

## Bericht Lichtkonzept für die Sporthalle der Wilhelm-Merton-Schule, Frankfurt

### Kurzfassung

Untersucht wurden die Beleuchtungsanlagen der Sporthalle und Umkleideräume der Wilhelm-Merton-Schule. Der Kennwert für die installierte Leistung beträgt  $48 \text{ W/m}^2$  und liegt damit weit über den Vorgaben nach LEE.

Für die Turnhalle wird eine Umrüstung der vorhandenen Beleuchtung auf Spiegelrasterleuchten mit EVG vorgeschlagen. Diese Maßnahme kostet rund 32.500.- €, spart rund 7.000.- € Strom pro Jahr und amortisiert sich innerhalb von 3,5 Jahren (bei Vollkostenrechnung nach Frankfurter Modell). Gleichzeitig wird der Richtwert nach LEE mit  $10,5 \text{ W/m}^2$  erreicht.

Die fensterlosen Umkleideräume und WC sollten mit Bewegungsmeldern zur Lichtsteuerung ausgerüstet werden. Da die Umkleideräume mit Duschanlagen verbunden sind wird die etwas teurere Variante mit zusätzlicher akustischer Sensorik empfohlen. Diese Maßnahme erfordert Investitionen von rund 5.000 €, spart rund 900.- € Strom pro Jahr und amortisiert sich nach rund 6 Jahren.

### Inhaltsverzeichnis

Bericht Lichtkonzept für die Sporthalle der Wilhelm-Menton-Schule, Frankfurt .....	1
1. Einleitung .....	2
2. Ist-Zustand .....	2
3. Berechnungen .....	3
3.1 Betriebszeiten .....	3
3.2 Rechenwerte EDS für die Sporthalle .....	3
4. Maßnahmen.....	5
4.1 Sporthalle .....	5
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

### Tabellenverzeichnis

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

## 1. Einleitung

Mit Datum vom 15.7.04 erhielten wir den Auftrag die Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Sanierung für die Beleuchtung in

- der Sporthalle
- den innenliegenden Umkleideräumen, Duschen, Fluren und WC

der Wilhelm-Merton-Schule in einem Kurzbericht zu untersuchen.

In 2 Vor-Ort Terminen wurden die Beleuchtungsstärken und die elektrische Verschaltung aufgenommen, da es keine Pläne für die Kabeltrassen und Verschaltungen gibt.

Nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind die sanitären Anlagen und die Heizmittelversorgung der Sporthalle (Bei Angebotslegung im Juni bei ca. 22 °C Außentemperatur war die Fußbodenheizung noch in Betrieb. Wurde von uns ausgeschaltet, aber lt. Herr Holz durch Wartungsdienst im August wieder in Betrieb genommen daher dito Anfang September bei 25 °C). Auch hier gibt es Einsparpotentiale.

## 2. Ist-Zustand

Die Sporthalle besteht aus drei einzeln abtrennbaren Hallen mit je ca. 525 m<sup>2</sup> EBF, die als einzelne Turnhallen autark nutzbar sind. Die Gesamtfläche der Halle beträgt insgesamt rund 1.575 m<sup>2</sup>. Die Zonen sind lichttechnisch gleich ausgestattet. Der Außenlichtanteil ist durch Oberlichtfenster (Kuppeln) groß, so dass im Regelfall die Beleuchtung tagsüber nicht an sein muß (vgl. Bild 1).

**Bild 1 Sporthalle Wilhelm Merton Schule**



Jede Einzelturnhalle verfügt über 7 Lichtbänder a 9 (6 x 3) Einbauleuchten von denen 3 direkt hintereinander mit jeweils 6 Lampen a 58 W oder 6 Lampen a 36 W pro Leuchte angeordnet sind (siehe Bild 2). 2 Lichtbänder befinden sich über der Tribüne.

Von den Lichtbändern werden über drei Taster jeweils die innenliegenden Einbaulampen über je einen Taster und die außenliegenden gemeinsam mit einem Taster geschaltet. Damit ergibt sich die Möglichkeit abgestuft 1/3, 2/3 der Gesamtleistung von insgesamt 75,5 kW Betriebsleistung (KVG) bzw. 25 kW pro Einzelhalle zu schalten.

