

Dietrich Gall

**Grundlagen der
Lichttechnik
KOMPENDIUM**

Pflaum

Inhaltsverzeichnis

Teil A:	Grundlagen	7
1. Photonenenergie, Wellenlänge, Frequenz, Wellenzahl		8
2. Spektrale Verteilung und spektrale Größen		10
3. Spektral bewertete Größen (Integrale Wirkung)		14
4. Fläche und Flächenprojektion, Raumwinkel und Raumwinkelprojektion		17
4.1 Fläche und Flächenprojektion		17
4.2 Raumwinkel und Raumwinkelprojektion		18
5. Energetische, photonentechnische und lichttechnische Grundgrößen		25
5.1 Strahlungsfluss, Photonenstrom, Lichtstrom		26
5.2 Spezifische Ausstrahlung, spezifische Photonenausstrahlung, spezifische Lichtausstrahlung (M)		27
5.3 Strahlungsenergie, Photonenzahl, Lichtmenge (Q)		28
5.4 Strahlstärke, Photonenstrahlstärke, Lichtstärke (I)		28
5.5 Bestrahlungsstärken, Photonenbestrahlungsstärken, Beleuchtungsstärken (E)		31
5.6 Bestrahlung, Photonenbestrahlung, Belichtung (H)		34
5.7 Strahldichte, Photonenstrahldichte, Leuchtdichte (L)		34
5.8 Zusammenstellung der lichttechnischen Größen		36
6. Beziehungen zwischen den Grundgrößen		37
6.1 Photometrisches Grundgesetz		37
6.2 Raumwinkelprojektionsgesetz und photometrisches Entfernungsgesetz		39
6.3 Parameter von LAMBERT-Strahlern'		40
6.4 Spezielle Größen; Raumbeleuchtungsstärken und Pupillenlichtstärke		42
6.4.1 Pupillenlichtstärke		42
6.4.2 Räumliche Beleuchtungsstärken		44
7. Abgeleitete Größen		46
7.1 Energetische und lichttechnische Materialeigenschaften und -kennzahlen		46
7.1.1 Allgemeine Definition der Stoffkennzahlen		46
7.1.2 Reflexion, Transmission und Absorption		47
7.1.2.1 Reflexion („Albedo“)		48
7.1.2.1.1 Reflexionsgrad		48
7.1.2.1.2 Optische Dichte (Schwärzung) in Reflexion		48
7.1.2.1.3 Strahldichte- und Leuchtdichtefaktoren in Reflexion		49
7.1.2.1.4 Reflexionskoeffizient		50
7.1.2.1.5 Rückstrahlwert		50
7.1.2.1.6 Zusammenhänge zwischen den Reflexions-Stoffkennzahlen		51
7.1.2.2 Transmission		52
7.1.2.2.1 Transmissionsgrad		52
7.1.2.2.2 Optische Dichte in Transmission		53
7.1.2.2.3 Strahldichte- und Leuchtdichtefaktoren in Transmission		53
7.1.2.2.4 Transmissionskoeffizient		53

7.1.2.3	Absorption	54
7.1.3	Zusammenhänge zwischen Reflexions-, Transmissions- und Absorptionseigenschaften	54
7.2	Licht- und Strahlungsparameter an Grenzflächen und in Volumina	55
7.2.1	Leuchtdichte- bzw. Strahldichte in Medien mit unterschiedlicher Brechzahl	55
7.2.2	Veränderung der Licht- und Strahlungsparameter durch Absorption, Streuung und Emission	58
7.2.2.1	Optisch klare Medien	58
7.2.2.1.1	Reflexion (Spiegelnde Reflexion)	58
7.2.2.1.2	Transmission (Optisch klare Medien)	58
7.2.2.1.3	Gesamttransmissionsgrad von Filterkombinationen	61
7.2.2.1.4	Kombination von Transmission- und Emission	61
7.2.2.2	Streuende Materialien	63
7.2.2.2.1	Licht- und Strahlungsparameter bei stark streuenden Materialien	63
7.2.2.2.2	Licht- und Strahlungsparameter in optisch trüben Volumina	65
7.2.2.2.3	Weitere Streuungskennzahlen	67
8.	Empfängerkennzahlen	70
8.1	Relevante Strahlungs- und Lichtgrößen für die Empfängerbewertung	70
8.2	Gesamt- und differenzielle Empfindlichkeit	70
8.3	Spektrale Empfindlichkeit	71
8.4	Aktivität	72
8.5	Lichtempfindlichkeit in der fotografischen Sensitometrie	73
9.	Wirkungsgrade	75
9.1	Lichtausbeute	75
9.2	Strahlungsausbeute	75
9.3	Optischer Nutzeffekt	75
9.4	Photometrisches Strahlungsäquivalent	76
9.5	Beziehungen zwischen Lichtausbeute, Strahlungsausbeute und optischem Wirkungsgrad	76
9.6	Leuchtenwirkungsgrad	77
9.7	Raum- und Beleuchtungswirkungsgrade	78
9.8	Verstärkungszahl, Verstärkungsfaktor einer Leuchte	78
10.	Grundbeziehungen der technischen Optik	79
10.1	Grundgesetze	79
10.1.1	Lichtausbreitung, Brechzahl	79
10.1.2	Brechungsgesetz	79
10.1.3	Reflexionsgesetz	80
10.1.4	Totalreflexion	80
10.2	Lichtlenkung und Abbildung	81
10.2.1	Lichtlenkung am Reflektor	81
10.2.2	Elementare Reflektorformen	82
10.2.3	Lichtlenkung am Prisma	83
10.2.4	Beziehungen der idealen Abbildung (Linse)	85
10.2.5	Lichtlenkung bei elementaren Linsenformen	86
10.2.6	Blenden und Licht in optischen Systemen	86

