



Sanierung von BeleuchtungsUblagen

Eine Informationsschrift

Sanierung von Beleuchtungsanlagen

Eine Informationsschrift

Layout und Umschlaggestaltung:
daylighting.de

Herstellung und Druck:
design.idee, büro für gestaltung,
Reichartstraße 30, 99094 Erfurt

Alle Rechte vorbehalten.

Der Inhalt dieser Informationsschrift darf für eigene Zwecke vervielfältigt werden. Eine Verwendung in Medien wie z.B. Fachartikeln oder kostenpflichtigen Veröffentlichungen ist vor der Veröffentlichung mit den Autoren abzustimmen.

Diese Sanierungsbroschüre wurde mit großer Sorgfalt erarbeitet. Fehler sind jedoch nie auszuschließen. Wir weisen daher darauf hin, dass wir jegliche Gewähr für die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen ausschließen. Jegliche Nutzung der Inhalte geschieht auf eigenes Risiko. Eine Haftung des Verlages oder der Autoren für unsachgemäße, unvollständige oder falsche Informationen und daraus folgende Schäden wird grundsätzlich ausgeschlossen.

© Fraunhofer IBP, 2017
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Sanierung von Beleuchtungslagen

Eine Informationsschrift

Jan de Boer, Roman A. Jakobiak, Sirri Aydinli

Diese Informationsschrift ist ein Ergebnis des Projektes *Klimaschutz durch energieeffizientere Beleuchtungsanlagen*. Projektlaufzeit: 1. August 2014 bis 31. März 2016, Bekanntmachungsnummer: 2013/S 231-401269, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Stresemannstraße 128 – 130, 10117 Berlin.

Projekt bearbeitet von: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, Dr. Jan de Boer, Roman Jakobiak, Dr. Stefan Gramm, Prof. Dr. Heinrich Kaase, Sirri Aydinli

Stuttgart, im Februar 2017

Inhalt

1	Welche grundlegenden Überlegungen motivieren Beleuchtungssanierungen?	5
2	Lampenwechsel; 1:1 Leuchtentausch; »Deep Retrofit«. Wie an eine Sanierung herangehen?	8
3	»Low Hanging Fruits« in der elektrischen Beleuchtung	10
4	Sind LEDs mittlerweile die zu bevorzugende Lösung?	12
5	LED-Ersatzlampen (»Retrofit«) oder gleich LED-Leuchten?	18
6	Potentiale in der elektrischen Beleuchtung - ja klar. Wie sieht es aber mit der Fassade und Tageslichttechnik aus?	22
7	Welche Möglichkeiten liegen im Lichtmanagement?	29
8	Weitere Maßnahmen?	33
9	Installationstechnik: Wie effizient umzurüsten?	38
10	Wirtschaftliche Überlegungen: »Rendite in renditearmen Zeiten?«	40
11	»Little big Helpers«: Werkzeuge zur Entscheidungs- (und) Planungsunterstützung	45
12	Welche Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten existieren?	53
13	Wie verhält es sich in der Praxis? – Sechs Fallbeispiele	56
14	Literatur / Referenzen	82

1 Welche grundlegenden Überlegungen motivieren Beleuchtungs-sanierungen?

Etwa 480 TWh Strom werden in Europa für Beleuchtungszwecke aufgewendet. Schätzungen [1] nach führt eine vollständige Umstellung auf moderne Lichttechnik (LEDs) zu Einsparungen von 280 TWh. Nur ein geringer Anteil der Anlagen entspricht allerdings zurzeit dem aktuellen Stand der Technik, etwa 75 % der Beleuchtungsanlagen gelten als veraltet (älter als 20 Jahre) [IEA Task 50].

Die Sanierung von Beleuchtungsanlagen kann über Energieeinsparungen zur Nachhaltigkeit, zu höherer Wirtschaftlichkeit der Gebäude und verbesserter Aufenthaltsqualität für die Nutzer zur Lösung zahlreicher aktueller Fragestellungen beitragen:

- **Energieeffizienz:** Installierte Leistungen und damit die Energiebedarfe für Allgemeinbeleuchtungssysteme in z. B. Büros, Industrie, Einzelhandel sind in den letzten 20 Jahren um mehr als den Faktor drei gesunken. Mit der entsprechenden Nutzung von Lichtmanagementsystemen sind die realisierbaren Einsparungen in Teilen noch größer. Hohe und teure Kühllasten in den Sommermonaten werden gesenkt. Dies steht im Kontext energiepolitischer Maßnahmen. So wird beispielsweise proaktiv von Unternehmen die Erstellung von Energieaudits [2] mit Maßnahmenempfehlungen gefordert, welche auch die Beleuchtung umfassen sollten.
- **Wirtschaftlichkeit:** In der Praxis ist häufig die Wirtschaftlichkeit maßgebend. Amortisationszeiten und Renditen im Bereich der Beleuchtung sind häufig deutlich günstiger als Maßnahmen in anderen Gewerken. Förderprogramme wie das *KfW-Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen und Sanieren* können darüber hinaus helfen, Investitionsentscheidungen zu erleichtern.
- **Verbesserung der Beleuchtungssituation:** Investitionen in eine verbesserte Beleuchtung sind in vielen

Fällen vor allem vor dem Hintergrund erhöhter Nutzerzufriedenheit zu sehen. Die Kosten eines Arbeitsplatzes inklusive Lohn (z.B. $6.000 \text{ €/m}^2\text{a}$, $60.000 \text{ € Vollkosten Arbeitsplatz} / 10 \text{ m}^2 = 6.000 \text{ €/m}^2$) übersteigen die Energiekosten ($10 \text{ €/m}^2\text{a}$) um ein vielfaches. Neue, nach dem aktuellen Stand des Wissens geplante, künstliche Beleuchtungssysteme liefern besser auf die Sehaufgaben abgestimmte Lichtverteilungen durch direkt / indirekte Beleuchtung oder Zwei-Komponenten-Beleuchtung (»Task-Lighting«). Lichttechnik im Bereich der Fassade kann für bessere Entblendung bei gleichzeitig guter Tageslichtversorgung sorgen.

Hierbei steht auch die Sanierung von Beleuchtungsanlagen genau wie Neuinstallationen im Kontext genereller technologischer Trends. Dies ist der Wandel hin zu Halbleiterlichtquellen (LEDs mit digitalen Zusatzfunktionen) mit sich nach wie vor schnell ändernden energetischen, wirtschaftlichen und sonstigen Rahmenbedingungen (z. B. deutlich längere Lebensdauer). Im Bereich der Tageslichttechnik ist zwar grundsätzlich von anderen Systemlebensdauern und wirtschaftlichen Bewertungen auszugehen, Designentscheidungen sind hier aber generell weitreichender und mit entsprechender Sorgfalt zu treffen. Tageslicht ist dabei im Bereich der Fassade nur einer von mehreren Treibern. Es ist darauf zu achten, dass die Tageslichttechnik »richtig« mitbetrachtet wird. Beispielhaft sei hier der Einsatz von Lichtlenktechnik und Lichtmanagement genannt.

Zielsetzung dieser Schrift ist es, diese Zusammenhänge anhand ausgewählter zentraler Fragestellungen zur Beleuchtungssanierung zu diskutieren und Lösungsansätze aufzuzeigen. Das Augenmerk liegt hierbei auf Lösungen für den Bereich des Nicht-Wohnungsbaus, in dem sich generell standardisierbare technische Lösungsansätze und Nutzungszeiten für unterschiedliche Gebäudetypen wie Verkauf, Produktion, Büro, Bildung, Gesundheit und auch Hotel/Gastronomie finden. Dies ist in Abgrenzung zum Wohnungsbau zu sehen, wo Lösungen deutlich individueller und

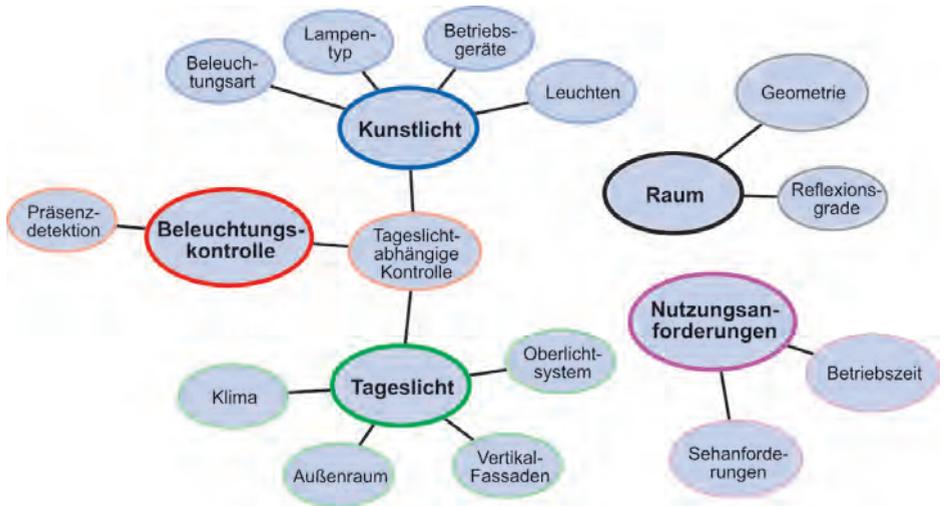


Bild 1: Einflussfaktoren auf die Beleuchtung [Quelle: Fraunhofer IBP].

Nutzungszeiten üblicherweise geringer sind. Effizienzverbesserungen werden dort fast ausschließlich über Leuchtmittelleffizienzen (vgl. »Glühlampenverbot«, EG Verordnung 245/2009) gesteuert.

Berücksichtigt werden in einer integralen Herangehensweise unterschiedlich einwirkende Parameter auf die Beleuchtung, vgl. Bild 1. Die verschiedenen Beteiligten von Beratern über Planende bis zu Ausführenden in den Gewerken Elektro, Fassade und Gebäudesystemtechnik werden mit technischen, wirtschaftlichen und planungspraktischen Informationen angesprochen. Dies beinhaltet eine Sammlung realer Fallstudien.

2 Lampenwechsel; 1:1 Leuchtentausch; »Deep Retrofit«. Wie an eine Sanierung herangehen?

Konkrete Gründe für den (Teil-) Austausch der Beleuchtungstechnik sind einerseits eine nicht mehr zeitgemäße Beleuchtungstechnik selbst oder die Miterneuerung der Beleuchtung als »Sowieso-Maßnahme« im Rahmen größerer Umbauten (Innenausbau und / oder auch Maßnahmen an der Fassade), vgl. Bild 2.

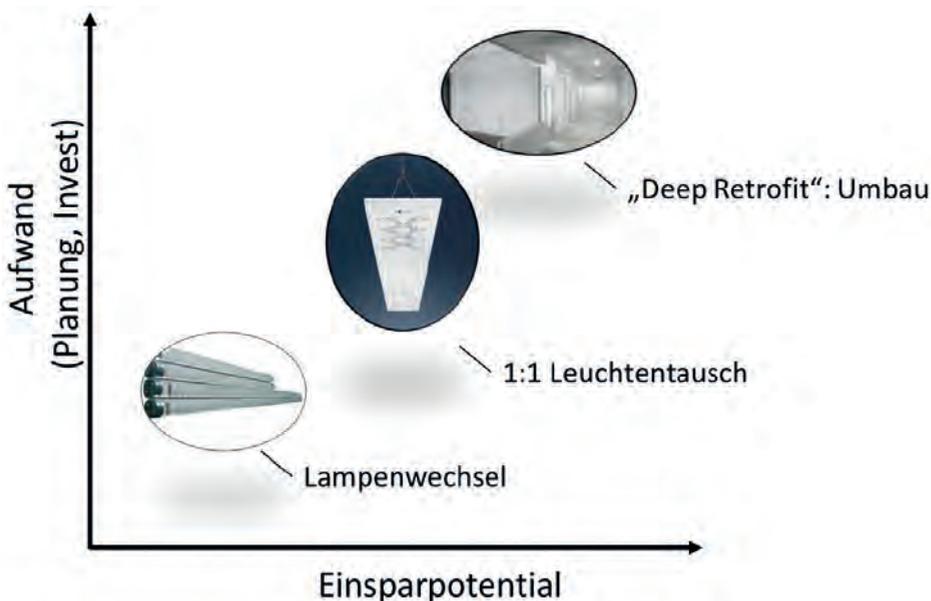


Bild 2: Einordnung von Sanierungsmaßnahmen im Bereich elektrische Beleuchtung [Quelle: Fraunhofer IBP].

Sanierung ausschließlich der Beleuchtung

Eine alleinige Sanierung alter Beleuchtungstechnik kann dadurch motiviert sein, dass Nutzer unzufrieden sind und / oder die Kombination von ineffizienten Leuchten mit großen Betriebszeiten (+ höherer Wartungsanfälligkeit) hohe unwirtschaftliche Betriebskosten verursacht.

Ist Handlungsbedarf identifiziert worden, bieten sich in der Folge zur Umsetzung zwei Herangehensweisen, vgl. auch Bild 2, an:

- **Lampenwechsel:** Die womöglich einfachste und vermeintlich von der Investition her günstigste Maßnahme stellt ein Lampenwechsel dar, heute im Großteil der Fälle ein Wechsel auf LED-Ersatzprodukte.
- **Leuchtenwechsel:** Alternativ kann der Austausch der kompletten Leuchten durchgeführt werden. Dies bietet die Möglichkeit, auf den aktuellen Stand der Lichttechnik mit abgestimmten Lichtstrompaketen umzusteigen.

Eine detaillierte Darstellung von Vor- und Nachteilen beider Ansätze ist Kapitel 5 »Retrofit-Lampen oder LED-Leuchten« zu entnehmen.

Sowieso-Maßnahmen (»Deep Retrofit«)

Bei der Miteinbeziehung der Beleuchtung im Rahmen anderer Sanierungsmaßnahmen, z. B. der Kernsanierung oder der Fassadensanierung, gelten aus beleuchtungstechnischer Sicht im Prinzip alle Aspekte einer Neuplanung. Hier kann es z. B. zu einer bei einer reinen Beleuchtungssanierung eher seltenen Neuplatzierung der Leuchten im Rahmen einer überarbeiteten Innenarchitektur kommen. An der Fassade können beispielsweise mangelnde Blendschutzfunktionen verbessert werden. Es ergeben sich wie in jeder Neuplanung Chancen, die zu nutzen sind, und Risiken wie unzureichende Planung, die es zu vermeiden gilt. Zentrale Konzepte hierzu sind im Folgenden dieser Schrift zu entnehmen.

3 »Low Hanging Fruits« in der elektrischen Beleuchtung

Im Bereich der elektrischen Beleuchtung in Kombination mit Lichtmanagement gibt es zahlreiche als »Low Hanging Fruits« zu bezeichnende alte Beleuchtungssysteme, bei denen sich je nach vorgegebenen wirtschaftlichen Randbedingungen (z. B. akzeptierte Amortisationszeiten) ein direkter / unmittelbarer Austausch der Beleuchtung lohnt.

Eine exemplarische Zusammenstellung alter Leuchten ist Tabelle 1 zu entnehmen. Zum Vergleich sind deren Effizienzen (Leuchtenlichtausbeuten) denen neuer Beleuchtungstechniken gegenübergestellt. Bei den dargestellten Systemen bietet sich bei entsprechenden Betriebszeiten ein direkter Wechsel an. Hilfsmittel und Werkzeuge zur quantitativen Abschätzung von Potentialen sind in Kapitel 11 zu finden.

Tabelle 1: Zusammenstellung exemplarischer Produktklassen für eine mögliche Außerbetriebnahme-Anforderung mit Gegenüberstellung der Leuchtenlichtausbeuten alter und neuer Beleuchtungstechnik [Quelle: Fraunhofer IBP].

Außer Betrieb zu nehmende Produktklasse			Leuchtenlichtausbeute			Anmerkung bzgl. Austausch
			Altanlage Vergleich	Neuanlage	Effizienzsteigerung	
			lm/W	lm/W		
Einbauleuchten	Halogen-Downlights in verschiedenen Ausführungen		10–15	bis 110 (LED)	ca. 3	Bei LED-Einbauleuchten werden aus diesem Grund Passblenden mit angeboten, welche die neue Technologie kompatibel zum bestehenden Deckenspiegel machen.
	Downlights auf Basis von CFL		30–40	bis 110 (LED)	ca. 3	
	Leuchten mit einfachen weißen Blendschutzrastern mit (T12) T8 und KVG-Lampentechnik		50–64	bis 110	ca. 2–3	
Anbauleuchten	Prismenwannenleuchten mit (T12) T8, KVG-Lampentechnik		ca. 40	bis 110	ca. 2–3	
	opale Wannen-Anbauleuchten mit T12-Leuchtmittel und KVG		ca. 50	bis 110	ca. 2–3	
Lichtbandleuchten (Hallen)	Lichtbandleuchten mit T12-Leuchtmittel und KVG		40–60	bis 130	ca. 2–3	Für Lichtbandsysteme werden Umrüstsätze auf LEDs angeboten. Das aufwendig zu installierende Trägersystem kann somit weiter genutzt werden.
	Hallenleuchte, Quecksilberdampflampen ...		50–60	90–100 (HMI) bis 130 (LED)	1,5–2,5	Bei hohen Umgebungstemperaturen (> 45 °C) können LED im Allgemeinen nicht eingesetzt werden. Hier kann auf Leuchten mit Halogen-Metallampulendampflampen (HMI) zurückgegriffen werden.

4 Sind LEDs mittlerweile die zu bevorzugende Lösung?

Generell steht der Markt im Zeichen des Wandels hin zu LED-basierten Beleuchtungssystemen. Neue Leuchten werden heute bei fast allen Herstellern nur noch auf Basis der LED-Technologie entwickelt. Der Umsatz der Leuchtenindustrie mit LED-Technik in Deutschland liegt mittlerweile bei über 50 %.

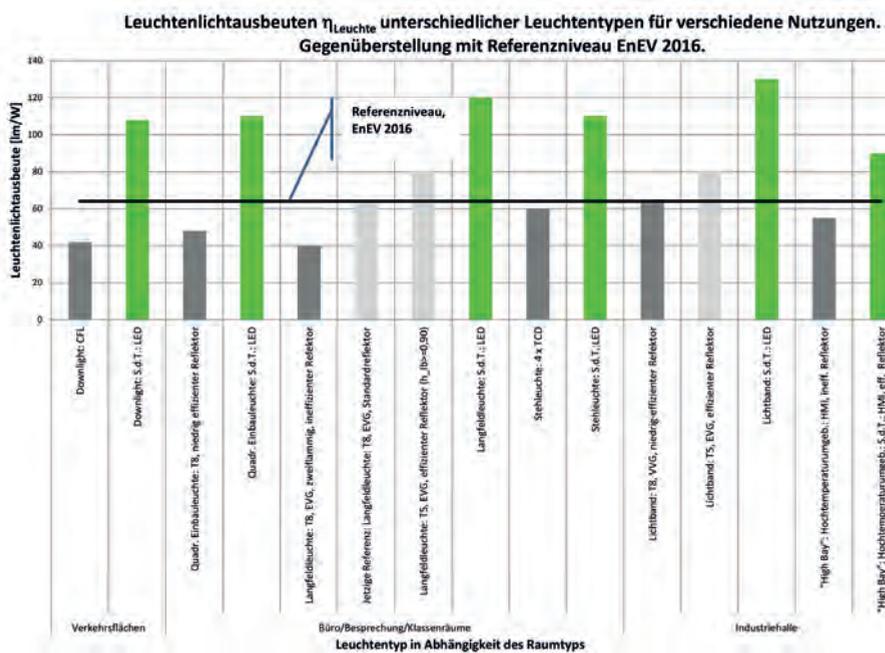


Bild 3: Leuchtenlichtausbeuten typischer elektrischer Beleuchtungslösungen (repräsentative niedrigeffiziente Leuchten: dunkelgrau. Stand der Technik Leuchten (S.d.T.): grün), Angabe verschiedener Niveaus der Leuchtenlichtausbeute (Stand: Anfang 2016) [Quelle: Fraunhofer IBP].

