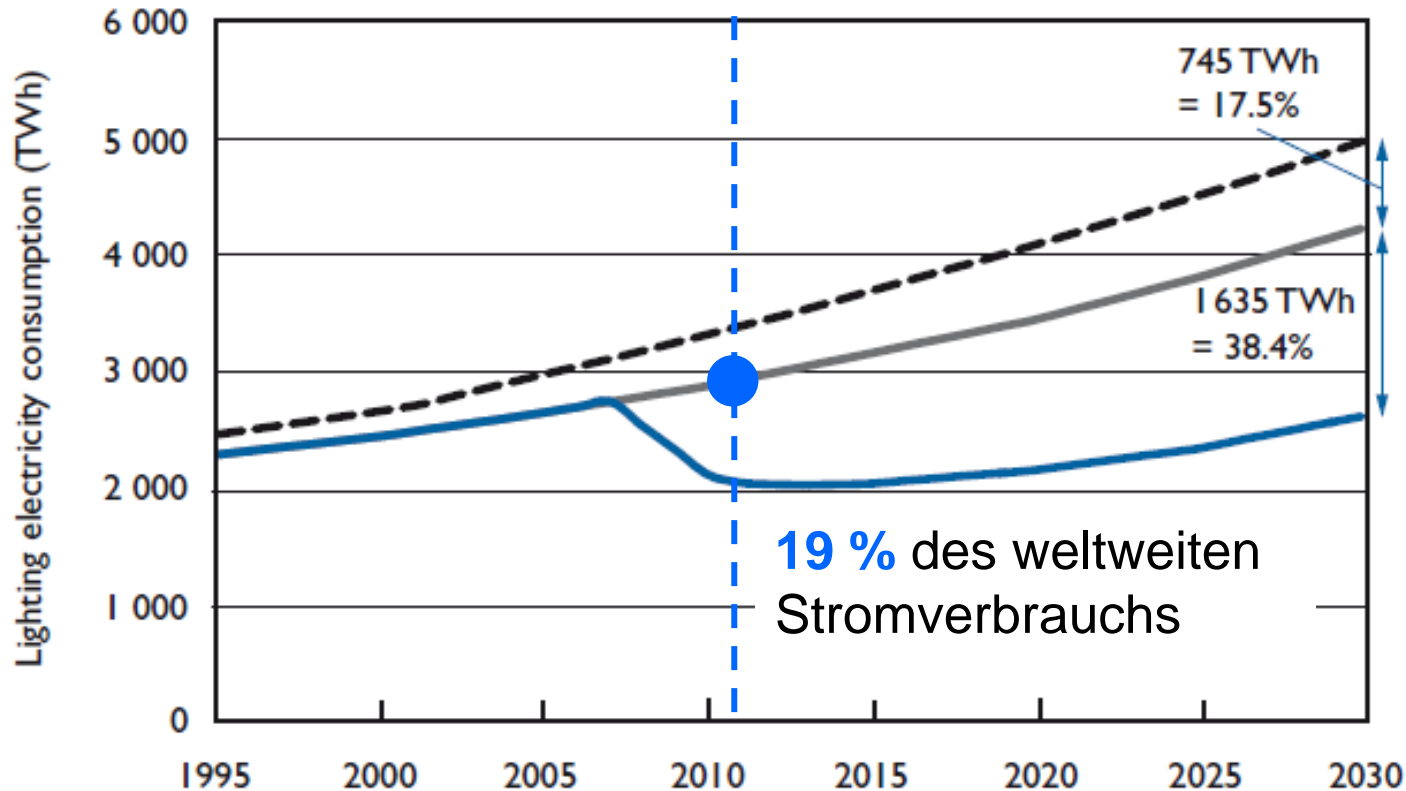


Licht und Energie: Status Quo und Prognose



From LIGHT'SLABOUR'S LOST,
Policies for Energy-efficient Lighting, IEA , 2006

--- No policies

— Current policies

— LLCC from 2008

(LLCC: Least Life Cycle Cost)

Überblick

- 1. Anforderungen Lichtqualität**
2. Effizienzpotentiale
3. Ansätze auf Komponentenbasis
4. Ansätze auf Systembasis

Anforderungen an Beleuchtungstechnik: DIN 12464-1

Unterrichtsräume

Feste Sitzplatzanordnung



$E_m=300 \text{ lx}$ (500 lx), UGR ≤ 19

Variable Sitzplatzanordnung



Fachräume



$E_m=500 \text{ lx}$, UGR ≤ 19

Quelle: FGL

Sonstige Nutzungen

Sport



$E_m=300 \text{ lx}$, UGR ≤ 22

Bibliotheken



$E_m=200/500 \text{ lx}$, UGR ≤ 19

Gemeinschaftsräume
Aufenthalt

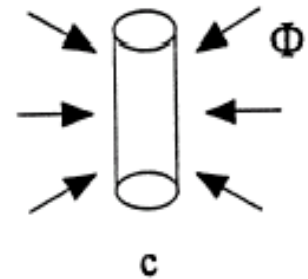


$E_m=200 \text{ lx}$, UGR ≤ 22

Anforderungen an Beleuchtungstechnik: DIN EN 12464-1

Neufassung der DIN EN 12464: „Licht und Beleuchtung“, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen (8/2011)

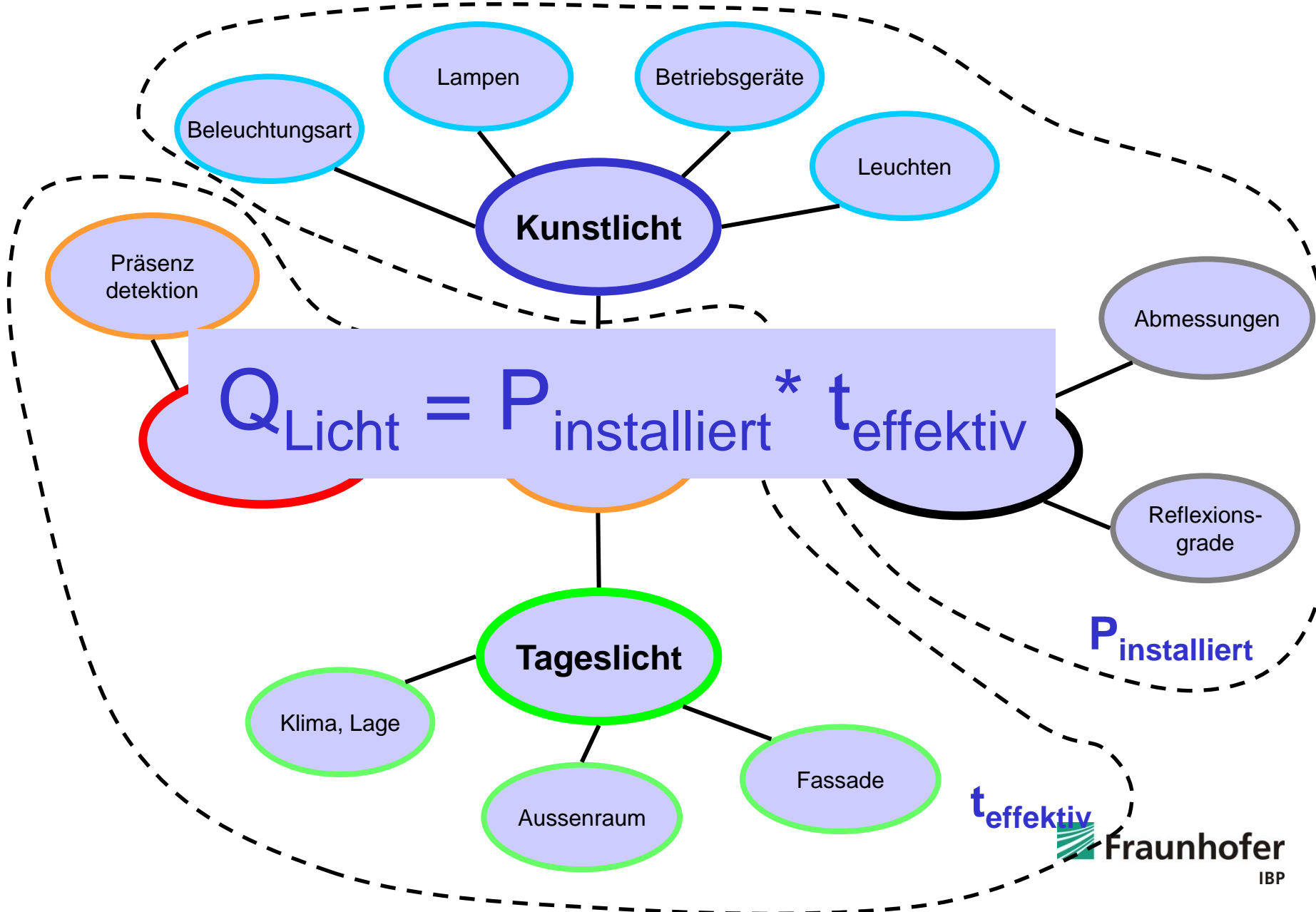
- „Hintergrundbeleuchtungsstärke“
- Neues Kriterium: Zylindrische Beleuchtungsstärke in 1,2m Höhe, Standard: 50 lx; Empfehlung für gute visuelle Kommunikation: 150 lx (z.B. Unterrichtsräume)
- Bildschirmarbeitsplätze: Anpassung an verbesserte Entspiegelung der Bildschirme (bis zu 3000 cd/m²)
- Modelling: $0,3 < E_z/E_h < 0,6$