Die Wände sind in nachgedunkelten Holz gehalten, so dass der Reflexionsgrad eher gering ist. Von den drei Fluren, die zur Sporthalle führen, gehen jeweils 2 Umkleiden ab, die in die Duschräume münden. Im Flur, den Umkleiden und den Duschen brennt nach Auskunft des Hausmeisters fast permanent Licht. Vereinzelt tropfen auch die Wasserhähne (Bild 4)

**Bild 2 Deckenansicht Leuchten Sporthalle**



**Bild 3 Ansicht Flur**



**Bild 4 Wasserhahn WC**



Die vorhandene Beleuchtung ist in der Tabelle 10 auf Seite 14 aufgelistet. Die insgesamt installierte Leistung liegt bei rund 75 kW, der Verbrauch bei ca. 70.000 kWh pro Jahr. Dies sind rund 3/4 des Gesamtverbrauchs der Sporthalle.

### 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 Wilhelm Merton Schule**

Ort	Nutzer	Uhr		Personen Anzahl n	Stunden Pro d o. Ereignis h/d o. h/E	Häufigkeit		Summe pro Jahr h	E
		von	bis			pro Woche	Wochen		
SP	Schule	08:00	14:00	1	6,0	5,0	40	1.200h/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>	13,0	<b>1,0</b>	<b>25</b>	325h/a	
SP	Wochensport	17:30	22:30	1	5,0	5,0	25	625h/a	
Summe Personenstunden								<b>2.675h</b>	

Die Benutzungszeiten sind in der Tabelle 1 Nutzungsstunden Sporthalle aufgelistet. Danach wird die Halle rund 2.600 h pro Jahr genutzt. Für die Berechnung der Verbräuche für die neunstufige Beleuchtung wurde von etwa 1.000 Vollbenutzungsstunden (75 kW!) ausgegangen. Der Rechenwert ist etwas geringer, da die Tribüne von Hausmeister manuell geschaltet wird und hier nur von 500 Vollbenutzungsstunden ausgegangen wird.

### 3.2 Rechenwerte EDS für die Sporthalle

Die Sporthalle hat durch die Oberlichtfenster Tageslichteinfall (bei Sonne 1600 Lux, bei Bewölkung mit aufgelockerten Wolken 1300 Lux, Mai 2004, 14:00), so dass im Regelfall die Beleuchtung zumindest in den Sommermonaten tagsüber nicht in Betrieb sein muß. Für den Betrieb der Halle wird ein Richtwert für die Nennbeleuchtungsstärke von ( $E_n$ ) von 400 Lux (lx) gemäß AMEV-Richtlinie zugrunde gelegt. Im Übungsbetrieb müssen 200 Lux und im Wettkampfbetrieb 400 Lux erreicht werden. Da die Tribünen separate Lichtbänder haben wurden hier 200 Lux auch im Wettkampfbetrieb gerechnet.

Im Bestand ist eine Leistung von  $48 \text{ W/m}^2$  installiert. Nach dem Rechenblatt wären für 400 Lux 385 Lampen mit 58 W und KVG erforderlich. Installiert sind insgesamt über 1200 Lampen mit überwiegend 58 W, teilweise 36 W, im gewichteten Mittel 50 W. Die Beleuchtung verbraucht 70.000 kWh pro Jahr.

Daher wurde ein Austausch gegen Leuchten mit Dreibandlampen und EVG untersucht. Die Berechnung zeigt, dass bei Austausch der sechsflammigen gegen zweiflamme Leuchten die Vorgabe der AMEV von 400 Lux mit 270 Lampen erreicht wird. Hierzu braucht die Anordnung im bestehenden Deckenspiegel nicht wesentlich verändert zu werden. Werden nur 200 Lux gefordert reichen theoretisch 135 Lampen aus (vgl. Excel-Datei). Die Einzeluntersuchung der einzelnen Hallen führt zu einem leicht höheren Bedarf. (Wegen schlechterem Raumwirkungsgrad). Dafür führt die Einzelbetrachtung der Tribüne (Lichtband 7 und 8) wieder zu einem geringeren Bedarf.

(Die Berechnungen sind ab Tabelle 7 ab Seite 12 beigefügt.)

## 4. Maßnahmen

### 4.1 Sporthalle

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

Anstelle der Aufbausituation mit 3 Leuchten a 6 Lampen werden jeweils 2 (Außenfelder) oder 3 (Mittelfelder) Leuchten mit 2 Lampen eingebaut. Das bedeutet 14 Lampen pro Band und Halle, insgesamt also 252 Lampen in 126 Leuchten.

Die Tribüne erhält 1-flamige Aufbauleuchten gleicher Bauart. Insgesamt 27 Leuchten (9 pro Halle)

Die Verschaltung wird derart geändert das jeweils pro Lichtband eine in Reihe liegenden Leuchten oder beide in Reihe liegenden Leuchten geschaltet werden können (Trainings- und Wettkampfbetrieb). Die dritte Stufe ist für die Tribüne vorbehalten.

