



Kann man Lichtqualität messen?

Cornelia Vandahl

TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

Kontakt:

Dr. Cornelia Vandahl, Tel. (03677) 69-3735

cornelia.vandahl@tu-ilmenau.de

Agenda

- Begriffsdefinition
- ELI-Fragebogen
- LiTG-Schrift „Lichtqualität“
- Zusammenfassung

Was ist Lichtqualität ?

Qualität

- DIN EN ISO 9000:2005: Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt.
- Übereinstimmung von Leistungen mit Anforderungen

Lichtqualität

- Nutzer stellt Anforderungen an das Licht
- Realisierung (=Leistung) wird beurteilt

Lichtplanung

Nutzer

- Lichtanwender
- Bauherr
- Architekt
- Arbeitswissenschaftler

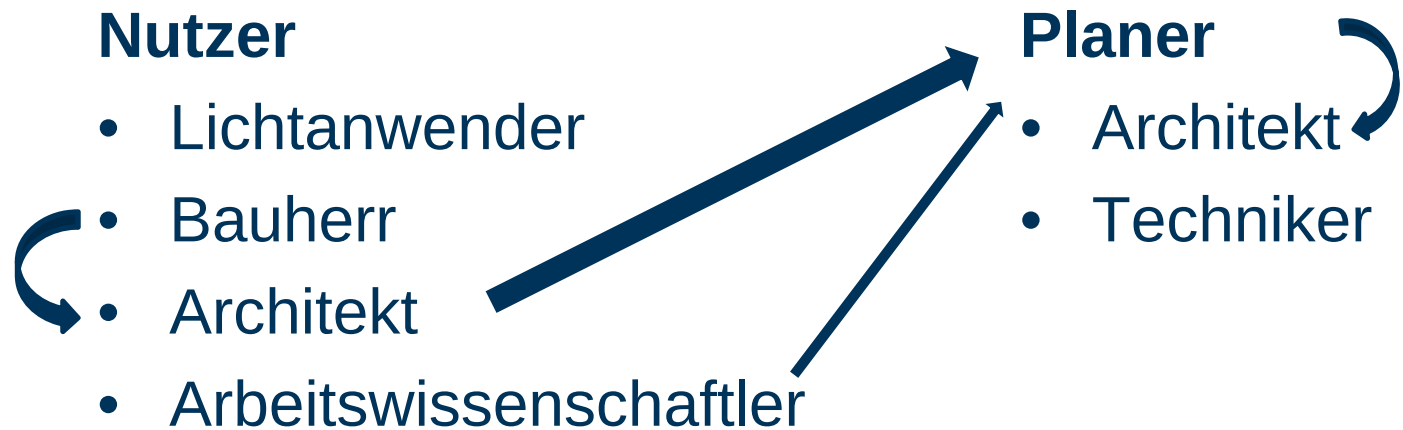
Planer

- Architekt
- Techniker

(u. U. kein Fachmann)

Lichtplanung

Nutzer

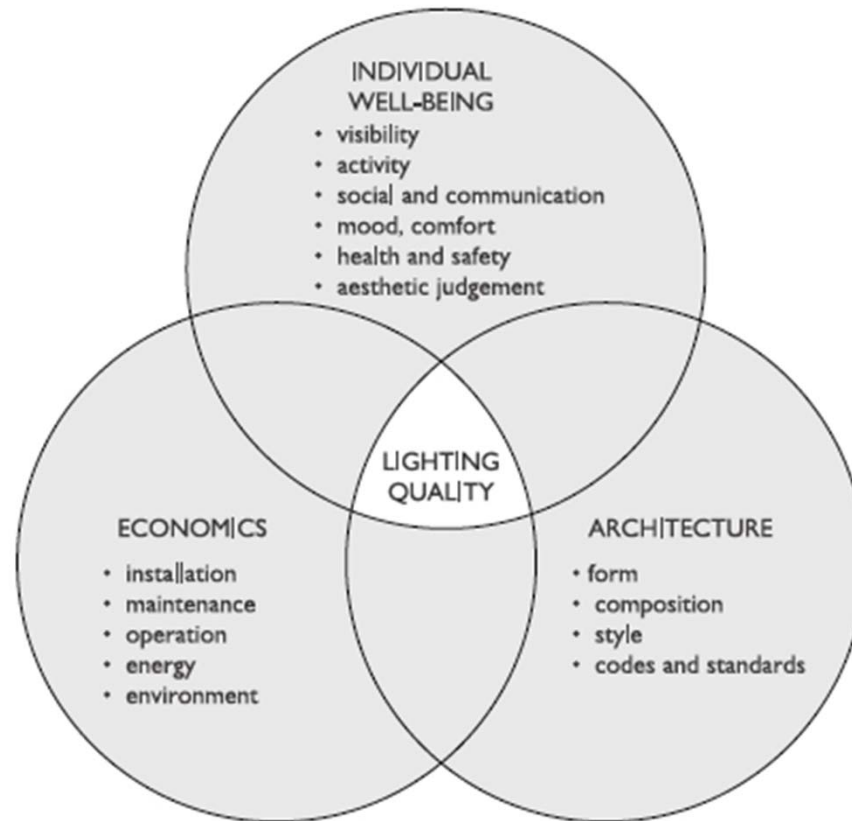
- Lichtanwender
 - Bauherr
 - Architekt
 - Arbeitswissenschaftler
- 