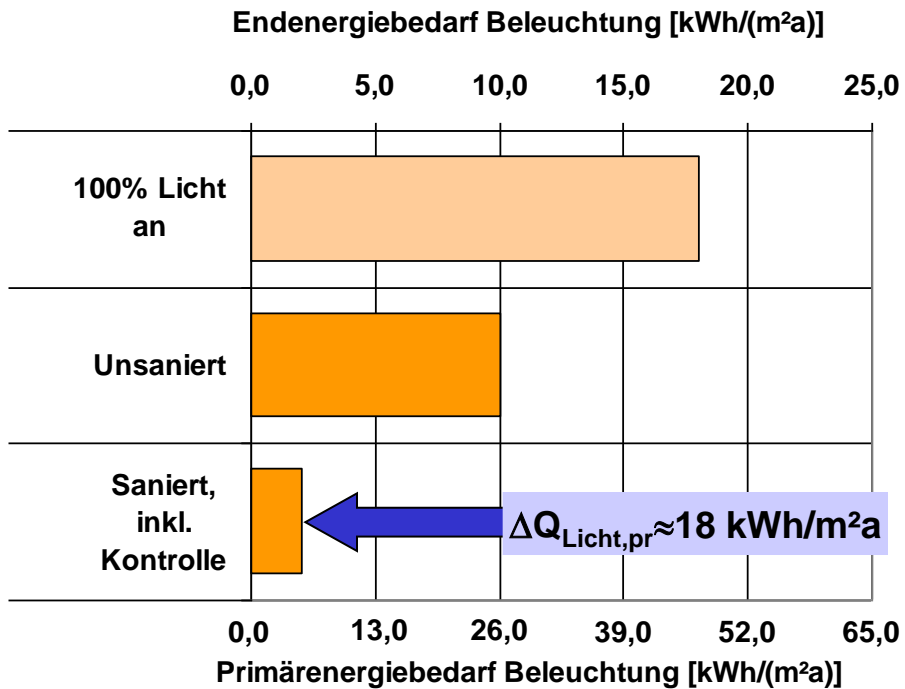
Überblick

1. Anforderungen Lichtqualität
- 2. Effizienzpotentiale**
3. Ansätze auf Komponentenbasis
4. Ansätze auf Systembasis

Potentiale: Gesamtheitliche Betrachtung



Potentiale: Energiebedarf beispielhafter Klassenraum



Potentiale: Planung von Beleuchtungsanlagen

80% der neu gebauten Nichtwohngebäude werden in Bezug auf Anordnung der Beleuchtung und Einsatz verfügbarer Beleuchtungstechnologien nicht ausreichend geplant

Quelle: ZVEI, Trilux



2-flammig, 2*58 W

T 26, EVG

$\eta_{LB} = 45 \%$

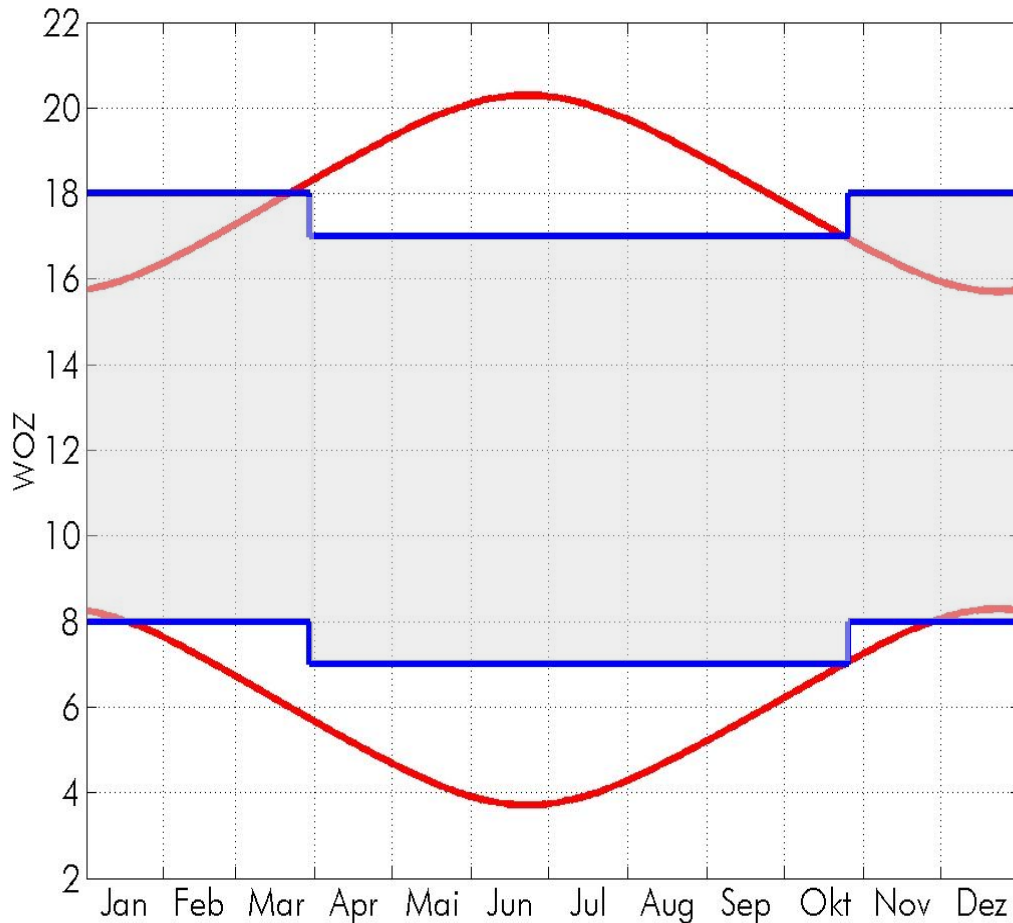
$\eta_{ges} = 39 \text{ lm/W}$

State of the Art Langfeld-
Leuchtstofflampensystem:

η_{ges} bis 85 lm/W

Potentiale: Tageslicht

Nutzungszeit und Tageslichtangebot



- Aussen: Tageslicht zu 93 % der verfügbar

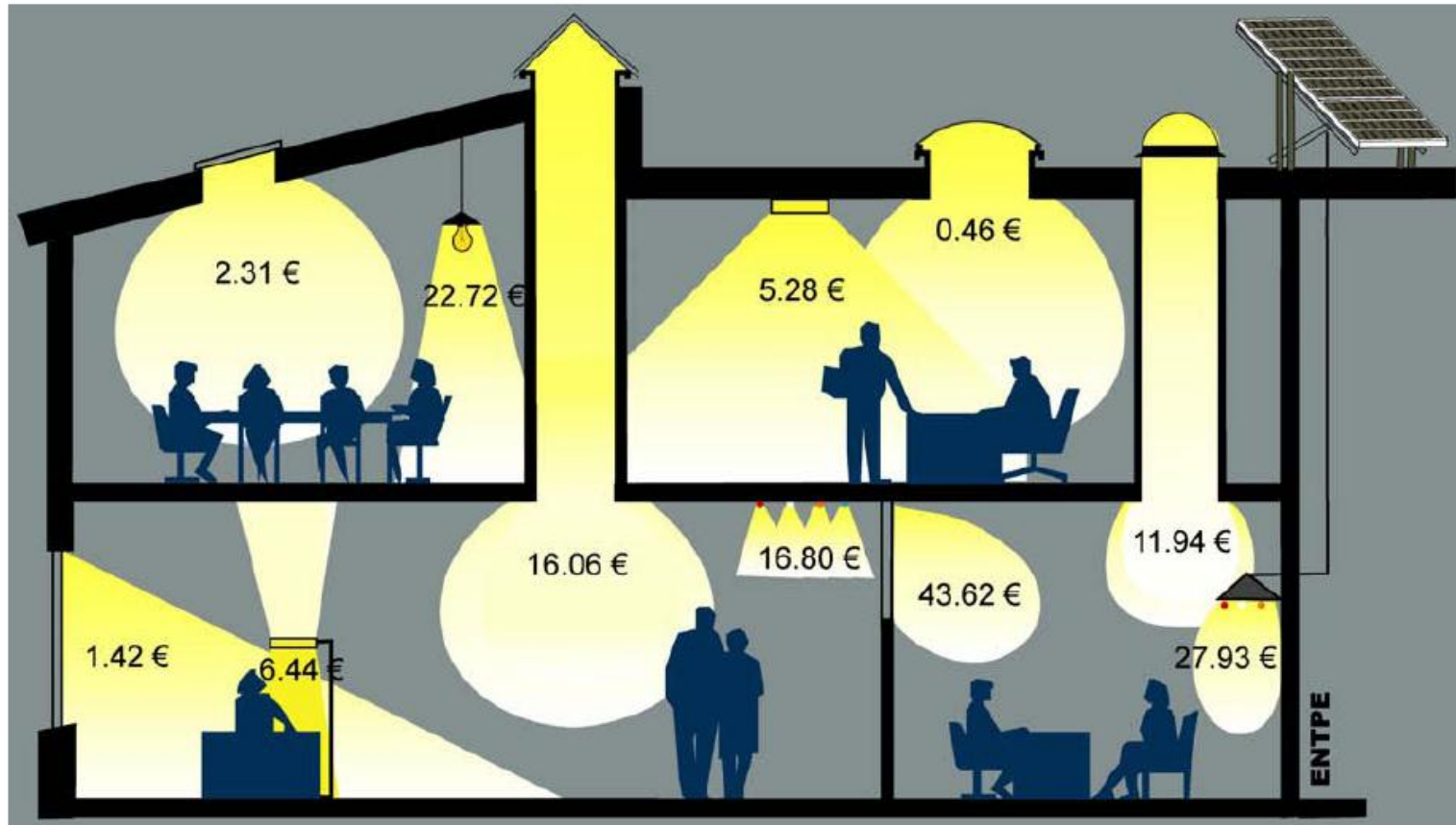
- Innen: Tageslichtversorgung bis zu 80 %

- Verfügbare Belichtung Außen: ca. 100 Mlxh/a

- Erforderliche Belichtung Innen: 1,173 Mlxh/a (Büro, vergleichbar Ganztagschulen)

Potentiale: Tageslicht

Jährliche Kosten (€/Mlmh) verschiedener Kunstlicht und Tageslichttechniken



(Fontoynt 2009)

Potentiale: Bestandsertüchtigung

Nur geringe Anzahl Neubauten



Geo-reisecommunity

~3% Sanierungsrate

(Schätzung Fassaden und Beleuchtungsindustrie)

40-50% des Umsatzes der Fassaden- und Beleuchtungsindustrie im Bereich Sanierung

75 % der Beleuchtungsanlagen veraltet (älter als **25 Jahre**)



Marquardt



Wikipedia, Apfel3748



“Lighting retrofits can save significant amounts of energy costeffectively”

LIGHT'SLABOUR'S LOST, Policies for Energy-efficient Lighting, IEA, 2006

Überblick

1. Anforderungen Lichtqualität
2. Effizienzpotentiale
- 3. Ansätze auf Komponentenbasis**
4. Ansätze auf Systembasis

Überblick

1. Anforderungen

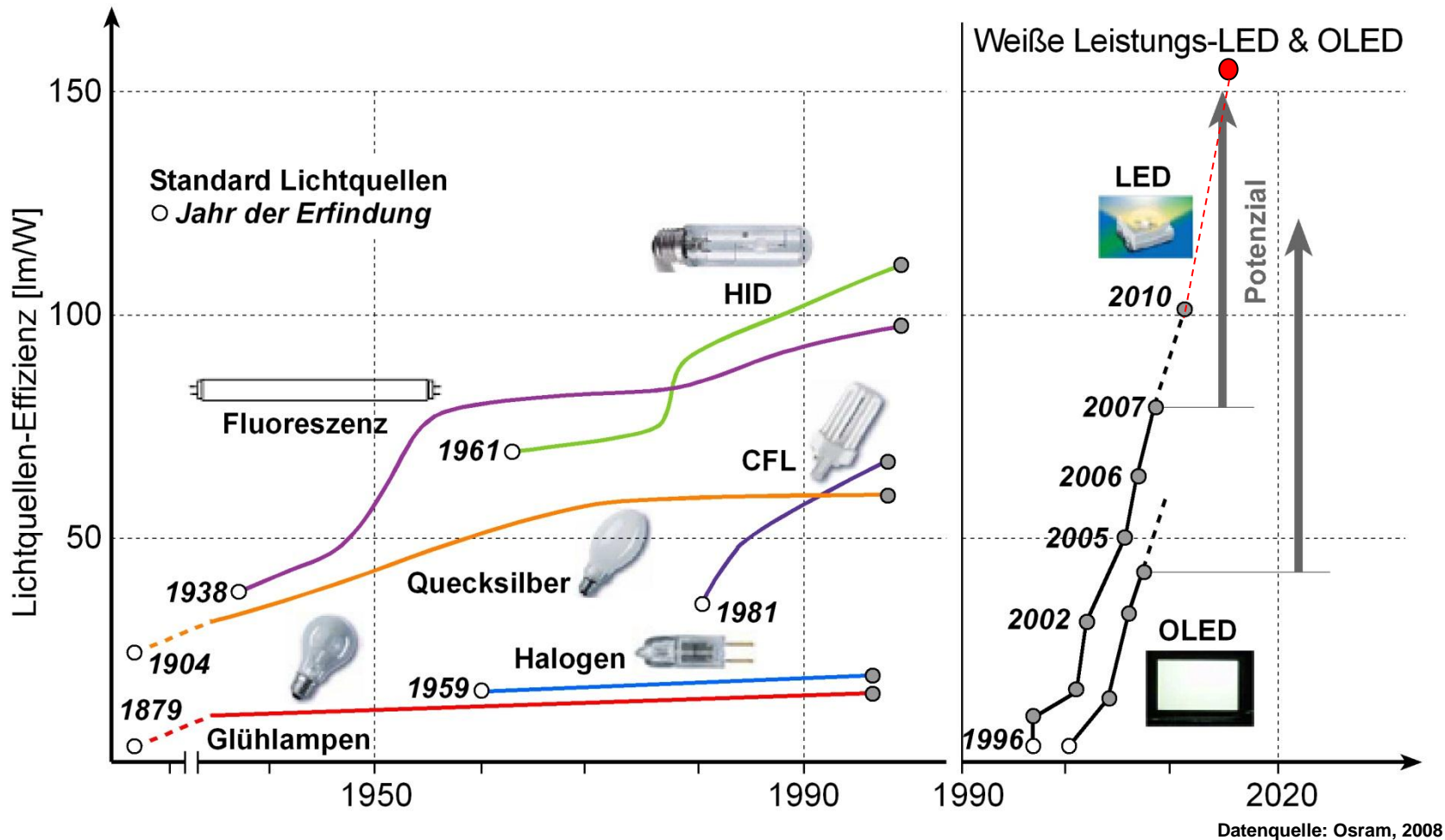
2. Potentiale energieeffizienter Beleuchtung

3. Ansätze auf Komponentenbasis

- Z.B. EUP (Ökodesign Richtlinie):
 - Lampen: 244/2009 „Glühlampenverbot“, 245/2009 (betrifft Entladungslampen)
 - Vorschaltgeräte, Begrenzung der Standby-Verluste
- Neue Technologien: LED

4. Ansätze auf Systembasis

LEDs: Entwicklung Lichtausbeute



LEDs: Energetische Effizienz

Tabelle 1: Diskutierter Entwurf der Erweiterung des Tabellenverfahrens der DIN V 18599-4 unter Einbeziehung von LED Lampen und Leuchten (hinterlegt).