Wo liegen LED-Leuchten-Effizienzen im Vergleich zu »bisherigen« Beleuchtungssystemen?

Leuchtenlichtausbeuten von LED-Leuchten liegen heute (Stand: Anfang 2016) bei $\eta_{\text{Leuchte}} = 120 \text{ lm/W}$, siehe Bild 3. Das generelle Niveau hat sich somit um einen Faktor von etwa 2 vom momentanen Referenzniveau der EnEV (2016) auf Basis von stabförmigen Leuchtstofflampen mit EVGs und durchschnittlicher Leuchtenqualität (direkt / indirekt $\eta_{\text{LB}} = 0,8$) mit einer resultierenden Leuchtenlichtausbeute $\eta_{\text{Leuchte}} = 64 \text{ lm/W}$ entfernt. Differenziert nach Leuchtentypen für unterschiedliche Anwendungen variieren aufgrund verschiedener Entblendungsanforderungen, Farbkennwerte und Bauformen die Leistungszahlen der LED-Leuchten allerdings. So liegen die Effizienzen von Einbaudownlights etwas niedriger als die von Büroarbeitsplatzleuchten; diese wiederum etwas unter denen von Lichtbandsystemen für z. B. die Beleuchtung von Industriehallen. Bild 3 ist ebenfalls der jeweilige Vergleich mit bisher üblichen Lösungen zu entnehmen. Die relativen Effizienzsteigerungen sind bei Downlights besonders hoch.

? Wie steht es mit Qualität und nachhaltiger Bewirtschaftung von LED-Anlagen?

Probleme aus der Technologieeinführung wie hohe »frühe Ausfallraten«, »schlechte Farbbinnings« – resultierend in wahrnehmbaren Farbunterschieden in Leuchten bestehend aus zahlreichen einzelnen LEDs und auch zwischen LED-Leuchten – gehören bei Produkten etablierter Hersteller der Vergangenheit an.

Die Qualitätsfeststellung kann unmittelbar anhand Kriterien, welche die oben genannten, üblicherweise angeführten energetischen Effizienzwerte (Lichtausbeuten) ergänzen, durchgeführt werden: Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten (Bemessungslebensdauer L_x , Anteil der Leuchten am Lichtstromrückgang B_y , Berücksichtigung von Totalausfäll-

len Cy), aber auch Farbwiedergabe und Farbtoleranz (Mac-Adam-Ellipsen). In einer Schrift des ZVEI [6] finden sich hierzu nähere Erläuterungen.

Zur zusätzlichen Absicherung geben (einige) Hersteller längere, über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgehende Gewährleistungsfristen (im Einzelnen zu verhandeln). Kommt es dennoch zu Ausfällen, kann in vielen Fällen durch Austausch auf Basis mittlerweile standardisierter Komponenten (»Lightengines«) eine nachhaltige Bewirtschaftung erfolgen bzw. Ersatzteilversorgung gesichert werden.

? **Bekannt von PCs: Preis-Leistungsverhältnis sinkt stetig: Soll ich noch warten?**

Bei weiter sinkenden Preisen und steigenden Effizienzen der LED-Systeme stellt sich die Frage nach dem idealen Investitionszeitpunkt. Womöglich ist der Mitteleinsatz kurzfristig schon in ein paar Monaten wirksamer als zum aktuellen Zeitpunkt und / oder leisten die Produkte dann womöglich bereits mehr. Pauschal ist die Frage schwer zu beantworten, wenn nicht andere Gründe für die Auslösung von Maßnahmen mitheranzuziehen sind: z. B., dass bei größeren Umbauten »Deep Retrofits« die Beleuchtung mitsaniert wird oder die Beleuchtungsanlage in schlechtem Zustand und die Unzufriedenheit der Nutzer hoch ist. Daher sollen an dieser Stelle nur ein paar Hinweise zur Marktsituation gegeben werden.

Die Phase der »Early Adapters« (Bereitschaft, höhere Preise für ggf. noch nicht ausgereifte Produkte zu zahlen) ist sicherlich durchlaufen, die Technik damit im breiten Massenmarkt angekommen. In Bild 4 sind bisherige und prognostizierte Effizienzen und Preise am Beispiel kolbenförmiger Ersatzlampen einander gegenübergestellt. Die Effizienz- und Preisverläufe anderer LED-Produkte sind ähnlich, jedoch unterscheiden sich die Absolutwerte.

Betrachtet man zunächst die Effizienzen der LEDs, ist zu er-

kennen, dass die Phase der größten Effizienzsteigerungen durchschritten ist, in Teilen gerade durchschritten wird. In der Folge ist – wenn aus wirtschaftlichen Überlegungen überhaupt noch – mit einem erheblich moderateren Anstieg weiter in Richtung eines theoretischen Maximums von etwa 220 lm/W zu rechnen. Ein Moore's Gesetz der Halbleitertechnik (ca. Verdopplung der Leistungsfähigkeit, d. h. dort Integrationsdichte von Komponenten, alle 2 Jahre) existiert im Bereich LED nicht.

Auch im Bereich der Kosten ist die Phase des stärksten Preisverfalls durchlaufen. LED-Lösungen stehen bei TCO-Betrachtung (Miteinbeziehung der Betriebskosten) bereits jetzt zumeist besser da als vergleichbare bisherige Lösungen, vgl. auch Kapitel 9.

TIPP: Im Rahmen von »Sowieso-Maßnahmen« sollte vor dem Hintergrund weiter sinkender Preise im Bauprojekt erst möglichst spät die Beleuchtung projektiert werden, um so in den Genuss von Leistungs- und Preisvorteilen zu kommen. Generell sollten nicht alleine die Investitionskosten, sondern auch die Betriebskosten z. B. im Rahmen einer TCO in die Entscheidungsfindung mit einfließen.

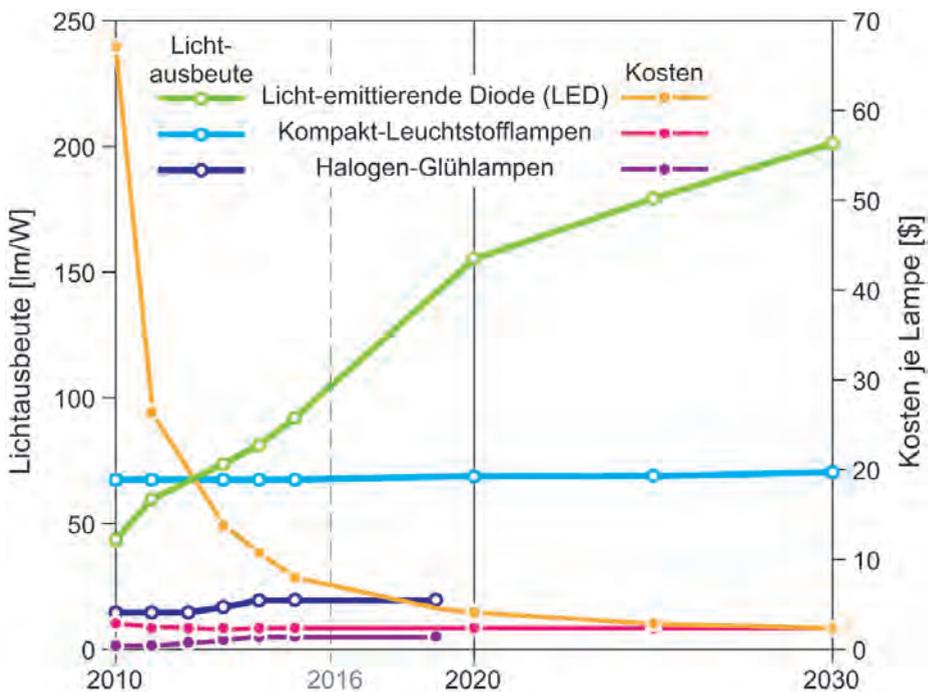


Bild 4: Preis und Effizienzentwicklung von LED-Systemen am Beispiel kolbenförmiger Ersatzlampen [Quelle Fraunhofer IBP auf Datengrundlage: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=15471>].

? »More for less«, wo geht die LED-Technik hin?

Bei gleichbleibenden oder sogar sinkenden Preisen ist im Markt der Trend festzustellen, dass die angebotenen Lösungen zunehmend mehr Funktionen (Leistung) bereitstellen. Neue Funktionen sind »tunable white«-Leuchten, Leuchten mit variablen LVKs, in die Leuchten integriertes Lichtmanagement (d. h. autark arbeitende Leuchten ohne externe Anbindung an Lichtregelkreise), Übernahme weiterer nicht beleuchtungsspezifischer Funktionen (Beleuchtung als »Backbone« in der Decke) wie Innenraumortung mit

Orientierungsfunktionen auf größeren Einkaufsflächen in Supermärkten und Datenübertragung. Die Verschaltung von Lichtpunkten entwickelt sich zunehmend zu eigenen Informationsnetzwerken im Raum.

? LEDs: Die Lösung für jede Anwendung?

Wie Bild 3 zu entnehmen ist, gibt es für nahezu jede Beleuchtungsaufgabe LED-Lösungen. Aufgrund ihrer technischen Eigenschaften eignen sich LEDs dennoch nicht für jeden Einsatzzweck. Beispielsweise in Industriehallen mit hoher Wärmefreisetzung und daraus resultierenden hohen Temperaturen ist im Allgemeinen auf konventionelle Hochdruckentladungslampen zurückzugreifen.

5 LED-Ersatzlampen (»Retrofit«) oder gleich LED-Leuchten?

LED-Ersatzlampen für Standardsockelungen existieren in zahlreichen Ausführungen. In der professionellen Beleuchtung im Nichtwohnungsbau stellt sich hauptsächlich die Frage der Umrüstung bestehender Langfeldleuchtstofflampensysteme. Die hier relevanten LED-Ersatzprodukte, auch als »LED-Röhren« bezeichnet, liegen bei einer mittleren Lampenlichtausbeute von etwa $\eta_{\text{lampe}} = 122 \text{ lm/W}$ (Erhebung 11/2015) und übertreffen damit die Lichtausbeuten von T8- oder T5-Lampen merklich. Die resultierenden Leuchtenlichtausbeuten mit zu LED-Ersatzprodukten umgerüsteten Leuchten liegen allerdings wiederum erheblich unter denen vergleichbarer reiner LED-Leuchten.

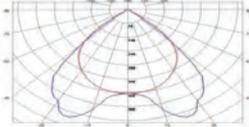
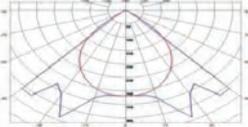
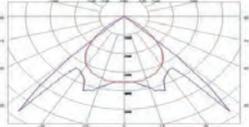
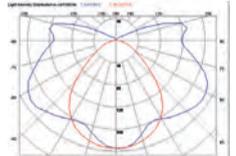
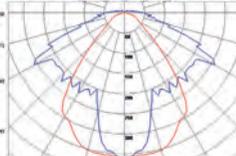
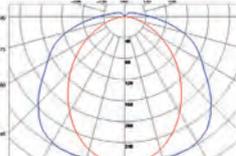
Leuchtentyp	Rasterleuchte mit Leuchtstofflampe	Rasterleuchte mit LED Retrofit diffus	Rasterleuchte mit LED Retrofit klar
	 	 	 
Leuchtentyp	Feuchtraumleuchte mit Leuchtstofflampe	Dieselbe Feuchtraumleuchte mit LED-Ersatzlampe	LED-Feuchtraumleuchte
			

Bild 5: Beispiele veränderter Lichtverteilung bei Austausch Leuchtstofflampen gegen LED Retrofit »LED-Röhren« für eine Büroraum-Rasterleuchte (oben). Vergleich einer mit LED Retrofit »LED-Röhren« umgerüsteten Feuchtraumleuchte und einer LED-Feuchtraumleuchte (unten) [Quelle: Trilux].

Hinsichtlich der Art der elektrischen Umrüstung kann unterschieden werden zwischen

- »**Retrofit-Lampen**«, bei denen ohne Elektrofachkraft die Leuchte mit vormalig stabförmiger Leuchtstofflampe auf LED-Technik umgerüstet wird (Entfernung des Starters oder Ersatz gegen LED-Starter) und
- »**Konversionslampen**«, bei denen die Elektrik der Leuchte verändert werden muss. Die Arbeiten müssen von einer Elektrofachkraft durchgeführt werden. Auf diese geht dann auch die Gewährleistungspflicht für die elektrotechnischen und sicherheitstechnischen Anforderungen für die Leuchte über.

Während man beim kompletten Leuchtenaustausch durch die Auswahl geeigneter Leuchten, die auf frühere Produktreihen abgestimmte Lichtstrompakete und Lichtstärkeverteilungen haben, eine zielgenaue Übereinstimmung mit der vorherigen Installation erreichen kann, empfiehlt sich beim Einsatz von LED-Ersatzlampen eine genauere Betrachtung. Deutlich mehr Parameter beeinflussen hier die spätere Güte der sanierten (umgerüsteten) Anlage:

- **Lichtverteilung:** Konformität mit EU-Richtlinien ist sicherzustellen. Hier werden Anforderungen an die Abstrahlung der LED-Röhren gestellt, die ähnlich der Abstrahlcharakteristik stabförmiger Leuchtstofflampen sein soll, d. h. etwa 360 ° gegenüber tatsächlichen max. 180 ° bei den »LED-Röhren«. Diese Konformität ist zumeist aber nicht gegeben, was in der Regel in einer geänderten Lichtverteilung der Leuchte gegenüber dem ursprünglichen Zustand resultiert. Wie in Bild 5 dargestellt, erhöht sich die Ungleichmäßigkeit der LVK und damit auch die der beleuchteten Fläche.
- **Lichtstrompakete:** Bei Leuchten mit Lampen hohen Lichtstroms, z. B. T8, 58 W: 5.200 lm reichen die Lichtströme von »LED-Röhren« nicht als vollwertiger Ersatz aus. Zurzeit sind maximale Leistungen mit etwa 27 W mit ca. 3.400 lm am Markt verfügbar. Bei einem direkten Ersatz führt dies sodann zu geringeren Beleuchtungsstärken

auf den Arbeitsebenen. Dies gilt auch, wenn aufgrund der nur einseitigen Abstrahlung (180 °) der »LED-Röhren« Licht direkter aus der Leuchte emittiert wird, d. h. mit geringeren Verlusten am Reflektor.

- **Nennlebensdauern:** Häufig als Vorteil von LED-Röhren angeführte hohe Nutzlebensdauern von 30.000 bis 50.000 Stunden lassen sich auch ohne Weiteres mit »Longlife«-Leuchtstofflampenprodukten mit Lebensdauern bis sogar 80.000 Stunden erreichen. Derartige Produkte sind besonders für den Einsatz an schwer zugänglichen Stellen interessant. Die »LED-Röhren« sind hierbei etwa doppelt so teuer.
- **Reale Effizienzen unter Betriebsbedingungen:** Die Randbedingungen, für welche die technischen Daten der LED-Röhren ermittelt wurden, entsprechen in der Regel nicht den Betriebsbedingungen in der Leuchte. Es können sich erhebliche Abweichungen aufgrund höherer, aber auch niedrigerer Betriebstemperaturen der Lampen in den Leuchten ergeben. So ist in beheizten Innenräumen eher mit einer sinkenden Lichtausbeute (höhere Temperaturen in den Leuchten), in kühleren Umgebungen (z. B. Kühlhäusern) mit höheren Lichtausbeuten im Vergleich zu Leuchtstofflampen zu rechnen.
- **Normkonformität:** Durch die veränderte Lichtverteilung und die Lichtstrompakete kann es zur Nichteinhaltung bisher eingehaltener Anforderungen nach z. B. DIN EN 12464-1 [7] kommen.
- **Wirtschaftlichkeit:** Es empfiehlt sich, die tatsächliche Wirtschaftlichkeit unter Einbeziehung der Lampen- und der Stromkosten zu prüfen. Möglichen Stromeinsparungen stehen höhere Leuchtmittelkosten gegenüber: konventionelle Leuchtstofflampen T5 oder T8 bis unter 0,5 €/1.000 lm vs. »LED-Röhre« in Teilen über 10 € / 1.000 lm. Im Vergleich zu den oben genannten »Longlife« Leuchtstofflampen sind »LED-Röhren« Markenprodukte etwa doppelt so teuer.

TIPP: Vor dem Einsatz von LED-Ersatzlampen sollte daher eine detaillierte Analyse durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass dieselbe Lichtqualität (Niveau, Lichtverteilung) gegenüber der Ursprungssituation erreicht wird und die erwartete Wirtschaftlichkeit tatsächlich gegeben ist. Unsicherheiten können durch eine Bemusterung vor Ort inklusive Vermessung der ursprünglichen umzurüstenden Anlage und derselben Anlage dann mit LED-Ersatz ausgeräumt werden.

6 Potentiale in der elektrischen Beleuchtung - ja klar. Wie sieht es aber mit der Fassade und Tageslichttechnik aus?

Paradoxerweise verschlechtert sich häufig die Tageslichtversorgung bei Fassadensanierungen, da dem Wärmeschutz durch Mehrscheibenverglasungssysteme, massivere Rahmen und verstärkte Laibungen der Vorrang gegeben wird. Aufgabe in der Sanierung sollte es daher sein, die Einschränkungen hierdurch möglichst gering zu halten, wenn möglich sogar zu verbessern.

? Wie erhalte ich bei der Fassadensanierung eine möglichst hohe Transparenz?

Drei im Wesentlichen durch den verbesserten Wärmeschutz bedingte Effekte bewirken eine Verringerung der Lichttransmission gegenüber der Situation vor der Sanierung:

- Verringerter Lichttransmissionsgrad der Verglasungssysteme,
- größere Rahmenanteile und
- größere Laibungstiefe durch die Fassadendämmung.

Dies kann in der Summe aller Effekte ohne weiteres zu einer Abminderung des Tageslichtquotienten von 30 % führen, was im Mittel einem um etwa 15 % erhöhten Energiebedarf für Beleuchtung entspricht (nach Bewertungsmodell DIN V 18599-4). Bild 6 gibt eine Übersicht von an realen Gebäudesanierungen ermittelten Effekten. Kann im Neubau ein Ausgleich durch größere lichte Rohbauöffnungen geschaffen werden, sollte in der Ertüchtigung des Bestands darauf geachtet werden, die Verschlechterung möglichst gering zu halten. In Einzelfällen ergibt sich auch die Möglichkeit, neue Tageslichtöffnungen zusätzlich zu schaffen oder z. B. bei Pfosten-Riegel-Fassaden einen größeren Fensterflächenan-

teil zu realisieren. Es gibt allerdings auch Fälle, bei denen aufgrund eines besonders hohen Glasflächenanteils im Bestand eine moderate Reduzierung der Lichttransmission der Fassade durchaus willkommen ist.