### 4.2 Dusch- und Umkleieräume / Flure

Da die Duschen und Umkleieräume seltener genutzt werden als die Sporthalle und immer alle gemeinsam eingeschaltet werden müssen ist ein bedarfsorientiertes Beleuchtungskonzept sinnvoll. Um die Beleuchtung nur während der tatsächlichen Benutzung zu gebrauchen empfehlen wir den Einbau von Bewegungsmeldern (opto/akustisch). Dadurch lassen sich die Betriebszeiten auf weniger als 1000 Betriebsstunden vermindern. Ein Austausch der Leuchten erscheint hier nicht sinnvoll, da die bestehenden Leuchten einflamig, eher knapp ausgelegt sind (teilweise nur 100 Lux) und durch die Raumgeometrie zum Ausleuchten aller Zonen mehrere kleinere Leuchten erforderlich wären. Der Austausch sollte daher im Reparaturfall erfolgen.

Bei den Bewegungsmeldern wird zusätzlich eine akustische Variante untersucht, da es sich teilweise um Naßräume (ggf. keine oder unzureichende Detektion beim Duschen mit Wassertemperaturen auf Körpertemperaturniveau) handelt, die zudem häufig von Behinderten genutzt werden.

## 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. 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. Dem ist bei der Ausschreibung Rechnung zu tragen.

Als zusätzliche Variante wurde die Tageslichtabschaltung in Kombination außenlichtabhängiger Beleuchtungssteuerung gerechnet. Diese Variante zeichnet sich dadurch aus, dass Benutzer unabhängig Licht nur dann eingeschaltet werden kann, wenn der Außenlichtanteil nicht mehr ausreicht, um die Beleuchtungsstärke von 200/400 Lux zu erreichen.

Diese Variante spart besonders viel Strom bei hohem Fensteranteil, der hier durch die Oberlichter bedingt 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		Variante VVG	
		EZ €/Stk	Gesamt €	EZ €/Stk	Gesamt €
Demontage Leuchten 6 x 58W	102	26,00	2.652	26,00	2.652
Demontage Leuchten 6 x 36W	60	25,00	1.500	25,00	1.500
Demontage Leuchten 3 x 58W	34	16,00	544	16,00	544
Demontage Leuchten 3 x 36W	20	15,00	300	15,00	300
Montage von Langfeldleuchten	153	35,00	5.355	35,00	5.355
Leuchten 2 X Halle	126	95,00	11.970	75,00	9.450
Leuchten 1 X Tribüne	27	85,00	2.295	65,00	1.755
Fahrgerüst	1	150,00	150	150,00	150
Anfahrt	5	55,00	275	55,00	275
Wagnis Unterkonstruktion	153	20,00	3.060	20,00	3.060
Summe Lampen	279				
Summe netto			28.101		25.041
Steuer	16%		4.496		4.007
Summe brutto	153	213,05	32.597	189,85	29.048

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 schneiden die Varianten 2 und 3 mit VVG EVG mit rund 8.300.- €/a wesentlich günstiger als die bestehende Situation ab. Der Unterschied zwischen VVG und EVG ist gering obwohl die Investitionskosten mit 32.500.- € höher liegen als bei dem Austausch gegen VVG (29.500).

Die noch betriebskosten- und umweltfreundlichere Variante der außenlichtabhängigen Beleuchtung (Variante 4) schneidet wegen der hohen Investitionskosten von 61.000.- € bei den Gesamtkosten schlechter ab, insbesondere auch deshalb, weil durch den Außenlichtanteil die Nutzungszeit zu kurz ist. Immerhin wäre auch diese Lösung gegenüber dem Bestand in der Vollkostenbetrachtung kostengünstiger.

Damit ist die Leuchtensanierung in der Sporthalle sinnvoll. Die Variante mit VVG ist geringfügig günstiger, aus Gründen der Nachhaltigkeit ist die Variante mit EVG vorzuziehen, weil die Lebensdauer der Lampen und die Lichtausbeute höher ist. Allerdings ist auf die Qualität der Geräte zu achten.