Lampenart	Faktor k_L			
	Vorschaltgerät			
	–	EVG ^a	VVG ^b	KVG ^c
Glühlampen	6	–	–	–
Halogenglühlampen	5	–	–	–
Leuchtstofflampen stabförmig	–	1,0	1,14	1,24
Leuchtstofflampen kompakt, externes Vorschaltgerät	–	1,2	1,4	1,5
Leuchtstofflampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	–	1,6	–	–
Metallhalogenlamp-Hochdruck	–	0,86	–	1
Natriumdampf-Hochdruck	–	–	–	0,8
Quecksilberdampf-Hochdruck	–	–	–	1,7
LED Ersatzlampen (Ersatz für Glühlampen, Halogenglühlampen und Leuchtstofflampen, auch Retrofit-Produkte genannt)	–	1,5	–	–
LEDs in LED Leuchten ^d	–	1,0	–	–

Stand 2/2011

^a EVG: Elektronische Vorschaltgeräte.
^b VVG: Verlustarme Vorschaltgeräte.
^c KVG: Vorschaltgeräte konventioneller Bauart.
^d Leuchten speziell für das Leuchtmittel LED konstruiert



∅ η_{Sys} ca. 53 lm/W



∅ η_{Sys} ca. 51 lm/W



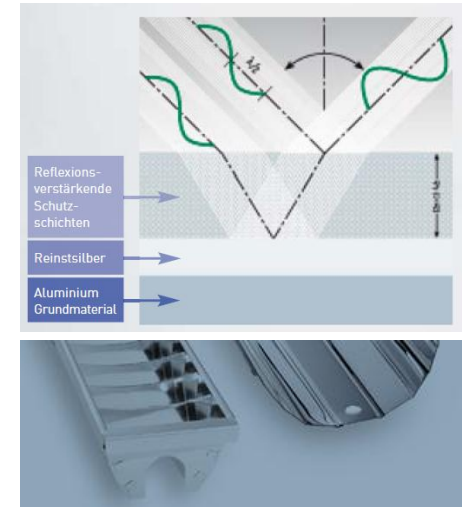
∅ η_{Ges} ca. 61 lm/W

$\eta_{\text{Sys}} \cong \text{Lichtstrom} / \text{Leistung (Lampe und Betriebselektronik)}$

$\eta_{\text{Ges}} \cong \text{Lichtstrom} / \text{Leistung (Lampe, Betriebselektronik, Leuchte)}$

Konventionelle Leuchten: Effizienz

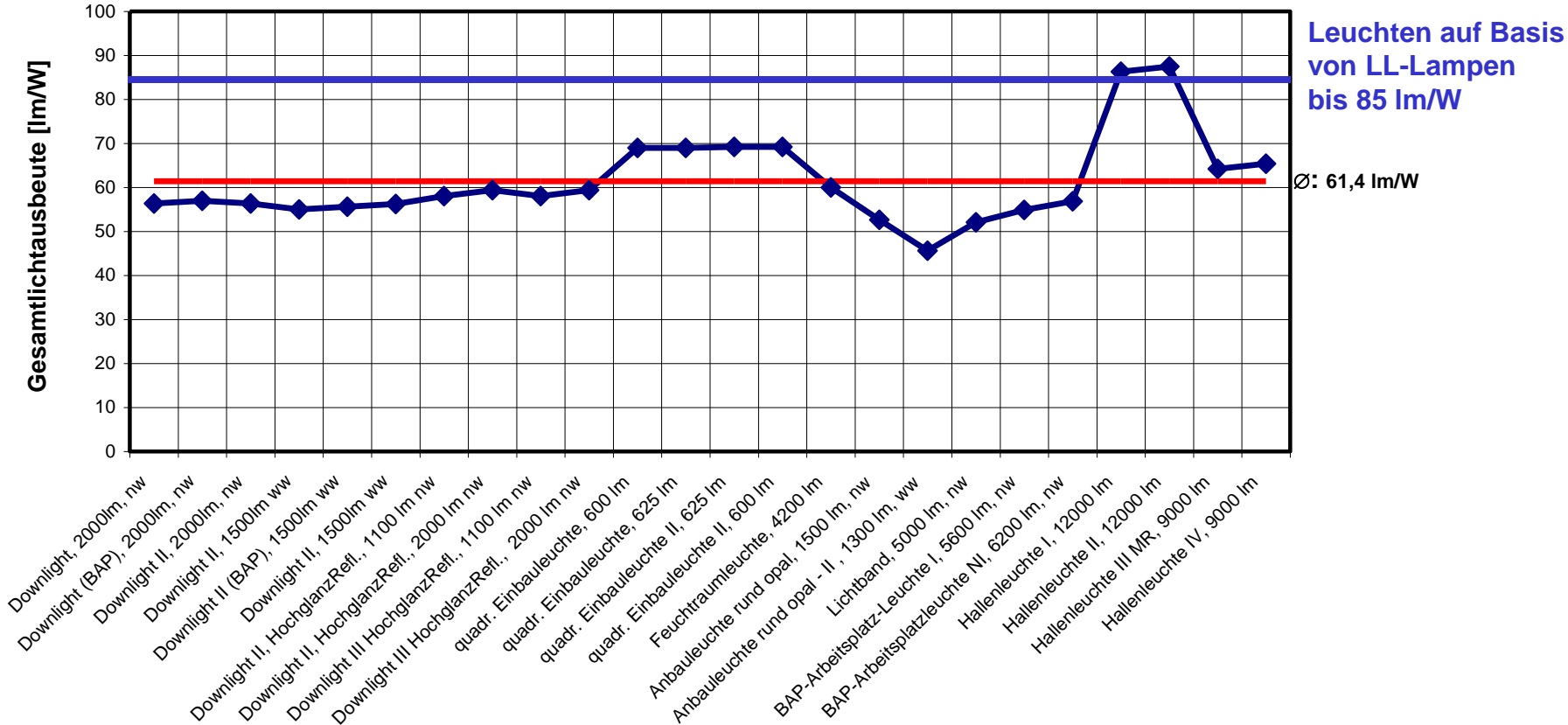
- Reflektorbleche bis 98 % Reflexionsgrad
- Dadurch höhere Leuchtenbetriebswirkungsgrade,
- BAP Leuchten um $\eta_{LB} = 90 \%$
- ->“Konventionelle Technik“: η_{Ges} bis ca. 85 lm/W



© Alanod

LEDs: Energetische Effizienz: „LEDs ind LED Leuchten“

Querschnitt, unterschiedlicher LED-Leuchten
(Downlights, BAP-Leuchten, Hallenleuchten), Stand 18.2.2011



Verkehrswege: Energiebedarf

CFL-Downlight



3,1 W/m²

LED-Downlight



2,7 W/m²

Überblick

1. Anforderungen
2. Potentiale energieeffizienter Beleuchtung
3. Ansätze auf Komponentenbasis
- 4. Ansätze auf Systembasis**

Überblick

1. Anforderungen

2. Potentiale energieeffizienter Beleuchtung

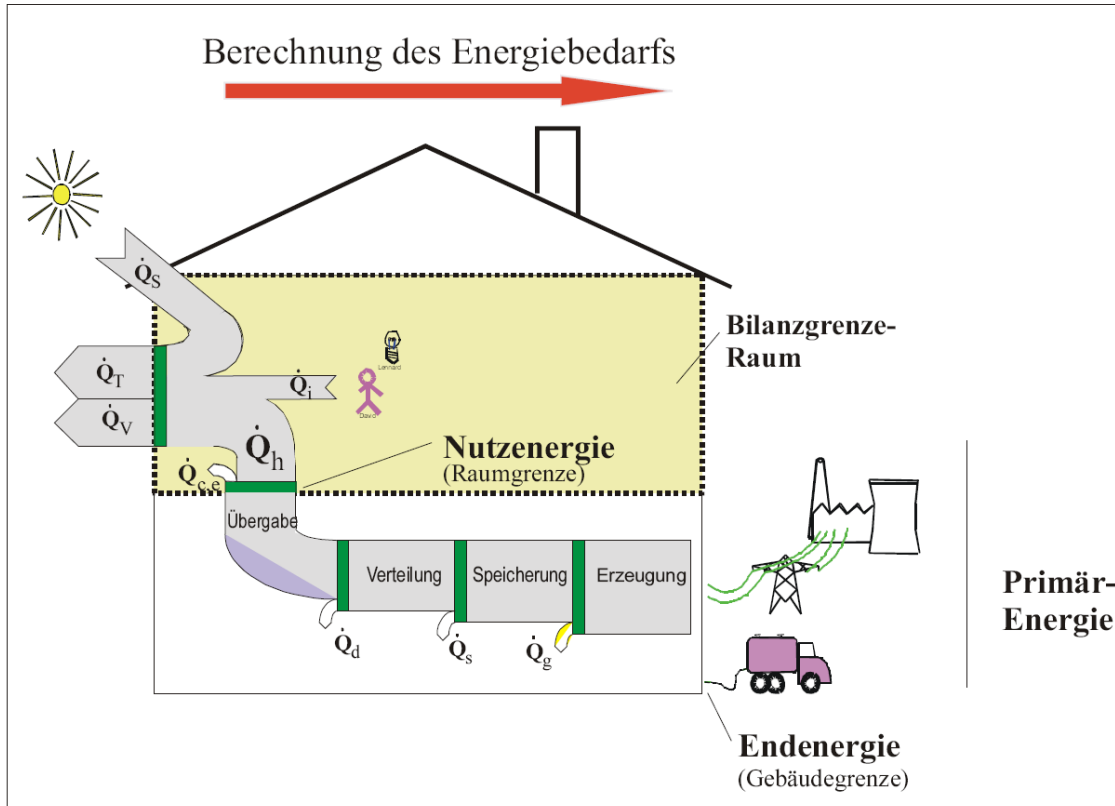
3. Ansätze auf Komponentenbasis

4. Ansätze auf Systembasis

- DIN V 18599-4, EN 15193, ISO, EnEV (Referenzgebäudeverfahren)
- Erweiterungen:
 - Aufwandszahlen (Erhöhte Planungstransparenz)
 - Empfehlung von Beleuchtungstechniken
- Neue Technologien: Lichtmanagement
- Ganzheitliche Betrachtung, Tools

