



IBP-Bericht 190/2016

Katalog von Empfehlungen zur Steigerung der Energieeffizienz für Beleuchtungszwecke

Durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Förderkennzeichen 03KE0003

				2.3.2 Contracting und Leasing
				2.3.2 Vertragsgestaltung
				2.1.2 Qualifizierte Lichtplanung
				1.2.2 Vorgabe auf Basis von Aufwandszahlen
				1.2.1 Vorgabe auf Basis von Referenztechniken
				1.1.7. Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal
				1.1.6 Lichtmanagement Kunstlicht
	2.3.2. Contracting			1.1.5 Tageslichtorientierte Partitionierung Stromkreise
	2.3.1 Contracting			1.1.4 Fassade mit Lichtlenkung
	2.1.1 Beratungsgutscheine für die Bewertung/Inspektion			1.1.3 Hohe Transparenz der Fassade
	1.1.2 Außerbetriebnahme veralteter Leuchten		2.2 Qualifizierte Inbetriebnahme	2.1.1 Beratungsgutscheine für die Bewertung/Inspektion
				1.1.1 Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme
Projektphase	Potentialidentifikation	Planung (Finanzierung/Vertragsgestaltung)	Ausführung / Inbetriebnahme	Betrieb
	Bestandsertüchtigung	Neubau und Bestandsertüchtigung		

Jan de Boer
Carolyn Hubschneider



Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner

Univ.-Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht WB 190/2016

Katalog von Empfehlungen zur Steigerung der Energieeffizienz für Beleuchtungszwecke

Durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Förderkennzeichen 03KE0003

Der Bericht umfasst
57 Seiten Text
8 Tabellen
20 Abbildungen

Jan de Boer
Carolin Hubschneider

Stuttgart, 15. September 2016

Institutsleiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Philip Leistner

Abteilungsleiter

Dipl.-Ing.
Hans Erhorn

Bearbeiter

Dr.-Ing.
Jan de Boer

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Struktur des Katalogs und allgemeine Randbedingungen	4
3	Empfehlungen	4
3.1	Übersicht	4
3.2	Empfehlungen	6
1.1.1	Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme	6
1.1.2	Außerbetriebnahme veralteter Leuchten	11
1.1.3	Hohe Transparenz der Fassade	17
1.1.4	Fassade mit Lichtlenkung	22
1.1.5	Tageslichtorientierte Partitionierung Stromkreise	28
1.1.6	Lichtmanagement Kunstlicht	30
1.1.7	Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal	36
1.2.1	Vorgabe auf Basis von Referenztechniken	37
1.2.2	Vorgabe auf Basis von Aufwandszahlen	40
2.1.1	Beratungsgutscheine für die Bewertung / Inspektion	43
2.1.2	Qualifizierte Lichtplanung	46
2.2	Qualifizierte Inbetriebnahme	49
2.3.1	Vertragsgestaltung	52
2.3.2	Contracting und Leasing	54

1 Einleitung

Ein erheblicher Teil der Gesamtenergieaufwendungen in Gebäuden entfällt auf die Beleuchtung. Zur Senkung dieser Aufwendungen stehen hocheffiziente technische und gestalterische Lösungen zur Verfügung. Diese kommen jedoch aus unterschiedlichen Gründen nicht flächendeckend zum Einsatz. So herrschen beispielsweise im innovativen Umfeld des Technologiewandels hin zu LED-Lösungen häufig noch Informationsdefizite. Auch wirkungsvolle Maßnahmen im Bereich der Fassadentechnik und der Beleuchtungstechnik in Räumen sind oft unbekannt.

Mit der Zielsetzung, energieeffiziente Beleuchtung besser in der Planungspraxis und letztendlich in Neubau und Bestandertüchtigung zu verankern, wurden in diesem Katalog insgesamt 14 konkrete Empfehlungen zusammengestellt. Diese können praktisch sowohl als Einzelempfehlungen oder auch als Empfehlungspakete berücksichtigt werden. Die Erstellung dieses Kataloges wurde dabei von folgenden Gedanken geleitet:

- Neben der Unterstützung des Einsatzes effizienterer Techniken sollen zusätzliche Potentiale durch bessere Planung und auch Qualitätssicherung des Betriebs ausgeführter Lösungen erschlossen werden.
- Auch die Allokation oft eher weniger offensichtlicher Potentiale aus den Bereichen Tageslicht und Lichtmanagement wird beachtet – dies gegenüber den instantiös messbaren, zumeist zuallererst erschlossenen Potentialen aus dem Bereich der elektrischen Beleuchtung. Es werden daher neben dem Gewerk „Elektrotechnik“ auch die Gewerke „Fassade: Fassadenbau, Fensterbau, Sonnenschutz (Blendschutz)“ adressiert.

Als Zielgruppen dieses Kataloges können gesehen werden:

- öffentliche Liegenschaftsbetreiber, Bauverwaltungen aus Bund, Ländern und Kommunen,
- private Liegenschaftsbesitzer / -verwalter, Immobiliengesellschaften, die Empfehlungsvorschläge z. B. auch in Lichtmasterplänen integrieren können,
- Planende, die sich mit Fragen der energieeffizienten Beleuchtung, Fassadentechnik und Gebäudesystemtechnik auseinandersetzen.

Hierbei sind die Empfehlungen generell ohne nationale Spezifika dargestellt, so dass auch eine Anwendung des Katalogs auf internationaler Ebene möglich ist. Diese Zusammenstellung mag generell Ideen liefern, Beleuchtungssysteme bei hoher visueller Qualität für den Nutzer energieeffizient und nachhaltig auszuführen und zu betreiben. Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

2 Struktur des Katalogs und allgemeine Randbedingungen

Die Empfehlungen sind entsprechend folgender Strukturen geordnet:

- Art der Empfehlung: Differenziert wird nach Empfehlungen, die sich auf den Einsatz spezieller Technologien beziehen und nach begleitenden Empfehlungen zu Beratung, Planung, Qualitätssicherung und auch Vertragsgestaltung / Contracting. Empfehlungen zu Technologien werden differenziert nach Einzelempfehlungen und Empfehlungen auf systemischer Ebene: Einzelempfehlungen betreffen konkret Vorgaben an eine Technologie; systemische Empfehlungen Vorgaben an Systemkennwerte, die durch das systemische Gesamtverhalten einzelner Technologien erfüllt werden können.
- Zuordnung zu unterschiedlichen Anwendungsfällen: Es wird differenziert nach den Projektphasen „Potentialidentifikation“ für den Fall der Bestandsertüchtigung, „Planung (Finanzierung / Vertrag)“, „Ausführung / Inbetriebnahme“ und „Betrieb“ für die Fälle Neubau und Bestandsertüchtigung.

Die Darstellung der einzelnen Empfehlungen erfolgt jeweils nach dem gleichen Schema: „Kurzbeschreibung“, „Technischer Hintergrund“, „Vorschläge Anforderungen“, „Überprüfbarkeit / Nachweis“, „Beispiele“ (wo vorhanden), „Diskussion“, „Literatur / Referenzen“.

Die Bewertungen erfolgen auf Basis des zur Zeit der Erstellung geltenden Stands der Technik. Hierbei greifen die energetischen Bewertungen und Abschätzungen auf die DIN V 18599-4 zurück. Speziell im Bereich der LED-Technik ändern sich Effizienzen und Kosten nach wie vor erheblich, so dass hier das Erscheinungsdatum dieses Kataloges beachtet werden sollte. Unter Umständen sollten Werte daher aktualisiert werden.

Vorgeschlagenen Empfehlungen dienen als Anregungen und sind je nach möglichem Anwendungskontext weiter zu formalisieren.

3 Empfehlungen

3.1 Übersicht

Tabelle 1 enthält eine Übersicht sämtlicher dargestellter Empfehlungen jeweils mit einer Kurzbeschreibung und einer Kurzbewertung zur Einstufung bezüglich Effizienz, Wirtschaftlichkeit, Aufwand Nachweis und Überprüfbarkeit. Die Kurzbewertung soll lediglich einen Hinweis bzgl. der genannten Kriterien geben, sie gilt nicht pauschal und ist im jeweiligen Anwendungskontext der Empfehlung zu betrachten.

Ergänzend ist Tabelle 2 eine Zuordnung der Empfehlungen unterschiedlicher Projektphasen zu entnehmen.

Tabelle 1:
Übersicht der Empfehlungen inkl. Kurzbewertung.

Name / Einordnung	Gewerk*	Kurzbeschreibung	Bewertung**				
			Effizienz	Wirtschaftlichkeit	Aufwand Nachweis	Überprüfbarkeit	
1. Technologien (TE)							
1.1 Einzelempfehlung							
1.1.1	Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme	EL	Vorgaben an Mindestlichtausbeuten für Leuchten bei Inbetriebnahme (Neubau und Sanierung).	+	+	++	++
1.1.2	Außerbetriebnahme veralteter Leuchten	EL	Im Bestand sind oftmals veraltete Beleuchtungssysteme zu finden, deren Effizienz gegenüber dem aktuellen Stand der Technik erheblich geringer und deren Austausch auch wirtschaftlich sinnvoll ist.	+	+	0	++
1.1.3	Hohe Transparenz der Fassade	FA	Bei der Sanierung von Fassaden ist der Erhalt einer möglichst hohen Lichttransmission in die angrenzenden Räume anzustreben.	+	S	-	+
1.1.4	Fassade mit Lichtlenkung	FA	Vorgabe lichtlenkender Fassadentechnik zur Raumbtiefenausleuchtung.	+	S	+	+
1.1.5	Tageslichtorientierte Partitionierung Stromkreise	EL / FA	Anforderungen an eine Strukturierung von Stromkreisen, die eine energieeffiziente und tageslichtorientierte Beleuchtung unterstützt.	+	+	+	+
1.1.6	Lichtmanagement Kunstlicht	GLT	Vorgabe für den Einsatz von präsenz- und / oder tageslichtabhängigem Lichtmanagement.	+	+	+	+
1.1.7	Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal	EL / FA / GLT	Nutzung gesamtenergetischer Potentiale durch eine saisonale, bedarfsorientierte Verknüpfung von Kunstlicht-, Sonnen- und / oder Blendschutzkontrolle.	+	S	0	0
1.2 Systemische Empfehlung							
1.2.1	Vorgabe auf Basis von Referenztechniken	EL / FA / GLT	Vorgabe eines maximalen Energiebedarfs auf Basis einer Referenztechnik für Beleuchtungssysteme.	nA			
1.2.2	Vorgabe auf Basis von Aufwandszahlen	EL / FA / GLT	Vorgabe einer energetischen Systemqualität auf Basis von Aufwandszahlen für Beleuchtungssysteme.	nA			
2. Begleitende Empfehlung (BE)							
2.1 Beratung / Planung							
2.1.1	Beratungsgutscheine für die Bewertung / Inspektion	EL / FA / GLT	Beratungen (Inspektionen), um Effizienzsteigerungspotentiale zu identifizieren, die ggf. zu einem Austausch der Beleuchtungsanlage führen. Technische Fehlfunktionen erfassen und beheben.	+	+	0	0
2.1.2	Qualifizierte Lichtplanung	EL / FA / GLT	Erhöhung der energetischen Qualität von Beleuchtungsanlagen durch Förderung von Fachplanungen.	+	+	0	0
2.2 Qualitätssicherung							
2.2	Qualifizierte Inbetriebnahme	EL / FA / GLT	Dokumentation der Inbetriebnahme durch geschultes Personal und Bestätigung der Funktionstüchtigkeit durch eine Checkliste.	+	+	0	0
2.3 Finanzierung / Vertragsgestaltung							
2.3.1	Vertragsgestaltung	EL / FA / GLT	Vertragsgestaltung zwischen Vermieter und Mieter mit der Zielsetzung, energieeffiziente, nachhaltige Beleuchtung einzusetzen.	nA			
2.3.2	Contracting und Leasing	EL / GLT	Contracting- und Leasingmodelle mit der Zielsetzung, energieeffiziente, nachhaltige Beleuchtung einzusetzen.	nA			

*EL: Elektro -> Kunstlicht; FA: Fassade / Sonnen- / Blendschutz -> Tageslicht; GLT: Gebäudeleittechnik -> Lichtmanagement;

** „nA“: nicht anwendbar; „S“: Im Rahmen von „Sowieso-Empfehlungen“; Einstufung -- (ungünstig), -, 0, +, ++ (günstig)

Tabelle 2:
Zuordnung der Empfehlungen zu unterschiedlichen Projektphasen.

Empfehlung		2.3.2 Contracting und Leasing		
		2.3.2 Vertragsgestaltung		
		2.1.2 Qualifizierte Lichtplanung		
		1.2.2 Vorgabe auf Basis von Aufwandszahlen		
		1.2.1 Vorgabe auf Basis von Referenztechniken		
		1.1.7. Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal		
		1.1.6 Lichtmanagement Kunstlicht		
		2.3.2. Contracting	1.1.5 Tageslichtorientierte Partitionierung Stromkreise	
		2.3.1 Contracting	1.1.4 Fassade mit Lichtlenkung	
		2.1.1 Beratungsgutscheine für die Bewertung / Inspektion	1.1.3 Hohe Transparenz der Fassade	
	1.1.2 Außerbetriebnahme veralteter Leuchten	1.1.1 Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme	2.2 Qualifizierte Inbetriebnahme	2.1.1 Beratungsgutscheine für die Bewertung / Inspektion
Projektphase	Potentialidentifikation	Planung (Finanzierung / Vertragsgestaltung)	Ausführung / Inbetriebnahme	Betrieb
	Bestandsertüchtigung	Neubau und Bestandsertüchtigung		

3.2 Empfehlungen

Im Folgenden sind die 14 unterschiedlichen Empfehlungen jeweils in den vereinheitlichten Formblättern dargestellt.

1.1.1 Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme

Kurzbeschreibung

Vorgaben an Mindestlichtausbeuten für Leuchten bei Inbetriebnahme (Neubau und Sanierung).

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Mindestlichtausbeuten / -effizienzen des künstlichen Beleuchtungssystems werden bei konventionellen Beleuchtungssystemen über die Komponentenkennwerte

- a. Lampen: Lichtausbeute η_{Lampe}

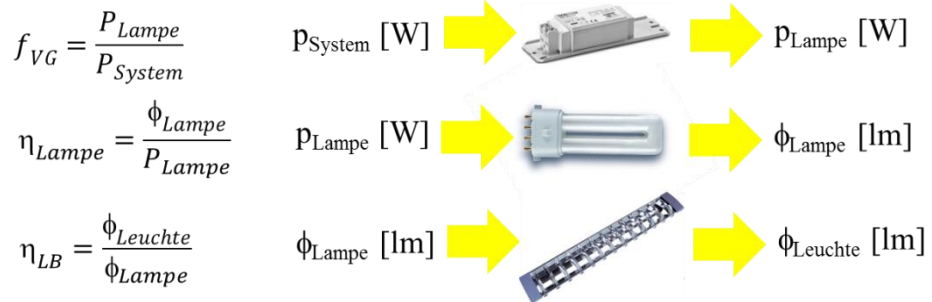
- b. Betriebsgerät: Effizienzfaktor f_{VG}
- c. Leuchtenbetriebswirkungsgrad: η_{LB}

einzel angegeben (vgl. Bild 1). Hieraus kann über den Zusammenhang

$\eta_{Leuchte} = \frac{\eta_{Lampe} \times \eta_{LB}}{f_{VG}}$ die Leuchtenlichtausbeute der Leuchte bestimmt und vorgegeben werden.

Bei integrierten LED-Leuchten ist eine Trennung der Lampe von der Leuchte (und deren - die Leistungskennwerte der LED's beeinflussenden - Thermomanagement) nur noch selten möglich, so dass hier im Allgemeinen die o. g. Trennung in Einzelkomponenten entfällt und herstellerseitig direkt die Leuchtenlichtausbeute $\eta_{Leuchte}$ angegeben wird.

Konventionelle Lichttechnik



LED Leuchten



Bild 1: Systematiken der Effizienzbewertung bisheriger Lichttechnik gegenüber LED-Leuchten [Quelle: FhG-IBP].

