

Beleuchtungssanierung in 10 Schulen (Standards, internes Contracting)

Axel Bretzke, Dipl. Phys, Dipl. Energiewirt(FH),

Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abt. Energiemanagement, Gerbermühlstr. 48,
60594 Frankfurt am Main, T +49 (0) 69-212-38697,
axel.bretzke@stadt-frankfurt.de, www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Zusammenfassung

In den letzten Jahren haben die Beleuchtungsproduzenten bemerkenswerte Fortschritte in der Beleuchtungstechnik erreicht. Als Beispiel seien genannt die erheblichen Fortschritte bei der Lebensdauer und der Alterung von Leuchtmitteln, der Effizienz, veränderbare Leuchtencharakteristik und daraus resultierend bessere Planungsfaktoren. Diese Fortschritte bedürfen aber verstärkter Umsetzung, sowohl in der Normung als auch bei der konkreten Planung

Messungen der Beleuchtungsstärke in sanierten Schulen der Stadt Frankfurt zeigten deutliche Überschreitungen gegenüber den Planungsdaten und den Vorgaben der Normen. Diese Überschreitungen verursachen erhöhte Investitions- und Unterhaltungskosten und können zu verringertem Komfort vor allem an Bildschirmarbeitsplätzen führen.

Deshalb wurden eine optimierte Beleuchtungssanierung in dem Pilot-Projekt Helmholtzschule 2001 bis 2002 getestet. Die Erfahrungen aus diesem Pilotprojekt flossen als Ergänzung in die Leitlinien für wirtschaftliches Bauen der Stadt Frankfurt ein. Im Unterschied zu den charakteristischen Kennwerten der DIN 18599 Teil 4 mit 5 bis 10 W/(m² 100lx) und der DIN 12464, geben die Leitlinien für wirtschaftliches Bauen (Leitlinien FFM) der Stadt Frankfurt Werte von 2 – 2,5 W/(m² 100lx) vor, in Anlehnung an die SIA 380/4 und den Leitfaden Elektrische Energie 1996. Die Leitlinien des Deutschen Städtetages bauen auf den Vorgaben in Frankfurt auf und schlagen Werte von 2,5 bis 3 W/(m² 100lx) vor. In Belgien sind Kennwerte wie in Frankfurt Vorgabe für öffentlich geförderte Gebäude! Seit 2006 sind diese Werte auch in Deutschen Standards zu finden. In der neuen VDI 3807 T4 (E) aus 2006 und der AMEV-Richtlinie Beleuchtung 2006 sind ebenfalls Kennwerte von 2-2,5 W/(m² 100lx) ersichtlich.

Diese Kennwerte und das sich daraus ergebende Einsparpotential wurde an den folgenden Gebäuden in Frankfurt validiert. In der neu gebauten Grundschule am Riedberg in Passivhaus-Qualität (Qp = 59 kWh/(m²a) wurden für die Klassenräume mit 300 lx eine spezifische Leistung von 5,6 W/m² entsprechend 1,9W/(m² 100lx) installiert. Gemessen wurden über 400 lx. In der Gesamtschule "Schule am Ried" wurde die Kennwertvorgabe nach der Sanierung unterschritten. Die berechnete Beleuchtungsstärke Em gemäß Dialux lag bei 368 lx, gemessen wurden 443 lx. Die Vorgabe eines Wartungsfaktors (DIN EN 12464) kleiner als 0,8 ist daher für übliche Auslegungsprogramme bei Installation von neuen Leuchten nicht zu vertreten. Ein Wert von 0,8 wird auch in der AMEV-Richtlinie Beleuchtung 2006 empfohlen. Ein weiteres Beispiel ist die Modernisierung der Beleuchtung zweier Schul-Sporthallen. Trotz deren größeren Höhe blieben bei optimaler Leuchtencharakteristik die erreichten Kennwerte unter oder knapp über den Vorgaben.

Deshalb startete das Energiemanagement des Hochbauamtes der Stadt Frankfurt ein Programm zur Beleuchtungs-Sanierung von weiteren acht Schulen..Auch hier konnten die Kennwert-Vorgaben eingehalten werden. Mit einer optimierten Planung (Beleuchtungskonzept) ergeben sich aufgrund der geringeren Investitions- und Unterhaltungskosten Amortisationszeiten von 5 bis 10 Jahren. Für diese Leistungen im Bereich Beleuchtungssanierung und Neubau hat das Hochbauamt der Stadt Frankfurt den Greenlight Award der EU 2006 erhalten.



Einleitung

Ein reduzierter Stromverbrauch bei normgerechter Beleuchtungsqualität liegt im Sinne der EU-Vorgaben zur Energieeffizienz (Directive on Energy Performance of Buildings – EPBD). Das Potential ist in der Regel größer als in Normen und Berechnungsregeln angesetzt.

In der neuen Norm DIN 18599 Teil 4 sind zur Bestandsbeurteilung Erfahrungswerte über die Beleuchtungsleistungen für Nichtwohngebäude festgehalten. Beim Vergleich dieser Werte mit den Erfahrungswerten, die im Leitfaden Elektrische Energie des Landes Hessen 1996 (LEE 1996) oder abgeschwächt in den Vorgaben der SIA 380/4/LEE 2000 beschrieben sind, ergibt sich ein erhebliches Einsparpotential von 50 bis 80%. Dieses Potential hat die Stadt Frankfurt in einem Modellprojekt und weiteren Folgeprojekten seit 2001 in der Umsetzung verifiziert. Die Stadt Frankfurt hat daher die Vorgaben des LEE in Ihren Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen vorgegeben und in der Praxis weiter umgesetzt. Es zeigte sich, dass Beleuchtungsprogramme und Tabellenverfahren nach Norm für eine optimierte Planung unzureichend sind. Auch wurde die Erfahrung berücksichtigt, dass die Beleuchtungsstärke allein nicht ausschlaggebend für die positive Bewertung der Beleuchtungsqualität ist und sich hier weitere Einsparmöglichkeiten ergeben können.

Normenvorgaben

In der Tabelle 1 der DIN 18599 Teil 4 sind folgende Kennwerte für die Bewertung im Bestand genannt, die allerdings nun auch für Neubauten eine (ungeeignete) Richtschnur vorgeben sollen:

	Relative senkrechte Lichtausbeute φ_u	Spezifische Leistung mit EVG [W/m ² 100 lx]
DIN 18599 direkt	$\geq 0,9$	5
DIN 18599 direkt/indirekt	$0,1 \leq \dots < 0,9$	6
DIN 18599 indirekt	0,1	10
SIA380/4	0,97	2 - 3
LEE 1996 Grenzwert	0,97	$2,5 * f_v$ $f_v \leq 0,7$
LEE 1996 Zielwert	0,97	$2,0 * f_v$ $f_v \leq 0,7$
Leitlinien FFM Grenzwert	0,97	2,5
Leitlinien FFM Zielwert	0,97	2

Tabelle 1: Spezifische Leistung für Beleuchtung DIN 18599/4, SIA 380/4, Lee 1996, Leitlinien FFM

Im Leitfaden elektrische Energie im Hochbau des Landes Hessen, LEE 1996 werden mit Bezug auf die Erfahrungswerte der SIA 380/4 und neueren Berechnungen $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100 \text{ lx})$ als Grenzwert und $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100 \text{ lx})$ als Zielwert angegeben. In der neuen VDI 3807 T 4 (E) werden für Klassenräume mit der Beleuchtungskategorie gering bis sehr gering Werte von $4-7 \text{ W}/\text{m}^2$ für 300 lux angegeben. Die Systematik orientiert sich dabei an der SIA bzw. dem MEG (Land Hessen). In der neuen AMEV Richtlinie Beleuchtung 2006 geben die Beispiele vergleichbare Kennwerte wieder.