Aufwandszahl: Übersicht

Beispiel Heizungstechnik



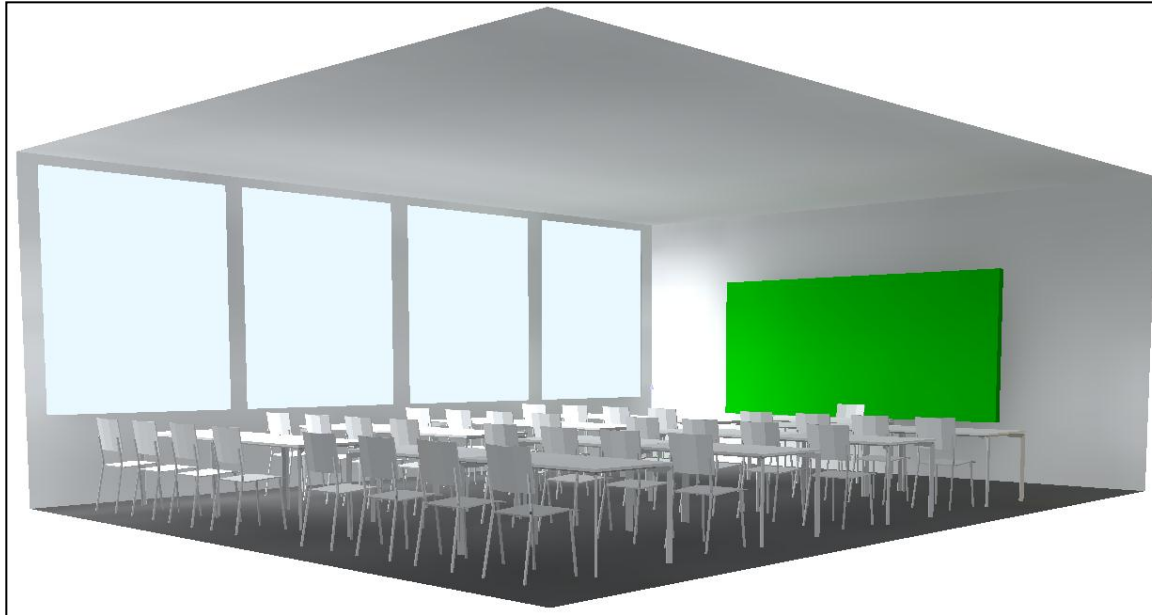
$$Q_{h,End} = e_h \cdot Q_{l,Nutz}$$

$$e_h = \frac{Q_{h,End}}{Q_{h,Nutz}}$$

Aufwandszahl: Übersicht

- Bisher bei Beleuchtung **Nutzenergie = Endenergie**
- Aufwandszahl für Beleuchtung:
$$e_l = \frac{Q_{l,End}}{Q_{l,Nutz}}$$
- Einheitliche Beschreibung der Anlagentechnik in DIN V 18599
- Verbesserte Transparenz der Energieströme
- **Keine neue Berechnung; andere Art zu bewerten!**

Aufwandszahl: Was bestimmt die Nutzenergie $Q_{I,Nutz}$?



Geometrie: $Q_{I,Nutz} = f(\dots, \mathbf{k}, \dots)$

Reflexionsgrade: $Q_{I,Nutz} = f(\dots, \rho, \dots)$

Fassade: $Q_{I,Nutz} = f(\dots, \mathbf{a}, \mathbf{b}, \tau, \dots)$

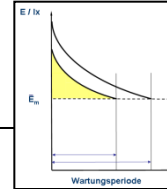
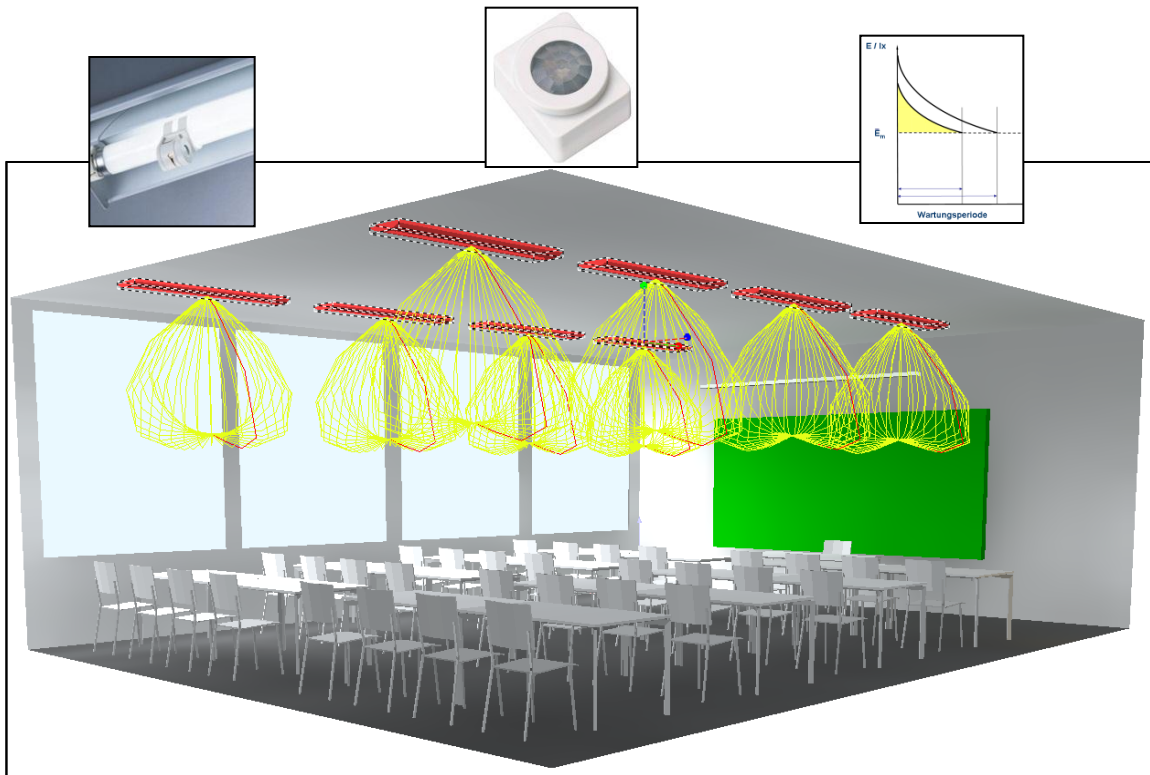
Nutzung: $Q_{I,Nutz} = f(\dots, \text{DIN EN 12464-1, Nutzungszeiten, } \dots)$

Definition $Q_{I,Nutz}$: „Die Nutzenergie für die Beleuchtung $Q_{I,Nutz}$ ist das energetische Äquivalent des zur künstlichen Beleuchtung des Raumes auf der Grundlage von festgelegten beleuchtungstechnischen Anforderungen benötigten Lichtstroms gewichtet mit der effektiven Betriebszeit bei idealem Lichtmanagement (ideale regelungs-, oder steuerungstechnische Ausnutzung der Energieeinsparpotentiale aus Abwesenheit, Tageslicht und wartungsbedingter Überbemessung der künstlichen Beleuchtungsanlage)

Aufwandszahl: Beispiele für die Nutzenergie $Q_{I,Nutz}$

Nr.	Raumtyp	Beleuchtungssystem	Nutzenergie
			$Q_{I,Nutz}$ [kWh/m ²]
1	Verkehrsfläche	alt	0,7
		neu	0,7
2	Einzelbüro	alt	2,1
		neu	2,1
3	Lehrerzimmer (Großraumbüro)	alt	7,5
		neu	7,5
4 a)	Turnhalle mit Dachoberlichtern	alt	0,4
		neu	0,4
4 b)	Turnhalle ohne Dachoberlichter	alt	6,4
		neu	6,4
5	Klassenzimmer	alt	1,4
		neu	1,4

Aufwandszahl: Was berücksichtigt die Aufwandszahl e_l ?