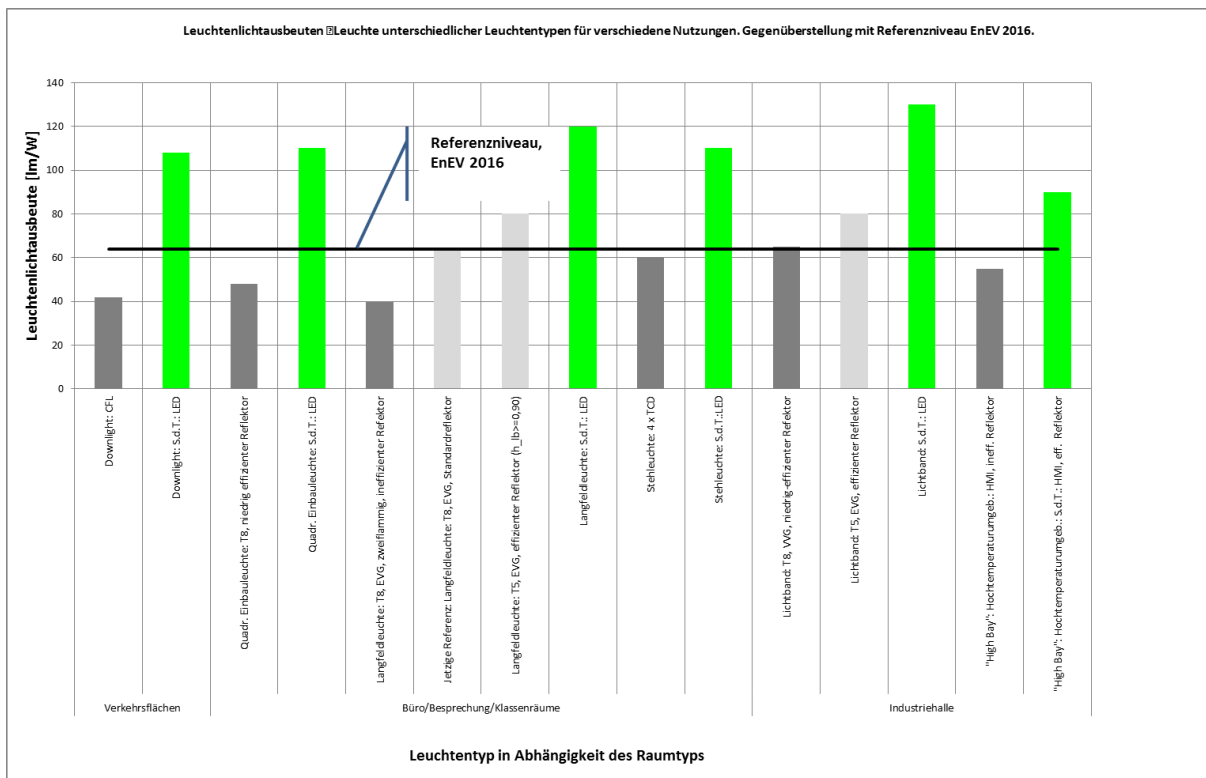


Bild 2:

Leuchtenlichtausbeuten η_{Leuchte} typischer elektrischer Beleuchtungslösungen (repräsentative niedrigereffiziente Leuchten: dunkelgrau. Standard-Technik-Leuchten: grün). Angabe momentanes Referenzniveau EnEV. Datenerfassung 11/2015 [Quelle: FhG-IBP].

Wie Bild 2 zu entnehmen ist, sind LED-Leuchten mittlerweile erheblich effizienter als Lösungen auf Basis von Leuchtstoff- oder auch Hochdruckentladungslampen. Bei LED-Systemen sind des Weiteren in Teilen neue Definitionen hinsichtlich des Lichtstromerhalts über die Lebensdauer (Lichtstromdegradation und Teilausfälle in LED-Modulen) und der Farbqualität (MacAdam-Ellipsen zur Beschreibung von LED-Binnings) zu beachten. Ein umfassender Leitfaden des ZVEI gibt hierzu Hinweise.

Vorschläge Anforderungen

Vor dem Hintergrund der technischen Entwicklung hin zu integrierten LED-Leuchten wird empfohlen, als Kenngröße statt wie bisher die Einzelkennwerte (η_{Leuchte} aus) η_{Lampe} , η_{Lampe} , f_{VG} zu nutzen, die Leuchtenlichtausbeute η_{Leuchte} heranzuziehen. Beim Einsatz von LED-Retrofitlampen kann η_{Leuchte} über die bisherige Systematik bestimmt werden.

In Tabelle 1 sind differenziert nach Nutzungsarten empfohlene Leuchtenlichtausbeuten zusammengestellt. Zur Einordnung sind Vergleichswerte von Altanlagen mit aufgeführt.

Tabelle 1:
Zusammenstellung Anforderungen an Gesamtlichtausbeute der Leuchte in Abhängigkeit üblicher Nutzungen mit Vergleichswerten älterer Technik.

Nutzungsart (vergleichbare Nutzungen)	Leuchtenlichtausbeute			Anmerkungen
	η_{Leuchte}			
	Anforderung Neuinstallation	Vergleichswert Altanlage		
		> 5 Jahre	> 15 Jahre	
[lm/W]	[lm/W]	[lm/W]		
Verkehrsflächen	> 110	35	30	Gute LED-Downlights. Vergleichstechnik Downlight mit Kompaktleuchtstofflampen.
Büros, Besprechung / Klassenräume	> 120	70	60	Gute Langfeldleuchtstofflampen erreichen Werte bis 80 lm/W. Eine Anforderung über 80 lm/W würde diese Lösungen damit nicht mehr zulassen und ausschließlich LED fordern.
Hallen	> 130	80	70	Aufgrund geringerer Anforderungen an Entblendung und Farbwiedergabe und in Teilen Farbtemperatur (kaltweiss effizienter als warmweiss) weisen LED-Systeme für die Hallenbeleuchtung im Allgemeinen höhere Lichtausbeuten auf. Bei Einsatz von LEDs in Industriehallen muss jedoch besonders auf Anforderungen bzgl. der Umgebungstemperatur geachtet werden (teilweise hohe Temperaturen unter Hallendächern). In diesen Fällen, ab ca. 45 °C, sind Hochdruckentladungslampen einzusetzen (Stand der Technik ca. 90 lm/W).

Die Hauptanforderung kann beispielsweise durch folgende „Nebenanforderungen“ hinsichtlich der Qualität des Beleuchtungssystems begleitet werden:

Der Lichtstromerhalt der eingesetzten Leuchten muss mindestens folgende Werte erreichen: Für LED-Leuchten $\geq 80\%$ (L80) bei 50.000 Betriebsstunden, für alle anderen Beleuchtungstypen $\geq 90\%$ bei 16.000 Betriebsstunden.

Die Farbwiedergabe (Ra) der Beleuchtungssysteme muss mindestens 80 betragen. Für Tätigkeiten mit erhöhten Anforderungen an die Farbwiedergabe sollen die Vorgaben gemäß DIN EN 12464-1:2011-08 angewendet werden. 3-Stufen-MacAdam-Ellipsen sollten nicht überschritten werden.

Überprüfbarkeit / Nachweis

Bei LED-Leuchten lässt sich die Gesamtlichtausbeute direkt aus den Herstellerangaben ermitteln, vgl. Bild 3. Bei Lösungen ohne feste Integration der Leuchtmittel mit den Leuchten wird diese über den Zusammenhang bestimmt: $\eta_{\text{Leuchte}} = \eta_{\text{Lampe}} * \eta_{\text{Lampe}} / f_{\text{VG}}$. Die einzelnen Kennwerte sind den Herstellerangaben zu Lampe und Leuchte zu entnehmen. Sind keine Werte für f_{VG} vorhanden, können folgende Werte nach DIN V 18599-4 Kap. 5.4.5 verwendet werden (Auswahl weiterer Angaben in der Norm): Leuchtstofflampen (stabförmig oder kompakt) mit EVG: dort $k_{\text{BG}} = 1/f_{\text{VG}} = 1,1$; mit KVG 1,3. Die Einhaltung der Anforderungen wäre mit entsprechenden Unterlagen zu dokumentieren.

PRODUKTDATEN		AUSSCHREIBUNG	LICHTTECHNIK	ZUBEHÖR (31)
Produktdetails [REDACTED]				
EAN	4018242308637	Schutzart	IP54	
Anschlussleistung	64 W	Farbe	weiß	
Lichtausbeute	119 lm/W	Bruttogewicht	5,2	
Lampen/Leuchtenlichtstrom	7600 lm	Glührahtfestigkeit	650 °C	
Farbtemperatur	4000 K	Prüfzeichen	CE	
Lichtfarbe	neutralweiß	Bruttolistenpreis	[REDACTED]	



Bild 3:
Nachweis der Gesamlichtausbeute Leuchte η_{Leuchte} durch exemplarischen Katalogauszug einer Leuchte [Quelle: Internetseite Trilux].

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
BMVBS-Erlass „Energetische Vorbildfunktion der Bundesbauten – Vorgaben zur Umsetzung einer modernen und energieeffizienten Beleuchtung“ von 2013 [2]	Für Büros und vergleichbare Nutzungen: Arbeitsplatzbeleuchtung muss eine Systemeffizienz der gesamten Leuchte von mindestens 75 lm/W haben. Die Anforderung 75 lm/W basiert auf dem Stand der Technik im Jahr 2013. Dem heutigen Stand der Technik folgend wäre die Anforderung zu verschärfen.
KfW-Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren - Nichtwohngebäude“ von 2015 [3]	Die Hauptanforderung gibt eine Systemlichtausbeute (Bemessungslichtausbeute) des eingebauten Beleuchtungssystems von mind. 100 lm/W vor. Dies wird ergänzt durch Anforderungen an den Lichtstromerhalt über die Lebensdauer, die Farbwiedergabe und Anforderungen an das Lichtmanagement. Es wird empfohlen, 3-Stufen-MacAdam-Ellipsen nicht zu überschreiten. Förderfähig ist der komplette Leuchtentausch einschließlich sonstiger erforderlicher Nebenarbeiten und Komponenten. Lampen, die für den späteren Einbau oder für den Einbau in bestehende Bestandsleuchten vorgesehen sind, sind nicht förderfähig.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit	Effizienzsteigerungen + 30 % bis + 300 %.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Mittlerweile häufig positive TCO für LED-Systeme durch geringere Energieverbräuche und reduzierten Wartungsaufwand. Häufig jedoch noch Zurückhaltung am Markt aufgrund höherer Anfangsinvestitionen und Erwartung, kurz- / mittelfristig steigender Effizienzen und sinkender Preise.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Keine.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Gering.
Überprüfbarkeit		Einfach.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		Anforderungen an Wirkungsgrade bei Heizkesseln.
Mögliche Kopplung mit anderen Maßnahmen		1.1.2 Außerbetriebnahme veralteter Leuchten
Sonstiges	Einfluss Leuchtdesign (Designfrage)	Einige gestalterisch gewünschte Leuchtausführungen z. B. in Repräsentationsbereichen können die Leuchtenbetriebswirkungsgrade senken. Diese gestalterische Freiheit sollte unter Umständen bei der Formulierung von Anforderungen berücksichtigt werden.
	Nebenanforderungen	Effizienz sollte mit einer Mindestqualität verknüpft werden (siehe KfW-Förderprogramm unter „Beispiele“).

Literatur / Referenzen

- [1] ZVEI-Leitfaden: Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. Begriffe, Definitionen und Messverfahren. 2. Ausgabe 11/2015. ZVEI Fachverband Licht, Frankfurt.
- [2] Erlass des BMVBS (B 12 – 8135.4/0) vom 25. Juli 2013: „Energetische Vorbildfunktion der Bundesbauten – Vorgaben zur Umsetzung einer modernen und energieeffizienten Beleuchtung“.
- [3] KfW-Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren – Nichtwohngebäude“:
<https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/>.

1.1.2 Außerbetriebnahme veralteter Leuchten

Kurzbeschreibung

Im Bestand sind oftmals veraltete Beleuchtungssysteme zu finden, deren Effizienz gegenüber dem aktuellen Stand der Technik erheblich geringer und deren Austausch auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Erforderliche installierte Leistungen und damit die Energiebedarfe für Allgemeinbeleuchtungssysteme sind in den letzten 20 Jahren aufgrund diverser technischer Neuerungen (verbesserte Lampen- und Betriebsgerätechnik, effizientere Optiken) um teilweise mehr als den Faktor drei gesunken. Tabelle 1 ist eine Gegenüberstellung veralteter mit neuen Lösungen zu entnehmen. Generell können einzelne Komponenten des bestehenden Beleuchtungssystems (Lampentechnik, Betriebsgerät) ausgetauscht werden oder es kann direkt ein Komplettaustausch der Leuchten durchgeführt werden.

Ob der Austausch einzelner Komponenten des Beleuchtungssystems zielführend ist, hängt stark von der jeweilig zu ertüchtigenden Beleuchtungsanlage ab. Beim Wechsel der Lampentechnik wie dem Wechsel von T8- auf stabförmige LED-Lampen, sind unterschiedliche elektrotechnische, sicherheits-, lichttechnische Aspekte und auch Gewährleistungsansprüche zu beachten. Ein Leitfaden des ZVEI [1] gibt hier eine Übersicht zu beachtender Fragestellungen. Der Austausch von Betriebsgeräten – vor allem Wechsel von magnetischen auf elektronische Vorschaltgeräte – ist ebenfalls bezogen auf das jeweilige Beleuchtungssystem zu bewerten. Durchschnittlichen Energieeinsparungen von 20 – 30 % steht hierbei neben den Kosten für neue Betriebsgeräte ein oftmals nicht unerheblicher Installationsaufwand (Demontage der Leuchten, Austausch des Vorschaltgeräts, Montage der Leuchte) gegenüber.



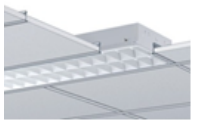




Oftmals ist heute ein Austausch der gesamten Leuchte am sinnvollsten. Bei einem 1:1-Austausch, d. h. Beibehaltung bisheriger Lichtpunkte bei gleichem Beleuchtungskonzept, bleibt der Installationsaufwand beschränkt. Gegenüber LED-Retrofit- / Konversionslampen sind die Effizienzen reiner LED-Leuchten höher, Fragen hinsichtlich Sicherheit und Gewährleistung sind durch die Haftung / Gewährleistungen des Leuchtenherstellers gedeckt. Angeboten werden spezielle Lösungen für die Sanierung (vgl. Bild1). So kann beispielsweise im Bereich von Einbauleuchten auf Ersatzprodukte gleicher Bauform zurückgegriffen werden, wie LED-Einbauleuchten für Standarddeckenraster. Darüber hinaus bieten Hersteller Passstücke für den Ersatz von Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen (im Allgemeinen größerer Durchmesser) durch LED-Downlights mit kleinerem Durchmesser an. Es kann somit ohne aufwendige Umbauten nachgerüstet werden. Bei Lichtbandleuchten besteht die Möglichkeit, nur den Leuchtenkopf (Light Engine) auszutauschen. Tragekonstruktion und Deckenspiegel bleiben dabei erhalten, wodurch ein Montagemehraufwand entfällt.

Vorschläge Anforderungen

Anforderungen können z. B. auf Grundlage einer Bildtabelle, vgl. Tabelle 1, formuliert werden. Diese kann direkt vor Ort, z. B. im Rahmen einer Begehung genutzt werden. Bei der Formulierung von Anforderungen zur Außerbetriebnahme sollte grundsätzlich die zu erwartende Betriebszeit des zu ertüchtigenden Gebäude- / Raumbereichs betrachtet werden.

Bei nur geringen Nutzungszeiten, wie z. B. in Server- oder Lagerräumen, sind auch die Einsparmöglichkeiten nur gering, so dass hier eine Außerbetriebnahmeanforderung kaum Wirkung zeigen würde. Standardbetriebszeiten können der DIN V 18599-10 [2] entnommen werden. Bei direkten Begehungen vor Ort bietet es sich an, ergänzend die Erfahrung z. B. eines Facilitymanagers in eine Entscheidung mit einzubeziehen. Mit seiner Hilfe können auch die effektiven Betriebszeiten abgeschätzt werden, um gemäß Bild 2 zu einer schnellen Abschätzung zu kommen, ob eine Außerbetriebnahme im Zusammenspiel mit den ermittelten Einschaltzeiten Wirkung zeigt. Sinnvoll ist es, die Außerbetriebnahme direkt an eine Inbetriebnahmeanforderung (vgl. Empfehlung 1.1.1 Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme) zu koppeln, um das Niveau der Ersatztechnik zu fixieren.