Das Einsparpotential bei der Leistung und damit auch beim Stromverbrauch im Vergleich zum Bestand oder klassischer Planung liegt daher bei 50 –80%. Reduzierte Investitionskosten sind dabei ebenfalls zu verzeichnen.

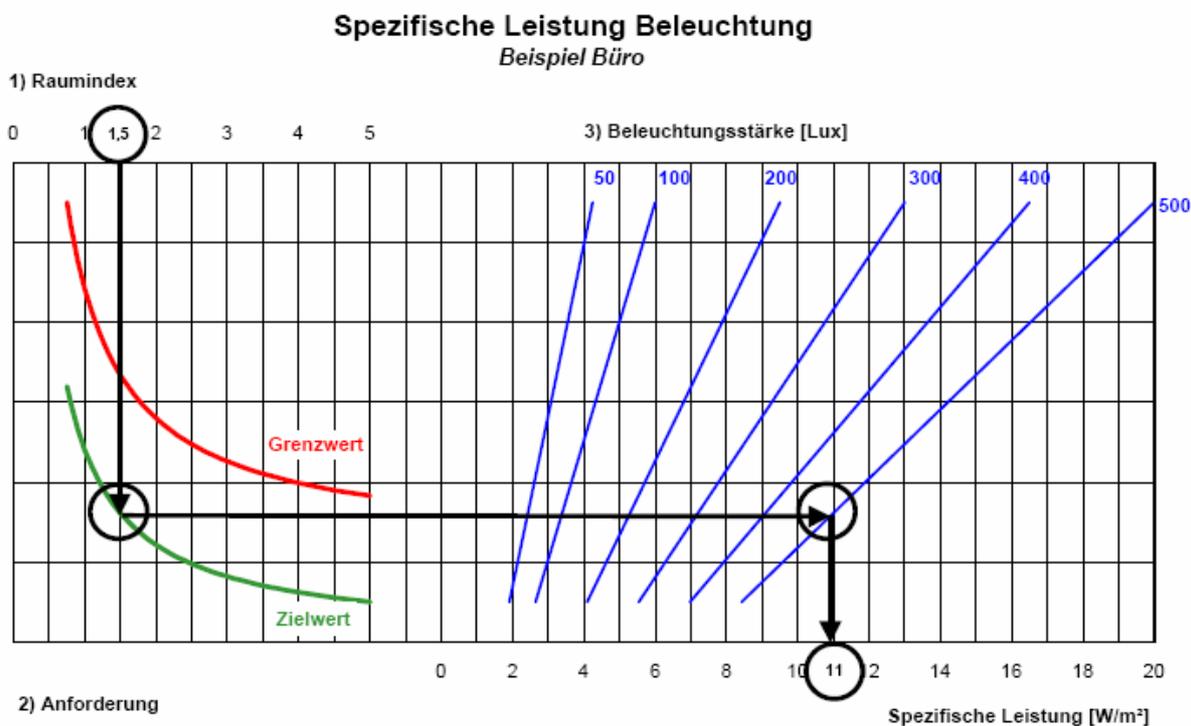
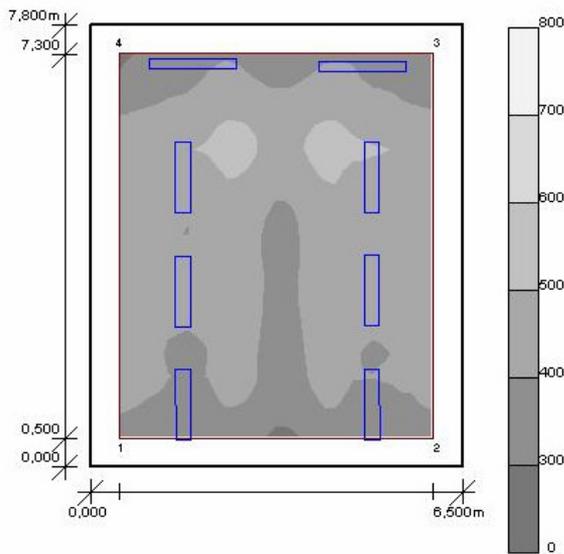
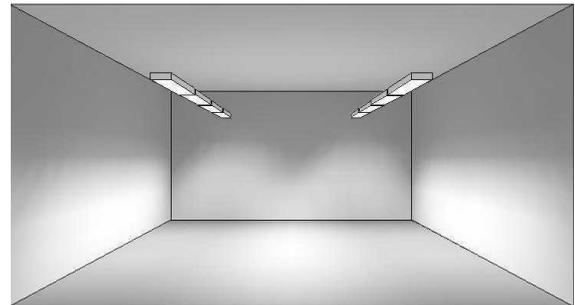
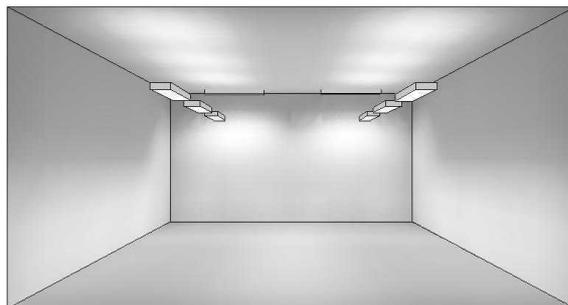


Bild 1: spezifische elektrische Leistung für Beleuchtung, SIA 380/4, SIA etool

Modellprojekt Helmholtzschule

Im Projekt Helmholtzschule hat die Stadt Frankfurt die Möglichkeiten einer optimierten Planung für die Beleuchtungssanierung eines Pilot-Klassenraums mit der einer Standard-Modernisierung verifiziert. Die installierte Leistung im Modellraum mit 8 T5 Leuchten a 35 Watt liegt bei $6,1 \text{ W/m}^2$. Die Standardauslegung nach AMEV Beleuchtung 2000 ,die ebenfalls schon erheblich unter den Werten der DIN 18599 liegt, sind 8 Leuchten a 58 W mit einem Kennwert von $8,8 \text{ W/m}^2$ im Vergleichsraum. Die Beleuchtung vorher hatte um 16 W/m^2 mit 12x58W T8 Leuchten. Die Vorgaben der DIN (300 lx etc.) wurden in beiden Fällen eingehalten (Em 420 lx und 670 lx). Die Messergebnisse zeigten eine erhebliche Überschreitung der Beleuchtungsstärke über 20% der Planungswerte. Dies konnte auch bei den weiteren Projekten festgestellt werden und wird auch aus Untersuchungen aus der Schweiz berichtet. Trotz geringerer Beleuchtungsstärke wurde allerdings der Modellraum von den Nutzern als heller und freundlicher bewertet, was das Konzept bestätigte. Dabei zeigte sich auch, dass neben der reinen Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene die Wahl der Strahlungscharakteristik breitstrahlend sowie ein geringer Indirektanteil (10%) durch ein seitlich gelochtes Raster mit ausschlaggebend sein können.