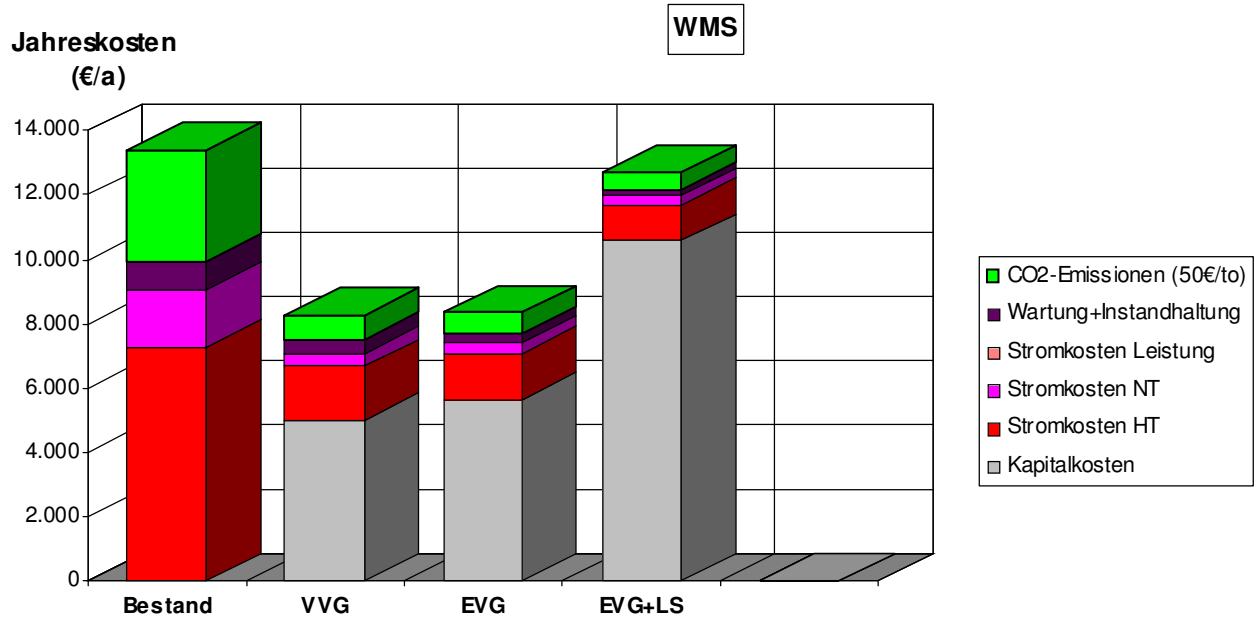
In der Wirtschaftlichkeitsrechnung ist die durchschnittliche Leuchtenleistung angegeben. Dies rührt daher, dass im Bereich der Tribüne auch 1-flamige Leuchten eingebaut werden.

Tabelle 3 Gesamtkostenrechnung Sporthalle

A7	Betrachtungszeitraum	7a				
A8	Kapitalzins	5%	A9	Annuitätsfaktor		0,173
A10	Preissteigerung Energie	2%	A11	Mittelwertfaktor		1,08
<b>B.</b>	<b>Varianten</b>	<b>Kürzel</b>	<b>Bezeichnung</b>			
B0	Variante 0	<b>Bestand</b>	Wannenleuchten gedeckt 6 x 58 W und 6 x 36 W, KVG			
B1	Variante 1	<b>VVG</b>	Spiegel-Rasterleuchten 2 x 58 W und 1 x 58 W, VVG			
B2	Variante 2	<b>EVG</b>	Spiegel-Rasterleuchten 2 x 58 W und 1 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.</b>	<b>Kenngroßen</b>	<b>Bestand</b>	<b>VVG</b>	<b>EVG</b>	<b>EVG+LS</b>	
C1	Beleuchtete Fläche	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560m <sup>2</sup>
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	400	400	400	400	400lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke					lux
C4	Nutzungsdauer HT	800	800	800	600	h/a
C5	Nutzungsdauer NT	200	200	200	200	h/a
C6	Anzahl der Leuchten	216	153	153	153	Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	349	113	100	100	W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	48	11	10	10	0W/m <sup>2</sup>
C9	Investition pro Leuchte	0	190	213	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	30	20	20	20	€/Leuchte
<b>D.</b>	<b>Kapitalkosten</b>	<b>Bestand</b>	<b>VVG</b>	<b>EVG</b>	<b>EVG+LS</b>	
D1	<b>Investitionskosten</b>	<b>0</b>	<b>29.048</b>	<b>32.597</b>	<b>61.200</b>	<b>0€</b>
D2	Zuschüsse/Erlöse					€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	29.048	32.597	61.200	0€
D4	<b>Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>5.020</b>	<b>5.633</b>	<b>10.577</b>	<b>0€/a</b>
D5	<b>spez. Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>0€/m<sup>2</sup>a</b>
<b>E.</b>	<b>mittl. Betriebskosten</b>	<b>Bestand</b>	<b>VVG</b>	<b>EVG</b>	<b>EVG+LS</b>	
E1	Stromkosten HT	7.245	1.660	1.469	1.102	0€/a
E2	Stromkosten NT	1.811	415	367	367	0€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0	0	0€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	864	402	255	153	0€/a
E5	<b>mittl. Betriebskosten</b>	<b>9.920</b>	<b>2.477</b>	<b>2.091</b>	<b>1.622</b>	<b>0€/a</b>
E6	<b>spez. Betriebskosten</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0€/m<sup>2</sup>a</b>
<b>F.</b>	<b>Umweltfolgekosten</b>	<b>Bestand</b>	<b>VVG</b>	<b>EVG</b>	<b>EVG+LS</b>	
F1	CO2-Emissionen (50€/to)	3.471	795	704	563	0€/a
F2	<b>Umweltfolgekosten</b>	<b>3.471</b>	<b>795</b>	<b>704</b>	<b>563</b>	<b>0DM/a</b>
F3	<b>spez. Umweltfolgekost.</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0DM/m<sup>2</sup>a</b>
<b>G.</b>	<b>Gesamtkosten</b>	<b>Bestand</b>	<b>VVG</b>	<b>EVG</b>	<b>EVG+LS</b>	
G1	<b>Gesamtkosten</b>	<b>13.391</b>	<b>8.292</b>	<b>8.428</b>	<b>12.761</b>	<b>0DM/a</b>
G2	<b>spez. Gesamtkosten</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>0DM/m<sup>2</sup>a</b>
	<b>Amortisationszeit (Basis: Variante 1)</b>		<b>3,2</b>	<b>3,4</b>	<b>6,5</b>	