Tabelle 1:
Zusammenstellung exemplarischer Produktklassen für eine mögliche Außerbetriebnahmeanforderung mit Gegenüberstellung der Leuchtenlichtausbeuten alter und neuer Beleuchtungstechnik.

Außer Betrieb zu nehmende Produktklasse			Leuchtenlichtausbeute			Anmerkung bzgl. Austausch
			Alt-anlage lm/W	Vergleich Neuanlage lm/W	Effizienz- steigerung	
Einbauleuchten	Halogen-Downlights in verschiedenen Ausführungen		10 - 15	110 (LED)	ca. 3	Bei LED-Einbauleuchten werden Passblenden mitangeboten, welche die neue Technologie kompatibel zum bestehenden Deckenspiegel machen.
	Downlights auf Basis von CFL		30 - 40	110 (LED)	ca. 3	
	Leuchten mit einfachen weißen Blendschutzrastern mit (T12-) T8-, KVG-Lampentechnik		40 - 60	120	ca. 2 - 3	
Anbauleuchten	Prismenwannenleuchten mit (T12-) T8-, KVG-Lampentechnik		Ca. 40	120	ca. 2 - 3	
	opale Wannenanbauleuchten mit T12-Leuchtmittel und VVG		ca. 50	120	ca. 2 - 3	
Lichtbandleuchten (Hallen)	Lichtbandleuchten mit T12-Leuchtmittel und KVG		40 - 60	130	ca. 2 - 3	Viele Hersteller bieten für bestehende Lichtbandsysteme Umrüstsätze auf LEDs an. Das im Allgemeinen aufwendig zu installierende Trägersystem kann somit weiter genutzt werden.
High Bay	Hallenleuchte, z. B. Quecksilberdampf Lampe		50 - 60	90 - 100 (HMI), 130 (LED)	1,5 - 2,5	In Bereichen mit hohen Umgebungstemperaturen (> 45 °C) können LED im Allgemeinen nicht eingesetzt werden. Hier sollte auf Leuchten mit Halogen-Metaldampflampen (HMI) zurückgegriffen werden.

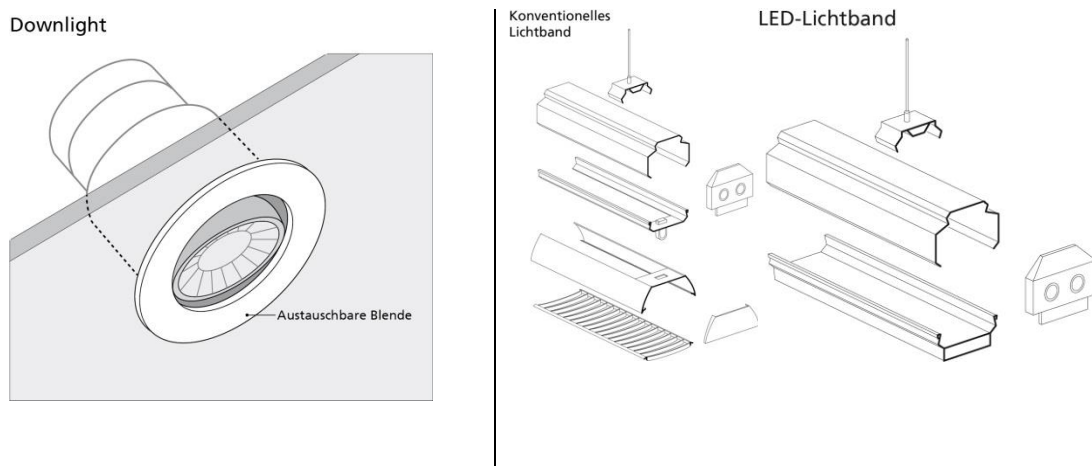


Bild 1:
 Lösungen zu Unterstützung des Leuchtaustauschs: Passringe für Downlightaustausch (links) [Quelle: FhG-IBP], austauschbare „Light Engines“ für bereits existierende Lichtbandsysteme (rechts) [Quelle: FhG auf Basis Vorlage Trilux].

Kapitalwert der Aufwendungen für Energie in Abhängigkeit der installierten Leistung und der effektiven Betriebszeit des Beleuchtungssystems ; Strompreis 0,15 €/kWh, Zinssatz 1%, Energiepreiserhöhung 0,1%, Betrachtungszeit 20 a

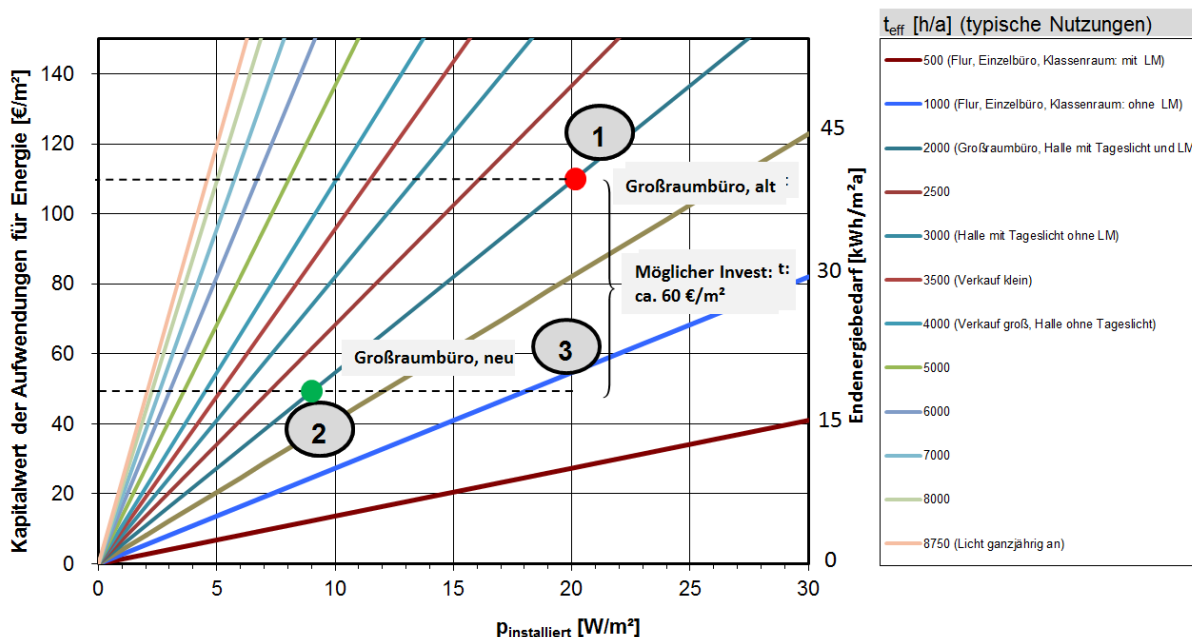


Bild 2:
 Kapitalwert der Aufwendungen für Energie als Funktion der installierten Leistung und der effektiven Betriebszeit des Beleuchtungssystems. Beispielhaft sind drei Schritte dargestellt, genähert einen möglichen Investitionsrahmen abzuschätzen [Quelle: FhG-IBP].

Überprüfbarkeit / Nachweis

Veraltete Leuchten können bei einer Begehung der Bestandsgebäude beispielsweise mit Unterstützung einer Bildtabelle, vgl. Tabelle 1, identifiziert werden. Leuchtmittel können anhand ihrer Beschriftung bei offenen Leuchten (z. B. Rasterleuchten, offene Downlights) durch direktes Ablesen, ansonsten

nach Demontage oder Öffnen der Leuchte durch eine elektrische Fachkraft eingeordnet werden. Die Art des Vorschaltgerätes kann beim Einschalten identifiziert werden. Ist ein KVG oder VVG verbaut, kommt es beim Einschalten zu einer Verzögerung und zu einem Flackern; ist bereits ein EVG verbaut, kommt es weder zu Flackern noch zu einer Verzögerung. Begehungen können z. B. an BGV [2] Prüfungen A3 „elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ gekoppelt werden.

Die Außerbetriebnahme kann durch eine Fotodokumentation vorher vs. nachher nachgewiesen werden. Nachweise über die neu installierte Technik (Einhaltung ggf. gekoppelter Inbetriebnahmeanforderungen) können entsprechend Empfehlung 1.1.1 Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme durchgeführt werden (Dokumentation mit entsprechenden Produktunterlagen).

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik in anderen Gewerken wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
Energieeinsparverordnung (EnEV): Regelung zu veralteten Heizungsanlagen [4]	Heizungen, die vor 1985 eingebaut wurden, müssen ersetzt werden. Ausnahmen gelten, wenn der Eigentümer bereits vor 2002 im Haus wohnte.

Diskussion

Kriterium	Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit Wirtschaftlichkeit / Kosten
	Effizienzsteigerung bis ca. 300 %. Die Wirtschaftlichkeit hängt auch von der Betriebszeit ab.
Abhängigkeit von anderen Gewerken	Keine.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises	Mittel.
Überprüfbarkeit	Einfach.
Vergleichbares aus anderen Gewerken	Heizungsanlagen.
Tendenz / Trend	Sinkende LED-Preise bei weiterhin steigender Effizienz erwartet. Der Austausch wird lohnenswerter.
Kopplung mit anderen Empfehlungen	1.1.1 Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme. 2.1.1 Beratungsgutscheine für die Bewertung / Inspektion.

Literatur / Referenzen

- [1] ZVEI-Leitfaden: Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. Begriffe Definition-

- nen und Messverfahren. 2. Ausgabe 11.2015. ZVEI Fachverband Licht, Frankfurt.
- [2] DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.
- [3] BGV A3, elektrische Anlagen und Betriebsmittel. Vgl. auch TRBS 2131.
- [4] http://www.zuhause.de/alte-heizungen-muessen-bis-2015-erneuert-werden/id_66020698/index.

1.1.3 Hohe Transparenz der Fassade

Kurzbeschreibung

Bei der Sanierung von Fassaden ist der Erhalt einer möglichst hohen Lichttransmission in die angrenzenden Räume bei gleichzeitig gutem Sonnen- und Wärmeschutz anzustreben.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Drei im Wesentlichen durch den verbesserten Wärmeschutz bedingte Effekte der Fassadensanierung bewirken in der Regel eine Verringerung der Lichttransmission in die angrenzenden Räume gegenüber der Situation vor Sanierung:

- Verringerter Lichttransmissionsgrad der Verglasungssysteme,
- größerer Rahmenanteil und
- größere Leibungstiefe durch die Fassadendämmung.

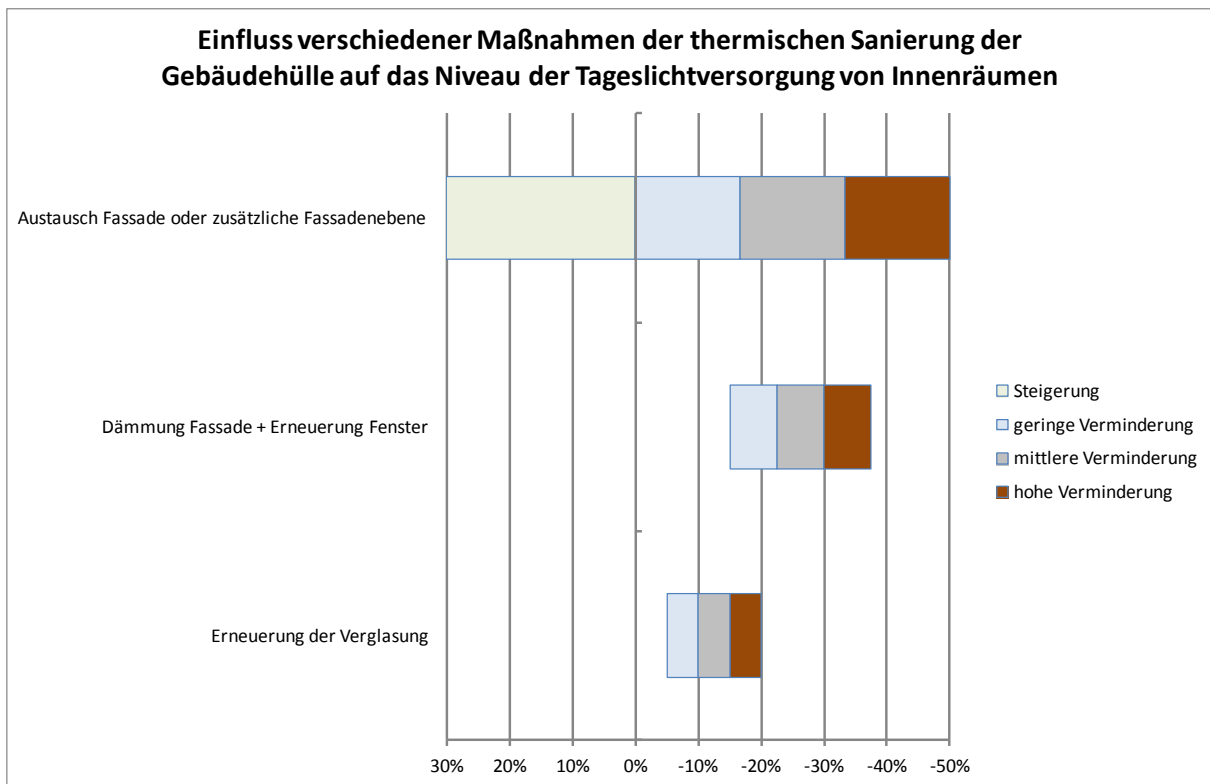


Bild 1:
Abnahme der Lichttransmission in der Sanierung von Fassaden [Quelle: Roman Jakobiak, daylighting.de] [1].

Dies kann in der Kombination aller Effekte ohne Weiteres zu einer Verminderung des Tageslichtquotienten von 30 % führen, was im Mittel einem um etwa 15 % erhöhten Energiebedarf für Beleuchtung entspricht (nach Bewertungsmodell DIN V 18599-4). Bild 1 gibt eine durch die Auswertung einer Reihe von Sanierungen ermittelte Übersicht über diesen Effekt. 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 Fensterflächenanteil zu realisieren. Es gibt allerdings auch einige eher seltene Fälle, bei denen aufgrund eines besonders hohen Glasflächenanteils im Bestand eine moderate Reduzierung der Lichttransmission der Fassade durchaus willkommen ist.

Verglasungssysteme

Wärmetechnisch wirksame Beschichtungen und zusätzliche Glasebenen (Dreifachverglasungen) bewirken verringerte Lichttransmissionsgrade (vgl. Isolierverglasung früher mit τ_{D65} ca. 80 % vs. Dreifachverglasung heute mit $\tau_{D65} = 65$ %). 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: $U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 0,60$; $\tau_{D65} = 0,74$ (Zweifachwärmeschutzverglasung $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 0,63$; $\tau_{D65} = 0,79$).
- 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: $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 0,34$; $\tau_{D65} = 0,63$. Es sollte daher auf hohe Selektivität S (Verhältnis zwischen τ_{D65} und g) geachtet werden (state of the art bei ca. $S = 2$).

Es ist generell 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 Ziel des Denkmalschutzes, eingestuft werden. Übliche Rahmenanteile variieren zwischen 20 % und 40 %, wie in Bild 2 dargestellt.

