Beleuchtungssanierung in 11 Schulen der Stadt Frankfurt a.M. mit Leistungs- und Präsenzsteuerung sowie LED-Technik

Im Januar 2010 wurde von der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt der Stadt Frankfurt beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ein Antrag auf Förderung der Sanierung der Beleuchtung in 12 Schulen mit Leistungs- und Präsenzsteuerung sowie LED-Technik gestellt. Die Investitionen wurden damals mit 957.400 € geschätzt. Im Dezember 2010 wurde über den Projektträger Jülich ein Zuwendungsbescheid in Höhe von 20 % erteilt.
Bis zum Jahr 2012 wurden die Beleuchtungsanlagen in 11 Schulen erfolgreich fertiggestellt, die Kosten belaufen sich auf 988.296 €. In einer Schule kann die Beleuchtung wegen einer erforderlichen Deckensanierung erst im Jahr 2013 saniert werden.

Liegenschaft	**Kosten-feststellung (€)**
Albert-Schweitzer-Schule	30.580
August-Gräser-Schule	68.108
Berthold-Otto-Schule	97.183
Bonifatiusschule	64.732
Brüder-Grimm-Schule	100.079
Erich-Kästner-Schule	21.140
Helene-Lange-Schule	119.517
IGS Nordend	159.754
Leibnizschule	137.444
Ludwig-Richter-Schule	50.662
Stauffenbergschule	139.097
Summe	**988.296**

1 Gesamtmaßnahme

1.1 Zustand vor der Sanierung

Insgesamt gab es in den untersuchten Schulen rund 7.500 Leuchten bei einer beleuchteten Gesamtfläche von 55.000 m^2. Die gesamte installierte elektrische Anschlussleistung betrug 750 kW. Dies entspricht einer spezifischen Leistung von ca. 14 W/m^2. Die mittlere Betriebszeit wurde mit 800 h/a abgeschätzt. Daraus ergab sich ein Stromverbrauch von 600 MWh/a oder 11 kWh/m^2a.

1.2 Sanierungskonzept

Für die unterschiedlichen Raumtypen wurde eine neue Beleuchtungsanordnung mit neuen Spiegelrasterleuchten im T16/T5 Standard mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) konzipiert. Zusätzlich wurde eine Lichtsteuerung gewählt.
Von den insgesamt 7.500 Leuchten wurden rund 5.800 Leuchten auf einer Gesamtfläche von 47.000 m^2 demontiert und durch 5.000 neue energieeffiziente Leuchten mit Präsenz- und/oder Leistungssteuerungen ersetzt. Die installierte Leistung in den zu sanierenden Bereichen wurde von 600 kW auf 195 kW reduziert. Damit reduziert sich die mittlere installierte Leistung von 13

W/m^2 auf 4 W/m^2. Dies entspricht einer Verringerung der installierten Leistung um rund 2/3. Durch die Lichtsteuerung soll sich die durchschnittliche Betriebsstundenzahl von 800 auf 570 h/a verringern. Der Stromverbrauch sinkt dadurch von 480 MWh/a auf 113 MWh/a. Damit ist eine Verringerung der CO2-Emission von ca. 200 t/a verbunden.

1.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden mit der Gesamtkostenberechnung durchgeführt, die von der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt entwickelt wurde und auf der Internetseite www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de zur Verfügung steht. Der Kapitalzins wurde mit 4,5 %/a, die Energiepreissteigerung mit 5 %/a angesetzt. Der Betrachtungszeitraum wurde konservativ auf 15 Jahre festgelegt. Das Ergebnis ist in Bild 1 wiedergegeben.

