%	0%	0%	%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	7.500	7.500	12.000	1h
C15	Kosten für Lampenwechsel	31	31	31	20	€/Leuchte
<b>D. Kapitalkosten</b>						
		Bestand	Beweg. 1	Beweg. 2	Bew+ EVG	
D1	<b>Investitionskosten</b>	<b>0</b>	<b>2.409</b>	<b>2.836</b>	<b>5.818</b>	<b>0</b> €
D2	Zuschüsse/Erlöse					€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	2.409	2.836	5.818	0€
D4	<b>Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>416</b>	<b>490</b>	<b>1.005</b>	<b>0</b> €/a
D5	<b>spez. Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b> €/m <sup>2</sup> a
<b>E. mittl. Betriebskosten</b>						
		Bestand	Beweg. 1	Beweg. 2	Bew+ EVG	
E1	Stromkosten HT	852	511	511	198	0€/a
E2	Stromkosten NT	0	0	0	0	0€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0	0	0€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	207	124	124	49	0€/a
E5	<b>mittl. Betriebskosten</b>	<b>1.059</b>	<b>635</b>	<b>635</b>	<b>247</b>	<b>0</b> €/a
E6	<b>spez. Betriebskosten</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b> €/m <sup>2</sup> a
<b>F. Umweltfolgekosten</b>						
		Bestand	Beweg. 1	Beweg. 2	Bew+ EVG	
F1	CO2-Emissionen (50€/to)	327	196	196	76	0€/a
F2	<b>Umweltfolgekosten</b>	<b>327</b>	<b>196</b>	<b>196</b>	<b>76</b>	<b>0</b> €/a
F3	<b>spez. Umweltfolgekost.</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b> €/m <sup>2</sup> a
<b>G. Gesamtkosten</b>						
		Bestand	Beweg. 1	Beweg. 2	Bew+ EVG	
G1	<b>Gesamtkosten</b>	<b>1.385</b>	<b>1.247</b>	<b>1.321</b>	<b>1.329</b>	<b>0</b> €/a
G2	<b>spez. Gesamtkosten</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b> €/m <sup>2</sup> a

**Diagramm 2 Gesamtkostenvergleich Beleuchtung Umkleiden / Duschen**



Die Tabelle 5 Gesamtkosten Umkleiden/Duschen zeigt deutlich die geringsten Gesamtkosten durch die Umrüstung auf Bewegungsmelder. Die zusätzliche Umrüstung der Leuchten führt trotz der deutlich höheren Stromersparnis leider nicht zu geringeren Vollkosten. Dieser Trend wird noch verstärkt, wenn unter Praxisbedingungen evtl. noch weniger Vollbenutzungsstunden erreicht werden.

## 6. Zusammenfassung

Der Austausch der Beleuchtung in der Sporthalle führt unter Gesamtkostengesichtspunkten zu einer Kostenentlastung. Gleichzeitig wird der geforderte Beleuchtungsstandard von 200 / 300 lx erreicht, der im Bestand derzeit nicht erreicht wird. Die Sanierungsvariante mit Drei-Banden Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) ist auch gegenüber dem Bestand unter Vollkostengesichtspunkten am günstigsten. Durch die Sanierung sinken die Vollkosten von 6.600.- €/a auf 6.100.- €/a bei einer Investitionssumme von 16.000.- €. Gleichzeitig findet eine Stromersparnis von 18.000 kWh pro Jahr statt.

Der Austausch der Tastschalter in den Duschen und Umkleiden gegen Bewegungsmelder führt bei gleichen Gesamtkosten zu geringeren Vollkosten für Strom. Der Austausch gegen optische/akustische ist zwar etwas teurer, wird jedoch aus Sicherheitsgründen wegen der Unfallgefahr in den Nassbereichen empfohlen.

Der Austausch gegen Lampen mit EVG macht vor dem Hintergrund der verringerten Betriebszeiten erst im Reparaturfall unter Vollkostengesichtspunkten Sinn, da damit zu rechnen ist, dass die Betriebsstunden eher noch weiter als angenommen sinken. Unter dem Aspekt der Investitionskostenverminderung ist der alleinige Austausch der Taster gegen Bewegungsmelder vorzuziehen. Bei Investitionen von rund 2.800.- € werden die Gesamtkosten von 1.385.- auf 1.320.- €/a gesenkt. Gleichzeitig findet eine Stromersparnis von rund 3.000 kWh pro Jahr statt.

