



# LICHT UND BELEUCHTUNG IM MEDIENBEREICH

HANSER

Greule

## Licht und Beleuchtung im Medienbereich



Unser **Computerbuch-Newsletter** informiert Sie monatlich über neue Bücher und Termine. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter



[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)

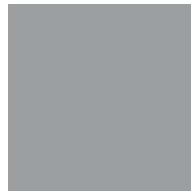
# Medien

**Herausgeber:** Ulrich Schmidt

**Weitere Bücher der Reihe:**

- Fries: Mediengestaltung
- Görne: Tontechnik
- Heyna/Briede/Schmidt: Datenformate im Medienbereich
- Petrasch: Videofilm
- Raffaseder: Audiodesign
- Rehfeld: Game Design und Produktion
- Schmidt: Digitale Film- und Videotechnik
- Steppat: Audioprogrammierung

Roland Greule



# **Licht und Beleuchtung im Medienbereich**

HANSER

**Die Autoren:**

Prof. Dr.-Ing. Roland Greule, HAW Hamburg (Kapitel 1-7, Kapitel 9-10, Kapitel 12-16, Kapitel 18-20)  
Dr. habil. Roland Heinz, TU Graz (Kapitel 8)  
Dipl.-Ing. (FH) Martin Rupprecht, HAW Hamburg (Kapitel 11)  
Dipl.-Ing. (FH) Alexandra Ehrlitzer, HAW Hamburg (Kapitel 14 + 17)  
B.Sc. Fabian Oving, HAW Hamburg (Kapitel 17)

**Der Herausgeber:**

Ulrich Schmidt, HAW Hamburg



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine juristische Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso übernehmen Autoren und Verlag keine Gewähr dafür, dass beschriebene Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt deshalb auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2015 Carl Hanser Verlag München

Lektorat: Mirja Werner, M.A., Franziska Jacob, M.A.

Seitenlayout und Herstellung: Der Buchmacher, Arthur Lenner, München

Covermotiv: ETC – Electronic Theatre Controls (mit freundlicher Genehmigung)

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Datenbelichtung, Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-43479-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-43988-7

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

**»Der Weltuntergang steht bevor,  
aber nicht so, wie Sie denken.  
Dieser Krieg jagt nicht alles in die Luft,  
sondern schaltet alles ab.«**



Tom DeMarco

Als auf der Welt das Licht ausging

ca. 560 Seiten. Hardcover

ca. € 19,99 [D] / € 20,60 [A] / sFr 28,90

ISBN 978-3-446-43960-3

Erscheint im November 2014

Hier klicken zur  
Leseprobe

Sie möchten mehr über Tom DeMarco und seine Bücher erfahren.  
Einfach reinklicken unter [www.hanser-fachbuch.de/special/demarco](http://www.hanser-fachbuch.de/special/demarco)

# Vorwort

Das Thema Licht und Beleuchtung begleitet mich seit vielen Jahren im Berufsleben, beginnend mit dem Studium an der TU in Karlsruhe, der praktischen Umsetzung im Berufsalltag als Lichtplaner und Lichtdesigner bis hin zu der wissenschaftlichen Arbeit als Hochschullehrer. Dabei hat das Thema Farbe und die Faszination der Visualisierung von Licht mit Rechenprogrammen bis heute Bestand. Durch die rasante Entwicklung der LEDs und ihre Einsatzmöglichkeiten im Theater-, Fernseh- und Showbereich wird das Thema Licht und Farbe noch faszinierender wie bisher. Lassen Sie sich überraschen.

## Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle dem Hanser-Verlag, vor allem meiner Lektorin Frau Werner, für die sehr gute Zusammenarbeit danken. Mein Dank geht auch an den Herausgeber der Reihe, meinem Kollegen Prof. Dr. Ulrich Schmidt.

Ein besonderer Dank geht auch an die Mitautoren Frau Alexandra Ehrlitzer, Herrn Martin Rupprecht, Herrn Fabian Oving und Herrn Dr. Roland Heinz. Vielen Dank für die Unterstützung im Kapitel 15 „Fernseh-Licht“ durch Herrn Matthias Wilkens, sowie seine detaillierten Diskussionen, um dem Buch seine jetzige Form zu geben.

Danke an die Kollegen, die mir Bilder bzw. Grafiken zur Verfügung gestellt haben (Heribert Bernstädt, Markus Beug-Rapp, Marc Briede, Michael Feldmann, Carsten Grigo, Lutz Hassenstein, Markus Hegi, Berthold Jäger, Sebastian Jakob, Michael Kersten, Sofia Layer, Dominik Mentzos, Daniel Müller, Matthias Wilkens). Danke auch an Dr. Thomas Lemke für die Erstellung vieler Grafiken.

Ein Dankeschön an die Firmen, die mir Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben (ArKaos, ARRI, Barco, BRAINPOOL, Christie, Coolux, Dedo Weigert, Despar, ETC, FGL, Highend Systems, JB-Lighting, Konica Minolta, Loopligh, Lumiblade, MA Lighting, Martin Professional, MCI, Niethammer, Relux AG, SMI, Sony, TechnoTeam).

Und ein großes Dankeschön auch an meine Frau für das intensive Korrekturlesen und die Zeit, die sie mit mir bzgl. Diskussionen und Details verbracht hat.

*Roland Greule*

Hamburg, September 2014

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

# Widmung

Ich widme dieses Buch meinen Eltern, Hedwig und Georg Greule.

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>Licht und Strahlung .....</b>	<b>23</b>
2.1	Strahlungsphysik und Photometrie .....	23
2.2	Strahlung und Spektrum .....	24
2.2.1	Sichtbare Strahlung .....	24
2.2.2	UV-Strahlung.....	24
2.2.3	IR-Strahlung .....	25
2.3	Physikalische Größen.....	25
2.3.1	Strahlungsfluss $\Phi_e$ .....	25
2.3.2	Strahlstärke $I_e$ .....	25
2.3.3	Bestrahlungsstärke $F_e$ .....	25
2.3.4	Strahldichte $L_e$ .....	26
2.3.5	Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen.....	26
2.4	Licht- und Emissionsspektren .....	26
2.4.1	Kontinuierliches Spektrum.....	26
2.4.2	Linienspektrum .....	27
2.5	Weißes und farbiges Licht .....	27
2.5.1	Farbiges Licht.....	27
2.5.2	Körperfarben .....	28
2.6	Schwarzer Strahler und Farbtemperatur .....	28
2.6.1	Farbtemperatur bzw. ähnlichste Farbtemperatur .....	29
2.6.2	Normlichtarten.....	30
<b>3</b>	<b>Lichttechnische Grundgrößen.....</b>	<b>31</b>
3.1	Spektrale Hellempfindlichkeit .....	31
3.1.1	Messaufbau.....	31
3.1.2	Relative Hellempfindlichkeit bei Tagessehen .....	32
3.2	Lichtstrom $\Phi$ .....	33
3.2.1	Hellempfindlichkeit bei photopischem Sehen .....	33
3.2.2	Hellempfindlichkeit bei skotopischem Sehen.....	34
3.2.3	Circadianer Wirkungsfaktor $a_{cv}$ .....	34
3.3	Lichtausbeute $\eta$ .....	35

3.4	Lichtstärke I .....	36
3.4.1	Raumwinkel $\Omega$ .....	37
3.4.2	Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) .....	37
3.4.3	Lichtstärkeverteilungskurve eines Stufenlinsenscheinwerfers .....	38
3.5	Beleuchtungsstärke E .....	39
3.5.1	Schräger Lichteinfall.....	40
3.5.2	Photometrisches Entfernungsgesetz.....	41
3.6	Belichtung H .....	42
3.7	Leuchtdichte L .....	43
3.8	Stoffkennzahlen.....	44
3.8.1	Reflexionsgrad .....	44
3.8.1.1	Diffuse Reflexion .....	45
3.8.1.2	Gerichtete Reflexion.....	45
3.8.1.3	Gemischte Reflexion .....	45
3.8.2	Transmissionsgrad.....	46
3.8.3	Absorptionsgrad .....	47
3.9	Übungsbeispiele.....	49
<b>4</b>	<b>Kontrast und Helligkeit.....</b>	<b>50</b>
4.1	Kontrast .....	50
4.1.1	Physiologischer Kontrast.....	50
4.1.2	Helligkeitsdetektion C .....	51
4.2	Kontrastdefinition im Film- und Fernsehbereich .....	51
4.2.1	Objektkontrast .....	52
4.2.2	Lichtkontrast .....	53
4.2.3	Szenenkontrast .....	53
4.2.4	Kontrastumfang und Blendenstufen .....	53
4.3	Ratio .....	54
4.4	Helligkeit und Helligkeitsmodelle.....	56
4.4.1	Helligkeitsmodelle.....	56
	Weber-Fechner'sche Regel .....	56
	Steven'sche Formel .....	57
	Adams und Cobb.....	57
4.4.2	Helligkeitsmodell CIE-L* .....	58
4.5	Übungsbeispiele.....	59
<b>5</b>	<b>Auge und Wahrnehmung .....</b>	<b>60</b>
5.1	Physiologie des Sehens .....	60
5.1.1	Optisches System des Auges .....	60
5.1.2	Netzhaut.....	61
5.1.3	Fovea Centralis .....	61
5.1.4	Sehnerv .....	61
5.2	SML-Zapfen und Farbwahrnehmung.....	62
5.2.1	Dreifarbentheorie .....	62
5.2.2	SML-Zapfen .....	62
5.2.3	Gegenfarbentheorie nach Hering .....	63

5.2.4	Zonentheorie .....	63
5.2.5	Tag- und Nachtsehen.....	64
5.2.6	Verteilung der Rezeptoren .....	64
5.3	Grundlagen der Wahrnehmung.....	64
5.3.1	Fixation und Saccaden.....	65
5.3.2	Sehschärfe .....	66
5.3.3	Akkommodation .....	66
5.3.4	Wahrnehmungsbereich/Gesichtsfeld.....	66
5.3.5	Adaptation .....	67
5.4	Konstanzwahrnehmung.....	67
5.4.1	Helligkeitskonstanz.....	68
5.4.2	Farbkonstanz .....	68
5.4.2.1	Chromatische Adaptation .....	68
5.4.2.2	Stevens-und-Hunt-Effekt .....	69
5.5	UV-, IR- und Blaulichtgefährdung für Auge und Haut.....	69
<b>6</b>	<b>Farbmétrische Grundlagen.....</b>	<b>71</b>
6.1	Farbmétrische Grundgrößen.....	71
6.1.1	Farbreizfunktion.....	72
6.1.2	Farbempfindung .....	72
6.1.3	Farbvalenz .....	72
6.1.4	Unbunte Farbvalenzen.....	72
6.1.5	Bunte Farbvalenzen.....	73
6.1.6	Helligkeit.....	73
6.1.7	Farbton (Bunton) .....	73
6.1.8	Sättigung (Buntheit) .....	73
6.1.9	Farbmischung .....	73
6.1.10	Niedrige und höhere Farbmétriek .....	74
6.2	Historische Entwicklung der Farbmétriek.....	74
6.2.1	Farbkreis .....	74
6.2.2	Dreidimensionale Farbsysteme.....	75
6.2.3	Farbordnungssysteme .....	75
6.3	Farbräume .....	76
6.3.1	RGB-Farbraum.....	76
6.3.2	CIE-XYZ-Farbraum .....	77
6.3.3	Farbtafel .....	79
6.3.4	CIE-UCS-Farbtafel .....	79
6.3.5	CIE-L*u*v* .....	80
6.3.6	CIE- L*a*b* .....	81
6.3.7	Farbabstandsformeln .....	82
6.4	Additive und subtraktive Farbmischung.....	83
6.4.1	Additive Farbmischung .....	83
6.4.2	Subtraktive Farbmischung.....	84
6.5	Farbwiedergabe R <sub>a</sub> .....	84
6.6	Farbfolien, Farbgläser und Konvertierungsfolien.....	85
6.6.1	Farbfolien .....	86

6.6.2	Farbgläser .....	87
6.6.3	Konversionsfolien, Neutralfilter und Korrekturfilter .....	87
6.6.4	MIRED .....	88
6.6.5	Mired Shift Value.....	88
6.7	Übungsbeispiele.....	89
<b>7</b>	<b>Licht- und Farbmesstechnik.....</b>	<b>90</b>
7.1	Visuelle Photometrie .....	90
7.2	Physikalische Photometrie .....	91
7.2.1	Beleuchtungsstärkemesser.....	91
7.2.2	Leuchtdichtemesser .....	93
7.2.3	Messung von Lichtstärke-Verteilungs-Kurven .....	94
7.2.4	Ulbrichtkugel (U-Kugel) .....	95
7.2.5	Spektrale Photometrie .....	96
7.3	Belichtungsmessung .....	96
7.3.1	Belichtung.....	96
7.3.2	Belichtungsmesser .....	97
7.3.3	Spotmeter.....	97
7.4	Farbmessung.....	97
7.4.1	Gleichheitsverfahren .....	98
7.4.2	Licht- und Körperfarben.....	98
7.4.2.1	Spektraler Reflexionsgrad $\beta(\lambda)$ .....	98
7.4.2.2	Farbvalenz von Körperfarben.....	98
7.4.3	Dreibereichsverfahren.....	99
7.4.4	Spektralverfahren.....	100
7.5	Messgeometrien .....	102
7.5.1	Messgeometrie $45^\circ 0^\circ$ .....	102
7.5.2	Messgeometrie diffus $d/0^\circ$ .....	102
7.5.3	Messgeometrie diffus $d/8^\circ$ .....	103
7.6	Übungsbeispiele.....	103
<b>8</b>	<b>Lichtquellen .....</b>	<b>104</b>
8.1	Aufbau und Wirkungsweise.....	105
8.2	Lebensdauer und Lampenalterung .....	105
8.3	Glüh- und Halogenlampen.....	105
8.3.1	Die Glühlampe: Historie, Aufbau und Wirkungsprinzip .....	106
8.3.2	Temperaturstrahlung.....	107
8.3.3	Aufbau und Wirkprinzip der Halogenlampe .....	108
8.3.4	Halogenlampen im Fernseh-, Film- und Theaterbereich .....	109
8.4	Niederdruckentladungslampen .....	110
8.5	Hochdruckentladungslampen .....	112
8.5.1	Hochdruck-Metallhalogendampflampen.....	112
8.5.2	Hochdruckentladungslampen im Fernseh-, Film- und Theaterbereich....	113
8.6	Lichtemittierende Dioden (LED) .....	113
8.6.1	Elektrolumineszenz .....	113
8.6.2	Lichterzeugung im III-V-Halbleiter.....	114

8.6.3	LED-Technologie .....	114
8.6.4	Aufbau und Wirkungsgrad von LED-Lampen.....	115
8.6.5	LED-Produkte und Applikationsfelder.....	116
8.7	Organische lichtemittierende Dioden (OLED).....	117
8.7.1	Funktionsprinzip von OLED .....	117
8.7.2	OLED-Display .....	118
<b>9</b>	<b>Scheinwerfer .....</b>	<b>119</b>
9.1	Konventionelle Scheinwerfer .....	119
9.1.1	Plankonvex-Scheinwerfer (PC-Scheinwerfer).....	119
9.1.2	Stufenlinsenscheinwerfer (Fresnelscheinwerfer) .....	120
9.1.3	Profilscheinwerfer .....	121
9.1.3.1	Ellipsenspiegel-Linsenscheinwerfer.....	121
9.1.3.2	Zoom-Profilscheinwerfer.....	122
9.1.3.3	Verfolgerscheinwerfer .....	122
9.2	Parabolspiegel-Scheinwerfer .....	122
9.2.1	PAR-Scheinwerfer (Parabolspiegelscheinwerfer) .....	123
9.2.2	Unterscheidung PAR 36, PAR 56, PAR 64 .....	124
9.3	Flächen- und Horizontleuchten .....	125
9.4	Zubehör.....	125
9.5	Moving Lights und Moving Heads .....	128
9.5.1	Moving Lights (Multifunktionsscheinwerfer).....	128
9.5.1.1	Washlights .....	129
9.5.1.2	Spotlights .....	129
9.5.2	Scanner .....	130
9.5.3	B-Mover .....	131
9.5.4	LED-Scheinwerfer .....	131
9.6	Spezielle Scheinwerfer im Filmbereich .....	132
9.6.1	Dedo-Light.....	132
9.6.2	Fresnelscheinwerfer hoher Leistung.....	132
9.6.3	Weichstrahlende Scheinwerfer.....	132
9.6.3.1	Kino-Flo.....	133
9.6.3.2	Chimera.....	133
<b>10</b>	<b>Lichtsteuerung, Lichtstellpulte und Dimmer .....</b>	<b>135</b>
10.1	Entwicklung der Lichtsteuerung.....	135
10.2	Grundlagen von DMX (Digital Multiplex).....	137
10.2.1	Analoge Steuerungstechnik.....	137
10.2.2	Analogen Multiplexing.....	137
10.2.3	Digitales Multiplexing .....	137
10.2.4	DMX-512 .....	137
10.2.5	Übertragungsprotokoll von DMX-512 .....	138
10.2.5.1	Daten .....	139
10.2.5.2	Verkabelung .....	139
10.2.6	Neuere Entwicklungen – digitale Multiplexsignale .....	140
10.2.6.1	DMX-512A .....	140
10.2.6.2	RDM (Remote Device Management).....	140

10.3	Lichtnetzwerke .....	140
10.3.1	Ethernet .....	141
10.3.1.1	Aufbau eines Ethernet-Netzwerkes (Topologie) .....	141
10.3.1.2	Netzwerknoten/Nodes.....	142
10.3.2	MA-Net (MA Lighting) .....	142
10.3.3	ArtNet.....	142
10.3.4	ACN (Architecture for Control Networks) .....	142
10.3.5	ETCNet (ETC-Electronic Theatre Controls).....	143
10.3.6	Power over Ethernet/LAN .....	143
10.3.7	Wireless DMX (kabellose Lichtsteuerung).....	143
10.4	Lichtstellpulte .....	143
10.4.1	Manuelle Lichtsteuerung .....	144
10.4.2	Speicherlichtsteuerungen .....	145
10.4.2.1	Lichtsteuerung für konventionelles Licht .....	145
10.4.2.2	Hybride Lichtsteuerung für konventionelles Licht und Moving Lights .....	145
10.4.2.3	Moving-Light-Steuerung.....	145
10.4.2.4	Lichtstellpulte im Fernsehstudio .....	146
10.4.2.5	Lichtstellpulte im Theaterbereich.....	146
10.4.3	Begriffsdefinitionen .....	146
10.4.3.1	Hauptpult.....	146
10.4.3.2	Havariepult.....	146
10.4.3.3	Nebenpult .....	146
10.4.3.4	Lastteil.....	146
10.4.3.5	Lastkreis .....	147
10.4.3.6	Stromkreis .....	147
10.4.3.7	Lichtstimmung (Cue) .....	147
10.4.3.8	Register .....	147
10.4.4	Bedienelemente eines Lichtstellpultes.....	147
10.4.4.1	Kreissteuerung .....	148
10.4.4.2	Submaster.....	148
10.4.4.3	Playback-System.....	148
10.4.4.4	Meistersteller/Grand Master .....	148
10.4.4.5	Steuereinrichtungen für Multifunktionsgeräte.....	148
10.4.4.6	Effektsteuerung .....	145
10.5	Dimmer und Dimmeranlagen .....	165
10.5.1	Dimmersysteme .....	165
10.5.2	Dimmeransteuerung.....	166
10.6	Anwendungsbeispiel .....	166
11	<b>Digital Lighting</b> .....	168
11.1	LED-Wände.....	168
11.1.1	Grundlagen.....	169
11.1.2	Auflösung.....	169
11.1.3	Pixelpitch .....	170

11.2	Projektionen.....	171
11.2.1	LCD- und DLP-Projektoren.....	171
11.2.2	Technische Grundlagen.....	172
11.2.2.1	Geometrie und Entzerrung.....	172
11.2.2.2	Farbe.....	173
11.2.2.3	Helligkeit .....	173
11.2.2.4	Auflösung und Format.....	173
11.3	Medienserver.....	174
11.3.1	Überblick Grundfunktionen .....	175
11.3.1.1	Layer.....	175
11.3.1.2	Content.....	176
11.3.1.3	Ausgabe.....	176
11.3.1.4	Textures und Manipulation.....	177
11.3.1.5	Ebenen.....	177
11.3.1.6	Virtuelle Kamera und 3D-Raum .....	177
11.3.1.7	Erweiterte Funktionen .....	178
11.3.1.8	Zeitbasis.....	178
11.3.1.9	Steuerung und Ansteuerung .....	179
11.3.1.10	Integrierte Benutzeroberflächen.....	179
11.3.1.11	Bedienung durch Lichtstellpulte.....	180
11.3.1.12	Manager-Anwendung und Timeline.....	181
11.3.2	Signale und Schnittstellen .....	182
11.3.2.1	Ansteuerung.....	183
11.3.2.2	Bildschnittstellen.....	183
11.3.2.3	Sonstige Schnittstellen .....	183
12	<b>Lichtführung .....</b>	184
12.1	Licht und Schatten .....	185
12.1.1	Natürliche Lichtrichtungen.....	185
12.1.2	Licht zur Orientierung.....	186
12.2	Lichtrichtungen .....	186
12.3	Schattigkeit .....	187
12.3.1	Gerichtetes Licht.....	187
12.3.2	Kernschatten bzw. Zentralschatten .....	188
12.3.3	Halbschatten.....	188
12.3.4	Harter bzw. weicher Schatten.....	188
12.3.5	Lichteinfallslinie .....	189
12.3.6	Punktuelles Licht.....	189
12.3.7	Weiches Licht .....	190
13	<b>Lichtgestaltung und Lichtdesign .....</b>	191
13.1	Kurzer historischer Überblick .....	191
13.2	Grundregeln der Lichtgestaltung .....	192
13.2.1	Lichtgestaltung/Lichtstimmung/Lichtdesign .....	192
13.2.2	Personen .....	192
13.3	Ausleuchten des Darstellers (Personenlicht) .....	193

13.4	Lichtrichtungen .....	194
13.4.1	Vorderlicht .....	194
13.4.2	Seitliches Vorderlicht.....	195
13.4.3	Oberlicht.....	195
13.4.4	Kopflicht (Toplight) .....	196
13.4.5	Hinterlicht bzw. Gegenlicht .....	196
13.4.6	Seitenlicht.....	196
13.4.7	Gassenlicht .....	197
13.4.8	Rampenlicht, Unterlicht, Fußlicht.....	197
13.4.9	Horizont- bzw. Hintergrundlicht.....	198
13.5	Lichtgestaltung für Fernsehkameras.....	198
13.5.1	Lichtrichtungen im Fernsehbereich.....	198
13.5.2	Personenausleuchtung im Fernsehbereich.....	199
13.5.2.1	Einpunkt-Ausleuchtung .....	199
13.5.2.2	Zweipunkt-Ausleuchtung.....	200
13.5.2.3	Dreipunkt-Ausleuchtung.....	200
13.5.2.4	Vierpunkt-Ausleuchtung.....	200
13.5.2.5	Green-/Blue-Box-Ausleuchtung.....	201
13.5.3	Lichtsetzung im Film .....	201
13.6	Fotografische Stile.....	201
13.6.1	Normal-Stil.....	202
13.6.2	Low-Key-Stil.....	202
13.6.2.1	„Unausgeglichener Low-Key“ .....	203
13.6.2.2	„Aufgehellter Low-Key“ .....	203
13.6.3	High-Key-Stil .....	203
13.6.4	Grundregeln der Lichtführung.....	203
<b>14</b>	<b>Theater-Licht.....</b>	<b>205</b>
14.1	Kurzer historischer Überblick .....	205
14.2	Verantwortliche Personen .....	207
14.3	Scheinwerfer und Standorte.....	208
14.3.1	Scheinwerfertypen .....	208
14.3.2	Standorte der Beleuchtungseinrichtungen .....	209
14.4	Lichtgestaltung im Theaterbereich .....	209
14.4.1	Theorie nach McCandless - Qualitäten des Lichts .....	210
14.4.1.1	Intensität (Intensity).....	210
14.4.1.2	Farbe (Colour) .....	210
14.4.1.3	Verteilung des Lichtes (Distribution).....	210
14.4.1.4	Bewegung (Movement).....	210
14.4.2	Theorie nach McCandless - Funktionen des Lichts .....	211
14.4.2.1	Sichtbarkeit (Visibility) .....	211
14.4.2.2	Natürlichkeit/Formgebung (Naturalism) .....	211
14.4.2.3	Gestalterischer Aufbau (Composition).....	211
14.4.2.4	Stimmung (Mood).....	211
14.4.3	Umsetzung der Theorien nach McCandless .....	211
14.4.4	Theorie nach Richard Pilbrow .....	212

14.5	Lichtkonzeption und Produktion.....	213
14.5.1	Planung .....	213
14.5.2	Produktionsablauf .....	214
14.5.3	Beleuchtungsproben .....	215
14.6	Bühne und Bühnenformen .....	215
14.7	Bühnen- und Lichtstile im Theater.....	216
14.7.1	Bühnenstile.....	216
14.7.2	Lichtstile.....	216
14.8	Sprech-, Musik- und Tanztheater .....	216
14.8.1	Sprechtheater.....	217
14.8.2	Musiktheater .....	217
14.8.2.1	Musical.....	217
14.8.2.2	Oper .....	217
14.8.3	Tanztheater.....	217
14.9	Verständnisfragen.....	218
<b>15</b>	<b>Fernseh-Licht.....</b>	<b>219</b>
15.1	Studios .....	219
15.1.1	Aufsager- oder Schaltenstudio.....	219
15.1.2	Nachrichten-, Magazin- oder Spartenstudio.....	220
15.1.3	Multifunktionsstudio .....	221
15.1.4	Show-Studio.....	222
15.2	Genres von Sendungen .....	222
15.3	An der Lichtgestaltung beteiligte Personen.....	223
15.3.1	Regie .....	223
15.3.2	Setdesign.....	223
15.3.3	Lichtdesign .....	223
15.3.4	Kameramann .....	224
15.3.5	Beleuchtungsmeister .....	224
15.3.6	Lichtpult-Operator .....	224
15.3.7	Beleuchter .....	224
15.3.8	Bildingenieur .....	224
15.3.9	Maske .....	225
15.3.10	Kostüm .....	225
15.3.11	Protagonisten .....	225
15.4	Eingesetzte Scheinwerfer.....	225
15.4.1	Fresnel-Scheinwerfer .....	225
15.4.2	Weitere Scheinwerfer im Fernsehstudio.....	226
15.5	Fernsehsystem.....	226
15.5.1	Die Fernsehübertragungskette.....	227
15.5.2	Display und Bildbeurteilung.....	227
15.5.3	Kamera und Objektiv.....	228
15.5.3.1	Objektiv.....	228
15.5.3.2	Lichtempfindlichkeit, Arbeitsblende und Lichtniveau der Produktion .....	229
15.5.3.3	Weiβabgleich.....	230

15.6	Fernseh-Licht .....	230
15.6.1	Lichtkonzepte .....	230
15.6.1.1	Punktuelles Licht.....	231
15.6.1.2	Flächiges Licht.....	232
15.6.2	Ausleuchtung mehrerer Personen.....	232
15.6.3	Beleuchtung bei Talk-Sendungen im Fernsehen.....	232
15.6.4	Beleuchtung von Zuschauern im Fernsehen .....	232
15.6.5	Beleuchtung des Sets im Fernsehen .....	233
15.7	Sendeablauf.....	233
15.7.1	Vor der Sendung .....	233
15.7.2	Einleuchten.....	233
15.7.3	Lichtplan .....	235
15.7.4	Pultkonzept.....	235
15.7.5	Lichtänderung während der Sendung .....	235
15.7.6	Lichtwechsel.....	236
15.7.7	Sendung .....	237
<b>16</b>	<b>Film-Licht.....</b>	<b>238</b>
16.1	Kurzer historischer Überblick .....	238
16.2	Filmempfindlichkeit .....	239
16.2.1	Belichtung.....	239
16.2.2	Dichtewert D.....	240
16.2.3	Gradation .....	240
16.2.4	Lichtempfindlichkeit (ISO – DIN/ASA).....	241
16.2.5	Kontrastumfang beim Filmmaterial .....	241
16.2.6	Lichtempfindlichkeit digitaler Filmkameras .....	241
16.2.7	Schärfentiefe versus Tiefenschärfe .....	242
16.3	Personen .....	244
16.4	Messtechnik .....	244
16.5	Eingesetzte Scheinwerfer.....	244
16.5.1	Dino Lights .....	245
16.5.2	Spacelights .....	246
16.5.3	Heliumballon.....	246
16.5.4	Butterfly .....	247
16.5.5	Bouncing .....	247
16.5.6	Fahnen/French Flags.....	247
16.6	Lichtstile im Filmbereich .....	248
16.7	Modelling.....	249
<b>17</b>	<b>Konzert-Licht .....</b>	<b>250</b>
17.1	Kurzer historischer Überblick .....	250
17.2	Personen .....	252
17.3	Eingesetzte Scheinwerfer.....	252
17.4	Lichtkonzeption und Produktion .....	253
17.5	Produktionsablauf.....	254
17.5.1	Rigging .....	254

17.5.2	Positionierung und Adressierung von Scheinwerfern .....	255
17.5.3	Einleuchten/Fokussieren .....	255
17.6	Bühnenform und Lichtrichtungen .....	256
17.6.1	Bühnenformen .....	256
17.6.2	Traversen .....	256
17.6.3	Lichtrichtungen .....	257
17.7	Bühnenbeispiele.....	258
17.7.1	Kleine Bühne.....	258
17.7.2	Mittlere Bühne .....	259
17.7.3	Große Bühne.....	260
<b>18</b>	<b>Show- und Event-Licht.....</b>	<b>261</b>
18.1	Beispiel: Eurovision Song Contest 2012 in Baku (Aserbaidschan) .....	262
18.2	Lichtdesign.....	262
18.2.1	Erzeugung eines „Looks“ .....	263
18.2.1.1	Dramaturgie .....	264
18.2.1.2	Ästhetik.....	264
18.2.1.3	Bühnendesign .....	264
18.2.1.4	Video-Content .....	264
18.2.2	Gestaltungsregeln .....	264
18.2.3	Anordnung der Scheinwerfer .....	265
18.3	Grundlagen Farbkonzept .....	265
<b>19</b>	<b>Lichtpläne und Lichtsimulation .....</b>	<b>267</b>
19.1	Grundlagen .....	267
19.1.1	Modellbau .....	267
19.1.2	Simulation.....	268
19.2	Lichtpläne.....	269
19.3	Begriffe der Computersimulation.....	271
19.3.1	Drahtgittermodell (Wireframe) .....	271
19.3.2	Materialbeschreibung.....	271
19.3.3	Beleuchtung.....	272
19.3.4	Rendering .....	272
19.4	Rechenalgorithmen.....	272
19.4.1	Flat-Shading .....	273
19.4.2	Gourand-Shading.....	273
19.4.3	Phong-Shading.....	273
19.4.4	Radiosity- bzw. Punkt-zu-Punkt-Verfahren .....	274
19.4.5	Raytracing-Verfahren.....	274
19.4.6	Hybrid-Verfahren (Two-Path-Methode).....	275
19.5	Lichtsimulationsprogramme .....	276
19.5.1	Einteilung der Programme in Anwendungsbereiche .....	276
19.5.1.1	High-End-Programme .....	276
19.5.1.2	Middle-Programme .....	276
19.5.1.3	Programme aus dem Veranstaltungsbereich.....	276
19.5.1.4	Lichtberechnungsprogramme .....	277
19.5.1.5	Game-Engines .....	277

19.5.2 Spezielle Programme für den Einsatz im Showbereich .....	277
19.5.2.1 wysiwyg .....	277
19.5.2.2 grandMA 3D.....	278
<b>20 Ausblick: Lichttechnik in der Zukunft.....</b>	<b>279</b>
20.1 Zusammenwachsen von Eventwelt und Lichtarchitektur .....	280
20.2 Zusammenwachsen von Licht, Video und Netzwerktechnik .....	280
<b>Die Autoren.....</b>	<b>283</b>
<b>Anhang A Lösungen der Übungsaufgaben und Verständnisfragen.....</b>	<b>285</b>
<b>Anhang B Webadressen (Verbände).....</b>	<b>287</b>
Literaturverzeichnis .....	289
Fachzeitschriften .....	290
Bildnachweis.....	291
<b>Index .....</b>	<b>297</b>

# 1

## Einführung

Der Einsatz von Licht und Beleuchtung im Medienbereich ist vielfältig. Beginnend vom Theaterstück über Fernsehsendungen, den Film bis hin zu großen Events. Der visuelle Kanal ist bei Menschen immer noch dominant, da rund 80 % der Wahrnehmung über das Auge erfolgt.