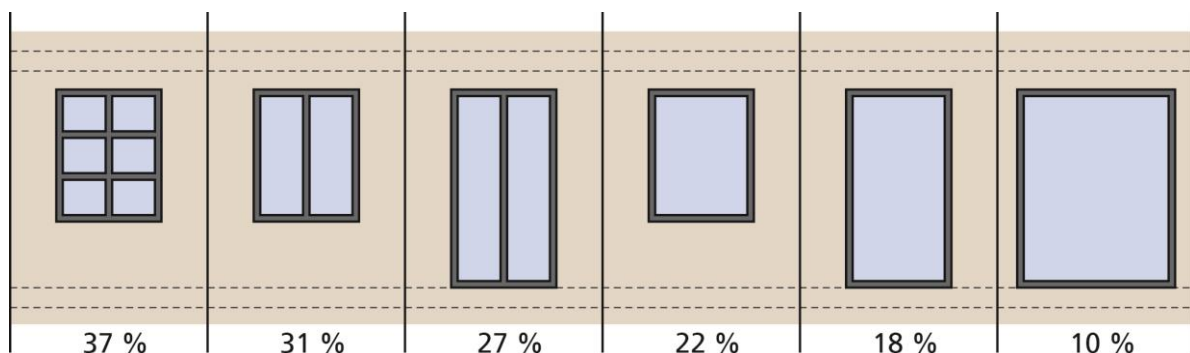


Bild 2:

Gegenüberstellung unterschiedlicher Rahmen mit Angabe des jeweiligen Rahmenanteils an der lichten Öffnung [Quelle FhG-IBP in Anlehnung an: http://www.energie.ch/themen/bautechnik/minhaus/index2_1.htm].

Dämmung der Laibung

Nachträglich im Rahmen der Sanierung aufgebrachte Dämmungen mit Dämmstärken (WDVS) von 14 bis 18 cm (Gesamtwandstärken von 50 bis 60 cm sind heute keine Seltenheit). Durch die tieferen Laibungen kann sich der natürliche Lichteinfall signifikant verschlechtern. Sich nach außen öffnen-

de Fensterlaibungen 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, sollte diese möglichst weit nach außen gesetzt werden.

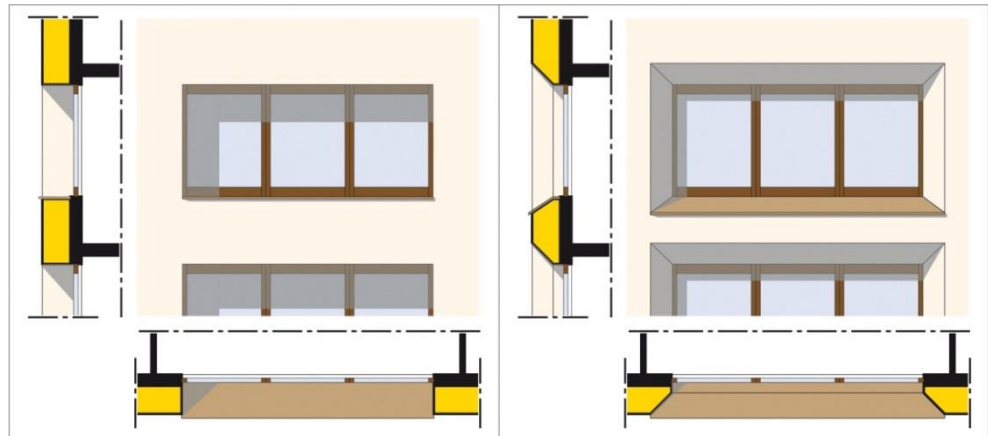


Bild 3:
Sich nach außen öffnende Fensterlaibungen vermindern die Verringerung der Tageslichtversorgung durch aufgebrauchte Dämmsysteme [Quelle: FhG-IBP].

Vorschläge Anforderungen

Da mehrere Einflüsse ineinandergreifen, kann beispielsweise eine gesamtheitliche Anforderung formuliert werden: „Gegenüber der Situation vor der Sanierung soll sich die Tageslichtversorgung gemessen am Tageslichtquotienten um nicht mehr als 10 % verschlechtern“.

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Dokumentation der Glaskennwerte, Rahmenaufbauten (Herstellangaben, Pläne, Rechnungen) und Aufbau der Laibung.
- Fotodokumentation nach Fertigstellung.

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
klima:aktiv Bauen und Sanieren Kriterienkatalog [2]	Es wird empfohlen bei der Sanierung auf einen hohen Lichttransmissionsgrad der Verglasung zu achten. Rein qualitative Angabe.
Tageslicht in Wohngebäuden nach thermischen Sanierungen [3]	Lichtverhältnisse Tageslicht in Wohngebäuden nach thermischer Sanierung: In Dänemark wird für Wohnungen ein Mindestlichttransmissionsgrad von 75 % vorgesehen. Wird dieser unterschritten, muss die Verglasungsfläche proportional erhöht werden.
Minergie Standard Schweiz [4]	Rahmenanteil.

Diskussion

Kriterium	Diskussion	
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit	Erheblich: 20 – 30 % bei hauptsächlich tageslichtversorgten (d. h. fassadennahen) Gebäudebereichen.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Stark objektbezogen. Moderate Mehrkosten für Gläser mit höherem Lichttransmissionsgrad bei sonst gleichen thermisch energetischen Kennwerten. Geringer Rahmenanteil im Allgemeinen sogar günstiger. Sich öffnende Laibungen erfordern einen gewissen Extraaufwand für den Stuckateur. Erfordert zusätzlichen Planungsaufwand.
Abhängigkeit von anderen Gewerken	Abstimmung mit den anderen Anforderungen der Fassadenertüchtigung, ggf. Abstimmung mit Denkmalschutz erforderlich / sinnvoll.	
Komplexität (Aufwand) des Nachweises	Mittel, mehrere involvierte Gewerke.	
Überprüfbarkeit	Mittel	
Vergleichbares aus anderen Gewerken	Mindestanforderungen bei U-Wert für Wand / Dach.	
Kopplung mit anderen Empfehlungen	1.1.4 Fassade mit Lichtlenkung. 1.1.6 Lichtmanagement Kunstlicht. 1.1.7 Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal.	
Sonstiges	Fassadengestaltung	Empfehlung hat Einfluss auf die äußere architektonische Erscheinung der Fassade.

Literatur / Referenzen

- [1] SHC Task 47: Renovation of Non-Residential Buildings Towards Sustainable Standards, Subtask C: Assessment of Technical Solution and Operational Management in Case Studies. IEA SHC Report: T.47.C.

- [2] klima:aktiv Bauen und Sanieren. Kriterienkatalog Bürogebäude Sanierung Nachweis OIB, S. 23:
http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/bauen_sanieren/gebaeuedeklaration/archiv/2011_02_10_San_20Buerogeb_20Vers_201_201.pdf.
- [3] Tageslicht in Wohngebäuden nach thermischen Sanierungen, S65:
<http://www.wohnbauforschung.at/index.php?inc=download&id=5525>.
- [4] Minergie Standard Schweiz:
http://www.energie.ch/themen/bautechnik/minhaus/index2_1.htm

1.1.4 Fassade mit Lichtlenkung

Kurzbeschreibung

Vorgabe lichtlenkender Fassadentechnik zur Raumtiefenausleuchtung.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

An Ost- über Süd- bis Westfassaden bietet sich der Einsatz lichtlenkender Sonnen- / Blendschutzlösungen an, vgl. Tabelle 1. 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. Die Tageslichtautonomie (Anteil Tageslicht an der erforderlichen Belichtung eines Raumes / Arbeitsbereichs) in Räumen mit guter Tageslichtversorgung liegt in unseren Breiten bei bis zu 80 %. Räume mit lichttechnisch ungünstigen Fassaden weisen lediglich Werte um die 50 % auf. Beleuchtungsenergieeinsparpotentiale an einer Südfassade liegen im Bereich von etwa 20 %. Die verbesserte Versorgung mit Tageslicht bietet auch für die Nutzer Vorteile. Die sehr gute Farbwiedergabe von Tageslicht ist zu nennen. Der circadiane Rhythmus des Menschen wird unterstützt.

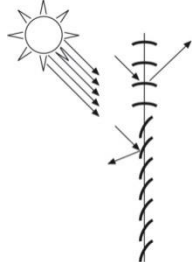
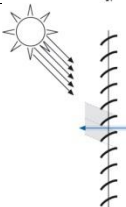
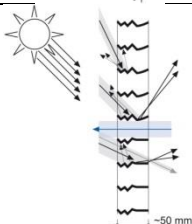
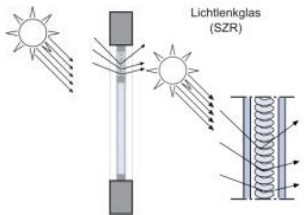
Einfache Ausführungen lichtlenkender Systeme sind konventionelle Raffstoren, die im sogenannten Cut-Off-Modus betrieben werden. Des Weiteren werden häufig zweigeteilte Behänge (oben Lichtlenkung, unten Blendschutz) eingesetzt oder aber Behänge mit spezieller Profilform, die eine saisonal differenzierte 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 Standardraffstore. Je nach baulich / planerischer Situation kann die lichtlenkende Funktion über außenliegende, im Scheibenzwischenraum oder innenliegende Lösungen bereitgestellt werden [1].

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 [2].

Idealerweise werden diese Lösungen mit entsprechendem Lichtmanagement kombiniert (vgl. Empfehlung 1.1.5 Tageslichtorientierte Partitionierung Stromkreise)).

Tabelle 1:
Zusammenstellung beispielhafter Ausführungen von lichtlenkenden Sonnen- und Blendschutzsystemen.

System		Beschreibung
Raffstorelösungen	Lichtlenkende Lamellen	 <p>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.</p>
	Cut-Off-Betrieb	 <p>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.</p>
	Retroreflektierende Profile	 <p>In Abhängigkeit des jahres- und tageszeitlich variierenden Lichteinfallswinkel wird das Licht in den Außenraum reflektiert, auf fassadennahe Arbeitsplätze oder in die Raumtiefe geleitet.</p>
Lichtlenkgläser	 <p>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.</p>	

Vorschläge Anforderungen

Anforderungen können sich beispielsweise vollständig oder teilweise an der Definition lichtlenkender Systeme in der DIN V 18599-4 [3] richten.

- „Lamellenbehänge im Cut-Off-Betrieb: Im so genannten „Cut-Off-Betrieb“ werden die Lamellen sonnenstandsabhängig so ausgerichtet, dass direkter Sonnenlichteintrag durch die Fassade gerade vermieden wird, diffuses Tageslicht aber eindringen kann. Darüber hinaus ermöglichen diese Systeme im Allgemeinen eine Sichtverbindung in den Außenraum zu großen Betriebszeitanteilen. Entsprechende Kontrolleinrichtungen zur Lamellenansteuerung in Abhängigkeit des Sonnenprofilwinkels müssen vorhanden sein. Der Sonnenprofilwinkel stellt die Projektion des Sonnenhöhenwinkels auf eine senkrechte, normal zur Fassadenebene stehende Ebene dar.
- Lichtlenkgläser: Fassadensysteme, die Gläser nutzen, die bei einer im Azimutwinkel senkrechten Besonnung unter 35 ° mindestens 30 % des einfallenden Direktlichts in den oberen Viertelraum lenken. Zur Vermeidung einer zu hohen thermischen Belastung des Raumes sollte im Allgemeinen nicht mehr als 1/3 der lichten Fassadenöffnung hiermit ausgestattet sein. Lichtlenkgläser sind mit anderen im unteren Fassadenbereich Blendschutz bietenden Sonnen- und / oder Blendschutzsystemen zu kombinieren. Vor den im Folgenden beschriebenen lichtlenkenden Bauteilen selbst dürfen keine Sonnen- und / oder Blendschutzsysteme angeordnet sein.
- Tageslichtlenkende, außenliegende Lamellenbehänge: Diffuse Oberflächen, obere und untere Behangteile mit unterschiedlichen Lamellenanstellwinkeln. Oberer Behangbereich nicht größer als 1/3 und nicht kleiner als 1/4 der Behanglänge; Kontrolleinrichtungen müssen vorhanden sein.
- Tageslichtlenkende, innenliegende Lamellenbehänge im Scheibenzwischenraum oder im Spalt von Glasdoppelfassaden: hochglanzverspiegelte oder hochglanzbeschichtete Oberflächen, obere und untere Behangteile mit unterschiedlichen Lamellenanstellwinkeln. Oberer Behangbereich nicht größer als 1/3 und nicht kleiner als 1/4 der Behanglänge; Kontrolleinrichtungen müssen vorhanden sein.

Vor lichtlenkenden Systemen dürfen keine weiteren Sonnen- und / oder Blendschutzsysteme angeordnet sein.“

Sinnvoll ist der Einsatz „Lichtlenkender Sonnen- und Blendschutz“ in Bereichen mit im Allgemeinen guter Tageslichtversorgung und großen Nutzungszeiten zur Tageszeit. Es empfiehlt sich eine Orientierung an den Nutzungsprofilen, für die bereits tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle als Referenztechnik der EnEV definiert ist. Empfohlen werden die Nutzungen 1 (Einzelbü-

ro), 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, entsprechend objektbezogen auch andere Nutzungen bei guter Tageslichtversorgung. Ggf. sind Anforderungen bei ungünstiger Verbauungssituation einzuschränken.

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Fotodokumentation des installierten Sonnen- und / oder Blendschutzsystems mit Lichtlenkung mit Angaben zu Art, Menge, Einbauort und Produktbeschreibungen.
- Auszüge aus den Schlussrechnungen, woraus die eingebauten Systeme ersichtlich sind.
- Ausnahmen: Fotodokumentation einer stark einschränkenden Verbauungssituation.

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
BNB Kriterium 3.5.1 „Visueller Komfort: Blendfreiheit und Tageslicht“ [4]. DGNB sehr ähnlich.	a) Lichtlenkende Systeme in Kombination mit Blendschutz mit Direktlichtausblendung. Lichtlenkend führt zu Höchstpunktzahl.
	b) Die relative jährliche Nutzbelichtung beträgt > 80 % der Arbeitszeit. Indirekte Anforderung: Eine Nutzbelichtung von > 80 % kann nur mit Lichtlenkung erreicht werden.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit	Energetisch gesehen ist die Einbringung lichtlenkender Funktionen in die Fassade sinnvoll. Einsparpotential Beleuchtungsenergie bei Südfassaden bis ca. 20 %.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Bei ausgewählten Herstellern ist der die Bedingungen erfüllende Betriebsmodus „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 € pro Behang, was unter 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.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Integration der Behangansteuerung in die GLT bei raffstorebasierten Lösungen.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Gering. Ggf. Nachweis über einschränkende Verbauungssituation.
Überprüfbarkeit		Einfach.
Kopplung mit anderen Maßnahmen		1.1.3 Hohe Transparenz der Fassade. 1.1.6 Lichtmanagement Kunstlicht.

Literatur / Referenzen

- [1] de Boer, J.; Aydinli, S.; Cornelius, W.; Knoop, M.; Wienold, J.; Volz, G.†: „Tageslicht kompakt“ - Tageslichttechnik und Tageslichtplanung in Gebäuden. Schrift der LITG. In Druck.
- [2] de Boer, J.; Eberl, M.; Heusler, I.; Lehn, J.; Sedlmair, W.; Sinnesbichler, H.: Entwicklung und Optimierung von Steuerungsverfahren zum energetisch effizienten Betrieb künstlicher Beleuchtungssysteme und (innovativer) Fassadensysteme, Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, WB 171/2013, Stuttgart (2013).
- [3] 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.
- [4] <http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/RunderTisch/steckbriefe-2010/315.pdf>

1.1.5 Tageslichtorientierte Partitionierung Stromkreise

Kurzbeschreibung

Anforderungen an eine Strukturierung von Stromkreisen, die eine energieeffiziente und tageslichtorientierte Beleuchtung unterstützt.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

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 Regeln / Steuern der künstlichen Beleuchtung werden verschenkt. Es kann nach der Art üblicher tageslichtabhängiger Lichtmanagementsysteme 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 1 und Bild 2 enthalten jeweils Gegenüberstellungen von tageslicht- und nicht-tageslichtorientiert aufgeteilten und geschalteten Stromkreisen:

- Beispielhafte Dachoberlichtsituation in Bild 1: Durch separates Schalten der elektrischen Beleuchtung in Abhängigkeit des Tageslichts unterhalb des Dachoberlichts kann bei üblichen Betriebszeiten der Energiebedarf um etwa 30 % gesenkt werden.
- Beispielhafte Fassadensituation in Bild 2: Durch separates Schalten der Beleuchtung kann die Hälfte des Raumes vom Tageslicht profitieren, was bei üblichen Betriebszeiten Beleuchtungsenergieeinsparungen von etwa 40 % entsprechen kann.