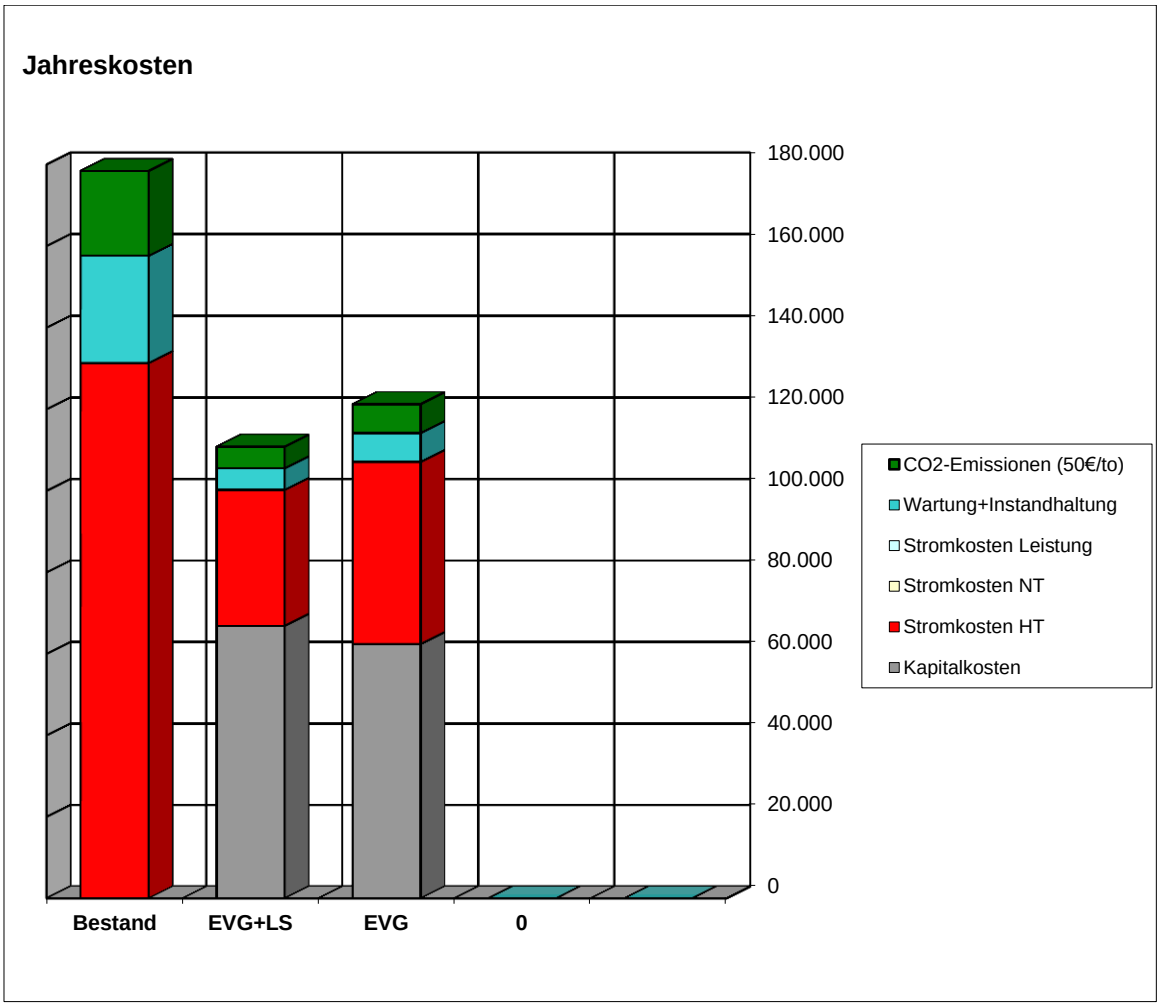


Bild 1: Gesamtkostenvergleich zwischen Bestand und zwei Sanierungsvarianten

Im Bestand vor der Sanierung lagen die jährlichen Gesamtkosten für die Beleuchtung in den Schulen bei ca. 180.000 €/a. Durch die Sanierung mit effizienten Leuchten (EVG) sinken die Gesamtkosten auf ca. 120.000 €/a. Wenn man zusätzlich eine Lichtsteuerung einsetzt (EVG+LS), erhöhen sich die Gesamtkosten zunächst wieder. Bei Berücksichtigung der Förderung sinken diese jedoch auf 115.000 €/a. Mit der BMU-Förderung von 20% stellt die Variante mit Lichtsteuerung also die wirtschaftlichste Lösung dar.
Den Hauptanteil an den Maßnahmen haben die Klassen- und Fachräume sowie die Verwaltungsräume und Verkehrflächen. Hinzu kommen die Turnhallen mit Nebenräumen und die Außenbeleuchtung.