## 7. Anlagen

Tabelle 6 Rechenblatt für Sporthalle Bestand

### Rechenblatt EDS Beleuchtung

Projekt			
Betriebseinheit			
Normbeleuchtungsstärke	240lx		
Energiebezugsfläche	462m <sup>2</sup>		
Geforderter Lichtstrom	110880lm		
Raumindex	1,53	$k = l \times b / h \times (l+b)$	7,5 6,65
Raumwirkungsgrad	0,7	Kurve 1,2,3,4	30 15,4
Lichtstrom Lampe	4000lm		25
Leistung Lampe	58W		
Leistung VSG pro Lampe	13W		
Leistung gesamt	71W		
Wirkungsgrad Lampensystem	56lm/W		4000lm
Wirkungsgrad Leuchte	0,6		
Verminderungsfaktor	0,7	0,8 normal bis 0,6 stark	
Benötigter Lichtstrom	377.143		
Lampenzahl	94n		96
Pmax	6694W		
Nutzungszeit	2500h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7		
Vollbetriebsstunden	1750h/a		
Jahresenergiebedarf	11.715.000Wh/a		
Energiedienstleistung	277.200.000lx m <sup>2</sup> h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	25.357Wh/m <sup>2</sup> a		
Vergleichskennwert	0,0422619		

**Tabelle 7 Rechenblatt für Sporthalle Sanierung mit EVG**

Projekt			
Betriebseinheit			
Normbeleuchtungsstärke	300lx		
Energiebezugsfläche	462m <sup>2</sup>		
Geforderter Lichtstrom	138600lm		
Raumindex	1,53 $k = l \times b / h \times (l+b)$	7,5	6,65
Raumwirkungsgrad	0,7 $Kurve 1,2,3,4$	30	15,4
Lichtstrom Lampe	5400lm		
Leistung Lampe	58W		
Leistung VSG pro Lampe	4W		
Leistung gesamt	62W		
Wirkungsgrad Lampensystem	87lm/W		
Wirkungsgrad Leuchte	0,8		
Verminderungsfaktor	0,7 $0,8 \text{ normal bis } 0,6 \text{ stark}$		
Benötigter Lichtstrom	353.571		
Lampenzahl	65n	24	
Pmax	4060W		
Nutzungszeit	2500h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7		
Vollbetriebsstunden	1750h/a		
Jahresenergiebedarf	7.104.167Wh/a		
Energiedienstleistung	346.500.000lx m <sup>2</sup> h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	15.377Wh/m <sup>2</sup> a		
Vergleichskennwert	0,02050265		

**Tabelle 8 Rechenblatt für Umkleiden**

Projekt			
Betriebseinheit			
Normbeleuchtungsstärke	200lx		
Energiebezugsfläche	21,6m <sup>2</sup>		
Geforderter Lichtstrom	4320lm		
Raumindex	0,90	$k = l \times b / h \times (l+b)$	2,5
Raumwirkungsgrad	0,7	Kurve 1,2,3,4	3,6
Lichtstrom Lampe	4000lm		
Leistung Lampe	58W		
Leistung VSG pro Lampe	13W		
Leistung gesamt	71W		
Wirkungsgrad Lampensystem	56lm/W		
Wirkungsgrad Leuchte	0,6		
Verminderungsfaktor	0,7	0,8 normal bis 0,6 stark	
Benötigter Lichtstrom	14.694		
Lampenzahl	4n		24
Pmax	261W		
Nutzungszeit	2500h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7		
Vollbetriebsstunden	1750h/a		
Jahresenergiebedarf	456.429Wh/a		
Energiedienstleistung	10.800.000lx m <sup>2</sup> h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	500.000Wh/m <sup>2</sup> a		
Vergleichskennwert	0,0422619		