Der Aufwand, eine tageslichtorientierte Aufteilung zu planen und umzusetzen, ist zumeist gering, erfordert aber die Abstimmung zwischen Architekt / Fassadenplaner und Elektroplanung.

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.

Vorschläge Anforderungen

- In einem ersten Schritt sind die tageslichtabhängigen Bereiche zu ermitteln. Dies kann z. B. nach Systematik DIN V 18599-4 erfolgen.
- Im zweiten Schritt sind die Leuchten im tageslichtversorgten Bereich separat schalt- oder dimmbaren Stromkreisen zuzuordnen.

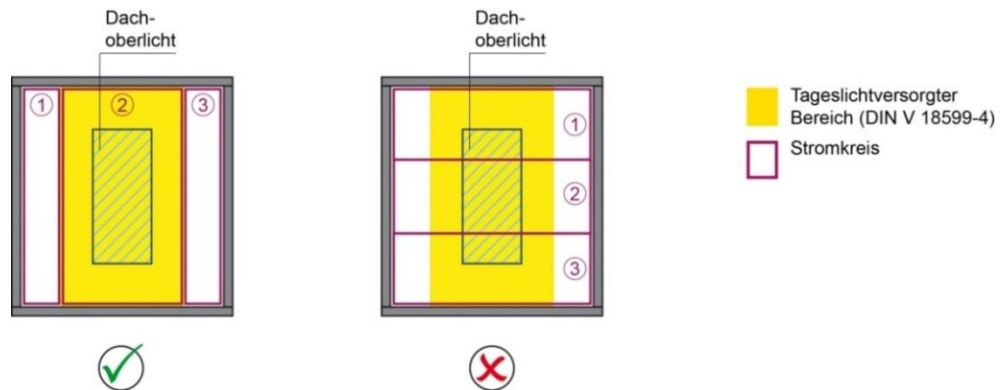


Bild 1:
Exemplarische Aufteilung der Stromkreise in einer größeren Dachoberlichtsituation, die eine sinnvolle tageslichtabhängige Regelung ermöglicht (links). Ungeeignete Aufteilung der Stromkreise (rechts) [Quelle: FhG-IBP].

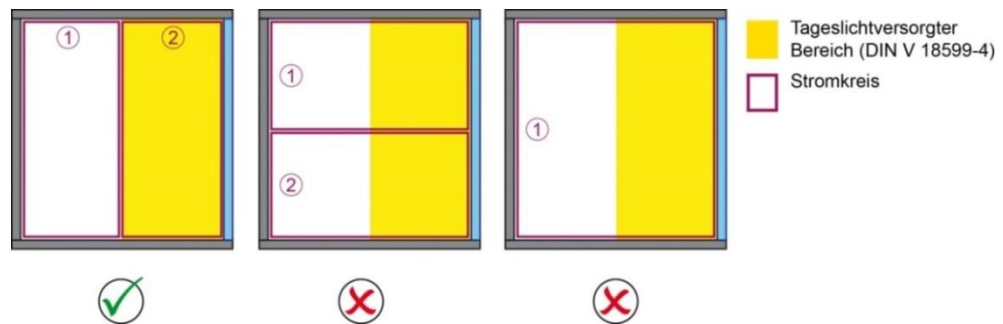


Bild 2:
Exemplarische Aufteilung der Stromkreise in einer Situation mit vertikaler Fassade, die eine sinnvolle tageslichtabhängige Regelung ermöglicht (links). Ungeeignete Aufteilung der Stromkreise (rechts) [Quelle: FhG-IBP].

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Vorlage Elektroplanung, aus der die entsprechende Aufteilung der Stromkreise hervorgeht.
- Fotodokumentation der z. B. separat geschalteten Stromkreise.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit	Hohe Energieeinsparung.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Geringer Zusatzaufwand. Sehr wirtschaftlich.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Abstimmung zwischen Architekt / Fassadenplaner und Elektroplaner erforderlich.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Gering.
Überprüfbarkeit		Einfach.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		Raumweise Heizungsregelung.
Kopplung mit anderen Maßnahmen		1.1.6 Lichtmanagement Kunstlicht. 1.1.7 Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal.

Literatur / Referenzen

- [1] Case Study, Toom Baumarkt, Lighting Retrofit Adviser des IEA-SHC Task 50, www.lightingretrofitadviser.com.

1.1.6 Lichtmanagement Kunstlicht

Kurzbeschreibung

Vorgabe für den Einsatz von präsenz- und / oder tageslichtabhängigem Lichtmanagement.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Lichtmanagementsysteme können helfen, den Energiebedarf für Beleuchtungszwecke erheblich zu reduzieren. Die Beleuchtung kann, wie in Bild 1 dargestellt, einerseits anhand der Anwesenheit von Nutzern (Präsenzabhängigkeit) und / oder anhand der natürlichen Lichtverhältnisse (Tageslichtabhängigkeit) kontrolliert werden.

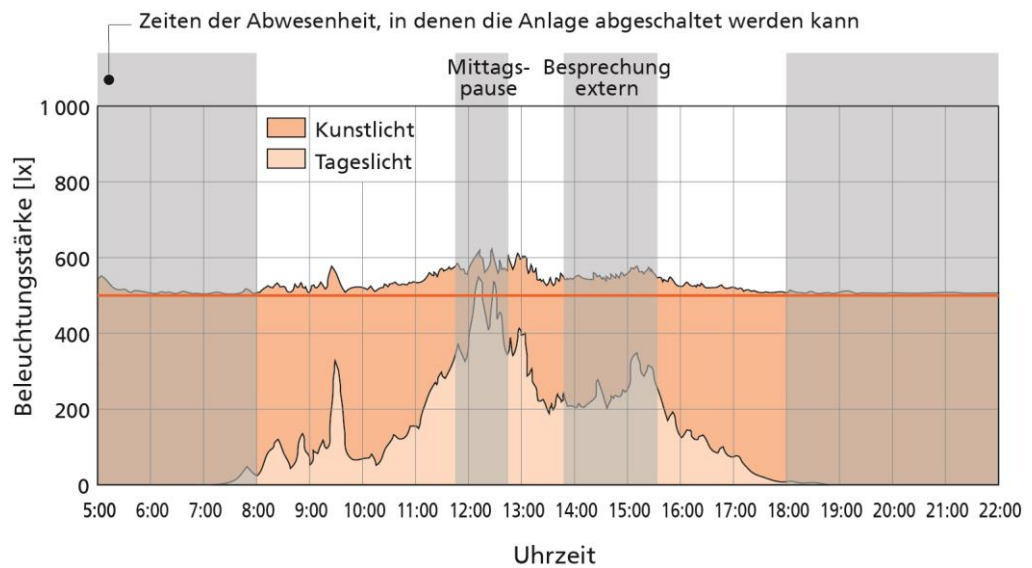


Bild 1:
Wirkweise von tageslichtabhängigem Lichtmanagement (realer Verlauf). Mögliche weitere Einsparungen durch aufgeschaltete Präsenzerfassung sind dargestellt [Quelle: FhG-IBP].

- 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 2 zeigt exemplarisch die Ergänzung des verfügbaren Tageslichts mit Kunstlicht durch ein reales Lichtmanagementsystem bis zur Mindesteinhaltung eines geforderten Wartungswertes von 500 lx.

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 (vgl. Bild 4) , sollten jedoch keine künstliche Beleuchtung detektieren.



Bild 2:
Prinzip Lichtsteuerung [Quelle: FhG-IBP].

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.

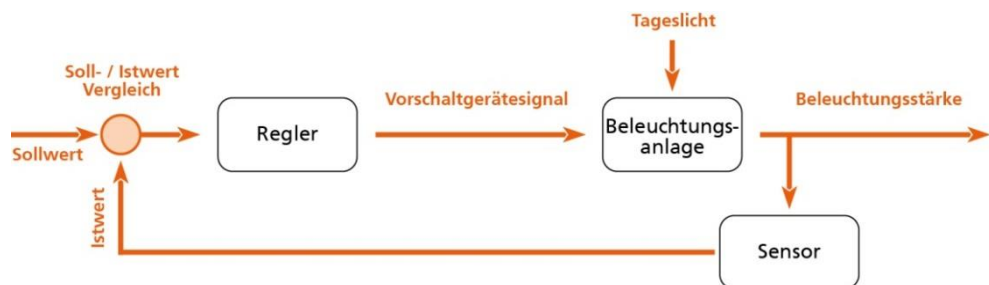


Bild 3:
Prinzip Lichtregelung [Quelle: FhG-IBP].

- Durch die große Variabilität der Einflussparameter variieren real gemessene Einsparpotentiale erheblich (20 bis 70 % in dokumentierten Untersuchungen). Eine Metaanalyse zeigt ein Potential von im Mittel 30 %.
- Kombisensoren: Technisch werden häufig sogenannte Kombisensoren angeboten, die neben der Tageslichtabhängigkeit noch die Anwesenheit in Räumen überprüfen.

Lichtsteuerung	Tageslichtmesskopf außen	Raumseitiger Sensor auf Fassade gerichtet	
	 © Zumtobel	 © Zumtobel	
Lichtregelung	Integrierter Tageslichtsensor und Bewegungsmelder	Aufstecksensor	Leuchtenintegrierte Sensorik
	 © Philips	 © Osram	 © Nimbus

Bild 4:
Ausgewählte Sensoren für Lichtsteuerungen und -regelungen.

Vorschläge Anforderungen

In der DIN V 18599-4 werden für verschiedene Nutzungseinheiten Empfehlungen angegeben. Die Vorgaben orientieren sich daran, dass Präsenzdetection besonders in Bereichen mit hoher Abwesenheit wirkungsvoll ist. Tageslichtmanagement eignet sich besonders in Bereichen mit hohem Tageslichteinfall.

Tabelle 1:
Übersicht über die empfohlene Verwendung von Lichtmanagement (Präsenzdetektion und tageslichtabhängige Kontrolle) [2].

Nutzungsart	Nutzungsprofil Nichtwohngebäude	Lichtmanagement	
		Präsenzmelder	Tageslichtabhängige Kontrolle
1	Einzelbüro	X	X
2	Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	X	X
3	Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätze)		X
4	Besprechung, Sitzung, Seminar	X	X
8	Klassenzimmer (Schulen)	X	X
9	Hörsaal, Auditorium	X	
11	Hotelzimmer	X	
12	Kantine		X
15	Küche - Vorbereitung, Lager	X	
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	X	
17	Sonstige Aufenthaltsräume	X	
19	Verkehrsflächen	X	
21	Serverraum, Rechenzentrum	X	
28	Bibliothek / Lesesaal		X
31	Sporthalle	X	X
32	Parkhäuser (Büro- und Privatnutzung)	X	
37	Labor	X	X
38	Untersuchungs- und Behandlungsräume	X	
41	Arztpraxen und therapeutische Praxen	X	

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Vorlage Elektroplanung, aus der entsprechendes Lichtmanagement hervorgeht.
- Vorlage Rechnungen.
- Es sollte nach Montage eine Inbetriebnahme mit Protokoll (z. B. Einstellung der Anlage auf einen vorgegebenen Wartungswert der Beleuchtungsstärke) erfolgen; siehe auch Empfehlung 2.2 Qualifizierte Inbetriebnahme.

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
EnEV 2014 [3]	Einige Zonen des Referenzgebäudes sind mit Präsenzdetection und / oder Tageslichtmanagement ausgestattet. Z. B. Präsenzdetection für Besprechungsraum; Tageslichtmanagement für die Bürotypen. Technische Ausführung des Referenzgebäudes ist nicht verpflichtend.

Diskussion

Kriterium	Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische / klimabezogene (CO ₂) Wirksamkeit Wirtschaftlichkeit / Kosten
Abhängigkeit von anderen Gewerken	Die Einzelmaßnahmen können zu erheblichen Energieeinsparungen führen (s. o. 20 bis 70 %). Bei den in Tabelle 1 aufgeführten Nutzungen ist im Allgemeinen Wirtschaftlichkeit gegeben.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises	Meist nicht, bei besonderen Deckenformen (z. B. Heiz-Kühl-Decken) muss die Sensoranbringung koordiniert werden.
Überprüfbarkeit	Gering.
Vergleichbares aus anderen Gewerken	Einfach. Raumweise Heizungsregelung.
Tendenz / Trend	Der Einsatz von Lichtmanagement wird immer verbreiteter.
Kopplung mit anderen Maßnahmen	1.1.5 Tageslichtorientierte Partitionierung Stromkreise. 1.1.7 Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal. 2.2 Qualifizierte Inbetriebnahme.

Literatur / Referenzen

- [1] de Boer, J.; Aydinli, S.; Cornelius, W.; Knoop, M.; Wienold, J.; Volz, G. t: „Tageslicht kompakt“ - Tageslichttechnik und Tageslichtplanung in Gebäuden. Schrift der LITG. In Druck.
- [2] 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.
- [3] http://www.enev-online.com/enev_2014_volltext/enev_2014verkuendung_bundesgesetzblatt_21.11.2013.pdf

1.1.7 Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal

Kurzbeschreibung

Nutzung gesamtenergetischer Potentiale durch eine saisonale, bedarfsorientierte Verknüpfung von Kunstlicht-, Sonnen- und / oder Blendschutzkontrolle.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

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.

Neben zentralen Windwächter- und Frostschutzfunktionen sollten bei vorhandener GLT-Infrastruktur Fassaden bei Nichtbelegung der Räume (setzt Präsenzdetectoren in den Räume voraus, s. u.) nach dem thermisch 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 große Sorgfalt und ist an das jeweilige Objekt anzupassen.

In Gebäuden, in denen außenliegende Sonnenschutzeinrichtungen und innenliegende Blendschutzeinrichtungen 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.

Vorschläge Anforderungen

- Sicherstellung einer GLT-Hardware, 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.
- Programmierung einer Steuerlogik gemäß den oben dargestellten Zusammenhängen.

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Nachweis über die erforderliche Hardware anhand Planunterlagen und anhand Begehung.
- Nachweis über die erbrachten Programmierleistungen.
- Inbetriebnahmeprotokoll, nach Möglichkeit Funktionsprüfung über längeren Zeitraum, vgl. Empfehlung 2.2 Qualifizierte Inbetriebnahme.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit	Bei Nutzungen mit hohen Abwesenheiten wie z. B. Einzelbüros gesamtenergetisch erhebliche Potentiale.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Häufig steht die hardwareseitige GLT-Funktionalität bereits zur Verfügung, so dass lediglich auf eine entsprechende im Allgemeinen günstige softwaretechnische Funktionsverknüpfung / -erweiterung geachtet werden muss.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		GLT, Systemintegration.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Mittel.
Überprüfbarkeit		Mitte (Begehung, Planunterlagen).
Kopplung mit anderen Maßnahmen		1.1.6 Lichtmanagement Kunstlicht.

Literatur / Referenzen

- [1] de Boer, J.; Eberl, M.; Heusler, I.; Lehn, J.; Sedlmair, W.; Sinnesbichler, H.: Entwicklung und Optimierung von Steuerungsverfahren zum energetisch effizienten Betrieb künstlicher Beleuchtungssysteme und (innovativer) Fassadensysteme. IBP-Bericht WB 171/2013 (2013).
- [2] http://www.tab.de/downloads/460073/Broschuere_Dynamisches_Fassadenmanagement.pdf.
- [3] Nach <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3979.pdf> sorgt automatischer Sonnenschutz für reduzierten Kühlenergieverbrauch.

1.2.1 Vorgabe auf Basis von Referenztechniken

Kurzbeschreibung

Vorgabe eines maximalen Energiebedarfs auf Basis einer Referenztechnik für Beleuchtungssysteme.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

So genannte Referenztechniken zur Beschreibung der energetischen Systemeffizienz werden beispielsweise in der Energieeinsparverordnung genutzt.

Auf Basis eines Berechnungsverfahrens, dort die DIN V 18599, wird die technische Ausstattung eines Gebäudes mit Referenztechniken parametrisiert. Diese Parametrierung gibt dann objektbezogen einen einzuhaltenden Energiebedarf für die Anforderung nach EnEV vor.