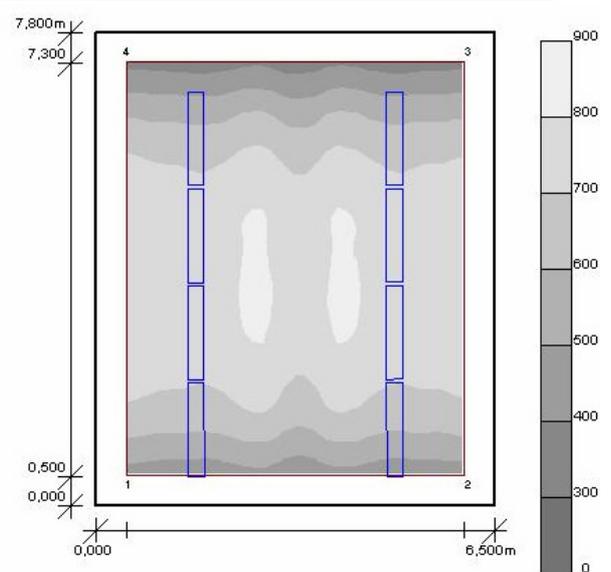
Verglichen mit der alten Beleuchtungsauslegung können 33% Investitionskosten und ca. 70% des Stromverbrauchs eingespart werden.



Raumhöhe 3,500 m

Em in lx (°)	E _{max} in lx (°)	E _{min} in lx (°)	E _{min} /E _m (°)	E _{min} /E _{max} (°)
422	553	295	1:1,4	1:1,9

*)... Nutzebene vermindert um 0,500 m Randzone



Raumhöhe 3,500 m

Em in lx (°)	E _{max} in lx (°)	E _{min} in lx (°)	E _{min} /E _m (°)	E _{min} /E _{max} (°)
668	820	349	1:1,9	1:2,4

*)... Nutzebene vermindert um 0,500 m Randzone

Pilot-Klassenraum:
6,1 W/m², 420 lux, mit 8x35W T5 Leuchten

Klassenraum mit guter Standardsanierung:
8,8 W/m², 670 lux, 4x58W T8 Leuchten

Berechnet mit DIALUX für 300 lx, Reflektion 70/50/20, Wartungsfaktor 0,8

Bilder 2a-f

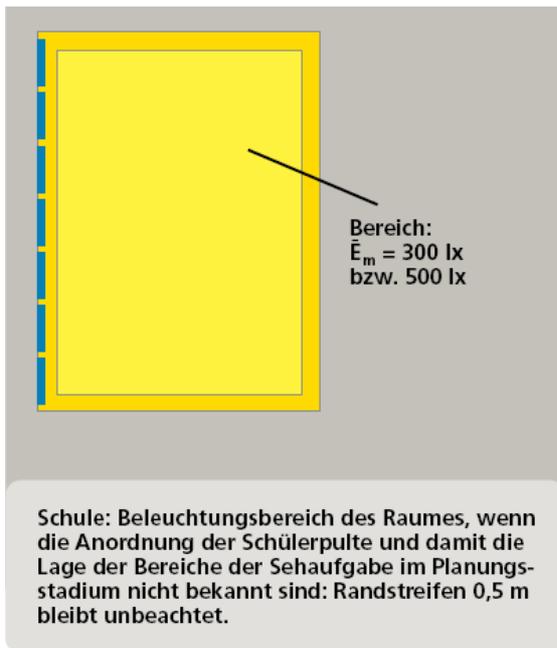


Bild 5: Als Arbeitsbereich wird in üblichen Klassenzimmern der gesamte Raum angenommen. Die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke: 300 Lux für Grund- und weiterführenden Schulen, 500 Lux für Abendklassen und Erwachsenenbildung.

Bild 3a: ZVEI-Handbuch, Kalkulation für die Beleuchtung von Klassenräumen

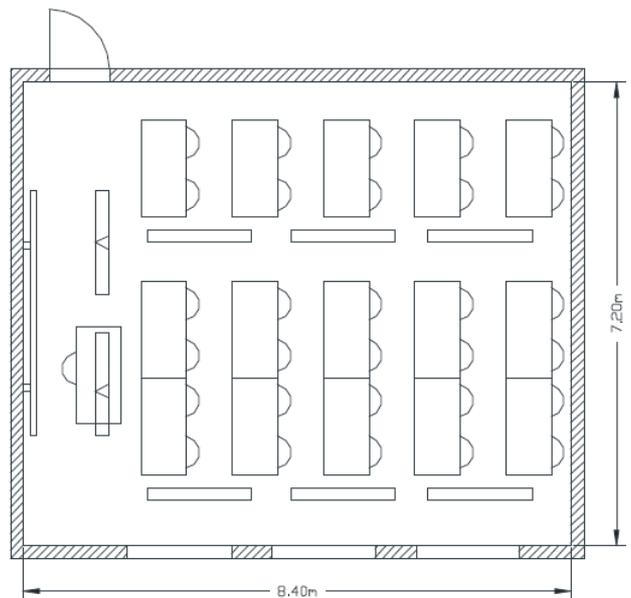


Abbildung 6: Beleuchtung einer Normalklasse

6 Leuchten mit je 1 Leuchtstofflampe T 26/58 W und 2 Leuchten, asymmetrische Lichtstärkeverteilung, mit je 1 Leuchtstofflampe T 26/58 W als Zusatzbeleuchtung für Hauptwandtafelbereich.
 Installierte Leistung: 440 W ($7,3 \text{ W/m}^2$).
 $E_m \geq 300 \text{ lx}$
 Gleichmäßigkeit bei eingeschalteter Tafelbeleuchtung: $E_{\min}:E_m = 0,30$;
 $E_{\min}:E_{\max} = 0,20$.

Bild 3b: Bsp. AMEV Beleuchtung 2006

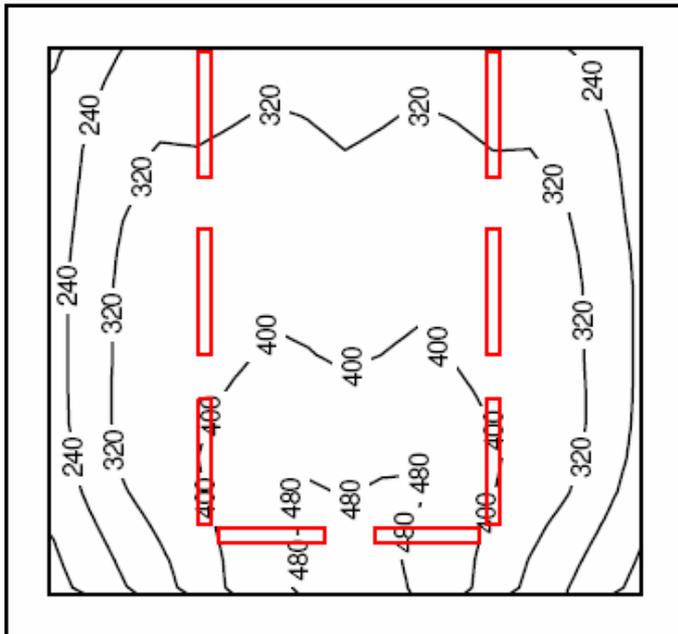
Die Vorgaben des LEE 1996 wurden bestätigt und daher 2001 in den Standards der Stadt Frankfurt festgeschrieben (Leitlinien FFM). Sie wurden in weiteren Projekten, der Passivhaus-Grundschule am Riedberg und der Schule am Ried, umgesetzt und messtechnisch verifiziert.