Einfluss der thermischen Sanierung der Gebäudehülle auf die Tageslichtversorgung von Innenräumen

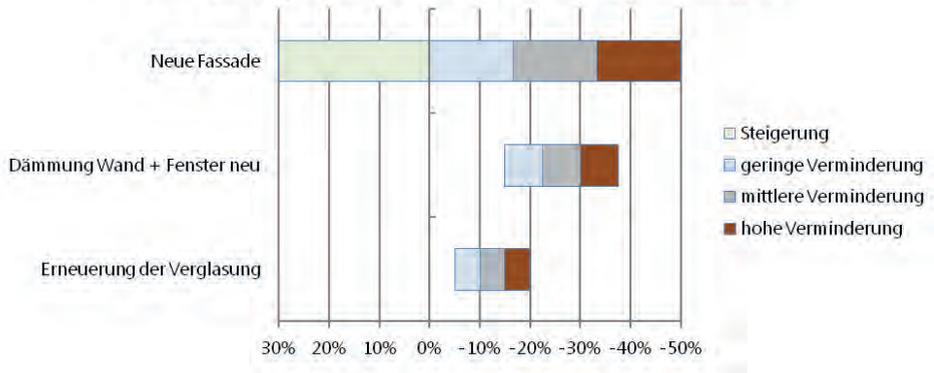


Bild 6: Abnahme der Lichttransmission in der Sanierung von Fassaden [Quelle: daylighting.de].

Verglasungssysteme

Wärmetechnisch wirksame Beschichtungen und zusätzliche Glasebenen (Dreifachverglasungen) bewirken verringerte Lichttransmissionsgrade (vgl. Isolierverglasung früher mit τ_{D65} von ca. 80 % vs. Dreifachverglasung heute mit τ_{D65} von 65 %). Da in unseren Breiten bedeckte Himmelszustände überwiegen, sollten grundsätzlich Gläser mit möglichst hohen Transmissionsgraden projiziert werden. Die spezifische Auswahl von Gläsern ist hierbei abhängig von den einsetzbaren Sonnenschutzsystemen:

Zielsetzung bei Gebäuden mit einer eher geringen Gesamthöhe, die aufgrund moderater Windlasten beweglichen, außenliegenden Sonnenschutz ermöglicht, sollte sein: hoher Wärmeschutz, hohe Lichttransmission, hoher g-Wert. Exemplarische Werte einer optimierten Dreifachwärmeschutzverglasung sind: $U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g =$

0,60; $\tau_{D65} = 74 \%$ (Zweifachwärmeschutzverglasung $U_g = 1,1$ W/m^2K ; $g = 0,63$; $\tau_{D65} = 79 \%$).

Zielsetzung bei hohen Gebäuden, bei denen aufgrund höherer Windlasten nur innenliegender Blendschutz möglich ist: hoher Wärmeschutz, geringer g-Wert bei zugleich noch hohem Lichttransmissionsgrad. Exemplarische Werte einer Dreifachsonnenschutzverglasung sind: $U_g = 0,7$ W/m^2K ; $g = 0,34$; $\tau_{D65} = 63 \%$. Es sollte daher auf hohe Selektivität S (Verhältnis zwischen τ_{D65} und g) geachtet werden (state of the art bei ca. $S = 2$).

Generell ist zu beachten, dass Sonnenschutzgläser allein keinen ausreichenden Blendschutz bereitstellen.

Rahmen

Es sollten möglichst schlanke Rahmen zum Einsatz kommen. So sollte z. B. auch im Bereich des Denkmalschutzes hinterfragt werden, ob Versprossungen erforderlich sind. Auch die Sicherung einer vormalig guten Tageslichtversorgung kann als erhaltenswert, daher als Ziel des Denkmalschutzes, eingestuft werden. Übliche Rahmenanteile variieren zwischen 20 % und 40 %, wie in Bild 7 dargestellt.

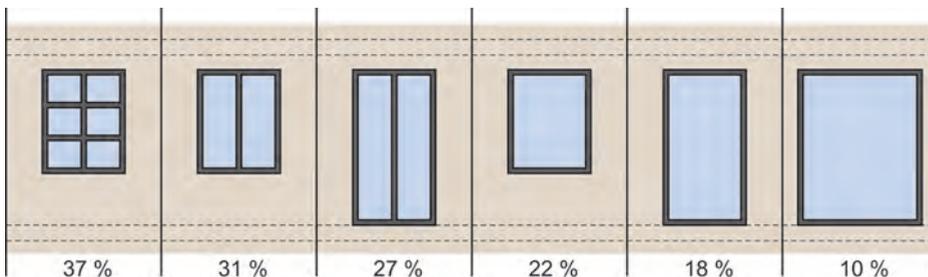


Bild 7: Gegenüberstellung unterschiedlicher Rahmen mit Angabe des jeweiligen Rahmenanteils an der lichten Öffnung [Quelle: Fraunhofer IBP unter: http://www.energie.ch/themen/bautechnik/minhaus/index2_1.htm].

Dämmung der Laibung

Eine im Rahmen von Sanierungen aufgebrachte Dämmschichtdicke (WDVS) von 14 bis 18 cm führt zu einer Stärke der gesamten Wandkonstruktion von 50 bis 60 cm und ist

heute keine Seltenheit. Durch die tieferen Laibungen kann sich der natürliche Lichteinfall signifikant vermindern. Sich nach außen öffnende Fensterlaibungen, dargestellt in Bild 8, können helfen, die Verringerung der Tageslichtversorgung zu begrenzen.

Besteht darüber hinaus die Möglichkeit, die Glasebenen in der Fassade (im Rahmen einer Sanierungsaktivität) neu zu positionieren, sollten diese möglichst weit nach außen gesetzt werden.

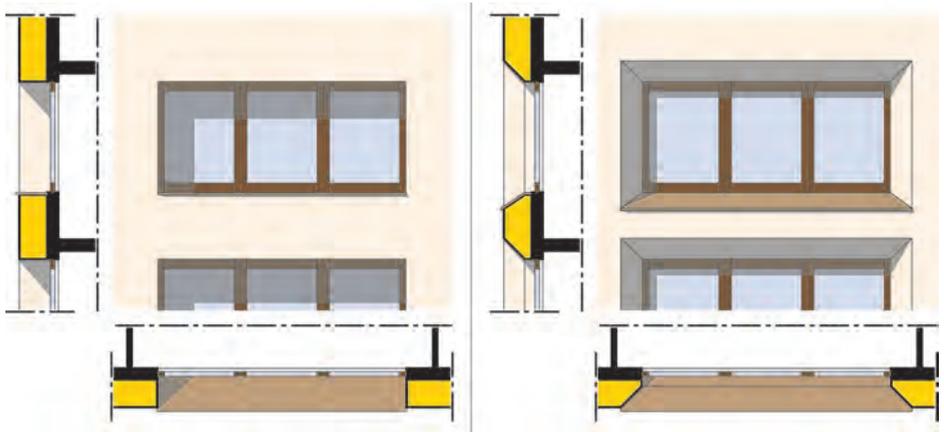


Bild 8: Sich nach außen öffnende Fensterlaibungen vermindern die Verringerung der Tageslichtversorgung durch aufgebraachte Dämmungen [Quelle: Fraunhofer IBP].

? Sollte der Sonnen- / Blendschutz mit Lichtlenkung ausgestattet werden?

Konkrete Verbesserungen gegenüber den meisten Bestandslösungen bieten sich an Ost- über Süd- bis Westfassaden durch den Einsatz lichtlenkender Sonnen- / Blendschutzlösungen an, vgl. Tabelle 2. Hierdurch kann die Tageslichtversorgung in den Räumen erhöht und der Kunstlicheinsatz gesenkt werden. Gebäude ohne oder mit nur geringer Verbauung profitieren am stärksten von lichtlenkenden Systemen. Beleuchtungsenergieeinsparpotentiale an einer Südfassade (unverbaut) liegen im Bereich von etwa 20 %.

Einfache Ausführungen lichtlenkender Systeme sind konventionelle Raffstoren, die im sogenannten Cut-Off-Modus betrieben werden. Die Lamellen werden in Abhängigkeit der Sonnenposition derart angestellt, daß gerade keine direkte Sonne in den Raum scheinen kann, intensitätsarmes Diffuslicht aber eindringt. Des Weiteren werden zweigeteilte Behänge (oben Lichtlenkung, unten Blendschutz) häufig eingesetzt, oder aber Behänge mit spezieller Profilform, die eine saisonal differenzierte Lichtführung ermöglichen. Cut-Off-geführte Behänge und Lamellen mit ausgewählter Profilform gestatten bei Besonnung der Fassade zugleich, zu großen Zeiträumen im Jahr, die Aufrechterhaltung einer Sichtverbindung nach außen. Als weitere Lösungsalternative können starre Lichtlenkgläser im oberen Teil der Fassade eingebracht werden, wobei der untere Fassadenteil zwecks Sonnen- und Blendschutz dann im Allgemeinen geschlossen wird, z. B. durch einen Standardraffstore. Je nach baulich / planerischer Situation kann die lichtlenkende Funktion über außenliegende, im Scheibenzwischenraum, oder innenliegende Lösungen bereitgestellt werden. Anforderungen- / Spezifikationen / Orientierungen können sich beispielsweise vollständig oder teilweise an der Definition lichtlenkender Systeme in der DIN V 18599-4 [4] richten.

Zwar steigt mit der verbesserten Tageslichtversorgung auch die thermische Belastung des Raumes. Die hierdurch ggf. implizierten höheren Aufwendungen für Kühlung werden bei richtiger Systemdimensionierung und richtigem Betrieb aber durch die Einsparungen bei der elektrischen Beleuchtung kompensiert, so dass die Systeme sich gesamtenergetisch effizienter verhalten als Systeme ohne Lichtlenkung.

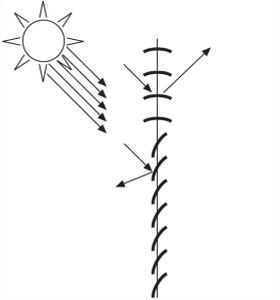
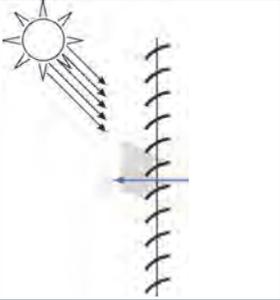
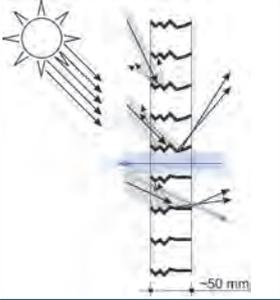
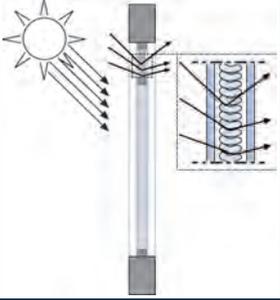
Sinnvoll ist der Einsatz »Lichtlenkender Sonnen- und Blendschutz« in Bereichen mit im Allgemeinen guter Tageslichtversorgung und großen Nutzungszeiten zur Tageszeit. Orientierung können die Nutzungsarten geben. Für die bereits tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle als Referenztechnik in der EnEV gilt: 1 (Einzelbüro), 2 (Gruppenbüro), 3 (Großraumbüro), 4 (Besprechung, Sitzung, Seminar), 8 (Klassenzimmer, Gruppenraum – Kindergarten), 12 (Kantine), 28

(Bibliothek-Lesesaal), 31 (Turnhalle oder Zuschauerbereich) und 36 (Labor) gemäß DIN V 18599-10.

Bei ausgewählten Herstellern ist eine »Cut-Off Steuerung« heute bereits standardmäßig in die Behangansteuerung integriert, d. h. mit keinen weiteren Mehrkosten verbunden. Andere Lösungen, wie zweigeteilte Behänge, haben gegenüber konventionellen Raffstoren nur moderate Mehrkosten von etwa 10 € / Behang, was 1 € pro Quadratmeter Nutzfläche bei einem üblichen Büroraum entspricht und damit durch die erzielbaren Energieeinsparungen auch im Allgemeinen wirtschaftlich ist. Da, wo Lichtlenkgläser eingesetzt werden, werden im Allgemeinen keine sonstigen Sonnenschutzsysteme (wie Raffstore) benötigt, so dass diese Kosten gegengerechnet werden können.

Idealerweise werden diese Lösungen mit entsprechendem Lichtmanagement kombiniert, vgl. Kapitel 7.

Tabelle 2: Beispielhafte Ausführungen von lichtlenkenden Sonnen- und Blendschutzsystemen [Quelle: Fraunhofer IBP].

		System	Beschreibung
Raffstorelösungen	Lichtlenkende Lamellen		Getrennt schaltbare Behangteile. Lichtlenkung durch den oberen Teil in tiefe Raumbereiche. Geschlossener unterer Behangteil vermeidet Blendung an fassadennahen Arbeitsplätzen. Kann außenliegend, innenliegend oder im Scheibenzwischenraum installiert werden.
	Cut-Off-Betrieb		Im Cut-Off-Betrieb werden die Lamellen so eingestellt, dass das direkte Sonnenlicht gleich zurückreflektiert wird, zu Großteilen der Zeit aber eine Sichtverbindung nach außen bestehen bleibt.
	Retroreflektierende Profile		In Abhängigkeit des jahres- und tageszeitlich variierenden Lichteinfallswinkel wird das Licht in den Außenraum reflektiert, auf fassadennahe Arbeitsplätze oder in die Raumtiefe geleitet.
Lichtlenkläser		Lichtlenkglas wird im oberen Fensterbereich verwendet. Ein starres System leitet das Tageslicht in die Raumtiefen. Im unteren Fassadenbereich kann z. B. ein bei direkter Besonnung geschlossener Raffstore den Blendschutz übernehmen.	

7 Welche Möglichkeiten liegen im Lichtmanagement?

Bestehende Installationen haben zumeist noch kein Lichtmanagement in Form von Präsenzdetectionssystemen und tageslichtabhängiger Kunstlichtkontrolle. Für den Neubau sind diese mittlerweile für Nutzungen mit entsprechenden Potentialen – d. h. höheren Abwesenheiten und guter Tageslichtversorgung – als Referenztechnik in der EnEV verankert.

Neben den üblichen Steuerungen / Regelungen der elektrischen Beleuchtung bietet sich eine Miteinbeziehung der Fassade an. Zumeist erfolgt die Kontrolle der elektrischen Beleuchtung und der Sonnen- und / oder Blendschutzeinrichtungen in der Fassade unabhängig voneinander. Durch die integrierte Steuerung beider Systeme können Gebäude gesamtenergetisch effizienter betrieben werden, dies bei gleichzeitig hoher Nutzerzufriedenheit.

Klassische Präsenz- und tageslichtabhängige Kontrolle

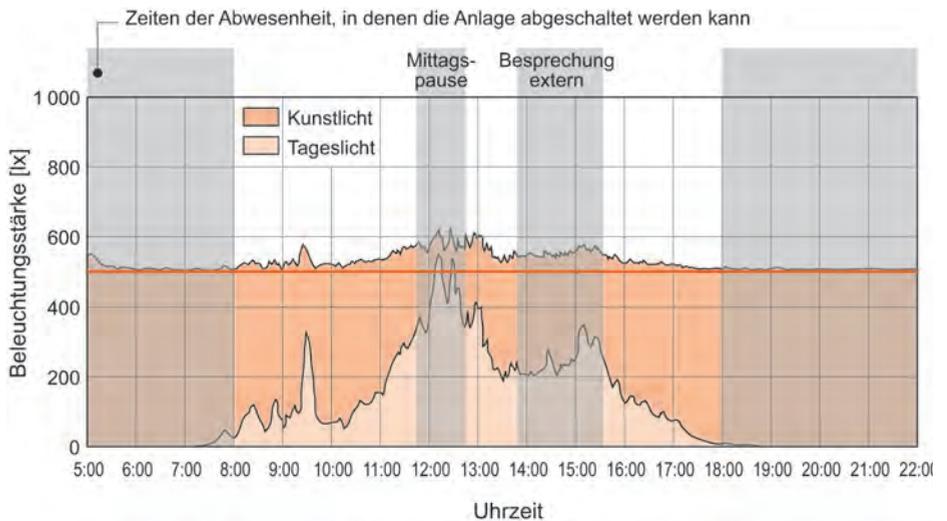


Bild 9: Wirkweise von tageslichtabhängigem Lichtmanagement (realer Verlauf an einem Wintertag). Mögliche weitere Einsparungen durch aufgeschaltete Präsenzerfassung sind dargestellt [Quelle: Fraunhofer IBP].

Präsenzabhängiges Lichtmanagement

Bei der Präsenzdetektion wird die Anwesenheit der Nutzer über einen Sensor festgestellt. Verlässt der Mitarbeiter seinen Arbeitsplatz, so wird nach einer Nachlaufzeit das Licht heruntergedimmt oder abgeschaltet. Je seltener ein Bereich besetzt ist, umso höher ist das Einsparpotential. In Einzel- und Gruppenbüros z. B. nach DIN V 18599-10 ist mit einer Abwesenheit von 30 % zu rechnen. In anderen Bereichen wie Verkehrsflächen mit 80 % oder Sanitärräumen mit 80 % zeigen sich im Durchschnitt noch wesentlich größere Abwesenheiten.

Tageslichtmanagement

Durch Tageslichtnutzung in Kombination mit einem Lichtmanagementsystem ist elektrische Energie für die künstliche Beleuchtung einzusparen. Bild 9 zeigt exemplarisch die Ergänzung des verfügbaren Tageslichts mit Kunstlicht durch ein reales Lichtmanagementsystem bis zur Mindesteinhaltung eines geforderten Wartungswertes von 500 lx. Durch die große Variabilität der Einflussparameter variieren real gemessene Einsparpotentiale erheblich (20 - 70 % in dokumentierten Untersuchungen). Im Mittel kann von einem Potential von 30 % ausgegangen werden.

Tageslichtabhängige Kontrolle kann durch Steuer- und Regelsysteme erreicht werden. Eine tageslichtabhängige Steuerung erfasst das vorhandene Tageslicht und dimmt die künstliche Beleuchtung anhand vorprogrammierter Werte (Kennlinien). Es gibt keine Rückkopplung bezüglich des realisierten Beleuchtungsniveaus auf der Fläche mit der Sehaufgabe. Sensoren können auf dem Dach, auf der Fassade oder im Raum angebracht sein, sollten jedoch keine künstliche Beleuchtung detektieren. Eine tageslichtabhängige Regelung erfasst das reflektierte Licht einer Referenzfläche. Der Sensor wird typischerweise in der Leuchte oder in der Decke des Raumes angebracht. Es gibt eine dauerhafte Rückkopplung bezüglich des realisierten Beleuchtungsniveaus auf der Referenzfläche. Der Sensor sollte keinen direkten Beitrag vom Tageslicht oder der künstlichen Beleuchtung erfassen.

Er sollte daher nicht direkt auf die Fassade ausgerichtet sein oder in eine Leuchte schauen. Unterschiedliche Ausführungen sind Bild 10 zu entnehmen.

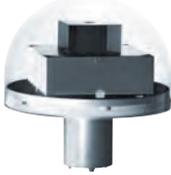
Lichtsteuerung	Tageslichtmesskopf außen	Raumseitiger Sensor auf Fassade gerichtet	
			
Lichtregelung	Integrierter Tageslichtsensor und Bewegungsmelder	Aufsteck-Sensor	Leuchtenintegrierte Sensorik
			

Bild 10: Ausgewählte Sensoren für Lichtsteuerung und Lichtregelung [Quellen: Zeile »Lichtsteuerung«: Tageslichtmesskopf, raumseitiger Sensor: Zumtobel; Zeile »Lichtregelung«: Integrierter Tageslichtsensor: OccuSwitch von Philips Lighting, Aufsteck-Sensor: Osram, Leuchtenintegrierte Sensorik: Frank Ockert / Nimbus Group].