Dieser Ansatz kann singular für die Beleuchtung mit höheren Anforderungen, die über die EnEV hinausgehen, für Maßnahmen zum Ansatz kommen. Verschärfungen gegenüber den Anforderungen nach EnEV sind möglich hinsichtlich:

- Bessere Referenztechniken.
- Miteinbeziehung bisher noch nicht beachteter Techniken aus dem Bereich Fassade und Lichtmanagement.

Der Ansatz der Referenztechniken bietet die Möglichkeiten, Empfehlungen aus elektrischer Beleuchtung, Fassade und Lichtmanagement zu bündeln. Da durch die Vorgabe lediglich ein energetisches Niveau definiert wird, kann der Planer zwischen den einzelnen Techniken ausgleichen (z. B. effizientere Fassadentechnik mittels Lichtlenkung, dafür moderate Effizienzen bei der elektrischen Beleuchtung).

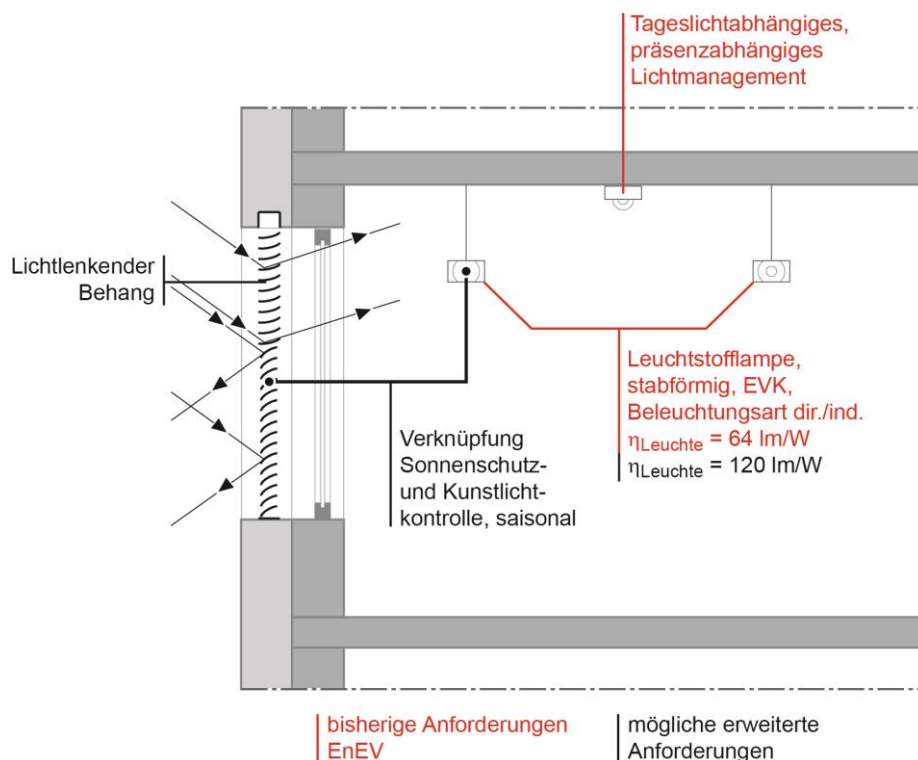


Bild 1: Bisherige Referenztechniken nach EnEV. Mögliche erweiterte Anforderungen [Quelle: FhG-IBP].

Vorschläge Anforderungen

Tabelle 1:
Zusammenstellung Vergleichsanforderungen EnEV 2016 und denkbare erweiterte Anforderungen.

Referenztechnik		Vergleichsanforderung EnEV 2016		Erweiterte Anforderungen
Elektrische Beleuchtung	Lampe	Leuchtstofflampe stabförmig	$\eta_{\text{Leuchte}} = 64 \text{ lm/W}$	LED-Systeme, siehe Empfehlung 1.1.1 Mindestlichtausbeute Leuchten bei Inbetriebnahme
	Vorschaltgerät	EVG		
	Leuchte	Direkt / Indirekt, $\eta_{\text{LB}} = 0,8$		
Tageslicht	Gläser mit hoher Lichttransmission	-		> 75 %
	Lichtlenkung	-		Vgl. Lichtlenkung gemäß Definition DIN V 18599-4, siehe auch Empfehlung 1.1.4 Fassade mit Lichtlenkung
Lichtmanagement	Präsenz	In Nutzungen mit hohen Abwesenheiten		wie EnEV
	Tageslicht	In den Nutzungen mit guter Tageslichtversorgung		wie EnEV
	Kopplung Kunstlicht- und Fassadensteuerung (saisonal)	-		Vgl. saisonale Verschattung in DIN V 18599. Vgl. Empfehlung 1.1.7 Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Dokumentation der Berechnung.
- Nachweis der Umsetzung (Fotodokumentation, Rechnungen).

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit	Je nach Parametrierung der Referenztechniken hoch. Verbesserungspotential gegenüber momentanem Niveau der EnEV: bis über 100 %.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Abhängig von Parametrierung, siehe auch andere (Einzel-) Empfehlungen.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Keine.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Mittel.
Überprüfbarkeit		Mittel.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		Referenztechniken sind auch in anderen Gewerken eingeführt und werden systematisch für erhöhte Anforderungen genutzt.
Kopplung mit anderen Maßnahmen		2.1.2 Qualifizierte Lichtplanung

Literatur / Referenzen

- [1] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung (EnEV) 2016).
- [2] 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.

1.2.2 Vorgabe auf Basis von Aufwandszahlen

Kurzbeschreibung

Vorgabe einer energetischen Systemqualität auf Basis von Aufwandszahlen für Beleuchtungssysteme.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Das Konzept der Aufwandszahlen, bisher im Bereich der Gebäudetechnik z. B. im Gewerk Heizung eingeführt, wurde mittlerweile auf die Bewertung der Innenraumbeleuchtung übertragen. Es ist in der Neufassung der DIN V 18599-4 berücksichtigt ([1], [2]) und wird zur Zeit auch in die europäische Norm EN 15193-1 übernommen [3]. Somit ist auch in der Beleuchtungstechnik eine Differenzierung nach Nutz- und Endenergie möglich. Die Effizienz der Beleuchtungstechnik kann objektbezogen über die Aufwandszahl ausgewiesen werden. Diese stellt den Faktor zwischen Nutzenergie und der Endenergie dar. Effiziente Systeme haben niedrige, ineffiziente Systeme hohe Aufwandszahlen.

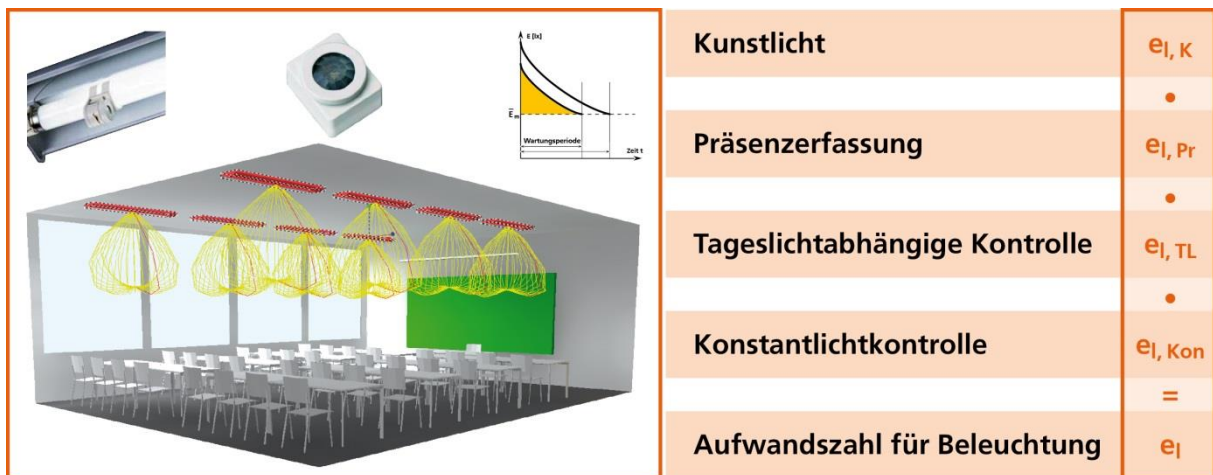


Bild 1: Darstellung der Ermittlung der Aufwandzahl für Beleuchtung e_l aus den Teilaufwandzahlen [Quelle: FhG-IBP].

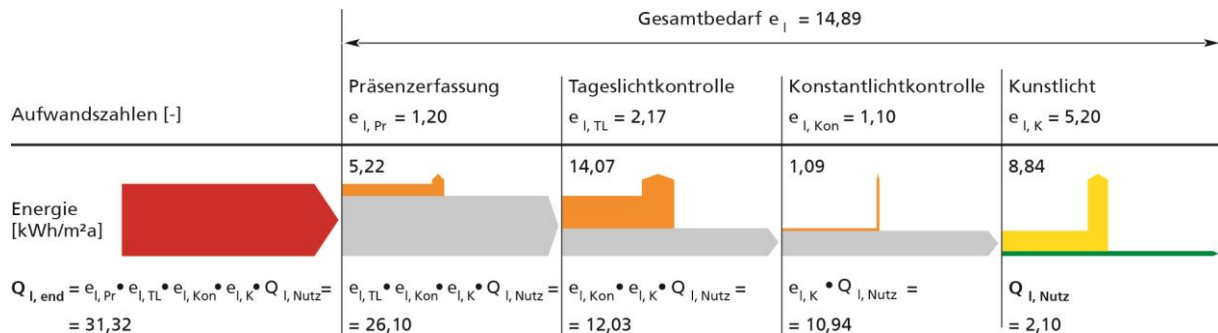


Bild 1: Beispielhafte Energiestromdarstellung für ein Einzelbüro mit einer Altanlage [Quelle: FhG-IBP].

Die Aufwandzahl für Beleuchtungszwecke setzt sich aus Teilaufwandzahlen für die beleuchtungstechnischen Systeme zusammen. Dies umfasst, wie in Bild 1 dargestellt, zum einen die Beleuchtungskontrolle in Abhängigkeit der Präsenz und der Tageslichtverhältnisse, zum anderen das künstliche Beleuchtungssystem. Letzteres lässt sich wiederum in die Teilaufwandzahlen für die Lichterzeugung, -verteilung und -übergabe separieren. Da Licht nicht pauschal energetisch zu bewerten ist, war die Festlegung einer Referenzbeleuchtung erforderlich. Diese fußt auf einer Referenzlichtausbeute von 140 lm/W und einer Referenzlichtstärkeverteilung (LVK) des Typs A 50. Die Referenzlichtausbeute entsprach zum Zeitpunkt der Festlegung der erwarteten zukünftigen Lichtausbeute von Weißlicht-LEDs. Die LVK des Typs A 50 entspricht einer direkt strahlenden, energieeffizienten Beleuchtung, welche den Anforderungen der DIN EN 12464 »Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen« bei üblichen Raumsituationen genügt. Bild 2 zeigt exemplarisch die Anwendung von Aufwandzahlen im Kontext einer Energiestromdarstellung für ein Einzelbüro mit einer Altanlage. In Tabelle 1 sind beispielhaft die Aufwandskennzahlen für alte und neue Beleuchtungssysteme verschiedener Nutzungen zusammengestellt.

Tabelle 1:
Beispielwerte für Nutzenergie, Aufwandszahl und Endenergie neuer und alter Beleuchtungssysteme für unterschiedliche Raumtypen.

Raumtyp	Beleuchtungssystem	Nutzenergie $Q_{i,Nutz}$ [kWh/m ²]	Aufwandszahl Beleuchtung e_i	Faktor alt vs. neu	Endenergie
Verkehrsfläche	alt	0,7	6,6	3,0	4,6
	neu	0,7	2,2		1,5
Einzelbüro	alt	2,1	14,9	6,6	31,3
	neu	2,1	2,3		4,7
Großraumbüro	alt	7,5	6,5	2,8	48,5
	neu	7,5	2,3		17,0
Turnhalle mit Oberlichtern	alt	0,4	40,2	10,1	16,1
	neu	0,4	4,0		1,6
Turnhalle ohne Oberlichter	alt	6,4	6,2	3,3	39,9
	neu	6,4	1,9		12,2
Klassenzimmer	alt	1,4	9,3	3,9	13,1
	neu	1,4	2,4		3,4

Anforderungen an die Aufwandszahlen bieten den Vorteil, dass zwischen einzelnen technischen Lösungen eine Verrechenbarkeit möglich ist. Ungünstige Teilaufwandszahlen z. B. im Bereich des Lichtmanagements können durch günstigere Teilaufwandszahlen für Leuchten ausgeglichen werden. Es müssen keine genauen Ausführungen vorgegeben werden.

Vorschläge Anforderungen

Eine Anforderung an die Inbetriebnahme von Beleuchtungssystemen (Neubau, Bestandertüchtigung) kann beispielsweise bei $e_i = 2$ ($e_i = 2,5$) liegen. Dies entspricht LED-Technik mit Lichtmanagement.

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Die Aufwandskennzahlen lassen sich aus den Verfahrensparametern der DIN V 18599-4 berechnen, auf Basis der Kennwerte der eingeplanten Produkte.
- Fotodokumentation, Vorlage Rechnungen.

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
EnEV 2009 (http://teconomics.fhws.de/?tag=gesetze)	Wärmeerzeuger müssen in Zukunft eine Mindestaufwandszahl erfüllen.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische (CO ₂) Wirksamkeit	Die Aufwandskennzahlen beschreiben direkt die energetische Effizienz der Beleuchtungstechnik. Die eigentliche Wirksamkeit ist abhängig von der Festsetzung einer Anforderung (s. o). Eine geringe Aufwandszahl entspricht einer hohen energetischen Wirksamkeit.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Keine Pauschalangabe möglich, abhängig von jeweiliger technischer Umsetzung.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Keine.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Mittel (mit Softwareunterstützung) bis hoch (ohne Software).
Überprüfbarkeit		Mittel.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		Mindestaufwandszahlen in der Heizungstechnik.
Kopplung mit anderen Maßnahmen		2.1.2 Qualifizierte Lichtplanung

Literatur / Referenzen

- [1] de Boer, J.; Aydinli, S.; Cornelius, W.; Jakobiak, R.; Minnerup, J.; Schornick, D.; Wershoven, R.:
Neue Effizienzkenzahlen für Beleuchtungssysteme in Gebäuden. Bauphysik Nr. 4, August 2011, S. 207-224.
- [2] 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.
- [3] DIN EN 15193-1: Energetische Bewertung von Gebäuden - Modul M9 - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung - Teil 1: Spezifikationen.

2.1.1 Beratungsgutscheine für die Bewertung / Inspektion

Kurzbeschreibung

Beratungen (Inspektionen), um Effizienzsteigerungspotentiale zu identifizieren, die ggf. zu einem Austausch der Beleuchtungsanlage führen. Technische Fehlfunktionen erfassen und beheben.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Durch die Inspektion von Beleuchtungsanlagen in Begehungen der entsprechenden Gebäudebereiche kann zunächst Transparenz über den technischen und energetischen Zustand der Beleuchtungsanlage hergestellt werden. Basierend auf der Analyse können Entscheidungen hinsichtlich der Sanierung der Anlagen vorbereitet und auch Empfehlungen zur Wartung (Austausch defek-

ter Leuchtmittel, Reinigung von Leuchten, Überprüfung und ggf. Korrektur von Betriebspunkten des Lichtmanagements) veranlasst werden.

