

# **Bewertung von Lichtqualität mit dem “Ergonomic Lighting Indicator“ (ELI) - Umsetzung des Bewertungsverfahrens und empirische Untersuchung seiner Anwendung**

## ***Evaluation of lighting quality with the “Ergonomic Lighting Indicator” (ELI) – Implementation of the evaluation process and empirical study regarding its practicability***

*Birthe Tralau  
Strategic Lighting Application  
Zumtobel Lighting  
Schweizer Str. 30  
6851 Dornbirn*

---

### **Inhalt**

- 1.0 Der Ergonomic Lighting Indicator
  - 1.1 Die Kriterien des Ergonomic Lighting Indicators
    - 1.1.1 Sehleistung
    - 1.1.2 Erscheinungsbild
    - 1.1.3 Sehkomfort
    - 1.1.4 Vitalität
    - 1.1.5 Individualität und Flexibilität
  - 1.2 Darstellung der Lichtqualität als Kiviatgraph
  - 1.3 Das ELI-Bewertungsverfahren
    - 1.3.1 Rahmenbedingungen ermitteln
    - 1.3.2 Anforderungen definieren
    - 1.3.3 Lichtlösung bewerten
- 2.0 Empirische Untersuchung des Bewertungsverfahrens
  - 2.1 Die erste Versuchsreihe
  - 2.2 Die zweite Versuchsreihe
- 3.0 Ergebnisse der Untersuchung
- 4.0 Ableitung eines vereinfachten Bewertungsverfahrens
- 5.0 Zusammenfassung und Ausblick

## 1.0 Der Ergonomic Lighting Indicator (ELI)

Mit dem *Ergonomic Lighting Indicator* wird ein Bewertungsverfahren zur Quantifizierung von Lichtqualität bezeichnet, der von der Firma Zumtobel Lighting (Dornbirn) in Zusammenarbeit mit Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz im vergangenen Jahr entwickelt wurde.

### 1.1 Die Kriterien des Ergonomic Lighting Indicator

Die vielen Aspekte die nach moderner Auffassung Lichtqualität beschreiben, werden zu fünf umfassenden Qualitätsfaktoren zusammengefasst, die hier im Folgenden kurz beschrieben werden.

#### 1.1.1 Sehleistung



Eine normgerechte Beleuchtung ist entscheidend für die Erkennbarkeit der Sehaufgabe und damit für die Durchführbarkeit der Tätigkeiten. Die Berücksichtigung der klassischen Gütemerkmale der Beleuchtung haben maßgeblichen Einfluss auf die Erfüllung der Sehaufgabe.

- Beleuchtungsniveau
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke
- Farbwiedergabe
- Vermeidung von Schlagschatten
- Kontrastwiedergabe
- Physiologische Blendung

#### 1.1.2 Erscheinungsbild



Licht dient z.B. in repräsentativen Bauten nicht nur dem Sehen, sondern auch dem Aussehen. Licht kann als Orientierungshilfe dienen und die Akzeptanz des Raumes durch den ersten visuellen Eindruck bestimmen.

- Architektonisches Konzept
- Mentales Konzept
- Orientierungshilfe
- Wahrnehmungshierarchie
- Außenwirkung
- Material
- Leuchtenschutzart

#### 1.1.3 Sehkomfort



Licht wird nicht nur am Ort der Sehaufgabe benötigt, sondern auch für die Wahrnehmung im Raum. Ein Raum sollte gleichmäßig hell und ausgeglichen ausgeleuchtet sein.