Licht-, Gebäudemanagement: Verknüpfung Sonnenschutz- und Kunstlichtkontrolle, saisonal

Gesamtenergetische Potentiale können durch eine saisonale, bedarfsorientierte Verknüpfung von Kunstlicht, Sonnen- und / oder Blendschutzkontrolle effizient genutzt werden.

Neben zentralen Windwächter- und Frostschutzfunktionen können bei entsprechend vorhandener Gebäudeleittechnik (GLT) Fassaden bei Nichtbelegung der Räume (setzt Präsenzdetectoren in den Räumen voraus, s. u.) nach dem ther-

misch optimalen Zustand betrieben werden:

- Nutzung passiver Solargewinne durch Deaktivierung des Sonnenschutzes im Winter.
- Verringerung des Überwärmungsrisikos durch bestmögliche Aktivierung des Sonnenschutzes im Sommer.

Bei Rückkehr des / der Nutzer in den Raum sollte idealerweise die letzte (die präferierte) Lichtszene wieder eingestellt werden. Eine derartig optimierte Steuerung stellt sich energetisch als vorteilhaft dar. Die Parametrierung derartiger Systeme erfordert jedoch Sorgfalt und ist auf das jeweilige Objekt anzupassen.

In Gebäuden, in denen außenliegende Sonnenschutzrichtungen und innenliegende Blendschutzrichtungen kombiniert werden, sollte im Winter lediglich der innenliegende Blendschutz aktiviert werden. Bei hoher Einstrahlung im Sommer dagegen sollte der außenliegende Sonnenschutz in Kombination (z. B. in Phasen der Abwesenheiten) mit dem innenliegenden Blendschutz genutzt werden.

Bei der Ausführung ist eine GLT-Hardware zur Verfügung zu stellen, welche das Lichtmanagement (Anwesenheitsdetektion) mit der Fassadensteuerung verknüpft. Zur saisonalen Differenzierung kann die Einbindung weiterer Sensoren (im Allgemeinen verfügbar auf der GLT) wie Temperatursensoren erforderlich sein. Für weitere umsetzungstechnische Fragen der Installation sei auf Kapitel 9 verwiesen.

8 Weitere Maßnahmen?

Was kann ein neuer Anstrich bringen?

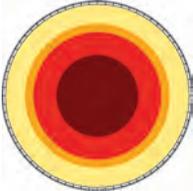
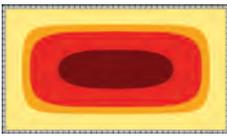
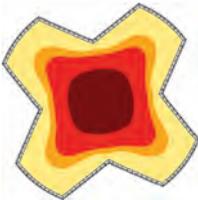
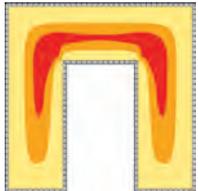
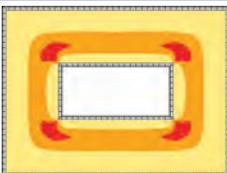
Verschmutzte oder dunkle Anstriche haben einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die natürlichen und künstlichen Beleuchtungsverhältnisse.

Tabelle 3 gibt für unterschiedliche Grundrissgeometrien die Tageslichtquotienten für niedrige, mittlere und hohe Reflexionsgradkombinationen an. Bild 12 zeigt einen Vergleich zwischen hellen und dunklen Raumumschließungsflächen für einen Büroraum. Helle Anstriche wirken sich durch höhere Raumwirkungsgrade stark positiv auf den Tageslichtquotienten aus und helfen – bei gleichzeitiger Sanierung der elektrischen Beleuchtung – die installierte Leistung und damit die Energieverbräuche zu senken. Bei Beibehaltung des Beleuchtungssystems resultiert die Maßnahme natürlich zunächst nur in der Anhebung des Beleuchtungsniveaus.



Bild 11: Eine Erneuerung der Anstriche mit heller Farbe kann die Beleuchtungsverhältnisse in Räumen erheblich verbessern [Quelle: Fraunhofer IBP].

Tabelle 3: Einfluss des Reflexionsgrades auf den Tageslichtquotienten bei unterschiedlichen Grundrisstypen [Quelle: Fraunhofer IBP].

Bezeichnung			Mittlerer Tageslichtquotient [%]		
#	Name	Grundrisstyp	Dunkel $\rho_B = 10\%$ $\rho_W = 30\%$ $\rho_D = 50\%$	Mittel $\rho_B = 20\%$ $\rho_W = 50\%$ $\rho_D = 70\%$	Hell $\rho_B = 50\%$ $\rho_W = 70\%$ $\rho_D = 80\%$
1	Rund		2,8	3,2	4,4
2	Oval		2,9	3,3	4,6
3	Rechteck		3,3	3,8	5,1
4	Stern		3,1	3,6	4,9
5	»U«		4	4,6	6,1
6	Atrium		4,5	5,5	7,2

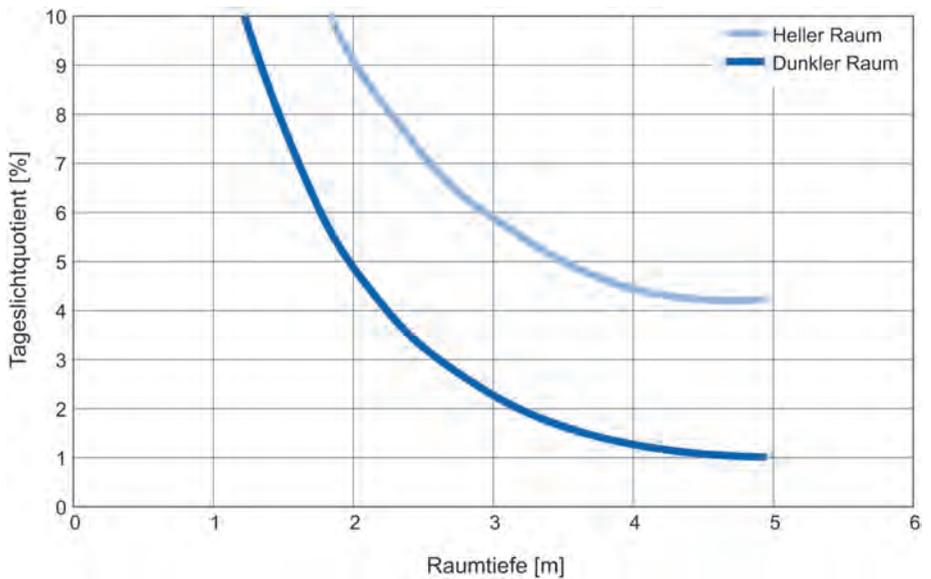


Bild 12: Einfluss der Raumreflexionsgrade auf den Tageslichtquotienten [Quelle: Fraunhofer IBP].

? Berücksichtigt die Elektroinstallation die Tageslichtöffnungen?

Die Elektroplanung (Aufteilung der Stromkreise) wird in größeren Raumbereichen oft unabhängig von der Fassadensituation geplant. In der Folge wird das Kunstlicht in Bereichen mit guter Tageslichtversorgung – einheitlich gekoppelt – genauso betrieben wie in Bereichen mit schlechter oder keiner Tageslichtversorgung. Einsparpotentiale durch tageslichtabhängiges Zurückregeln der künstlichen Beleuchtung werden verschenkt. Eine Herangehensweise kann nach der Art üblicher Regelungen unterschieden werden:

Ein- / Aus-Schaltanlagen

In Nutzungen wie Einkaufsmärkten und Werkhallen ist im Allgemeinen ein Schalten der Beleuchtung ausreichend (Verzicht auf Mehrkosten für dimmbare Vorschaltgeräte oder dimmbare Leuchten). Bild 13 und Bild 14 enthalten jeweils Gegenüberstellungen von tageslicht- und nicht-tages-

lichtorientiert aufgeteilten und geschalteten Stromkreisen:

- Dachoberlichtsituation (Bild 13): Durch separates Schalten der elektrischen Beleuchtung in Abhängigkeit des Tageslichts unterhalb des Dachoberlichts kann bei üblichen Betriebszeiten der Energiebedarf in dem Beispiel um etwa 30 % gesenkt werden.
- Fassadensituation (Bild 14): Durch separates Schalten der Beleuchtung in dem mit Tageslicht versorgten Bereich am Fenster kann die Hälfte des Raumes vom Tageslicht profitieren, was bei üblichen Betriebszeiten Beleuchtungsenergieeinsparungen in dem Beispiel von etwa 40 % entspricht.

Dimmbare Anlage

Soll die Beleuchtung dagegen tageslichtabhängig gedimmt werden (präferierte Lösung in Büros), ist die eigentliche Aufteilung der Stromkreise nicht derart maßgebend. Vielmehr sind Steuerleitungen vorzusehen, die die dimmbaren Leuchten mit Sensoren verbinden. Allerdings ist auch dies in der Planung zu berücksichtigen, da nachträgliche Umrüstungen häufig schwierig sind. Mittlerweile kommen autonom arbeitende Leuchten (mit integrierten Präsenz- und Tageslichtsensoren) in den Markt (LED-Technik), die keinen zusätzlichen Installationsaufwand erfordern.

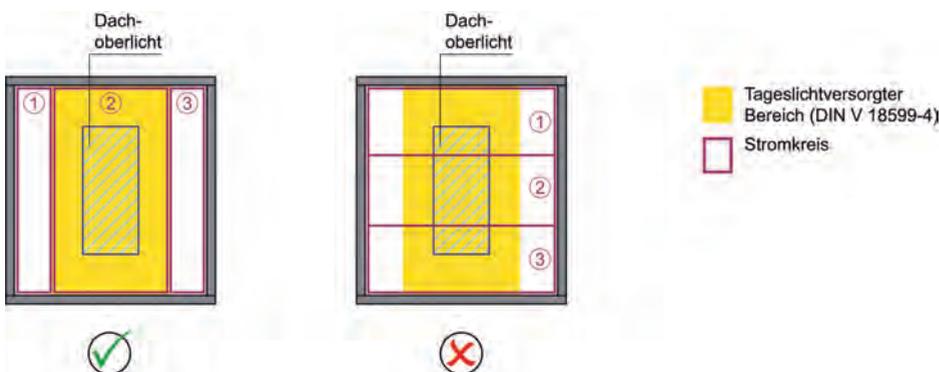


Bild 13: Exemplarische Aufteilung der Stromkreise in einer größeren Dachoberlichtsituation, für eine sinnvolle tageslichtabhängige Regelung (links). Ungeeignete Aufteilung der Stromkreise (rechts).

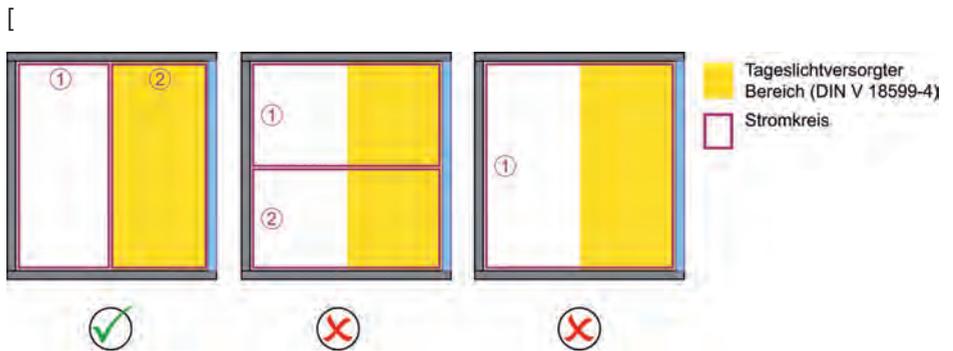


Bild 14: Exemplarische Aufteilung der Stromkreise in einer Situation mit vertikaler Fassade, die eine sinnvolle tageslichtabhängige Regelung ermöglicht (links). Ungeeignete Aufteilung der Stromkreise (rechts).

TIPP: Eine tageslichtorientierte Planung der Elektroinstallation hat große Vorteile. Der Aufwand, diese zu planen und umzusetzen, ist meist gering, erfordert allerdings die Abstimmung zwischen Architekt / Fassadenplaner und Elektroplanung.

[Quellen Bilder 13 und 14: Fraunhofer IBP].

9 Installationstechnik: Wie effizient umzurüsten?

Neben den reinen Investitionskosten für neue Beleuchtungstechnik sind die Installationskosten zu berücksichtigen. Beim Lampentausch beschränken sich diese bei »Retrofitlösungen« rein auf den Lampenwechsel (ohnehin üblich). Bei Konversionslampen ist der Aufwand für die elektrotechnische Umrüstung der Leuchte zu kalkulieren, der ggf. eine Demontage und Wiedermontage der Leuchten erfordert.

Im Bereich von »1:1 Wechseln« bleiben die Anschlusspunkte (Strom) erhalten. Bei Einbauleuchten kann auf Ersatzprodukte gleicher Bauform zurückgegriffen werden, wie LED-Einbauleuchten für Standarddeckenraster. Darüber hinaus werden Passstücke angeboten für den Ersatz von Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen (im Allgemeinen größerer Durchmesser) durch LED-Downlights mit kleinerem Durchmesser, vgl. Bild 15 links. Es kann somit ohne aufwendige Umbauten der Decke nachgerüstet werden.

Bei Lichtbandleuchten besteht die Möglichkeit, nur den Leuchtenkopf (Light Engine) auszutauschen. Tragekonstruktion und Deckenspiegel bleiben erhalten, wodurch ein Montagemehraufwand entfällt, vgl. Bild 15 rechts.

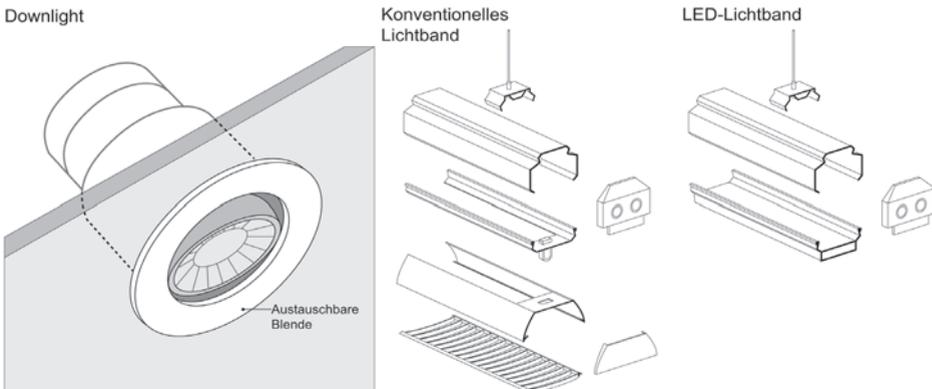


Bild 15: Passstücke zur Anpassung von Downlightöffnungen (links). Austauschsystem für Light Engines bei Lichtbändern (rechts) [Quelle: Trilux].

Aufwendiger gestaltet sich in Teilen die Nachrüstung von Lichtmanagementlösungen, da diese in älteren Installationen nur selten vorzufinden sind. Daher fehlen entsprechende Steuerleitungen und / oder auch Netzanschlusspunkte für im Raum oder in der Fassade integrierte Sensorik. Möglichkeiten sind:

1. Nachträgliche (Aufputz-)installation, zumeist Sonderlösung.
2. Einsatz von autonom arbeitenden Leuchten mit bereits integrierter Sensorik, vgl. Bild 10.
3. Funkbasierte (WLAN) Technik.

Ansatz 1 verlangt höheren Installationsaufwand. Die Ansätze 2 und 3 bedingen höhere Investitionskosten. Kombisensoren, die Tageslichtverfügbarkeit und Anwesenheiten in Räumen zugleich überprüfen, können eine effizientere Installation unterstützen.



Bild 16: Nachrüstung von Lichtmanagement: Aufputzinstallation (links), leuchtenintegrierte Lösungen (mitte) und funkbasierte Technik (rechts) [Quellen: Fraunhofer IBP, Nimbus, Osram].

10 Wirtschaftliche Überlegungen: »Rendite in renditearmen Zeiten?«

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist zwischen Maßnahmen im Bereich elektrischer Beleuchtung / Lichtmanagement und Maßnahmen zur Verbesserung der Tageslichtqualität zu unterscheiden. Erstere sind zum Teil sehr wirtschaftlich und bilden den Schwerpunkt der folgenden Betrachtungen. Letztere sind fast ausschließlich nur im Rahmen von »Sowieso«-Maßnahmen zu betrachten.

? Schnelle Abschätzung Investitionsrahmen für elektrische Beleuchtung möglich?

Bild 17 stellt die energetischen Kernparameter, installierte Leistung und Betriebszeiten, in den Kontext der Wirtschaftlichkeit. Dargestellt ist der Kapitalwert der Aufwendungen für Energie als Funktion der installierten Leistung und der effektiven Betriebszeit des Beleuchtungssystems. Bei den Betriebskosten überwiegen die Energiekosten im Allgemeinen weitere Wartungskosten signifikant, so dass genähert über die diskontierten Energiekosten der Spielraum für Investitionen abgeschätzt werden kann. Beispielhaft sind drei erforderliche Schritte in Bild 17 angegeben, um genähert einen möglichen Investitionsspielraum für ein Großraumbüro abzuschätzen. Bei einem angenommenen Strompreis von 0,15 €/kWh, Zinssatz von 1 %, Teuerungsrate von 0,1 % und Betrachtungszeit von 20 a ergeben sich etwa 60 €/m² als mögliche Investition. Übliche Investitionen für die Beleuchtung liegen im Bereich 30 - 35 €/m². Bei einer Betrachtungszeit von 10 a würden sich etwa gerade diese Investitionen refinanzieren. Die installierte Leistung vor der Sanierung liegt bei 20 W/m², nach einem Austausch der Leuchten sinkt diese auf 9 W/m². Es wird eine Betriebszeit von 2.000 Stunden angenommen.

Die Darstellung ermöglicht somit eine erste schnelle Einordnung einer bestehenden Beleuchtungsinstallation nach

den maßgeblichen Parametern effektive Betriebszeit und installierte Leistung. Es kann z. B. einfach argumentiert werden, dass ein System mit einer hohen installierten Leistung nur bei zugleich nennenswerten effektiven Betriebszeiten wirtschaftlich interessant zu ersetzen ist. Weitere Informationen zur Bewertung der Ist-Situation und Abschätzung von Potentialen mittels dafür entwickelter Hilfsmittel und Werkzeuge sind in Kapitel 11 zu finden.