Checkliste: Bestandsaufnahme Lichtenanlagen		
Allgemeine Informationen		
Projektname:		
Kundenname, Adresse, Datum:		
Gebäudeinformationen		
Gebäudealter: _____ Jahre		
Eigentum oder Miete? <input type="checkbox"/> Eigentum <input type="checkbox"/> Miete		
<input type="checkbox"/> Starker Ausfall von Lampen <input type="checkbox"/> Hohe Energiekosten <input type="checkbox"/> Wartungsprobleme / Ersatzteile <input type="checkbox"/> Beleuchtungsstärke nicht nach Norm <input type="checkbox"/> Große Anzahl unterschiedlicher Lampen- und Leuchtentypen		
Sanierungs- bzw. Nachhaltigkeitsziele?		
Normerfüllung <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Neuanlage soll den Werten der Bestandsanlage entsprechen <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Maximale Energieeinsparung <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Retrofit-Lösung <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
1-zu-1-Austausch <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Typenreduzierung <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Bestimmte Amortisationszeit oder Rendite? <input type="checkbox"/> Amortisation _____ Jahre <input type="checkbox"/> Rendite _____ %		
Sanierungsstrategien und -ziele:		
Sanierung nach Budget <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Nennung der höchsten Einsparpotenziale nach Raum und Leuchtertyp <input type="checkbox"/> Ja _____ € <input type="checkbox"/> Nein		
Sanierung nach Raumtypen z. B. Räume mit längerer Betriebsdauer <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Sanierung nach Leuchtentypen z. B. Leuchten mit hohem Einsparpotenzial <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Betrachtungszeitraum für Analyse Lebenszykluskosten _____ Jahre		
Informationen zur Beleuchtung		
Alter der Bestandsanlage: _____ Jahre		
Wartung der Anlage: <input type="checkbox"/> regelmäßig <input type="checkbox"/> bei Bedarf <input type="checkbox"/> selten		
Preis pro Arbeitsstunde: _____ € / Std.		
Lampenwechsel durch: <input type="checkbox"/> eigenes Personal <input type="checkbox"/> externer Installateur		
<input type="checkbox"/> einzeln bei Ausfall <input type="checkbox"/> Gruppenwechsel <input type="checkbox"/> Gruppenwechsel das letzte Mal vor _____ Jahren <input type="checkbox"/> Gruppenwechsel geplant in _____ Jahren		
Demontage und Montage Arbeit während der Arbeitszeit möglich? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Angaben zum Strompreis: Aktueller Preis _____ € / kWh <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Preissteigerung erwartet? von _____ € / Jahr <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Betriebszeit pro Jahr: _____ Std. / Jahr		
Gebäudepläne in gängigen Formaten (pdf, dwg) vorhanden? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Leuchtaufstellung pro Raum vorhanden? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Deckenspiegel mit eingezeichneten Bestandsleuchten vorhanden? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		

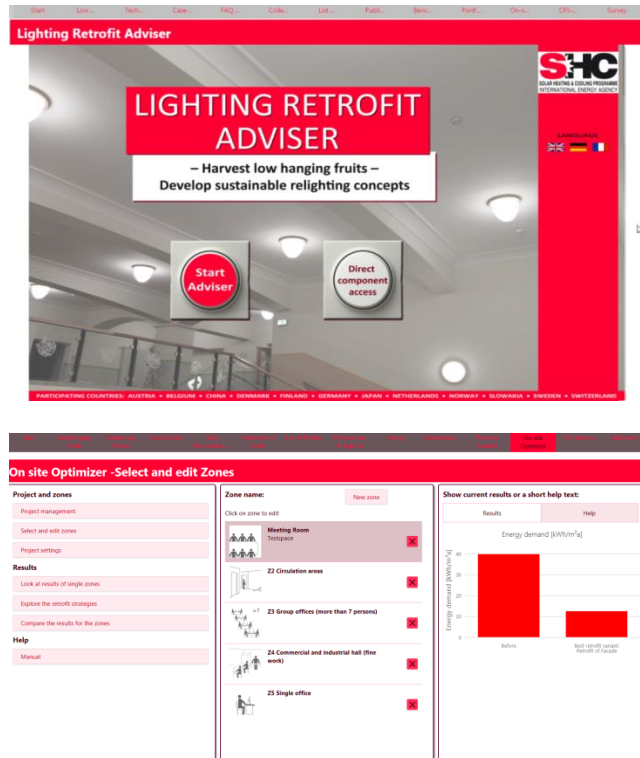


Bild 1: Checkliste: „Bestandsaufnahme Lichtenanlagen“ (links) [3]. „IEA-SHC Task 50: Lighting Retrofit Adviser“ (rechts) [1].

Oftmals sind Betreibern von Beleuchtungsanlagen die energetischen Einsparpotentiale nicht bekannt. Der Zustand der Anlage kann heutzutage mit Hilfe geeigneter Werkzeuge sowohl aus energetischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht einfach abgeschätzt werden - dies direkt vor Ort.

Neben der reinen Dokumentation durch z. B. Checklisten [3] stehen auch Apps wie der „IEA Task 50 Lighting Retrofit Adviser“ (verfügbar ab Mitte 2016) zur Verfügung, mit deren Hilfe schnell und sicher - grafisch interaktiv – Bestandsanlagen inklusive der wichtigsten Raum- und Nutzungsparameter aufgenommen werden können. Basierend auf dieser Erfassung der „Ist-Situation“ werden automatisch Sanierungsvorschläge mit direktem energetischem und wirtschaftlichem Vergleich ermittelt. So werden beispielsweise Energiebedarfe, CO₂-Emissionen und wirtschaftliche Kennzahlen wie Amortisationszeiten und Kapitalwerte für die vorgeschlagenen Sanierungsvarianten ausgewiesen. Die lichttechnische und energetische Bewertung wird konform zu dem neusten Stand der Normung (DIN EN 12464 und DIN V 18599) durchgeführt. Mit den Werkzeugen kann somit u. a. ermittelt werden, in welchem Gebäudebereich welche beleuchtungstechnischen Empfehlungen am wirkungsvollsten sind. Vorhandene Budgets können damit optimal eingesetzt werden. Der „Lighting Retrofit Adviser“ ist kostenfrei in den entsprechenden

App-Stores herunterladbar. Angemerkt sei, dass diese Bewertungsinstrumente keine Fachplanung ersetzen, sondern ausschließlich der ersten Abschätzung und Dokumentation der Potentiale dienen.

Vorschläge Anforderungen

Qualifikation des Beraters

Auch wenn die Anwendung von Checklisten oder Bewertungsapps weitestgehend intuitiv und grafisch interaktiv (Apps) erfolgt, sind grundlegende lichttechnische Kenntnisse von Vorteil, so dass Anforderungen an die Qualifikation des Personals gestellt werden sollten, z. B.:

- Elektrofachkräfte, die auch Prüfungen gemäß BGV A3, elektrische Anlagen und Betriebsmittel, im Rahmen von raumweisen Begehungen durchführen.
- Zertifizierte Lichttechniker / Lichtplaner (vgl. DIN Certgo, LiTG-Akademie), siehe auch Empfehlung 2.1.2 Qualifizierte Lichtplanung.

Dokumentationspflicht

Dokumentationspflicht. z. B. pdf-Ausgabe und kurze Stellungnahme zu Empfehlungen zur energetischen Ertüchtigung (oder eben auch Erläuterung, warum keine Empfehlungen erforderlich sind).

Förderung / Förderinstrument

Die Bewertung (Inspektion) kann mit Beratungsgutscheinen gefördert werden (vgl. Energieberatung).

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Ordnungsgemäße Dokumentation, Empfehlungenübersicht.
- Beleg Beraterhonorar.

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
Spezialisierte Dienstleister, z. B. http://www.deutsche-lichtmiete.de	Diverse kommerzielle Anbieter von Beleuchtungschecks, die Beratungsgutscheine anbieten.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische / klimabezogene (CO ₂) Wirksamkeit	Bei vielen nicht sanierten Anlagen und großen Sprüngen in der Effizienz (ca. Faktor 3 in den letzten 20 Jahren), kann das Aufwand- / Nutzen-Verhältnis der Inspektion von Anlagen sehr groß sein.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Raumweise Begehung erforderlich. Ggf. bietet sich die Kopplung an eine im regelmäßigen Turnus erfolgende Begehung an, vgl. BGV A 3.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Prinzipiell keine, Begehung kann aber grundsätzlich an andere Gebäudechecks gekoppelt werden.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Mittel.
Überprüfbarkeit		Mittel.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		Bewertung (Inspektion) der Anlagentechnik und Gebäudehülle.

Literatur / Referenzen

- [1] www.lightingretrofitadviser.com
- [2] <http://task50.iea-shc.org/>
- [3] www.licht.de/fileadmin/Publikationen.../1403_lw09_Sanierung_web.pdf
- [4] <http://industrie-energieeffizienz.de/energiekosten-senken/energieeffizienzprozesse/energieaudit/auditpflicht/>

2.1.2 Qualifizierte Lichtplanung

Kurzbeschreibung

Erhöhung der energetischen Qualität von Beleuchtungsanlagen durch Förderung von Fachplanungen.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Etwa 80 % der neu gebauten Nichtwohngebäude werden gemäß Branchenerhebungen in Bezug auf die aktuellen Anforderungen an Beleuchtungsanlagen (vgl. DIN EN 12464-1 [1]) und Einsatz verfügbarer Beleuchtungstechnologien nicht ausreichend geplant. Dies geht häufig einher mit der Umsetzung energetisch nicht optimierter Beleuchtungsanlagen:

- Es wird veraltete Technik eingesetzt. Als Gründe hierfür können angeführt werden,
 - dass bereits vormals in anderen Projekten eingesetzte Systeme abermals eingeplant werden, obwohl der Stand der Technik sich fortentwickelt hat. Die schnelle Entwicklung im Bereich der LED-

Technik stellt zur Zeit höhere Anforderungen an Planer, sich zu informieren.

- Häufig wird aufgrund niedriger Investitionskosten entschieden. Dadurch kommt kostengünstige, aber oft ineffiziente Technik zum Einsatz. Oft nur geringe Mehrkosten für höherwertige Lösungen, die sich zumeist schnell amortisieren, werden beispielsweise nicht über eine „Total Cost of Ownership (TCO)“-Betrachtung bewertet.
- Um sicherzugehen, dass die Mindestanforderungen eingehalten werden, wird häufig überinstalliert.

Im Allgemeinen stellen sich günstigere energetische Werte bei einer Fachplanung ein als bei Planung nach Normverfahren. Die Vermeidung von Überinstallationen durch eine Fachplanung kann helfen, neben geringerem Energiebedarf auch die Anzahl der Lichtpunkte (Leuchten) zu reduzieren. Dies kann sich für Bauherren in geringeren Investitions- und Betriebskosten auszahlen.

Fachplanungsleistungen im Bereich der Beleuchtung werden heute durch leistungsstarke und einfach handhabbare Planungswerkzeuge unterstützt. Die Werkzeuge sind kostenfrei, enthalten die photometrischen Planungsdaten einer sehr großen Anzahl von Leuchtenherstellern und sind in Workflows und Ergebnisdarstellungen sehr gut auf die konkreten Planungsbedürfnisse abgestimmt.

Vorschläge Anforderungen

- Bei häufig vorkommenden zahlreichen typgleichen Räumen reicht die Betrachtung nur eines Raumes. So kann gefordert werden, ab 20 typgleichen Räumen (oder ab 200 m² typgleicher Bürofläche) eine Fachplanung für einen Typraum durchzuführen.
- Konkrete Anforderungen an die Fachplaner könnten somit sein:
 - Einhaltung der Mindestanforderungen nach EN 12464-1 [1].
 - Ermittlung und Angabe der installierten Leistung und des Beleuchtungsenergiebedarfs.
- Anforderung an die Qualifikation (DIN Certgo Zertifikat [2], zertifizierter Lichttechniker [3] o. ä.).

Überprüfbarkeit / Nachweis

Vorlage der Fachplanung mit Kennzeichnung des Erreichens der Anforderungen durch Fotodokumentation, Vorlage Rechnungen.

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
KfW-Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren - Nichtwohngebäude“ von 2015	Es ist eine Lichtplanung nach DIN EN 12464-1:2011-08 bzw. bei Sportstätten nach DIN EN 12193 durch qualifizierte Planer durchzuführen.

Diskussion

Kriterium	Diskussion	
Aufwand / Nutzen	Energetische / klimabezogene (CO ₂) Wirksamkeit	Objektabhängig. Überinstallationen von 100 % und planerische Nichtberücksichtigung sinnvoller Empfehlungen wie Lichtmanagement, Aufteilung Stromkreise etc., dementsprechende Mehrverbräuche sind keine Seltenheit.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Objektabhängig.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises	Mittel.	
Überprüfbarkeit	Mittel.	

Literatur / Referenzen

- [1] DIN EN 12464-1: Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen.
- [2] DIN 67517: Lichttechnik - Anforderungen an die Qualifikation des Lichttechnikers – Innenbeleuchtung.
- [3] Geprüfter Lichtexperte LiTG: <http://www.litg.de/Bildung-Forschung/Gepruefter-Lichtexperte-LiTG.html>

2.2 Qualifizierte Inbetriebnahme

Kurzbeschreibung

Dokumentation der Inbetriebnahme durch geschultes Personal und Bestätigung der Funktionstüchtigkeit durch eine Checkliste.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Vor dem Bezug der Nutzer sollte das Gebäude von der technischen Seite freigegeben werden. In der Praxis ergeben sich oftmals Situationen, in denen der Nutzer Mängel am Gebäude (wie beispielsweise ein falsch eingestelltes Lichtmanagement) bemerkt. Bis der erkannte Mangel dem verantwortlichen Handwerker gemeldet ist, vergeht Zeit und die Behebung findet oft bei laufendem Betrieb statt, was zu Störung und eventuell Mietminderung führen kann.

Dies kann durch eine Begehung des fertigen Gebäudes durch qualifiziertes Personal wie beispielsweise den Bauleiter umgangen werden. Zur Standardisierung der Begehung kann eine Checkliste an die Hand gegeben werden, welche die Themen elektrische Beleuchtung, Tageslicht und Steuerung beinhaltet. Durch das Abarbeiten der Checkliste kann unterstützt werden, alle relevanten Aspekte zu beachten.

Die Dokumentation sollte speziell bei Lichtmanagementsystemen auch die programmierten Eingangsparameter enthalten, um später eventuell darauf zurückgreifen zu können.

Darüber hinaus kann es ein sinnvolles und hilfreiches Hilfsmittel sein, die Nutzer kurz in die Anlage einzuweisen (insbesondere, wenn die Anlage eine gewisse Komplexität hat).

Vorschläge Anforderungen

Es kann die Anforderung gestellt werden, die Inbetriebnahme mittels der Checkliste nach Tabelle 1 oder einer ähnlichen Checkliste zu dokumentieren.

Tabelle 1:
 Beispielhafte Checkliste zur Inbetriebnahme eines Beleuchtungssystems [Quelle: FhG-IBP].

Inbetriebnahme Checkliste	
<input type="checkbox"/> Elektrische Beleuchtung	
<input type="checkbox"/>	Wartungsplan wurde erstellt und übergeben.
<input type="checkbox"/>	Sonstiges _____ eingestellt / geprüft
	Anmerkungen: _____ _____
<input type="checkbox"/> Tageslichtabhängiges Lichtmanagement	
<input type="checkbox"/>	Vorgegebener Sollwert des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke von <input type="checkbox"/> 750 lx, <input type="checkbox"/> 500 lx, <input type="checkbox"/> 300 lx, <input type="checkbox"/> 200 lx, <input type="checkbox"/> 100 lx, <input type="checkbox"/> ____ lx wurde geprüft
<input type="checkbox"/>	Sonstige vereinbarte Spezifikationen / Einstellungen wurden geprüft
<input type="checkbox"/>	I. tageslichtabhängig ein- / ausschaltende Systeme („Ein/Aus“): Bei Erreichen des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke am Nachweisort der Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht wird das Kunstlicht ausgeschaltet. Ein Wiedereinschalten erfolgt automatisch bei Unterschreiten des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke durch Tageslicht ¹ .
<input type="checkbox"/>	II. tageslichtabhängig stufenweise ein- / ausschaltende Systeme („Stufenweise Ein/Aus“): Bis zum Erreichen des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke am Nachweisort der Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht wird das Kunstlicht stufenweise ausgeschaltet. Ein Wiedereinschalten erfolgt stufenweise automatisch bei Unterschreiten des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke durch Tageslicht.
<input type="checkbox"/>	III. tageslichtabhängig ausschaltende Systeme („Tageslichtabhängig Aus“): Bei Erreichen des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke am Nachweisort der Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht wird das Kunstlicht ausgeschaltet. Ein Wiedereinschalten erfolgt manuell ² .
<input type="checkbox"/>	IV. tageslichtabhängig gedimmte Systeme, nicht abschaltend, wiedereinschaltend („Gedimmt, Standbyverluste, wiedereinschaltend“): Systeme, die während der Nutzungszeiten (Zeiten mit ausreichend Tageslicht) die Kunstlichtanlage bis auf die niedrigste Dimmstufe herunterdimmen, die Anlage jedoch nicht ausschalten und somit eine elektrische Leistungsaufnahme haben („Standbyverluste“). Die Wiedereinschaltung erfolgt automatisch.