- Ausgewogene Helligkeitsverteilung
- Leuchtdichtedifferenzen
- Plastizität, Modelling
- Psychologische Blendung
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich der Sehaufgabe
- Sicherheitsgefühl
- Ergänzung des Kunstlichtes durch Tageslicht
- Einsatz flimmerfreier Vorschaltgeräte

#### 1.1.4 Vitalität



Licht hat maßgeblichen Einfluss auf das Wohlbefinden und die Aktivität eines Menschen. Zudem wirkt es positiv auf die Gesundheit und kann biologische Prozesse unterstützen bzw. beeinflussen

- Wohlbefinden
- Aktivierung und Stimulierung
- Circadianer Rhythmus
- Tageslichtähnliches Licht
- Vermeidung von Gefahrenstellen
- Vermeidung von Wärmestrahlung
- Elektromagnetische Felder

#### 1.1.5 Individualität und Flexibilität

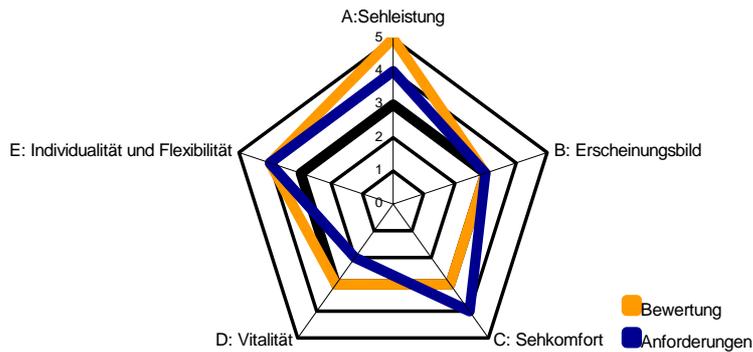


Unterschiedliche Sehbedürfnisse, Sehtätigkeiten oder Nutzungszeiten verlangen eine individuelle Einflussnahme auf die Beleuchtungssituation. Sensoren und Steuerungssysteme helfen dem Nutzer die Lichtsituation an seine Bedürfnisse anzupassen.

- Persönliche Beeinflussung durch Schalten oder Dimmen
- Wahl der Lichtstimmung
- Präsenzmeldung
- Tageslichtabhängige Steuerung
- Flexibilität bei Umbauten
- Privatsphäre

### 1.2 Darstellung der Lichtqualität als Kiviatgraph (das ELI-Diagramm)

Dargestellt werden die fünf ELI-Faktoren in einem Kiviatgraph (siehe Abbildung). Dabei spannt jedes der fünf Qualitätskriterien eine eigene Achse auf. Die Ergebnisse werden auf einer unipolaren Skala von 1 („stimmt gar nicht“) bis 5 („stimmt völlig“) eingestuft. Bei der Bewertung hilft ein Bewertungsverfahren, das im nächsten Kapitel vorgestellt wird. Die Werte werden an den Achsen eingetragen und zu einer Fläche verbunden. Mit dem Diagramm lassen sich Merkmalsausprägungen auf einfache Art vergleichen.



### 1.3 Das ELI-Bewertungsverfahren

Mit Fragebögen werden bei diesem Verfahren zunächst Anforderungen für ein Beleuchtungskonzept erfasst und im Anschluss die konkreten Lichtlösungen bewertet.

#### 1.3.1 Rahmenbedingungen ermitteln

Ziel der Lichtplanung ist, das "visuelle Raumklima" den biologischen und psychologischen Bedürfnissen des Menschen anzupassen. Um dies zu erfüllen, müssen zu Beginn einer Projektplanung zunächst die Rahmenbedingungen des Projektes und die Bedürfnisse des Menschen definiert werden. Dabei geht es nicht allein um konventionelle Gütemerkmale, sondern auch um wahrnehmungsspezifische Größen. Zur Ermittlung der Grundlagen wurde ein Leitfaden entwickelt, der hilft die Anforderungen des Kunden in einem Gespräch gezielt zu erfassen.

#### 1.3.2 Anforderungen definieren

Der *Anforderungsfragebogen* dient dazu, die Erwartungen der Kunden vor der Projektplanung einzustufen. Für jedes der fünf Qualitätskriterien werden mehrere Fragen gestellt und aus den Einzelantworten ein durchschnittliches Ergebnis für das jeweilige Kriterium berechnet. Erst mit Kenntnis der Anforderungen kann die Lichtplanung direkt auf die Bedürfnisse des Kunden zugeschnitten werden. Das Ergebnis des Anforderungsfragebogen kann bereits in das ELI-Diagramm als Soll-Kurve eingezeichnet werden.