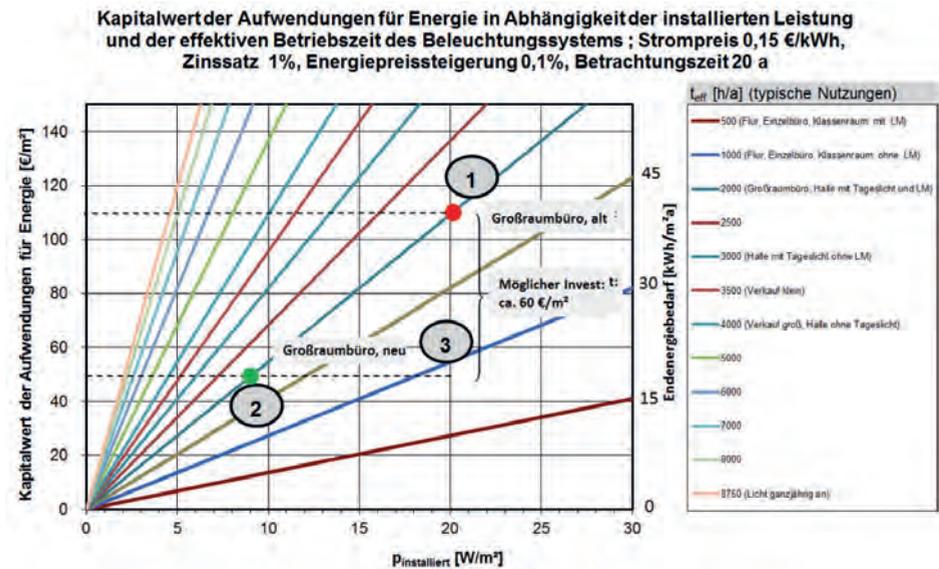


Bild 17: Kapitalwert der Aufwendungen für Energie als Funktion der installierten Leistung und der effektiven Betriebszeit des Beleuchtungssystems. Beispielhaft sind die drei Schritte dargestellt, genähert eine mögliche Investition für eine Großraumsituation abzuschätzen [Quelle: Fraunhofer IBP].

? Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit zwischen LEDs und Leuchtstofflampen?

Bei LEDs liegen die Investitionen zurzeit noch über denen von z. B. Leuchtstofflampensystemen. Dagegen liegen Energie- und sonstige Betriebskosten (Wartung wie Reinigung und i.d.R. entfallender Lampenwechsel) niedriger. Bild 18 ist eine Gegenüberstellung zu entnehmen. Es bieten sich inte-

grale wirtschaftliche Bewertungsansätze an (TCO).

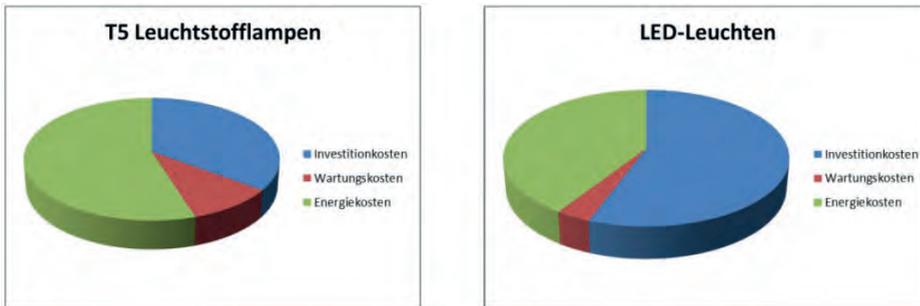


Bild 18: Kostenstrukturen von T5-Leuchtstofflampenlösungen und LED-Leuchten im Vergleich [Quelle: Fraunhofer IBP].

? Lohnt ein Austausch aus rein wirtschaftlichen Überlegungen?

Die Frage kann pauschal nicht beantwortet werden. Sie hängt von den Investitionskosten, vor allem von den energetischen Parametern (Differenz in den installierten Leistungen vor und nach der Sanierung, effektive Betriebszeiten vor- und nach der Sanierung), aber auch von den geforderten wirtschaftlichen Randbedingungen (betriebswirtschaftliche Vorgaben) ab. In Bild 19 werden die kumulierten Kosten über die Zeit beispielhaft für ein Großraumbüro dargestellt [8]. Gegenübergestellt werden die Kostenentwicklung für eine bestehende Anlage auf T8-Basis und den Wechsel auf eine LED ohne und mit Lichtmanagement. Hieraus aggregierte wirtschaftliche Kennwerte unterschiedlicher Typräume / -nutzungen sind Tabelle 4 zu entnehmen.

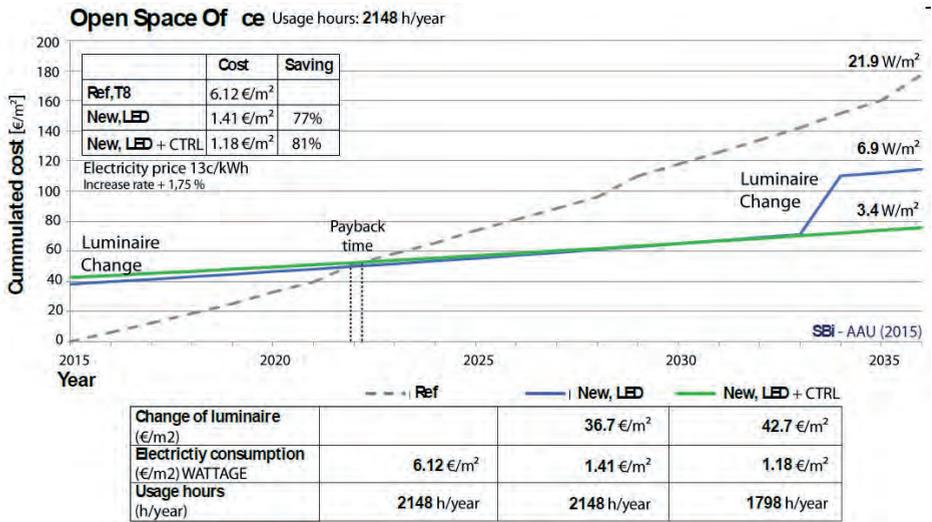


Bild 19: Wirtschaftlichkeitsanalyse eines Großraumbüros [8]. In [8] sind weitere Analysen für andere Hauptnutzungen sowie Parametervariationen (installierte Leistung des bestehenden Systems, Komponentenkosten Energiepreis) zu finden.

Wirtschaftlichkeit und Tageslichtnutzung?

Aufwendigere Maßnahmen an der Fassade zur Verbesserung der Tageslichtverhältnisse amortisieren sich im Allgemeinen nicht alleine durch Beleuchtungsenergieeinsparungen. An der Fassade lautet die Strategie, vor allem die »Sowieso«-Maßnahmen tageslichttechnisch richtig auszuführen.

Im Bereich des Sonnenschutzes ist bei ausgewählten Herstellern eine »Cut-Off-Steuerung« heute bereits standardmäßig in die Behangansteuerung integriert, d. h. mit keinen weiteren Mehrkosten verbunden. Andere Lösungen, wie zweigeteilte Behänge, haben gegenüber konventionellen Raffstoren nur moderate Mehrkosten von etwa 10 € / Behang, was unter 1 € pro Quadratmeter Nutzfläche bei einem üblichen Büroraum liegt und damit durch die erzielbaren Energieeinsparungen auch im Allgemeinen wirtschaftlich ist. Beim Einsatz von Lichtlenkgläsern, z. B. im Überkopfbereich von Fassaden, werden dort im Allgemeinen keine

sonstigen Sonnenschutzsysteme (wie Raffstore) benötigt, so dass diese Kosten gegengerechnet werden können.

Tabelle 4: Beispielhafte, aggregierte wirtschaftliche Kennwerte unterschiedlicher Typräume / -nutzungen [8].

Typ	Lösung	Invest [€/m ²]	Jährliche Kosten neu [€/m ²]	Amorti- sations- zeit	Anmerkung
Einzelbüro	Bestand	-	2,57	-	In Einzelbüros liegt die Amortisationszeit im Bereich der Lebensdauer der Beleuchtungsanlage aufgrund der zumeist guten Tageslichtnutzung (moderate Brennstunden).
	LED	36,7	0,81	17	
	LED + LM	42,7	0,22	16	
Großraumbüro	Bestand	-	6,12	-	Investitionen in Großraumbüros amortisieren sich schneller als in Einzelbüros, dies hauptsächlich auf Basis höherer Brennstunden.
	LED	36,7	1,41	7	
	LED + LM	42,7	1,18	7	
Klassenraum	Bestand	-	1,33	-	Die Nutzungszeiten und damit die Brennstunden in Klassenräumen sind nicht lang genug, um eine schnelle Rückzahlung der Investitionen zu erzielen.
	LED	36,7	0,42	>20	
	LED + LM	42,7	0,28	>20	
Verkauf	Bestand	-	10,35	-	Aufgrund der hohen Betriebszeiten von Verkaufsstätten und einer im allg. geringen Tageslichtnutzung zahlen sich Investitionen sehr schnell aus.
	LED	36,7	4,31	5	
	LED + LM	42,7	3,65	5	
Halle ohne Dachoberlichter	Bestand	-	7,19	-	Hallen z. B. in der Fertigung haben aufgrund der hohen Brennstundenzahl sehr kurze Amortisationszeiten
	LED	10,0	2,05	2,5	
Halle mit Dachoberlich- tern	Bestand	-	5,37	-	Wird Tageslicht durch z. B. Dachoberlichter genutzt, verdoppeln sich die Amortisationszeiten in etwa.
	LED	10,0	1,53	3,5	
	LED + LM	16,0	1,17	4,5	

11

»Little big Helpers«: Werkzeuge zur Entscheidungs- (und) Planungsunterstützung

Zur Entscheidungs- und Planungsunterstützung stehen heutzutage leistungsstarke zumeist kostenlose Hilfsmittel zur Verfügung. Diese können unterschiedliche Zielgruppen in ihren jeweiligen Informationsbedürfnissen, Entscheidungs- und Planungsprozessen unterstützen. Der Vorstellung zweier »Ratgeber-Werkzeuge« folgt eine Kurzdarstellung der gebräuchlichsten Fachplanungswerkzeuge.

? Wie kann ich mich einfach informieren und Entscheidungen vorbereiten?

»Lotse energieeffiziente Innenbeleuchtung«

Eine einfache, systematische Unterstützung zum Thema energieeffiziente Innenbeleuchtung für Bürogebäude sowie Industrie und Gewerbe bietet das Online-Angebot »Lotse energieeffiziente Innenbeleuchtung« (www.lotse-innenbeleuchtung.de/). Je nach Interessenslage und Rolle (z. B. kommunaler Vertreter, Energieberater, Fachplaner) wird relevante Information angeboten. Ein integrierter Quickcheck gestattet die einfache Abschätzung eines jährlichen Einsparpotenzials (CO₂ und €).

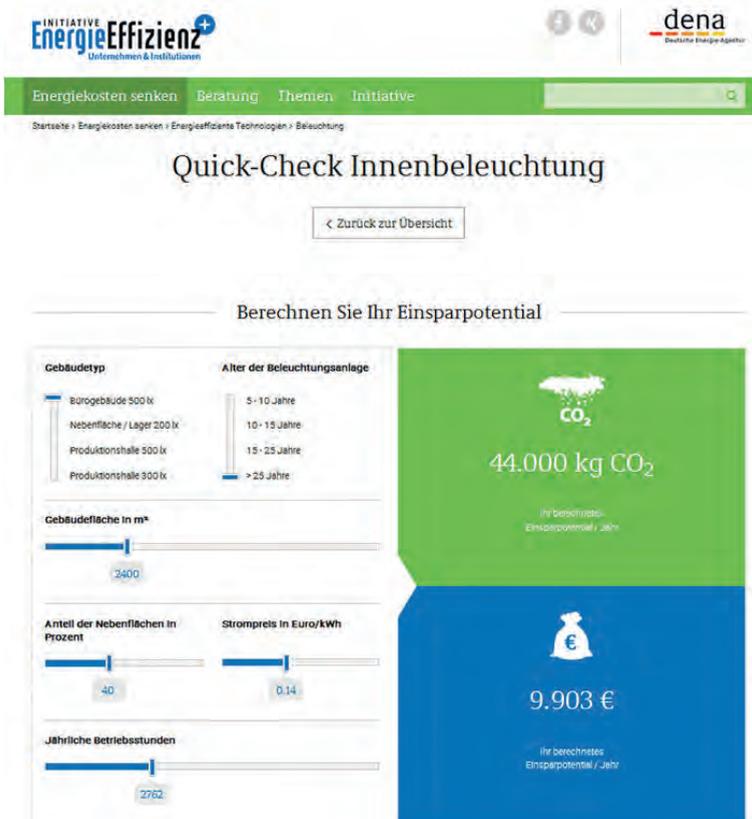


Bild 20: Quickcheck im Lotsen Innenbeleuchtung der Deutschen Energie-Agentur (dena).



Bild 21: Informationszugang für unterschiedliche Zielgruppen [Quelle: Fraunhofer IBP, IEA-SHC Task 50].

IEA Task 50 Lighting Retrofit Adviser

Umfangreicher ist der *Lighting Retrofit Adviser* der IEA. Auch hier stehen auf unterschiedliche Zielgruppen abgestimmte Informationsangebote zur Verfügung, vgl. Bild 21. Diese greifen neben genereller Hintergrundinformation auf eine Sammlung elektronischer Hilfswerkzeuge zurück, dargestellt in Bild 22. Diese Sammlung enthält u. a.:

- **»Low hanging fruits«**: Darstellung energetisch und wirtschaftlich besonders wirkungsvoller Maßnahmen.
- **Benchmarking / Portfolio Analyse**: Um eigene existierende Beleuchtungsanlagen einzustufen, kann mittels Benchmarking ein Bezug zu anderen Anlagen (alte und neue Anlage) hergestellt werden, vgl. Bild 23. Dies kann als erster Schritt dienen, weitere Maßnahmen zu veranlassen.
- **Technologiesammlung**: Aus den Bereichen elektrische Beleuchtung, Tageslicht / Fassade, Lichtmanagement und Raumumgestaltung werden detailliert 40 Techniken dargestellt, vgl. Bild 24. Mittels einer einheitlichen Kriterienbasis können Techniken miteinander verglichen werden.
- **Fallbeispiele**: Mehr als 20 internationale Fallbeispiele geben einen detaillierten Einblick in energetische, wirtschaftliche, lichttechnische und nutzungsbezogene Aspekte der Sanierung von Beleuchtungsanlagen (vorher-, nachher- Betrachtungen), vgl. Bild 25.
- **Vor-Ort-Optimierung**: Direkte Vor-Ort-Bewertung der bestehenden Beleuchtungsanlage und Generierung von Sanierungsoptionen mit energetischer und wirtschaftlicher Bewertung. Dieses Modul wird im Folgenden näher besprochen.

Der Lighting Retrofit Adviser der IEA ist kostenlos und läuft alternativ in Webbrowsern oder auf mobilen Endgeräten unter den Betriebssystemen Android, IOS, Windows Mobile

(nähere Informationen unter <http://task50.iea-shc.org/> oder www.lightingretrofitadviser.com).



Bild 22: Sammlung an unterschiedlichen elektronischen Hilfsmitteln [Quelle: Fraunhofer IBP, IEA-SHC Task 50].

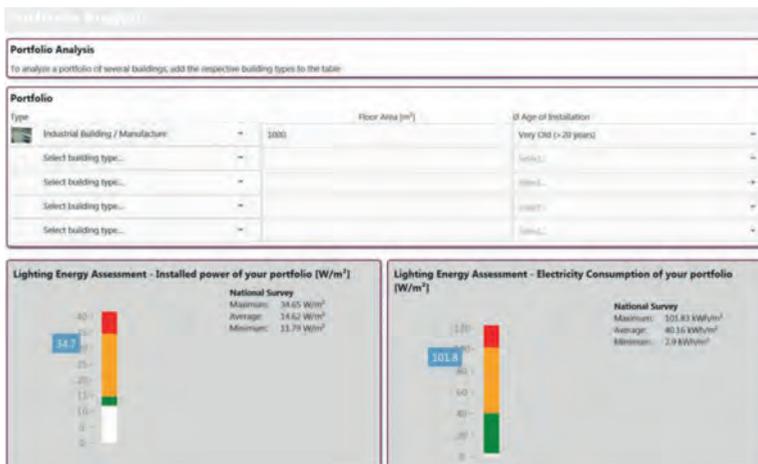


Bild 23: Portfolio-Analyse [Quelle: Fraunhofer IBP, IEA-SHC Task 50].

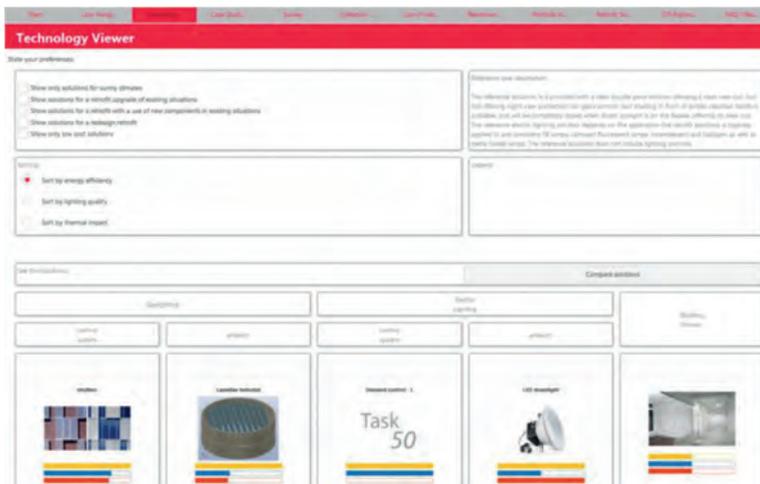


Bild 24: Sammlung unterschiedlicher Techniken zur Sanierung im Lighting Retrofit Adviser [Quelle: Fraunhofer IBP, IEA-SHC Task 50].



Bild 25: Übersicht im Lighting Retrofit Adviser erfasster Fallstudien [Quelle: Fraunhofer IBP, IEA-SHC Task 50].

? Unterstützung direkt vor Ort – Wie er- middle ich Sanierungspotentiale?

Die vielleicht wichtigste Aufgabe ist es, zunächst zu identifizieren, ob eine Sanierung überhaupt Potential birgt. Dazu ist die Erfassung und Bewertung der Ist-Situation erforderlich. Hierfür stehen verschiedene papiergebundene Hilfsmittel wie Checklisten und auch softwaregestützte Werkzeuge zur Verfügung, die es zum Teil ermöglichen, bereits direkt vor Ort zu einer Einschätzung der Qualität der bestehenden Installation zu kommen und basierend auf dem Status quo auch erste Lösungsvorschläge zu unterbreiten. Das »Vor-Ort-Bewertungssystem« des Lighting Retrofit Advisers, siehe Bild 26, führt schnell und sicher – grafisch interaktiv – durch die Aufnahme der Bestandsanlage und der wichtigsten Raum- und Nutzungsparameter. Basierend auf dieser Erfassung der Ist-Situation werden Sanierungsvorschläge geliefert und direkt in einem energetischen und wirtschaftlichen Vergleich gegenübergestellt. So werden beispielsweise absoluter / spezifischer End- / Primärenergiebedarf, CO₂-Emissionen, unterschiedliche Kostenarten, Amortisationszeit, »Total Cost of Ownership« und Kapitalzins für die vorgeschlagenen Sanierungsvarianten ausgewiesen.

Sich schnell ändernde Daten gibt es z. B. im Bereich der LEDs, so dass es sich in Teilen empfiehlt, aktuelle Daten händisch einzupflegen. Die Möglichkeit dafür ist gegeben.

Die Entscheidung für eine Sanierung ist gefallen: Detailplanung!