Weitere Projekte

Schule am Ried

Bei der Sanierung der Schule Am Ried wurde gezielt auf eine optimierte, wirtschaftliche Beleuchtung Wert gelegt. Aus der Erfahrung im Modellprojekt Helmholtzschule wurde für die T5 Leuchten mit einem Wartungsfaktor von 0,8, Standardreflexionsdaten 70/43/20 und einem Randbereich von 0,5 m gerechnet. Für einen Klassenraum mit 60 m^2 wurden 8 Leuchten mit T5 (36/39 W) Lampen (3200/3600 lm) eingesetzt. Der berechnete Wert E_m mit Wartungsfaktor 0,95 lag bei 343 lx, der gemessene Wert bei $E_m = 443 \text{ lx}$. Es zeigte sich, dass auch das Hersteller unabhängige Planungstool noch relativ konservative Ergebnisse zeigt. Die Tabellenverfahren nach Norm waren für eine optimierte Planung ungeeignet.

Bild 4: Schule am Ried, Klasse 116, berechnete Werte und spezifische Leistung



Raumhöhe: 3.000 m, Wurfungsfaktor: 0,95 Werte in Lux, Maßstab 1:101

Fläche	ρ [%]	E_{in} [lx]	E_{ref} [lx]	E_{max} [lx]	g_1
Nutzebene	/	343	139	520	0,40
Boden	20	267	111	465	0,42
Decke	70	48	23	87	0,47
Wände (4)	43	92	26	314	/

Nutzebene:
 Höhe: 0,350 m
 Raster: 16 x 16 Punkte
 Randzone: 0,500 m

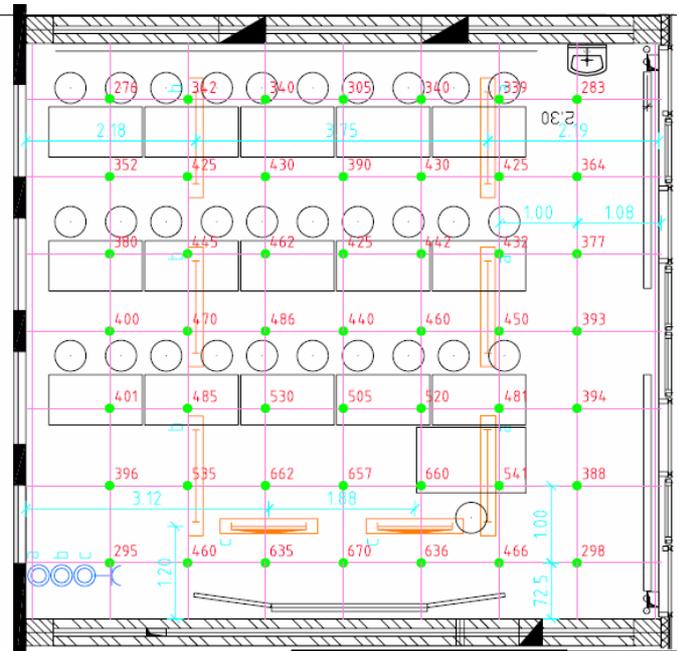
Beleuchtungsverhältnis (nach LG7): Wände / Nutzebene: 0,230, Decke / Nutzebene: 0,139.

Leuchtenanordnungen

Nr.	Stk	Bezeichnung (Korrekturfaktor)	Φ [m]	P [W]
1	8	TRILUX 5041RSV-L/35 E Raster-Anbauleuchten Baureihe 504... (1,000)	3600	30
2	2	TRILUX 5081W-RSA/36 E Raster-Anbauleuchten Baureihe 508... (1,000)	3200	36
			gesamt:	28000 306

Spezifischer Anschlusswert: 5,10 W/m² = 1,49 W/m²100 lx (Grundfläche: 80,00 m²)

Bild 5: Schule am Ried, Klasse 116, gemessene Werte



Beleuchtungsstärke E_{max} =670 lux
 Beleuchtungsstärke E_{min} =276 lux

Mittlere Beleuchtungsstärke E_m =443 lux

E_m mit Verminderungsfaktor 0,8:

E_{m*} =354 lux

g_1 = E_{min}/E_m =0,62

Ort: Raum 116, 1.06

Leuchten: 6xTRILUX 5001RSV/35E

symmetrisch, breitstrahlend, 1x35W

2xTRILUX 5001RSA/35E

asymmetrisch, 1x35W

(neue Leuchtmittel)

Temperatur: T=21°C,

Datum: 14.05.2003

Uhrzeit: 21.00-21.45

Messgerät: Minolta Illuminance

Meter T-1, Nr.: 209797

Messhöhe: 70cm üOKFFB [Regel-Tischhöhe]

Lichte Raumhöhe: 2,96m

Wandabstand 30cm:
 vertikale Beleuchtungsstärke= 390lux

Leuchte

Messpunkt

N



Bild 6: Schule am Ried, Klasse 116

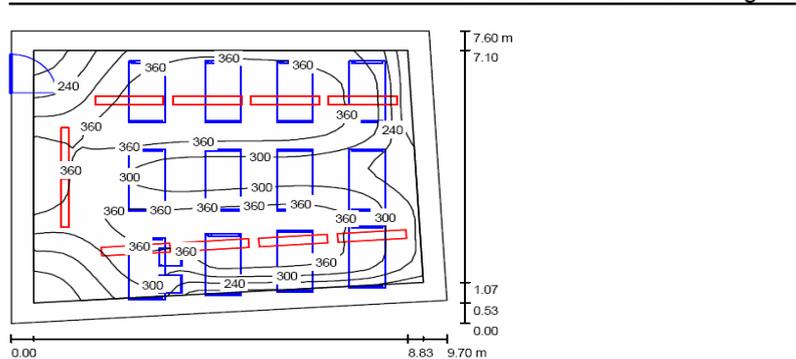
Grundschule am Riedberg

In der Grundschule Riedberg wurden die Erfahrungen der vorangegangenen Beispiele berücksichtigt. Da die Vorgaben für eine Passivhaus-Schule mit 120 kWh/m² a Primärenergie sehr eng sind, wurde auch deshalb auf eine optimierte Beleuchtungsplanung Wert gelegt. Auch hier wurde mit T5 35 W, Spiegelraster Dreibandlampen mit gelochtem Raster bei Einhaltung der Norm (Em 300 lx) ein Kennwert von 5,6 W/m² erreicht. Je Klasse von 69 m² wurden dazu 10 Leuchten, davon 2 zur Beleuchtung des Tafelbereichs, installiert. Die Kosten pro Leuchte liegen bei typischen 100 € incl Montage. Auch hier lag die gemessene Beleuchtungsstärke über der berechneten.