10.2.6.1	Gesichtsfeldblende.....	86
10.2.6.2	Öffnungsblende und Blendenzahl	86
10.2.6.3	Licht im optischen System.....	87
10.2.6.4	Berechnung der Beleuchtungsstärke außerhalb der Abbildungsebene	90
10.2.6.4.1	Geometrische Grenzentfernung in einem Punkt	90
10.2.6.4.2	Photometrische Grenzentfernung	92
10.2.7	Licht in optischen Freiflächenformen	93
Teil B:	Licht- und Strahlungsberechnung	95
1.	Formeln für den Raumwinkel und die Raumwinkelprojektion	96
1.1	Raumwinkel und Raumwinkelprojektion bei Kugelabschnitt und Kugelschicht	96
1.2	Raumwinkelprojektion bei rechteckigen Flächen	97
2.	Überblick über die lichttechnischen Grundgrößen.....	98
2.1	Zusammenstellung der lichttechnischen Grundgrößen	98
2.2	L Φ E-Haus	99
3.	Formeln für Elementarstrahler.....	100
3.1	Primärstrahler	100
3.2	Sekundärstrahler	102
3.2.1	Lichttechnische Parameter.....	102
3.2.2	Zusammenhänge zwischen den Stoffkennzahlen	104
4.	Formeln zur Berechnung der Beleuchtungsstärke.....	105
4.1	Beleuchtungsstärke unter großen leuchtenden Flächen	105
4.1.1	Berechnung bei winkelabhängiger Leuchtdichte	105
4.1.2	Berechnung bei konstanter Leuchtdichte über der Fläche und dem Ausstrahlungswinkel	105
4.1.2.1	Kreisrunde Flächen	105
4.1.2.2	Rechteckige Flächen	106
4.2	Beleuchtungsstärke unter kleinen leuchtenden Flächen („Punkt“-Strahler)	106
4.2.1	Varianten für das photometrische Entfernungsgesetz	106
4.2.2	Gültigkeitsgrenzen der Anwendung des photometrischen Entfernungsgesetzes	109
5.	Formeln zur Berechnung der Leuchtdichte.....	110
5.1	Leuchtdichte bei LAMBERT-Strahlern	110
5.2	Leuchtdichte bei spiegelnder Reflexion bzw. bei optisch klarer Transmission	110
5.3	Leuchtdichte bei beliebiger Reflexions- bzw. Transmissionsverteilung	111
6.	Formeln zur Berechnung des Lichtstromaustausches	112
6.1	Ausgangsgleichungen	112
6.2	Lichtstromaustausch zwischen zwei kleinen Flächen	114
6.3	Lichtstromaustausch zwischen einer kleinen u. einer großen kreisrunden Fläche ...	115
6.4	Lichtstromaustausch zwischen zwei großen Flächen	116
6.4.1	Kreisrunde Flächen.....	116
6.4.2	Rechteckige Flächen.....	117
6.5	Bestimmung des Lichtstromaustausches aus der Beleuchtungsstärkeverteilung	120
6.6	Bestimmung des Lichtstromes aus dem zonalen Lichtstromdiagramm	120

7. Wirkungsgradverfahren zur Bestimmung des Lichtstromaustausches, der Beleuchtungsstärke und der Leuchtdichte	121
7.1 Grundlagen des Wirkungsgradverfahrens	121
7.2 Berechnung der lichttechnischen Parameter	123
7.2.1 Berechnung in der Nutzebene	123
7.2.2 Berechnung auf den Wänden	124
7.2.3 Berechnung auf der Decke	124
7.2.4 Genauigkeitsbetrachtungen zum Verfahren	125
7.2.5 Lichtkästen (Transparente) und Lichtdecken	125
8. Formeln für spezielle Anwendungen	127
8.1 Lichtübertragungselemente	127
8.1.1 Lichtübertragung in Licht- und Bildleitern	127
8.1.2 Lichtübertragung mit prismatischen Funktionselementen	129
8.1.2.1 Übertragung und Lichtlenkung bei einfachen prismatischen Elementen	129
8.1.2.2 Übertragung in prismatischen Hohlleitern (Hollow Lightguides)	131
8.1.3 Übertragung in Lichtrohren	132
8.2 Licht und Kamera	133
8.2.1 Belichtung bei variabler Belichtungszeit	133
8.2.2 Belichtung bei festen Belichtungszeiten	139
8.2.3 Belichtung mit Blitzlicht	140
8.3 Licht und Projektion	143
8.3.1 Projektionsgeräte (Projektoren)	145
8.3.2 Bildwände	146
Teil C: Aufgaben zur Licht- und Strahlungsberechnung	149
Teil D: Anhang	173
Teil E: Literaturverzeichnis	193
Teil F: Verwendete Größen und ihre Formelzeichen	197
Teil G: Stichwortverzeichnis	207