**Tabelle 9 Rechenblatt für Umkleiden mit EVG**

<b>Rechenblatt EDS Beleuchtung</b>			
Projekt			
Betriebseinheit			
Normbeleuchtungsstärke	200lx		
Energiebezugsfläche	21,6m <sup>2</sup>		
Geforderter Lichtstrom	4320lm		
Raumindex	1,25 $k = l \times b / h \times (l+b)$	0	2,8
Raumwirkungsgrad	0,7 Kurve 1,2,3,4	8	6,25
Lichtstrom Lampe	5400lm		
Leistung Lampe	58W		
Leistung VSG pro Lampe	4W		
Leistung gesamt	62W		
Wirkungsgrad Lampensystem	87lm/W		
Wirkungsgrad Leuchte	0,8		
Verminderungsfaktor	0,7	0,8 normal bis 0,6 stark	
Benötigter Lichtstrom	11.020		
Lampenzahl	2n		
Pmax	127W		
Nutzungszeit	2500h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7		
Vollbetriebsstunden	1750h/a		
Jahresenergiebedarf	221.429Wh/a		
Energiedienstleistung	10.800.000lx m <sup>2</sup> h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	500.000Wh/m <sup>2</sup> a		
Vergleichskennwert	0,02050265		

Tabelle 10 Lampen in der Turnhalle Friedrich Ebert Schule

Raum	EBF	Reihen	Leuchten pro Reihe	Lampen pro Leuchte	Leistung pro Leuchtmittel	Leistung Pro m <sup>2</sup>	Lichtstrom	Betriebsleistung	Reduktion durch EM	Betriebsstunden	Verbrauch pro Jahr
	m <sup>2</sup>					W/m <sup>2</sup>	lm	W		h	kWh
<b>Durchschnittliche Leistung</b>											
<b>Gleichzeitigkeitsfaktor</b>											
<b>Summe</b>	1.666							30.033			47.137
Turnhalle 1	2 462	4	8	3	71	14,8	460800	6.816	0,7	2.500	11.928
Turnhalle 2	2 460	4	8	3	71	14,8	460800	6.816	0,7	2.500	11.928
Turnhalle 3	2 460	4	8	3	71	14,8	460800	6.816	0,7	2.500	11.928
Flur 1	2 21,6	3	1	2	71	19,7	28800	426	0,5	2.500	533
Flur 2	2 28,8	3	1	2	71	14,8	28800	426	0,5	2.500	533
Flur 3	2 25,2	3	1	2	71	16,9	28800	426	0,5	2.500	533
Waschraum 1	2 18	2	1	2	71	15,8	19200	284	0,7	2.500	497
Waschraum 2	2 21,6	2	1	2	71	13,1	19200	284	0,7	2.500	497
Waschraum 3	2 18	2	1	2	71	15,8	19200	284	0,7	2.500	497
Waschraum 4	2 21,6	2	1	2	71	13,1	19200	284	0,7	2.500	497
Umkleide 1	2 21,6	2	1	2	71	13,1	19200	284	0,7	2.500	497
Umkleide 2	2 21,6	2	1	2	71	13,1	19200	284	0,7	2.500	497
Umkleide 3	2 25,2	2	1	2	71	11,3	19200	284	0,7	2.500	497
Umkleide 4	2 21,6	2	1	2	71	13,1	19200	284	0,7	2.500	497
Umkleide 5	3 21,6	2	1	2	71	13,1	19200	284	0,7	2.500	497
Umkleide 6	3 18	2	1	2	71	15,8	19200	284	0,7	2.500	497
WC 1	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	2.000	142
WC 2	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	2.000	142
WC 3	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	2.000	142
WC 4	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	2.000	142
WC 5	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	2.000	142
WC 6	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	2.000	142
WC 7	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	2.000	142
Umkleide Lehrer 1	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	500	36
Umkleide Lehrer 2	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	500	36
Umkleide Lehrer 3	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	500	36
Umkleide Lehrer 4	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	500	36
Umkleide Lehrer 5	3	1	1	1	71		4800	71	1,0	500	36
Umkleide Lehrer 6	1	1	1	1	71		4800	71	1,0	500	36
Batterieraum	1	2	2	2	71		38400	568	1,0	200	114
Geräteraum 1	1	2	2	2	71		38400	568	1,0	500	284
Geräteraum 2	1	2	2	2	71		38400	568	1,0	500	284
Geräteraum 3	1	2	2	2	71		38400	568	1,0	500	284
Technik	1	2	4	2	71		76800	1.136	1,0	300	341
Batterie	1	2	4	2	71		76800	1.136	1,0	2.000	2.272