Kunstlicht $e_{l,K}$ X
Präsenzerfassung $e_{l,prä,kon}$ X
Tagestlichtabh. Kontrolle $e_{l,TL,Kon}$ X
Konstantlichtkontrolle $e_{l,KL,Kon}$ =
Aufwandszahl für Beleuchtung e_l

Aufwandszahl: Systematik

Teilaufwandszahl für das Kunstlichtsystem

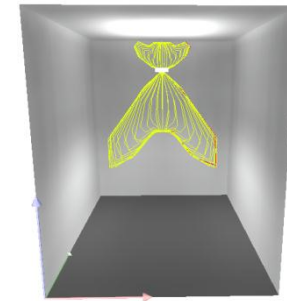
Lichterzeugung



Lichtverteilung



Lichtübergabe

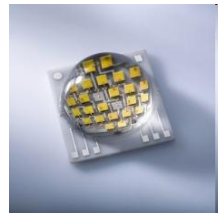


$$e_{l,k} = e_{l,K,Erzeugung} \times e_{l,k,Verteilung} \times e_{l,K,Übergabe}$$

$$e_{l,K,Erzeugung} = \frac{140 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot f_{VG}}{\eta_L}$$

$$e_{l,k,Verteilung} = \frac{1}{\eta_{LB}}$$

$$e_{l,K,Übergabe} = \frac{\eta_{R,Ref}}{\eta_R}$$



Beschreibung			Spektrum	Lichtausbeute η_L	Farbtemperatur T	Farbwiedergabe R_a
				[lm/W]	[K]	[%]
T.1	Temperaturstrahler (Glühlampe)	Ca. 2700 - 2856 K (Normlichtart A)		Ca. 10,8-16.8	Ca. 2700-2856 K	100
T.2	Temperaturstrahler (genähert Tageslicht)	Ca. 6500 K (genähert D65)		Diffuser Himmel 115, klarer Himmel 124 klarer Nordhimmel 140	6500	Ca. 100
LL.1	Leuchtstofflampe 1	6400			4100	64
LL.3	Leuchtstofflampe 3			Maximal: bis ca. 100 (bei Ra: 80...89)	5208	92
LED.1	LED	Nichia NCSW119 262lm weiss	 ■ 発光スペクトル Spectrum T _a :25°C I _F =350mA Relative Emission Intensity (a.u.) 波長 λ (nm) Wavelength λ (nm)	133 (bei 350 mA)	5000	75
LED.2	LED	Nichia NCSW119 170lm warmweiss	 ■ 発光スペクトル Spectrum T _a :25°C I _F =350mA Relative Emission Intensity (a.u.) 波長 λ (nm) Wavelength λ (nm)	84 (bei 350 mA)	3500	>85
E.1	Entladung	Halogen, Metall- dampf, 942 (z.B. OSRAM HCI-T 150/942)		96	Ca. 4000	98

$\eta_{L,Ref} = 140 \text{ lm/W}$

Aufwandszahl: Beispiel

Nr.	Raumtyp	Beleuchtungs- system	Nutzenergie	Aufwandszahl Beleuchtung
			$Q_{i,Nutz}$	e_i
			[kWh/m ²]	[-]
1	Verkehrsfläche	alt	0,7	6,6
		neu	0,7	2,2
2	Einzelbüro	alt	2,1	14,9
		neu	2,1	2,3
3	Lehrerzimmer (Großraumbüro)	alt	7,5	6,5
		neu	7,5	2,3
4 a)	Turnhalle mit Dachoberlichtern	alt	0,4	40,2
		neu	0,4	4,0
4 b)	Turnhalle ohne Dachoberlichter	alt	6,4	6,2
		neu	6,4	1,9
5	Klassenzimmer	alt	1,4	9,3
		neu	1,4	2,4

Aufwandszahl: Beispiel

Nr.	Raumtyp	Beleuchtungs- system	Nutzenergie	Aufwandszahl Beleuchtung	Faktor alt vs. neu
			$Q_{i,Nutz}$	e_i	
			[kWh/m ²]	[-]	[-]
1	Verkehrsfläche	alt	0,7	6,6	
		neu	0,7	2,2	3,0
2	Einzelbüro	alt	2,1	14,9	
		neu	2,1	2,3	6,6
3	Lehrerzimmer (Großraumbüro)	alt	7,5	6,5	
		neu	7,5	2,3	2,8
4 a)	Turnhalle mit Dachoberlichtern	alt	0,4	40,2	
		neu	0,4	4,0	10,1
4 b)	Turnhalle ohne Dachoberlichter	alt	6,4	6,2	
		neu	6,4	1,9	3,3
5	Klassenzimmer	alt	1,4	9,3	
		neu	1,4	2,4	3,9

**Neuanlage ca. 4 x
energetisch effizienter
als Altanlage**

Aufwandszahl: Beispiel

Nr.	Raumtyp	Beleuchtungs- system	Nutzenergie	Aufwandszahl Beleuchtung	Endenergie
			$Q_{l,Nutz}$	e_l	$Q_{l,End}$
			[kWh/m ²]	[-]	[kWh/m ²]
1	Verkehrsfläche	alt	0,7	6,6	4,6
		neu	0,7	2,2	1,5
2	Einzelbüro	alt	2,1	14,9	31,3
		neu	2,1	2,3	4,7
3	Lehrerzimmer (Großraumbüro)	alt	7,5	6,5	48,5
		neu	7,5	2,3	17,0
4 a)	Turnhalle mit Dachoberlichtern	alt	0,4	40,2	16,1
		neu	0,4	4,0	1,6
4 b)	Turnhalle ohne Dachoberlichter	alt	6,4	6,2	39,9
		neu	6,4	1,9	12,2
5	Klassenzimmer	alt	1,4	9,3	13,1
		neu	1,4	2,4	3,4

x

A.5 Beispiele für die lichttechnische Ausstattung unterschiedlicher Nutzungsarten

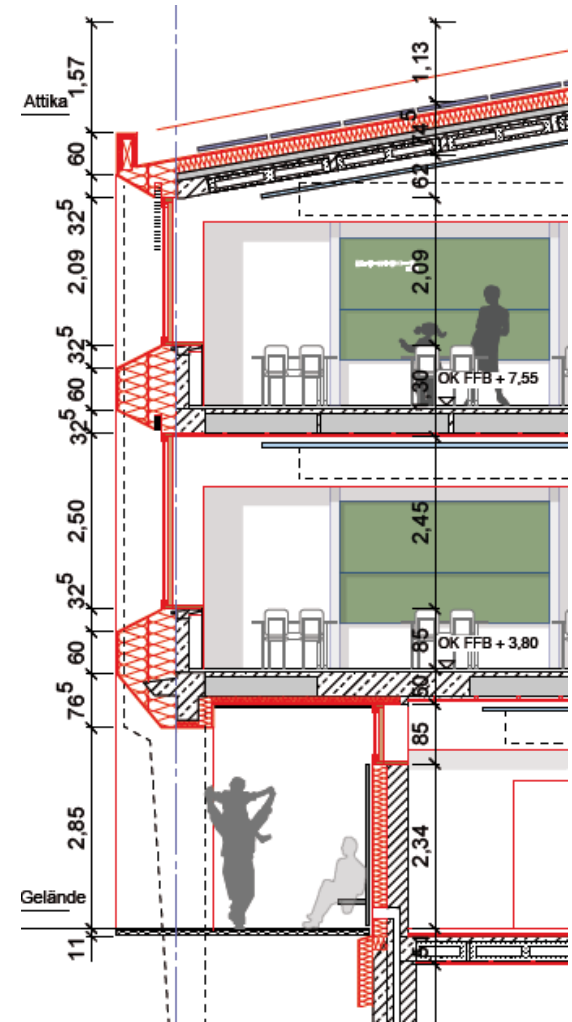
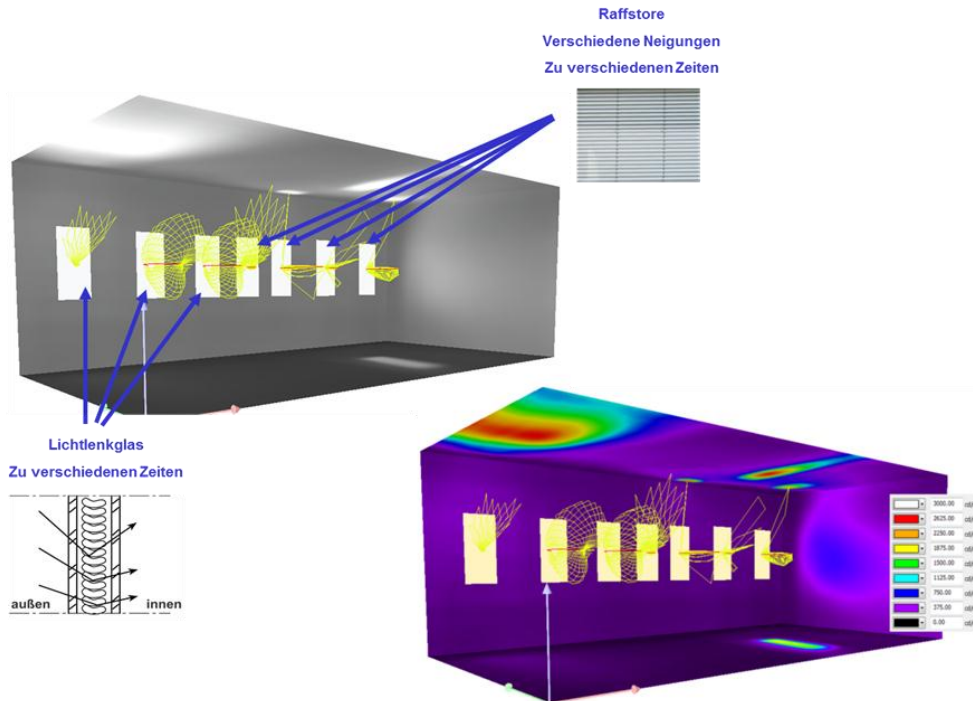
Tabelle A.5 — Beispiele für die lichttechnische Ausstattung unterschiedlicher Nutzungsarten