Bild 7: Schule am Riedberg, Klassenraum integrative Schule



Klassenraum - Einblattausgabe



Raumhöhe: 3.100 m, Montagehöhe: 3.100 m, Wartungsfaktor: 0.80 Werte in Lux, Maßstab 1:100

Fläche	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g1
Nutzebene	/	327	129	418	0.39
Boden	30	192	50	317	0.26
Decke	90	126	38	2709	0.30
Wände (4)	60	109	26	304	/

Nutzebene:
 Höhe: 0.850 m
 Raster: 20 x 15 Punkte
 Randzone: 0.500 m
 Beleuchtungsstärkeverhältnis (nach LG3:2001): Wände / Nutzebene: 0.321, Decke / Nutzebene: 0.384.

Leuchtenanordnungen

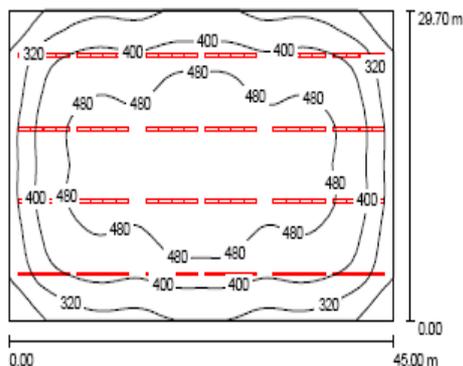
Typ	Stück	Bezeichnung (Korrekturfaktor)	Φ [lm]	P [W]
1	2	TRILUX 5081W-RSA/36 E Raster-Anbauleuchten Baureihe 508... (1.000)	3200	36
2	8	TRILUX 5261RSV-LJ/35+05261DG/1500 E Raster-Anbauleuchten u... (1.000)	3300	39
gesamt:			32800	384

Spezifischer Anschlußwert: 5.53 W/m² = 1.69 W/m²/100 lx (Grundfläche: 69.41 m²)

Bild 8: Grundschule am Riedberg, berechnete Beleuchtungsstärke und spezifische Leistung

Turnhallen Friedrich-Ebert-Schule und Wilhelm-Merton Schule (heute Franz-Böhm-Schule)

Sporthalle Friedrich-Ebert-Schule - Zusammenfassung



Raumhöhe: 7.200 m, Montagehöhe: 7.200 m, Wartungsfaktor: 0.80

Werte in Lux, Maßstab 1:500

Fläche	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1
Nutzebene	/	421	189	558	0.40
Boden	55	408	170	544	0.42
Decke	78	180	85	258	0.47
Wände (4)	26	222	97	358	/

Nutzebene:

Höhe: 0.850 m
 Raster: 32 x 16 Punkte
 Randzone: 0.000 m

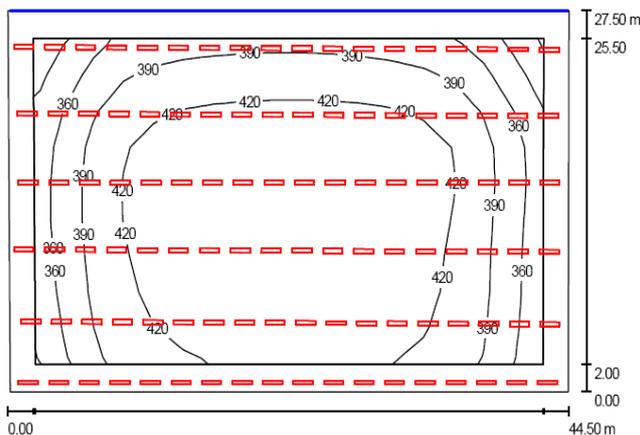
Beleuchtungsstärkeverhältnis (nach LG3:2001): Wände / Nutzebene: 0.524, Decke / Nutzebene: 0.427.

Leuchtenanordnungen

Typ	Stück	Bezeichnung (Korrekturfaktor)	Φ [lm]	P [W]
1	96	Kandem SA 11/2X58 EVG (1.000)	10000	110
gesamt:			960000	10560

Spezifischer Anschlußwert: $7.90 \text{ W/m}^2 = 1.87 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Grundfläche: 1336.50 m^2)

Sporthalle Wilhelm-Merton-Schule / Einblattausgabe



Raumhöhe: 9.000 m, Montagehöhe: 7.200 m, Wartungsfaktor: 0.72

Werte in Lux, Maßstab 1:347

Fläche	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1
Nutzebene	/	408	299	444	0.73
Boden	25	372	174	445	0.47
Decke	70	95	58	118	0.61
Wände (4)	51	155	30	698	/

Nutzebene:

Höhe: 1.000 m
 Raster: 17 x 9 Punkte
 Randzone: 2.000 m

Beleuchtungsstärkeverhältnis (nach LG7): Wände / Nutzebene: 0.389, Decke / Nutzebene: 0.232.

Leuchtenanordnungen

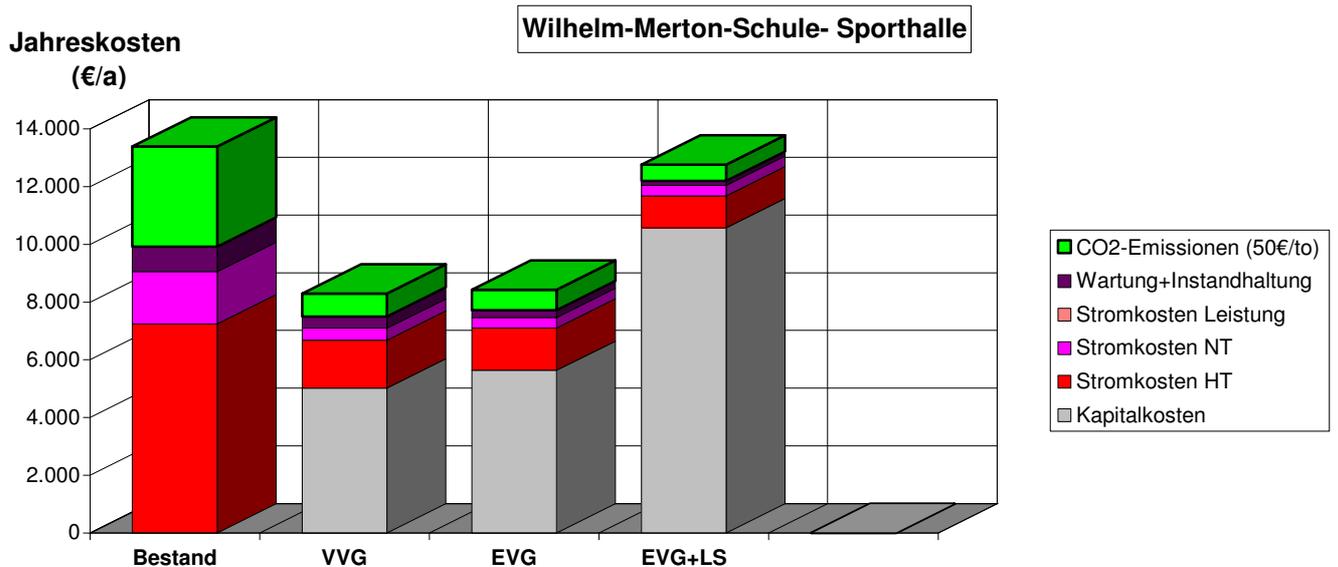
Nr.	Stück	Bezeichnung (Korrekturfaktor)	Φ [lm]	P [W]
1	108	Kandem SA 11/2X58 EVG (1.000)	10000	110
gesamt:			1080000	11880