Planer

- Architekt
 - Techniker
- 

(u. U. kein Fachmann)

Aspekte der Lichtqualität



Aspekte der Lichtqualität

„Klassische“ Gütemerkmale

Beleuchtungsniveau $\bar{E}_m, \bar{L}_m$

Blendungsbegrenzung $TI = 65 \frac{L_v}{L_u^{0,8}} \%$

$$UGR = 8 \lg \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \Omega}{p^2} \right)$$

Farbwiedergabe

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i$$

$$R_a = \sum_{i=1}^8 R_i$$

Gleichmäßigkeit

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{\text{mittel}}}$$

Kontrastwiedergabe

$$CRF = \frac{C_{\text{vorh}}}{C_{\text{ideal}}}$$

Spiegelung/Reflexe

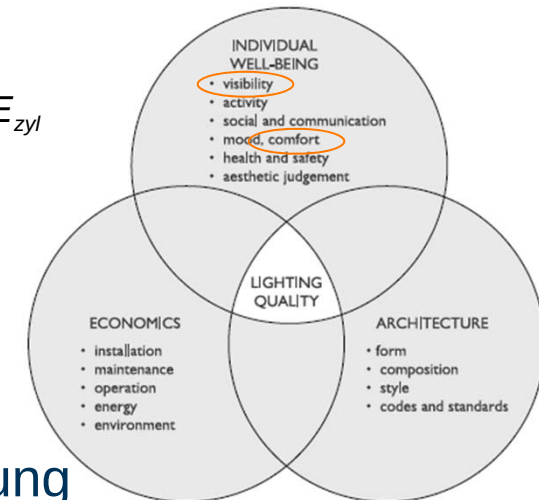
$$K = \frac{L_{0,u} + q E + \rho_r L_s}{L_{0,z} + q E + \rho_r L_s}$$

Lichtrichtung

Schattigkeit

Plastizität, Modelling

E_{zyl}



Installierte Leistung
Energiebedarf

Aspekte der Lichtqualität

„Klassische“ Gütemerkmale

Beleuchtungsniveau $\bar{E}_m, \bar{L}_m$

Blendungsbegrenzung $TI = 65 \frac{L_v}{L_u^{0,8}} \%$

$$UGR = 8 \lg \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \Omega}{p^2} \right)$$