Die Wirkung des Lichts im Medienbereich kann man in verschiedene Bereiche unterteilen. Licht macht Objekte wahrnehmbar und ist verantwortlich für die Güte der Wahrnehmung. Licht hat eine dramatische Rolle in der Weise, dass es als untrennbarer Teil der szenischen Handlung auftritt. Licht rückt die Bühne, die Filmkulisse, aber auch die Architektur ins „rechte Licht“. Licht bringt Farben und Oberflächen zur Geltung. Licht beeinflusst die physiologischen Vorgänge beim Sehen und Erkennen und Licht wirkt motivierend auf die Menschen.

In diesem Lehrbuch wird der Bogen vom Theater über das Fernsehen, den Film bis zum Event- und Showbereich gezogen. Dabei wird im ersten Drittel des Lehrbuches die Theorie betrachtet, wie z. B. die physikalischen Eigenschaften des Lichts, die lichttechnischen Grundgrößen wie Lux und Lumen bis hin zur Physiologie des Auges.

Ausgehend von dem menschlichen Auge und unter Berücksichtigung der Helligkeits- und Farbwahrnehmung werden dann die grundlegenden Parameter der Farbmetrik vorgestellt. Wer sich mit Licht und Beleuchtung beschäftigt, muss die Grundlagen der Farbmetrik kennen sowie die dazu notwendigen Messtechniken. Auf dieser Theorie aufbauend, werden im zweiten Abschnitt des Buches die „Geräte“, d. h. die Lichtquellen, die Scheinwerfer, die Lichtstellenanlagen und die Medienservert erläutert.

Im dritten Abschnitt des Buches werden dann die Anwendungen betrachtet. Dabei kommen die Besonderheiten bei der Theaterbeleuchtung, dem Fernseh-Licht, der Filmbeleuchtung, sowie das Besondere beim Konzert-Licht zur Darstellung, um dann im Kapitel Show- und Event-Licht das Zusammenwirken der verschiedenen Bereiche aufzuzeigen.

Im letzten Kapitel wird kurz die Lichttechnik der Zukunft, d. h. OLEDs (Organische LEDs) und ihre Möglichkeiten vorgestellt sowie das Zusammenwachsen der Lichttechnik mit der Lichtarchitektur betrachtet.

Am Ende dieses Buches werden Sie verstehen, warum es in den letzten Jahren ein immer stärkeres Zusammenwachsen der verschiedenen Bereiche Licht, Video und Netzwerktechnik gibt. Andererseits werden Sie die unterschiedlichen Herangehensweisen in den einzelnen Medienbereichen kennengelernt haben, je nachdem ob Sie über Licht im Theater, im Fernsehen, beim Film oder über Event sprechen.

Dieses Buch ist ein Grundlagenbuch, geschrieben für Studierende in Medienstudiengängen wie z. B. Medientechnik, Veranstaltungstechnik und Mediengestaltung, für Auszubildende im AV- und Veranstaltungsbereich, sowie für Lichtplaner und Lichtdesigner. Natürlich auch für all diejenigen die sich für das Thema Licht und Beleuchtung in Medien interessieren.

# 2

# Licht und Strahlung

Bevor der Bereich der Lichttechnik genauer und ausführlich behandelt wird, werden die physikalischen Grundlagen kurz erläutert. Licht bzw. optische Strahlung ist bis zum Auftreffen auf das Auge bzw. die Netzhaut eine elektromagnetische Welle und gehört zu dem Bereich der Physik. Erst durch die wellenlängenabhängige Bewertung des Lichts durch die in der Netzhaut vorhandenen Rezeptoren (**Zapfen und Stäbchen**) müssen neue Einheiten (lichttechnische Einheiten) verwendet werden. Den Bereich der optischen Strahlung kann man in Strahlenoptik, Wellenoptik und Quantenoptik unterteilen. Da bei der klassischen Lichttechnik immer in Dimensionen gearbeitet wird, die deutlich größer sind als die betrachteten Wellenlängen, wird in den weiteren Kapiteln von der Strahlungsoptik bzw. der Strahlungsphysik ausgegangen.

## ■ 2.1 Strahlungsphysik und Photometrie

Während die Strahlungsphysik Begriffe wie z.B. Strahlungsleistung oder Bestrahlungsstärke verwendet, benutzt die Photometrie bzw. die Lichttechnik Begriffe wie Lichtstrom oder Beleuchtungsstärke. Der Unterschied zwischen den strahlungsphysikalischen und den fotometrischen Größen liegt darin, dass die Strahlungsphysik energetische Größen verwendet, die Fotometrie diese Größen jedoch unter Einbeziehung des Auges bzw. konkret der **spektralen Hellempfindlichkeit** des menschlichen Auges betrachtet. D.h., das menschliche Auge gewichtet die einzelnen Wellenlängen des sichtbaren Lichts unterschiedlich, sodass die Licht- und Beleuchtungstechnik nicht mit physikalischen Begriffen/Einheiten arbeiten kann, sondern eigene, neue Begriffe wie Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte benötigt.

### Wellenlänge und Frequenz

Da es sich bei Licht um eine elektromagnetische Strahlung handelt, werden die Begriffe Wellenlänge oder Frequenz verwendet. Zwischen der Wellenlänge  $\lambda$  und der Frequenz  $f$  einer Strahlung besteht folgender Zusammenhang:

$$c = f * \lambda$$

(2.1)

c = Lichtgeschwindigkeit (299.999 km/sec)

f = Frequenz (Hz)

$\lambda$  = Wellenlänge (nm)

## ■ 2.2 Strahlung und Spektrum

Die Strahlung, die der Mensch erkennen kann (380 nm–780 nm), gehört zum Gesamtbereich der elektromagnetischen Strahlung, die von der kosmischen Strahlung bzw. Höhenstrahlung ( $10^{-15}$  m) bis zu den technischen Wechselströmen reicht ( $10^7$  m). Der Bereich der optischen Strahlung reicht vom kurzwelligen Bereich der UV-Strahlung (Wellenlänge ab 100 nm) bis zum langwelligen Infrarot-Bereich (Wellenlänge bis  $10^6$  nm). Im langwelligen Bereich schließen sich die technischen Strahlungen wie Mikrowellenstrahlung etc. an, im UV-Bereich die Röntgenstrahlung, siehe auch Bild 2.1 im Farbteil auf Seite 149.

### 2.2.1 Sichtbare Strahlung

Von der optischen Strahlung insgesamt vermag das menschliche Auge nur den relativ schmalen Bereich von etwa 380 nm bis 780 nm Wellenlänge als Licht zu empfinden, die nach dem Eintritt in das Auge eine Hellempfindung auslöst, siehe Bild 2.2 im Farbteil auf Seite 149.

### 2.2.2 UV-Strahlung

Der Bereich der Ultraviolettstrahlung (UV) von 100 nm bis 380 nm Wellenlänge wird in drei Bereiche unterteilt (UV-C, UV-B, UV-A):

- UV-C von 100 nm bis 280 nm (hat eine stark keimtötende Wirkung, es wandelt Luftsauerstoff in Ozon um)
- UV-B von 280 nm bis 315 nm (bildet im menschlichen Körper das Vitamin D2, erzeugt Sonnenbrand)
- UV-A von 315 nm bis 380 nm (bräunt die menschliche Haut)

Eine sehr wichtige Anwendung findet die UV-Strahlung in Gasentladungslampen, z. B. Leuchtstofflampen, in denen die UV-Strahlung mit Hilfe von Leuchtstoffen in sichtbares Licht umgewandelt wird. Andererseits erzeugen Hochdruckmetaldampflampen (z. B. HMI) einen Anteil von bis zu 25 % an UV-Strahlung von der Gesamtleistung, sodass diese Leuchtmittel beim Einsatz in Scheinwerfern durch ein Glas abgedeckt werden, damit das Auge nicht geschädigt wird (Glas lässt Licht ab 380 nm kaum noch durch).

### 2.2.3 IR-Strahlung

Am langwelligen Ende des Lichts schließt sich die IR-Strahlung an, auch Wärmestrahlung genannt. Der Bereich der IR-Strahlung wird wie der UV-Bereich ebenfalls in drei Bereiche unterteilt: IR-A (780 nm-1400 nm), IR-B (1400 nm-3000 nm), und IR-C (3000 nm-1 mm).

## ■ 2.3 Physikalische Größen

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, soll in diesem Kapitel nur die physikalische Strahlung betrachtet werden. Die physikalische Strahlung ist gekennzeichnet durch ein tiefgesetztes e (e = energetisch) im Vergleich zu den lichttechnischen Größen mit einem tiefgesetzten v (v = visuell). Oftmals wird bei den lichttechnischen Größen auf das v verzichtet.

### 2.3.1 Strahlungsfluss $\Phi_e$

Jede Strahlung ist ein Energiestrom. Die ausgestrahlte, transportierte oder eingestrahlte Energie pro Zeiteinheit wird in der Einheit W (1 W = 1 Joule/sec) definiert. Der Strahlungsfluss  $\Phi_e$  entspricht der Strahlungsleistung.

### 2.3.2 Strahlstärke $I_e$

Die Strahlstärke  $I_e$ , auch Intensität genannt, ist der Anteil der gesamten Strahlungsleistung  $\Phi_e$ , der von einer Lichtquelle im Raumwinkelelement  $d\Omega$  emittiert wird.

---


$$I_e = d\Phi_e/d\Omega \text{ [W/sr]} \quad (2.2)$$

$I_e$  = Strahlstärke

$\Phi_e$  = Strahlungsfluss

$\Omega$  = Raumwinkel

---

### 2.3.3 Bestrahlungsstärke $E_e$

Um die Intensität einer Lichtquelle zu definieren, wird der Begriff Bestrahlungsstärke  $E_e$  verwendet. Die Einheit ist Watt pro  $m^2$ .

---


$$E_e = d\Phi_e/dA \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.3)$$

$E_e$  = Bestrahlungsstärke

$\Phi_e$  = Strahlungsfluss

A = bestrahlte Fläche

---

### 2.3.4 Strahldichte $L_e$

Die Strahldichte  $L_e$  gibt an, welche Strahlungsleistung  $d^2\Phi_e$  von einer Fläche A der Strahlungsquelle in ein Raumwinkelement  $d\Omega$  ausgesendet wird.

$$L_e = d^2\Phi_e / (dA * d\Omega) \text{ [W}^* \text{m}^2/\text{sr}] \quad (2.4)$$

$L_e$  = Strahldichte

$d^2\Phi_e$  = Strahlungsleistung

A = Fläche

$\Omega$  = Raumwinkel

### 2.3.5 Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen

Tabelle 2.1 zeigt die strahlungsphysikalischen und die lichttechnischen Größen im Vergleich.

**Tabelle 2.1** Strahlungsphysikalische und lichttechnische Größen

Strahlungsphysikalische Größe	Lichttechnische Größe
Strahlungsfluss $\Phi_e$	Lichtstrom $\Phi$
Strahlstärke $I_e$	Lichtstärke $I$
Bestrahlungsstärke $E_e$	Beleuchtungsstärke $E$
Strahldichte $L_e$	Leuchtdichte $L$
spezifische Ausstrahlung $M_e$	spezifische Lichtausstrahlung $M$
Strahlungsmenge $Q_e$	Lichtmenge $Q$
Bestrahlung $H_e$	Belichtung $H$

## ■ 2.4 Licht- und Emissionsspektren

Man unterscheidet bei der Strahlung bzw. der Emission von Strahlung zwischen natürlichen Lichtquellen (Sonne, Tageslicht) und künstlichen Lichtquellen (Halogenlampe, LED etc.). Das Licht bzw. die Strahlung wird dabei von den Lichtquellen emittiert (ausgestrahlt). Die Strahlung von natürlichen und künstlichen Lichtquellen kann sehr unterschiedliche Spektren (Emissionsspektren) besitzen. Des Weiteren unterscheidet man bei den Spektren zwei Arten von Strahlung. Entweder wird das Licht kontinuierlich abgestrahlt wie z.B. beim Tageslicht oder einer Glühlampe oder als Linienspektrum wie bei einer Leuchtstofflampe.

### 2.4.1 Kontinuierliches Spektrum

Bei der thermischen Anregung von Atomen und Molekülen in Festkörpern entsteht im Wesentlichen ein kontinuierliches Spektrum (Sonne, Glühlampe). Die Darstellung erfolgt näherungsweise durch den Planck'schen Strahler bzw. Schwarzen Körper, Definition und Details siehe Abschnitt 2.5.

Die wichtigste natürliche Strahlungsquelle ist dabei die Sonne. Sie entspricht dem Spektrum eines Schwarzen Körpers mit einer Temperatur von ungefähr 6000 K. Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre wird das Spektrum der Sonne jedoch verändert. Bild 2.3 links (im Farbteil auf Seite 149) stellt den typischen Spektralverlauf von Tageslicht dar (Novembertag in Hamburg).

## 2.4.2 Linienspektrum

Man spricht von Linienspektren, wie z.B. bei Leuchtstofflampen, Energiesparlampen oder Metalldampflampen, wenn nur einzelne Spektrallinien im Spektrum vorhanden sind. Der extremste Fall eines Linienstrahlers mit nur einer einzigen Linie ist der Laser. Bei der Anregung durch Elektronenstöße in Gasen entsteht ein Linienspektrum mit markanten Frequenzen, die für die Zusammensetzung des Gases charakteristisch sind. Je nach Zusammensetzung des Gases können unterschiedliche Spektren erzeugt werden (siehe Bild 2.4 im Farbteil auf Seite 150).

# ■ 2.5 Weißes und farbiges Licht

Das Sonnenlicht (weißes Licht) setzt sich aus verschiedenen Wellenlängen zusammen. Schickt man Sonnenlicht durch ein Glasprisma, so kann das Licht durch Brechung beim Eintritt bzw. beim Austritt aus dem Glasprisma in seine spektralen Bestandteile zerlegt werden. Zu jeder Wellenlänge gehört eine ganz bestimmte Farbe, die vom menschlichen Auge gesehen werden kann. Umgekehrt können die Strahlen verschiedener Wellenlängen wieder zu weißem Licht zusammengefügt werden.

Bei den üblichen Sehbedingungen/Umgebungsbedingungen sieht der Mensch das Tageslicht als weißes Licht, er kann die einzelnen Spektralbereiche nicht unterscheiden bzw. auflösen, obwohl das weiße Licht, wie im vorhergehenden Abschnitt ausgeführt, aus den einzelnen Spektralbereichen (Farben) zusammengesetzt ist.

## 2.5.1 Farbiges Licht

Da der Mensch die einzelnen Spektrallinien von Licht nicht unterscheiden bzw. auflösen kann, sieht er eine farbige Fläche bzw. eine reflektierende farbige Fläche nur als Ganzes. Zum Vergleich, das Ohr bzw. das Gehör kann die einzelnen Frequenzen eines Tones deutlich unterscheiden. Das bedeutet, das Auge kann nicht unterscheiden, ob das Licht, das auf eine Oberfläche fällt, z.B. ein gelbes Licht, aus dem reinen spektralen Gelb besteht oder aus zwei Spektralfarben (Rot und Grün), die als Mischung auch gelbes Licht erzeugen.

### 2.5.2 Körperfarben

Man spricht von Körperfarben, wenn Licht auf eine Fläche fällt und von dieser Fläche zum Teil reflektiert und/oder absorbiert wird. Das bedeutet, farbige Gegenstände strahlen nicht selbst die Farben aus (sind also keine Selbstleuchter), sondern es werden nur die Wellen der entsprechenden Farben reflektiert, die auf dem Gegenstand und im Spektrum des Lichts gleichzeitig vorhanden sind (siehe Bild 2.5 im Farbteil auf Seite 150).

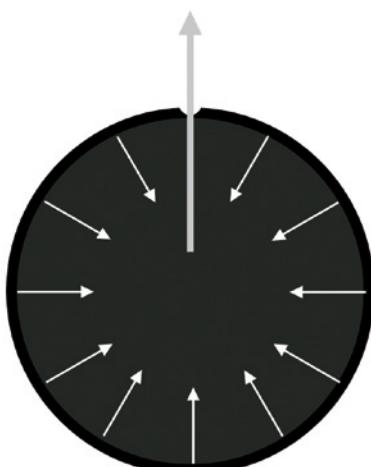
Fehlen bei künstlichem Licht einige Wellenlängen aus dem Bereich von 380 nm bis 780 nm, so können die Gegenstände auch nicht in den gewohnten Farben erscheinen, das Erscheinungsbild wird verfälscht wahrgenommen.

In Bild 2.6 (im Farbteil auf Seite 150) fehlt beim einfallenden Spektrum die grüne Spektralfarbe. Entsprechend wird diese Farbe bzw. Spektrallinie von der grünen Kiste nicht reflektiert, was zur Folge hat, dass die Box unter dieser speziellen Anstrahlung schwarz wirkt.

## ■ 2.6 Schwarzer Strahler und Farbtemperatur

Grundlage für die Bestimmung der Farbe einer Lichtquelle bzw. der Farbtemperatur ist der Planck'sche Strahler, auch Schwarzer Strahler genannt. Der Planck'sche Strahler dient zur Untersuchung von Lichtemissionen von erhitzten Körpern und ist Grundlage der meisten Lichtquellen. Der Schwarze Strahler lässt sich durch einen Kunstgriff verwirklichen, siehe Bild 2.7.

Der schwarze Hohlraum eines Körpers absorbiert im Prinzip alles Licht, das durch eine Öffnung einfällt, die klein ist im Verhältnis zum Durchmesser des Hohlraumes ( $1/60$ ). Trotzdem tritt ein sehr geringer Teil des Lichtes wieder aus der Öffnung heraus, das gemessen bzw. bewertet werden kann.



**Bild 2.7** Schematische Darstellung eines Planck'schen Strahlers

Wird nun dieser Körper zum Glühen gebracht, so kann man das durch die Öffnung austretende Licht bzw. seine Farbigkeit mit der Temperatur des erhitzten Strahlers korrelieren (Farbigkeit = Temperatur). Bei niedrigen Temperaturen hat man das Gefühl, dass dieser Körper alles Licht „schluckt“. Erst ab Temperaturen von ca. 800 °C bzw. 1073 Kelvin beginnt dieser Strahler leicht rötlich zu glühen.

### 2.6.1 Farbtemperatur bzw. ähnlichste Farbtemperatur

Um Licht von verschiedenen Lichtquellen zu charakterisieren und dabei das unterschiedlich farbige Aussehen eindeutig zu definieren, werden Lichtquellen durch den Begriff der Farbtemperatur gekennzeichnet, anstatt farbaussagende Begriffe wie rötlich, bläulich etc. zu verwenden. Die Farbtemperatur wird in Kelvin (K) angegeben. Die Kelvin-Temperaturskala beginnt beim absoluten Nullpunkt, der tiefsten Temperatur, die es gibt (-273° Celsius).

Wenn ein sogenannter „Schwarzer Körper“ langsam erhitzt wird, durchläuft sein Aussehen eine Farbskala von Dunkelrot, Rot, Orange, Gelb, Weiß, bis hin zu Hellblau. Je höher die Temperatur ist, um so weißer wird die Farbe, die aus der Öffnung des Schwarzen Körpers austritt. Die ähnlichste Farbtemperatur entspricht der Temperatur, in Kelvin angegeben, die ein Schwarzer Körper haben würde, wenn seine Farbe der zu betrachtenden Lichtquelle am ähnlichsten ist.

Die ähnlichste Farbtemperatur  $T_n$  eines zu kennzeichnenden Strahlers ist diejenige Temperatur des Schwarzen Strahlers, bei der dessen Farbart dem zu kennzeichnenden Strahler am nächsten kommt. Der Farbort des zu kennzeichnenden Strahlers liegt in diesem Fall nur in der Nähe des Kurvenzuges (Details, siehe Kapitel 6 „Farbmetrische Grundlagen“) für den Schwarzen Strahler.

Eine Glühlampe mit 40 W Leistung besitzt z. B. eine Farbtemperatur von 2650 K. Ein Halogenbrenner, wie er typischerweise in Scheinwerfern für den Fernseh- und Filmbereich eingesetzt wird, besitzt eine Farbtemperatur von 3200 K. Man kann vereinfacht sagen, je geringer der Kelvinwert ist, umso rötlicher erscheint die Lichtquelle. Steigt die Farbtemperatur, so erscheint die Lichtfarbe immer bläulicher (siehe Bild 2.8 im Farbteil auf Seite 151).

**Tabelle 2.2** Auflistung verschiedener Farbtemperaturen

Kerzenlicht	1850 K
Glühlampe 40 W	2650 K
Normlicht A	2855,4 K
Halogenglühlampe	3200 K
Normlicht D65, Fernsehbildweiß (Europa)	6504 K
Tageslicht bei bedecktem Himmel	6700–7000 K
blauer Himmel ohne direkte Sonne	12.000–30.000 K

Zur Charakterisierung der Lichtfarbe bei Leuchtstofflampen wurden drei Bereiche festgelegt:

- ww: warmweiße Lichtfarbe, Farbtemperatur kleiner als 3300 K
- nw: neutralweiße Lichtfarbe, Farbtemperatur 3300 K bis 5000 K
- tw: tageslichtweiße Lichtfarbe, Farbtemperatur größer als 5000 K

Es gibt eine Vielzahl von Leuchtstofflampentypen, die sich z.B. in Farbwiedergabe und Lichtfarbe unterscheiden. Die einzelnen Lampenhersteller haben je nach Ausführung und Zusammensetzung ihre eigenen Bezeichnungen. Die „de Luxe“-Lichtfarben z.B. besitzen eine besonders gute Farbwiedergabeeigenschaft, allerdings auf Kosten einer geringeren Lichtausbeute. Die Lichtfarbe einer Lampe sagt jedoch nur etwas über das farbliche Aussehen der Lampe aus, nicht aber über die Farbwiedergabeeigenschaften der Lichtquelle.

## 2.6.2 Normlichtarten

Unter Normlicht versteht man Lichtarten, die für die bevorzugte Verwendung in der nationalen und internationalen Norm empfohlen werden können. Die nachstehend genannten Normlichtarten sind wie folgt festgelegt:

- **Normlichtart A:** entsprechend der Strahlung des Schwarzen Körpers bei  $T_n = 2855,4\text{ K}$  für Glühlampen
- **Normlichtart C:** entsprechend dem Tageslicht mit der „ähnlichsten Farbtemperatur“ von  $T_n = 6774\text{ K}$  für künstliches Tageslicht im spektralen Bereich (Sonnenlicht und Himmelslicht)
- **Normlichtart D 65:** entsprechend dem Tageslicht mit der „ähnlichsten Farbtemperatur“  $T_n = 6504\text{ K}$  für natürliches Tageslicht (Tageslicht mit UV-Anteil)

# 3

# Lichttechnische Grundgrößen

Da das menschliche Auge die einzelnen Wellenlängen von sichtbarem Licht unterschiedlich gewichtet, kann man im Bereich der Licht- und Beleuchtungstechnik nicht mehr nur mit physikalischen Einheiten arbeiten, sondern benötigt eigene, neue Begriffe wie Lichtstrom, Beleuchtungsstärke, Lichtstärke und Leuchtdichte.

## ■ 3.1 Spektrale Hellempfindlichkeit

Vergleicht man das Licht einer Lichtquelle im grüngelben Bereich (z. B. 555 nm) mit einer Lichtquelle, die z. B. blaues Licht von 400 nm ausstrahlt, wobei beide Lichtquellen physikalisch die gleiche Strahlungsleistung (ausgedrückt in Watt) aussenden, dann empfindet der Mensch, dass die grüngelbe Lichtquelle im Vergleich zur blauen Lichtquelle um ein Vielfaches heller erscheint. Oder umgekehrt dargestellt, die blaue Lichtquelle benötigt eine um den Faktor 2500 höhere Strahlungsleistung (Watt) als die grüngelbe Lichtquelle, um gleich hell zu wirken. Diese Abhängigkeit des Auges von der spektralen Wellenlänge nennt man spektrale Hellempfindlichkeit des Auges.

### 3.1.1 Messaufbau

In einem Versuchsaufbau, siehe Bild 3.1 (im Farbteil auf Seite 151), kann so ein Vergleich der verschiedenen Helligkeitseindrücke durchgeführt werden. Im unteren Feld wird eine Messstrahlung der Versuchsperson angeboten. Im oberen Feld soll die Versuchsperson durch Mischen aus verschiedenen Lichtquellen den gleichen Helligkeitseindruck solange nachmischen, bis beide Flächen gleich hell aussehen.

Wird dieser Versuch über alle sichtbaren Spektralbereiche durchgeführt, so findet man das Maximum der Hellempfindung beim Tagessehen (photopisches Sehen) bei rund 555 nm. Trägt man die Wellenlänge über das sichtbare Spektrum der Farben auf, so entspricht diese Wellenlänge in etwa der Farbe Grün-Gelb.