#### 1.3.3 Beleuchtungslösung bewerten

Der *Bewertungsfragebogen* dient der Beurteilung einer vorhandenen oder einer geplanten Lichtlösung. Der Fragebogen-Aufbau für die Bewertung der Lichtqualität einer Anlage ist adäquat dem des Anforderungsfragebogen. Das Ergebnis des Bewertungsfragebogen wird ebenfalls in das ELI-Diagramm als Ist-Kurve eingezeichnet.

Damit sind die zuvor definierten Anforderungen direkt vergleichbar mit der Realisierung einer Lichtlösung. Vor- und Nachteile bzw. Stärken und Schwächen einer Lichtlösung sind einfach darstell- und ablesbar.

## 2.0 Empirische Untersuchung des Bewertungsverfahrens

Mittels einer empirischen Untersuchung wurde geprüft, ob mit dem ELI-Bewertungsverfahren eine objektive, reliable und valide Messung von Lichtqualität möglich ist. Hierzu wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt.

### 2.1 Die erste Versuchsreihe

Die erste Untersuchungsreihe dient der Analyse der Fragebogentechnik. Ca. 20 Probanden nahmen an der Untersuchung teil. Um eine entsprechende Anzahl an Probanden zu erreichen wurde eigens ein Softwaretool entwickelt, damit die Bewertung zeit- und ortsunabhängig vorgenommen werden kann.

The screenshot shows a web browser window with the URL 'zurück zum Frontend' and the ZUMTOBEL logo. The page title is 'Bewertungsfragebogen'. Below the title, it says 'Projekt: Büro International Launch Management - Lösung: Variante 1' and 'Bitte geben Sie Ihre Bewertung ab!'. The main heading is 'Kriterium A (Sehleistung)'. There is a button 'Speichern und ein Kriterium weiter'. The text below explains that if conditions deviate from standard assumptions, the user should refer to a table in chapter 5.3. The first question is '[A1] Wie groß ist der vorhandene Wartungswert der Beleuchtungsstärke?' with four radio button options: 'auf Stufen gerundet zwei oder mehr Stufen tiefer als Norm', 'auf Stufen gerundet eine Stufe tiefer als Norm', 'nach Norm EN 12464-1, Kap. 5.3', 'auf Stufen gerundet eine Stufe höher als Norm', and 'auf Stufen gerundet zwei oder mehr Stufen höher als Norm'. A note states that for rooms without workplaces and for short-term tasks, the norm must be fulfilled, and more difficult tasks require higher uniformity. The second question is '[A2] Wie gut erfüllt die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im Bereich der Schaufgabe die Norm EN 12464-1?' with four radio button options: 'Norm wird nicht erfüllt oder es sind keine Arbeitsplätze vorhanden', 'Norm wird für ausgewählte Arbeitsplätze erfüllt', 'Norm wird für alle Arbeitsplätze erfüllt (u<sub>0</sub> > 0,7)', and 'keiner der Norm (u<sub>0</sub> < 0,85) für einzelne Arbeitsplätze'.

Für die Untersuchung des Anforderungsfragebogens haben die Probanden ein schriftliches Leitfadenterview zwischen einem Lichtplaner und einem Kunden erhalten. Aus diesem Gespräch sollten sie zunächst die Informationen extrahieren und dann entsprechend der Fragen des Anforderungsfragebogens einstufen.

Für den Bewertungsfragebogen wurden dem Probanden komplette Planungsunterlagen zur Verfügung gestellt. Diese beinhalteten unter anderem die Anforderungen, das Beleuchtungskonzept, sowie Berechnungsergebnisse der zu bewertenden Lichtplanung.