Farbwiedergabe

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i$$

$$R_a = \sum_{i=1}^8 R_i$$

Gleichmäßigkeit

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{\text{mittel}}}$$

Kontrastwiedergabe

$$CRF = \frac{C_{\text{vorh}}}{C_{\text{ideal}}}$$

Spiegelung/Reflexe

$$K = \frac{L_{0,u} + q E + \rho_r L_s}{L_{0,z} + q E + \rho_r L_s}$$

Lichtrichtung

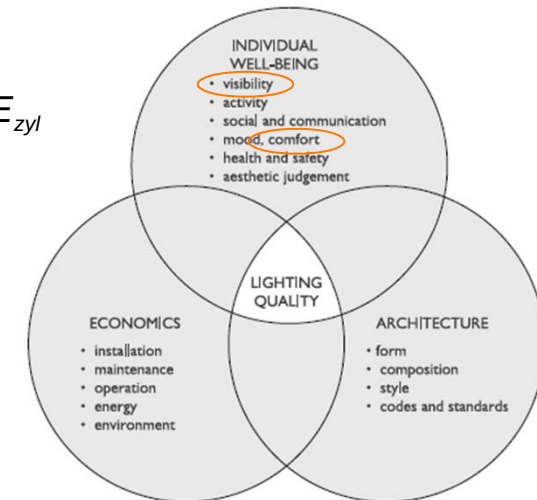
Schattigkeit

Plastizität, Modelling

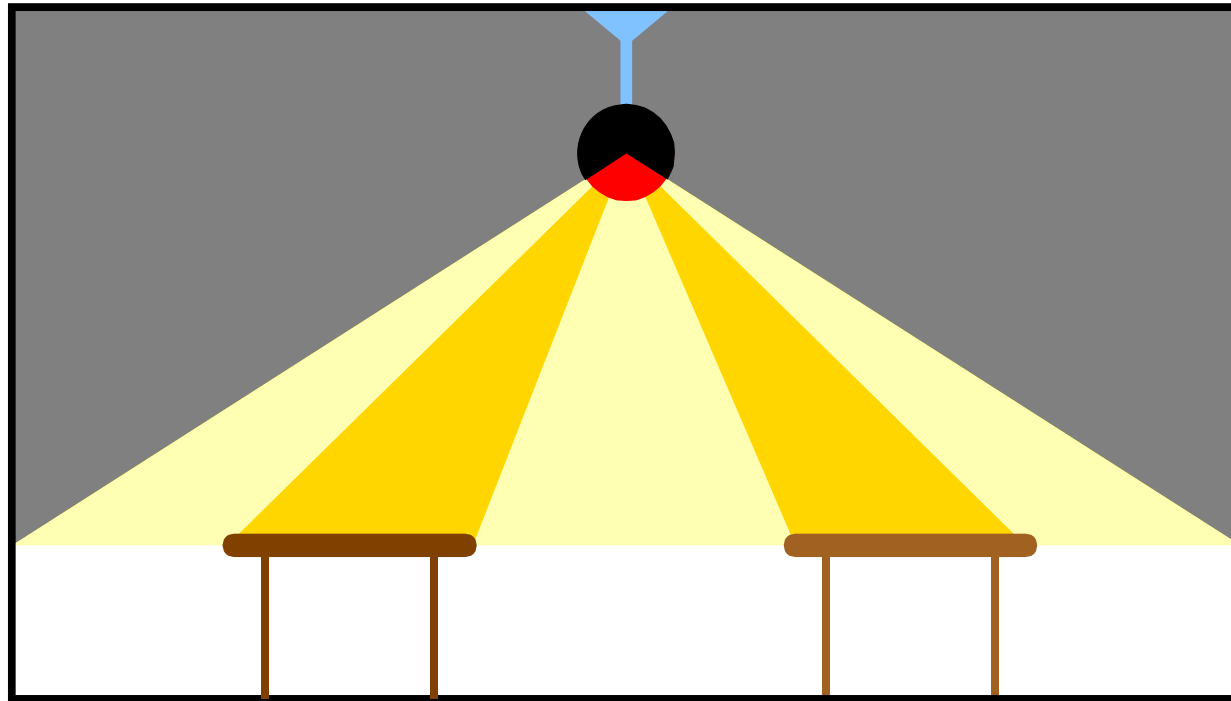


Kosten

E_{zyl}



Energieoptimierte Beleuchtung



(Schierz)



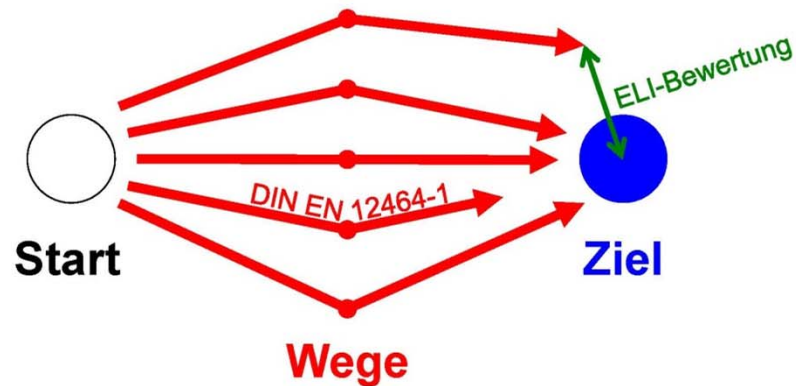
(Tralau)

ELI-Fragebogen



TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU

Fakultät für Maschinenbau



Diplomarbeit

Bewertung von Lichtqualität mit dem Ergonomic Lighting Indicator ELI - Umsetzung des Bewertungsverfahrens und empirische Untersuchung seiner Anwendung

vorgelegt von: Birthe Tralau

eingereicht am: 18.07.2007

Studiengang: Medientechnologie

Studienrichtung: Audiovisuelle Technik

Anfertigung im Fachgebiet: Lichttechnik

Aspekte der Lichtqualität

Sehleistung

Beleuchtungsniveau
Blendungsbegrenzung
Farbwiedergabe
Gleichmäßigkeit
Kontrastwiedergabe
Spiegelung/Reflexe

Sehkomfort

Leuchtdichtevertelung
Lichtfarbe
Lichtrichtung
Schattigkeit
Plastizität, Modelling
Raumeindruck
Klarheit

Erscheinungsbild

Architektonisches Konzept
Mentales Konzept
Raumeindruck
Orientierungshilfe
Lichtschwerpunkte
Außenwirkung

Vitalität

Tageslicht
Farbigkeit
Sicherheitsgefühl
Wohlbefinden

Individualität und Flexibilität

Nutzungsdauer
Individuelle Einflussnahme
Lichtstimmungen
Privatsphäre
Flexibilität

ELI Fragebogen

Fragebogen 2B:

Anforderungen (Lichtbedürfnisse)

B	Wie erscheint der Raum im Licht?
B1	Übereinstimmung des Lichtkonzepts mit der architektonischen Struktur und der vorgesehenen Möblierung
B2	Übereinstimmung des Lichtkonzepts mit Erwartungen und mentalen Konzepten (z.B. Raumstimmung in Kirche, Messehalle, Bar)
B3	Übereinstimmung des Lichtkonzepts mit den Verkehrswegen und den Aufenthaltszonen als räumliche Orientierungshilfe
B4	Erster Eindruck: Übereinstimmung der Wahrnehmungshierarchie und Ordnung mit einer vorgesehenen Inszenierung oder einem Drehbuch
B5	Übereinstimmung des Lichtkonzepts mit der äusseren architektonischen Struktur zur Aufwertung der
B6	Ausreichende sichtbare optische und mechanische Qualität der Leuchten
B7	Erhalt der Sauberkeit der Anlage bei vorgegebenem Wartungsplan