Spezifischer Anschlußwert: $9.74 \text{ W/m}^2 = 2.39 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Grundfläche: 1220.31 m^2)

In der Turnhalle der Friedrich-Ebert-Schule hatte die alte Beleuchtung einen Kennwert von 12 W/m^2 bei unzureichender Lichtleistung. Trotz einer Raumhöhe von 7,5 m konnte mit einer spezifischen Leistung von $7,9 \text{ W/m}^2$ in der Turnhalle nach der Sanierung eine ausreichende Ausleuchtung von über 400 lx erreicht werden. Für eine Fläche von $3 \times 462 \text{ m}^2$ wurden dabei 96 ballwurfsichere T8 Spiegelrasterleuchten a $2 \times 58 \text{ W}$ eingesetzt. Die Maßnahme amortisiert sich innerhalb von 6 Jahren bei 1750 h/a.

Bild. 9 und 10: Sporthallen "Friedrich-Ebert-Schule" und "Wilhelm-Merton-Schule", berechnete Beleuchtungsstärke und spezifische Leistung

In der Turnhalle der Wilhelm-Merton-Schule wurde die vorhandene Beleuchtung mit einem Kennwert von 48 W/m^2 saniert. Die neue Beleuchtung mit 108 ein- und zweiflämmige 58 W Spiegelrasterleuchten mit EVG erreicht einen Kennwert von $9,74 \text{ W/m}^2$ bei einer Anforderung von 400 lx. Dies, obwohl die Turnhalle eine Höhe von 9,5 m hat und im wesentlichen Holzwände mit einem schlechten Reflexionsfaktor. Die Maßnahme amortisiert sich innerhalb von 3,5 Jahren



Grafik 1

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgte mit der Gesamtkostenberechnung der Stadt Frankfurt (www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement -> Rechenprogramme).

Ergebnis der Pilotuntersuchung und der weiteren Projekte bis 2005

Wirtschaftlichkeit, Erreichung der Grenz- und Zielwerte

Die wirtschaftliche Umsetzung der Kennwerte des LEE 1996 mit einem Zielwert von $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$ konnte in den beiden Schulklassen Projekten nachgewiesen werden bei Einhaltung der Normvorgaben von $E_m = 300 \text{ lx}$. Selbst bei den beiden Turnhallen mit höheren Anforderungen wegen der Höhe und Reflexionsgraden waren Kennwerte im Bereich des Grenzwertes des LEE 1996 von $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$ mit wirtschaftlichen Sanierungsmaßnahmen erreichbar.

Weitere Effizienzsteigerung

Zusätzlich zur optimierten Beleuchtungsauslegung sollte auch die Tageslichtnutzung und die präsenzabhängige Lichtschaltung optimiert werden. Entsprechend automatische Systeme zeigten sich für die Anwendung in Schulen mit gemessenen Nutzungszeiten zwischen 400 und 1000 Std. als noch nicht wirtschaftlich.

Als einer automatischen Steuerung zumindest ebenbürtig und ebenfalls praxistauglich wurde eine zentrale Pausenabschaltung erprobt und eingesetzt. 5 min nach Ende der ersten Schulstunde (ca. 8:30 am) wird in allen Klassen zum ersten mal das Licht kurz zentral abgeschaltet. Selbst im Winter ist es zu diesem Zeitpunkt bereits ausreichend hell, um bei Bedarf das Licht wieder einzuschalten. Dies wird in jeder Pause über den Tag wiederholt. Neben den geringeren Kosten liegt der Vorteil gegenüber einer automatischen Steuerung in der vollständigen Abschaltung der Beleuchtung, während bei der automatischen Steuerung die künstliche Beleuchtung auch bei geringem Bedarf noch einige Watt an Leistung zieht. Überraschend im Projekt war, dass es zu dieser Pausenschaltung keinerlei negative Rückmeldung gab, was die Erfahrung bestätigt, dass eine gute künstliche Beleuchtung gar nicht mehr besonders wahrgenommen wird. Bei einer nicht gesteuerten künstlichen Beleuchtung führt dies zum bekannten Phänomen der Dauernutzung.

Für eine optimale wirtschaftliche Beleuchtung braucht man folgende Vorgaben:

- Grenzwert 2,5 W/m² 100 lx
- Zielwert 2 W/m² 100 lx
- Automatische Pausen-Abschaltung der Klassenzimmerbeleuchtung reicht als Tageslichtsteuerung aus
- Keine Sicherheitszuschläge notwendig, Wartungsfaktor nahe 1 ergibt in der Realität ausreichende Überdimensionierung
- Flure mit Bewegungsmeldern mit Tageslichtsensoren

Internes Contracting 8 Schulen, 2 Sporthallen, 2005-2006

Aufgrund der vorgenannten positiven Erfahrungen wurde dem Stadtschulamt die Sanierung weiterer 8 Schulen zusammen mit den Turnhallen in einem Contractingpaket angeboten

Internes Contracting Stadt Frankfurt:

- Für die Maßnahmen wird i.d.R. vorher ein Teil-Energiekonzept erstellt
- Die Maßnahmen werden aus der Haushaltsstelle „Energie- und Wassersparmaßnahmen“ des Energiemanagements bezahlt
- Die Abwicklung erfolgt durch das Energiemanagement selbst oder das Hochbauamt, ggf. mit Unterstützung Externer
- Die Laufzeit des internen Contractingvertrages entspricht ungefähr der Amortisationszeit, ggf. verkürzt oder verlängert, wenn zusätzliche Sanierungsmaßnahmen mit getragen werden oder Sachleistungen am Anfang mit abgegolten werden.
- Die Contractingrate wird pauschal aus der Laufzeit und einer internen Verzinsung von 6% berechnet (Bearbeitungszins), eine abschließende Abrechnung erfolgt anhand der abgerechneten Maßnahmenkosten
- Die Raten werden aus dem Verwaltungshaushalt (Energiekosten und Bauunterhaltung) des jeweiligen Amtes auf die Haushaltsstelle „Energie- und Wassersparmaßnahmen“ des Energiemanagements bezahlt
- Die Mittel der HH-Stelle „Energie- und Wassersparmaßnahmen“ werden übertragen und sind ausschließlich für den Zweck zu verwenden (Magistratsbeschluss 1996)
- Um den Transaktionsaufwand in Grenzen zu halten werden die tatsächlichen Einsparungen nicht exakt sondern auf Plausibilität geprüft

Internes Contracting 8 Schulen, 2 Sporthallen

- Für dieses Paket Beleuchtungscontracting beträgt die Laufzeit 5 Jahre
- Die dynamische Amortisation beträgt 5 Jahre unter Berücksichtigung von CO₂-Einsparkosten (ohne Nr.8)
- Die Annuität beträgt 0,237 (6% Bearbeitungszins)
- Für die Maßnahmen wurden ca. 475 T€ aus der Haushaltsstelle „Energie- und Wassersparmaßnahmen“ bezahlt
- Die pauschale Contractingrate beträgt 112.500 €/a
- Die letzte Contractingrate wird mit der abschließenden Abrechnung der Maßnahme berechnet

Die Maßnahmen wurden im Jahr 2006 umgesetzt, erste Betriebsergebnisse liegen bereits vor.