Lichtplanungswerkzeuge wie DIALux, Relux etc. sind für die frühe Analysephase zumeist zu komplex, können dann aber in der Detailausarbeitung einer neuen Lösung, nachdem die Entscheidung zu einer Überarbeitung der Anlage gefallen ist, das Mittel der Wahl sein. Neben der umfangreichen Planung und Bewertung (z. B. nach den gängigen normativen Regelwerken) bieten die Programme heutzutage auch Funktionalitäten zur Bewertung der Tageslichtverhältnisse. Mit der Software DIALux können mittlerweile auch komplexere Fassadenlösungen wie unterschiedliche Sonnenschutz-

systeme und Dachoberlichtlösungen bewertet werden.

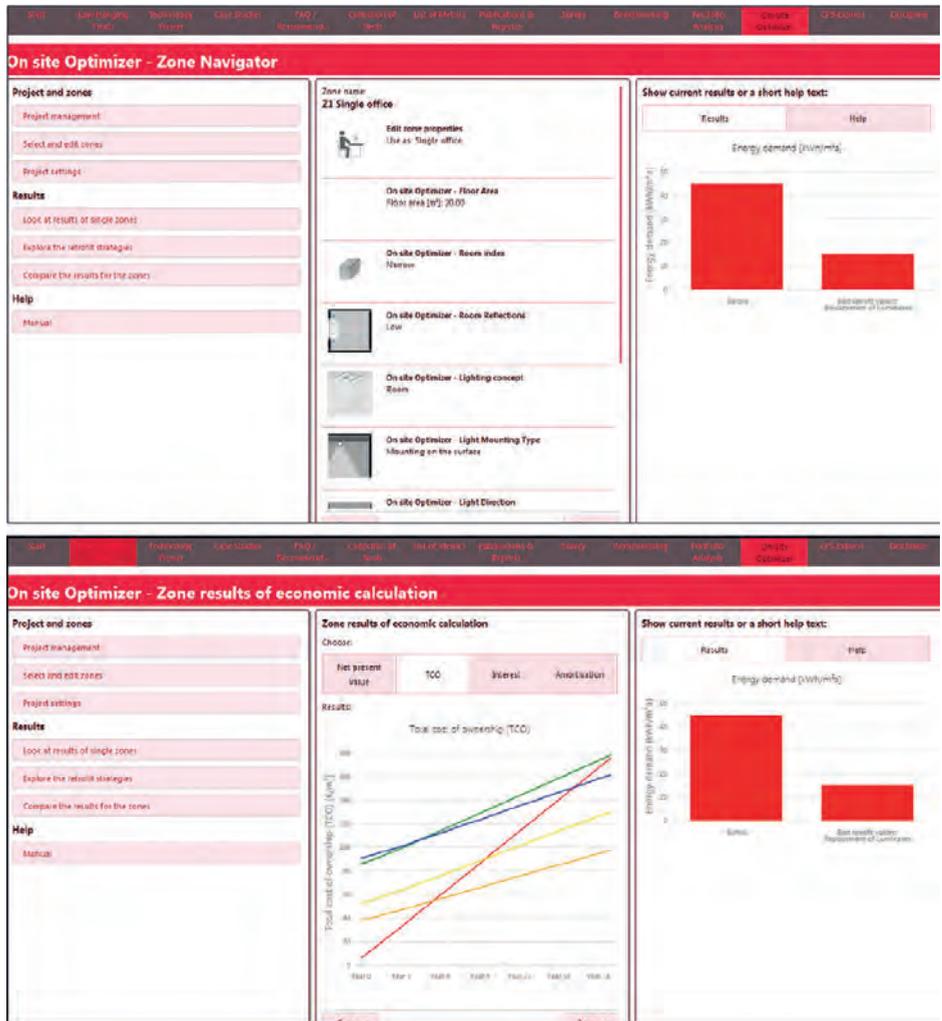


Bild 26: Vor-Ort-Bewertungssystem: grafisch interaktive Eingabe; automatische Sanierungsvariantenerzeugung; energetische und wirtschaftliche Bewertung [Quelle: Fraunhofer IBP, IEA-SHC Task 50].

Sanierung von Beleuchtungsanlagen

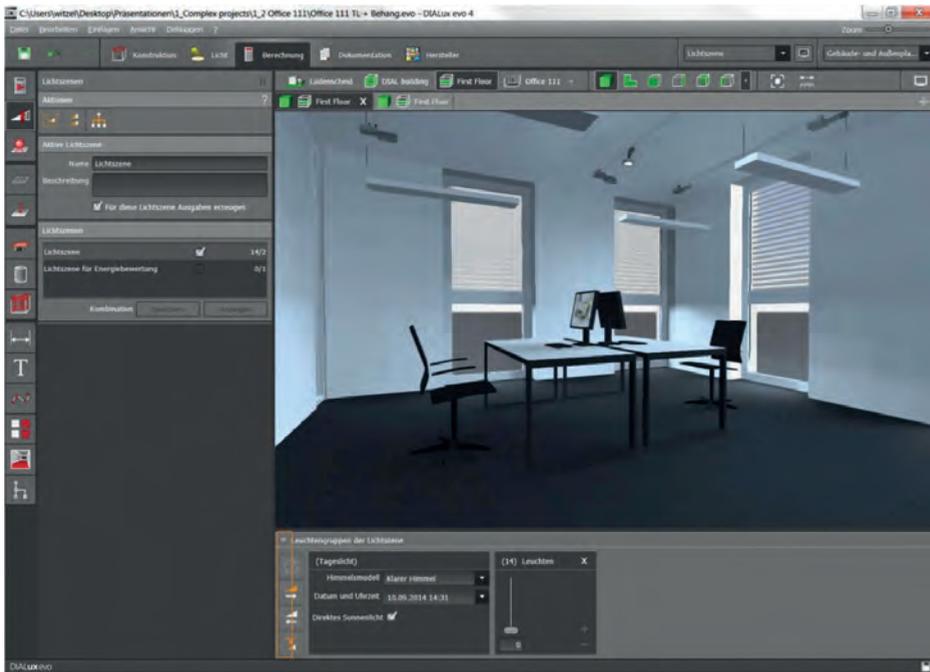


Bild 27: Screenshot der Software DIALux, die die gleichzeitige Bewertung von elektrischer Beleuchtung und Tageslicht in der Detailplanung ermöglicht.

12 Welche Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten existieren?

Ich möchte mich um gar nichts kümmern: Contracting und Leasing

Auch im Bereich Beleuchtung erlangen Fremdfinanzierungen in Form von Leasing eine zunehmende Bedeutung. Für den Leasingnehmer ergibt sich der Vorteil, dass er von der Effizienz der Neuanlage profitiert ohne die Investitionssumme bereits zum Zeitpunkt des Einbaus aufbringen zu müssen. Beim Contracting wird die komplette Leistung „Beleuchtung“ an einen Dienstleister vergeben. Der Nutzer bezahlt monatlich oder jährlich einen Betrag an den Contractor, der die Anlage eigenverantwortlich betreibt. Durch LED-Technik mit langlebigeren Produkten und größeren Einsparpotentialen gegenüber bisher eingesetzter Technik werden diese Geschäftsmodelle sowohl für Dienstleister als auch die Nutzer der Beleuchtungsanlage attraktiver [9].

Contracting (ESPC Energy Saving Performance Contract)

Investitionsmodell mit Energiedienstleister (ESCO)

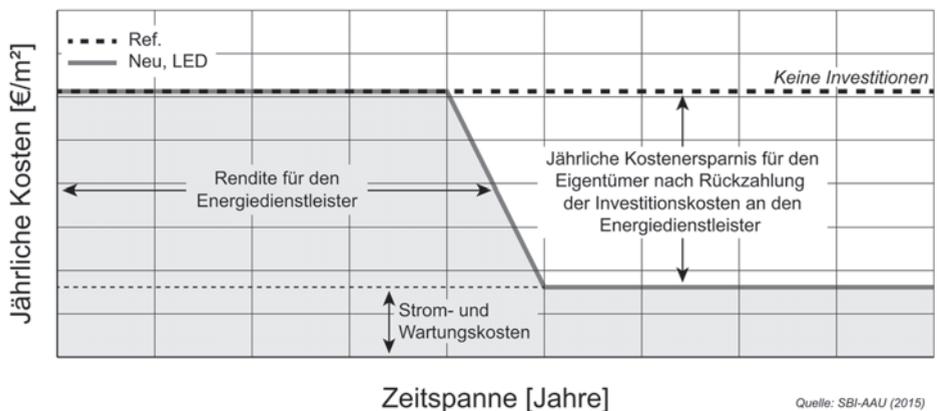


Bild 28: »Energy contracting« Finanzierungsmodell.

Auf Grundlage einer vertraglichen Vereinbarung finanziert, installiert und betreibt eine ESCO (Energy Service Compa-

ny) eine neue Beleuchtungsanlage. Der Nutzer bezahlt ihm hierfür über die gesamte Vertragslaufzeit Beiträge. Der Gewinn der ESCO ist umso höher, je wirtschaftlicher sie die Anlage betreiben kann. Die ESCO ist daher ein Spezialist für das effiziente Betreiben von Beleuchtungsanlagen. Eine genaue Voraussage der erzielbaren Einsparungen ist die Basis ihres Geschäftsmodells. Der Nutzer andererseits muss darauf achten, die zu erbringende Beleuchtungsqualität genau zu spezifizieren und angemessen an der Effizienz der Neuanlage beteiligt zu werden. Nach Vertragsende geht die Beleuchtungsanlage in die Hände des Nutzers über.

Bild 28 illustriert die Betriebskosten beim Contracting, Bild 29 zeigt die Schritte bei der Umsetzung einer solchen Vereinbarung.

Leasing (ESPC Energy Saving Performance Contract)

Eine neuere Finanzierungsalternative in der Beleuchtung stellt das Leasing dar. Der Leasinggeber (spezialisiertes Unternehmen, Leuchtenhersteller) ist verantwortlich für die Projektierung, Beschaffung und Installation der Anlage. Er bekommt vom Leasingnehmer über die Leasingdauer von in der Regel 5 bis 8 Jahren hierfür fest vereinbarte Beträge. Hinsichtlich der Betriebskosten bleibt das wirtschaftliche Risiko beim Leasingnehmer. Der Leasinggeber kann auch den Betrieb und die Wartung der Beleuchtungsanlage übernehmen, muss es jedoch nicht. Das Eigentum an der Beleuchtungsanlage nach Ablauf der Leasingdauer ist in dem Leasingvertrag zu regeln. Denkbar ist, dass der Leasinggeber die Anlage zurücknimmt, oder die Anlage in das Eigentum des Leasingnehmers übergeht. Eine weitere Option stellt eine Vertragserneuerung dar, einhergehend mit einer Modernisierung (ggf. einem Kompletttausch) der Anlage auf den aktuellen Stand der Technik.

Leasingmodelle in der Beleuchtung können möglicherweise zukünftig auch zu einem »Second Hand Markt« für Leuchten führen.



Bild 29: Übliche Bestandteile des »Licht-Contracting« [Quelle: Fraunhofer IBP].

? Welche Förderinstrumente und sonstige Anforderungen gibt es?

Ein aktuell laufendes Programm, in dem die energetische Ertüchtigung der Beleuchtung gefördert wird, ist das *KfW-Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen und Sanieren* [5]. Ggf. weitere Programme von Bund, Ländern und EU können immer aktuell in der Förderdatenbank des BMWi unter <http://www.foerderdatenbank.de/> recherchiert werden.

13 Wie verhält es sich in der Praxis? – Sechs Fallbeispiele

13.1 Sanierung der Beleuchtungsanlage in einem Baumarkt

Gebäudekategorie: Handel; Nutzung: Baumarkt	vor Sanierung	nach Sanierung
Raumgrundfläche	5.000 m ²	
davon mit Tageslicht versorgt	32 %	
Einstufung Tageslichtniveau	gut	
charakteristischer Tageslichtquotient	6,8 %	
Fensterfläche / Nettogrundfläche	8,5 %	
Art der Verglasung	Stegdoppelplatte	
$\tau_{v,D65}$ / g-Wert / U-Wert	0,39 / 0,7 / 3,1 W/m ² K	
spezifische Anschlussleistung	15,3 W/m ²	5,6 W/m ²
Kontrollsystem tageslichtabhängig	nein	teilweise
Kontrollsystem präsenzabhängig	nein	nein
Energiebedarf Beleuchtung	59,7 kWh/m ² a	16,3 kWh/m ² a
Energieeinsparung	73 %	
Amortisationszeit	3 a	

Die im Bestand eingesetzten Halogenmetall dampflampen (HQI) wurden durch neue LED-Leuchten mit deutlich höherer Lichtausbeute ersetzt. Dabei ist dieser Fall durchaus vergleichbar mit Märkten, in denen heute noch ältere Leuchtstofflampen eingesetzt werden.

Tageslichtnutzung

Der Markt hat ein zentrales Oberlichtband, das einen mittleren Grundrissstreifen gut mit Tageslicht versorgt. Tagsüber ist hier eine zusätzliche künstliche Beleuchtung in der Regel nicht erforderlich. Dadurch, dass die künstliche Beleuchtung in dem gut mit Tageslicht versorgten Bereich einen separaten Regelkreis hat, kann das Tageslicht zur Energieeinsparung beitragen.



Bild 30: Zentraler Bereich des Marktes mit neuer LED-Beleuchtung und Dachoberlichtband [Quelle: daylighting.de].



Bild 31: Einzelne Lichtkuppeln im Randbereich (links) reichen für die Tageslichtnutzung nicht aus. Das zentrale Oberlichtband (mitte) ist ausreichend dimensioniert, Abschnitte klarer Verglasung (rechts) ermöglichen Sonnenflecken im Innenraum [Quelle: daylighting.de].

Durch einen umlaufenden Kranz aus Lichtkuppeln erhält auch der Randbereich des Marktes Tageslicht, jedoch reichen die Dachoberlichter hier für eine vollständige Versorgung mit Tageslicht nicht aus. Die z. T. bis unter die Decke

reichenden Regale behindern zudem die Verteilung des Tageslichts im Innenraum, so dass das Tageslichtniveau im Randbereich sehr ungleichmäßig ist. Diese ungleichmäßige Tageslichtverteilung bei einem unzureichenden Tageslichtniveau am Rand ist durch Kontrollsysteme der künstlichen Beleuchtung schwer zu meistern, so dass hier auf eine regelungstechnische Berücksichtigung des Tageslichts verzichtet wurde, das Tageslicht hier also nicht zur Energieeinsparung beiträgt. Zwischen dem Randstreifen und dem zentralen Oberlichtband erhält der Markt kein Tageslicht und wird künstlich beleuchtet.

Die Dachoberlichter wurden, obwohl sie hinsichtlich des U-Wertes nicht dem Stand der Technik entsprechen, im Rahmen der Sanierung der künstlichen Beleuchtung nicht verändert. Ein Grund hierfür liegt darin, dass es sich um ein gemietetes Objekt handelt und der Nutzer nicht Eigentümer ist.

Künstliche Beleuchtung



Bild 32: Die Bestandsleuchten (links) hatten insbesondere in Bereichen mit hohen Raumteilern (mitte) eine ungleichmäßige Beleuchtung zur Folge. Die neuen LED-Leuchten (rechts) lassen sich in Bezug auf die Gänge besser anordnen [Quelle: daylighting.de].

Vor der Sanierung wurde der Markt durch einzelne von der Decke abgependelte Strahlerleuchten mit Glasreflektor beleuchtet. Aufgrund des Glasreflektors verteilen die Leuchten einen Anteil ihres Lichtstroms nach oben gegen die Raumdecke, so dass die Decke sich im Bereich der Leuchte

aufhellte. Im Bereich des Marktes waren 147 Leuchten vorhanden, die jeweils mit einer 400 W HQI-Lampe ausgestattet waren. Die Beleuchtungsanlage wurde aufgrund hoher Energiekosten saniert.

In dem Markt wurde ein Lichtbandsystem mit LED-Leuchten neu eingebaut. Die neue Beleuchtungsanlage verwendet zwei Leuchtentypen, in den meisten Bereichen wurde ein breit strahlender Typ gewählt, um eine gleichmäßige Beleuchtungsstärkeverteilung zu erreichen. In einer engen Situation zwischen hohen Regalen wurde ein eng strahlender Typ verwendet, um zwischen den Regalen eine ausreichende Beleuchtungsstärke zu ermöglichen und auch die Waren im Regal attraktiv zu beleuchten. Dieser eng strahlende Leuchtentyp wird beim Blick nach oben als grell wahrgenommen.

Kontrollsystem

Vor der Sanierung wurde die Beleuchtungsanlage in dem gesamten Markt zu Beginn der Betriebszeit eingeschaltet und abends bei Betriebsschluss wieder ausgeschaltet. Die Leuchten waren nicht dimmbar und wurden auch dort, wo ausreichend Tageslicht vorhanden war, nicht ausgeschaltet. Somit konnte das vorhandene Tageslicht nicht zur Energieeinsparung beitragen.

Nach der Sanierung wird die Beleuchtungsanlage immer noch zu Beginn der Betriebszeit ein- und bei Ende der Betriebszeit wieder ausgeschaltet. Jedoch ist die Anlage heute in der Lage, das vorhandene Tageslicht im Bereich des zentralen Oberlichtbandes zu nutzen, indem die Leuchten gedimmt werden. Hierdurch kann der Energiebedarf zusätzlich zu dem durch die effizienteren Leuchten erzielten Einspareffekt gesenkt werden.

Auf das präsenzabhängige Ausschalten der Beleuchtung wurde verzichtet, da in dem Markt ständig Kunden anwesend sind und diese nicht durch Änderungen der Beleuchtung abgelenkt werden sollen.

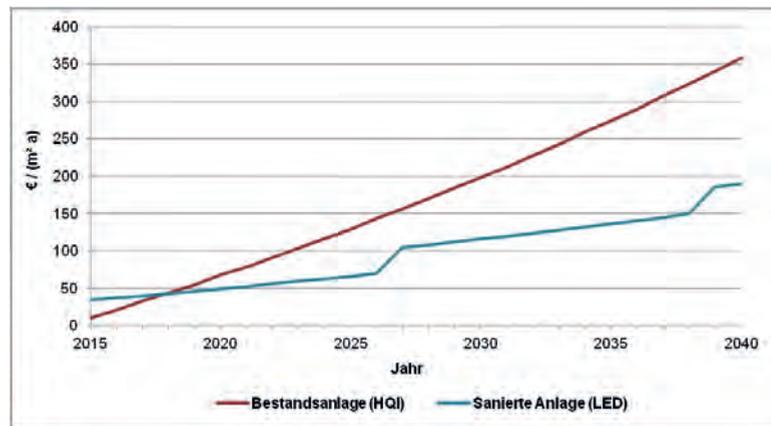


Bild 33: Akkumulierte spezifische jährliche Kosten für die Beleuchtungsanlagen mit HQI- und LED-Technik.

Fazit: Der Energieumsatz der Beleuchtung wurde durch die Sanierung um 74 % reduziert, hierdurch wurden die jährlichen Betriebskosten um 42.000 € gesenkt. Die Energieeinsparung geht größtenteils auf effizientere Leuchten zurück. Da nur ein Teil des Marktes ausreichend Tageslicht erhält und präsenzabhängiges Ausschalten im Markt kritisch ist, konnten die Kontrollsysteme nur wenig zur Effizienz beitragen.