2 Klassenräume

2.1 Zustand vor der Sanierung

Die ursprüngliche Beleuchtung war erheblich überdimensioniert. Der Kennwert für die installierte Leistung betrug in der Regel zwischen 15 W/m² und 25 W/m^2.
Es gibt rund 450 Klassenzimmer mit Flächen zwischen 38 und 87 m² und einer Gesamtfläche von 23.000 m^2. Die Klassenräume verfügen über 2 - 3 Lichtbänder mit 4 - 8 Anbau- oder Pendelleuchten und jeweils zwei Leuchtmitteln mit 58 W oder 36 W und konventionellem Vorschaltgerät (KVG). Jedes Lichtband ist einzeln schaltbar. Es gab im Bestand sowohl Raster- als auch Pendelleuchten. Ein Beispiel zeigt Bild 2.

Bild 2: Beleuchtung im Klassenräumen vor der Sanierung 8 x 2 x 58 W

Bild 3: Beleuchtung im Klassenraum nach der Sanierung 6 x 1 x 49 W und 2 x 1 x 35 W

2.2 Sanierungskonzept

Für die unterschiedlichen Raumtypen wurde zuerst eine neue Beleuchtungsanordnung mit Spiegelrasterleuchten und Drei-Banden-Lampen im T16/T5-Standard mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG), konzipiert. Außerdem wurde eine Lichtsteuerung in Form einer Leistungsregelung mit Präsenzmeldern gewählt.
Die Räume wurden nach Größen und Formen sortiert. Für jede Klassenraumgröße (87, 70, 63, 56, 46 und 38 m^2) wurde eine Dialuxberechnung durchgeführt. Dabei wurde immer das in Frankfurt bereits im Rahmen der letzten Sanierungskampagne entwickelte Grundkonzept umgesetzt (siehe: Beleuchtungssanierung in sieben Schulen und zwei Sporthallen 2008).
Als Standard sind jeweils 2 Reihen mit je 3 Leuchten und 2 separate Tafelleuchten vorgesehen. Die unterschiedlichen Raumgrößen werden durch verschiedene Leistungen der Einzelleuchten berücksichtigt, so dass sich eine Beleuchtungsstärke von möglichst genau 300 Lux bei einer Randzone von 0,5 m ergibt. Dabei können die Einzelleuchten 2 x 35 W, 1 x 54 W, 1 x 49 W, 1 x 35 W und 1 x 28 W betragen. Die 2 Tafelleuchten habe bis auf wenige Ausnahmen jeweils 1 x 35 W.
In Bild 4 ist die Raumverteilung der Leuchten für das 70 m^2 Klassenzimmer 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 dem Auslegungsprogramm DiaLux zeigt, dass in den mittleren Klassentypen eine Leuchtenzahl von 8 ausreicht, um die erforderliche Beleuchtungsstärke von 300 Lux zu erreichen. Die installierte Leistung liegt dann bei jeweils sechs 49-W-Leuchten und zwei 35-W-Leuchten mit EVG bei 5,5 W/m^2 und damit unter dem Zielwert von 2 W / m², 100 Lux aus den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen. Die Anordnung besteht aus zwei Leuchtenreihen mit jeweils 3 Leuchten und zwei querliegenden Leuchten über dem Lehrertisch bzw. Tafelbereich.
Die gleiche Berechnung wurde auch mit Pendelleuchten (direkt/indirekt: 80/20) durchgeführt. Das Ergebnis ist ähnlich. Da der Lichteindruck durch die Deckenaufhellung insgesamt freundlicher wird, werden wo immer möglich oder bereits vorhanden, die Leuchten abgependelt ausgeführt.