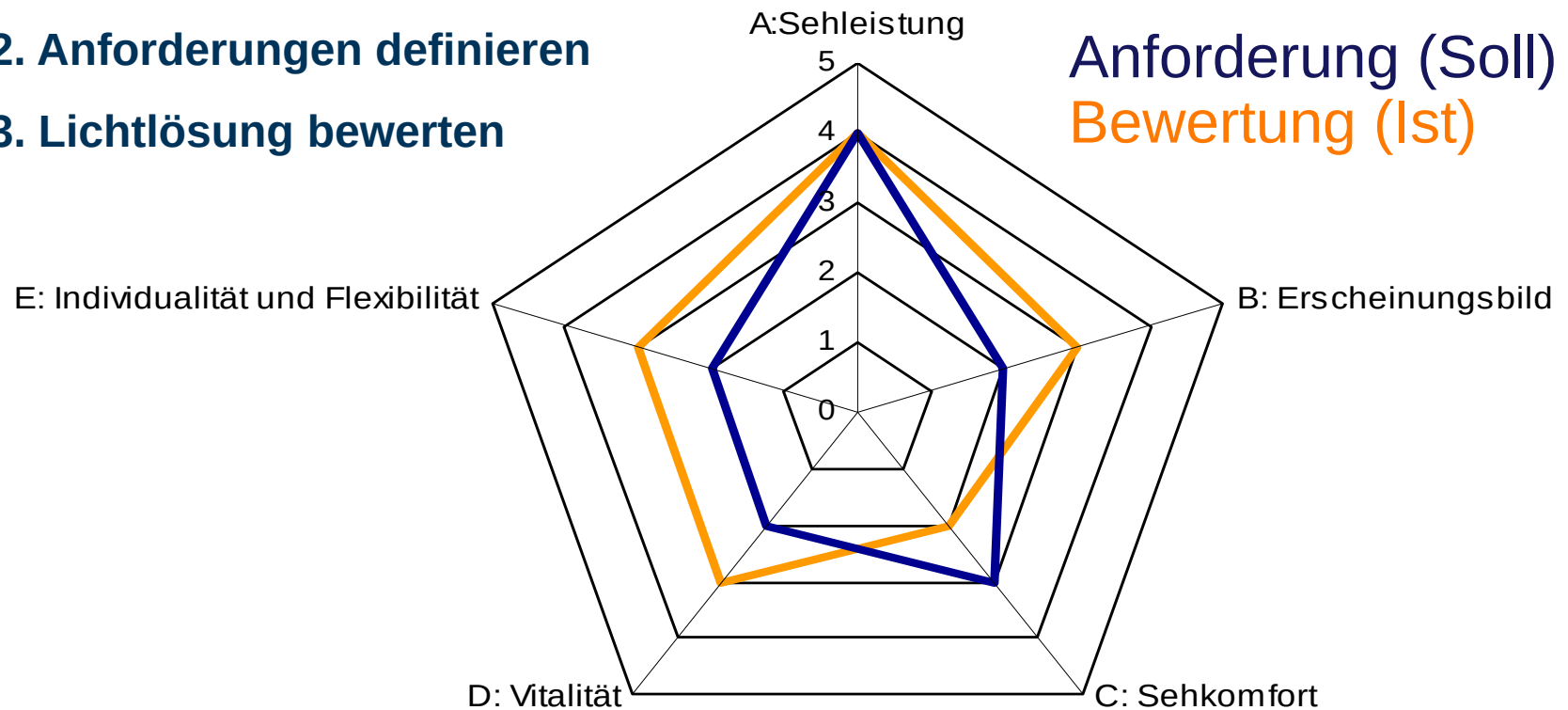
Fragebogen 3B:

Bewertung (Lichtlösung)

B	Kriterium B: Erscheinungsbild
B1	Anordnung, Orientierung und Höhe der Leuchten in Bezug zu den Möbeln und architektonischen Merkmalen, Lichtschwerpunkt (dir-
B2	Leuchtflächen, Leuchten-Erscheinungsbild (auch ohne Licht), Akzent-beleuchtung: Lichtfarbe, farbiges Licht, Objektbeleuchtung (z.B. Vouten)
B3	Lichtleitlinien, Lichtführung am Boden, Lichtzonierung / Eignung für Sehbehinderte
B4	Was fällt zuerst auf? genereller Raumeindruck, Blickfänge, Lichtbrillanz, Aufmerksamkeitsführung / Übergang von Nachbarraum
B5	Leuchtenorientierung, -position und -anordnung in Bezug zu den Fenstern
B6	Präzise Ausrichtung der Leuchten untereinander / keine ungewollten Irisierungen, Interferenzfarben oder Lichtreflexe
B7	"Reinigungsfreundlichkeit" der Leuchten, Staub-, Feuchte-, Chemie-schutz der Leuchte, Altersbeständigkeit von Leuchte und