Nr.	Schule	Kostenrechnung €	Abrechnung €	Mehrkosten €	Ingenieur Phase 1-9 €	Gesamtkosten €	pro Leuchte €	bel. Fläche m2	Leistung alt/neu kW	Berechnete Einsparung Strom/Wartung 2005 €/a	Anm.
1	Gerhart-Hauptmann	26.000	22.981	-3.019	2.633	25.614	124	3.000	42/22	3.600	
2	Schule am Erlenbach	41.000	23.119	-17.881	2.648	25.768	123	1.500	37/9	5.700	
3	Linnéschule	68.500	56.513	-11.987	6.474	62.987	174	7.600	91/47	8.000	Decken+Notbel.
4	Karl-Oppermann	39.000	23.131	-15.869	2.650	25.781	97	2.700	33/15	3.900	
5	Robert-Schumann	32.000	23.788	-8.212	2.725	26.514	126	3.000	46/24	3.800	
6	Peter-Petersen	55.000	40.118	-14.882	4.596	44.714	111	4.200	65/33	5.900	
7	Georg-Büchner	125.000	112.604	-12.396	12.900	125.504	131	9.800	152/58	14.000	
8	John-Hinrich-Wichern	75.000	68.968	-6.032	7.901	76.896	184	3.500	36/21	2.200	ohne EnergieK, Hochbau 30T€
9	Friedrich-Ebert Turnhalle	22.200	14.347	-7.853	3.080	17.427	182	1.600	23/12	2.800	+ Verkabelung
10	Wihelm-Merton TH	32.500	36.202	3.702	6.734	42.937	298	1.900	75/14	8.500	+ Verkabelung
Summe		516.200	421.773	-94.427	52.341	474.141	145	38.800	600/255	58.400	

Tabelle 2 Übersicht Beleuchtungs-Contracting 8 Schulen und 2 Turnhallen

Das Projekt 8 wurde als einziges nicht durch ein Beleuchtungskonzept vorbereitet sondern im Rahmen einer Standardplanung realisiert.

Die unterschiedlichen Kosten pro Leuchte resultieren aus zusätzlichen Maßnahmen im Rahmen der Sanierung :

- In einigen Bereichen musste die Beleuchtung z.T. erst von 100 auf 300 lux ertüchtigt werden
- Z.T. wurden die Decken mit renoviert bzw. angepasst
- Oftmals wurde die Elektrik und Schaltung mit erneuert
- In einigen Objekten wurde die Notbeleuchtung mit erneuert (LED)
- In allen Objekten wurde die Außenbeleuchtung in verschiedenem Umfang mit saniert

Zu den Kennwerten ist anzumerken:

- Bei allen Schul-Sanierungen wurde der Grenzwert von 2,5 W/m² , zum Teil sogar der Zielwert unterschritten (auch Turnhallen mit 8.8 W/m² bei 400 lux)
- In einigen Bereichen wurde vorher erneuerte Beleuchtung belassen

Die Ergebnisse des Contracting-Paketes ohne Projekt 8 stellt sich wie folgt dar:

- Sanierung von 7 Schulen und 2 Sporthallen
- Gesamtfläche saniert 35.000 m²
- Sanierung mit T8 58W und T5 36W Leuchten

Übersicht ohne Nr.8	Bestand	saniert	Einheit
Leistung	564	234	kW
spezifische Leistung	15,98	6,63	W/m ²
spezifischer Verbrauch	16	5,7	kWh/m ² a

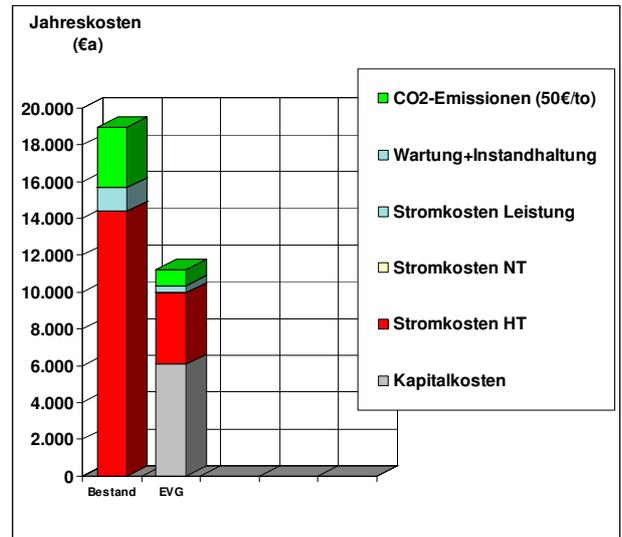
Tabelle 3 Einsparung

Die Wirtschaftlichkeit unter den folgenden Bedingungen ergibt sich aus der Gesamtkostenberechnung der Stadt Frankfurt:

Grafik 2

2 Turnhallen

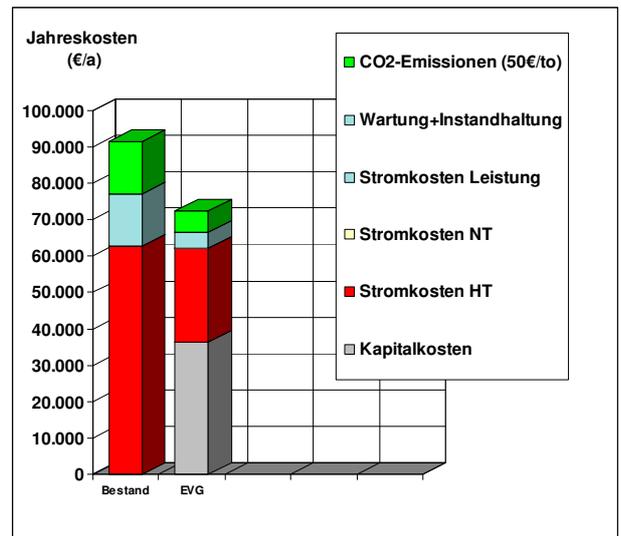
- Amortisation < 4 Jahre
- Kapitalzins 3,5% für Energieeinsparung
- Preissteigerung Energie 5%,
- CO2 50€/t
- Betrachtungszeitraum 10 Jahre
- Kennwert: vorher bis 30 W/m², nachher 8,8 W/m²