Als zusätzliche Variante wurde die tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung gerechnet. Diese Variante zeichnet sich dadurch aus, dass Licht nur in der Stärke zugeschaltet werden kann, die notwendig ist, um eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux zu erreichen. Gleichzeitig wird durch einen Präsenzmelder sichergestellt, dass die Beleuchtung nur bei Raumnutzung im Betrieb ist.

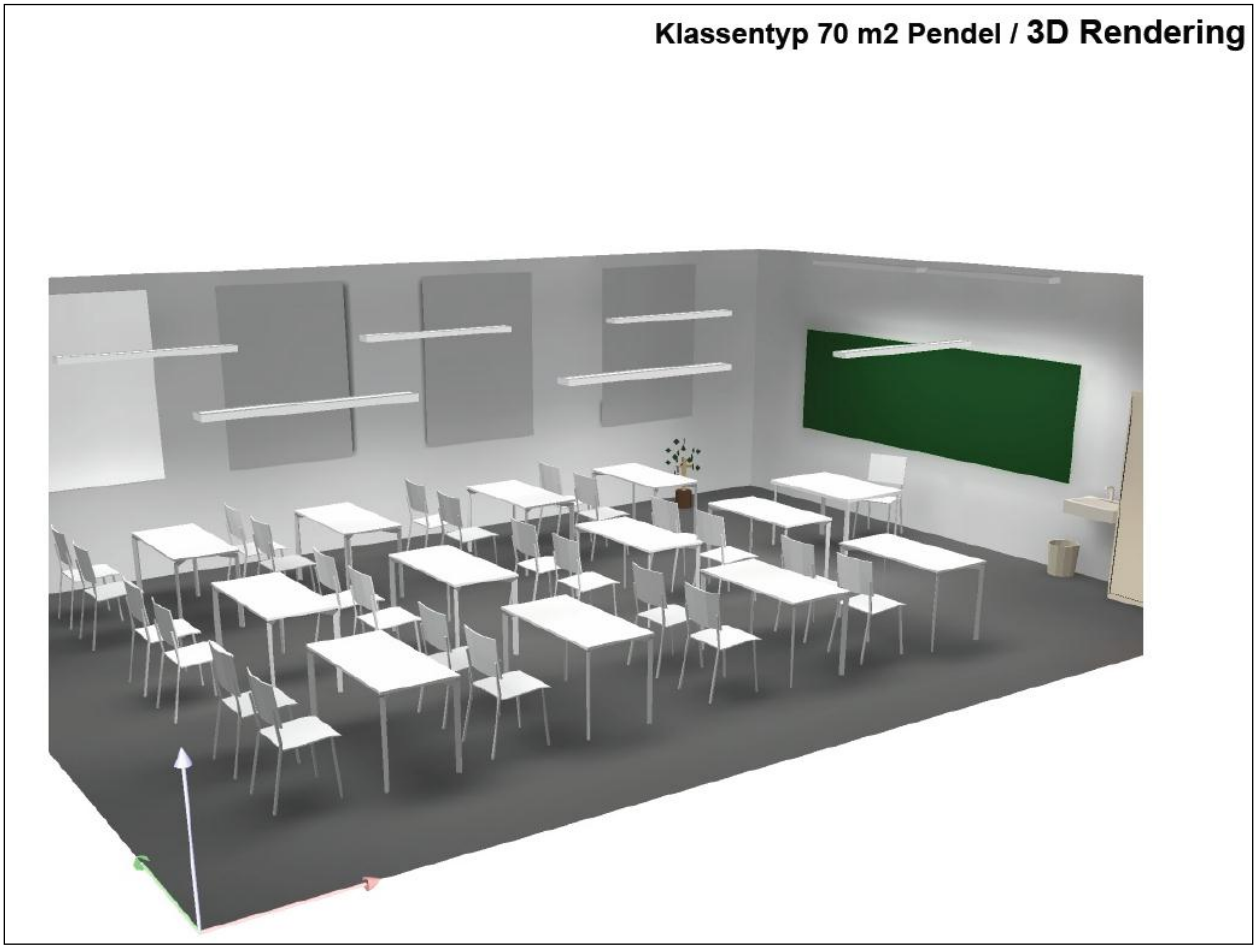


Bild 4: Klassentyp 70 m^2 mit Pendelleuchten

Diese Variante spart besonders viel Strom bei hohem Fensteranteil, der bei Klassenräumen praktisch immer gegeben ist. Die Investitionskosten sind allerdings höher und der bauliche Eingriff aufwändiger.