Benutzt man als Referenz bei einer Wellenlänge von 555 nm eine 1-W-Lichtquelle als Bezugstrahlung, dann müsste man die in Tabelle 1 aufgeführten Energiewerte aufwenden, um den gleichen Helligkeitseindruck zu erhalten.

**Tabelle 3.1** Notwendige aufzuwendende Energien, um einen gleichen Helligkeitseindruck im Auge zu erhalten in Abhängigkeit der Wellenlänge und relativen Hellempfindlichkeit bei verschiedenen Wellenlängen bezogen auf die Wellenlänge 550 nm

Wellenlänge	Notwendige Energie	Relative Hellempfindlichkeit
400 nm	25.500 W	0,00039
450 nm	263 W	0,0382
500 nm	31 W	0,323
550 nm	1 W	1
600 nm	15,8 W	0,6329
650 nm	93,4	0,107
700 nm	2.430 W	0,0041

### 3.1.2 Relative Hellempfindlichkeit bei Tagessehen

Werden die in Tabelle 3.1 aufgelisteten Werte über die Wellenlänge aufgetragen, so erhält man die spektrale Hellempfindlichkeitskurve, auch  $V(\lambda)$ -Kurve genannt, siehe Bild 3.2 (im Farbteil auf Seite 151). Der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad kennzeichnet die Frequenz-abhängigkeit der Augenempfindlichkeit in dem sichtbaren Bereich von 380 nm bis 780 nm. Diese Größe wurde 1924 von der CIE (Commission Internationale de L'Éclairage) normiert und gilt als mittlere Hellempfindlichkeitskurve für das menschliche Auge.



Die CIE (Commission Internationale de L'Éclairage) ist die höchste Organisation der Licht- und Beleuchtungstechnik, in der Normen, Standards und Empfehlungen bzgl. der Lichttechnik und Farbmehrheit weltweit festgelegt werden.

Da der Mensch zwei verschiedene Rezeptoren in der Netzhaut besitzt (Zapfen und Stäbchen), gibt es auch zwei verschiedene relative Hellempfindlichkeitskurven. Eine gilt für das Tagessehen, die andere für das Nachtsehen. Man spricht vom photopischen Sehen (Tagessehen), wenn die Leuchtdichte (genaue Definition der Leuchtdichte siehe nachfolgende Kapitel) über 100 cd/m<sup>2</sup> liegt. Bei Leuchtdichten unter 1 cd/m<sup>2</sup> spricht man vom skotopischen Sehen (Nachtsehen). Im Zwischenbereich zwischen den beiden Bereichen spricht man vom mesopischen Sehen. Dieser Bereich wird im Moment noch erforscht, sodass es dafür noch keine einheitlichen Regelungen gibt. Bei schwacher Beleuchtung, d. h. beim Nachtsehen (skotopisches Sehen), verschiebt sich das Maximum zu der Wellenlänge von 505 nm.

Neben diesen beiden Rezeptoren wurde im Jahr 2001 ein neuer Photorezeptorzelltyp in der Retina des Auges entdeckt. Dieser Rezeptortyp (Ganglienzellen) wird auch als „dritter Rezeptor“ bezeichnet. Die Ganglienzellen reagieren relativ langsam auf Lichtveränderungen und sind über einen eigenen Pfad direkt mit dem suprachiasmatischen Nukleus (SCN) im Hypothalamus verbunden. Diese Ganglienzellen, die im Wesentlichen im blauen Spektral-

bereich empfindlich sind, ermöglichen eine melatoninunterdrückende Wirkung von Licht. Melatonin ist, vereinfacht ausgedrückt, ein Schlafhormon. Entsprechend gibt es einen circadianen Wirkungsfaktor. Damit konnte belegt werden, dass externe Reize, sogenannte Zeitgeber die vom Organismus erzeugte Periodik mit dem 24-Stunden-Tag-Nacht-Wechsel (circadiane Wirkung) in Einklang bringen. Der wichtigste Zeitgeber ist dabei das Licht. Weitere Details siehe Abschnitt 3.2.3.

## ■ 3.2 Lichtstrom $\Phi$

Betrachtet man die von einem Strahler in den gesamten Raum abgegebene Strahlungsleistung (Strahlungsfluss) und bezieht sie auf die Wellenlänge, so erhält man den spektralen Strahlungsfluss  $\Phi_e$  (W) dieses Strahlers. Für die beleuchtungstechnischen Belange ist der energetische Strahlungsfluss nicht interessant, sondern der mit der spektralen Hellempfindlichkeit  $V(\lambda)$  bewertete spektrale Strahlungsfluss  $\Phi_v$  (W). Zur Unterscheidung wird bei dem energetischen Strahlungsfluss  $\Phi_e$  ein e als Unterzeichen beigefügt (energetisch), bei dem mit der Hellempfindlichkeit bewerteten Strahlungsfluss  $\Phi_v$  wird ein v als Unterzeichen definiert. Dieser bewertete Strahlungsfluss wird in der Lichttechnik als Lichtstrom  $\Phi_v$  des Strahlers bezeichnet. Oftmals wird bei dem Lichtstrom  $\Phi$  das v als Unterzeichen weggelassen. Bewertet man die von einer Lichtquelle nach allen Seiten abgestrahlte Strahlungsleistung, so wird damit der Lichtstrom  $\Phi$  definiert. Die Maßeinheit ist Lumen (lm).



**Bild 3.3** Lichttechnische Größe Lichtstrom  $\Phi$

### 3.2.1 Hellempfindlichkeit bei photopischem Sehen

$$\Phi = 683 \text{ lm/W} \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_e(\lambda) * V(\lambda) * d\lambda \quad (3.1)$$

$\Phi$  = Lichtstrom [lm]

$\Phi_e$  = Strahlungsfluss [W]

$V(\lambda)$  = spektrale Hellempfindlichkeit bei Tagessehen

Man gibt somit die sichtbare Strahlungsleistung einer Lichtquelle nicht in Watt an, da, wie bereits erwähnt, das Auge für die Strahlung verschiedener Wellenlängen verschieden stark empfindlich ist. Jeder Lampentyp, ob Halogenglühlampe, Leuchtstofflampe, Hochdruckmetalldampflampe oder LED hat somit einen unterschiedlichen Lichtstrom.

**Tabelle 3.2** Lichtströme verschiedener Lichtquellen in Lumen (lm)

Halogenglühlampe, Halostar 50 W, 12 V, 3000 K	$\Phi = 910 \text{ lm}$
Leuchtstofflampe T5, 35 W, 230 V, Lumilux Cool White (840), 4000 K, HE (High Efficiency)	$\Phi = 3320 \text{ lm}$
Hochdruckmetalldampflampe, HMI, 575 W/GS DXS, 6500 K	$\Phi = 49.000 \text{ lm}$
LED Typ Civilight DA60 Bulb, 8 W	$\Phi = 470 \text{ lm}$

### 3.2.2 Hellemmpfindlichkeit bei skotopischem Sehen

Da die Stäbchen im Vergleich zu den Zapfen deutlich empfindlicher sind, gilt für skotopisches Sehen:

---


$$\Phi = 1983 \text{ lm/W} \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_e(\lambda) * V'(\lambda) * d\lambda \quad (3.2)$$

$\Phi$  = Lichtstrom [lm]

$\Phi_e$  = Strahlungsfluss [W]

$V'(\lambda)$  = spektrale Hellemmpfindlichkeit bei skotopischem Sehen (Nachtsehen)

---

### 3.2.3 Circadianer Wirkungsfaktor $a_{cv}$

Aufgrund der Entdeckung des „**dritten Rezeptors**“ ist es notwendig, dass einzelne Lampenspektren nicht nur nach der  $V(\lambda)$ -Kurve bewertet werden, sondern auch nach dem neuen circadianen Wirkungsfaktor  $a_{cv}$ . Damit gibt es neben Lux und Lumen eine neue Messgröße.

Gall et al. (2002) haben die Ähnlichkeit der spektralen Wirkungsfunktion für die Melatoninunterdrückung zur  $V(\lambda)$ -Kurve für die Augenempfindlichkeit im visuellen Vergleich verschiedener spektraler Verteilungen hinsichtlich ihrer circadianen Wirksamkeit ermittelt. Basis der Messung und Berechnung der circadianen Wirkung ist die wellenlängenabhängige Empfindlichkeit des circadianen Rezeptors. Basierend auf den Ergebnissen von Brainard und Thapan entwickelte Gall die circadiane Wirkungsfunktion  $c(\lambda)$  ähnlich der  $V(\lambda)$ -Kurve, die das Hellemppfinden des Auges beschreibt.

---


$$a_{cv} = \Phi_{circadian} / \Phi_{visuell} \quad (3.3)$$

$a_{cv}$  = circadianer Wirkungsfaktor

---

Die circadiane Wirkungsfunktion  $a_{cv}$  gibt das Verhältnis zwischen der empfundenen Helligkeit des sichtbaren Lichts und der circadianen Wirkung dieses Lichts wieder.

**Tabelle 3.3** Circadianer Wirkungsfaktor  $a_{cv}$  (Daten nach Gall)

Lichtquelle	circadianer Wirkungsfaktor $a_{cv}$
direkte Sonne	0,83
bewölkter Himmel	1,73
blauer Himmel	1,02
Mond	0,62
Glühlampe	0,40
Kerze	0,20
Leuchtstofflampe warmweiß	0,36
Leuchtstofflampe neutralweiß	0,60
Leuchtstofflampe Tageslicht	1,18
LED blau (468 nm)	6,90
LED kaltweiß	2,00

## ■ 3.3 Lichtausbeute $\eta$

Zur Bewertung von Lichtquellen wird der Begriff der Lichtausbeute  $\eta$  verwendet. Die Lichtausbeute  $\eta$  gibt den erzeugten Lichtstrom im Verhältnis zu der aufgewendeten elektrischen Leistung an:

$$\eta = \Phi / P \quad (3.4)$$

$\eta$  = Lichtausbeute [lm/W]

$\Phi$  = Lichtstrom [lm]

P = Leistung [W]

**Tabelle 3.4** Beispiele für die Lichtausbeute verschiedener Lampentypen

Glühlampe 60 W, 230 V	ca. 12 lm/W
Halogenglühlampe 50 W, 12 V, 3000 K	ca. 18 lm/W (ohne Trafo)
Leuchtstofflampe T5, 35 W, 230 V, Lumilux Cool White (840), 4000 K, HE (High Efficiency)	ca. 95 lm/W (ohne Vorschaltgerät)
Hochdruckmetaldampflampe, HMI, 575 W/GS DXS, 6500 K	ca. 85 lm/W (ohne Vorschaltgerät)
LED Typ Civilight DA60 Bulb, 8 W	ca. 60 lm/W (mit Vorschaltgerät)

Während sich bei der Lichtausbeute der Glühlampe über die Jahrzehnte hinweg kaum etwas verändert hat, konnte eine Steigerung der Lichtausbeute von Lichtquellen wie Leuchtstofflampen oder LEDs entweder durch technische Innovationen erreicht werden oder durch ganz neue Lampentypen.

Könnte alles Licht einer Lichtquelle ohne Verluste in sichtbares Licht umgewandelt werden, dann würde eine Lichtquelle mit einer Strahlungsleistung von 1 W einen Lichtstrom von 683 Lumen beim Tagesssehen erzeugen. Dies ist ein theoretischer Wert, der höchstwahrscheinlich nicht erreicht werden kann, da es immer zu Wärmeverlusten innerhalb der Lichtquelle kommt. Neueste LED-Lichtquellen erreichten im Jahr 2014 bereits Werte von bis zu 200 lm/W im Labor.

## ■ 3.4 Lichtstärke I

Während die Einheit „Lichtstrom“ eine Aussage über die Umwandlung der Strahlungsleistung in für den Menschen sichtbares Licht trifft, kann man mit der lichttechnischen Größe „Lichtstärke“ eine Aussage über die Stärke des Lichts in einer bestimmten Richtung treffen. Die Lichtstärke entspricht der Lichtstromdichte in einer bestimmten Ausstrahlrichtung. Die Einheit wird in Candela (cd) angegeben. Von dieser Basiseinheit sind die anderen lichttechnischen Einheiten abgeleitet worden.



**Bild 3.4** Lichttechnische Größe Lichtstärke I

$$I = d\Phi / d\Omega \quad (3.5)$$

I = Lichtstärke [cd]

$\Phi$  = Lichtstrom [lm]

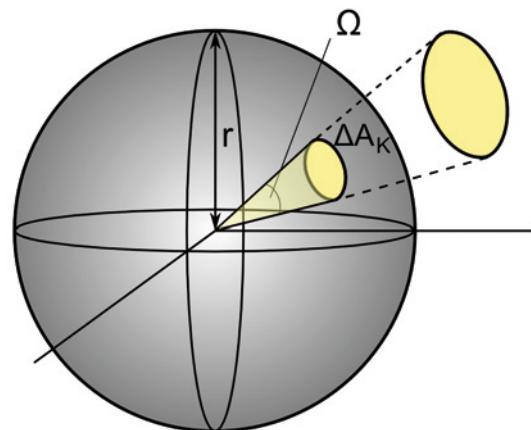
$\Omega$  = Raumwinkel [sr]

**Tabelle 3.5** Typische Lichtstärkewerte

Lichtquelle	Lichtstärkewerte
Halogenglühlampe, 50 W, HRI	$I = 1.250.000 \text{ cd}$
Fresnelscheinwerfer Typ De Sisti Leonardo 1 KW, Halogenglühlampe	$I = 115.250 \text{ cd}$ (Labormessung)
Sonnenlicht	$I = 2 * 10^{27} \text{ cd}$

### 3.4.1 Raumwinkel $\Omega$

Zur Berechnung der Lichtstärke ist der Begriff des Raumwinkels notwendig, da die Lichtstärke in Kugelkoordinaten berechnet wird. Der Raumwinkel ist ein Maß für die Größe eines kugelförmigen Raumes, der die Lichtstrahlen, ausgehend von einer Lichtquelle, bis zum Rand einer Fläche  $A_k$  einer Kugel einschließt.



**Bild 3.5** Definition des Begriffes Raumwinkel  $\Omega$

Wird auf der Oberfläche einer Kugel mit dem Radius  $r$  ein Flächenteil  $\Delta A_k$  der Kugelfläche durch den räumlichen Winkel begrenzt, dann gilt:

$$\Omega = \Delta A_k / r^2 \quad (3.6)$$

$\Omega$  = Raumwinkel. Die Einheit des Raumwinkels ist Steradian (sr).

$\Delta A_k$  = Teilfläche einer Kugel

$r$  = Radius



Wird aus einer Kugel mit dem Radius 1 m eine Oberfläche von  $1 \text{ m}^2$  ausgeschnitten, so entspricht dies dem Raumwinkel 1 sr. Eine Halbkugel umfasst  $2\pi$  sr, eine Vollkugel  $4\pi$  sr.

### 3.4.2 Lichtstärkeverteilungskurve (LVK)

Um die Lichtrichtung und die Lichtintensität von Leuchten und Scheinwerfern eindeutig zu kennzeichnen, wird in der Lichttechnik der Begriff Lichtstärkeverteilungskurve verwendet. Abgekürzt wird diese Lichtstärkeverteilungskurve durch den Begriff LVK.



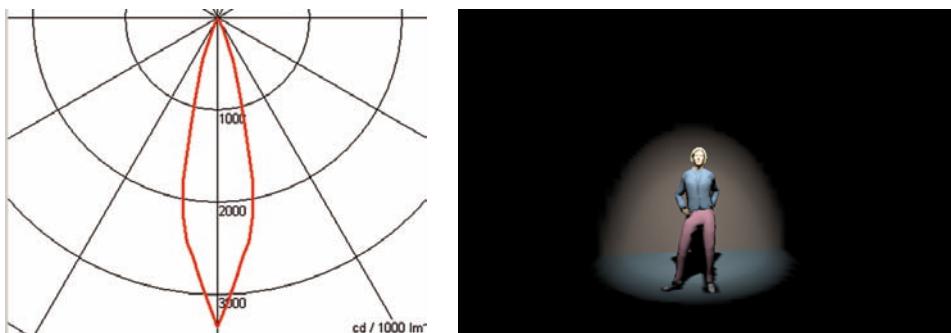
**Bild 3.6** links: dreidimensionale Lichtstärkeverteilungskurve (LVK); Mitte: Bild der Stehlampe Tandem, Firma Regent; rechts: zweidimensionale LVK in der C0/C180-Darstellung (rote Kurve) und C90/C270-Darstellung (gestrichelte rote Kurve)

Da nicht immer die dreidimensionale Darstellung möglich ist, werden zur besseren Übersichtlichkeit die Lichtstärkeverteilungskurven in Datenblättern in der sogenannten C0/C180-Darstellung abgebildet. Mit dieser Darstellung können die Charakteristika erkannt werden. Wie in Bild 3.7 zu erkennen, wird die gesamte Lichtverteilung der vermessenen Leuchte oder des Scheinwerfers über einen Winkel von 0 bis 180 Grad in dem Diagramm dargestellt. Man geht davon aus, dass die Leuchte in Betriebsstellung vermessen wird bzw. bei Scheinwerfern leuchten diese bei der Messung nach unten. Im Diagramm sind die typischen Candela-Kurven als Kreissegmente eingetragen.

In Europa ist es üblich, die LVK-Darstellung auf 1000 lm zu beziehen. Das bedeutet: Um die absoluten Lichtstärkewerte eines Scheinwerfers in cd zu erhalten, muss der Lichtstrom der eingesetzten Lichtquelle bekannt sein und mit dem Wert aus der LVK-Darstellung multipliziert werden.

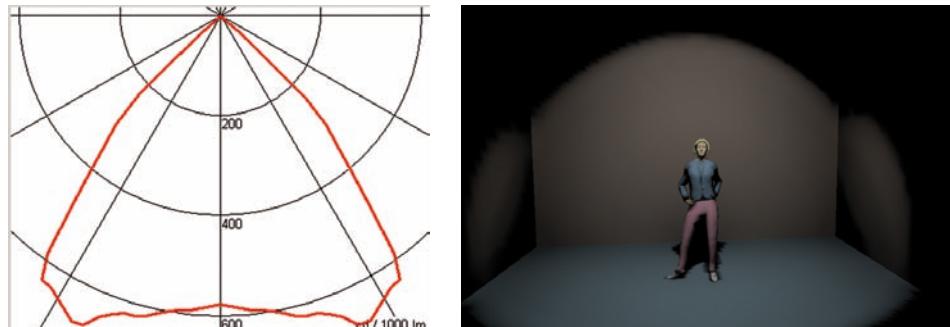
### 3.4.3 Lichtstärkeverteilungskurve eines Stufenlinsenscheinwerfers

In diesem Abschnitt wird anhand eines Stufenlinsenscheinwerfers (ARRI 1 KW), jedoch mit zwei verschiedenen Strahlungscharakteristika (engstrahlend bzw. breitstrahlend), die Notwendigkeit über die Kenntnis der charakteristischen Lichtverteilungskurve des eingesetzten Strahlers verdeutlicht.



**Bild 3.7** links: Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) eines engstrahlenden (spot) Scheinwerfers (ARRI 1 KW), rechts: Ausleuchtung einer Person mit dem engstrahlenden Scheinwerfer

Die Werte der Lichtstärkeverteilungskurve werden vor allem in der Lichtplanung und in der Lichtsimulation von Architekturbeleuchtung, aber auch in der Bühnenbeleuchtung benötigt, um fotorealistische Bilder erzeugen zu können. Lichtsimulationsprogramme, die mit diesen Werten arbeiten, sind im Kapitel 19 „Lichtpläne und Lichtsimulation“ dargestellt.



**Bild 3.8** links: Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) eines breitstrahlenden (flood) Scheinwerfers (ARRI, 1 KW); rechts: Ausleuchtung einer Person mit einem breitstrahlenden Scheinwerfer

Wie man aus der Bild erkennen kann, ist die Ausleuchtung bzw. die Beleuchtungsstärke mit dem breitstrahlenden Scheinwerfer deutlich geringer als bei dem engstrahlenden Scheinwerfer, da der Lichtstrom insgesamt auf eine größere Fläche verteilt wird.

## ■ 3.5 Beleuchtungsstärke E

Die Beleuchtungsstärke ist ein Maß für das auf eine Fläche auftreffende Licht. Die Einheit ist Lux (lx), siehe Bild 3.9. Der Begriff Beleuchtungsstärke wird vielfach im Bereich der Fernseh- und Filmproduktion, teilweise auch bei Lichtberechnungsprogrammen verwendet, obwohl diese Größe keinerlei Aussage über die Helligkeit eines Gegenstandes oder einer Person treffen kann, da dieser Wert nur aussagt, wie viel Lichtstrom auf eine Fläche auftrifft.



**Bild 3.9** Lichttechnische Grundgröße Beleuchtungsstärke E

---


$$E = d\Phi / dA \quad (3.7)$$

$E$  = Beleuchtungsstärke [lx]

$\Phi$  = Lichtstrom [lm]

$A$  = beleuchtete Fläche [ $m^2$ ]

---

Der Mensch kann einen sehr großen Bereich von Beleuchtungsstärke erfassen. Beginnend bei einem Traumstrand in Hawaii mit 100.000 lx am Strand über einen trüben Wintertag mit 3.000 lx, einer typischen Arbeitsplatzbeleuchtung von 500 lx bis hin zu einer Beleuchtungsstärke von 0,25 lx bei einer Vollmondnacht. Dies alles sind Beispielwerte für eine horizontale Beleuchtungsstärke.

Im Film- und Fernsehbereich, aber auch im Theater und Eventbereich wird vor allem die vertikale Beleuchtungsstärke  $E_v$  verwendet, da sie eine Relation zur Ausleuchtung der Personen bzw. Dekoelemente besitzt. Vor allem im Film- und Fernsehbereich werden unterschiedliche vertikale Beleuchtungsstärken eingesetzt bzw. gefordert, je nach Genre der Show, den gewünschten Lichteffekten, den eingesetzten Kameratypen und der verwendeten Blende. Ein typischer Wert bei einer klassischen Fernsehsendung ist ein vertikaler Beleuchtungsstärkewert von 800 lx am Gesicht. Teilweise werden auch nur noch 500 lx verwendet.

**Tabelle 3.6** Beispiele für Beleuchtungsstärkewerte

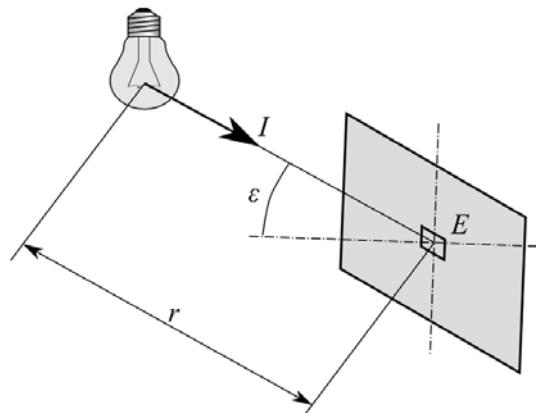
Beispiele für horizontale Beleuchtungsstärkewerte	
sonniger Sommertag	ca. 100.000 lx
trüber Sonnentag	ca. 20.000 lx
trüber Wintertag	ca. 3.000 lx
Arbeitsplatzbeleuchtung (Innenraum)	500 lx
Straßenbeleuchtung	ca. 30 bis 40lx
Vollmondnacht	ca. 0,25 lx

Beispiele für vertikale Beleuchtungsstärkewerte:	
Ausleuchtung eines Schauspielers bei mittlerer Blende	ca. 800 lx
Ausleuchtung eines Fußballspielers bei einem Bundesligaspiel	ca. 1500 lx

### 3.5.1 Schräger Lichteinfall

Fällt Licht nicht senkrecht auf eine Fläche (Normalenvektor zeigt in Richtung des einfallenden Lichts), dann muss der Winkel, genauer gesagt der Cosinuswinkel der geneigten Fläche zum Normalenvektor berücksichtigt werden. Steht die Fläche in  $90^\circ$  zu dem einfallenden Licht, so besitzt die gesehene bzw. gemessene Beleuchtungsstärke den Wert null. Entsprechend muss ein Beleuchtungsstärkemesser cosinustreu messen, d. h. schräg einfallendes Licht auch mit dem Winkel Cosinus bewerten.

**Bild 3.10** Schräger Lichteinfall

$$E = E_o * \cos \varepsilon \quad (3.8)$$

E = Beleuchtungsstärke, die auf das Auge trifft bzw. gemessen wird [lx]

$E_o$  = Beleuchtungsstärke in Richtung des Normalenvektors [lx]

$\varepsilon$  = Winkel, um den die Fläche weg von der Einstrahlrichtung des Lichtes gerichtet ist bzw. Winkel zwischen Normalenvektor der Fläche und einfallendem Licht

### 3.5.2 Photometrisches Entfernungsgesetz

Ist die Entfernung zwischen Lichtquelle und Messpunkt relativ groß (d.h. die Entfernung zwischen Messpunkt und der Lichtquelle ist mindestens 10-mal größer als die Lichtaustrittsfläche der Lichtquelle), dann kann mit Hilfe der photometrischen Entfernungsformel die Beleuchtungsstärke relativ einfach aus der Lichtstärke I des verwendeten Scheinwerfers und der Entfernung r berechnet werden.

Fällt das Licht direkt senkrecht auf eine Fläche, gilt:

$$E = I / r^2 \quad (3.9)$$

E = Beleuchtungsstärke [lx]

I = Lichtstärke [cd]

r = Radius [m]

Da die Beleuchtungsstärke im Quadrat mit der Entfernung abnimmt ( $r^2$ ), bedeutet dies, dass bei einer Ausleuchtung eines Schauspielers mit einem Scheinwerfer genau darauf geachtet wird, wie weit sich der Schauspieler vom Scheinwerfer entfernt befindet. So verändert sich z.B. die Beleuchtungsstärke von 2000 lx bei 1 m Entfernung auf 500 lx bei 2 m und bei einer Entfernung von 3 m auf 222 lx.

### Photometrisches Entfernungsgesetz bei schräg einfallendem Licht

Fällt das Licht schräg auf eine Fläche, dann gilt:

$$E = (I / r^2) * \cos \gamma \quad (3.10)$$

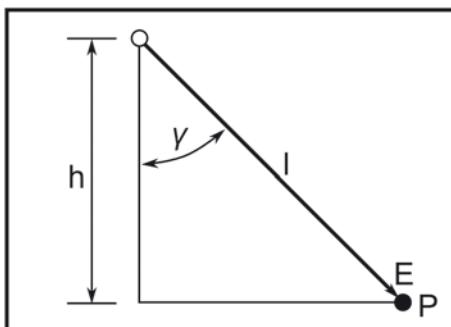
E = Beleuchtungsstärke [lx]

I = Lichtstärke [cd]

r = Radius [m]

$\gamma$  = Winkel, unter dem die beleuchtete Fläche vom Betrachter gesehen wird

Diese Formel wird vor allem gerne eingesetzt, wenn man berechnen will, wie viel Lux auf einen Punkt P fällt, der sich auf der Bühne, einer Arbeitsfläche oder Straße befindet und die Lichtquelle vertikal nach unten strahlt und natürlich die Grundvoraussetzungen für das photometrische Entfernungsgesetz gelten (Entfernung zwischen Messpunkt und der Lichtquelle ist mindestens 10-mal größer als die Lichtaustrittsfläche der Lichtquelle).



**Bild 3.11** Beispiel für die Punktbeleuchtungsformel

Will man statt der Entfernung r die Lichtpunkthöhe h in der Formel verwenden, dann gilt:

$$E_{ph} = (I / h^2) * (\cos \gamma)^3 \quad (3.11)$$

E bzw.  $E_{ph}$  = horizontale Punktbeleuchtungsstärke [lx]

h = Lichtpunkthöhe

I = Lichtstärke [cd]

$\gamma$  = Ausstrahlwinkel

## ■ 3.6 Belichtung H

Während im Fernsehbereich als auch in der Architekturbeleuchtung die Einheit Beleuchtungsstärke eine entscheidende Messgröße darstellt, verwendet man in den Bereichen der Fotografie und des Films die Einheit Belichtung.

Die Belichtung ist das Produkt aus Beleuchtungsstärke und der Belichtungszeit. Ihre Einheit ist die Luxsekunde (lxs).

$$H = E \cdot t \quad (3.12)$$

H = Belichtung [lxs]

E = Beleuchtungsstärke [lx]

t = Zeit [s]

Aus diesem Grund werden die Kenndaten der Belichtung immer in Luxsekunden angegeben.