Diagramm 1 Gesamtkostenvergleich Leuchtensanierung Sporthalle



## 5.2 Duschen und Umkleiden

Als Sanierungsvarianten wird die zentrale Lichtsteuerung der Duschen und Umkleiden durch Bewegungsmelder ergänzt. Im Gegensatz zum Austausch mit Tastern müssen hier zusätzliche Leitungen zu den Leuchten gezogen und Schütze gesetzt werden. Da die Deckenfelder verkleidet sind ist ein genaues Aufmaß erst nach Öffnung möglich. Hier wurden sowohl normale optische Bewegungsmelder als auch optisch/akustische Bewegungsmelder untersucht. Für die Berechnung wurde von folgenden Investitionskosten ausgegangen:

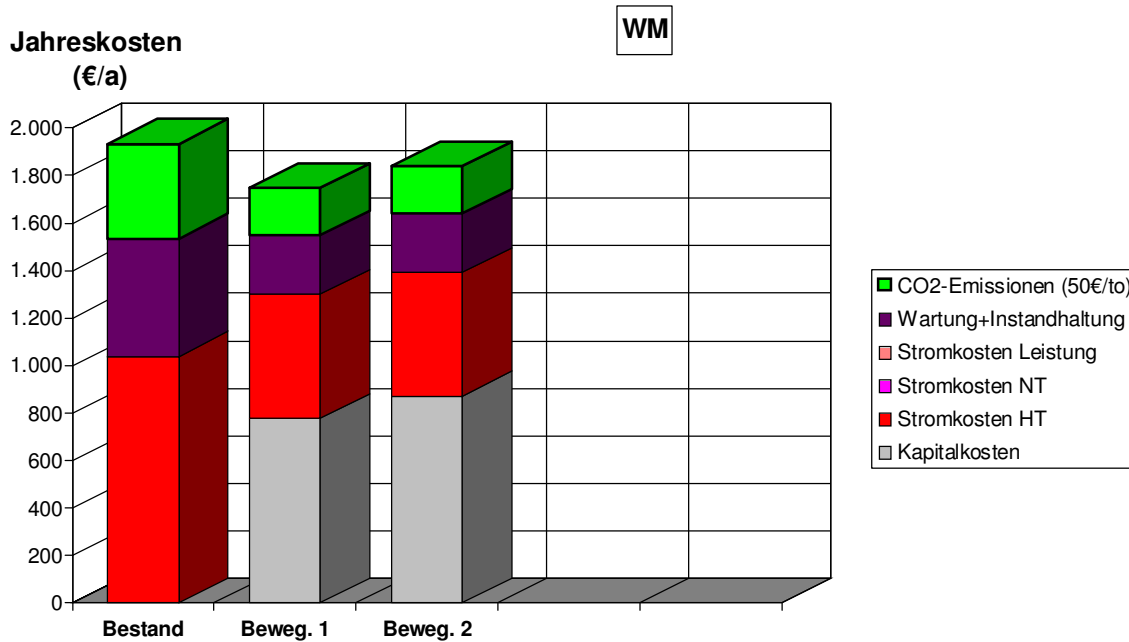
Tabelle 4 Kostenzusammenstellung Beleuchtung Umkleiden und Duschen