¹ Erfahrungsgemäß werden diese Systeme aufgrund eines ständigen Ein- und Ausschaltens der Kunstlichtanlage von Nutzern außer Betrieb gesetzt.

² Diese Systeme weisen ein großes Energieeinsparpotential auf. Allerdings ist die Erfüllung der Beleuchtungsanforderungen in Arbeitsräumen aufgrund des Schaltverhaltens der Nutzer nicht sichergestellt.

<input type="checkbox"/>	V. tageslichtabhängig gedimmte Systeme, abschaltend, wiedereinschaltend („Gedimmt, ohne Standbyverluste, wiedereinschaltend“): Systeme, die während der Nutzungszeiten (Zeiten mit ausreichend Tageslicht) die Kunstlichtanlage bis auf die niedrigste Stufe herunterdimmen und abschalten und somit keine elektrische Leistungsaufnahme haben. Die Wiedereinschaltung erfolgt automatisch.
<input type="checkbox"/>	VI. tageslichtabhängig gedimmte Systeme, nicht abschaltend, nicht wiedereinschaltend („Gedimmt, Standbyverluste, nicht wiedereinschaltend“): Wie System iv); es erfolgt jedoch keine automatische Wiedereinschaltung;
<input type="checkbox"/>	VII. tageslichtabhängig gedimmte Systeme, abschaltend („Gedimmt, ohne Standbyverluste, nicht wiedereinschaltend“): Wie System VI; es erfolgt jedoch keine automatische Wiedereinschaltung.
Anmerkungen: _____ _____	
<input type="checkbox"/> Präsenzabhängiges Lichtmanagement	
<input type="checkbox"/>	Erfassungsbereich wurde ausgerichtet (maskiert), z. B. bei Mehrpersonenbüros
<input type="checkbox"/>	Nachlaufzeit (Abschalten nach Verlassen eines Bereichs) gemäß Vorgabe <input type="checkbox"/> 5 Min, <input type="checkbox"/> 10 Min, <input type="checkbox"/> 15 Min, <input type="checkbox"/> ____ Min eingestellt
<input type="checkbox"/>	Sonstiges _____ eingestellt / geprüft
<input type="checkbox"/>	Anmerkungen: _____ _____
<input type="checkbox"/> Konstantlichtkontrolle	
<input type="checkbox"/>	Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf <input type="checkbox"/> 750 lx, <input type="checkbox"/> 500 lx, <input type="checkbox"/> 300 lx, <input type="checkbox"/> 200 lx, <input type="checkbox"/> 100 lx, <input type="checkbox"/> ____ lx eingestellt und geprüft.
<input type="checkbox"/>	Anmerkungen: _____ _____
<input type="checkbox"/> Sonnenschutz	
<input type="checkbox"/>	Funktionsbereitstellung Windwächterfunktion, inklusive Wiederfreigabe geprüft
<input type="checkbox"/>	Funktionsbereitstellung Temperatur (Frostschutz) und ggf. gekoppelter Taupunktsensor geprüft
<input type="checkbox"/>	Bei vorhandenem außenliegendem Sonnenschutz und innenliegendem Blendschutz saisonal optimierter Betrieb, geprüft
<input type="checkbox"/>	Anmerkungen: _____ _____
<input type="checkbox"/> Verknüpfung Sonnenschutz-, Kunstlichtkontrolle, saisonal	
<input type="checkbox"/>	Bei Abwesenheit geht der Sonnenschutz in den thermisch, energetisch optimalen Zustand, geprüft
<input type="checkbox"/>	Bei Wiederanwesenheit geht das Gesamtsystem in den vom Nutzer zuletzt eingestellten Zustand, geprüft.
<input type="checkbox"/>	Bei vorhandenem außenliegendem Sonnenschutz und innenliegendem Blendschutz saisonal optimierter Betrieb, geprüft.
<input type="checkbox"/>	Anmerkungen: _____ _____

Überprüfbarkeit / Nachweis

- Vom ausführenden Betrieb unterschriebene Checkliste inkl. Bericht über Beseitigung eventuell festgestellter Mängel.

- vom Planer und vom Nutzer unterschrieben.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische / klimabezogene (CO ₂) Wirksamkeit	Richtige Einstellung der Gebäudetechnik essentiell für nachhaltige Energieeffizienz und hohen Nutzerkomfort.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Gewöhnlich keine Zusatzkosten, da im Allgemeinen Inbetriebnahme Bestandteil der Beauftragung.
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Keine.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Mittel (lediglich Funktionsprüfung).
Überprüfbarkeit		Mittel.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		VDI Richtlinie zum Inbetriebnahmemanagement [1]
Sonstiges		Da die Komplexität der Gebäudetechnik zunimmt, sollte qualifizierte Inbetriebnahme ein stärkeres Gewicht bekommen.

Literatur / Referenzen

- [1] VDI 6039 –Das Inbetriebnahmemanagement (IBM)
 (http://www.vdi-stuttgart.de/fileadmin/user_upload/VDI_Stuttgart/AK_Vortragsflyer/AK_TGA/140127_Vortrag_IBM_freigegeben_VDI.pdf)

2.3.1 Vertragsgestaltung

Kurzbeschreibung

Vertragsgestaltung zwischen Vermieter und Mieter mit der Zielsetzung, energieeffiziente, nachhaltige Beleuchtung einzusetzen.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Eine optimierte Gestaltung von Mietverträgen kann den Einsatz und Betrieb energieeffizienter und nachhaltiger Beleuchtungstechnik unterstützen:

Mietobjekte mit Beleuchtung: Häufig stellt der Vermieter dem Mieter einer Immobilie eine kostengünstige aber energetisch und gesamtwirtschaftlich nicht optimierte Beleuchtungsanlage bereit. Höhere Betriebskosten (Energie, Wartungskosten) gehen zu Lasten des Mieters. Vorteilhaft in vielen Fällen ist dagegen eine gemeinsame (Vermieter und Mieter) „Total Cost of Ownership (TCO)“-Betrachtung mit hierauf basierender Verteilung der Lasten. D.h. der Vermieter erwirbt eine energieeffizientere, aber ggf. in der Investition teurere Anlage, profitiert zugleich aber auch von den günstigeren Betriebskosten, so

dass sich gesamtheitlich für beide Seiten wirtschaftlich Vorteile ergeben, dies bei geringeren Energieverbräuchen.

Mietobjekt ohne Beleuchtung: Zahlreiche Objekte kommen ohne fest eingebaute Beleuchtungsanlage zur Vermietung. Für den Mieter stellt sich sodann die Frage, welche Beleuchtungsanlage für ihn die sinnvollste Lösung darstellt. Ein pauschaler Lösungsvorschlag kann hier nicht gegeben werden, Aspekte bei der Wahl einer Anlage hängen allerdings maßgeblich vom (vorhersehbaren) beabsichtigten Mietzeitraum ab. So kann bei geplanter langfristiger Anmietung eher eine fest installierte Anlage attraktiv sein, wogegen bei kürzerer Mietdauer und / oder einer geplanten flexiblen Nutzung der Räumlichkeit (z. B. non-territoriale Büros, Gruppenbüros mit flexibler Teamarbeitsstruktur) eine Zweikomponenten-Beleuchtungslösung („Task Lighting“) - aus jeweils arbeitsplatzbezogenen Stehleuchten und Schreibtischleuchten - sinnvoll sein kann. Derartige Anlagen sind auch bei Umzug oder einer geplanten späteren Veräußerung einfacher zu handhaben. Unter Umständen kann auch die Anmietung einer Beleuchtungsanlage attraktiv sein (s. u.).

Andere Aspekte / Sonderfälle: Neben den o. g. Standardfällen im Verhältnis Vermieter zu Mieter gibt es verschiedene Sonderkonstellation, die vertraglich gestaltet werden können. So ist beispielsweise im Bereich von Einkaufszentren („Shopping Malls“) der Betreiber verantwortlich für die zentrale Beleuchtung (Zugänge, Foren, etc.) aber auch für die Medienbereitstellung wie Kälte. Verträge für Shop-Mieter beinhalten oft Vereinbarungen über eine maximale Kältebelastung, die vom Mieter abgenommen werden darf. Der Mieter zahlt hierfür einen KW-bezogenen Preis, in Teilen dürfen Maximalwerte nicht überschritten werden. Durch die induzierte Reduktion der Kühllast mittels einer effizienten Beleuchtung kann die Beleuchtung indirekt zu einer weiteren Betriebskosteneinsparung beitragen. Alternativ kann der Vermieter zur Absicherung einer maximalen Kühllast seinerseits eine maximal installierte Leistung für Beleuchtungszwecke vertraglich vorgeben.

Vorschläge Anforderungen

Zielsetzung ist es, nach Möglichkeit eine „Win/Win-Situation“ zu schaffen. Gefordert werden kann daher eine von neutraler Seite (z. B. Elektrofachkraft) erstellte TCO-Bewertung der Beleuchtungsaufgabe inklusive Empfehlungen zur Vertragsgestaltung. Auf dieser Basis, mit den dann sichtbar gemachten Potentialen, kann dann zwischen den Parteien eine Vertragsgestaltung erfolgen.

Überprüfbarkeit / Nachweis

Vorlage der aufbereiteten Wirtschaftlichkeitsberechnung und Empfehlung von Maßnahmen zur Vertragsgestaltung.

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische / klimabezogene (CO ₂) Wirksamkeit	Vertragsgestaltung: Durch eine integrale Betrachtung der Wirtschaftlichkeit können für Vermieter und Mieter wirtschaftliche Vorteile zugunsten höherer Energieeffizienz erzielt werden.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Bei richtiger Vertragsgestaltung wirtschaftlich für die beteiligten Parteien (Vermieter, Mieter / Nutzer, Dienstleister).
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Keine.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Mittel.
Überprüfbarkeit		Mittel.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		Vertragliche Regelungen unter energetischen Aspekten sind auch in anderen Gewerken üblich.

2.3.2 Contracting und Leasing

Kurzbeschreibung

Contracting und Leasingmodelle für Beleuchtungsanlagen können den Einsatz und Betrieb energieeffizienter und nachhaltiger Beleuchtungstechnik unterstützen.

Technischer Hintergrund der Empfehlung

Auch im Bereich Beleuchtung werden zunehmend Fremdfinanzierungen in Form von Contracting (ESPC - Energy Saving Performance Contract) und Leasing von Anlagen eingesetzt [1]. 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.

Contracting (ESPC Energy Saving Performance Contract)

Auf Grundlage einer vertraglichen Vereinbarung finanziert, installiert und betreibt eine ESCO (Energy Service Company) 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 1 illustriert die Betriebskosten beim Contracting, Bild 2 zeigt die Schritte bei der Umsetzung einer solchen Vereinbarung.

Investitionsmodell mit Energiedienstleister (ESCO)

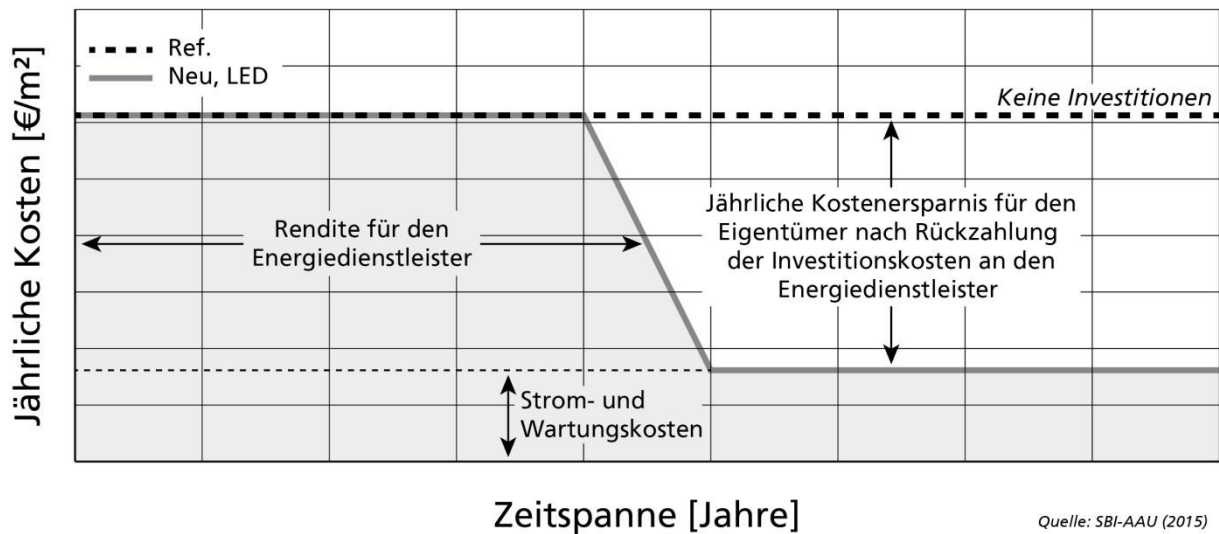


Bild 1:
"Energy Contracting" Finanzierungsmodell [Quelle: FhG-IBP auf Grundlage IEA SHC Tak 50 Bericht].

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 Beiträge. 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 einen „Second Hand Markt“ für Leuchten führen.

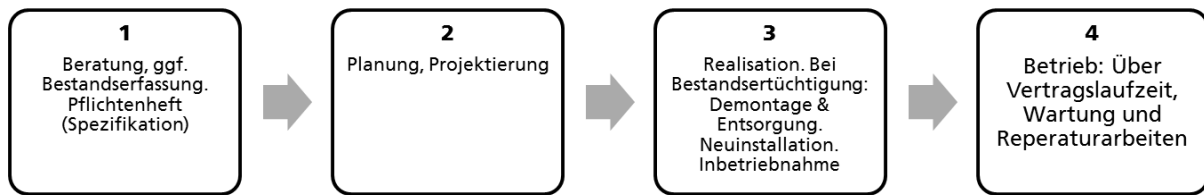


Bild 2:
Übliche Bestandteile des „Licht-Contracting“ [Quelle: FhG-IBP].

Vorschläge Anforderungen

Anforderung eines Contracting-Angebotes, Unterstützung / Förderung Phase 1 „Beratung, ggf. Bestandserfassung“, vgl. Bild 2.

Überprüfbarkeit / Nachweis

Vorlage Dokumentation Phase 1 „Beratung, ggf. Bestandserfassung“, vgl. Bild 2.

Beispiele

Eine vergleichbare Anforderungssystematik wurde beispielsweise bereits genutzt in:

Quelle	Anmerkung
Spezialisierte Dienstleister [1]	Contracting von Beleuchtungsanlagen
Leuchtenhersteller [2][3]	Contracting und Leasing von Beleuchtungsanlagen

Diskussion

Kriterium		Diskussion
Aufwand / Nutzen	Energetische / klimabezogene (CO ₂) Wirksamkeit	Vertragsgestaltung: Durch eine integrale Betrachtung der Wirtschaftlichkeit können für Vermieter und Mieter wirtschaftliche Vorteile zugunsten höherer Energieeffizienz erzielt werden. Contracting: Im Bestand blieben Potentiale unter Umständen ungenutzt. Professionelle Durchführung durch Spezialisten.
	Wirtschaftlichkeit / Kosten	Bei richtiger Vertragsgestaltung wirtschaftlich für die beteiligten Parteien (Vermieter, Mieter / Nutzer, Dienstleister).
Abhängigkeit von anderen Gewerken		Keine.
Komplexität (Aufwand) des Nachweises		Mittel.
Überprüfbarkeit		Mittel.
Vergleichbares aus anderen Gewerken		Energie ist Bestandteil anderer Vertragsteile. Zahlreiche Contracting-Modelle in anderen Gebäudewerken.

Literatur / Referenzen

- [1] www.deutsche-lichtmiete.de
- [2] <http://now.zumtobelgroup.com/de.html>
- [3] https://lightingsolutions.osram.com/de/highlight-produkte/financin_contracting.jsp