

1

Einleitung und Motivation

1.1 Einführung: ein historischer Rückblick und aktuelle Fragestellungen

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) definierte im September 1931, 90 Jahre vor der Erscheinung dieses Buches, die 2°-Normspektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ für den visuellen Farbabgleich mit einem visuellen Gesichtsfeld von 1° bis 4°. Damit ist es möglich, für jeden Farbreiz beliebiger spektraler Zusammensetzung im sichtbaren Wellenlängenbereich die Farbvalenzen und die Normfarbwerte zu berechnen und die Farben zu charakterisieren sowie in einem wissenschaftlichen und industriellen Prozess zu kommunizieren. Hinzu kamen seit dem Ende des 19. Jahrhunderts bis heute die folgenden Entwicklungsschritte in der Lichttechnik:

- a) *In der Beleuchtungstechnik und in der Fotometrie:* Vom Ende des 19. Jahrhundert bis etwa zu den 80er-Jahren des 20. Jahrhunderts erlebten einige Erdteile eine stetig wachsende Entwicklung des Industrialisierungsprozesses (z. B. Maschinenbau, Schiffbau, Elektrotechnik, Bauwesen), sodass die Forschungen in der Beleuchtungstechnik sich darauf konzentrierten, anhand von physiologischen visuellen Leistungen wie Kontrastvermögen, Sehschärfe, Lesegeschwindigkeit oder Fehlerrate der verrichteten Arbeit die Anforderungen an die Arbeitsplätze im Büro und in der Fertigung zu formulieren, wobei die Kenngrößen Beleuchtungsstärke (in lx) oder die Leuchtdichte (in cd/m²) zugrunde gelegt wurden. Die Forschungsergebnisse auf diesem Themengebiet bis zum Ende des 20. Jahrhunderts bildeten die Grundlagen für die heutigen internationalen und nationalen Normen der Beleuchtungstechnik [1–3].
- b) *In der Lichtquellentechnik:* Von 1879 bis 1999 gab es eine Reihe von wichtigen Entwicklungsschritten von den Glühlampen über die Hochdruckentladungslampen, die Halogenleuchtstofflampen, Dreiband-Leuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen (s. Tab. 1.1). Von 1994 bis heute erfährt die Lichtquellentechnik durch die neue Entwicklung von Hochleistungs-LEDs einen enormen Fortschritt. Die Lichtausbeute von weißen LEDs übertrifft die Werte der häufig verwendeten Entladungslampen (z. B. T5-Lampen, Cosmopolis-Lampen, HMI-Lampen). Die hohe Lichtausbeute der LEDs, die nach der $V(\lambda)$ -Funktion für das Tagessehen bewertet wird, trägt positiv zur weltweiten Bemühung zur Energieeinsparung und Umweltschonung bei.
- c) *In der CIE-Farbmimetrik:* Die Geschichte der CIE-Farbmimetrik ist durch die ständigen Bemühungen gekennzeichnet, wahrnehmungstechnische Farbattribute (Helligkeit, Re-

Tab. 1.1 Große Meilensteine in der Entwicklung der Lichtquellentechnik. Quelle: TU Darmstadt.

Jahr	Inhalte
1854	Goebel: Glühlampe mit Bambusfaser
1879	Edison: Glühlampe mit Kohlefaden
1900	Cooper, Hewitt: Patent auf Quecksilberdampfampe
1906	Einführung der Wolfram-Metallfadenlampe mit Stickstofffüllung
1934	Einführung der Niederdruckentladungslampe mit Leuchtstoffen
1959–1960	Einführung der Halogenglühlampen
1971	Leuchtstofflampen mit Dreibandkonzept
1980	Einführung der CFL-i (Energiespar)-Lampe
1994	Weißer LED auf der Basis von InGaN-Material

Tab. 1.2 Große Meilensteine in der Entwicklung der CIE-Farbmeterik. Quelle: TU Darmstadt.