## ■ 3.7 Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte ist ein Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer selbstleuchtenden oder einer beleuchteten Fläche hat. Die lichttechnische Größe Leuchtdichte ist die einzige lichttechnische Grundgröße, die der Mensch wahrnehmen kann. Die Einheit der Leuchtdichte ist in ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) definiert.

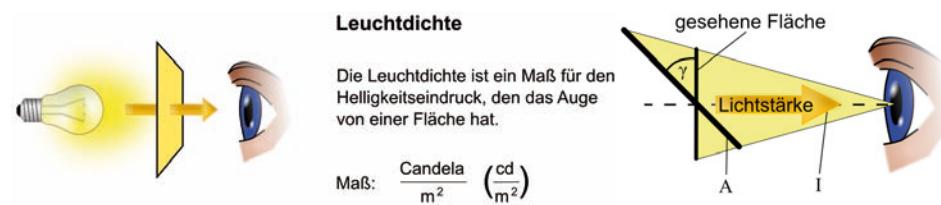
$$L = I / A \quad (3.13)$$

L = Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

I = Lichtstärke [cd]

A = leuchtende Fläche [ $\text{m}^2$ ]

Erst durch Leuchtdichteunterschiede, d.h. Kontraste, siehe dazu Kapitel 4 „Kontrast und Helligkeit“ kann der Mensch überhaupt Dinge erkennen.



**Bild 3.12** links: lichttechnische Grundgröße Leuchtdichte; rechts: Leuchtdichte bei schrägem einfallendem Licht

### Leuchtdichte bei schräg einfallendem Licht

Steht die leuchtende Fläche vom Betrachter aus gesehen nicht senkrecht, sondern ist sie unter einem Winkel  $\gamma$  geneigt, so ist für die Berechnung der Leuchtdichte die vom Auge „gesehene Fläche =  $A \cdot \cos \gamma$ “ zu berücksichtigen.

---


$$L = (I / A * \cos \gamma) \quad (3.14)$$

L = Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

I = Lichtstärke [cd]

A = leuchtende Fläche [ $\text{m}^2$ ]

$\gamma$  = Winkel, unter dem die leuchtende Fläche vom Betrachter fixiert wird

---

Bei einer Leuchtdichte ab 5.000  $\text{cd}/\text{m}^2$  (bei Tagessehen), kann Blendung auftreten. Typische Leuchtdichtewerte für Lichtquellen sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

**Tabelle 3.7** Leuchtdichtewerte verschiedener Lampentypen

Glühlampe mattiert	ca. $1 * 10^6 - 2 * 10^7 \text{ cd}/\text{m}^2$
Leuchtstofflampe	ca. $3 * 10^3 - 1,3 * 10^4 \text{ cd}/\text{m}^2$

## ■ 3.8 Stoffkennzahlen

Licht, das auf einen Körper auftrifft, kann zurückgestrahlt (reflektiert), verschluckt (absorbiert) oder durchgelassen (transmittiert) werden.

### 3.8.1 Reflexionsgrad

Der Reflexionsgrad  $\rho$  definiert die einfallende Lichtmenge zur reflektierten Lichtmenge. In der Beleuchtungstechnik spricht man von einem Reflexionsgrad  $\rho$  in der Größenordnung von ca. null bis max. 1.

---


$$\rho = \Phi_r / \Phi_o \quad (3.15)$$

$\rho$  = Reflexionsgrad

$\Phi_r$  = reflektierter Lichtstrom [lm]

$\Phi_o$  = einfallender Lichtstrom [lm]

---

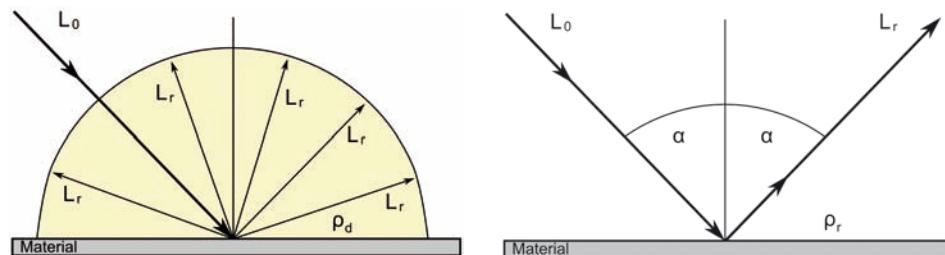
Im Bereich der Fotografie und des Films spricht man dagegen von einem Remissionsgrad  $B$ , der in der Größenordnung von 1 bis 100 liegen kann. Beide Begriffe beschreiben dabei das Gleiche. In der Fotografie und beim Film verwendet man als Referenz eine sogenannte Graukarte. Typischer Remissionswert für diese Graukarte ist der Wert 18 %, der in etwa dem mittleren Reflexionsgrad der menschlichen Haut entspricht.

Bei reflektierenden Materialien muss unterschieden werden zwischen

- reiner diffuse Reflexion (z. B. weißes Blatt Papier),
- gerichteter Reflexion (z. B. Spiegel) und
- gemischter Reflexion (z. B. Marmorplatte).

### 3.8.1.1 Diffuse Reflexion

Die diffuse Reflexion ist ein Sonderfall, bei der das einfallende Licht von dem Material in alle Richtungen gleichmäßig abgestrahlt wird bzw. bei der das Objekt in alle Richtungen die gleiche Leuchtdichte besitzt. Ein weißes Blatt Papier z. B. entspricht solch einem Material, das in erster Näherung eine gleichmäßige Reflexion besitzt. Der idealisierte Zustand ist der sogenannte „**Lambert-Strahler**“, der ideal reflektiert und aus diesem Grund auch sehr oft in Simulationsprogrammen eingesetzt wird, siehe Bild 3.13 links.



**Bild 3.13** links: Reflexionsverhalten bei diffuser Reflexion; rechts: gerichtete Reflexion (z. B. Spiegel)

---


$$L_r = (\rho_d * E) / \pi \quad (3.16)$$

$L_0$  = einfallende Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$L_r$  = reflektierte Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$\rho_d$  = diffuse Reflexion

$E$  = Beleuchtungsstärke [ $\text{lumen}/\text{m}^2$ ]

---

### 3.8.1.2 Gerichtete Reflexion

Man spricht von einer gerichteten Reflexion, wenn das einfallende Licht auf der Oberfläche eines Materials gespiegelt wird und mit dem gleichen Winkel, wie es eingefallen ist, wieder reflektiert wird. Betrachtet man die gerichtete Reflexion, so ist die reflektierte Leuchtdichte proportional zur einfallenden Leuchtdichte.

---


$$L_r = \rho_r * L_0 \quad (3.17)$$

$L_r$  = reflektierte Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$L_0$  = einfallende Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

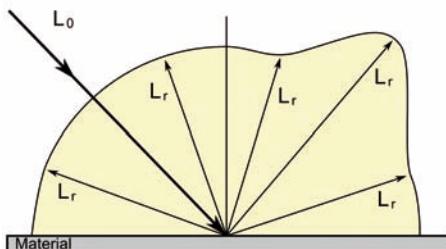
$\rho_r$  = Grad der gerichteten Reflexion

---

### 3.8.1.3 Gemischte Reflexion

Während eine diffuse Reflexion und eine reine Spiegelung (gerichtete Reflexion) eher Annäherungen an die Wirklichkeit sind, entspricht eine gemischte Reflexion eher den Materialeigenschaften der uns umgebenden natürlichen Materialien. Die Reflexionseigenschaften

einer gemischten Reflexion können durch ihre LeuchtdichteVerteilung (Indikatrix) symbolisiert werden. Die gemischte Reflexion setzt sich in erster Näherung aus einem diffusen Anteil und einem gerichteten Anteil zusammen, siehe Bild 3.14. Der Einfluss der Oberfläche wird in der Lichttechnik durch den Leuchtdichtheitkoeffizienten charakterisiert.



**Bild 3.14** Reflexionsverhalten bei gemischter Reflexion

In der Computergrafik wird dieser Leuchtdichtheitkoeffizient durch den Begriff **BRDF** (Bidirectional Reflectance Distribution Function) gekennzeichnet und vor allem in der Computersimulation eingesetzt, um komplexe Gegenstände fotorealistisch darstellen zu können.

### 3.8.2 Transmissionsgrad

Der Transmissionsgrad  $\tau$  ist das Verhältnis des vom Körper durchgelassenen Lichtstroms zum auftreffenden Lichtstrom. Je nach Struktur des Materials ergeben sich auch hier verschiedene Arten der Transmission (gerichtete Transmission, gemischte Transmission und gestreute Transmission).

---


$$\tau = \Phi_d / \Phi_o \quad (3.18)$$

$\tau$  = Transmissionsgrad

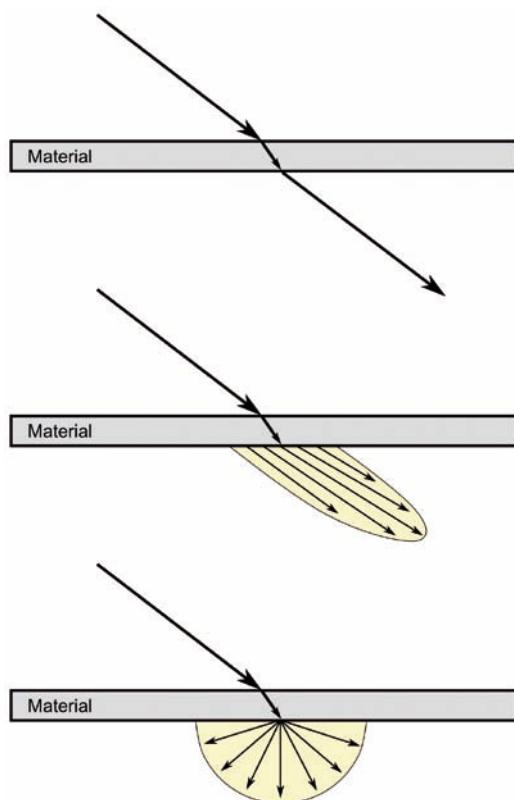
$\Phi_d$  = durchgelassener Lichtstrom [lm]

$\Phi_o$  = einfallender Lichtstrom [lm]

---

Entsprechend dem Reflexionsgrad  $\rho$  werden auch beim Transmissionsgrad  $\tau$  drei Fälle unterschieden.

- rein diffuse Transmission (z. B. Milchglasscheibe)
- gerichtete Transmission (z. B. Fensterglas)
- gemischte Transmission (z. B. strukturiertes Glas)



**Bild 3.15** Verschiedene Transmissionsgradcharakteristika

### 3.8.3 Absorptionsgrad

Der Absorptionsgrad  $\alpha$  ist das Verhältnis des vom Körper absorbierten Lichtstroms zum auftreffenden Lichtstrom. Da weder Energie vernichtet noch neu hinzukommen kann, ist die Gesamtsumme von Reflexions-, Transmission- und Absorptionsgrad immer eins, siehe Formel 3.20.

---


$$\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_0 \quad (3.19)$$

$\alpha$  = Absorptionsgrad

$\Phi_\alpha$  = absorberter Lichtstrom [lm]

$\Phi_0$  = auftreffender Lichtstrom [lm]

---

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (3.20)$$

$\rho$  = Reflexionsgrad

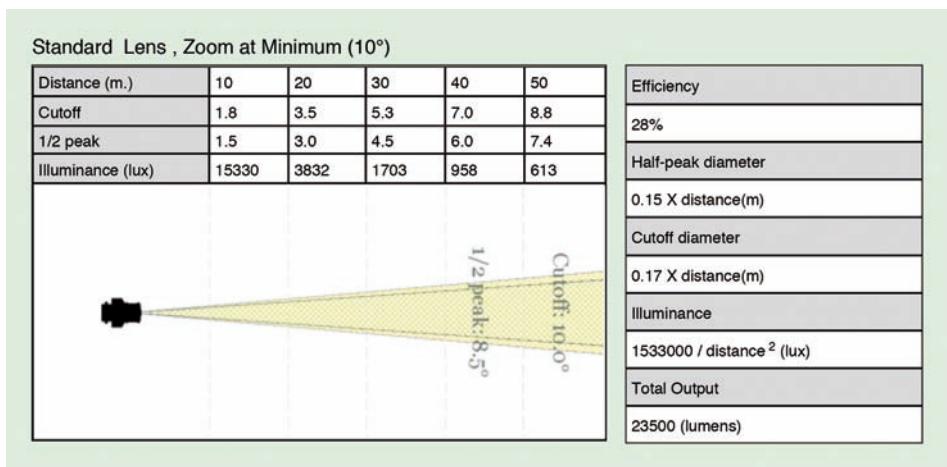
$\tau$  = Transmissionsgrad

$\alpha$  = Absorptionsgrad

---

### 3.8.4 Halbstreuwinkel

In der Lichttechnik gibt es eine Vielzahl von Streuwinkeln, mit denen Materialien gemessen bzw. vermessen werden. Für die Beleuchtungstechnik, insbesondere zur Kennzeichnung von Scheinwerfern ist der Halbstreuwinkel wichtig. Der Halbstreuwinkel wird für die Beschreibung des Lichtwurfs eines Bühnenscheinwerfers verwendet. Er kennzeichnet den Winkel eines Lichtstrahls, an dem die Lichtstärke auf die Hälfte des maximalen Lichtstärkewerts abgesunken ist. Der Halbstreuwinkel wird bei senkrechtem Lichteinfall bestimmt. Er bezeichnet die Richtung, in der die Leuchtdichte des ausstrahlenden bzw. ausgestrahlten Lichts halb so groß ist wie jene, die senkrecht zur leuchtenden Fläche ausgestrahlt wird.



**Bild 3.16** Photometrische Daten des MAC Viper Profile, Firma Martin Professional

Verwendet wird der Halbstreuwinkel vor allem bei der Lichtplanung im Bühnenbereich, damit der Schauspieler beim Bewegen auf der Bühne nicht zu große Leuchtdichteunterschiede bzw. Helligkeiten im Gesicht oder auch dem Körper erhält. Die Bühne wird nach der Theorie von McCandless, siehe Details in Abschnitt 14.4 „Lichtgestaltung im Theaterbereich“ in neun gleichförmige Flächen aufgeteilt. Jeweils in der Mitte wird der einzusetzende Scheinwerfer fokussiert. Dort besitzt der Scheinwerfer die höchste Lichtstärke, danach nimmt sie kontinuierlich ab. Wichtig ist bei dieser Planung, dass sich die einzelnen Kreise überschneiden. Dort wo sich die beiden Kreise schneiden, soll jeder Scheinwerfer noch die Hälfte der max. Lichtstärke besitzen, so dass an dieser Stelle der Schauspieler wieder max. Helligkeit besitzt.

## ■ 3.9 Übungsbeispiele

### Aufgabe 1:

Eine Glühlampe mit einer Lichtstärke von 900 cd beleuchtet eine kleine Fläche im Abstand von 10 m.

1. Wie groß ist die auf der Fläche erzeugte Beleuchtungsstärke, wenn die Fläche senkrecht zur einfallenden Strahlung steht?
2. Wie ändert sich dieser Wert, wenn die Flächennormale mit der Einfallrichtung einen Winkel von 60 Grad bildet?
3. Aus welcher Entfernung müsste man die um 60 Grad geneigte Fläche beleuchten, wenn die gleiche Beleuchtungsstärke erreicht werden soll wie bei senkrechter Orientierung?

### Aufgabe 2:

Eine 100 W-Glühlampe liefert einen Lichtstrom von 1400 lm. Diese Lampe wird in einer Opalglaskugel von 15 cm Durchmesser angebracht, die 20 % des Lichtstromes absorbiert. Wie groß ist die Lichtstärke und die Lichtausbeute der Opalglaskugel, wenn man Lambert-Strahlung voraussetzt?

# 4

# Kontrast und Helligkeit

Die Fähigkeit des Menschen, Helligkeits- und Formenstrukturen mehr oder weniger schnell zu erfassen und wahrzunehmen, ist ein Zusammenwirken von einer Anzahl elementarer Funktionen des Sehorgans. Spezifische Merkmale dieser sogenannten „**Sehleistung**“ sind sowohl abhängig von psychologischen Eigenschaften der kognitiven Wahrnehmung als auch von elementaren Parametern wie der Sehobjektgröße, der Adaptationsleuchtdichte, dem Leuchtdichtekontrast und auch, wie lange ein Objekt sichtbar ist. In der physiologischen Optik hat sich aus diesem Grund die Verwendung des Begriffs Kontrast für die Beschreibung der Sichtbarkeit von Objekten als sinnvoll ergeben.

## ■ 4.1 Kontrast

Für Kontraste gibt es verschiedene Definitionen, je nachdem ob man eher die Sehfähigkeiten des Auges aus medizinischer und physiologischer Sicht betrachtet oder den Kontrastumfang eines Fernseh- bzw. Filmbildes beschreiben will.

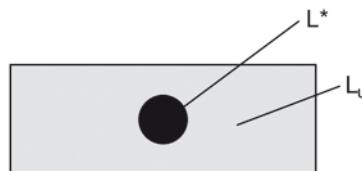
### 4.1.1 Physiologischer Kontrast

Der physiologische Kontrast ist definiert als die Leuchtdifferenz eines Sehobjektes zu seiner Umgebungsleuchtdichte bezogen auf die Umgebungsleuchtdichte. Diese Formulierung gilt dabei streng nur für Detektion, d. h. das Erkennen z. B. eines Punktes in einer gleichmäßig ausgeleuchteten Umgebung.

Das einfachste Erkennungsniveau ist dabei die Detektion eines Sehobjektes aufgrund seines Helligkeitsunterschiedes gegenüber dem Hintergrund. Diese Fähigkeit wird als Helligkeitsdetektion bezeichnet. Detaildetektion bzw. Diskrimination liegt vor, wenn zwei Linien als getrennte Linien zu erkennen sind. Diese Fähigkeit wird auch als Sehschärfe bzw. als Auflösungsvermögen bezeichnet.

### 4.1.2 Helligkeitsdetektion C

Ein Objekt kann nur dann gesehen werden, wenn sich die Objektleuchtdichte um einen Mindestbetrag,  $L_{\min}$ , von der Umgebungsleuchtdichte unterscheidet. Man unterscheidet dabei zwischen einem negativen und einem positiven Kontrast. Die heute übliche Bildschirmpräsentation eines WinWord-Dokumentes wird als Negativ-Kontrastdarstellung bezeichnet (schwarze Schrift auf hellem Hintergrund).



$L^*$  = Leuchtdichte des Sehobjektes

$L_u$  = Umgebungsleuchtdichte

**Bild 4.1** Helligkeitsdetektion

---

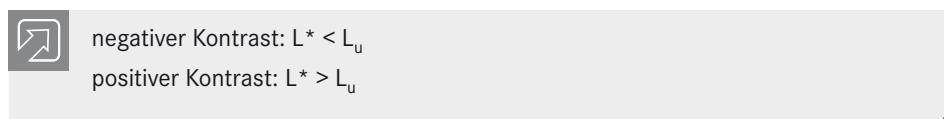

$$C = (L^* - L_u) / L_u * 100 \% = \Delta L / L_u \quad (4.1)$$

C = Kontrast

$L^*$  = Leuchtdichte des Sehobjektes [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$L_u$  = Umgebungsleuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

---



Hohe Kontraste sind nicht in erster Linie zum fovealen Sehen erforderlich, sondern sind vor allem für eine günstige periphere Detektion, zur Erzielung möglichst ausgedehnter Sichtbarkeitsfelder und damit geringerer Suchzeiten, notwendig.

Der Schwellenkontrast für die Helligkeitsdetektion liegt bei mittleren Leuchtdichten (ca.  $100 \text{ cd}/\text{m}^2$  bis  $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ ) bei etwa 3 %. Das bedeutet, dass das menschliche Auge bei einer Umgebungsleuchtdichte von  $100 \text{ cd}/\text{m}^2$  bereits ein Sehobjekt mit  $103 \text{ cd}/\text{m}^2$  detektieren kann.

## ■ 4.2 Kontrastdefinition im Film- und Fernsehbereich

Im Gegensatz zur Definition des physiologischen Kontrastes C wird der Kontrast im Film- und Fernsehbereich anders definiert und mit dem Buchstaben K dargestellt. Der Kontrast K im Fernsehbereich wird definiert durch das Verhältnis zwischen maximaler Leuchtdichte zu minimaler Leuchtdichte.

---


$$K = L_{\max} / L_{\min} \quad (4.2)$$

$K$  = Kontrast

$L_{\max}$  = maximale Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$L_{\min}$  = minimale Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

---

Bei der Bildübertragung, unabhängig ob Film oder Video, gilt grundsätzlich, dass der Bildkontrast möglichst unverändert übertragen werden soll. Das bedeutet, dass Bildteile, die beispielsweise doppelt so hohe Leuchtdichten besitzen wie andere Teile des Bildes, auch nach der Bildübertragung beim Kino- oder Fernsehzuschauer, entsprechend auch doppelte Leuchtdichten besitzen sollen; wobei natürlich die absoluten Leuchtdichtewerte auf der Kinoleinwand bzw. auf dem Fernsehbildschirm (z.B.  $100 \text{ cd/m}^2$ ) entsprechend vielfach geringer sind als bei der Original-Film- oder Fernsehaufnahme. Dort können je nach Helligkeit bis zu  $10.000 \text{ cd/m}^2$  herrschen.



**Bild 4.2** Bildschirmkontrast

#### 4.2.1 Objektkontrast

Beleuchtet man Materialien mit unterschiedlichen Reflexionsgraden mit der gleichen Menge an Licht (wie in Bild 4.3 mit der gleichen Lichtleistung von zwei identischen Scheinwerfern dargestellt), ergibt sich ein deutlich sichtbarer Helligkeitsunterschied bzw. korrekt ein deutlicher Leuchtdichteunterschied.



**Bild 4.3** Objektkontrast (gleiche Lichtmenge, aber unterschiedliche Reflexion)

### 4.2.2 Lichtkontrast

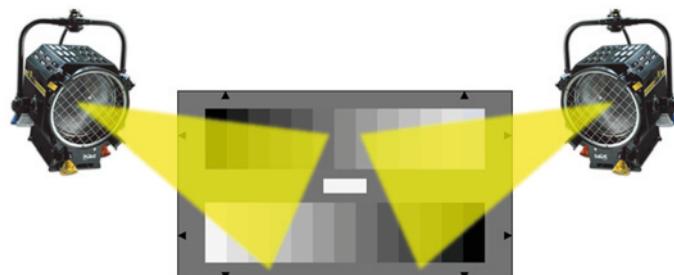
Beleuchtet man identische Materialien mit einer unterschiedlichen Lichtmenge, so ergibt sich auch hier ein Kontrast (Lichtkontrast).



**Bild 4.4** Lichtkontrast (unterschiedliche Lichtmenge, aber gleiche Reflexion)

### 4.2.3 Szenenkontrast

In der Praxis hat man meist nicht die idealisierte Situation von einem reinen Objekt- bzw. Lichtkontrast, sondern eine Mischung aus beiden (Szenenkontrast).



**Bild 4.5** Szenenkontrast (Objektkontrast + Lichtkontrast = Szenenkontrast)

### 4.2.4 Kontrastumfang und Blendenstufen

Der Kontrastumfang einer Szene wird im Film- und Fernsehbereich eher selten mit Leuchtdichten angegeben, sondern mit Blendenstufen oder dem Blendenumfang; d. h. mit der Anzahl von Helligkeitsstufen, die wiedergegeben werden können, ohne dass helle oder dunkle Motivteile strukturlos werden.

Die Hauptaufgabe der Blende ist es, den durch das Objektiv fallenden Lichtstrom entsprechend der Filmempfindlichkeit bzw. des Auflösungsvermögens des elektronischen Sensors bei digitalen Kameras zu begrenzen.



Eine Blende Unterschied entspricht Faktor zwei im Licht.

**Tabelle 4.1** Kontrastumfang in Bezug zum Begriff Blendenumfang

Kontrast	Blendenstufe
1:1	-
1:2	1 Blendenstufe
1:4	2 Blendenstufen
1:8	3 Blendenstufen
1:16	4 Blendenstufen
1:32	5 Blendenstufen
1:64	6 Blendenstufen
1:128	7 Blendenstufen
1:256	8 Blendenstufen



Bild 4.6 Kontrast (Szene vor der Kamera)

## ■ 4.3 Ratio

Im Fernseh- bzw. Filmbereich wird eher selten mit Leuchtdichten gearbeitet, sondern eher mit der Beleuchtungsstärke, da sie einfacher zu messen ist. Aus diesem Grund verwendet man zur Klassifizierung einer ästhetischen Ausleuchtung von Personen anstatt des Begriffes „Kontrast“ gerne den Begriff „Ratio“ (Beleuchtungsstärkeunterschiede) und definiert ihn als das Verhältnis des gesamten auftreffenden Lichts (Führungslicht + Aufhellung) im Verhältnis zu der reinen Aufhellung allein. Diese Werte beziehen sich dabei auf vertikale Beleuchtungsstärkewerte, direkt gemessen am Gesicht der Schauspielerin bzw. des Schauspielers in Richtung Kameraobjektiv.

$$L = \rho * E / \pi \quad (4.3)$$

$L$  = Leuchtdichte [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$\rho$  = Reflexionsgrad

$E$  = Beleuchtungsstärke [ $\text{lx}$ ]

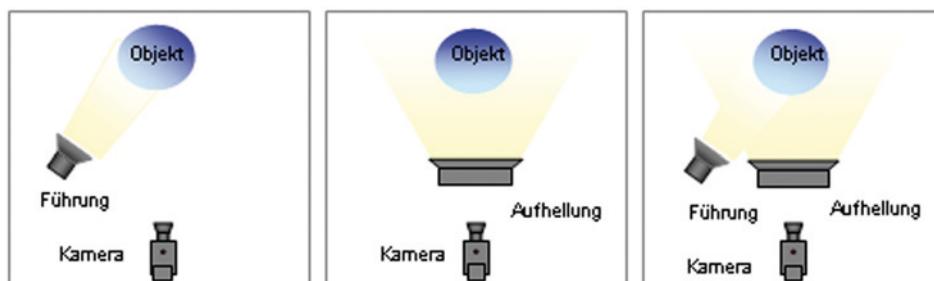
Da sich der Reflexionsgrad des Gesichtes nicht ändert, kann in diesem Fall statt der Leuchtdichte die vertikale Beleuchtungsstärke verwendet werden, was mit den üblichen Beleuchtungsmessgeräten einfach umsetzbar ist.

$$\text{Ratio} = ((F + A) / A) \quad (4.4)$$

Ratio (Beleuchtungsstärkeunterschied)

$F$  = Führungslicht [ $\text{lx}$ ]

$A$  = Aufhelllicht [ $\text{lx}$ ]



**Bild 4.7** Beleuchtungsstärkeunterschiede (Ratio) als Verhältnis Gesamtlicht zu Aufhelllicht  $((F+A) / A)$ ,  $F$  = Führung,  $A$  = Aufhellung



Bei der Gesamtbeleuchtung einer Person von 800 lx (vertikale Beleuchtungsstärke) könnte z. B. das Führungslicht 400 lx betragen, das Aufhelllicht 400 lx. Dabei trifft das Führungslicht nur auf eine Seite des Gesichtes (z. B. in den Abbildungen unten nur auf die linke Seite der Darstellerin), während das Aufhelllicht beide Gesichtshälften beleuchtet. Bei einer solchen Ausleuchtung spricht man dann von einem Beleuchtungsstärkeunterschied (Ratio) von 2:1  $((400 \text{ lx} + 400 \text{ lx}) / 400 \text{ lx})$ .



**Bild 4.8** links: Beleuchtungsstärkeunterschiede (Ratio) im Verhältnis von 2:1, Mitte: Verhältnis von 8:1, rechts: Verhältnis von 32:1

Wie auf den Bildern zu erkennen ist, ist ein Ratio von 2:1 sogar gewünscht, um eine Seite des Gesichtes zu betonen. Bei einem Ratio von 8:1 sind bereits Teile der rechten Gesichtshälfte nicht mehr gut zu erkennen. Bei einem Ratio von 32:1 ist die rechte Gesichtshälfte beinahe komplett im Dunkeln.

## ■ 4.4 Helligkeit und Helligkeitsmodelle

Der Mensch registriert für jedes Objekt eine Helligkeit. Die Helligkeit stellt jedoch nur ein relatives Maß dar, da das Auge ständig bestrebt ist, in jeder Lichtsituation ein mittleres Adaptationsniveau herbeizuführen, sodass die Empfindlichkeit der Netzhaut nicht verringert wird. Das bedeutet, das Auge adaptiert sich ständig an die mittlere Leuchtdichte im Gesichtsfeld. Andererseits ist der Mensch dadurch in der Lage, Details über einen Leuchtdichtebereich von über zehn Zehnerpotenzen zu erkennen.