Es wurde ein System gewählt, das folgende Eigenschaften aufweist:

1. komplett abschaltbar
2. kontinuierlich dimmbar
3. Lichtregelung frei voreinstellbar
4. trennbar für Wand- und Fensterreihe

Das System arbeitet mit einer zentralen Lichtsteuerung und integriertem Präsenzmelder, der direkt in der sogenannten Mutterleuchte sitzt (siehe Bild 5). Von dieser werden alle anderen Leuchten mittels Dali-Bus angesteuert. Diese haben ein dimmbares EVG, um die Lichtleistung einzustellen.
Über eine Fernbedienung wird einmal die Grundeinstellung vorgenommen, in welche die Leuchten nach dem Abschalten immer wieder zurückfallen, z.B. wenn gedimmt worden ist. Damit ist dieses System weitestgehend unempfindlich gegen ein Verstellen durch die Nutzer, da nur noch mittels Taster ein- und ausgeschaltet oder gedimmt werden kann.

Zusätzlich gibt es immer noch einen Ausschalter, mit dem die gesamte Beleuchtung abgeschaltet werden kann. Damit werden Stand-by-Verluste weitestgehend vermieden.

Bild 5: Sensor für Helligkeit und Bewegung in der Leuchte

Bild 6: Gesamteindruck der Leuchte

3 Flure und Treppen

3.1 Zustand vor der Sanierung

Es gab unterschiedliche Beleuchtungsanlagen bei den Fluren. Teilweise waren vierflammige Leuchten mit 4 x 18 W und KVG installiert, teilweise waren auch Langfeldleuchten mit KVG und 1 x 58 W oder 2 x 58 W Leuchtmittel vorhanden.
Die installierte spezifische Leistung war dementsprechend sehr unterschiedlich und reichte von ca. 2 W/m² bis 13 W/m^2. Die meisten Flure sind nicht sehr hoch, die Leuchtenwirkungsgrade waren aufgrund der veralteten Technik überwiegend schlecht.

3.2 Sanierungskonzept

Eine Sanierung war vor allem als Modernisierungsmaßnahme wegen der veralteten Leuchten zu empfehlen. Da fast alle Leitungen unter Putz lagen und die Schalter keinen Nullleiter hatten, wäre der Installationsaufwand für zentrale Präsenzmelder sehr hoch gewesen. Aus diesem Grunde wurden fast alle Leuchten mit Präsenzmeldern direkt in der Leuchte ausgestattet (siehe Bild 5), so dass diese auf den alten Brennstellen installiert werden konnten.
Die Leuchten werden daher durchgehend gegen neue in T16/T5 Technik mit EVG und Präsenzmelder ausgetauscht.

4 Turnhallen und zugehörige Räume

4.1 Zustand vor der Sanierung

Die Schulen verfügen über zehn im Wesentlichen baugleiche Sporthallen zwischen 280 und 400 m^2. In den Hallen findet nur Trainingsbetrieb statt.
Der Außenlichtanteil ist durch Oberlichtfenster groß, so dass die Beleuchtung im Regelfall tagsüber nicht in Betrieb sein muss. Die Turnhallen waren meist mit veralteten Rasterleuchten mit 2 x 58 W bzw. 3 x 58 W und KVG ausgestattet. 2 Turnhallen waren mit 250-W-Natriumdampflampen ausgestattet. Die installierte Leistung lag zwischen 12 und 24 W/m^2.