Jahr	Inhalte
1931	Definition der 2°-Normspektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$
1960	Festlegung des UCS-Diagramms (<i>Uniform Colour Scale</i>)
1964	Definition des CIE 1964 (U*V*W*)-Farbraumes
1964	Definition der Normspektralwertfunktionen $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ für ein 10°-Gesichtsfeld
1976	Definition der beiden Farbräume CIE L*a*b* (oder CIELAB) und CIE L*u*v* (oder CIE-LUV)
2004	CIE-Publikation: A Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIE-CAM02, Publication No. 159 (Vienna: Central Bureau of the CIE, 2004) [6]
2006	Definition des CAM02-UCS-Farbraums auf der Basis des Farbwahrnehmungsmodells CIE-CAM02 [7]

lativhelligkeit, Farbton, Buntheit, Farbsättigung) zu definieren und in einem perzeptiv gleichabständigen Farbraum vektoriell anzuordnen. Wenn diese wahrnehmungstechnisch gleichabständigen Farbräume geschaffen werden, können die Farbdifferenzen verschiedener Farborte dort berechnet und für die industriellen Qualitätskontrollen verwendet werden. Ein Nutzen der Farbdifferenzberechnung ist die Definition des Farbwiedergabeindex. Diese oben beschriebene Aufgabenstellung wurde in den letzten Jahrzehnten in mehreren Erkenntnisstufen (s. Tab. 1.2 sowie [4, 5]) mehr oder weniger optimal gelöst. Die Forschungsergebnisse der Farbwissenschaft werden bis heute in der farbgebenden Industrie (Displaytechnik, Filmtechnik, Drucktechnik, Textilindustrie) und zunehmend seit etwa 2010 auch in der Beleuchtungstechnik und in der Lichtquellentechnik (LED, OLED) verwendet.

Seit dem Beginn des 21. Jahrhunderts verstärkten sich einige lichttechnikrelevante Entwicklungstendenzen, die sich wie folgt äußerten:

- Die Gesellschaften in den großen Teilen der Erde (Nordamerika, Europa, China, Japan, Südostasien) sind informationstechnisch ausgerichtet. Die Arbeitsweise, die Arbeitsabläufe (Tag- und Nachtrhythmen) sowie die Arbeitsmittel (Monitore, Datensichtgeräte) erreichten eine neue Qualität. Zusätzlich zu den Güteigenschaften wie Beleuchtungsstär-

ke oder Gleichmäßigkeit und Blendung kamen andere Diskussionen über Licht und Gesundheit, Wohlbefinden während der Büroarbeit, Stressabbau und Konzentrationserhöhung durch die Beleuchtung hinzu.

- Die früheren Lichtquellentechnologien haben den entscheidenden Nachteil, dass das Spektrum und der Farbort der Lampen nur in einem geringen Umfang variiert werden können. Die Hoch- und Mittelleistungs-LEDs von heute mit ihren hohen Lichtausbeuten und mit einer Anzahl von Vorteilen wie Dimmbarkeit, Steuerbarkeit und Integrierbarkeit besitzen außerdem den großen Vorteil, dass man sie aus farbigen und weißen LEDs zu einem *Lichtsystem* mit variabler spektraler Zusammensetzung (Farbort, Farbtemperatur) formen kann. Das auf diese Weise gebildete *dynamische Licht* erhöht die Farb- und Lichtqualität der Beleuchtung in den Innenräumen, für deren Bewertung nun immer häufiger die nichtvisuellen, farbtechnischen und fotometrischen Betrachtungsweisen zur Geltung kommen werden.

Damit wird deutlich, dass die drei wichtigen Komponenten der Lichttechnik (Beleuchtungstechnik, Farbmetrik und Lichtquellentechnik) in der heutigen und zukünftigen Forschung für die Bewertung der Farb- und Lichtqualität der Arbeitsplätze sowie in der Lichtindustrie zur Entwicklung neuer Lichtprodukte viel intensiver und enger gemeinsam herangezogen werden sollen. Außerdem wurden – im Zeitraum zwischen 2000 bis heute – die *nicht visuellen Lichtwirkungen* durch verschiedene internationale Forschungsgruppen untersucht. Trotz zahlreicher Bemühungen im experimentellen Bereich werden diese Erkenntnisse in der Praxis der Lichtproduktentwicklung und Lichtplanung nachvollziehbar und interpretierbar nur teilweise umgesetzt.