Aufgrund der ständigen Adaptationsanpassung lässt sich die Helligkeit bzw. die Helligkeitsempfindung nicht zur Definition einer lichttechnischen Größe heranziehen. Die Leuchtdichte eines Sehobjektes ist aus diesem Grund das adäquate Maß für die Helligkeitsempfindung. Jedoch verändert sich unsere Empfindung einer Helligkeit nicht linear mit einer Leuchtdichteänderung, d.h. nicht proportional zur Leuchtdichte, sondern in erster Näherung mit dem Logarithmus der Leuchtdichte. Diese Aussage gilt jedoch nur in einem mittleren Bereich der Reizgröße (Weber-Fechner-Bereich), siehe nachfolgende Kapitel.



E. H. Weber (1795–1878) war Professor für Anatomie und Physiologie und stellte fest, dass der gerade noch merkliche Unterschied zwischen zwei Gewichten in einem näherungsweise konstanten Verhältnis zu der Größe des Bezugsgewichtes steht (1834).

G. T. Fechner (1801–1887) war Professor für Physik und Psychologie in Leipzig und formulierte mathematische Gesetzmäßigkeiten zwischen dem Zusammenhang von Reiz und menschlicher Empfindung, d.h. dass zwischen Empfindung und Intensität ein logarithmischer Zusammenhang besteht (Weber-Fechner-Gesetz).

### 4.4.1 Helligkeitsmodelle

Der Zusammenhang der Helligkeitsempfindung und der Leuchtdichte wird von verschiedenen Autoren beschrieben (Fechner, Stevens, Adams und Cobb).

#### Weber-Fechner'sche Regel

Nach der Formel von Fechner ist die Helligkeit proportional zum Logarithmus der Leuchtdichte. Diese Formel beruht auf psychophysiologischen Messungen von Weber und Fechner und wurde Mitte des 19. Jahrhunderts von Fechner formuliert. Diese Regel ist jedoch nur in der Nähe der Umfeldleuchtdichte gültig und einsetzbar.

---


$$H = \lg(L) \quad (4.5)$$

H = Helligkeit (dimensionslos: 0–1 oder 0–100)

L = Leuchtdichte des Objekts

---

### Steven'sche Formel

Nach Stevens gilt, dass bis zu einem Schwellenwert von  $L_s \ll L_u$  das Testfeld von einem physikalisch lichtlosen Feld nicht zu unterscheiden ist. Daher wird  $L_s$  als Schwarzschwelle bezeichnet. Unterhalb der Schwarzschwelle ist eine Kontrastwahrnehmung unmöglich.

---


$$H = (L - L_s)^n \quad (4.6)$$

H = Helligkeit (dimensionslos: 0–1 oder 0–100)

L = Leuchtdichte des Objekts [cd/m<sup>2</sup>]

$L_s$  = Schwarzschwelle [cd/m<sup>2</sup>]

n = Exponent

---

### Adams und Cobb

Adams und Cobb haben eine recht einfache Formel für den Bezug zwischen Helligkeit und Leuchtdichte bzw. Adaptationsleuchtdichte aufgestellt, die in den meisten Fällen die Helligkeitsempfindung des Menschen richtig wiedergibt.

---


$$H = L / (L + L_A) \quad (4.7)$$

H = Helligkeit (dimensionslos: 0–1 oder 0–100)

L = Leuchtdichte des Objekts [cd/m<sup>2</sup>]

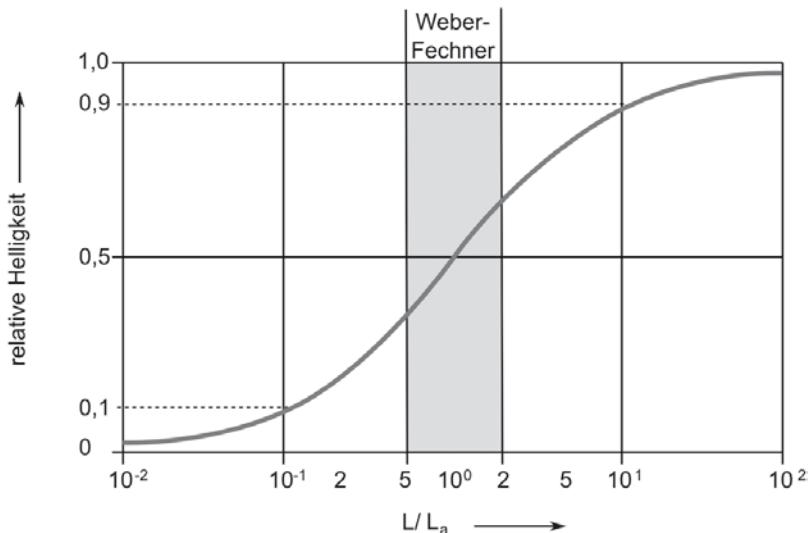
$L_A$  = Adaptationsleuchtdichte [cd/m<sup>2</sup>]

---



Als Adaptationsleuchtdichte soll ein Wert von 10 cd/m<sup>2</sup> angenommen werden. Dieser Wert entspricht in etwa der Leuchtdichte eines Bildschirmes mit grauem Hintergrund. Auf diesem grauen Hintergrund soll ein rundes Testfeld mit einem Durchmesser von rund 10 cm dargestellt werden. Besitzt dieses Testfeld ebenfalls die Leuchtdichte von 10 cd/m<sup>2</sup>, so unterscheidet sich Umgebung und Testfeld nicht. Das bedeutet, beide Felder besitzen die gleiche Leuchtdichte oder nach Adams und Cobb, dass das Testfeld eine Helligkeit von 0,5 bzw. 50% ( $H = 10 / 10 + 10$ ) besitzt.

Erhöht man die Leuchtdichte des Testfeldes auf 20 cd/m<sup>2</sup>, so erhält man nach der Formel von Adams und Cobb jetzt für das Testfeld einen Helligkeitseindruck von 0,666 bzw. 66,6 %. Das bedeutet, obwohl die Leuchtdichte verdoppelt wurde, hat sich der Helligkeitseindruck nur um 16 % verändert. Erhöht man die Testfeldleuchtdichte nun auf 100 cd/m<sup>2</sup>, so ermittelt man eine Helligkeit von 0,909 bzw. 90,9 %. Das bedeutet, man muss die Leuchtdichte des Testfeldes verzehnfachen, um den Eindruck zu erhalten, dass das Testfeld etwa doppelt so hell wirkt wie die Umgebung.



**Bild 4.9** Helligkeitsverlauf in Abhängigkeit der Sehobjektleuchtdichte  $L$  und Adaptationsleuchtdichte  $L_a$

In einem Leuchtdichtebereich von 1:2 nach oben oder unten bewegt sich der Helligkeitseindruck in einem logarithmischen Bereich (Weber-Fechner). Leuchtdichteunterschiede von 1:10 nach oben und unten ergeben einen eher s-förmigen Verlauf.

Bei Leuchtdichteunterschieden von 1:100 nach oben oder unten kann das menschliche Auge, nach der Formel von Adams und Cobb, keine Unterschiede mehr erkennen. Es ist entweder alles weiß oder alles schwarz. In diesen Endbereichen stimmt das Modell von Adam und Cobb nicht mehr ganz mit der Wahrnehmung des menschlichen Auges überein.

Man muss berücksichtigen, dass die Leuchtdichte die Helligkeitsempfindung beschreibt und nicht die Beleuchtungsstärke. Das menschliche Sehen kann also nicht feststellen, ob die Helligkeit eines Objektes von der Lichtintensität abhängt oder von der Reflexionseigenschaft des beleuchteten Körpers. Dementsprechend lässt sich bereits eine erste Gesetzmäßigkeit für die Lichtgestaltung ableiten. Man kann die Helligkeit eines Objektes entweder durch die Wahl der Lichtintensität oder mittels der Wahl der Oberflächenbeschaffenheit des Materials, das heißt des Reflexionsvermögens, bestimmen.

#### 4.4.2 Helligkeitsmodell CIE-L\*

Ausgehend von verschiedenen Helligkeitsmodellen hat die CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) im Jahr 1976 im Rahmen der Einführung der Farbsysteme  $L^*a^*b^*$  und  $L^*u^*v^*$ , siehe Kapitel 6 „Farbmétrische Grundlagen“, die Helligkeitsformel  $L^*$  eingeführt, die den Helligkeitseindruck des menschlichen Auges eines Normalbeobachters beschreibt. Der im Prinzip logarithmische Kurvenverlauf wurde durch eine Wurzelfunktion angenähert. Da die Kurve nicht durch den Nullpunkt geht, gibt es eine Näherungsformel für kleine Werte.

---

$$L^* = 116 * (Y/Y_w)^{1/3} - 16 \quad (4.8)$$

$$L^* = 903,29 (Y/Y_w)^{1/3} \text{ für } 0 < Y/Y_w < 0,008856$$

$L^*$  = Helligkeit

$Y$  = Leuchtdichte [cd/m<sup>2</sup>]

$Y_w$  = Bezugslightart [cd/m<sup>2</sup>]

---

## ■ 4.5 Übungsbeispiele

1. Gegeben ist ein Kontrast C von 3 % bei einer Umgebungsleuchtdichte von 100 cd/m<sup>2</sup>. Wie groß ist die Leuchtdichte des Sehobjekts?

2. Wie ist es möglich, dass führende Bildschirmhersteller einen Kontrast von 1:2.000.000 für ihre Bildschirme angeben (bitte recherchieren)?

# 5

# Auge und Wahrnehmung

Das menschliche Verhalten ist in großen Teilen auf die optische Wahrnehmung bezogen, im Besonderen auf die Informationsaufnahme und die Umweltorientierung. Licht, nur als physikalische Größe gesehen, hat für die Beleuchtungsplanung wenig Nutzen. Erst das von Wänden, Decken und von den Oberflächen reflektierte Licht löst eine Empfindung aus und ist für unsere Wahrnehmung von Bedeutung.

## ■ 5.1 Physiologie des Sehens

Der Mensch ist bekanntermaßen ein „Augenmensch“. 80 % aller Sinneseindrücke nimmt er über seine Augen wahr. Bei der Aufnahme und Verarbeitung von Lichtreizen durch das Auge und das Gehirn lassen sich ganz pauschal folgende „Baugruppen“ unterscheiden:

- optisches System des Auges
- Netzhaut mit zwei Arten von Rezeptoren/Empfängerzellen (Zapfen und Stäbchen)
- Sehnerv und Querverbindungen zum Stammhirn
- Sehzentrum im Großhirnbereich (Areal 17)

### 5.1.1 Optisches System des Auges

Das optische System unseres Auges setzt sich zusammen aus der Hornhaut, der Linse und dem Glaskörper, siehe Bild 5.1 im Farbteil auf Seite 152. Die Augenlinse ist in jungen Jahren sehr elastisch und gestattet eine Akkommodation (Scharfstellung) von knapp 30 cm (Nahpunkt) bis ins Unendliche (Fernsicht). Dies entspricht etwa 12 Dioptrien (Akkommodationsbreite). Die Variation erfolgt durch sogenannte innere Augenmuskeln. Mit zunehmendem Alter „verhärtet“ sich die Linse und der Akkommodationsspielraum wird deutlich geringer (Alterssichtigkeit). Des Weiteren trübt die Augenlinse ein und lässt nicht mehr so viel blaues Licht durch.

### 5.1.2 Netzhaut

Die Netzhaut enthält lichtempfindliche Rezeptoren, die auf das einfallende Licht reagieren. Es gibt dabei zwei Arten von Empfängerzellen (Zapfen und Stäbchen).

- Die Zapfen reagieren dabei auf die unterschiedliche spektrale Zusammensetzung des Lichts und sind somit für die Farbwahrnehmung und das Tagessehen zuständig.
- Die Stäbchen nehmen die unterschiedliche Intensität des Lichts wahr und registrieren somit die Helligkeitswerte, wobei sie keine Farben unterscheiden können und aus diesem Grund vor allem für das Nachtsehen zuständig sind.

Beide Rezeptoren enthalten Sehfarbstoffe, die sich unter Lichteinwirkung chemisch verändern. In den beiden Rezeptoren (Zapfen und Stäbchen, man spricht nie von Zäpfchen), werden die einfallenden Lichtquanten/Photonen über komplexe chemische Funktionen in elektrische Funktionen wie Potentialänderungen, umgewandelt. Danach werden die Informationen in Form von Aktionspotentialen über den Sehnerv zum Sehzentrum transportiert.

Das bedeutet, eine erste Aufnahme und Verarbeitung der visuellen Information geschieht hier in der Netzhaut (Vorfilterung), die detaillierte Verarbeitung der Informationen dann im Sehzentrum des visuellen Cortex des Gehirns.

Die Netzhaut des Menschen enthält rund 6,5 Millionen Zapfen und rund 125 Millionen Stäbchen. In Bild 5.2 (im Farbteil auf Seite 152) ist die Dichteverteilung der Zapfen und Stäbchen entlang der Netzhaut dargestellt. Die Begriffe nasal und temporal beziehen sich auf die Bereiche links und rechts der Fovea, wobei nasal bedeutet, dass die Verteilung in Richtung Nase betrachtet wird.

### 5.1.3 Fovea Centralis

Die Fovea centralis, die auch als die Stelle des schärfsten Sehens bzw. als Zentralgrube oder Gelber Fleck bezeichnet wird, ist der Bereich in der Netzhaut, der ausschließlich und sehr dicht mit Zapfen besetzt ist, siehe Bild 5.3 im Farbteil auf Seite 152. Stäbchen sind in der Fovea nicht vorhanden, jedoch umso stärker und zahlreicher im peripheren Bereich, bis etwa 160.000 Stück je mm<sup>2</sup>. Die Größe der Zapfen nimmt von der Fovea aus nach außen zu, während die Stäbchen hingegen überall eine nahezu gleich bleibende Größe behalten.

### 5.1.4 Sehnerv

Nach der Absorption von Lichtquanten in der Netzhaut erfolgt daran anschließend eine sehr komplexe Weiterverarbeitung der Lichtreize in den verschiedenen Neuronenschichten der Netzhaut. Dort werden in den Ganglienzellen die Informationen in elektrische Signale umgewandelt (frequenzmoduliert) und gelangen dann über die Sehnervenbahn, mit Parallelabzweigungen zur Formatio Reticularis, die das Wachzentrum des Menschen darstellt, in das Sehzentrum innerhalb der Großhirnrinde (Areal 17), die zum visuellen Cortex gehört. Die endgültige Verarbeitung der Lichtreize und der Vorgang der Wahrnehmung findet dann in der Area 17 des visuellen Cortex statt, unter Berücksichtigung auch von unbewussten

Wahrnehmungsprozessen. Die heutigen Erkenntnisse in der Hirnforschung gehen davon aus, dass das Sehen und Wahrnehmen auch noch von vielen anderen Gehirnarealen mit beeinflusst wird (Frontallappen etc.).

## ■ 5.2 SML-Zapfen und Farbwahrnehmung

1807 entwickelte der englische Physiker und Mediziner Thomas Young die sogenannte „Dreifarbentheorie“, die etwa 60 Jahre später durch den deutschen Physiker Hermann von Helmholtz entscheidend ergänzt wurde. Die Dreifarbentheorie beruht darauf, dass in der Netzhaut des menschlichen Auges zwei verschiedene Rezeptorentypen (Stäbchen und Zapfen) vorhanden sein sollen, wobei nur die Zapfen farbtüchtig sind, was wir heute wissen und nachweisen können.

### 5.2.1 Dreifarbentheorie

Während Newton das Licht als eine Korpuskularstrahlung behandelte, verhalf Thomas Young (1773–1829) der Wellentheorie des Lichts zum Durchbruch. Sein wichtigster Beitrag zur Farbenlehre war jedoch die von ihm geäußerte Vermutung, dass es im Auge drei verschiedene lichtempfindliche Elemente gibt, die für Licht verschiedener Spektralbereiche unterschiedlich empfindlich sind.

Mit Hilfe der additiven Mischung dreier Grundfarben führte James Clark Maxwell (1831–1879), der Schöpfer der elektromagnetischen Theorie des Lichts die erste Messung von Spektralwertkurven durch. Diese Messungen wurden fortgeführt und erheblich verfeinert von dem Physiologen und Physiker Hermann von Helmholtz (1821–1894) und seinen Schülern. Zur Erklärung der Messkurven und der Gesetze der Farbmischung griff Helmholtz die Idee von Young auf, indem er drei Typen von Sinneszellen in der Netzhaut mit unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeiten für das Farbensehen verantwortlich machte.

### 5.2.2 SML-Zapfen

Heute ist die Young-Helmholtz'sche Theorie des Farbensehens experimentell gut gesichert. Die Zapfen mit ihrer wesentlich geringeren Empfindlichkeit übernehmen bei größeren Helligkeiten die Vermittlung der Seheindrücke, da die Stäbchen bei diesen Helligkeiten bereits gesättigt sind. Zapfen haben einen ähnlichen Aufbau wie Stäbchen, unterscheiden sich jedoch durch ihren unterschiedlichen Sehstoff und damit verbunden durch ihre spektrale Absorption bzw. spektrale Empfindlichkeit. Die drei Zapfentypen besitzen dabei überlappende Empfindungsbereiche, d. h. sie sind nicht nur für eine ganz bestimmte Wellenlänge zuständig, sondern für einen Spektralbereich. Aus diesem Grund sollte man nicht von einem Rot-, Grün- oder Blau-Zapfen sprechen, sondern eher von SML-Zapfen mit den Begriffen L (Long), M (Middle) und S (Short). Man erkennt, dass die Maxima der Empfindlichkeiten des

Rot- und Grün-Zapfens sehr nahe zusammenliegen und ein „echter“ Rot-Zapfen deutlich weiter im 600- bis 700 nm-Bereich liegen müsste (siehe Bild 5.4 im Farbteil auf Seite 153).

Damit ist die „**trichromatische**“ Theorie des Farbensehens von Young, Maxwell und Helmholtz, die drei verschiedene Zapfensysteme postuliert haben, die als unabhängige Empfänger-Systeme des photopischen Sehens arbeiten und deren Signale gemeinsam in einem neuronalen Farbensystem und in einem neuronalen Helligkeitssystem verrechnet werden, nachgewiesen.

### 5.2.3 Gegenfarbentheorie nach Hering

Betrachtet man z.B. eine farbige Fläche für ca. 30 Sekunden und blickt dann auf einen neutralen Hintergrund, erscheint jeweils die Komplementärfarbe (farbiger Sukzessivkontrast). Diese Erscheinung konnte mit der Theorie von Young und Helmholtz nicht erklärt werden.

Edwald Hering (1834–1881) formulierte die sogenannte „**Gegenfarbentheorie**“. Er nahm an, dass es vier Urfarben geben würde (Rot, Gelb, Grün und Blau). Alle Farbtöne lassen sich als Kombination dieser Grundfarben in Worten beschreiben (Orange z.B. als gelbliches Rot, Zyan als bläuliches Grün usw.). Diese Urfarben sollen nach seiner Theorie durch zwei antagonistisch organisierte physiologische Prozesse (Grün-Rot-Prozess) und (Gelb-Blau-Prozess) gekoppelt sein. Ein dritter antagonistischer Prozess wurde für die unbunten Gegenfarben Weiß und Schwarz gefordert. Die Bezeichnung Gegenfarben wurde aus der polaren Struktur der Farbwahrnehmung hergeleitet: Es gibt kein grünliches Rot oder kein bläuliches Gelb.

Diese beiden Theorien führten lange Zeit zu heftigen Diskussionen, bis man feststellte, dass sowohl die Young-Helmholtz-Theorie („**Dreifarbentheorie**“) als auch die „**Gegenfarbentheorie**“ stimmt, wenn auch auf verschiedene Stufen der Reizverarbeitung im Auge bezogen.

### 5.2.4 Zonentheorie

Im Jahre 1905 bestätigte der Physiologe Johannes von Kries, dass beide Theorien richtig sind, da beide für die Erklärung des kompletten Farbwahrnehmungsprozesses gebraucht werden. Die Dreifarbentheorie beschreibt die Vorgänge, die beim Farbensehen auf der Ebene der Sehzellen ablaufen. Die Gegenfarbentheorie hingegen stellt die Reizverarbeitung in den nachfolgenden Bereichen des visuellen Systems dar. Das bedeutet, dass bei der „**Zonentheorie**“ die Photorezeptoren auf der Netzhaut der ersten Zone entsprechen und hier das einfallende Licht über die rot-, grün- und blauempfindlichen Photorezeptoren in entsprechende Nervenreize umgewandelt wird. In der nächsten Zone (Zone 2), siehe Bild 5.5 im Farbteil auf Seite 153, werden diese Nervenreize in die Gegenfarbpaare Rot-Grün und Blau-Gelb codiert und an das Gehirn übertragen.

In den höheren Zentren der Sehbahn (Kortex) konnten rezeptive Felder bestimmt werden, wo rotes und grünblaues (bzw. violettes und gelbes) Licht einen gegensätzlichen Erregungseffekt haben (löst Grün eine Erregung aus, dann löst Rot eine Hemmung aus). Hier ist funktionell die Gegenfarbentheorie des Sehens (nach Hering) verwirklicht. Damit ist auch beim Farbensehen eine zentrale Kontrastierung gegeben.

Einfach erklärt, führt der in das Auge eintretende Farbreiz zu einer Erregung der Zapfen, deren bioelektrische Ströme über den optischen Nerv zum Zentralnervensystem (ZNS) weitergeleitet werden. Dort verschmelzen die einzelnen Informationen zu einer einheitlichen Wirkung, die man als Empfindung, genauer als Farbempfindung, bezeichnet. Als Maß für die einheitliche Wirkung wird im deutschen Sprachgebrauch der Begriff Farbvalenz geprägt, siehe Kapitel 6 „Farbmétrische Grundlagen“.

### **5.2.5 Tag- und Nachtsehen**

Energiegleiche monochromatische Lichtreize verschiedener Wellenlängen rufen im Auge unterschiedliche Helligkeitsempfindungen hervor, siehe auch Kapitel 2 „Lichttechnische Grundgrößen“. D.h., das menschliche Auge bewertet die einzelnen Wellenlängen unterschiedlich. Das Maximum der Hellempfindung liegt bei starker Beleuchtung (Tagessehen) bei 555 nm, das entspricht der Farbe Grün/Gelb, bei schwacher Beleuchtung (Nachtsehen) verschiebt sich das Maximum zu 507 nm ( $V(\lambda)$ -Kurve). Das bedeutet, dass bei geringen Helligkeiten bzw. korrekt ausgedrückt geringen Leuchtdichten (ca. 3-10 cd/m<sup>2</sup>) die Grenze beginnt, ab der das Farbsehen nicht mehr stattfindet und alle Gegenstände grau erscheinen.

### **5.2.6 Verteilung der Rezeptoren**

Der Mensch kann eigentlich nur in einem Bereich von ca. 1° scharf sehen (Fovea). Das bedeutet, in einem Abstand von 50 cm sehen wir nur etwa eine Fläche von der Größe einer Visitenkarte scharf. Danach wird alles unscharf. Da wir ständig umherblicken und Dinge fixieren, fällt uns dieser Umstand nicht weiter auf.

Die verschiedenen Zapfentypen sind jedoch nicht gleichmäßig über die ganze Netzhaut verteilt. In dem Bereich der Fovea sind überhaupt keine blauen Zapfen vorhanden, d.h. der Mensch ist eigentlich in der Fovea blaufehlsichtig. Nach außen enden zuerst die gelben, dann die roten und als letztes die gelben Zapfen. Ab einem Blickbereich von 120° sieht der Mensch nur noch monokular (einäugig) und alles nur noch Schwarz/Weiß.

## **■ 5.3 Grundlagen der Wahrnehmung**

Zu berücksichtigen ist, dass die menschliche Wahrnehmung nicht nur punktuell ein einzelnes Merkmal erfasst, sondern bestrebt ist, unwillkürlich Zusammenhänge zu bilden. Bei der optischen Wahrnehmung bestehen zwei grundlegende Möglichkeiten der Informationsaufnahme:

Beim sogenannten Abtasten entsteht der Gesamteindruck aus vielen kleinen Teilinformationen, das Ganze entsteht also aus „Einzelbildern“. Die Abtasttheorie wurde von Psychophysiologen entwickelt. Die Gestalttheorie geht umgekehrt vom Ganzen aus; zuerst wird ein Gesamteindruck gewonnen, dann werden Einzelheiten abgetastet und registriert. Auf den ersten Blick entsteht der Eindruck, dass sich diese beiden Methoden gegenseitig ausschließen.

Dem ist aber nicht so. Abtast- und Gestalttheorie ergänzen sich und je nach Fall hat eine der beiden Wahrnehmungsarten den Vorrang, wobei die Abtasttheorie diejenige ist, die dem Menschen mehr oder weniger auch bewusst, d. h. sichtbar wird.

### 5.3.1 Fixation und Saccaden

Die visuelle Wahrnehmung unserer Umwelt geschieht in einer Folge von Fixationen der Augen, innerhalb derer die optische Achse der Augen praktisch ruht. Die Dauer der Fixation beträgt ca. 0,25 Sekunden. Betrachtet wird dabei jeweils ein Ausschnitt des Gesichtsfeldes. Diese Zeit wird zur sensorischen und neuronalen Umwandlung sowie zur Übertragung und Verarbeitung des optischen Reizmusters auf der Netzhaut benötigt. Danach wendet sich das Auge bzw. die Fovea dem nächsten interessanten Detail zu. Der Übergang zwischen zwei Fixationen erfolgt dabei sprungartig (Saccade), mit einer Geschwindigkeit von ca. 24 cm/s.

Die vorhandene Blickmotorik kann in zwei Bereiche unterschieden werden:

- Fixation (mit Scharfstellung des Auges: Akkommodation)
- Saccade (ruckartige Bewegung des Auges, 24 cm/s)

Was der Mensch sieht, ist also das Ergebnis der Wahrnehmung pro Blick und der Abtastung des Gesichtsfeldes, also der örtlich-zeitlichen Folge der Fixationen.



**Bild 5.6** links: Aufzeichnung der Augenbewegungen beim Betrachten eines Gesichtes; rechts: Eyetracking Glasses (Firma SMI) zur Messung des Point of Interest (POI)

Bild 5.6 links zeigt eine Aufnahme, wie ein Proband das Gesicht einer jungen Frau mit den Augen abtastet. Interessante Bereiche bzw. Fixationspunkte sind dabei Augen, Nase und der Mund. Das bedeutet, dass bei Film- und Fernsehaufnahmen, in denen es sehr oft um Dialoge oder Empfindungen geht und die sehr groß im Bild dargestellt werden, vor allem dieser Bereich sehr gut beleuchtet und ausgeleuchtet sein muss.

Ältere mobile Eye-Tracking-Systeme sehen im Prinzip aus wie ein Fahrradhelm. Eine Kamera schaut in Richtung des Beobachters und filmt den Betrachtungsbereich, wohin der Beobachter schaut. Die andere Kamera nimmt die Bewegungen der Pupille auf und kann somit feststellen, was der Beobachter gerade fixiert bzw. betrachtet. Natürlich muss das System am Anfang einmal kalibriert werden. Neuere mobile Eye-Tracking-Systeme sehen aus wie eine Brille mit zwei Kameras, siehe Bild 5.6 rechts, die direkt beide Pupillenbewegungen auswerten und damit eine sehr genaue Auswertung der Fixationen ermöglichen.

### **5.3.2 Sehschärfe**

Die Trennsehschärfe oder auch allgemein Sehschärfe genannt, beschreibt die Fähigkeit des Auges, zwei eng benachbarte Linien getrennt wahrzunehmen. Das Maß für die Sehschärfe ist der Reziprokwert des Sehwinkelabstandes in Minuten, der durch den Zwischenraum gegeben ist. Wenn eine Person z. B. zwei Linien mit einem Zwischenraum von 0,2 mm aus 1 m Entfernung unterscheiden kann, so beträgt der Sehwinkelabstand 1°.

Die Sehschärfe hängt in starkem Maße von der Leuchtdichte im Gesichtsfeld (Adaptationsleuchtdichte) ab. Ab dem Leuchtdichtebereich von  $100 \text{ cd/m}^2$  und höher besitzt das menschliche Auge die beste Sehschärfe.

### **5.3.3 Akkommodation**

Unter Akkommodation versteht man das Scharfstellen des Auges mittels Pupillenveränderung und Linsenveränderung. Damit ist es dem Menschen möglich, sowohl Objekte in sehr großer Entfernung als auch kleine Details, die sich in nur 10 cm Entfernung von den Augen befinden, noch scharf erkennen zu können. Bei der Myopie (Kurzsichtigkeit) ist der Augapfel (Bulbus) anatomisch zu lang, sodass insbesondere Objekte in weiter Entfernung in der Fovea centralis nicht mehr gebündelt werden, sondern bereits wieder aufgeweitet sind, sodass Details nicht mehr erkennbar bzw. unscharf sind. Mit Hilfe einer Zerstreuungslinse kann die optische Achse künstlich verlängert werden.