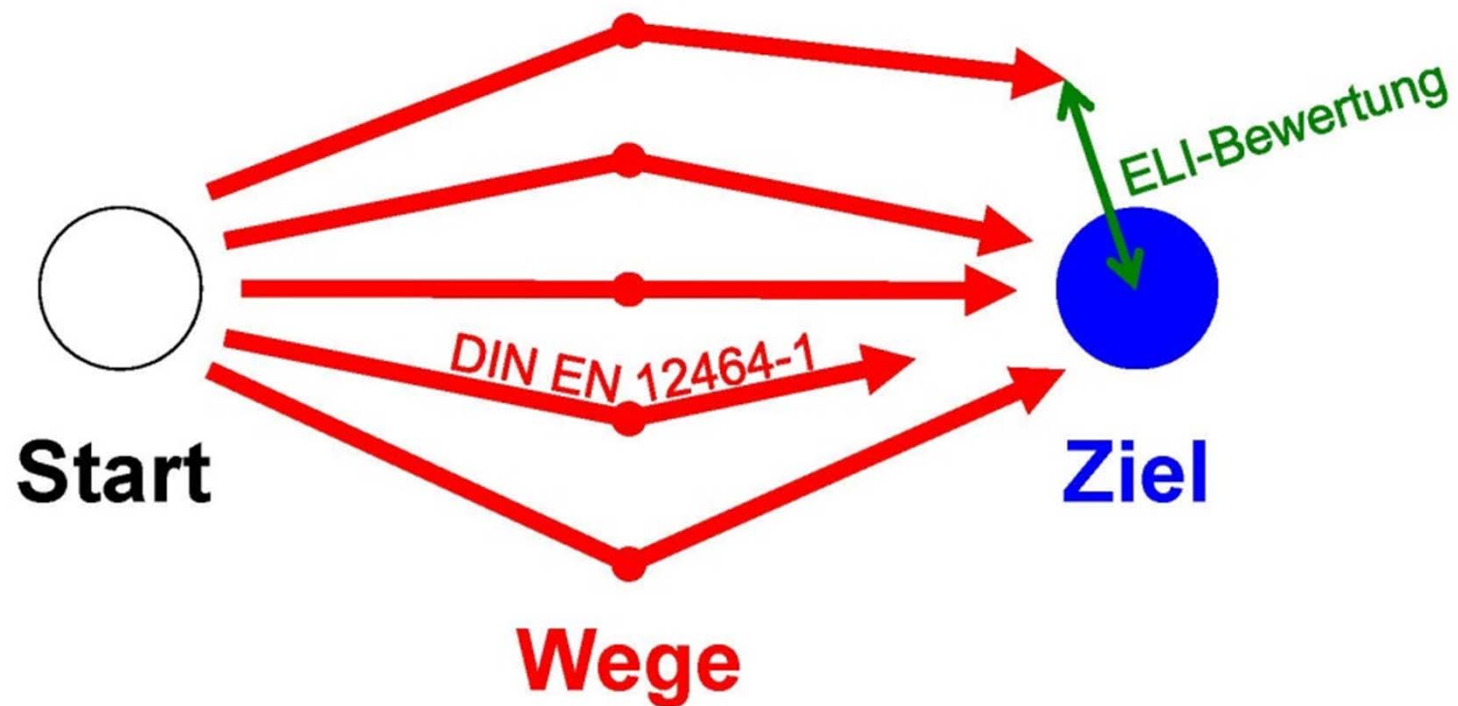
ELI-Bewertung

1. Grundlagenermittlung
2. Anforderungen definieren
3. Lichtlösung bewerten



(Tralau)