Der Bewertungsfragebogen wurde für drei unterschiedliche Projekte drei verschiedener Anwendungsgebiete durchgeführt:

- Gruppenbüro Zumtobel Dornbirn
- Juwelier Müller Oberstdorf
- Industriehalle Flextronics Klagenfurt

Die Ergebnisse wurden mit einer Itemanalyse und den klassischen Testgütekriterien auf Objektivität, Reliabilität und Validität kritisch untersucht. Die Probleme, die bei Anwendung der Fragebögen entstanden, sind hauptsächlich auf Verständlichkeits- und Operationalisierungsfehler zurückzuführen. Generell kann das Bewertungsverfahren als annähernd objektiv und valide bezeichnet werden.

### 2.2 Die zweite Versuchsreihe

In einer zweiten Versuchsreihe wurde die Anwendung des Bewertungsverfahrens untersucht. Dafür wurde ein kompletter Projektplanungsprozess simuliert und durch den Versuchsleiter beobachtet und analysiert.



Es konnte gezeigt werden, dass sich die Bewertung von Beleuchtungskonzepten mit dem *Ergonomic Lighting Indicator* in die normale Arbeit eines Lichtplaners integrieren lässt. Der Ansatz wurde von den befragten Experten insgesamt positiv bewertet, wenngleich es noch Defizite bei einigen Details gibt.

Mit der durchgeführten Untersuchung konnten wertvolle Hinweise gesammelt werden, wie eine möglich Weiterentwicklung des Verfahrens anzugehen ist.

### 3.0 Ergebnisse der Untersuchung

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Fragebögen als valide und annähernd objektiv und reliabel angesehen werden können.

Bei einzelnen Fragen traten Verständlichkeitsprobleme durch verwendete Begrifflichkeiten oder durch eine hohe Anzahl von Einzelaspekten auf. Vor allem das Kriterium Vitalität des Anforderungsfragebogens sei an dieser Stelle genannt. Skalierungs- und Operationalisierungsfehler entstanden einerseits bei den Kriterien Sehleistung und Sehkomfort, da hier der Normwert von den Probanden nicht richtig interpretiert wurden, sowie beim Kriterium Individualität und Flexibilität. Hier viel die Einstufung der Antworten auf die fünfstufige Intervallskala schwer.

Im Zuge der zweiten Versuchsreihe konnte ein Interviewleitfaden entwickelt werden, mit dem ich in einem Kundengespräch gezielt die Anforderungen an die Beleuchtungslösung erfassen kann.

Das ELI-Bewertungsverfahren lässt sich problemlos in die tägliche Arbeit eines Lichtplaners integrieren. Um die Praxistauglichkeit des Verfahrens objektiv einzuschätzen sollte eine weitere Feldstudie mit einer größeren Anzahl an Probanden und einem längeren Untersuchungszeitraum durchgeführt werden.