Betrachtet man die Verarbeitung der Sinnesinformationen, so ergeben sich mehrere Einschränkungen beim Sehen.

1. Der Mensch sieht eigentlich alles auf dem Kopf.
2. Das Licht muss durch alle drei Neuronenschichten hindurch, bis es wirklich die Erregung im Rezeptor bewirken kann.
3. Wir können nur im Bereich der Fovea und der parafovealen Bereiche scharf sehen, alles Weitere ist unscharf.
4. Das menschliche Auge fixiert nur für max. 250 ms ein Objekt, danach „springt“ es weiter. Um ein ganzheitliches Bild zu erhalten, werden mehrere Fixationen benötigt.
5. Der Zwischenraum zwischen den Fixationen wird durch das Unterbewusstsein mit „Schablonen“ aufgefüllt.
6. Das menschliche Gesichtsfeld ist eingeschränkt, außerhalb eines bestimmten Gesichtsbereiches sehen wir nur noch einäugig (monokular).
7. Im Sehzentrum sind hauptsächlich Zellen vorhanden, sogenannte On-Off-Zellen, die nur auf Kanten reagieren.

### **5.3.4 Wahrnehmungsbereich/Gesichtsfeld**

Unter dem Gesichtsfeld versteht man den Bereich, innerhalb dessen der Mensch mit beiden Augen Informationen, wenn auch in der Peripherie nur noch als Detektion, erkennen kann. Dieser Bereich umfasst ca. 180°. Nach oben ist das Gesichtsfeld auf etwa 60° begrenzt, nach unten auf etwa 90°.

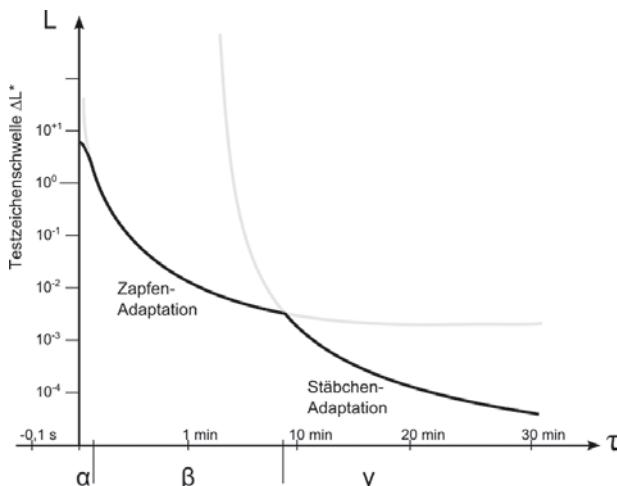
### 5.3.5 Adaptation

Das visuelle System des Menschen enthält Adaptationsprozesse, mit denen sich die Empfindlichkeit des Auges an die unterschiedlichen Leuchtdichten im Gesichtsfeld anpasst und die es dem Menschen ermöglichen, über einen Leuchtdichtebereich von rund zehn Zehnerpotenzen Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen sowie kleinste Details und Objekte zu erkennen.

Der Adaptationsverlauf bewirkt durch Veränderung der Empfindlichkeit der Retina bzw. der Rezeptoren das Auftreten einer Helligkeitskonstanz. Jedoch benötigt die Adaptionsanpassung eine gewisse Zeit, um die jeweils optimale Empfindlichkeit zu erreichen. Aus diesem Grund treten bei schnellen Leuchtdichteänderungen innerhalb der ersten Millisekunden bis Sekunden deutliche Sichtbarkeitsverluste auf.

Man unterscheidet dabei

- Sofortadaptation
- Zapfenadaptation
- Stäbchenadaptation



**Bild 5.7** Zeitlicher Verlauf der Dunkeladaptation nach einer plötzlichen Leuchtdichteänderung von  $100 \text{ cd/m}^2$  nach  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ cd/m}^2$  ( $\alpha$  = Bereich der Sofortadaptation,  $\beta$  = Bereich der Zapfenadaptation,  $\gamma$  = Bereich der Stäbchenadaptation)

## ■ 5.4 Konstanzwahrnehmung

Die sogenannte Konstanzvariabilität ist eines der wichtigsten Organisationsprinzipien der visuellen Wahrnehmung. Warum erkennen wir ein Haus aus tausend Meter Entfernung als richtiges Haus und nicht als kleines Spielzeughaus? Obwohl sich der Sehwinkel eines Objektes bei wechselnden Entfernen verändert, erscheint uns der Gegenstand selbst mehr oder weniger gleich groß.

Die wichtigsten Konstanzeleistungen der visuellen Wahrnehmung sind:

- Größenkonstanz
- Formkonstanz
- Helligkeitskonstanz
- Farbkonstanz

Von diesen vier Konstanzeleistungen sollen in diesem Buch nur die Helligkeitskonstanz und die Farbkonstanz genauer betrachtet werden.

### **5.4.1 Helligkeitskonstanz**

Ein Beispiel für die Helligkeitskonstanz ist das Phänomen, dass weißes Papier im Sonnenlicht genauso weiß erscheint wie bei bewölktem Himmel. Bild 5.8 im Farbteil auf Seite 153 zeigt jedoch ein Phänomen, das die Helligkeitskonstanz auf den Kopf stellt und sich nur aufgrund der Verhältnisse zwischen einem Testreiz und einem Vergleichsreiz erklären lässt: den Helligkeitskontrast. Die inneren grauen Rechtecke haben den gleichen Grauton, aber da die umgebenden Flächen unterschiedliche Leuchtdichten besitzen, erscheinen uns die inneren Rechte unterschiedlich hell.

### **5.4.2 Farbkonstanz**

Ein weißes Blatt Papier bleibt für das menschliche Auge weiß, unabhängig davon, ob man das Papier am Morgen oder am Abend, d. h. bei unterschiedlichen Farbtemperaturen betrachtet. Dieses Phänomen wird „**Farbkonstanz**“ oder auch „**Umstimmung**“ genannt. Eine Kamera hat keine eingebaute „automatische“ Farbkonstanz. Aus diesem Grund muss auch bei TV-Aufnahmen ein „**Weißabgleich**“ durchgeführt werden. D. h. es muss festgelegt werden, welche Farbtemperatur auf einem Papier/Testchart für die Kamera als „weiß“ definiert wird.

Beispielsweise erscheint ein weißes Blatt Papier in einer mit Rotlicht beleuchteten Dunkelkammer nach einer Gewöhnungszeit wieder weiß, obwohl nur rotes Licht reflektiert wird. Das Auge hat sich „umgestimmt“. Tritt man mit dem Papier an das Tageslicht, so erscheint es zunächst bläulich und wird dann allmählich wieder weiß. Das Auge hat sich dann wieder auf das Tageslicht umgestellt.

#### **5.4.2.1 Chromatische Adaptation**

Bekannt ist ferner die Erscheinung des farbigen Simultankontrasts, nach der ein und dieselbe Farbe in verschiedenen Umfeldern ein unterschiedliches Aussehen annimmt. So sieht dasselbe Grau in einem blauen Umfeld leicht gelblich, in einem roten Umfeld grünlich aus. Ein Grün sieht in einem gelben Umfeld mehr blaugrün, in einem blauen Umfeld mehr gelbgrün aus. Das Grau innerhalb der beiden Flächen ist identisch, trotzdem hat man den Eindruck, dass es unterschiedlich ist.

### 5.4.2.2 Stevens-und-Hunt-Effekt

Farben wirken viel kräftiger und intensiver bei hohen Umgebungsleuchtdichten. In Bild 5.9 im Farbteil auf Seite 154 ist die jeweils identische Farbmusterkarte dargestellt, nur bei unterschiedlichen Umgebungsleuchtdichten aufgenommen. Wie man erkennen kann, werden die Farben immer intensiver und leuchtender, je höher die Helligkeit bzw. die Leuchtdichte wird.

## ■ 5.5 UV-, IR- und Blaulichtgefährdung für Auge und Haut

Es gibt drei wesentliche Gefährdungen für die Haut des Menschen und für das Auge durch Licht. In der EU-Richtlinie 2006/25/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) sind sehr detaillierte Tabellen und Expositionsgrenzwerte aufgeführt. Seit Juli 2010 ist die EU-Richtlinie als Verordnung vom deutschen Bundestag verabschiedet worden (OStrV). Die Schädigung der Haut und des Auges kann durch zu intensive UV-Strahlung erfolgen (UV-A, UV-B, UV-C), durch zu intensive IR-Einstrahlung und durch Blaulicht in gewissen Wellenlängen (Blue Light). Im Film-, Fernseh- und Theaterbereich ist vor allem die Schädigung des Auges durch zu intensive und langanhaltende Strahlung möglich.

### Blaulichtgefährdung (Blue Hazard)

Durch die intensive Bestrahlung mit „**blauem Licht**“ ist die Netzhaut gefährdet. Man unterscheidet dabei zwei Gefährdungen. Erstens die thermische Schädigung (Verbrennung der Netzhaut) und die photochemische Schädigung, auch Blaulichtgefährdung (Photoretinitis) genannt. Beide Gefährdungen sind wellenlängenabhängig. Sie treten bei bestimmten Wellenlängen sehr stark auf, bei anderen Wellenlängen weniger bis überhaupt nicht. Beide Gefahrenpotenziale entfalten ihre maximale Schädigungswirkung im blauen Wellenlängenbereich, die thermische Schädigung bei 435 bis 440 nm, die photochemische Schädigung bei 440 nm.

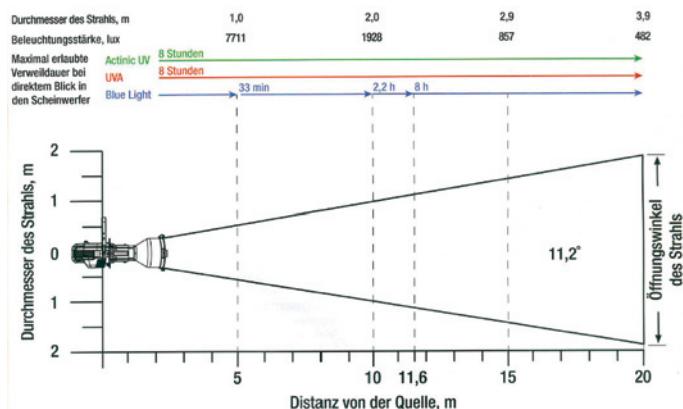
Bei der photochemischen Schädigung der Netzhaut kann schon eine mittlere bis intensive Strahlung von mehr als zehn Sekunden dauerhafte Schäden verursachen. Dies kann z.B. durch den Blick in eine ungeschützte (d.h. ohne Glasabschluss) Tageslichtleuchte (mit HMI-Lichtquelle) passieren, da diese Lichtquellen bis zu 25 % ihrer Lichtemission im UV-Bereich abstrahlen. Normalerweise ist die Lichtquelle durch einen Glasabschluss abgedeckt. Ist dieser Glasabschluss defekt (Risse) kann es zu Schädigungen der Netzhaut kommen.

Nach der DIN EN 62471 ist für eine Beleuchtung, ob von künstlichen Lichtquellen oder von der Sonne bzw. dem Himmelslicht kommend, ein Grenzwert von  $10 \cdot 10^6 \text{ J/sr m}^2$  festgelegt bis zu dem die Strahlung als unkritisch betrachtet werden kann.

Lang (2011) hat dies für verschiedene Beispiele berechnet: Das bedeutet, der Blick auf ein weißes Blatt Papier, beleuchtet mit 1000 lx aus einer Daylight Leuchtstofflampe 6500 K darf länger als 41 Tage dauern, bevor der Grenzwert erreicht wird. Bei einem Blick in eine klare

Glühlampe (2950 K) ist der Grenzwert bereits nach ca. 6 min, bei einer mattierten Glühlampe (2950 K) nach 150 min erreicht. Bei einem Blick in die ungeschützte Sonne (5500 K), direkter Blick, ist der Grenzwert bereits nach 0,7 s erreicht. Beim Blick in den blauen Himmel (25.000 K) ist der Grenzwert erst nach 30 h erreicht. Bei einer weißen Hochleistungs-LED ohne Optik (6000 K) nach 90 s. Diese Zahlenwerte sollen zeigen, wie weit man von einem Grenzwert entfernt ist.

Die Firma ETC hat vorbildlich für den ETC Source Four LED Daylight 10° die maximal erlaubte Verweildauer bei einem direkten Blick in den Scheinwerfer, siehe Bild 5.10, ausgeführt. Für diesen Typ gibt es bei einem normalen Arbeitstag (8 h) keine Gefährdung durch aktinische UV- oder UVA-Strahlung. Jedoch könnte es zu einer Blaulichtgefährdung kommen, wenn ein Schauspieler/Mitarbeiter z.B. in 5 m Entfernung länger als 33 min direkt in diesen Scheinwerfer schaut. Dann wäre die Expositionszeit für einen Tag erreicht. Bei einem Abstand ab 11,6 m wird die Dosis nicht mehr erreicht bzw. unterschritten.

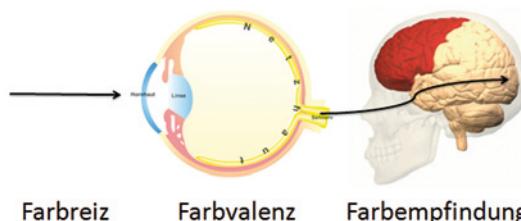


**Bild 5.10** Maximal erlaubte Verweildauer bei einem direkten Blick in den Scheinwerfer ETC Source Four LED Daylight 10°

# 6

# Farbmetrische Grundlagen

Neben der „**Hellempfindung**“ als subjektive Gesichtsempfindung hat das menschliche Auge die Fähigkeit, „Farben“ zu unterscheiden. Der Begriff Farbe ist dabei nicht gegenständlich gemeint im Sinne der Farbpalette eines Malers, sondern ausschließlich im Sinn der subjektiven Farbempfindung. D.h. Sehen ist das Resultat von physikalischen, physiologischen und psychologischen Prozessen.



**Bild 6.1** Zusammenwirken von Farbreiz, Farbvalenz und Farbempfindung

Da die Farbempfindung durch das Auge vermittelt wird, spricht man von einer Gesichtsempfindung. Sie ist, ebenso wie eine Geschmacks-, Geruchs- oder Schmerzempfindung, einer physikalischen Messung nicht unmittelbar zugänglich. Damit überhaupt eine Farbempfindung entstehen kann, muss Licht von einer Strahlungsquelle oder von einem Gegenstand ausgehen und ins Auge gelangen. Nur Strahlung im sichtbaren Spektralbereich von 380 nm bis 780 nm und ausreichender Leuchtdichte kann eine Farbempfindung hervorrufen (Zapfensehen).

## ■ 6.1 Farbmetrische Grundgrößen

Die Ursache einer Empfindung ist im Allgemeinen ein Reiz, der in dem betreffenden Sinnesorgan einen physiologischen Vorgang auslöst. Dieser wiederum führt zu einer Empfindung, also einem psychologischen Vorgang. Im Falle der Farbe ist der Reiz die Lichtstrahlung, die in das Auge fällt und eine Licht- oder Farbempfindung auslöst. Man nennt ihn deshalb Farbreiz oder auch Farbreizfunktion  $\phi(\lambda)$ .

### 6.1.1 Farbreizfunktion

Bei Primärstrahlern (Selbstleuchter) ist die Farbreizfunktion  $\phi(\lambda)$  identisch mit ihrer spektralen Verteilung  $S(\lambda)$ , d. h.  $\phi(\lambda) = S(\lambda)$ . Bei Sekundärstrahlern wird der Farbreiz bestimmt durch die Beleuchtung und die Oberflächeneigenschaften des Materials. Sekundärstrahler erzeugen selbst keine Strahlung (Körperfarben), sie werden nur sichtbar, wenn sie Strahlung anderer Lichtquellen reflektieren (Aufsichtsfarben, Oberflächenfarben) oder wenn sie von anderen Lichtquellen durchstrahlt werden (Durchsichtfarben).

### 6.1.2 Farbempfindung

Zur sprachlichen Kennzeichnung von Farben und vor allem zur Unterscheidung von Farbunterschieden wird die Farbempfindung mit qualitativen Begriffen wie Helligkeit, Bunnton (Farbton) oder Sättigung (Buntheit) beschrieben. Diese drei Farbmerkmale stellen nur intuitive Empfindungen dar, die eine Farbe lediglich qualitativ charakterisieren.

### 6.1.3 Farbvalenz

Unter einer Farbvalenz (Farbvektor) versteht man in der Farbenlehre eine dreidimensionale Größe, die durch drei Maßzahlen bzw. einen Ortsvektor im dreidimensionalen Raum charakterisiert werden kann. Dies kann sein RGB, XYZ, LCH,  $L^*a^*b^*$ ,  $L^*u^*v^*$  u.a., siehe nachfolgende Abschnitte.

1931 definierte die **CIE (Commission Internationale de l'Éclairage)** das sogenannte virtuelle Normvalenzsystem XYZ, das für die additive Farbmischung weltweit Bedeutung hat. Die Farbvalenz wird gekennzeichnet durch die drei virtuellen Normvalenzen **X, Y, Z** und die drei Normfarbwerte X, Y, Z.

---


$$\mathbf{F} = X \mathbf{X} + Y \mathbf{Y} + Z \mathbf{Z} \quad (6.1)$$

**F** = Farbvalenz bzw. Farbvektor

**X, Y, Z** = Normvalenzen

X, Y, Z = Normfarbwerte des CIE-Normvalenzsystems 1931

---

Diese Primärvalezen stellen gewissermaßen „Überfarben“ dar und können durch lineare Transformationen mit reellen Primärvalezenzen wie z.B. RGB verknüpft werden.

### 6.1.4 Unbunte Farbvalenzen

Die unbunten Farbvalenzen bestehen aus der „natürlichen Reihe“, vom hellsten Weiß über die verschiedenen Graustufen bis hin zur tiefsten, durch Simultankontrast hervorgerufenen Schwarzempfindung. Bei guten visuellen Voraussetzungen lassen sich etwa 50 Unbuntarten unterscheiden.

### 6.1.5 Bunte Farbvalenzen

Die bunten Farbvalenzen der Körperfarben (Oberflächenfarben der Objekte) lassen sich durch drei Größen charakterisieren (Helligkeit (Dunkelstufe), Farbton (Bunton), Sättigung (Buntheit)). Bei selbstleuchtenden Farbreizen (z.B. einer farbigen Lichtquelle) tritt anstelle der Dunkelstufe die Helligkeit.

### 6.1.6 Helligkeit

Die Helligkeit ist ein Maß für die Stärke der Lichtempfindung, wie sie mit jeder Farbempfindung unlösbar verbunden ist. Der Maßstab der Helligkeit wird durch diejenige Größe dargestellt, die eine Farbempfindung mit einer bestimmten Empfindung der Unbuntarten gleichsetzt. Oft wird das Merkmal Helligkeit auch als Dunkelstufe gekennzeichnet. Ausführliche Definition, siehe Kapitel 4 „Kontrast und Helligkeit“.

### 6.1.7 Farbton (Bunton)

Der Farbton kennzeichnet die Art der Buntheit einer Farbe, d.h. ob sie Blau, Grün, Gelb usw. aussieht. Der Farbton ist das am stärksten ausgeprägte Farbmerkmal. Die Farbtöne bilden ein „natürliches“ Kontinuum, das qualitativ z.B. als Farbenkreis dargestellt werden kann, der von Rot über Gelb, Grün, Blau und Purpur zurück nach Rot reicht. Der Farbton wird auch als Bunton definiert.

### 6.1.8 Sättigung (Buntheit)

Die Sättigung gibt den Grad der Buntheit an, d.h. ob die Farbe kräftig (satt) wirkt oder mehr oder weniger verweißlicht (verblasst) ist. Der Unterschied zwischen Buntheit und Sättigung liegt in der Definition. Die Buntheit ist die Kennzeichnung für den Grad der Farbigkeit unter Berücksichtigung der Helligkeit. Die Sättigung ist die Kennzeichnung für den Grad der Farbigkeit unabhängig von der Helligkeit. Soll die Sättigung konstant bleiben, so muss die Buntheit mit steigender Leuchtdichte zunehmen. Soll die Buntheit konstant bleiben, so ist dies eine Vertikale, die unabhängig von der Leuchtdichte ist.

### 6.1.9 Farbmischung

Alle Methoden der Farbdarstellung bei Lichtfarben und der Farbreproduktion bei Körperfarben beruhen auf die eine oder andere Art aus einer Farbmischung. Durch die Farbmischung ergibt sich die Möglichkeit, mit nur wenigen sogenannten Grundfarben eine große Anzahl von verschiedenen Farben zu ermischen. Als Farbmischung wird bezeichnet:

- additive Mischung von farbigen Lichtern
- subtraktive Mischung von Farbmitteln (Pigmenten, Farbstoffen) oder Filtern

Bei der additiven Mischung farbiger Bilder wirken die in der Mischung vorhandenen einzelnen Wellenlängen gleichzeitig auf das Auge ein.

Man nennt die Mischung von Pigmenten subtraktiv, weil deren Farbwirkung darauf beruht, dass dem in die Pigmentschichten bzw. -partikel eindringenden weißen Licht bestimmte Spektralanteile entzogen werden. Je mehr Pigmente gemischt werden, desto mehr Licht wird absorbiert und desto dunkler wirkt im Allgemeinen die Mischung.

Während sich die additive Mischung durch einfache Regeln beschreiben lässt, gilt dies nicht für die subtraktiven Mischungen. Deren Ergebnisse hängen nicht allein von der Farbe der gemischten Farbmittel, sondern auch von anderen Eigenschaften ab.

### **6.1.10 Niedrige und höhere Farbmetrik**

Die Farbmetrik (Lehre von den Maßbezeichnungen zwischen den Farben) beschreibt, unter welchen Umständen zwei Farbreize gleich aussehen, d.h. für das Auge ununterscheidbar sind. In der Farbmetrik versteht man die Farbe ausschließlich als Farbempfindung, also als Sinnesempfindung.

Man unterscheidet eine niedere und eine höhere Farbmetrik. Die niedere Farbmetrik oder Farbvalenzmetrik dient zur Bestimmung der Maßzahlen für die durch den physikalischen Reiz hervorgerufene Farbempfindung. Dabei wird die psychologische Seite der Farbwahrnehmung nicht mitberücksichtigt. In der höheren Farbmetrik, auch Farbempfindungsметrik genannt, werden Empfindungsunterschiede und Harmonien für Farben (Farbschwellen, Farbdifferenzen, Farbanordnungen und -systeme) untersucht und Beziehungen zu den physikalischen Reizen hergestellt.

## **■ 6.2 Historische Entwicklung der Farbmetrik**

Lange Zeit vor den wissenschaftlichen Untersuchungen des 18. Jahrhunderts gab es eine Vielzahl von Theorien und Erklärungen für das Zusammenspiel der Farben. Die Farben wurden damals vor allem emotional gesehen und mit Attributen aus der Gefühls- und Erlebniswelt belegt. Man versuchte dabei neben den Farben auch die Farbnuancen als solche anschaulich und vor allem symmetrisch, räumlich darzustellen und auch mythologisch zu definieren.

### **6.2.1 Farbkreis**

Die einfachste Form der Symmetrie war der sogenannte Farbkreis, der insbesondere von Goethe intensiv untersucht und beschrieben wurde. In diesem Farbkreis oder besser Bunttonkreis gehen die verschiedenen Bunttöne kontinuierlich ineinander über. Jede Stelle auf diesem Kreis entspricht einem bestimmten Bunnton (Farbton). Diese Reihe läuft in sich zurück (siehe Bild 6.2 im Farbteil auf Seite 154).

Es gibt jedoch andere Farben, die auf diesem Buntonkreis nicht vorkommen, z.B. Weiß und Schwarz. Die unbunten Farben werden deshalb oft als Gerade dargestellt (Unbuntgerade) mit den beiden Endpunkten Schwarz und Weiß, zwischen denen sich verschiedene Grauwerte ausbilden. Diese Reihe läuft nicht in sich zurück. Die Farbart aller dieser Farben ist jedoch gleich, nämlich unbunt.

### 6.2.2 Dreidimensionale Farbsysteme

Auf der Basis des Farbkreises von Goethe hat Runge ein dreidimensionales Farbmodell als Kugel entwickelt. Von Goethes Farbkreis, der den Äquator bildet, ausgehend, fügte Runge die beiden Pole „Weiß“ (oben) und „Schwarz“ (unten) hinzu. Philipp Otto Runge (1777–1810) war der erste Maler, bei dem die Farbtheorie einen hohen Stellenwert hatte. Seiner Theorie liegen gedachte Idealfarben zugrunde, die er mit verwandten, nicht so rein darstellbaren Materialfarben vergleicht.

Will man eine anschauliche Anordnung sowohl der bunten wie der unbunten Farben und Übergänge erreichen, so bleibt nur die Möglichkeit, eine dreidimensionale, räumliche Darstellung (dreidimensionaler Farbenraum) zu wählen.

In dem so aufgebauten Farbraum, z.B. dem Farbsystem nach Munsell, siehe Bild 6.3 im Farbteil auf Seite 154, nimmt die Helligkeit der dargestellten Farben von unten nach oben zu, die Buntheit nimmt nach außen zu und der Bunton wird durch einen Winkel in einer Ebene senkrecht zur Unbuntachse gekennzeichnet.

Wie in Kapitel 5 „Auge und Wahrnehmung“ erklärt, entwickelte der englische Physiker und Mediziner Thomas Young im Jahr 1807 die Dreifarbentheorie, die etwa 60 Jahre später durch den deutschen Physiker Hermann von Helmholtz entscheidend ergänzt wurde.

1853 formulierte Grassmann (1809–1877) drei Gesetze der additiven Mischung, die heute noch Gültigkeit haben:

- Für das Ergebnis einer additiven Farbmischung ist nur das Aussehen, nicht die spektrale Zusammensetzung der Komponenten maßgebend.
- Alle Farbmischungen verlaufen stetig.
- Zum Festlegen einer Farbe sind drei Bestimmungsstücke notwendig und hinreichend.

### 6.2.3 Farbordnungssysteme

Neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen der trichromatischen Theorie des Farbensehens von Young, Maxwell und Helmholtz sowie der Gegenfarbentheorie von Hering, wurde immer wieder versucht, Farbordnungen zu finden, in denen alle möglichen Körperfarben systematisch angeordnet werden können.

Neben den mehr physikalisch orientierten Farbsystemen gibt es eine große Anzahl von Farbmustersammlungen, die in der Praxis im Gebrauch sind. Die Grundlagenuntersuchungen wurden von Persönlichkeiten wie Munsell, Ostwald, Itten, Richter und Küppers durchgeführt.

Eine Farbordnung, die wissenschaftlichen Ansprüchen genügt, muss mehrere Eigenschaften besitzen:

- Die Farben liegen als Muster vor, wobei jedes Muster eine eigene Kennzeichnung hat.
  - Die Abweichung der Muster gleicher Kennzeichnung voneinander durch den Herstellungsprozess wird in sehr kleinen Toleranzen gehalten.
  - Die Muster sind farbmetrisch vermessen, sodass ihre Normfarbwerte bei spezifizierter Beleuchtung bekannt sind.
  - Die Muster liegen in einer systematischen und möglichst empfindungsgemäßen Ordnung vor.

Zu den Farbordnungen, die diese Bedingungen erfüllen, gehören in den USA das Munsell-Farbsystem, in Deutschland das DIN-Farbensystem bzw. das RAL-Design-Farbsystem und in Schweden das Natural Color System (NCS). Diese Systeme beruhen auf dem Bestreben, die Abstände jeder Farbe zu der benachbarten Farbe empfindungsgemäß gleich groß erscheinen zu lassen. Sowohl die Unterschiede der Farbe an sich als auch jene der Helligkeit und der Buntheit sollen als gleichartig empfunden werden.

## ■ 6.3 Farbräume

Große Bedeutung für die Wissenschaft erlangten die Definitionen verschiedener Farbräume, die von der internationalen Beleuchtungskommission CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) festgelegt wurden, wie z. B. XYZ, L\*a\*b\* und L\*u\*v\*.