LiTG-Schrift Lichtqualität



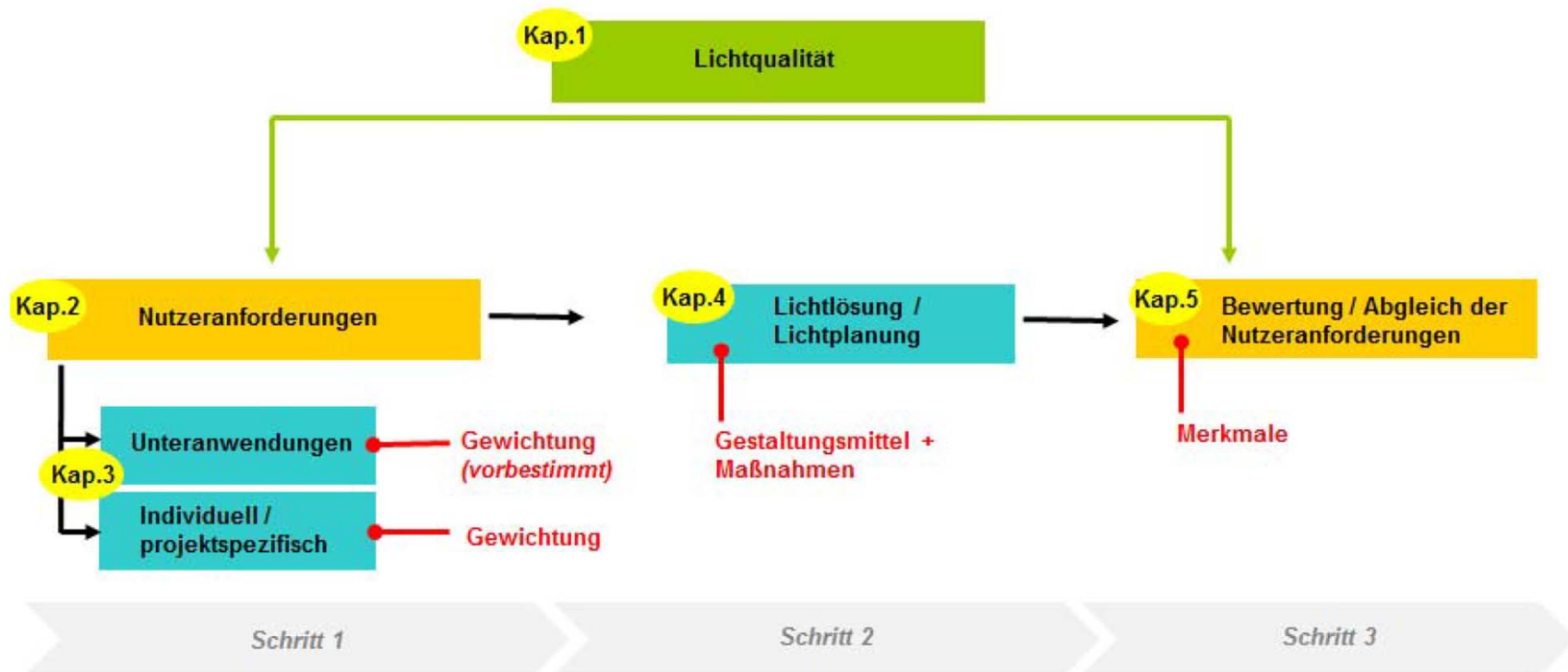
LiTG-Schrift Lichtqualität: Motivation

- Es bedarf mehrerer Parameter beim Entwurf eines Lichtkonzeptes um die Nutzeranforderungen ganzheitlich zu erfassen
- Verschiedene Personengruppen, die am Planungsprozess beteiligt sind, haben unterschiedliche Vorstellungen von Lichtqualität
- Sammlung von Lichtqualitätskriterien: Begriffsdefinitionen und Zusammenhänge
- Relevante Größe schaffen neben der Energieeffizienz und den Kosten
- Streben nach „Messbarkeit“

LiTG-Schrift Lichtqualität: Ziel

- Aktuelle Sammlung bisheriger Erkenntnisse aus Forschung, Wissenschaft und Anwendung in Bezug auf Lichtqualitätskriterien
- Bewusstsein schaffen über Qualitätskriterien, die über die bekannten normativen Kriterien hinausgehen
- Ganzheitliche Betrachtung und Gewichtung der Anforderungen je Anwendung
- Überblick über Gestaltungsmittel der Lichtplanung
- Maßnahmenkatalog zur Umsetzung von qualitativen Beleuchtungslösungen je Anwendung
- Überblick über quantitative und qualitative Bewertungsfaktoren der Lichtqualität

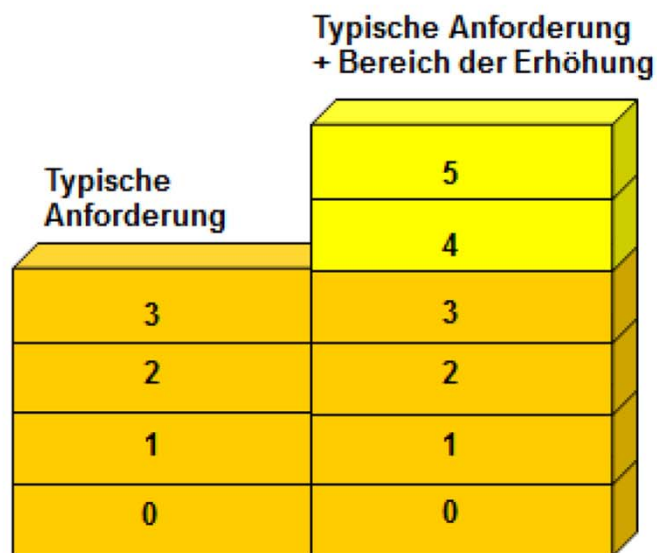
Lichtqualität: Ein Prozess



Lichtqualität: Anforderungen

Kapitel 2.1	Kapitel 2.2	Kapitel 2.3	Kapitel 2.4
Funktionale Anforderungen	Biologische Anforderungen	Psychologische Anforderungen	Architektonische Anforderungen
F1 Sehen und Identifizieren von Details F2 Sehen und Identifizieren von Formen (räumlich) F3 Sehen und Identifizieren von Farben und Farbunterschieden F4 Schnelligkeit des Sehens und Identifizierens F5 Sehen und Identifizieren über die Zeit / Visuelle Leistungsfähigkeit F6 Aufmerksamkeitsführung F7 Ordnung / Unterscheidbarkeit F8 Physische Sicherheit F9 Objektschutz	B1 Aktivierung B2 Erholung B3 Circadiane Rhythmik B4 Strahlungsschutz B5 Strahlungsphysiologische Wirkung	P1 Räumliche Orientierung P2 Zeitliche Orientierung P3 Orientierung über das Geschehen P4 Privatheit P5 Persönliches Territorium P6 Selbstdarstellung / Repräsentation P7 Sicherheitsgefühl P8 Eigene Kontrolle P9 Mentale Aktivierung P10 Mentale Erholung P11 Vertrautheit	A1 Gliederung des Raumes nach Form A2 Gliederung des Raumes nach Rhythmik A3 Gliederung des Raumes nach Zonen A4 Charakter der Architektur unterstützen A5 Architektonische (gestalterische) Besonderheiten betonen

Gewichtung der Anforderungen



5 = Maximum

4-5 Spielraum zur Erhöhung der Anforderungen
+1 durch Kriterien zur Erhöhung
-1 durch Kriterien zur Verkleinerung