Nutzungsart	Nutzungsprofil Nichtwohngebäude	Beleuchtungsart	Sonnen- und oder Blendschutz	Lichtmanagement		
				Konstantlichtstromkontrolle	Präsenzmelder	Tageslichtabhängige Kontrolle
1	Einzelbüro	direkt / indirekt	lichtlenk. Systeme ^a	(X) ^b	X	X
2	Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	direkt / indirekt	lichtlenk. Systeme ^a	(X) ^b	X	X
3	Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätze)	direkt / indirekt	lichtlenk. Systeme ^a	(X) ^b		X
4	Besprechung, Sitzung, Seminar	direkt / indirekt	lichtlenk. Systeme ^a	(X) ^b	X	X
5	Schalterhalle	direkt		X		
6	Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	Wie ist				
7	Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	Wie ist				
8	Klassenzimmer (Schulen)	direkt / indirekt	lichtlenk. Systeme ^a	(X) ^b	X	X
9	Hörsaal, Auditorium	direkt		X	X	
10	Bettzimmer	direkt / indirekt		X		
11	Hotelzimmer	direkt / indirekt			X	
12	Kantine	direkt / indirekt	lichtlenk. Systeme ^a	(X) ^b		X
13	Restaurant	wie ist				
14	Küchen in Nichtwohngebäuden	direkt		X		
15	Küche — Vorbereitung, Lager	direkt			X	
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	direkt			X	
17	Sonstige Aufenthaltsräume	direkt / indirekt			X	
18	Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume)	direkt				
19	Verkehrsfächen	direkt			X	
20	Lager, Technik, Archiv	direkt				
21	Serverraum, Rechenzentrum	direkt			X	
22	Werkstatt, Montage, Fertigung	direkt		X		

Tageslichtnutzung: Ganzheitliche Betrachtung

Beibehaltung oder Verbesserung der Tageslichtversorgung in Sanierungsvorhaben:

- z.B. gezielter Umgang mit hohen Dämmstärken
- Einsatz lichtlenkender Fassadenelemente



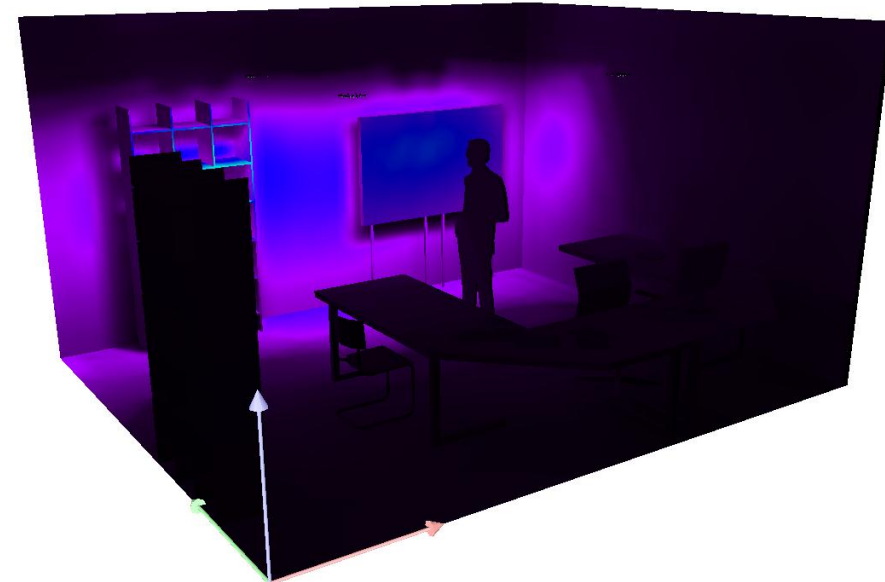
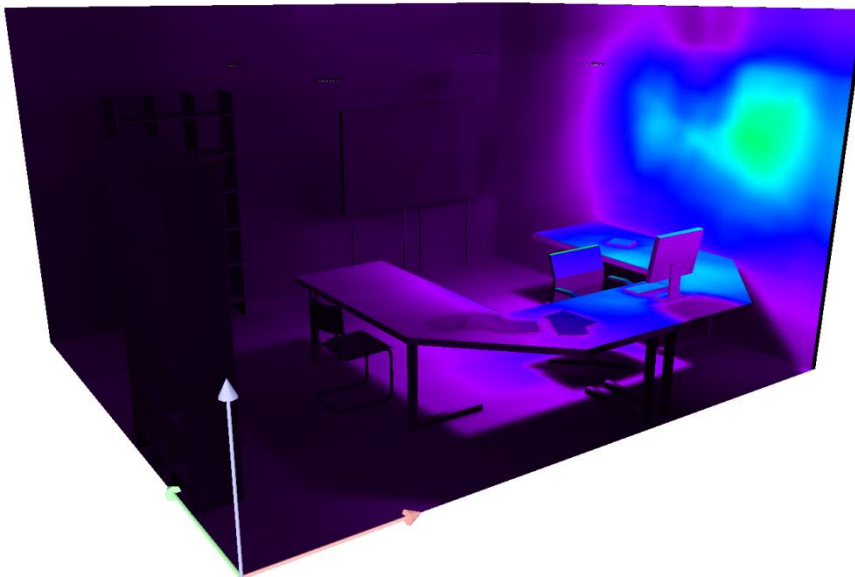
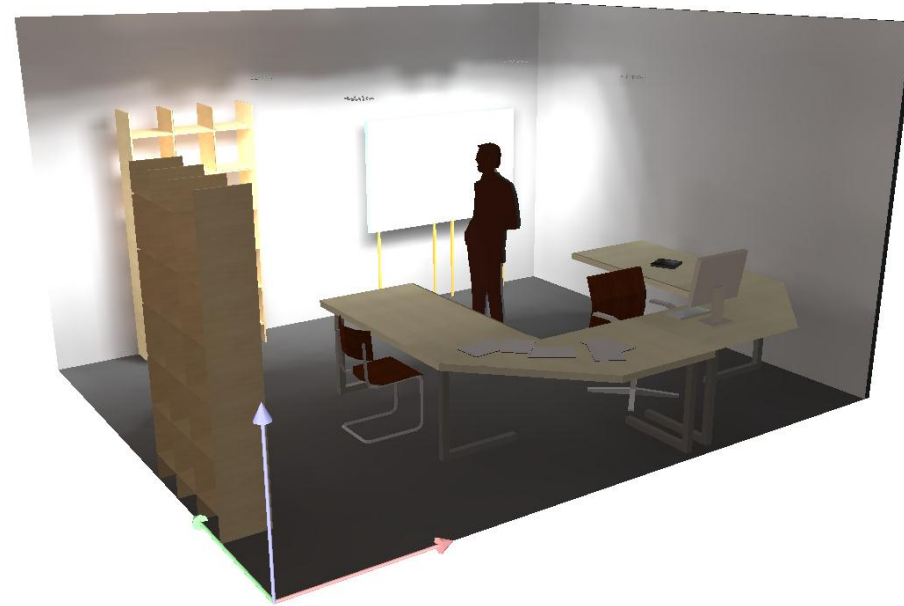
Quelle: Hotz Architekten