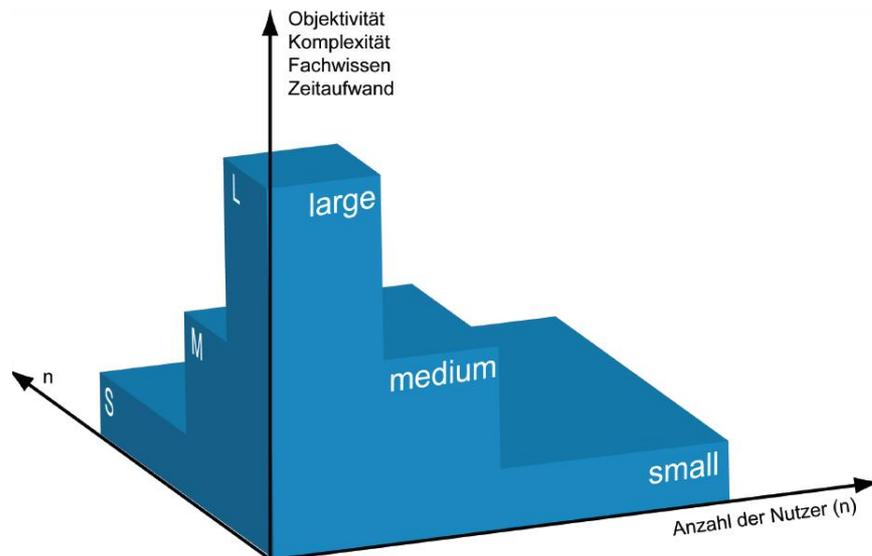
Basis für einige Fragen der beiden Fragebögen sind die Normvorschriften der EN12464, die stark durch das Anwendungsgebiet Büro geprägt sind. Im Rahmen der Untersuchung wurde die Bewertung für drei unterschiedliche Projekte aus differenten Anwendungsgebieten durchgeführt. Dabei sollte die Einsatzmöglichkeit des Bewertungsverfahrens für weitere Anwendungsgebiete bestätigt werden. Da mit den Fragebögen hauptsächlich die Bewertung eines Sehbereiches vorgenommen wird, sind diese mit Einschränkungen für alle Anwendungsgebiete einsetzbar. Je nach Anwendungsgebiet ergeben sich aber andere Gewichtungen der Einzelaspekte. Eine Anpassung an die unterschiedlichen Anwendungsgebiete wird daher empfohlen. So kann auch die Validität der Fragebögen noch weiter verbessert werden.

## 4.0 Ableitung eines vereinfachten Bewertungsverfahrens

Aus den Ergebnissen der Studie wurde schließlich ein vereinfachtes Bewertungsverfahren abgeleitet.

### 4.1 Notwendigkeit einer vereinfachten Bewertungsstufe

Das zuvor vorgestellte Bewertungsverfahren zur Bestimmung der Lichtqualität einer Beleuchtungslösung ist nur für eine kleine Zielgruppe anwendbar. Lichttechnisches



Fachwissen (Expertenwissen) ist Voraussetzung für die objektive Bewertung der Lichtqualität. Um das Bewertungsverfahren für einen größeren Anwenderkreis zugänglich zu machen, ist eine zweite Bewertungsstufe notwendig, die weniger komplex ist.

Grundlegende Kenntnisse über lichttechnische Begriffe sind aber auch für ein vereinfachtes Verfahren notwendig.

Die Anwendung eines einzigen Fragebogens dauerte beim untersuchten Bewertungsverfahren durchschnittlich 30 Minuten. Zudem ist es an einen kompletten Planungsprozess gebunden. In der Praxis steht oft weniger Zeit zur Verfügung. Eine Verkürzung der Anwendungsdauer ist daher von Vorteil. Zudem sollte auch eine Projektbewertung losgelöst vom Planungsprozess möglich sein um beispielsweise eine Ist-Analyse von bereits realisierten Projekten oder eine vergleichende Bewertung der Konkurrenz-Planung durchzuführen.

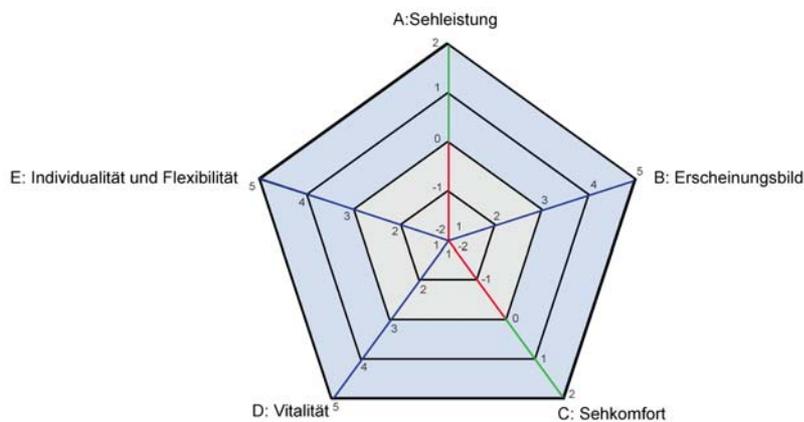
Ein gewisser Grad an Subjektivität kann bei der zweiten Bewertungsstufe in Kauf genommen werden. Liefert das abgeleitete Verfahren nicht das gewünschte Ergebnis, so kann jederzeit in das umfangreichere Bewertungsverfahren gewechselt werden. Beide Verfahren ersetzen sich nicht, sondern ergänzen sich.