1-3 Band der typischen Anforderung

3 = sehr relevant

2 = relevant

1 = schwach relevant

0 = nicht anwendbar

Gewichtung: Beispiel Büro

		Typische Anforderung Büro	Chefbüro	Einzelbüro	Gruppenbüro	Großraumbüro	Besprechungsraum	Eigene Anforderungen
	Funktionale Anforderungen							
F1	Sehen und Identifizieren von Details	2	2	2	2	2	1	
F2	Sehen und Identifizieren von Formen	2	2	2	2	2	2	
F3	Sehen und Identifizieren von Farben	2	2	2	2	2	2	
F4	Schnelligkeit von Sehen und Identifizieren	2	2	2	2	2	2	
F5	Sehen und Identifizieren über die Zeit / Visuelle Leistungsfähigkeit	3	2	3	3	3	2	
F6	Aufmerksamkeitsführung	1	2	2	1	1	1	
F7	Ordnung / Unterscheidbarkeit	2	2	2	2	2	1	
F8	Physische Sicherheit	1	1	1	1	1	1	
F9	Objektschutz	0	0	0	0	0	0	

Gestaltungsmittel

- Lichtstrom der Lichtquelle
- Relative Größe der Lichtaustrittsfläche
- Anzahl, Anordnung und Position der Lichtquelle(n)
- Lichtfarbe
- Lichtverteilung
- Spektrum der Lichtquelle
- Regel- oder Steuerbarkeit
- Bedienung der Beleuchtung

Gestaltungsmittel - Anforderungen

		Gestaltungsmittel (siehe Kap. 4)							
	Anforderungen (siehe Kap. 2)	Lichtstrom der Lichtquelle	Relative Größe der Lichtaustrittsfläche	Anzahl, Anordnung und Position der Lichtquelle	Lichtfarbe	Lichtverteilung	Spektrum der Lichtquelle	Regel- oder Steuerbarkeit der Beleuchtung	Bedienung der Beleuchtung
	Funktionale Anforderungen								
F1	Sehen und Identifizieren von Details								
F2	Sehen und Identifizieren von Formen								
F3	Sehen und Identifizieren von Farben								
F4	Schnelligkeit von Sehen und Identifizieren								
F5	Sehen und Identifizieren über die Zeit / Visuelle Leistungsfähigkeit								
F6	Aufmerksamkeitsführung								
F7	Ordnung / Unterscheidbarkeit								
F8	Physische Sicherheit								
F9	Objektschutz								

Merkmale zur Beurteilung

- Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe (E)
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke (U_o)
- Farbkontrast (FK)
- Helligkeitskontrast (HK)
- Psychologische Blendung (B_{psy})
- Physiologische Blendung (B_{phy})
- Reflexblendung (B_{re})
- Lichtfarbe (CCT)
- Farbwiedergabe (R_a)
- Kontrastwiedergabe (CRF)

Merkmale zur Beurteilung (Fortsetzung)

- Schlagschatten (SS)
- Ausgewogene Leuchtdichteverteilung (Bal)
- Modelling (Mod)
- Freiheit von Flackern / Flimmern (Fl)
- Melanopischer Wirkungsfaktor (a_{cv})
- Schädigungspotential (H_{dm})
- Qualitative Faktoren (Q)

Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen

Gestaltungsmittel „Lichtstrom“

		Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen	Merkmale zur Bewertung der Lichtqualität
	Funktionale Anforderungen		
F1	Sehen und Identifizieren von Details	Die Wahl der Beleuchtungsstärke hängt von der Größe der Details ab (Werte siehe DIN EN 12464-1). Eine höhere Beleuchtungsstärke verbessert die Erkennbarkeit von Details.	E FI
F4	Schnelligkeit von Sehen und Identifizieren	Bei höheren Beleuchtungsstärken können Details schneller erkannt werden.	E FI
F6	Aufmerksamkeitsführung	Abstufung der Beleuchtungsstärken strukturiert nach Wichtigkeit der Sehaufgabe.	E
F7	Ordnung / Unterscheidbarkeit	Unterschiedliche Beleuchtungsstärken ordnen oder strukturieren einen Raum (z.B. in unterschiedliche Zonen: Arbeitszone = hohe Beleuchtungsstärke; Gangbereich = niedrigere Beleuchtungsstärke).	E
F8	Physische Sicherheit	Eine Mindestbeleuchtungsstärke an Orten, wo Gefahren oder Hindernisse (z.B. Stufen oder Treppen) vorkommen, ist notwendig, um Unfälle zu vermeiden.	E
F9	Objektschutz	Niedrigere Beleuchtungsstärken verlangsamen die mögliche Schädigung von Objekten.	E Hdm

Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen

Gestaltungsmittel „Relative Größe der Lichtaustrittsfläche“

		Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen	Merkmale zur Bewertung der Lichtqualität
	Funktionale Anforderungen		
F6	Aufmerksamkeitsführung	Große Lichtquellen im Innenraum lenken die Aufmerksamkeit auf sich, kleine Lichtquellen treten zurück und wirken durch ihre gemeinsame Anordnung (siehe 4.3).	Q
	Biologische Anforderungen		
B1	Aktivierung	Je großflächiger die Lichtaustrittsfläche, desto mehr Rezeptoren auf der Netzhaut werden angeregt, und so kann die körperliche Aktivierung gesteigert werden.	Q
	Psychologische Anforderungen		
P5	Persönliches Territorium	Leuchten mit unterschiedlich großen Lichtaustrittsflächen kennzeichnen den persönlichen Bereich.	Q
P9	Mentale Aktivierung	Große Lichtflächen sind visuell wahrnehmbar und unterstützen die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit.	Q
P10	Mentale Erholung	Kleinere Lichtflächen treten zurück und fördern das Wohlbefinden und die Erholung.	Q