Tools: Einfache Werkzeuge

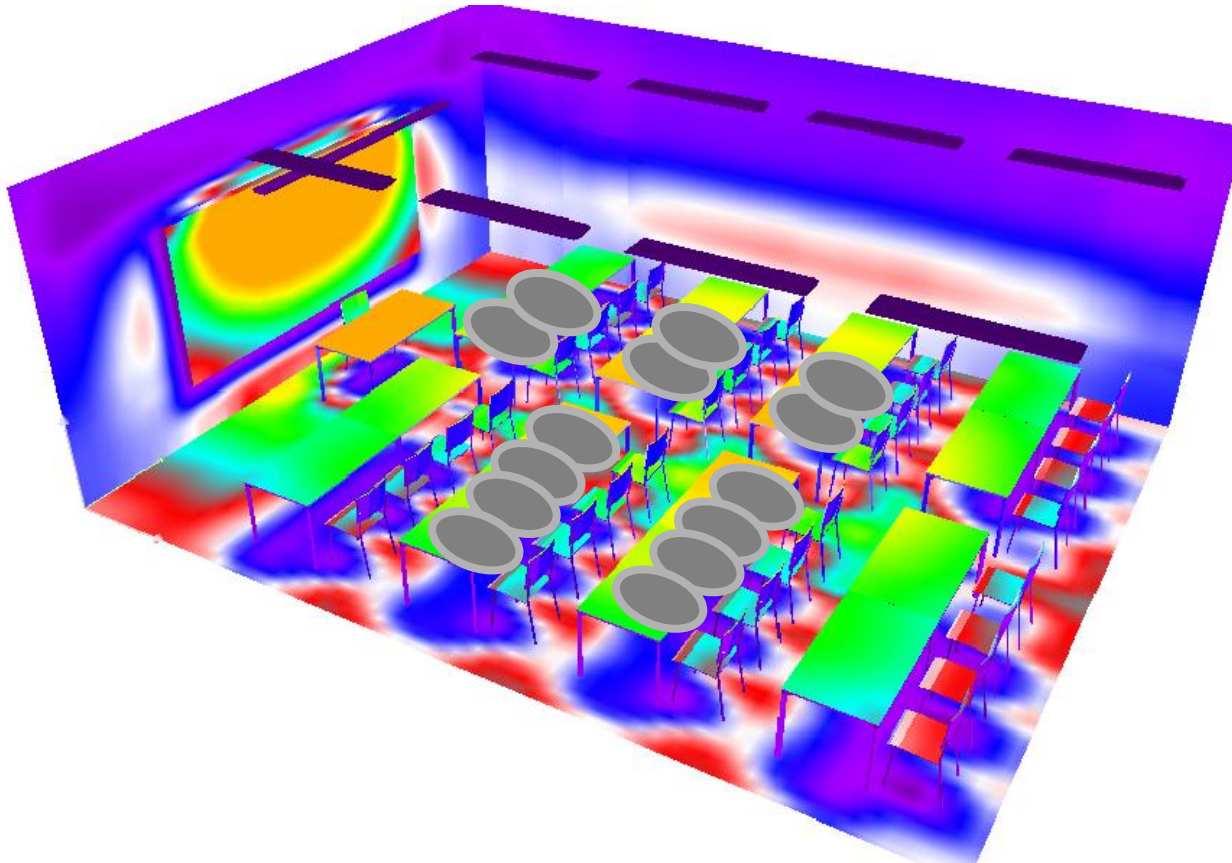
In situ Bewertung von Sanierungsfällen



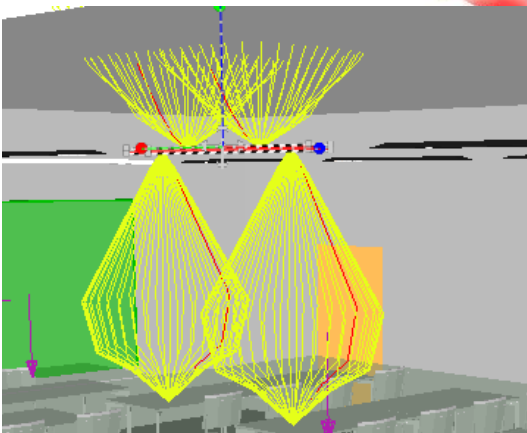
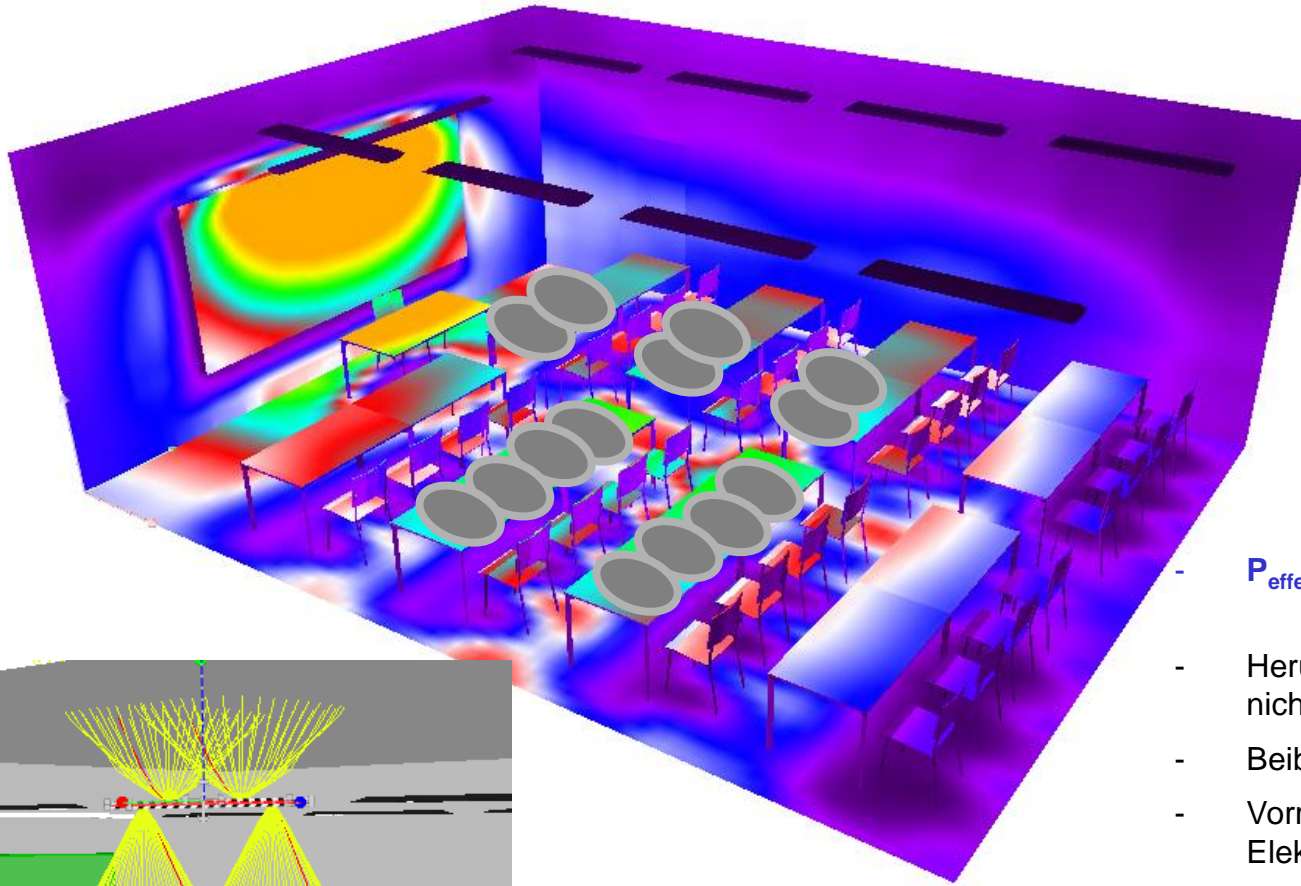
Neue Technologien: Lichtmanagement



Neue Technologien: Lichtmanagement



Fachräume: „Arbeitsplatzbezogenes“ Lichtmanagement



- $P_{\text{effektiv}} = 0,59 * P_{\text{inst}}$
- Herunterdimmen der Beleuchtung in nicht genutzten Raumbereichen
- Beibehaltung von Umfeldleuchtdichten
- Voraussetzung: Dimmfähige Lampen
Elektronik, Bus (Dali, DMX)
- Nutzung der Flexibilität von LEDs
- Sinnvoll nur bei variabler Belegungen
- Sensorik: Lokal, Zentral (Lehrer),
Automatisch

Zusammenfassung / Ausblick

- Beleuchtungsqualität:
 - DIN EN 12464-1: Überarbeitete Anforderungen
- Effizienzpotentiale
 - Beleuchtung planen!
 - Tageslicht
 - Sanierung
- Beleuchtungskomponenten
 - EUP-Richtlinie
 - LED-Lösungen im Kommen
- Beleuchtungssysteme
 - Aufwandszahlen für Beleuchtung
 - Erweiterung Anforderungen (EnEV 2012)
 - Neue Ansätze im Lichtmanagement