Position	Stk	Variante Bewegungs- melder normal		Variante Bewegungs- m. mit zusätzlich Akustik	
		EZ €/Stk	Gesamt €	EZ €/Stk	Gesamt €
Aufputzdosen	20	2,30	46	2,30	46
Bewegungsmelder opt.	20	115,00	2.300		0
Bewegungsm. Opt/akus	20		0	138,00	2.760
Schütze	14	15,00	210	15,00	210
Leitungen mit Umklemmen	133	2,50	333	2,50	333
Wagniszuschlag			1.000		1.000
Summe netto			3.889		4.349
Steuer			622		696
Summe brutto	62		4.511		5.044
Invest pro Lampe			72,75		81,36

Tabelle 5 Gesamtkosten Umkleiden/Duschen

<b>A. Allgemeine Daten</b>					
A1	Liegenschaftsbezeichnung	<b>WMS</b>		A2	Unterab.
A3	Gebäudebereich	<b>Sporthalle Umkleiden</b>		A4	Str.-Nr.
A5	Straße			A6	Haus-Nr.
A7	Betrachtungszeitraum	<b>7a</b>			
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 Aufbau. abgedeckt 1-2 x 58 W, 36W KVG		
B1	Variante 1	<b>Beweg. 1</b>	Bestand plus optischer Bewegungsmelder		
B2	Variante 2	<b>Beweg. 2</b>	Bestand plus opt. akustischer Bewegungsmelder		
<b>C. Kenngrößen</b>					
		<b>Bestand</b>	<b>Beweg. 1</b>	<b>Beweg. 2</b>	
C1	Beleuchtete Fläche	315	315	315	m²
C2	Soll-Beleuchtungsstärke	200	200	200	Lux
C3	Ist-Beleuchtungsstärke	200	200	200	Lux
C4	Nutzungsdauer HT	2.000	1.000	1.000	h/a
C5	Nutzungsdauer NT	0	0	0	h/a
C6	Anzahl der Leuchten	62	62	62	Stück
C7	Anschlußleistung Leuchte	70	70	70	W/Leuchte
C8	Leistung pro Fläche	14	14	14	W/m²
C9	Investition pro Leuchte	0	73	81	€/Leuchte
C10	Strompreis HT	0,120	0,120	0,120	€/kWh
C11	Strompreis NT	0,120	0,120	0,120	€/kWh
C12	Leistungspreis				€/kW,a
C13	Anteil Bel. an Leistungsmax.	0%	0%	0%	%
C14	Lebensdauer der Lampen	7.500	7.500	7.500	H
C15	Kosten für Lampenwechsel	30	30	30	€/Leuchte
<b>D. Kapitalkosten</b>					
		<b>Bestand</b>	<b>Beweg. 1</b>	<b>Beweg. 2</b>	
D1	<b>Investitionskosten</b>	<b>0</b>	<b>4.511</b>	<b>5.044</b>	€
D2	Zuschüsse/Erlöse				€
D3	Eigenkapitaleinsatz	0	4.511	5.044	€
D4	<b>Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>780</b>	<b>872</b>	€/a
D5	<b>spez. Kapitalkosten</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	€/m²a
<b>E. mittl. Betriebskosten</b>					
		<b>Bestand</b>	<b>Beweg. 1</b>	<b>Beweg. 2</b>	
E1	Stromkosten HT	1.039	520	520	€/a
E2	Stromkosten NT	0	0	0	€/a
E3	Stromkosten Leistung	0	0	0	€/a
E4	Wartung+Instandhaltung	496	248	248	€/a
E5	<b>mittl. Betriebskosten</b>	<b>1.535</b>	<b>768</b>	<b>768</b>	€/a
E6	<b>spez. Betriebskosten</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	€/m²a
<b>F. Umweltfolgekosten</b>					
		<b>Bestand</b>	<b>Beweg. 1</b>	<b>Beweg. 2</b>	
F1	CO2-Emissionen (50€/to)	398	199	199	€/a
F2	<b>Umweltfolgekosten</b>	<b>398</b>	<b>199</b>	<b>199</b>	€/a
F3	<b>spez. Umweltfolgekost.</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	€/m²a
<b>G. Gesamtkosten</b>					
		<b>Bestand</b>	<b>Beweg. 1</b>	<b>Beweg. 2</b>	
G1	<b>Gesamtkosten</b>	<b>1.934</b>	<b>1.746</b>	<b>1.839</b>	€/a
G2	<b>spez. Gesamtkosten</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	€/m²a
	<b>Amortisationszeit (Basis: Variante 1)</b>		<b>5,4</b>	<b>6,2</b>	

Diagramm 2 Gesamtkostenvergleich Beleuchtung Umkleiden / Duschen



Die Tabelle 5 zeigt die geringsten Gesamtkosten durch die Umrüstung auf Bewegungsmelder.