13.2 Sanierung der Beleuchtungsanlage in einer Logistikhalle

Gebäudekategorie: Logistik; Nutzung: Lager	vor Sanierung	nach Sanierung
Raumgrundfläche eines Regalgangs	105 m ²	
davon mit Tageslicht versorgt	100 %	
Einstufung Tageslichtniveau	gering	
charakteristischer Tageslichtquotient	3,3 %	
Dachoberlichtfläche / Nettogrundfläche	17 %	
Art der Verglasung	Stegdoppelplatte	
$\tau_{v,D65}$ / g-Wert / U-Wert	0,44 / 0,56 / 2,5 W/m ² K	
spezifische Anschlussleistung	7,2 W/m ²	1,8 W/m ²
Kontrollsystem tageslichtabhängig	nein	ja
Kontrollsystem präsenzabhängig	nein	nein
Energiebedarf Beleuchtung	18 kWh/m ² a	1,7 kWh/m ² a
Energieeinsparung	91 %	
Amortisationszeit	1 a	

Die alte Beleuchtungsanlage bestehend aus Lichtbandleuchten mit 26 mm-Leuchtstofflampen und verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) wird durch eine neu geplante Beleuchtungsanlage mit LED-Leuchten ersetzt. Ein neues Kontrollsystem ermöglicht die tageslichtabhängige Regelung der künstlichen Beleuchtung.

Tageslichtnutzung

Der Regalgang in der Logistikhalle wird über ein mittig verlaufendes Oberlichtband vollständig und gleichmäßig mit Tageslicht versorgt. Aufgrund der Raumproportionen des hohen beidseitig durch Regale gebildeten Ganges sowie des niedrigen Lichttransmissionsgrades der durch Alterung vergilbten Stegdoppelplatten wird trotz des vergleichsweise hohen Flächenanteils der Dachoberlichtfläche an der Nettogrundfläche von 17 % in der Einstufung der DIN V 18599-4 lediglich ein geringes Tageslichtniveau erreicht. Für ein Lager erscheint dieser Tageslichteintrag jedoch angemessen. Die Beleuchtungsstärke auf den vertikalen Flächen der Re-

gale ist tagsüber deutlich höher als bei künstlicher Beleuchtung.



Bild 34: Hochregalgang im Logistiklager mit Bestandsbeleuchtungsanlage und Dachoberlicht [Quelle: daylighting.de].



Bild 35: Oberlichtband zur Tageslichtversorgung des Regalgangs: Innenansicht (links), Außenansicht (rechts) [Quelle: daylighting.de].

Eine Sanierung der Dachoberlichter wurde, obwohl sie hinsichtlich des U-Wertes nicht dem Stand der Technik entsprechen und die Vergilbung des Materials für eine Erneuerung spricht, nicht erwogen. Generell wird von baulichen Maßnahmen häufig Abstand genommen, wenn der Nutzer nicht Eigentümer des Gebäudes ist.

Künstliche Beleuchtung

Die alte Beleuchtungsanlage des ca. 17 m langen Regalgangs bestand aus zehn tiefstrahlenden Langfeldleuchten mit je einer 58 W 26 mm-Leuchtstofflampe und VVG. Insgesamt sind in dem Hallenteil mit 8 m hohen Regalgängen 84 Leuchten installiert. Die vertikale Beleuchtungsstärke am Lagergut, an dem auch Leseaufgaben zu erfüllen sind, lag weit unter den normativen Anforderungen.

Als Ersatz für diese inzwischen veraltete Technik wurde eine neue Anlage geplant, die pro Regalgang nur zwei LED-Leuchten mit je 76,2 W vorsieht. Die über dem Mittelgang des Lagers befindliche Leuchte wurde dem Bewertungsbereich zur Hälfte zugerechnet, so dass die im Gang installierte elektrische Anschlussleistung der neuen Beleuchtungsanlage 190,5 W beträgt. Es wurden dimmbare direkt strahlende Leuchten mit einer für die Beleuchtung

aus großer Höhe angepassten Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) verwendet. Hohe Energiekosten sowie technische Probleme mit der bestehenden Anlage waren die Hauptgründe für die Entscheidung, eine neue Beleuchtungsanlage zu installieren.

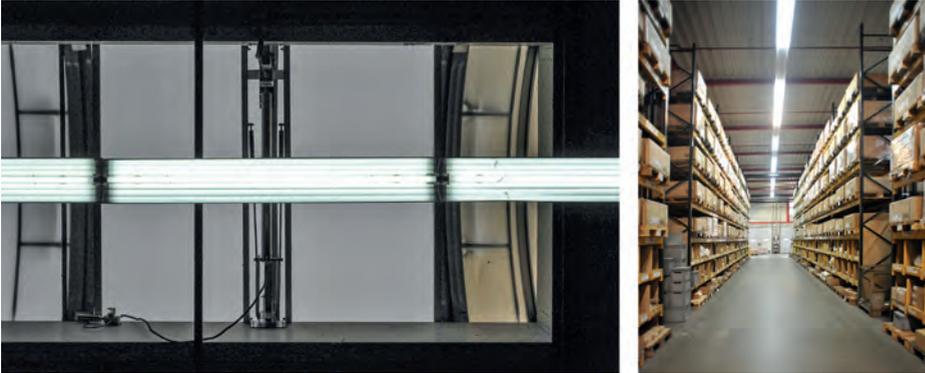


Bild 36: Bestandsanlage mit direkt strahlenden Reflektorleuchten, Detail (links), Gang ohne Dachoberlicht (rechts) [Quelle: daylighting.de].

Kontrollsystem

Vor der Sanierung wurde die Beleuchtungsanlage der gesamten Halle morgens zu Beginn der Betriebszeit eingeschaltet und abends bei Betriebsschluss wieder ausgeschaltet, so dass die Leuchten während der gesamten Arbeitszeit mit ihrer vollen Leistung in Betrieb waren.

Nach der Sanierung wird die Beleuchtungsanlage weiterhin manuell in und außer Betrieb genommen, jedoch ist die Anlage in der Lage, das vorhandene Tageslicht durch eine tageslichtabhängige Dimmung der Leuchten zu nutzen. Hierdurch kann der Energiebedarf zusätzlich zu dem durch die effizienteren Leuchten erzielten Einspareffekt gesenkt werden.

In Logistiklagern ohne Dachoberlichter entfällt der auf die Nutzung des Tageslichts zurückgehende Anteil der Energieeinsparung. Statt $1,7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ beträgt der Energiebedarf dann $4,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und die Einsparung verringert sich von 91 % auf 75 %.

Aufgrund des regen Betriebs in dem Logistiklager ist eine präsenzabhängige Regelung in diesem Fall nicht sinnvoll.

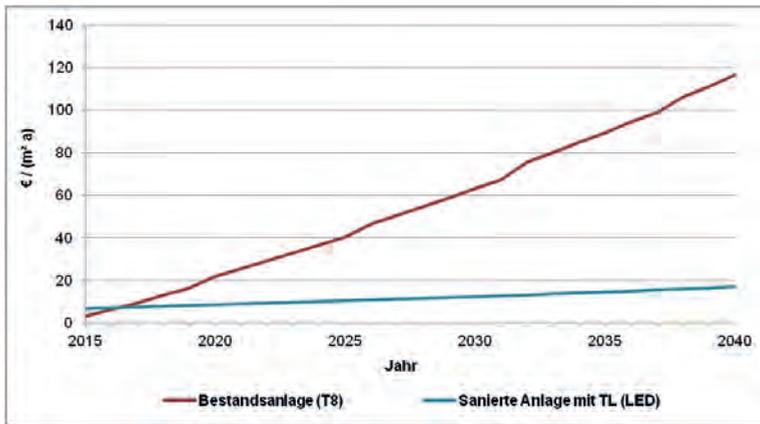


Bild 37: Akkumulierte spezifische jährliche Kosten für die Beleuchtungsanlagen mit stabförmigen Leuchtstofflampen und LED-Technik [Quelle: daylighting.de].

Fazit: Mit neuen tageslichtabhängig geregelten LED-Leuchten kann der Energiebedarf im Tageslichtbereich um 91 % gesenkt werden. In Bereichen ohne Tageslicht kann der Energiebedarf mit den neuen Leuchten um 75 % gesenkt werden.

13.3 Sanierung der Beleuchtungsanlage in einem Einzelbüroraum einer Behörde

Gebäudekategorie: Verwaltungsgebäude; Nutzung: Einzelbüro	vor Sanierung	nach Sanierung
Raumgrundfläche	17,5 m ²	
davon mit Tageslicht versorgt	100 %	
Einstufung Tageslichtniveau	gut	
charakteristischer Tageslichtquotient	3,5 %	
Fensterfläche / Nettogrundfläche	20 %	
Art der Verglasung	Zweifach-Wärmedämmglas	
τ_{vD65} / g-Wert / U-Wert	0,8 / 0,6 / 1,3 W/m ² K	
spezifische Anschlussleistung	11,8 W/m ²	4,3 W/m ²
Kontrollsystem tageslichtabhängig	nein	ja
Kontrollsystem präsenzabhängig	nein	ja
Energiebedarf Beleuchtung	13 kWh/m ² a	3,0 kWh/m ² a
Energieeinsparung	77 %	
Amortisationszeit	10 a	

In einem Verwaltungsgebäude, das überwiegend aus Einzelbüroräumen besteht, wurde die direkt strahlende Bestandsbeleuchtungsanlage mit T8-Leuchtstofflampen und verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) durch direkt / indirekt strahlende LED-Stehleuchten mit höherer Systemlichtausbeute sowie mit tageslicht- und präsenzabhängiger Regelung ersetzt. Die Kennwerte wurden für einen repräsentativen Einzelbüroraum ermittelt.

Tageslichtnutzung

Der gesamte Raum wird durch zwei hohe Seitenfenster mit Aluminiumrahmen mit Tageslicht versorgt. Im Bereich des in der fensternahen Zone angeordneten Arbeitsplatzes ist die Tageslichtversorgung besonders gut, dadurch wird der Energiebedarf für die Beleuchtung erheblich reduziert.

Das außenliegende verstellbare Jalousiesystem dient primär als Sonnenschutz und erfüllt bei besonnener Fassade auch die Funktion eines Blendschutzes. Zusätzlich ist als innenliegender Blendschutz ein streuender, die Durchsicht noch

gewählender Vorhang montiert.



Bild 38: Einzelbüro mit LED-Stehleuchte und Seitenfenster [Quelle: S. Aydinli].

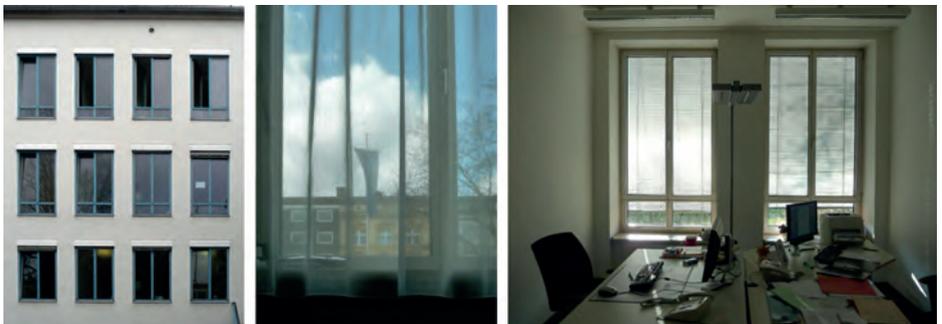


Bild 39: Die hohen Seitenfenster (links) reichen für die Tageslichtnutzung aus. Als zusätzlicher Blendschutz kann ein innenliegender durchsichtiger Vorhang genutzt werden (mitte). Ein außenliegendes Jalousiesystem dient als Sonnenschutz einrichtung (rechts) [Quelle: S. Aydinli].

Künstliche Beleuchtung

Die Bestandsanlage für künstliche Beleuchtung bestand aus vier direkt strahlenden Spiegelraster-Deckenanbauleuchten, die jeweils mit einer 36 W T8-Leuchtstofflampe und VVG ausgestattet waren. Die Leuchten waren in zwei getrennt schaltbare Leuchtenreihen eingeteilt. Es waren weder Präsenzmelder noch eine tageslichtabhängige Regelung installiert. Diese Bestandsanlage erreichte eine Grundbeleuchtung mit einer mittleren Beleuchtungsstärke von lediglich 300 lx. Zusätzlich waren die Arbeitsplätze mit einer Tischleuchte mit 40 W-Glühlampe ausgestattet.

Zur Sanierung der künstlichen Beleuchtung wurde in den Büroraum eine neue direkt / indirekt strahlende LED-Stehleuchte zur arbeitsplatzorientierten Beleuchtung eingebracht. Der direkte Anteil mit verstellbaren optischen Systemen dient einer nutzerorientierten Ausleuchtung des Arbeitsplatzes. Der indirekte Anteil ermöglicht die gleichmäßige Ausleuchtung des Raumes über die Aufhellung der Raumdecke. Nach der Sanierung wurde eine deutlich höhere Beleuchtungsstärke mit mehr als 500 lx auf der Arbeitsfläche erreicht.

Eine Nutzerbefragung ergab im Vergleich zur alten Beleuchtung eine höhere Akzeptanz der LED-Stehleuchten.



Bild 40: Die Bestandsleuchten (links) wurden durch LED-Stehleuchten ersetzt. Durch die korrekte Positionierung der LED-Stehleuchte mit indirekter Beleuchtung wird im Raum eine gleichmäßige Beleuchtung erreicht (rechts) [Quelle: S. Aydinli].

Kontrollsystem

Vor der Sanierung besaß die Beleuchtungsanlage weder eine tageslicht- noch eine präsenzabhängige Regelung. Die Deckenleuchten sowie die Tischleuchte wurden vom Nutzer manuell ein- und ausgeschaltet. Somit konnte das vorhandene Tageslicht nicht optimal zur Energieeinsparung genutzt werden.

Die in der sanierten Anlage verwendete dimmbare LED-Stehleuchte besitzt sowohl eine tageslicht- als auch eine präsenzabhängige Regelung. Dabei kann der Nutzer den Sollwert der Beleuchtungsstärke individuell einstellen. Bei abnehmendem Tageslicht aktiviert sich die Leuchte automatisch. Das Energieeinsparpotenzial der modernen Lampen- und Leuchtentechnik fällt mit 64 % sehr hoch aus. Durch den Präsenzmelder und die tageslichtabhängige Regelung werden aufgrund der guten Tageslichtversorgung weitere 13 % Energie eingespart. Durch die automatische Aktivierung kann eine ergonomisch verbesserte Beleuchtung bereitgestellt werden.

Dennoch fallen die jährlichen Energiekosteneinsparungen mit 50 € je Raum ernüchternd aus. Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Kosteneffizienz dieser Sanierung der künstlichen Beleuchtung ist die Betriebszeit der Anlage, die hier aufgrund der guten Tageslichtversorgung der Büros vergleichsweise gering ist, und der deutlich höher eingestellte Wert der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz.

Fazit: Der Energieumsatz der Beleuchtung wurde durch die Sanierung um 77 % reduziert. Die relative Energieeinsparung geht mit 64 % größtenteils auf effizientere Lampen- und Leuchtentechnik zurück. Die Nutzerakzeptanz konnte im Vergleich zur Bestandsanlage erhöht werden.

13.4 Sanierung der Beleuchtung einer Produktionshalle

Gebäudekategorie: Produktion; Nutzung: Montage	vor Sanierung	nach Sanierung
Raumgrundfläche	1.200 m ²	
davon mit Tageslicht versorgt	20 %	88 %
Einstufung Tageslichtniveau Fassade	gut	gut
Einstufung Tageslichtniveau Oberlicht	-	gering
charak. Tageslichtquotient Fassade	3 %	4,2 %
charak. Tageslichtquotient Oberlicht	-	2,1 %
Fensterfläche / Nettogrundfläche	12 %	33 %
Art der Verglasung Fassade	Zweifach-Wärmedämmgl.	
Art der Verglasung Oberlicht	-	PC-Platte
$\tau_{v,D65}$ / g-Wert / U-Wert Fassade	0,78 / 0,67 / 1,1 W/m ² K	
$\tau_{v,D65}$ / g-Wert / U-Wert Oberlicht	-	0,21 / 0,27 / 1,3 W/m ² K
spezifische Anschlussleistung	15,1 W/m ²	8,5 W/m ²
Kontrollsystem tageslichtabhängig	nein	ja
Kontrollsystem präsenzabhängig	nein	nein
Energiebedarf Beleuchtung	27 kWh/m ² a	6,1 kWh/m ² a
Energieeinsparung	77 %	
Amortisationszeit	9,5 a	

In einer Produktionshalle wurden Dachoberlichter neu eingebaut, so dass die gesamte Halle nach Sanierung mit Tageslicht versorgt werden kann. Gleichzeitig wurden die veralteten, mit 26 mm-Leuchtstofflampen ausgestatteten Leuchten durch neue dimmbare LED-Lichtbandleuchten ersetzt.

Tageslichtnutzung

Die 60 m tiefe Produktionshalle ist an ihrer Frontseite verglast, so dass der direkte Fassadenbereich gut mit Tageslicht versorgt wird. Der Großteil der Halle erhielt vor der Sanierung jedoch kein Tageslicht.



Bild 41: Produktionshalle mit neu installierten Dachoberlichtern und neuer LED-Beleuchtungsanlage [Quelle: daylighting.de].

Nicht nur zur Verbesserung der Energieeffizienz, sondern insbesondere, um die Qualität der Arbeitsplätze aufzuwerten, wurde die Halle im Rahmen der Dachsanierung mit Oberlichtbändern ausgestattet. Zum Schutz gegen Blendung wurde dabei ein Verglasungsmaterial mit einer speziellen Blendschutzfolie verwendet. Diese hat einen geringeren Lichttransmissionsgrad der Verglasung zur Folge und ist der eigentliche Grund, dass das Tageslichtniveau trotz ausreichend großer Öffnungen nur gering ausfällt. Die Blendschutzfolie ermöglicht es jedoch andererseits, ganzjährig auf bewegliche Maßnahmen zum Blendschutz zu verzichten und stellt somit eine aus Sicht des Gebäudebetriebs vorteilhafte Lösung dar. Eine Nutzerbefragung zeigt eine erhebliche Steigerung der Zufriedenheit mit der Tageslichtbeleuchtung und dem damit verbundenen Raumeindruck.



Bild 42: Mehrere Dachoberlichtbänder sorgen für eine Tageslichtversorgung der Produktionshalle (links). Innenansicht des Oberlichtes (mitte), Außenansicht (rechts) [Quelle: daylighting.de].

Künstliche Beleuchtung

Die Halle wurde vor der Sanierung von vier Lichtbändern mit insgesamt 120 direkt strahlenden Langfeldleuchten beleuchtet. Diese waren jeweils mit zwei 26 mm-Leuchtstofflampen und verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) bestückt. Im Zuge der Sanierung wurde die Altanlage durch 192 dimmbare LED-Leuchten ersetzt, die auf nun sechs Lichtbänder mit je 32 Leuchten aufgeteilt sind. Dadurch kann die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene verbessert werden.

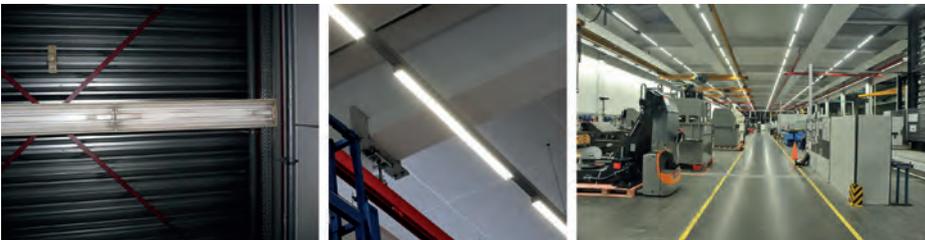


Bild 43: Die Bestandsleuchten mit jeweils 2x 58 W 26 mm-Leuchtstofflampen und VVG (links) wurden durch neue LED-Leuchten (mitte) ersetzt, das Bild rechts zeigt die Halle bei künstlicher Beleuchtung [Quelle: daylighting.de].