### 4.2 Konzept

Für die abgeleitete Bewertungsstufe wurden zunächst der Anforderungsfragebogen durch Standardanforderungen (je Raumtyp / Anwendungsgebiet) ersetzt.

Um zu gewährleisten, dass eine Beleuchtungslösung zulässig geplant wird und die Normwerte hinreichend erfüllt, wurden im Folgenden Mindestanforderungen für die beiden Qualitätsfaktoren Sehleistung und Sehkomfort eingeführt. Diese

Mindestanforderungen stellen mit dem Wert „0“ den Mittelpunkt der bipolaren Skala dar. Die Bewertungsgrundlage der anderen drei Qualitätsfaktoren ergeben sich aus den Erfahrungen und Studien, die in den vergangenen Jahren entstanden sind. Daher können hier keine Normwerte als Mindestanforderungen vorgegeben werden und die unipolare Skala von „1“ (stimmt gar nicht) bis „5“ (stimmt völlig), die sich in der Untersuchung als praktikabel erwiesen hat, wird beibehalten. Die Aussagen wurden entsprechend der Untersuchungsergebnisse vereinheitlicht und vereinfacht. Redundante sowie übergewichtete Items wurden beseitigt. Die Skalierung und das ELI-Diagramm wurden optimiert. Die folgende Abbildung zeigt das gewandelte ELI-Diagramm mit Anpassung der Achsen des Kriterium Sehleistung und Sehkomfort an die Mindestanforderungen.



## 5.0 Zusammenfassung und Ausblick

Im Verlauf der Untersuchung wurde das ELI-Bewertungsverfahren vor allem hinsichtlich objektiver, reliabler und valider Ergebnisse geprüft. Zudem wurde die Fragebogentechnik sowie die Anwendung des Bewertungsverfahrens selbst getestet. Bei der Untersuchung des Fragebogens konnten Probleme beim Verständnis sowie bei der Skalierung vor allem für den Bewertungsfragebogen festgestellt werden. Das Fragenprinzip selbst konnte durch die Studie bestätigt werden, wenn auch gleich eine Vereinheitlichung der Fragetypen sinnvoll ist.

Generell kann das Bewertungsverfahren als annähernd objektiv und valide bezeichnet werden. Eine umfangreichere Studie ist notwendig um allgemeingültigere Aussagen zum Verfahren zu treffen. Die Probleme, die hauptsächlich bei der Anwendung der Fragebögen entstanden, sind größtenteils auf Verständlichkeitsprobleme und Operationalisierungsfehler zurückzuführen. Um die Praxistauglichkeit des Verfahrens richtig einzuschätzen ist eine weitere Felduntersuchung notwendig.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Bewertung mit dem *Ergonomic Lighting Indicator* in die normale Arbeit des Lichtplaners integrieren lässt. Der Ansatz wurde von den befragten Experten insgesamt positiv aufgenommen, wenngleich es noch Defizite bei einigen Details gibt. Die durchgeführte Untersuchung konnte dabei wertvolle Hinweise liefern, wie eine mögliche Weiterentwicklung des Verfahrens anzugehen ist.

Generell ist die Idee der Bewertung der Lichtqualität nicht neu. Die

Studie dieser Arbeit bestätigt, dass ein Indikator gefunden wurde, mit dem es möglich ist, Lichtqualität nach moderner Auffassung umfangreich darzustellen.