- CIE-XYZ (1931)
  - CIE-Farbtafel x,y (1931)
  - CIE-Farbtafel u,v (1960)
  - CIE-Farbtafel u',v' (1960)
  - CIE-L<sup>\*</sup>u<sup>\*</sup>v<sup>\*</sup> (1976)
  - CIE-L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> (1976)

### 6.3.1 RGB-Farbraum

Als Basis für die Farbräume wird zuerst der RBG-Farbraum erklärt. Im dreidimensionalen Farbenraum (speziell bei der additiven Farbmischung) kann man mit den drei Primärvalenzen R, G, B einen Farbraum aufspannen. Die drei Primärvalenzen zeigen in diesem Farbraum in unterschiedliche Richtungen. Die aus ihnen ermischbaren Farbvalenzen bilden einen Körper, der durch sechs Parallelogramme begrenzt ist, ein sogenanntes Parallelepiped. Stellt man sich die Primärvalenzen R, G, B der Einfachheit halber als drei gleichlange Vektoren vor, die senkrecht aufeinander stehen, so bilden sie einen Würfel.

Die Spalten der drei Basisvektoren stellen die Farben Rot, Grün und Blau dar. Der Koordinatenursprung ist Schwarz. Im Inneren und auf den Seiten dieses Würfels liegen die End-

punkte aller Vektoren, die man aus den drei Primärvallenzen R, G, B durch innere Mischung erzeugen kann.

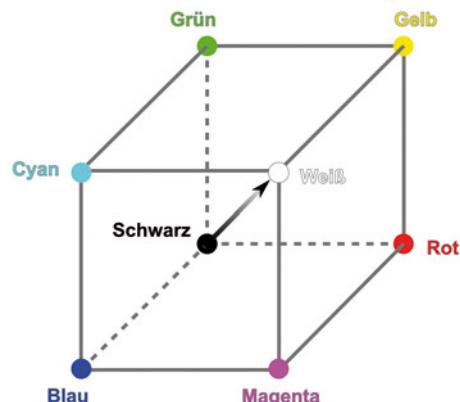


Bild 6.4 RGB-Würfel

### Primärvallenzenystem

Bedingung für ein Primärvallenzenystem ist, keine der drei Primärvallenzen R, G, B soll aus den beiden anderen ermischbar sein.

---


$$\mathbf{F} = \mathbf{R} \mathbf{R} + \mathbf{G} \mathbf{G} + \mathbf{B} \mathbf{B} \quad (6.2)$$

**F** = Farbvalenz bzw. Farbvektor

**R, G, B** = Primärvallenzen des Farbenraumes bzw. die Einheitsvektoren

R, G, B = Farbwerte der betrachteten Farbvalenz

---

### 6.3.2 CIE-XYZ-Farbraum

Versucht man aus drei Primärfarben eine beliebige Farbe zu ermischen, so wird man feststellen, dass man mit drei Farben alleine nicht alle Farben, die in der Natur vorhanden sind, ermischen kann. Diese Untersuchungen wurden Anfang des 20. Jahrhunderts mit Hilfe eines Photometerfeldes durchgeführt. Da die Farbflächen von  $2^\circ$  Gesichtsfeldgröße gemessen wurden, beschreibt man die Ergebnisse mit dem sogenannten farbmetrischen  $2^\circ$ -Normalbeobachter. 1964 wurde zusätzlich der  $10^\circ$ -Normalbeobachter eingeführt.

Die nachzumischenden Spektralvalenzen werden mit Hilfe eines Monochromators erzeugt. Als Primärvallenzen dienten spektrale Farbreize bei Rot, Grün und Blau. Versucht man den Farnton einer Wellenlänge bei  $\lambda = 500$  nm (Blaugrün) mit dieser Anordnung nachzumischen, so besteht keine Möglichkeit, aus der grünen, blauen und roten Spektralvalenz diesen Farnton nachzumischen. Im Gegenteil, um Gleichheit in dem zweigeteilten Fotometerfeld herzustellen, muss man die rote Primärvallenz der nachzumischenden Spektralvalenz zumischen und durch diese äußere Mischung eine Farbgleichung einstellen. Dies entspricht einem negativen Farbwert r (500).

Solange alle drei Farbwertanteile positiv bleiben, spricht man von der inneren Farbmischung. Sobald einer der drei Farbwertanteile negativ wird, spricht man von der äußeren Farbmischung.

Da ein Farbdreieck mit reellen Farben als Primärvalenzen nicht alle Farben in direkter Mischung enthält, hat man sich international auf ein System virtueller Primärvalenzen X, Y, Z geeinigt. Diese Primärvalenzen stellen gewissermaßen „Überfarben“ dar und sind durch lineare Transformationen mit den reellen Primärvalenzen verknüpft.

$$X = R_x * R + G_x * G + B_x * B \quad (6.3)$$

$$Y = R_y * R + G_y * G + B_y * B$$

$$Z = R_z * R + G_z * G + B_z * B$$

Bei der Wahl der Normvalenzen hat man einige Besonderheiten berücksichtigt:

- Alle Spektralwerte sollen positiv sein.
- Der Verlauf der Kurve der Spektralwertfunktion  $y(\lambda)$  soll identisch mit der  $V(\lambda)$ -Kurve sein.
- Der Unbuntpunkt (Weiß) soll bei  $x = y = 0.33$  liegen.

Die CIE 1931 legte für die drei standardisierten Primärfarben mit den Bezeichnungen X, Y und Z die Wellenlängen 700 nm (Rot), 546,1 nm (Grün) und 435,8 nm (Blauviolett) fest.

Bild 6.5 im Farbteil auf Seite 155 zeigt die drei zugehörigen Spektralwertkurven  $x_\lambda$ ,  $y_\lambda$  und  $z_\lambda$ . Mit diesen Grundfarben kann man mit ausschließlich positiven Gewichten alle sichtbaren Farben erzeugen. Die Grundfarbe Y wurde bewusst durch die Farbfunktion  $y_\lambda$  definiert, die genau der Funktion der spektralen Hellempfindlichkeit entspricht. Man beachte, dass  $x_\lambda$ ,  $y_\lambda$  und  $z_\lambda$  nicht die Spektralverteilungen der Farben X, Y und Z sind, eben so wenig wie die Kurven in der Abbildung keine Spektralverteilungen für Rot, Grün und Blau sind. Es handelt sich hier nur um Hilfsfunktionen, mit denen man berechnen kann, in welchen Anteilen man X, Y und Z mischen muss, um eine Spektralverteilung einer beliebigen sichtbaren Farbe zu erhalten.

Die Beträge der Primärfarben X, Y und Z, die nötig sind, um eine Farbe mit der relativen spektralen Energieverteilung  $S(\lambda)$  zu erzeugen, lauten:

$$X = k \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \varphi(\lambda) * x(\lambda) * d(\lambda) \quad (6.4)$$

$$Y = k \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \varphi(\lambda) * y(\lambda) * d(\lambda)$$

$$Z = k \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \varphi(\lambda) * z(\lambda) * d(\lambda)$$

X, Y, Z = die zu bestimmenden Normfarbwerte

$\varphi(\lambda)$  = Farbreizfunktion

$x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$  = Normspektralwertfunktion

k = eine zweckmäßig zu definierende Konstante

$\lambda_1, \lambda_2$  = Grenzen des sichtbaren Bereichs

Bei selbstleuchtenden Objekten, zum Beispiel einem Bildschirm, beträgt  $k = 680$  Lumen/Watt. Bei reflektierenden Objekten wählt man  $k$  gewöhnlich so, dass helles Weiß einen Y-Wert von 100 hat. Die anderen Y-Werte liegen dann im Bereich zwischen 0 und 100.

X, Y, Z sind die mit Hilfe der obigen Gleichung ermittelten Gewichte, die man zur Erzeugung einer Farbe F auf die CIE-Primärfarben anwenden kann. Zur Vereinfachung können auch die Normfarbwertanteile x, y, z verwendet werden.

---


$$x = X/(X+Y+Z) \quad (6.5)$$

$$y = Y/(X+Y+Z)$$

$$z = Z/(X+Y+Z)$$

$$x + y + z = 1$$

x, y, z = Normspektralfunktion

X,Y,Z = Normspektralfarbwert

---

Wenn man x und y spezifiziert, ist z durch  $z = 1 - x - y$  festgelegt. Man kann jedoch X, Y und Z nicht aus x und y rekonstruieren. Dazu benötigt man mehr Informationen, meist Y, das die Luminanzinformation enthält.

Wird x und y für alle sichtbaren Farben ausgedruckt, so erhält man das CIE-Farbdigramm, auch Farbtafel genannt, siehe Bild 6.6 links im Farbteil auf Seite 155. Es ist eine Projektion der Ebene  $X + Y + Z = 1$  auf die (X, Y)-Ebene.

### 6.3.3 Farbtafel

Das Innere und der Rand des hufeisenförmigen Bereichs stellen alle sichtbaren Farbwerte dar. Alle wahrnehmbaren Farben der gleichen Farbe, aber unterschiedlicher Luminanz werden auf demselben Punkt innerhalb dieses Bereichs abgebildet. Die zu 100 Prozent reinen Farben des Spektrums liegen auf dem gekrümmten Teil des Randes. Siehe auch Bild 6.6 links im Farbteil auf Seite 149.

### Color Gamut

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit des CIE-Farbdigramms ist die Definition einer Farbpalette (color gamut), die die Ergebnisse der Addition von Farben zeigt. Die Form des Diagramms erklärt, weshalb man durch Mischung der sichtbaren Farben Rot, Grün und Blau nicht alle Farben erzeugen kann. Siehe auch Bild 6.6 rechts im Farbteil auf Seite 149.

### 6.3.4 CIE-UCS-Farbtafel

Die trichromatischen Farbmaßzahlen (X, Y, Z) sind nicht zur empfindungsgemäßen Bewertung von Farben geeignet. Sie sind unanschaulich und sagen wenig über das farbige Aussehen eines Körpers oder einer Lichtquelle aus. Das hat folgende Ursachen:

- Sie beruhen lediglich auf Gesetzmäßigkeiten der additiven Farbmischung.
- Sie nehmen keinen Bezug auf die Physiologie des Farbensehens.
- Sie beruhen auf einem affinen Raum, in dem kein Abstandsbezug existiert.

Die trichromatischen Farbmaßzahlen sind lediglich in der Lage, Farbreize eindeutig zu kennzeichnen.

Zur Kennzeichnung der Wirkung von Farben sind möglichst anschauliche und farbpsychologisch relevante Farbmaßzahlen geeignet wie z.B. Helligkeit, Bunton, Sättigung oder Buntheit. (HSV-System, DIN-System, Munsell-System, NCS-System, RAL-Design-System).

Die Basis einer empfindungsgemäßen Farbabstandsbewertung ist die Messung von Farbunterschiedsschwellen. Unterscheiden sich zwei vorgegebene Farben, dann spricht man von einem gerade wahrnehmbaren Farbunterschied bzw. einer Farbabstandsschwelle.

MacAdam konnte in seinen Experimenten 1940 zu Farbabstandsschwellen nachweisen, dass die Farbtafel der CIE 1931 den Nachteil besitzt, dass die Abstände nicht empfindungsgemäß sind. Dies ist auch anhand der unsymmetrischen MacAdam-Ellipsen sichtbar. In der Normfarbtafel liegen die Farborste für den Schwellenabstand auf Ellipsen, deren Radien und Richtungen vom Farbort der Normfarbtafel abhängen (siehe Bild 6.7 im Farbteil auf Seite 155).

Dieses Ergebnis zeigt die empfindungsgemäße Inhomogenität der Normfarbtafel. Einen Kompromiss stellt die von der CIE 1960 und 1976 vorgeschlagene sogenannte CIE-UCS-Farbtafel dar (UCS = uniform chromity scale). Sie hat die rechtwinkligen Koordinaten  $u'$  und  $v'$  bzw.  $u'$  und  $v'$ , die sich folgendermaßen aus den Normfarbwertanteilen errechnen lassen.

---

CIE-UCS-Farbtafel 1976 ( $u'v'$ -Farbtafel) (6.6)

$$u' = 4x/(-2x + 12y + 3)$$

$$v' = 9y/(-2x + 12y + 3)$$

$u', v'$  = rechtwinklige Koordinaten

$x, y$  = rechtwinklige Koordinaten

---

Diese Farbtafel sollte immer dann benutzt werden, wenn man die Farbarten empfindungsgemäß darstellen will.

### 6.3.5 CIE- $L^*u^*v^*$

In einer empfindungsgemäßen Farbtafel lassen sich nur Unterschiede gleich heller Farben beurteilen. Um die Unterschiede beliebiger Farben beurteilen zu können, ist eine gleichabständige Darstellung des Farbraums erforderlich.

Sie lässt sich gewinnen durch eine Verknüpfung der gleichabständigen Helligkeitsskala mit der empfindungsgemäßen Farbtafel. Ein solcher Farbenraum mit den drei Koordinaten  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$  wurde 1976 von der CIE als CIE-LUV-System 1976 empfohlen. Seine Koordinaten berechnen sich folgendermaßen aus den Normalfarbwerten:

---


$$L^* = 116 * (Y/Y_w)^{0.33} - 16 \text{ für } 0,008856 \leq Y/Y_w \leq 1 \quad (6.7)$$

$$L^* = 903,29 * (Y/Y_w)^{0.33} - 16 \text{ für } 0 \leq Y/Y_w \leq 0,008856$$

$$u^* = 13 * L^* * (u' - u'_w)$$

$$v^* = 13 * L^* * (v' - v'_w)$$

---

$L^*$	=	psychometrische Helligkeitsfunktion
$Y$	=	Leuchtdichte des Objekts
$Y_w$	=	Leuchtdichte der Bezugslichtquelle
$u^*, v^*$	=	Farbwerte
$u', v'$	=	Farbwerte des $u' v'$ -Farbsystems
$u'_w, v'_w$	=	Farbart von Weiß bzw. Unbunt

---

$L^*$  ist die psychometrische Helligkeitsfunktion. Die beiden Größen  $u'_w$  und  $v'_w$  geben die Farbart von Weiß bzw. Unbunt an, also im Falle von Körperfarben die Farbart der Beleuchtungsart (z. B. D65).

Die Achse  $u^*$  verläuft in Richtung Grün-Rot, die Achse  $v^*$  in Richtung Blau-Gelb. Aus den beiden Koordinaten  $u^*$  und  $v^*$  lässt sich qualitativ der Bunnton ableiten. Für die unbunten Farben werden die beiden Koordinaten  $u^*$  und  $v^*$  null (siehe Bild 6.8 im Farbteil auf Seite 156).

Es ist wichtig, sich klarzumachen, dass das CIE-LUV-System kein Primärvalenzsystem ist und dass  $L^*$ ,  $u^*$  und  $v^*$  Farbkoordinaten und keine Farbwerte darstellen. Zwar liegen Farben gleicher Farbart auch im CIE-LUV-Farbraum auf einer Geraden durch den Koordinatenursprung, verschiedene additive Mischungen zweier Farben liegen aber im CIE-LUV-Farbraum im Allgemeinen nicht auf einer Geraden.

### 6.3.6 CIE- $L^* a^* b^*$

Weil die empfindungsgemäße Gleichabständigkeit des CIE-LUV-Systems keineswegs vollkommen ist, hat die Internationale Beleuchtungskommission 1976 noch ein zweites Farbkoordinatensystem als näherungsweise gleichabständig empfohlen, mit den Koordinaten  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$ :

---


$$\begin{aligned} L^* &= 116 * \left( \frac{Y}{Y_w} \right)^{1/3} - 16 & (6.8) \\ a^* &= 500 * \left[ \left( \frac{X}{X_w} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_w} \right)^{1/3} \right] \\ b^* &= 200 * \left[ \left( \frac{Y}{Y_w} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_w} \right)^{1/3} \right] \end{aligned}$$

---

$L^*$	=	psychometrische Helligkeitsfunktion
$a^*, b^*$	=	Farbwerte
$X, Y, Z$	=	Normfarbwerte
$X_w, Y_w, Z_w$	=	Normfarbwerte der unbunten Bezugsfarbe

---

Die Größen  $X_w$ ,  $Y_w$ ,  $Z_w$  bezeichnen hier die Normfarbwerte der unbunten Bezugsfarbe, im Falle der Körperfarbe Weiß. Die Helligkeitsfunktion ist im CIE-LAB-System 1976 identisch mit der des CIE-LUV-Systems. Die beiden Achsen  $a^*$  und  $b^*$  sind ebenfalls Rot-Grün- bzw. Blau-Gelb-Buntheitachsen.

Für unbunte Farben sind die Koordinaten  $a^*$  und  $b^*$  jeweils null. Im Gegensatz zu dem CIE-LUV-System besitzt das CIE-LAB-System keine Farbtafel, da sich aus den Koordinaten  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  wegen des Exponenten 1/3 keine leuchtdichteunabhängigen Quotienten bilden lassen.

### 6.3.7 Farbabstandsformeln

In einem Farbraum, in dem die Anordnung der Farben empfindungsgemäß gleichabständig ist, sind die geometrischen Abstände direkt proportional zu den empfindungsgemäßen Farbabständen. Der Farbabstand im CIE-LUV-Farbraum ist gegeben durch:

$$\Delta E^*_{uv} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2} \quad (6.9)$$

$\Delta E^*_{uv}$  = Farbabstand

$L^*$  = psychometrische Helligkeitsfunktion

$u^*, v^*$  = Farbwerte

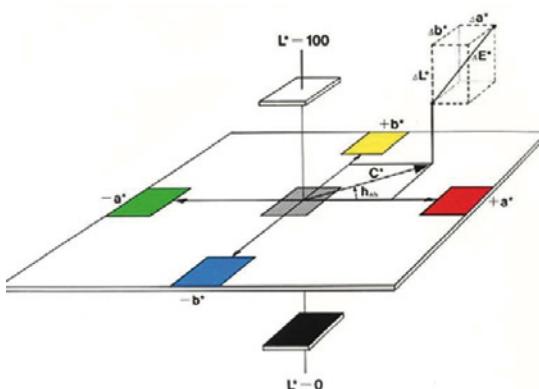
Entsprechend kann man eine Farbabstandsformel für das CIE-LAB-System angeben:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6.10)$$

$\Delta E^*_{ab}$  = Farbabstand

$L^*$  = psychometrische Helligkeitsfunktion

$a^*, b^*$  = Farbwerte



**Bild 6.9** Farbabstands differenz  $\Delta E^*_{ab}$

Während das CIE-LUV-Koordinatensystem heute vorwiegend für die Farben von Selbstleuchtern angewendet wird (z.B. in der Farbfernsehtechnik), wird das CIE-LAB-System in den Anwendungsbereichen bevorzugt, wo es um Körperfarben geht.

### Farbdifferenzschwellen

Ein gerade noch wahrnehmbarer Farbunterschied zwischen zwei Farbproben liegt in der Größenordnung von  $\Delta E = 1$ . Ein  $\Delta E = 3$  ist z.B. deutlich sichtbar.

**Tabelle 6.1** Farbdifferenzschwellen  $\Delta E$ 

Farbdifferenzschwelle $\Delta E$	Wahrnehmung
$\Delta E$ bis 0,2	nicht wahrnehmbar
$\Delta E$ 0,2–0,5	sehr gering
$\Delta E$ 0,5–1,5	gering
$\Delta E$ 1,5–3	deutlich
$\Delta E$ 3–6	sehr deutlich
$\Delta E$ 6–12	stark
$\Delta E > 12$	sehr stark

## ■ 6.4 Additive und subtraktive Farbmischung

Eine additive Farbmischung entsteht, wenn auf dieselbe Netzhautstelle Licht verschiedener Wellenlänge fällt. Man spricht von einer subtraktiven Farbmischung, wenn z. B. Licht durch verschiedene Farbfilter fällt und dabei Anteile des Lichts absorbiert werden.

### 6.4.1 Additive Farbmischung

Werden alle drei additiven Grundfarben zusammen ausgestrahlt, so entsteht weißes Licht. Bild 6.10 links (siehe Farbteil Seite 156) zeigt das Übereinanderprojizieren von drei getrennten Lichtquellen. Dementsprechend werden Bildschirmfarben mit Hilfe von drei nebeneinanderliegenden Farbphosphoren bzw. LEDs umgesetzt. Bei genügendem Beobachtungsabstand nimmt das Auge dann eine einheitliche Mischfarbe wahr (Prinzip der örtlichen Summation).

Bei der additiven Farbmischung werden die emittierten Strahlungsleistungen bei jeder Wellenlänge addiert. Bei drei Mischungskomponenten z. B. gilt:

$$\Phi_{e\lambda}(\lambda) = \Phi_{e\lambda,1}(\lambda) + \Phi_{e\lambda,2}(\lambda) + \Phi_{e\lambda,3}(\lambda) \quad (6.11)$$

$$\Phi_{e\lambda}(\lambda) = \text{spektrale Strahlungsleistung}$$

wobei  $\Phi_{e\lambda}(\lambda)$  die spektrale Strahlungsleistung der Mischstrahlung und  $\Phi_{e\lambda,i}(\lambda)$  ( $i = 1, 2, 3$ ) die drei Komponenten bei der Wellenlänge  $\lambda$  bedeuten.

Zu einer additiven Farbmischung kommt es dann, wenn die Mischungskomponenten örtlich oder zeitlich dicht aufeinander folgen, sodass sie vom Auge nicht mehr aufgelöst werden können. Die absorbierten Strahlungsleistungen der Mischungskomponenten werden vom Rezeptor addiert. D.h., wenn man einer Netzhautstelle nicht gleichzeitig, sondern in raschem periodischen Wechsel die verschiedenen Strahlungen zuführt, z. B. mit einer Frequenz von mindestens 25 Hz, so liefert uns das Auge einen konstanten, einheitlichen Farbeindruck, eben wieder die Mischfarbe.

Es gibt noch eine dritte Möglichkeit der additiven Farbmischung, deren Bedeutung vor allem auf dem Gebiet der technischen Farbreproduktion liegt: Bietet man dem Auge verschieden nebeneinander liegende Farbpunkte an, die so klein sind und so eng benachbart liegen, dass das Auge sie nicht mehr aufzulösen vermag, dann entsteht der Eindruck einer gleichmäßig gefärbten Fläche, deren Farbe die additive Mischfarbe der nicht mehr aufgelösten Flächenelemente ist (Farbbildschirm, Drucktechnik).

#### 6.4.2 Subtraktive Farbmischung

Subtraktiv nennt man die Mischung von Pigmenten, weil deren Farbwirkung darauf beruht, dass dem in die Pigmentschichten bzw. -partikeln eindringenden weißen Licht bestimmte Spektralanteile entzogen werden. Je mehr Pigmente gemischt werden, desto mehr Licht wird absorbiert und desto dunkler wirkt im Allgemeinen die Mischung.

Während sich die additive Mischung durch einfache Regeln beschreiben lässt, gilt dies nicht für die subtraktive Mischung. Die einfachste Darstellung einer subtraktiven Farbmischung ist das Hintereinanderschalten mehrerer Farbfilter. Es gilt dann für den Gesamttransmissionsgrad,

$$\tau(\lambda) = \tau_1(\lambda) * \tau_2(\lambda) * \tau_3(\lambda) \quad (6.12)$$

$\tau(\lambda)$  = Transmissionsgrad

wenn  $\tau_1(\lambda)$  bis  $\tau_n(\lambda)$  die Transmissionsgrade der Einzelfilter darstellen.



Fällt weißes Licht durch einen breitbandigen Gelbfilter und danach durch einen breitbandigen Magenta-Filter, so ergibt sich die subtraktive Mischfarbe Rot, da nur dieser Größenbereich des Spektrums durch beide Filter durchgelassen wird.

## ■ 6.5 Farbwiedergabe $R_a$

Die Lichtfarbe einer Lampe sagt nur etwas über das farbliche Aussehen der Lampe aus, nicht aber über die Farbwiedergabeeigenschaften der Lichtquelle. Dazu wird eine separate Kennzeichnung verwendet, Farbwiedergabe  $R_a$  bzw. CRI (color rendering index).

Die Farbwiedergabe kennzeichnet dabei das Maß der Übereinstimmung der Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter einer definierten Bezugslichtquelle. Als Bezugslichtquelle werden vor allem zwei Normlichtarten verwendet. Dies ist zum einen die Lichtfarbe der Glühlampe, Normlichtart A mit 2855,4 K und das D65 (Daylight mit 6504 K). Dazu gibt es vonseiten der CIE und der DIN vierzehn definierte Farbmuster, die in einem Abmusterungskasten bewertet werden.

Die Messung wird mit Hilfe eines Abmusterungskasten durchgeführt, bei dem eine Seite des Kastens mit einer Lichtquelle der Normlichtart bestückt ist, während die andere Seite die zu untersuchende Lichtquelle beinhaltet. Bei der Farbwiedergabe  $R_a$  werden die ersten

8 Testfarben, siehe Bild 6.11 im Farbbogen auf Seite 156, bemustert und bewertet, bei  $R_i$  alle 14 Testfarben. Dabei sind gewisse Abweichungen in den Farben erlaubt (MacAdam-Ellipsen), siehe die unten aufgeführte Formel.

Zur Berechnung des Farbabstandes wird der Farbwiedergabeindex  $R_i$  verwendet. Er berechnet sich aus dem Farbabstand  $\Delta E_i$  nach

$$R_i = 100 - 4,6 * \Delta E_i \quad (6.13)$$

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

$R_i$  = spezieller Farbwiedergabeindex ( $i = 1$  bis 14)

$R_a$  = allgemeiner Farbwiedergabeindex ( $i = 1$  bis 8)

Ein  $R_a$ -Wert von 100 bedeutet, dass unter den oben ausgeführten definierten Umständen mit einer Referenzlichtquelle acht ausgewählte Farbstreifen zu 100 % wiedergegeben werden. Möglich ist jedoch eine Toleranz von max. 4,6 %. Ein  $R_a$ -Wert von 80, den die meisten Leuchtstofflampen besitzen, bedeutet, dass nur 80 % der definierten Farben korrekt wiedergegeben werden.

**Tabelle 6.2** Farbwiedergabestufen

Farbwiedergabe-Einteilung	Farbwiedergabe Ra
1a	100–90
1b	89–80
2	79–70
3	69–40
4	39–0

Diese lichttechnische Größe „Farbwiedergabe“ muss in der Zwischenzeit auf den meisten Verpackungen von Leuchtmitteln angegeben werden.

## ■ 6.6 Farbfolien, Farbgläser und Konvertierungsfolien

Eines der wichtigsten Instrumente der Lichtgestaltung im Theater, Konzert oder auch Showbereich ist der Einsatz von Farben bzw. Farbfiltern. Kein anderes Medium bietet dem Lichtdesigner ein so hohes Maß an Möglichkeiten, wenn es darum geht, die Atmosphäre und die Emotionen einer Szene durch farbiges Licht zum Ausdruck zu bringen. Um die Farbe bzw. die Farbtemperatur einer Lichtquelle ändern zu können, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

- Farbfolien
- Farbgläser und dichroitische Filter
- Konversionsfolien, Neutralfilter und Korrekturfilter

### **6.6.1 Farbfolien**

Farbfolien im Entertainmentbereich dienen vor allem dazu, Lichtstimmungen umzusetzen und den visuellen Ausdruck einer Produktion zu steigern. Dazu gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Filterfarben. In Europa sind die Farbfolien der Firma LEE und ROSCO sehr weit verbreitet. Das Sortiment beider Firmen umfasst eine Auswahl von ca. 200 verschiedenen Farbabstufungen.

#### **Aufbau einer Farbfolie**

Filter bzw. Farbfilter (gels) bestehen aus einem Trägermedium, auf das entweder Farbpigmente aufgebracht oder in das Farbpigment eingelassen sind. Der Farbfilter lässt aufgrund der auf oder in dem klaren Trägermaterial eingebrachten organischen Farbpigmente bestimmte spektrale Anteile (Wellenlängen) aus der Lichtstrahlung durch, ein Teil wird reflektiert, der Rest wird absorbiert. Besonders hochwertige Filter setzen dabei auf die Verwendung von Polycarbonat. Polycarbonat ist extrem hitzebeständig, selbstverlöschend und verändert seine Form erst zwischen 149°C bis 163°C (Dauertemperatur 160°C, Spitzentemperatur 225°C).

#### **Farbfolien-Bezeichnungen verschiedener Hersteller**

Von den Herstellern gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten und Anwendungsbereichen, z. B. vom Entertainmentbereich bis hin zum Filmbereich und der Fotografie. Alle Firmen versehen ihre Filter dabei mit Nummern und teilweise mit klangvollen Namen. Dementsprechend gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Farbfolien-Systemen, von denen hier nur einige beispielhaft aufgelistet werden.

- Rosco Supergel: Die Rosco-Supergel-Filter bestehen aus Polycarbonat, sind durchgefärbt und mit Lagen geschlossen (co-extrudiert). Supergel ist selbstverlöschend und entspricht den B1-Anforderungen nach DIN 4102.
- Rosco E-Color: Das Rosco-E-Color-Filtersystem („European Colour System“) ist ein speziell für Europa entwickeltes Farbfiltersystem für den Film- und Videobereich.