Kontrollsystem

Vor der Sanierung wurde die Beleuchtungsanlage in der Produktionshalle zu Beginn der Betriebszeit eingeschaltet

und abends bei Betriebsschluss wieder ausgeschaltet. Die Leuchten waren nicht dimmbar.

Nach der Sanierung ist die Beleuchtungsanlage mit einer tageslichtabhängigen Lichtsteuerung ausgestattet. Damit die Beleuchtungsanlage außerhalb der Arbeitszeiten nicht eingeschaltet bleibt, werden die Leuchten um 9:00 (Vesper), 12:00, 16:00, 18:00 und 20:00 Uhr sowie danach zu jeder vollen Stunde erst herab gedimmt und nach einer Minute ausgeschaltet. Die Beleuchtungsanlage muss dann bei Bedarf manuell wieder eingeschaltet werden, sonst bleibt sie ausgeschaltet. Mit diesem Ausschaltregime kann die Lichtsteuerung das präsenzabhängig vorhandene Einsparpotenzial teilweise erschließen, ohne dass die Präsenz im Einzelnen detektiert werden muss.

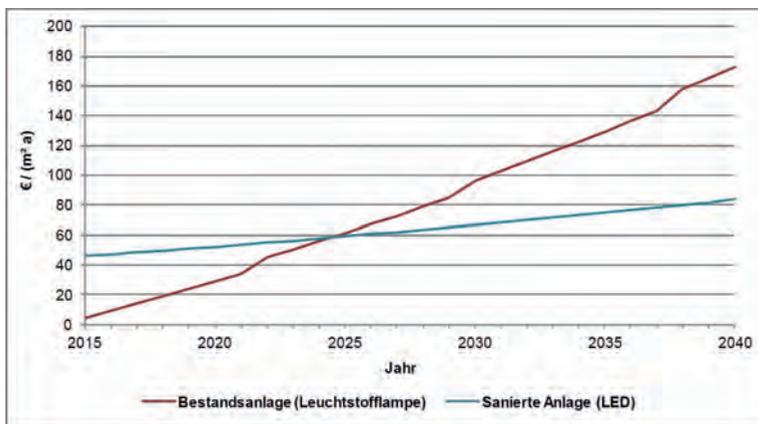


Bild 44: Akkumulierte spezifische jährliche Kosten für die Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen- und LED-Technik [Quelle: daylighting.de].

Fazit: Der Energieumsatz der Beleuchtung wurde durch die Sanierung um 77 % reduziert, hierdurch wurden die jährlichen Energiekosten der Beleuchtung in der Produktionshalle um 4.200 € gesenkt. Die Energieeinsparung geht mit 50 % zu einem großen Teil auf effizientere Leuchten zurück. Da die Halle aber fast vollständig mit Tageslicht versorgt wird, kann das Kontrollsystem die Effizienz um weitere 27 % steigern.

13.5 Sanierung der Beleuchtung in einem Klassenraum

Gebäudekategorie: Schule; Nutzung: Unterrichtsraum	vor Sanierung	nach Sanierung
Raumgrundfläche	61 m ²	
davon mit Tageslicht versorgt	100 %	
Einstufung Tageslichtniveau	gering	gering
charakteristischer Tageslichtquotient	1,9 %	1,2 %
Fensterfläche / Nettogrundfläche	29 %	21 %
Art der Verglasung	Zweifachverglasung	Dreifachwärmedämmglas
$\tau_{v,D65}$ / g-Wert / U-Wert	0,82 / 0,78 / 3 W/m ² K	0,58 / 0,42 / 0,5 W/m ² K
spezifische Anschlussleistung	8,8 W/m ²	5,2 W/m ²
Kontrollsystem tageslichtabhängig	ja	ja
Kontrollsystem präsenzabhängig	nein	ja
Energiebedarf Beleuchtung	5,8 kWh/m ² a	3,1 kWh/m ² a
Energieeinsparung	47 %	
Amortisationszeit	> 25 a	

Im Rahmen der Grundsanierung des Dietrich-Bonhoeffer-Berufskollegs wurde die Fassade auf das Wärmedämmniveau einer Passivhausschule gebracht. Obwohl die vorhandene Beleuchtungsanlage bereits tageslichtabhängig geregelt war, wurden im Rahmen der Sanierung besonders effiziente LED-Leuchten neu installiert. Ein wichtiges Ziel dabei war auch die Verbesserung der Beleuchtungsqualität.

Tageslichtnutzung

Der Klassenraum wird über die nach Südsüdost orientierte Fassade einseitig über fünf Seitenfenster mit Tageslicht versorgt. Hohe Reflexionsgrade von Wand und Decke unterstützen einen hellen Raumeindruck. Die Montage einer neuen Fassade vor der bestehenden Außenwand hatte eine erhebliche Vergrößerung der Laibungstiefe zur Folge, was zusammen mit der Reduzierung des Lichttransmissionsgrades des Fensterglases und einer reduzierten Glasfläche zu einer Minderung des Tageslichtniveaus führte. Die im Be-

stand vorhandene Außenmarkise wurde durch einen Lamellenraffstore ersetzt.



Bild 45: Schulklassenraum mit sanierter Fassade und neu installierter LED-Beleuchtungsanlage [Quelle: daylighting.de].



Bild 46: Klassenraum im Bestand (links) mit Bestandsfenster (mitte). Holzfenster der sanierten Fassade mit aufgrund der Wärmedämmung vergrößerter Laibungstiefe (rechts) [Quelle: daylighting.de].

Künstliche Beleuchtung

Vor der Sanierung bestand die künstliche Beleuchtungsanlage aus direkt strahlenden Deckenanbauleuchten mit 16 mm-Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG). Für eine solche Anlage ergibt sich aus wirtschaftlicher Sicht eigentlich noch kein dringender Handlungsbedarf. Da die Effizienz der LED-Technik in den letzten Jahren jedoch erheblich gesteigert wurde, kann auch durch die Sanierung einer relativ jungen Beleuchtungsanlage eine Reduzierung des Energieumsatzes erzielt werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Sanierung lag in der Verbesserung der Beleuchtungsqualität, weshalb direkt / indirekt strahlende abgependelte LED-Leuchten installiert wurden. Die damit mögliche Aufhellung der Raumdecke und Wände führt zu einer höheren Aufenthaltsqualität.

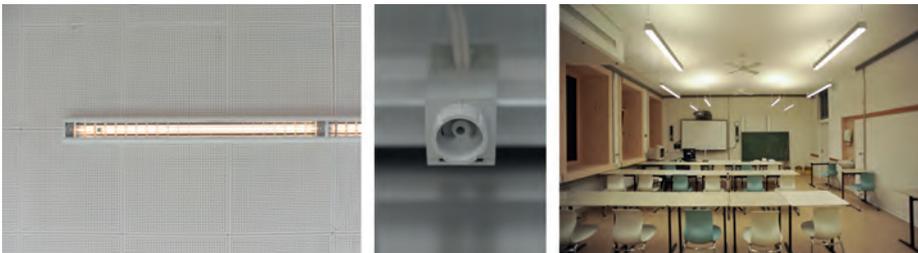


Bild 47: Direkt strahlende Deckenanbauleuchten mit Lichtsensor im Bestand (links und mitte) wurden durch neue direkt / indirekt strahlende LED-Leuchten (rechts) ersetzt. Diese sorgen für eine Aufhellung der Decke [Quelle: daylighting.de].

Kontrollsystem

Die Bestandsanlage war bereits mit einer tageslichtabhängigen Regelung ausgestattet, die damit schon eine vergleichsweise gute Nutzung des zur Verfügung stehenden Tageslichts ermöglichte. Dabei handelte es sich um ein in die Leuchten integriertes Regelsystem, das nicht in der Lage war, die Beleuchtungsanlage auszuschalten. Das Ausschalten geschah nur manuell durch die Nutzer.

Nach der Sanierung werden die LED-Leuchten tageslichtabhängig geregelt und bei ausreichendem Tageslicht ausge-

schaltet. Das Wiedereinschalten erfolgt ausschließlich manuell durch den Nutzer. Zusätzlich stellt eine automatische Präsenzüberwachung sicher, dass die Beleuchtung ausgeschaltet wird, wenn der Raum nicht genutzt wird.

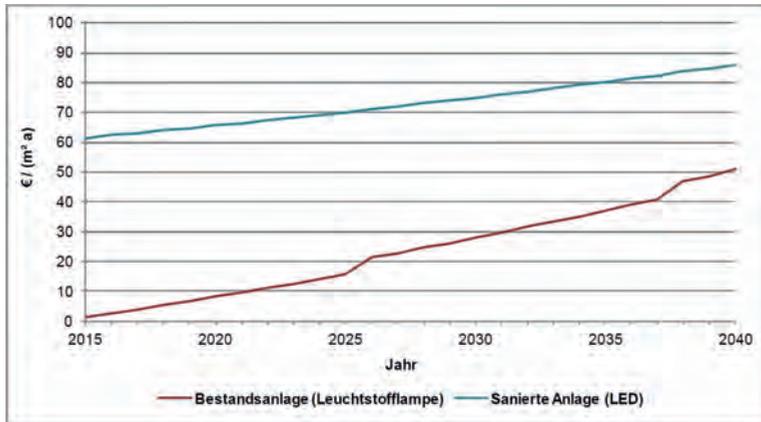


Bild 48: Akkumulierte spezifische jährliche Kosten für die Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen- und LED-Technik [Quelle: daylighting.de].

Fazit: Der Energieumsatz der Beleuchtung wurde durch die Sanierung um 47 % reduziert, hierdurch wurden die jährlichen Betriebskosten um 33 € pro Klassenraum gesenkt. Die Energieeinsparung geht größtenteils auf effizientere Leuchten zurück. Damit kann die Verringerung des Tageslichtniveaus aus energetischer Sicht kompensiert werden. Da die Bestandsanlage bereits tageslichtabhängig geregelt wurde, konnten im Bereich der Kontrollsysteme durch den Einsatz einer besseren Regelungsanlage und der Präsenzmelder nur geringe Potenziale gehoben werden.

13.6 Sanierung der Beleuchtung in einem Klassenraum

Gebäudekategorie: Schule; Nutzung: Unterrichtsraum	vor Sanierung	nach Sanierung
Raumgrundfläche	61 m ²	
davon mit Tageslicht versorgt	100 %	
Einstufung Tageslichtniveau	gut	
charakteristischer Tageslichtquotient	3,0 %	
Fensterfläche / Nettogrundfläche	36 %	
Art der Verglasung	Dreifachwärmedämmglas	
$\tau_{v,D65}$ / g-Wert / U-Wert Klarglas	0,68 / 0,5 / 0,8 W/m ² K	
$\tau_{v,D65}$ / g-Wert / U-Wert lichtstr. Glas	0,57 / 0,42 / 0,8 W/m ² K	
spezifische Anschlussleistung	12 W/m ²	5,4 W/m ²
Kontrollsystem tageslichtabhängig	nein	ja
Kontrollsystem präsenzabhängig	nein	ja
Energiebedarf Beleuchtung	7,1 kWh/m ² a	1,9 kWh/m ² a
Energieeinsparung	73 %	
Amortisationszeit	> 25 a	

In einem Schulklassenraum wurde die veraltete Beleuchtungsanlage durch eine Anlage mit besonders effizienten LED-Leuchten ersetzt. Im Zuge dieser Sanierung wurde ein Kontrollsystem zur automatischen Präsenzüberwachung und besseren Nutzung des Tageslichts installiert. Die Änderung zu einer direkt / indirekten Beleuchtungsart verbessert die visuelle Attraktivität des Raumes.

Tageslichtnutzung

Der Klassenraum wird über die vollflächig verglaste Südfassade vollständig mit Tageslicht versorgt. Nach dem Bewertungsmodell der DIN V 18599-4 wird der Raum als gut mit Tageslicht versorgt eingestuft. Die Fassade ist im unteren Bereich bis zu einer Höhe von 2,2 m klar verglast und bietet einen großzügigen Ausblick ins Freie. Ein Streifen in Deckennähe ist lichtstreuend verglast und sorgt so für eine gleichmäßigere Verteilung des einfallenden Tageslichts und damit für eine Aufhellung der Decke im Fensterbereich.



Bild 49: Schulklassenraum mit neu installierter LED-Beleuchtungsanlage [Quelle: daylighting.de].



Bild 50: Große Fensterflächen ermöglichen eine gute Tageslichtversorgung (links). Lichtstreuendes Milchglas im oberen Bereich sorgt für eine Aufhellung der Decke in Fensternähe (mitte). Ein außen liegender Lamellenraffstore dient als Sonnenschutz (rechts) [Quelle: daylighting.de].

Künstliche Beleuchtung

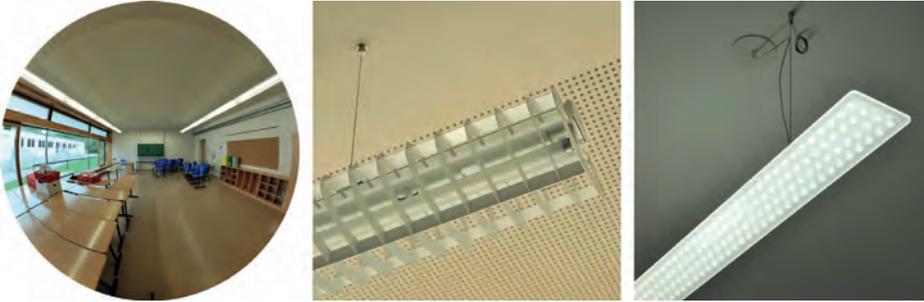


Bild 51: Klassenraum mit Bestandsanlage (links); abgependelte Bestandsleuchte mit 26 mm-Leuchtstofflampe (mitte); LED-Leuchte mit Indirektanteil zur Aufhellung der Decke (rechts) [Quelle: daylighting.de].

Vor der Sanierung bestand die künstliche Beleuchtungsanlage aus zwei parallel zur Fassade verlaufenden Reihen mit jeweils fünf Leuchten. Diese abgependelten Leuchten verfügten nur über einen geringen Indirektanteil, weshalb die Decke kaum aufgehellte wurde. Bestückt waren sie mit 26 mm-Leuchtstofflampen und verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG). Zusätzlich zur Raumbeleuchtung dienten zwei asymmetrisch strahlende Wandfluter als Deckeneinbauleuchten zur Beleuchtung der Tafel.

Mit der Sanierung der Beleuchtungsanlage wurde auch das Beleuchtungskonzept geändert. Nunmehr sind die Leuchten in drei einzeln anzusteuern Reihen im Raum angeordnet. Dies sorgt im Vergleich zu den zwei Reihen vor der Sanierung für eine höhere Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärkeverteilung auf der Nutzebene und trägt der veränderten Lichtverteilung der LED-Leuchten Rechnung. Zur Tafelbeleuchtung dienen zwei weitere Leuchten, die parallel zur Tafelwand angebracht sind.

Kontrollsystem

Die beiden Lichtbänder der Bestandsanlage konnten durch die Nutzer getrennt manuell ein- und ausgeschaltet werden. Dadurch konnte das Lichtband in der Raumtiefe separat eingeschaltet werden, um auf das hier geringere Ta-

gesichtsniveau zu reagieren. Die Tafelbeleuchtung ließ sich getrennt dazu schalten.

Nach der Sanierung werden die drei Reihen der LED-Leuchten getrennt tageslichtabhängig geregelt und bei ausreichendem Beleuchtungsstärkeniveau ausgeschaltet. Das Wiedereinschalten erfolgt ausschließlich manuell durch den Nutzer. Zusätzlich stellt eine automatische Präsenzüberwachung sicher, dass die Beleuchtung ausgeschaltet wird, wenn der Raum nicht genutzt wird. Diese schaltet auch die ansonsten ungeregelte Tafelbeleuchtung aus.

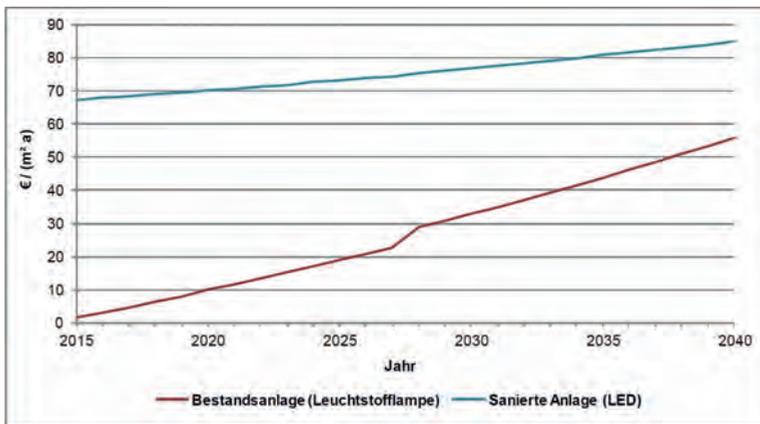


Bild 52: Akkumulierte spezifische jährliche Kosten für die Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen- und LED-Technik [Quelle: daylighting.de].

Fazit: Der Energieumsatz der Beleuchtung wurde durch die Sanierung um 73 % reduziert, hierdurch konnten die jährlichen Betriebskosten um 63 € pro Klassenraum gesenkt werden. Aufgrund der vergleichsweise geringen Effizienz der Bestandsanlage erzielt der Austausch durch LED-Leuchten mit einer Energieeinsparung von 56 % den größten Anteil an der Energieeinsparung. Der Einsatz der Kontrollsysteme erhöht die Einsparung um weitere 17 %.

14 Literatur / Referenzen

- [1] DOE Source solid state lighting R&D programm, May 2015
- [2] http://www.bafa.de/bafa/de/energie/energie_audit/index.html?fold=true
- [3] de Boer, J.; Aydinli, S.; Cornelius, W.; Knoop, M.; Wienold, J.; Volz, G.†: »Tageslicht kompakt« - Tageslichttechnik und Tageslichtplanung in Gebäuden. Schrift Nr. 33 der LiTG, Berlin 2016
- [4] DIN V 18599-4: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- [5] <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/...>
- [6] ZVEI-Leitfaden: Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. Begriffe, Definitionen und Messverfahren. 2. Ausgabe 11.2015. ZVEI Fachverband Licht, Frankfurt.
- [7] DIN EN 12464-1: Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen.
- [8] Fontoyont, M.; de Boer, J.; Röklander, J.; Guldhammer, K.: Global Economic Models. Technical Report T50.A1 of IEA-SHC Task 50 »Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings« (5/2016).
- [9] Fontoyont, M.; de Boer, J.; Röklander, J.; Guldhammer, K.; Gudmandsen, N.S.; Koga, Y.: Proposal of Actions Concerning the Value Chain. Technical Report T50.A3 of IEA-SHC Task 50 »Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings«. (5/2016).

Diese Informationsschrift enthält praktische Informationen über die energetische Sanierung von Beleuchtungssystemen. Aus ganzheitlicher Sicht werden Anlagen der künstlichen Beleuchtung, Fassaden und Kontrollsysteme behandelt. In sechs Fallstudien wird das durch die energetische Sanierung erschließbare Einsparpotenzial aufgezeigt.