Bild 7: Turnhalle Berthold-Otto-Schule vor der Sanierung 3 x 58 W

Bild 8: Turnhalle Berthold-Otto-Schule nach der Sanierung 2 x 35 W mit Bewegungsmelder

Bild 9: Turnhalle IGS Nordend vor der Sanierung 12 x 1 x 250 W

Bild 10: Turnhalle IGS Nordend nach der Sanierung 15 x 2 x 35 W mit Bewegungsmelder

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.

4.2 Sanierungskonzept

4.2.1 Halle

Für den Betrieb der Hallen wird ein Richtwert für die Nennbeleuchtungsstärke E_n gemäß AMEV-Richtlinie zugrunde gelegt. Im Übungsbetrieb müssen 200 Lux und im Wettkampfbetrieb 400 Lux erreicht werden. Für Trainingsbetrieb lässt sich eine installierte Leistung von 4 - 5 W/m^2 erreichen. Durch die Bewegungsmelder werden zusätzlich die Vollbenutzungsstunden verringert.
Die Position der Leuchten im Deckenspiegel wurde auf eine optimale Anordnung hin verändert, wenn die Decken erneuert wurden. Die Nebenräume für die Geräte wurden ebenfalls mit einer Lichtsteuerung (Bewegungsmelder) versehen.

4.2.2 Umkleiden, Duschräume, Waschräume, WC

Auch die Beleuchtung der Nebenräume war mit durchschnittlich 12 W/m^2 erheblich überdimensioniert. Diese Leuchten wurden konsequent auf 2 W/m^2 dimensioniert und erhielten Präsenzmelder. Dort, wo Nullleiter vorhanden waren, erfolgte die Montage von opto-akustischen Präsenzmeldern direkt in der Schalterdose, ansonsten in der Leuchte.
Die Feuchträume erhielten wasserfeste Wannenleuchten. Teilweise erfolgte ein Austausch gegen LED Leuchten in den alten Fassungen.

5 Außenanlagen

Die Außenleuchten waren in der Regel HQL-Strahler mit 150 – 200 W installierter Leistung. Diese wurden durch 21-W-LED-Außenleuchten mit integriertem Helligkeitssensor ersetzt.