## 6. Zusammenfassung

Der Austausch der Beleuchtung in der Sporthalle führt unter Gesamtkostengesichtspunkten zu einer Kostenentlastung. Gleichzeitig wird der geforderte Beleuchtungsstandard von 400/200 lx erreicht. 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 13.400.- €/a auf 8.300.- €/a bei einer Investitionssumme von 33.000.- €. Gleichzeitig findet eine Stromersparnis von 55.000 kWh pro Jahr statt. Dadurch sinkt auch die installierte Leistung von 48 W/m<sup>2</sup> auf 10,5 W/m<sup>2</sup> und entspricht damit den Empfehlungen nach LEE.

Die bedarfsgesteuerte Lichtschaltung in den Duschen und Umkleiden durch 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.

Bei Investitionen von rund 5.000.- € werden die Gesamtkosten von 1.934.- auf 1.839.- €/a gesenkt. Gleichzeitig findet eine Stromersparnis von rund 4.300 kWh pro Jahr statt.

Limburg-Linter, den 22.9.04

Hans-Gerhard Kitzerow

## 7. Anlagen

Tabelle 6 Rechenblatt für Sporthalle Bestand

Rechenblatt EDS Beleuchtung				
Projekt	Sporthalle			
Betriebseinheit	Bestand KVG			
Normbeleuchtungsstärke	400	lx		
Energiebezugsfläche	1575	m <sup>2</sup>		
Geforderter Lichtstrom	630000	lm		
Raumindex	2,63	$k = l \times b / h \times (l+b)$	9,5	7,5
Raumwirkungsgrad	0,8	Kurve 1	45	35
Lichtstrom Lampe	4000	lm	25	
Leistung Lampe	58	W		
Leistung VSG pro Lampe	13	W		
Leistung gesamt	71	W		
Wirkungsgrad Lampensystem	56	lm/W	4000	lm
Wirkungsgrad Leuchte	0,7			
Verminderungsfaktor	0,7	0,8 normal bis 0,6 stark		
Benötigter Lichtstrom	1.607.143			
Lampenzahl	402	n		
Pmax	28527	W	18,1122	W/m <sup>2</sup>
Nutzungszeit	2500	h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7			
Vollbetriebsstunden	1000	h/a		
Jahresenergiebedarf	28.526.786	Wh/a	28526,8	kWh
Energiedienstleistung	1.575.000.000	lx m <sup>2</sup> h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	18.112	Wh/m <sup>2</sup> a	18,1	kWh/m <sup>2</sup> a
Vergleichskennwert	0,018112245			

Tabelle 7 Rechenblatt für Sporthalle Sanierung mit EVG

Rechenblatt EDS Beleuchtung				
Projekt	Sporthalle			
Betriebseinheit	Umrüstung EVG			
Normbeleuchtungsstärke	400lx			
Energiebezugsfläche	1575m <sup>2</sup>			
Geforderter Lichtstrom	630000lm			
Raumindex	2,63	$k = l \times b / h \times (l+b)$	9,5	7,5
Raumwirkungsgrad	0,80	Kurve 1	45	35
Lichtstrom Lampe	5200lm			
Leistung Lampe	52W			
Leistung VSG pro Lampe	3W			
Leistung gesamt	55W			
Wirkungsgrad Lampensystem	95lm/W			
Wirkungsgrad Leuchte	0,8			
Verminderungsfaktor	0,70	0,8 normal bis 0,6 stark		
Benötigter Lichtstrom	1.406.250			
Lampenzahl	270n		45,0721	
Pmax	14874W		9,44368	W/m <sup>2</sup>
Nutzungszeit	2500h/a			
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7			
Vollbetriebsstunden	1000h/a			
Jahresenergiebedarf	14.873.798Wh/a			
Energiedienstleistung	1.575.000.000lx m <sup>2</sup> h / a			
Spez. Jahresenergiebedarf	9.444Wh/m <sup>2</sup> a		9,4	kWh/m <sup>2</sup> a
Vergleichskennwert	0,009443681			