Den obigen Überlegungen entsprechend erarbeiteten die Autoren das vorhandene Buch, um die folgenden Fragestellungen zu beantworten:

1. Wie funktionieren schematisch die visuellen und nicht visuellen Mechanismen im Gehirn und im physiologischen Bereich des Menschen in den nächtlichen Stunden und am Tag?
2. Welche Einflussparameter und welche Ausgangsparameter mit welchen Metriken im physiologischen und psychologisch-emotionalen Bereich sind für die Betrachtung der subjektiven und objektiven Zustände des Menschen entscheidend? Inwiefern können die Wissenschaftler und die Produktentwickler diese Parameter – durch die bisherigen Erkenntnisse – beherrschen? Wo gibt es noch Forschungsbedarf?
3. Welche Erkenntnisse sind für die Lichtwirkungen in den nächtlichen Stunden bisher bekannt? Dabei werden die Beziehungen zwischen Bestrahlung und deren Wirkungen im Fokus der Betrachtung stehen.
4. Welche Erkenntnisse wurden bisher für die Zeit am Tag gewonnen und kann man einen Teil davon soweit wissenschaftlich und fundiert aufstellen, damit die lang ersehnten Empfehlungswerte für die Lichtplanungen sowie für die Entwicklung der intelligenten Lichtprodukte zur Diskussion gestellt werden können?
5. Wie kann man die visuellen und nicht visuellen Parameter der Beleuchtung mit dem Tageslicht und mit dem elektrischen Licht erfassen, messen und interpretieren? Solche Messungen sollen nicht nur mit Labormessgeräten, sondern auch mit tragbaren, preiswerten und genauen Messeinheiten durchgeführt werden, um die Lichtwirkungen in abwechselnden und dynamisch verändernden Arbeitsplätzen und Aufenthaltsorten der Menschen plausibel zu erfassen.

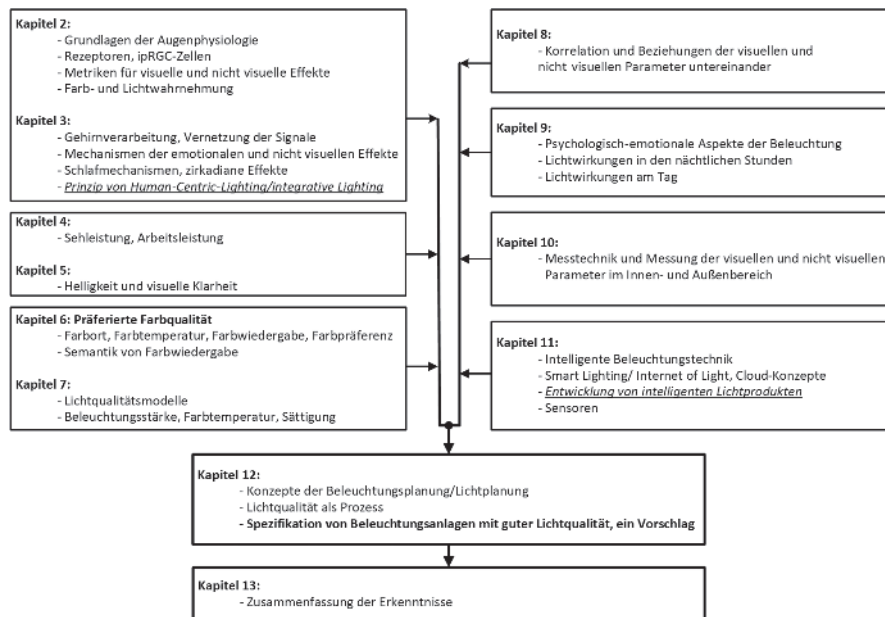


Abb. 1.1 Inhalte des vorhandenen Buchs. Quelle: TU Darmstadt.

Abgeleitet durch diese wichtigen Fragestellungen gliedert sich dieses Buch – bis auf das vorliegende Kap. 1 – in die Themenblöcke, die in der Abb. 1.1 zusammengefasst sind.

Literatur

- 1 DIN EN 12464 (2011). Licht und Beleuchtung, Teil 1: Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen, August 2011.
- 2 Schmits, P.W. (2002). Innenraumbeleuchtung – Tendenzen und Reaktionen, Tagung Licht, Maastricht, S. 34–47.
- 3 CIE (1981). An analytical model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance, CIE Publ. No. 19/2.1.
- 4 CIE (2004). *Colorimetry*, Publication No. 15, Vienna: Central Bureau of the CIE.
- 5 Commission Internationale de l'Eclairage (1995). Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources. Technical Report. *CIE 13.3-1995*.
- 6 Commission Internationale de l'Eclairage (2004). A Colour Appearance Model for Color Management Systems: CIECAM02 CIE TC8-01. Technical Report. *CIE Pub. No. 159*.
- 7 Luo, M.R., Cui, G. und Li, C. (2006). Uniform colour spaces based on CIECAM02 colour appearance model. *Color Res. Appl.* 31: 320–330.