Bild 11: HQL-Leuchte vor der Sanierung

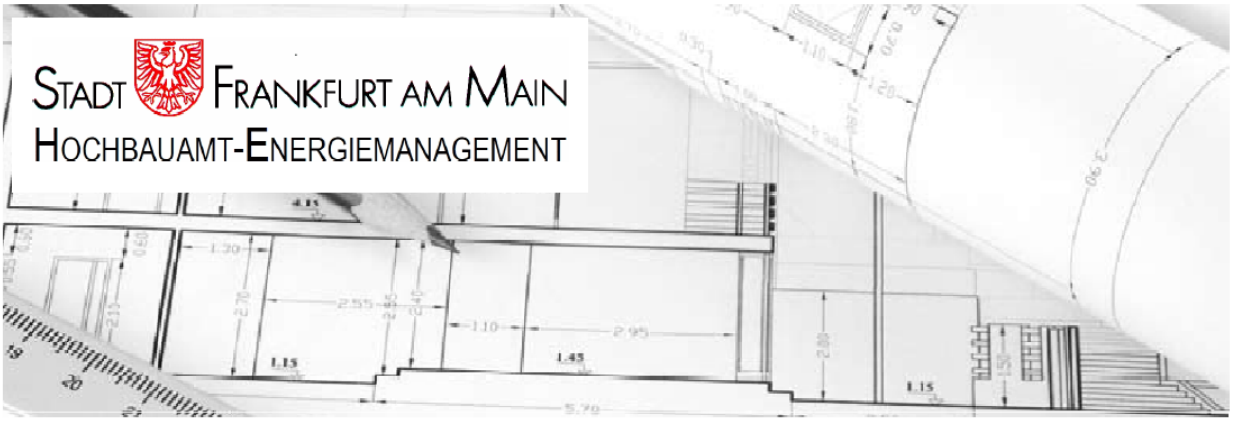
Bild 12: LED-Leuchte nach der Sanierung

6 Fazit

Alle Elektrofirmen hatten erhebliche Schwierigkeiten mit der komplexeren Installation und haben den zeitlichen Aufwand deutlich unterschätzt. Dies, gepaart mit den Lieferzeiten, hat dazu geführt, dass ein Teil der Umrüstungen erst in den Herbstferien, bzw. Restarbeiten erst in 2012 abgeschlossen wurden. Lange Lieferzeiten aufgrund der erheblichen Nachfrage nach Lichtsteuerungssystemen waren dabei ein weiteres Problem. Insgesamt wurde dadurch der ursprünglich vorgesehene Kostenrahmen überschritten.
Als vorteilhaft ist hervorzuheben, dass im Zuge der Abwicklung sowohl eine erhebliche Verbesserung der spezifischen Leistung als auch der Lichtfarbe von den LED-Leuchten eingetreten ist. Auch sind die LED-Leuchten vom Gesamtlichtbild deutlich angenehmer geworden. Gleichwohl gab es auch hier lange Lieferzeiten zwischen 8 –12 Wochen.
Die VOB-Abnahmen sind an 10 Schulen erfolgt und an der Stauffenbergschule in den Sommerferien 2013 vorgesehen.
Die ursprünglichen Planungen wurden mit geringfügigen Änderungen durchgeführt, so dass das prognostizierte Einsparpotential erreicht werden wird. Durch die zusätzlichen, dezentralen Abschaltungsmöglichkeiten der Lichtsteuerung werden zusätzliche Einsparpotentiale durch das Nutzerverhalten erschlossen.

Aufgestellt: Reza Kahrobai, 25.07.2012
Überarbeitet: Mathias Linder, 25.06.2013

Anlage:
Nutzerhinweis zur normgerechten und zukunftssicheren Beleuchtung in Schulen

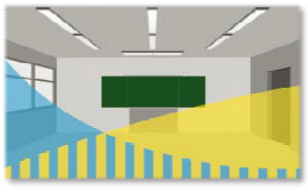


Normgerechte und zukunftssichere Beleuchtung in Schulen

Die Beleuchtung in dieser Schule ist mit hocheffizienten verspiegelten Rasterleuchten saniert worden. Dabei wurde die Leistungsaufnahme und damit der Stromverbrauch bereits **um 50% reduziert**.

Um weitere Energie zu sparen, gibt es eine Lichtsteuerung für die Beleuchtung. Dazu ist pro Klassenraum **ein Schalter** und **ein Taster** installiert.

Mit dem **Schalter** wird das Gesamtsystem komplett ein- oder ausgeschaltet (stromlos). Nach dem Einschalten kann es einige Sekunden dauern, bis alle Funktionen hochgefahren sind.
Diese Funktion ist daher für die Ferienzeiten und Wochenenden gedacht, kann aber auch jeweils morgens und abends benutzt werden, um den Standby-Verbrauch weiter zu reduzieren.



Wenn das System über den Schalter eingeschaltet ist, regelt die Beleuchtung unter Berücksichtigung des Tageslichtanteils automatisch auf den Sollwert, z.B. 300 Lux in den Klassenräumen, der für ein erfolgreiches Lernen erforderlich ist.
Dabei wird die Fensterseite stärker gedimmt, als die Wandseite.

Wenn innerhalb von 5 Min. keine Anwesenheit festgestellt wird, wird die Beleuchtung abgeschaltet und das System geht in den Standby-Betrieb. Bei erneuter Bewegung wird die Beleuchtung wieder eingeschaltet.

Mit dem **Taster** kann außerdem ein- und ausgeschaltet, sowie stufenlos gedimmt werden.

Die Beleuchtungssteuerung spart **weitere 50 % Strom, so dass der Verbrauch insgesamt um mehr als 75% reduziert wird.**

Viel Erfolg beim Energiesparen wünschen die Mitarbeiter vom Energiemanagement