Tabelle 8 Rechenblatt für Tribüne

<b>Rechenblatt EDS Beleuchtung</b>				
Projekt	Sporthalle			
Betriebseinheit	Tribüne			
Normbeleuchtungsstärke	200	lx		
Energiebezugsfläche	105	m <sup>2</sup>		
Geforderter Lichtstrom	21000	lm		
Raumindex	1,49	$k = l \times b / h \times (l+b)$	5,5	3,5
Raumwirkungsgrad	0,7	Kurve 1	15	8
Lichtstrom Lampe	5200	lm	25	
Leistung Lampe	52	W		
Leistung VSG pro Lampe	3	W		
Leistung gesamt	55	W		
Wirkungsgrad Lampensystem	95	lm/W	4000	lm
Wirkungsgrad Leuchte	0,8			
Verminderungsfaktor	0,7	0,8 normal bis 0,6 stark		
Benötigter Lichtstrom	53.571			
Lampenzahl	10	n		
Pmax	567	W	5,4	W/m <sup>2</sup>
Nutzungszeit	2500	h/a		
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7			
Vollbetriebsstunden	500	h/a		
Jahresenergiebedarf	283.310	Wh/a		
Energiedienstleistung	52.500.000	lx m <sup>2</sup> h / a		
Spez. Jahresenergiebedarf	2.698	Wh/m <sup>2</sup> a	2,7	kWh/m <sup>2</sup> a
Vergleichskennwert	0,005396389			

Tabelle 9 Rechenblatt für Einzelhalle

<b>Rechenblatt EDS Beleuchtung</b>				
Projekt	Sporthalle			
Betriebseinheit	Umrüstung EVG			
Normbeleuchtungsstärke	400lx			
Energiebezugsfläche	420m <sup>2</sup>			
Geforderter Lichtstrom	168000lm			
Raumindex	1,29k = l x b / h x (l+b)	9,5	7,5	
Raumwirkungsgrad	0,75Kurve 1	15	27	
Lichtstrom Lampe	5200lm			
Leistung Lampe	52W			
Leistung VSG pro Lampe	3W			
Leistung gesamt	55W			
Wirkungsgrad Lampensystem	95lm/W			
Wirkungsgrad Leuchte	0,8			
Verminderungsfaktor	0,70,8 normal bis 0,6 stark			
Benötigter Lichtstrom	400.000			
Lampenzahl	77n	12,8205		
Pmax	4231W	10,0733	W/m <sup>2</sup>	
Nutzungszeit	2500h/a			
Vollbetriebszeitfaktor fv	0,7			
Vollbetriebsstunden	1000h/a			
Jahresenergiebedarf	4.230.769Wh/a			
Energiedienstleistung	420.000.000lx m <sup>2</sup> h / a			
Spez. Jahresenergiebedarf	10.073Wh/m <sup>2</sup> a	10,1	kWh/m <sup>2</sup> a	
Vergleichskennwert	0,01007326			

Tabelle 10 Lampen in der Sporthalle Bestand

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>	1.575		81					75.465			67.919
Turnhalle 1 58 W	420	6	6	6	71	36,5	864000	15.336	1,0	1.000	15.336
Turnhalle 1 36 W	420	6	3	6	47	12,1	270000	5.076	1,0	1.000	5.076
						48,6					
Turnhalle 2 58 W	420	6	5	6	71	30,4	720000	12.780	1,0	1.000	12.780
Turnhalle 2 36 W	420	6	4	6	47	16,1	360000	6.768	1,0	1.000	6.768
						46,5					
Turnhalle 3 58 W	420	6	6	6	71	36,5	864000	15.336	1,0	1.000	15.336
Turnhalle 3 36 W	420	6	3	6	47	12,1	270000	5.076	1,0	1.000	5.076
						48,6					
Tribüne 1 58 W	105	1	6	6	71	24,3	144000	2.556	1,0	500	1.278
Turnhalle 1 36 W	105	1	3	6	47	8,1	45000	846	1,0	500	423
Tribüne 1 58 W	105	1	6	3	71	12,2	72000	1.278	1,0	500	639
Turnhalle 1 36 W	105	1	3	3	47	4,0	22500	423	1,0	500	212
						48,6					
Tribüne 2 58 W	105	1	5	6	71	20,3	120000	2.130	1,0	500	1.065
Turnhalle 2 36 W	105	1	4	6	47	10,7	60000	1.128	1,0	500	564
Tribüne 2 58 W	105	1	5	3	71	10,1	60000	1.065	1,0	500	533
Turnhalle 2 36 W	105	1	4	3	47	5,4	30000	564	1,0	500	282
						46,5					
Tribüne 3 58 W	105	1	6	6	71	24,3	144000	2.556	1,0	500	1.278
Turnhalle 3 36 W	105	1	3	6	47	8,1	45000	846	1,0	500	423
Tribüne 3 58 W	105	1	6	3	71	12,2	72000	1.278	1,0	500	639
Turnhalle 3 36 W	105	1	3	3	47	4,0	22500	423	1,0	500	212
						48,6					