Grafik 3

7 Schulen:

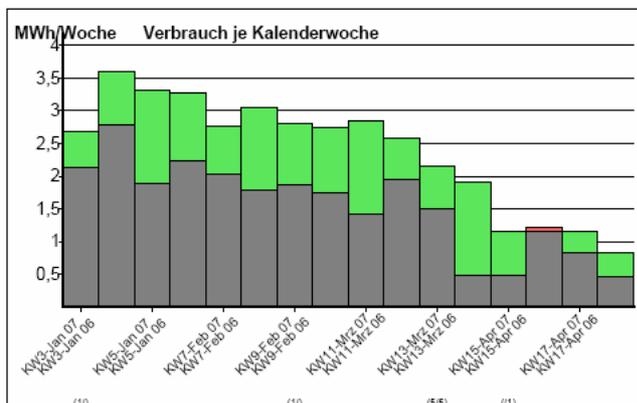
- Amortisation 5 Jahre
- Kapitalzins 3,5% für Energieeinsparung
- Preissteigerung 5%
- Betrachtungszeitraum 10 Jahre
- Kennwert vorher bis 25 W/m² nachher 6,1 W/m²



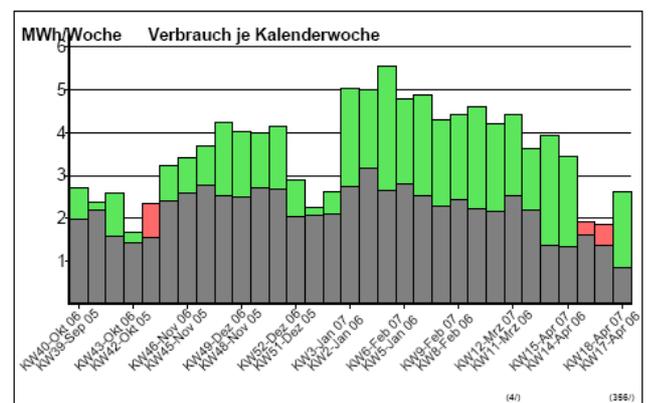
Eine Auswertung der Einsparergebnisse wird Ende 2007 Anfang 2008 erfolgen.

Aktuelle Einsparergebnisse aus der automatischen Verbrauchserfassung:

(<http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/ave.htm>)



Grafik 4: Schule am Erlenbach



Grafik 5: Peter-Petersen-Schule

Externe Beispiele

Auch neuere Projekte im Bürobereich können die Kennwerte des LEE 1996 erreichen. Die Bandbreite der spezifischen installierten Leistung für im Grunde dieselbe Sehaufgabe ist allerdings immer noch verblüffend und reicht von 5,0 bis 14 W/m² selbst für ambitionierte Energiespargebäude (siehe Hoffmann/Voss).

Resumee

Die Vorgaben der Ziel- und Grenzwerte des LEE 1996 und die Norm SIA 380/4 mit 2 bzw. 2,5W/(m² 100lx) sind mit einer optimierten Beleuchtungsauslegung wirtschaftlich erreichbar. Die Vorgaben der „Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen“ der Stadt Frankfurt mit 2- 2,5 W/(m² 100lx) als wirtschaftliches Optimum wurden bestätigt. Die Investitionskosten für die realisierten Projekte liegen im Rahmen einer guten Standardauslegung und deutlich unter den Kosten einer klassischen Installation nach Norm-Berechnungsblättern. Die Leistungs- und Stromeinsparung allein durch die Auslegungsoptimierung beträgt gegenüber einer klassischen Auslegung 50 % und mehr. Der Vergleich mit den Kennwerten der Norm DIN V 18599 für den Bestand mit 5- 10 W/(m² 100lx) weist daher ein realistisches Einsparpotential im Bestand von über 50% allein an der Leistung aus. Auch gegenüber einer guten Neuplanung z.B. nach den Vorgaben des AMEV Bel2000 können mit einer optimierten Auslegung immer noch 20-30% eingespart werden. Die Normbeleuchtungsstärke wurde in jedem Fall eingehalten, die berechneten Werte wurden in jedem Fall überschritten. Sicherheitszuschläge zu den Planungsberechnungen der gängigen Beleuchtung-Software sind daher nicht zu vertreten. Durch die gewählten Spiegelrasterleuchten mit EVG, seitlich gelochtem Raster und Dreibandlampen zeigten die Nutzer sich mit der Beleuchtungsleistung zufrieden. Auch die Pausenschaltung wurde überraschend unkommentiert akzeptiert. Überdimensionierungen der Beleuchtung sind nicht notwendig, zum Teil sogar unakzeptabel (AMEV BelBild 2002). Die Amortisation für die Sanierung alter Schulbeleuchtung liegt bei 5 bis 10 Jahren, abhängig von der alten Beleuchtung und der Nutzungsdauer pro Jahr.

Literatur:

- ALG
Bel 2000
Bel 2006
BelBild 2002
Bel-Klasse:
DIN V 18599 4
DST-Leitlinien
Hoffmann/Voss
LEE 1996:
LEE 2000/2001
Leitlinien FFM
SIA 380/4
SIA etool
VDI 3970 T4 (E)
- Advanced lighting Guidelines, New Building Institute, White Salmon 2003
Arbeitskreis Maschinen und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen: AMEV Beleuchtung 2000: Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden. Berlin 2000
Arbeitskreis Maschinen und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen: AMEV Beleuchtung 2000: Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden. Berlin 2006
Arbeitskreis Maschinen und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen: AMEV BelBildschirm 2002: Hinweise für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten in öffentlichen Gebäuden. Berlin: 2002
Bretzke, Axel: Planung effizienter Beleuchtung für Unterrichtsräume. Kosteneinsparung durch kommunales Energiemanagement. DST-Beiträge zur Wirtschafts- und Verkehrspolitik, Reihe F Heft 14, Hrsg.: Deutscher Städtetag, Köln 2003
Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End-, und Primärenergiebedarfs für Beheizung, Kühlung, Belüftung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung — Teil 4: Beleuchtung, (6/2004). Beuth-Verlag, Berlin
Kienzle, V., Linder, M.: Energieleitlinien Planungsanweisungen. Hinweise zum kommunalen Energiemanagement. Ausgabe 10, Hrsg.: Deutscher Städtetag, Arbeitskreis Energieeinsparung, Deutscher Städtetag. Köln 2003
C. Hoffmann, Dipl.-Ing., Karsten Voss, Prof. Dr.-Ing: Zur Ermittlung des Energiebedarfs für Kunstlicht in Bürogebäuden - Diskussion von Messresultaten., Bauphysik Volume 27, Issue 4, Berlin 2005
Institut Wohnen und Umwelt: Elektrische Energie im Hochbau, Leitfaden elektrische Energie. Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt Energie und Bundesangelegenheiten, Wiesbaden 1996/98
Institut Wohnen und Umwelt: Elektrische Energie im Hochbau, Leitfaden elektrische Energie. Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt Energie und Bundesangelegenheiten, Wiesbaden, Darmstadt 2000/2001
Stadt Frankfurt, Hochbauamt, Energiemanagement: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen (früher: Technische Standards). Frankfurt 2001 – 2005
Hrsg.: Schweizer Ingenieur und Architektenverein: SIA Empfehlung Elektrische Energie im Hochbau. Zürich 1995
Gasser, Stefan: Handbuch zur Excel-Anwendung. Etool_licht.xlt: Anwendungsinstrument zu SIA 380/4, Minergie-Nachweis für Beleuchtung, Hrsg.: Bundesamt für Energie, Bern, www.380-4.ch, Zürich 2003
Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie, VDI, Düsseldorf 2006