Gestaltungsmittel und Merkmale

	Anforderungen (siehe Kap. 2)	Gestaltungsmittel (siehe Kap. 4)							
		Lichtstrom der Lichtquelle	Relative Größe der Lichtaustrittsfläche	Anzahl, Anordnung und Position der Lichtquelle	Lichtfarbe	Lichtverteilung	Spektrum der Lichtquelle	Regel- oder Steuerbarkeit der Beleuchtung	Bedienung der Beleuchtung
	Funktionale Anforderungen								
F1	Sehen und Identifizieren von Details	E FI		Uo BRe CRF SS		Uo Bal Bpsy Bphy SS			
F2	Sehen und Identifizieren von Formen			SS Mod		Bal Mod			
F3	Sehen und Identifizieren von Farben				Ra CCT		Ra		
F4	Schnelligkeit von Sehen und Identifizieren	E FI				Bal Mod			
F5	Sehen und Identifizieren über die Zeit / Visuelle Leistungsfähigkeit							Q	
F6	Aufmerksamkeitsführung	E	Q	HK Q	FK	Q		Q	
F7	Ordnung / Unterscheidbarkeit	E		HK Q	Q				
F8	Physische Sicherheit	E						Q FI	
F9	Objektschutz	E Hdm					Hdm		

Bewertungsgrößen

Was ist Lichtqualität ?

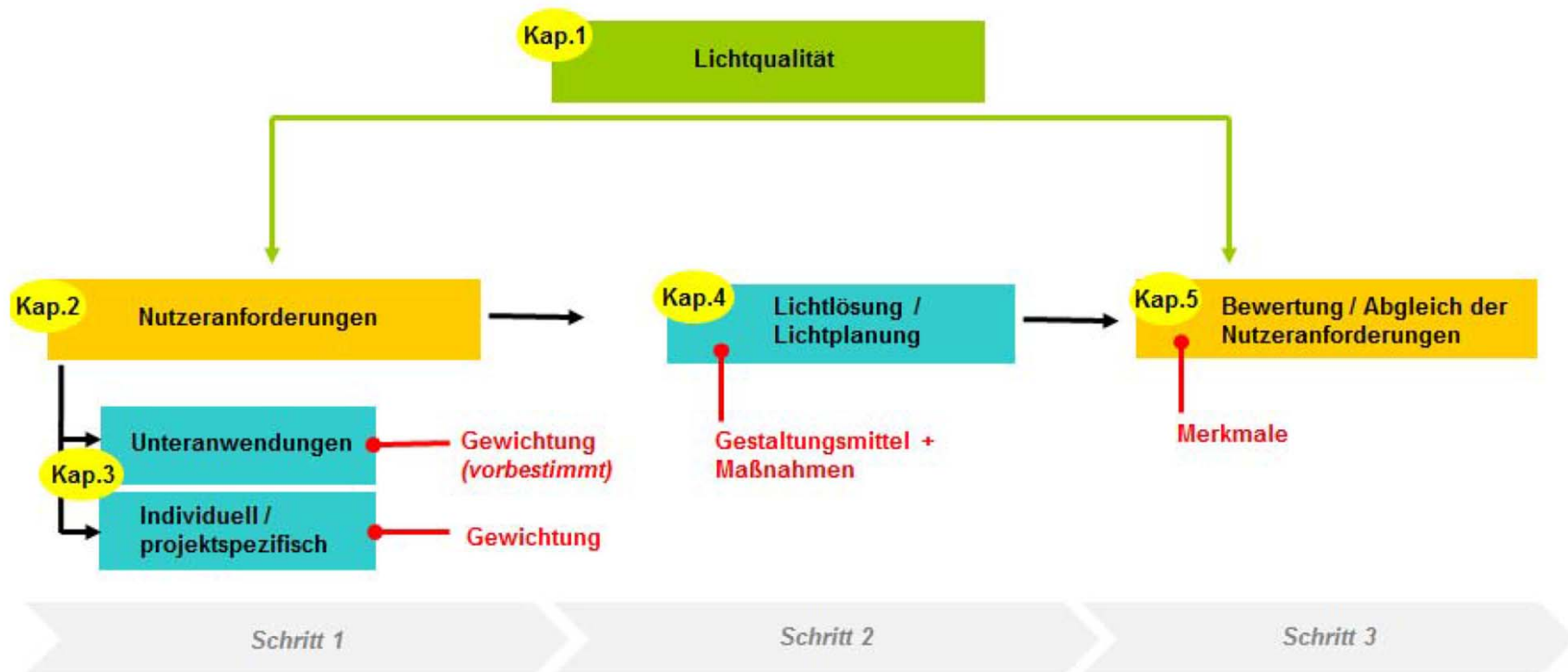
Lichtqualität beschreibt das Erleben der Lichtwirkung in einem Raum oder in einer Umgebung.

Sie wird von den Anforderungen des Nutzers definiert.

Letztendlich ergibt sich das Maß der Lichtqualität aus dem Abgleich zwischen Anforderungen an eine Lichtlösung und der Beurteilung der Umsetzung der Lichtlösung.

Prozesse und Methoden sind notwendig, um Lichtqualität zu erfassen. Dabei stellt sich Lichtqualität als eine dynamisch veränderliche Größe dar.

Lichtqualität: Ein Prozess





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!