**Bild 6.12** Auswahl an Rosco-Supergel-Farbfolien

- Lee/HT: Lee-HT-Filter bestehen aus extrem hitzebeständigem Polymerkunststoff. Der Schmelzpunkt liegt bei 220°C und das Trägermaterial ist beidseitig oberflächenbeschichtet.
- Lee-Filter: Das Trägermaterial von Lee-Filtern besteht aus Polyester und ist beidseitig oberflächenbeschichtet.
- GamColor: Das Trägermaterial der GamColor-Filter ist Polyester, die Farbpigmente sind eindiffundiert.

## 6.6.2 Farbgläser

Wird eine große Hitzetoleranz und mechanische Beständigkeit gefordert, dann setzt man gerne Farbgläser ein. Ein Metallrahmen schützt den 2 bis 3 mm starken und 25 mm breiten Farbglasstreifen vor Bruch. Die gerahmten Glasfilter können so vor einen Scheinwerfer montiert werden. Der Vorteil besteht in seiner Farbstabilität bei sehr hoher Wärmebelastung über die gesamte Lebensdauer.

### Dichroitische Farbfilter

Dichroitische Farbfilter bestehen aus hitzebeständigen Borosilikatgläsern, auf die verschiedene Schichten von Oxyden aufgedampft sind, die nur für bestimmte Wellenlängen des Lichtes durchlässig sind. Dabei werden, im Gegensatz zu Farbfolien, die nicht gewünschten Farbanteile des Lichts nicht absorbiert, sondern als Restlicht vom Filter reflektiert. Jeder dichroitische Filter unterteilt das Licht der Lampe somit in einen durchgelassenen (transmittierten) und einen reflektierten Teil (siehe Bild 6.13 im Farbteil auf Seite 157).

Die dichroitischen Filter können entweder in einem sogenannten Filterrad zum Einsatz kommen oder es können bewegliche, d. h. geneigte oder auch parallel verschiebbare Filter eingesetzt werden. Legendär ist die Anwendung von dichroitischen Filtern bei dem Moving Light der Firma VariLite Typ VL5. Die dichroitischen Filter wurden rotationssymmetrisch wie Turbinenschaufeln in die optische Achse positioniert. Insgesamt sind davon drei Reihen hintereinander angeordnet mit jeweils 12 dichroitischen Filtern. Durch die Winkelbewegung der Filter können somit im Strahlengang der Lichtquelle sehr schnell Farben ermischt werden.

Andere Hersteller ermöglichen die fließende Farbänderung dadurch, dass sie Verlaufsfilter als Filterplatten von der Seite bzw. von oben in den Lichtstrahl bewegen.

## 6.6.3 Konversionsfolien, Neutralfilter und Korrekturfilter

Konversionsfolien ermöglichen, dass das Licht eines Glühlampenscheinwerfers auf das Licht bzw. korrekter auf die Farbtemperatur eines Tageslichtscheinwerfers angepasst werden kann, indem bestimmte Farbanteile des Lichts herausgefiltert werden.

Ein Neutralfilter reduziert in mehreren Abstufungen die „Helligkeit“ des Lichts und findet dort Anwendung, wo der Buntwert der Farbscheibe etwas abgedunkelt werden soll. Die Neutralfilter (ND = Neutral Density) bewirken eine farbneutrale Verringerung der Helligkeit einer Lichtquelle und sind in logarithmischen Abstufungen als ND 0.15, ND 0.3, ND 0.6,

ND 0.9, ND 1.2 zu erwerben. Z. B. verringert die Neutralfolie ND 0.3 die Durchlässigkeit eines Materials von 100 % auf 50 %.

Korrekturfolien ermöglichen, dass z. B. durch Einsatz entsprechender Folien der Grünanteil von Leuchtstofflampen, insbesondere bei Filmprojekten, verringert wird.

#### 6.6.4 MIRED

Neben dem Begriff der Farbtemperatur wird im Filmbereich und in der Fotografie auch sehr oft der Begriff Mired (micro reciprocal degree) verwendet. Der Mired-Wert entspricht dem reziproken Wert der Farbtemperatur multipliziert mit 1.000.000.

$$1000000/\text{Kelvin} = \text{Mired-Wert}$$

(6.14)



Eine Halogenglühlampe mit der Farbtemperatur 3200 K besitzt einen Mired-Wert von 312.

#### 6.6.5 Mired Shift Value

Um die Farbtemperatur eines Scheinwerfers oder das Umgebungslicht in seiner Farbe zu verändern und dem eingesetzten Filmtyp anzupassen (oder absichtlich die Farbtemperatur zu verändern), muss berechnet werden, welcher Filter vor die Kamera oder welche Folie vor den Scheinwerfer gesetzt werden soll. Dazu benutzt man den Mired Shift Value (MV).

$$\text{MV (Mired-Wert Filter)} = (1 / T_2 - 1 / T_1) * 10^6 \quad (6.15)$$

- |    |   |
|----|---|
| T1 | = Farbtemperatur der Originallichtquelle bzw. des ausgewählten Filmes |
| T2 | = Farbtemperatur der gewünschten Lichtquelle                          |

Ist der Mired-Wert positiv, so benötigt man eine(n) Konvertierungsfolie/-filter, die/der rötlich/gelblich ist (CTO: conversion to orange). Ist der Mired-Wert negativ, so benötigt man eine(n) Konvertierungsfolie/-filter, die/der bläulich ist (CTB: conversion to blue).



Full CTO	= 159 mrd
¾ CTO	= 124 mrd
½ CTO	= 109 mrd
¼ CTB	= 64 mrd
Full CTB	= -137 mrd
¾ CTB	= -112 mrd
½ CTB	= -78 mrd
¼ CTB	= -35 mrd

## ■ 6.7 Übungsbeispiele

1. Am Set soll ein Kunstlichtfilm eingesetzt werden (Sensibilisierung auf 3200 K). Es stehen jedoch nur Scheinwerfer mit Hochdruckentladungslampen (HMIs) zur Verfügung, die ein bläuliches Licht erzeugen bzw. eine Farbtemperatur von 5600 K besitzen. Welche Konvertierungsfolie ist notwendig, um die Farbtemperatur des Scheinwerfers an das Filmmaterial anzupassen?
2. Gegeben ist eine Farbe mit dem Wert  $L^* = 90$ ,  $u^* = 19,54$  und  $v^* = 106,82$ . Eine zweite Farbe besitzt die Werte  $L^* = 92,35$ ,  $u^* = 23,53$  und  $v^* = 101,69$ . Wie groß ist der Farbunterschied  $\Delta E$ ? Ist dieser Farbunterschied sichtbar?

# 7

## Licht- und Farbmesstechnik

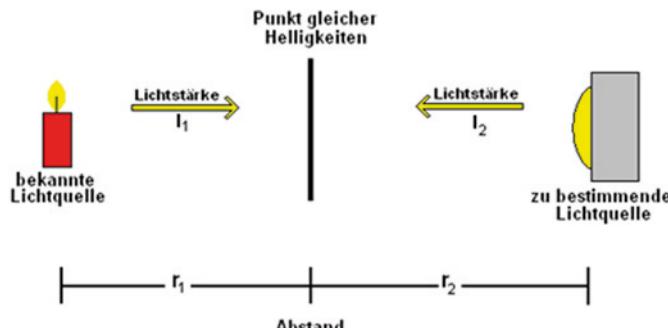
Das lichttechnische Maßsystem beruht auf der Bewertung von spektralen Strahlungen. Die Basis ist die relative spektrale Hellemfindlichkeit des photometrischen Normalbeobachters nach CIE 1931.

Da das Auge jedoch bzgl. der Abschätzung von Helligkeiten, Farbtönen, Buntheit (Grad der Sättigung) in absoluten Bereichen relativ schlecht ist, müssen entweder physikalische Messgeräte verwendet werden oder sogenannte visuelle Abgleichmethoden, bei denen das Auge Helligkeitsunterschiede und Farbunterschiede (Kontraste) relativ gut beurteilen kann. Verwendet wird dabei ein geeichtetes Muster, das mit dem Testmuster verglichen wird.

Aus diesem Grund unterscheidet man drei Bereiche in der Photometrie. Ist der Empfänger der physikalischen Strahlung das Auge des Beobachters, so spricht man von visueller Photometrie. Ist der Empfänger ein lichtempfindliches, physikalisches Gerät, so spricht man von physikalischer Photometrie. Sollen nicht nur einzelne lichttechnische Messgrößen, sondern auch die spektrale Verteilung der Strahlung gemessen werden, so spricht man von spektraler Photometrie.

### ■ 7.1 Visuelle Photometrie

Bei der visuellen Photometrie ist das Auge des Beobachters das Messgerät. Dabei wird die unbekannte photometrische Größe, z.B. die Lichtstärke der unbekannten Lichtquelle, siehe Bild 7.1 rechts, durch einen Vergleich mit einer bekannten Größe gemessen. In einem entsprechenden Gerät, einem visuellen Photometer, wird mittels eines Verfahrens zur messbaren Schwächung des Lichts, der Schwächungsmethode, ein Abgleich zwischen dem unbekannten, zu messenden Licht und dem Vergleichslicht dadurch herbeigeführt, dass die beleuchtete Fläche, in diesem Fall das Photometerfeld in der Mitte, von beiden Seiten aus gesehen gleich hell erscheint, siehe Bild 7.1. Aus den Abständen,  $r_1$  und  $r_2$ , kann dann über das **photometrische Entfernungsgebot**, siehe Kapitel 3 „Lichttechnische Grundlagen“, die Lichtstärke der zu bestimmenden Lichtquelle errechnet werden.



**Bild 7.1** Abgleichverfahren

## ■ 7.2 Physikalische Photometrie

Ist der Empfänger ein lichtempfindliches physikalisches Gerät, so spricht man von physikalischer Photometrie. In diesem Fall kann in der Regel die zu messende Größe absolut angezeigt werden. Wichtig ist bei allen Messgeräten die Anpassung des physikalischen Empfängers an die  $V(\lambda)$ -Kurve oder falls erforderlich an die  $V(\lambda)'$ -Kurve. Das Gleiche gilt für das mesopische oder aktinische Messverfahren. Daneben sind die auch sonst in der Messtechnik bekannten Anforderungen an Empfänger und Messgerät zu stellen. Von der Vielzahl der Messgeräte sollen nur einige grundlegende Messgeräte in diesem Abschnitt vorgestellt werden.

### 7.2.1 Beleuchtungsstärkemesser

Beleuchtungsstärkemesser, auch Luxmeter genannt, gibt es in sehr vielen Variationen. Der Unterschied liegt darin, wie umfangreich der Messbereich ist. Entscheidend für eine gute Qualität ist die Angabe, wie genau niedrige Beleuchtungsstärken gemessen werden können. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die Messung von reinen Temperaturstrahlern (kontinuierliches Spektrum), von Leuchtstofflampen oder HMI-Lichtquellen (Linienspektren) und insbesondere von LED-Lichtquellen. Nicht alle Messgeräte können Linienspektren messen.

Ein weiteres wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist der Genauigkeitsbereich (nach DIN 5032-7). Entsprechend gibt es verschiedene Klasseneinteilungen (L, A, B, C). Labormessgeräte (Gütekasse L) sind teure Geräte und müssen einmal im Jahr kalibriert werden.

Bezüglich der  $V(\lambda)$ -Anpassung ( $f_l$ -Fehler) gilt:

- Klasse L:  $f_l$ -Fehler < 1,5 % (Labormessungen)
- Klasse A:  $f_l$ -Fehler < 3 % (Präzisionsmessungen)
- Klasse B:  $f_l$ -Fehler < 6 % (Betriebsmessungen)
- Klasse C:  $f_l$ -Fehler < 9 % (orientierende Messungen)

Die klassischen Luxmeter zur Messung von Temperaturstrahlern lassen sich relativ einfach mit Hilfe von Halbleiter-Photoelementen auf Siliziumbasis realisieren. Vereinfacht dargestellt bedeutet dies: Der Beleuchtungsstärkemesser misst das auf das Photoelement auffallende Licht, bzw. den einfallenden Lichtstrom. Danach wird das einfallende Licht nach der  $V(\lambda)$ -Kurve gefiltert und das Ganze auf die Fläche A des Photoelements bezogen.



**Bild 7.2** Verschiedene Beleuchtungsstärkemessgeräte: links: Sekonic, rechts: T-10 A Firma Konica Minolta

Wird die relative spektrale Empfindlichkeit des Photoelementes mittels passender Filter an die relative Augenempfindlichkeit  $V(\lambda)$  angepasst, erhält man ein Messgerät für den auf das Photoelement auftreffenden Lichtstrom  $\Phi$  und da die Empfängerfläche konstant ist letztlich für die Beleuchtungsstärke E.

### Cosinusgetreue Bewertung

Neben der Anpassung des Photoelementes an die relative Augenempfindlichkeit muss auch dafür gesorgt werden, dass die unter einem Winkel  $\varepsilon$  zum Lot auf die Empfängerfläche einfallende Strahlung auch cosinusgetreu gemessen wird. Dies wird bei den meisten Messgeräten durch eine halbkugelförmig gestaltete Kalotte umgesetzt, siehe Bild 7.2 rechts.

---

$$E_\varepsilon = \Phi/A = \Phi_0 * \cos\varepsilon / A = E_0 * \cos\varepsilon \quad (7.1)$$

$E_\varepsilon$  = Beleuchtungsstärke [lx]

$\Phi$  = Lichtstrom [lm]

A = beleuchtete Fläche [ $m^2$ ]

$\varepsilon$  = Winkel bezogen auf den Normalenvektor unter dem das Licht einfällt

---

Moderne Messgeräte sind mit integrierter Cosinus-Korrektur ausgestattet. Ein solches Photoelement erfasst alle Strahlungen korrekt.

## 7.2.2 Leuchtdichtemesser

Setzt man vor den Empfänger eines Beleuchtungsstärkemessers einen Tubus mit Linse, welcher die Lichtquelle oder eine beleuchtete Fläche auf dem Empfänger abbildet, erhält man ein Signal, welches zu der mittleren Leuchtdichte des auf dem Empfänger auftreffenden Lichts proportional ist. Diese einfache Art von Leuchtdichtemessern wird durch sogenannte Leuchtdichtevorsätze zu Beleuchtungsstärkemessern realisiert. Nachteile dieser einfachen Lösung sind: Die erfassten Messwinkel sind mit  $5^\circ$  bis  $40^\circ$  (für den vollen Öffnungswinkel) relativ groß und meist fehlt eine Kontrollmöglichkeit, welche Fläche genau anvisiert wird. Schließlich ist auch die Empfindlichkeit solcher Geräte relativ gering. Moderne Leuchtdichtemesser sehen aus wie eine Kamera, siehe Bild 7.3.



**Bild 7.3** Leuchtdichtemessgerät LS-100 (Konica Minolta)

### Leuchtdichtekamera

Es besteht die Möglichkeit, mit einer speziellen angepassten Kamera die Leuchtdichten in einem Innen- oder Außenraum korrekt aufzunehmen.

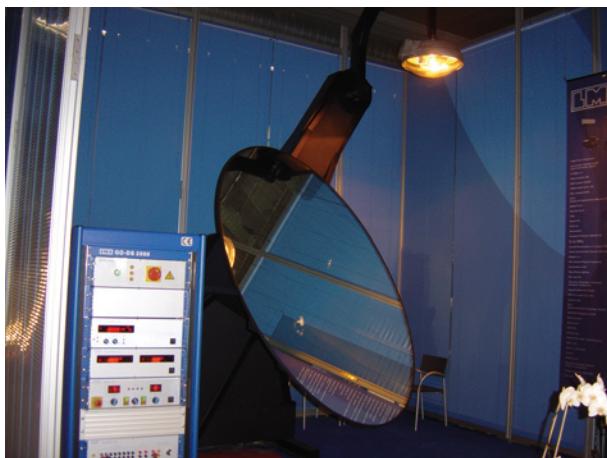
Die Leuchtdichtewerte können dann mit einer entsprechenden Software auch ausgewertet und weiterverarbeitet werden, bis hin zu einem Falschfarbenbild, was sehr schnell einen Eindruck über die vorhandenen Leuchtdichten im Raum ermöglicht.



**Bild 7.4** links: Leuchtdichtekamera Typ Rollei (Firma Techno Team), rechts: Falschfarbenbild, Typ CA-2500 (Firma Konica Minolta)

### 7.2.3 Messung von Lichtstärke-Verteilungs-Kurven

Für Messungen von Lichtstärke-Verteilungs-Kurven (LVK) werden Goniophotometer eingesetzt. Sie bestehen aus einer beweglichen Halterung für die Leuchte, mit der die Leuchte gedreht werden kann. Der Messempfänger steht immer im Mittelpunkt der Leuchte, sogenannte Leuchtenwender. Die zweite Möglichkeit besteht aus einem Drehspiegel, d. h. nicht die Leuchte wird gedreht, sondern ein Spiegel bewegt sich um die fixierte Leuchte. Die Leuchte selbst kann nur in horizontaler Richtung um  $360^0$  gedreht werden.



**Bild 7.5** Goniophotometer zur Messung von Lichtstärke-Verteilungs-Kurven (Firma LMT)

### 7.2.4 Ulbrichtkugel (U-Kugel)

Um den Gesamtlichtstrom einer Lichtquelle zu bestimmen, kann dies z.B. durch eine einzelne Messung in einer Ulbrichtkugel (U-Kugel) erfolgen. Die Besonderheit ist dabei, dass im Falle einer Kugel als Hohlkörper und bei homogenem, vollkommen gestreut reflektierendem Innenanstrich die direkte Beleuchtungsstärke konstant über die gesamte Innenfläche verteilt ist. Misst man daher die indirekte Beleuchtungsstärke an einer beliebigen Stelle der Kugelwand, so ermöglicht sie die Berechnung des Gesamtlichtstromes durch die Formel:

$$E_{\text{ind}} = (\Phi_L / A_H) * (\rho / (1-\rho)) \quad (7.2)$$

$E_{\text{ind}}$  = Beleuchtungsstärke [lx]

$\Phi_L$  = Lichtstrom [lm]

$A_H$  = Innenfläche der U-Kugel [ $\text{m}^2$ ]

$\rho$  = Reflexionsgrad der Innenfläche der U-Kugel



**Bild 7.6** Ulbrichtkugel (U-Kugel) (Firma LMT)

#### Messung der Stoffkennzahlen

Reflexions-, Absorptions- und Transmissionsgrade sind als Verhältnis des reflektierten, des absorbierten und des durchgelassenen Lichtstroms zum auftreffenden Lichtstrom definiert. Ihre Messung beruht daher auf der Ermittlung der entsprechenden Lichtströme mittels der Ulbrichtkugel, sofern nicht die Richtungsabhängigkeit von Reflexion und Transmission gemessen werden soll.

Um den Reflexionsgrad  $\rho$  einer Probe in gerichtetem Licht zu messen, wird eine Anordnung nach Bild 7.7 verwendet. Das durch die Kugel parallel gerichtete Licht der Lampe tritt durch die Öffnung der Ulbrichtkugel und trifft auf die Reflexionsprobe. Durch die vorher durchgeführte Kalibrierung der U-Kugel mit einem rein weißen, diffus reflektierenden Reflexionsnormal ( $\rho = 0,8459$ ) und einem schwarzen Reflexionsnormal ( $\rho = 0,0617$ ) kann der Reflexionsgrad des diffusen Materials ermittelt werden.



**Bild 7.7** Reflexionsmessgerät (Firma PRC Krochmann)

### 7.2.5 Spektrale Photometrie

Soll neben den lichttechnischen Grundgrößen (Beleuchtungsstärke, Lichtstärke, Lichtstrom, Leuchtdichte) auch die spektrale Verteilung der Strahlung gemessen werden, so müssen spektral auflösende Messgeräte verwendet werden. Mit diesen Geräten sind auch farbmétrische Messungen wie Farbtemperatur und Farbtönen etc. möglich, siehe Abschnitt 7.4. Die genaueste und seit einigen Jahren vermehrt eingesetzte Methode zur spektralen Auflösung von Lichtquellen ist die Spektralphotometrie.

## ■ 7.3 Belichtungsmessung

Da sich beim Drehen eines Filmes zwischen dem Rezipienten (Zuschauer) und dem Abspielgerät (Bildschirm, Beamer) ein technisches Aufnahmegerät befindet, müssen die Lichtverhältnisse in Abhängigkeit des ausgewählten Filmmaterials (analog oder digital) gemessen werden, um optimale Bedingungen zu erhalten. Voraussetzung ist dabei die in Abhängigkeit der Dramaturgie gewünschte Arbeitsblende, um eine entsprechende Schärfentiefe zu erzeugen.

### 7.3.1 Belichtung

Bei der Lichtmessung in der Photographie und im Filmreich, auch Expositionsmessung genannt, unterscheidet man zwei verschiedene Messtechniken. Zum einen die sogenannte Objektmessung, bei der direkt am Objekt die einfallende Lichtmenge in Bezug auf den ausgewählten Film, gemessen wird. Zum anderen die sogenannte Spotmessung bei der, wie bei einem Leuchtdichtemesser die reflektierte Leuchtdichte, im Idealfall auf einer Graukarte mit 18 % Remissionsgrad, gemessen wird. In Analogie zur Architektur- bzw. Fernsehbeleuchtung spricht man in diesen Fällen bei den Messgeräten von einem Belichtungsmesser bzw. einem Spotmeter.

### 7.3.2 Belichtungsmesser

Der Belichtungsmesser ist im Prinzip ähnlich aufgebaut wie ein Beleuchtungsmesser, siehe Bild 7.8, jedoch wird der Messwert mit dem Parameter „Zeit“ bewertet. Neben vielfältigen Anzeigemöglichkeiten ist die wichtigste Anzeige die der Blende, berechnet aus dem einfallenden Lichtstrom, bezogen auf die ausgewählte Filmempfindlichkeit ISO des eingesetzten Filmmaterials und die entsprechende Belichtungszeit. Die Opazität der Messkalotte auf dem Belichtungsmesser ist dabei so festgelegt, dass nur 18 % des auftreffenden Lichts die Messzelle erreicht.



**Bild 7.8** Belichtungsmesser mit integriertem Spotmeter (Firma Sekonic)

### 7.3.3 Spotmeter

Der Spotmeter ist im Prinzip ähnlich aufgebaut wie ein Leuchtdichthemesser. Je nach Typ ist es möglich, den Messwinkel zwischen 1° bis 4° zu variieren. Auch hier ist die entscheidende Anzeige die Blende, berechnet aus dem von einer Graukarte mit 18 % Remission reflektierten Licht, unter Berücksichtigung der ausgewählten Filmempfindlichkeit und der entsprechenden Belichtungszeit. Der Vorteil des Spotmeters ist, dass die Messung nicht direkt am Objekt durchgeführt werden muss, sondern der Kameramann von der Position der Kamera aus die vorhandenen Lichtintensitäten messen kann.

## ■ 7.4 Farbmessung

Wie in Kapitel 6 „Farbmetrische Grundlagen“ ausgeführt, unterscheidet man zwischen Farben einer Lichtquelle und den Farben einer nicht von selbst leuchtenden Oberfläche. Die selbstleuchtenden Lichtquellen werden Lichtfarben, die Farben von nicht selbstleuchtenden Oberflächen werden Körperfarben genannt. Für die Bestimmung der Farbmaßzahlen gibt es ein visuelles Verfahren (Gleichheitsverfahren) und zwei physikalische Messverfahren (Dreibereichsverfahren und Spektralverfahren).

### 7.4.1 Gleichheitsverfahren

Bei dem Gleichheitsverfahren handelt es sich um den visuellen Vergleich einer Farbprobe mit Farbmustern aus Farbmustersammlungen. Das Gleichheitsverfahren basiert auf dem visuellen Vergleich mit dem Auge und ist daher das entscheidende Verfahren für grundlegende farbmétrische und physiologische Untersuchungen.

Als Farbmustersammlungen gibt es mehrere Systeme. Die bekanntesten sind z. B. Munsell, NCS (Natural Color System), DIN. Die entsprechenden Farbmuster, Farbkarten, Farbfächer sind von den Firmen zu beziehen, wobei die Farbmusterkarten nicht immer ganz preiswert sind (siehe Bild 7.9 im Farbteil auf Seite 157).

### 7.4.2 Licht- und Körperfarben

Wie bereits erwähnt, gibt es Lichtquellen, z. B. Scheinwerfer, Tageslicht etc., die als Selbstleuchter oder im Fall der Farbmessung als Lichtfarben bezeichnet werden, und Licht, das von nicht selbstleuchtenden Oberflächen ausgesandt wird, auch Körperfarben genannt.

Bei Körperfarben hängt die Farbe einer Oberfläche einerseits von der Beleuchtung ab, mit der das Material beleuchtet wird, andererseits von der Oberfläche, nämlich ihrer Eigenschaft, das auffallende Licht zu absorbieren oder wieder in die Umgebung abzustrahlen.

#### 7.4.2.1 Spektraler Reflexionsgrad $\beta(\lambda)$

Die an einer Messöffnung liegende farbige Probe (Messgeometrien, siehe nachfolgender Abschnitt 7.5) verändert selektiv die Farbreizfunktion (= spektrale Energieverteilung) je nach Material und beleuchteter Lichtart. Diese Änderung der Strahlungsfunktion  $S(\lambda)$  nennt man den spektralen Reflexionsgrad  $\beta(\lambda)$ . Spektral deutet in diesem Zusammenhang auf die Wellenlängenabhängigkeit hin.

#### 7.4.2.2 Farbvalenz von Körperfarben

Man kann die Farbvalenz einer Körperfarbe durch verschiedene Tripel von Farbmaßzahlen kennzeichnen:

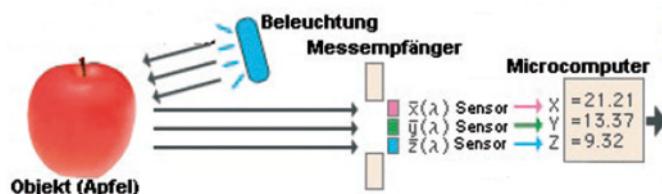
- die drei Normfarbwerte X, Y, Z
- Normfarbwertanteile x, y und Hellbezugswert A
- psychometrische Helligkeit L und Buntheit a, b (CIELAB)
- psychometrische Helligkeit L und Buntheit u, v (CIELUV)

Alle diese Farbmaßzahlen lassen sich aus den Normfarbwerten berechnen, wobei zu bedenken ist, dass sie nur für bestimmte Beleuchtungsarten gelten.

Für die Bestimmung der Farbmaßzahlen von Selbstrahlern und Körperfarben gibt es zwei physikalische Messverfahren: Dreibereichsverfahren und Spektralverfahren.

### 7.4.3 Dreibereichsverfahren

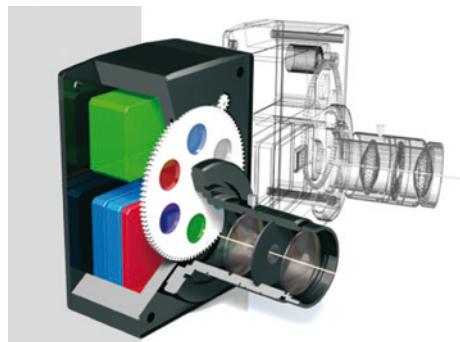
Das Dreibereichsverfahren beruht darauf, dass die Bewertung der Farbreizfunktion mit den drei Spektralwertkurven durch drei photoelektrische Empfänger mit entsprechenden spektralen Empfindlichkeiten erfolgt. Das Licht von der zu messenden Oberfläche wird gleichzeitig auf die drei Empfänger geleitet, deren spektrale Empfindlichkeiten durch Filter an die Spektralwertkurven angepasst sein müssen. Man kann hier die Parallelen zum Luxmeter erkennen.



**Bild 7.10** Grundprinzip des Dreibereichsverfahrens mit drei Messsensoren

Es gibt Messgeräte, die die Bestimmung der Normfarbwerte mit recht hoher Genauigkeit erlauben. In einem Messkopf befinden sich drei photoelektrische Empfänger mit den erforderlichen Filtern. Durch einen streuenden Vorsatz vor dem Messkopf wird dafür gesorgt, dass alle drei Empfänger gleichförmig durch die einfallende Strahlung beleuchtet werden. Zusätzlich ist es möglich, das Gerät über eine Schnittstelle an einen PC anzuschließen, um das Ergebnis weiter auszuwerten.

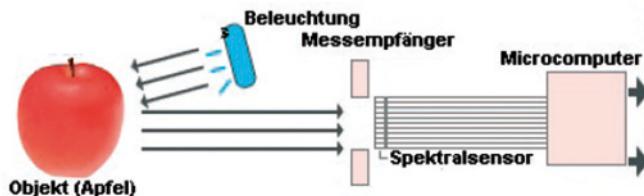
Das Dreibereichsverfahren wird vor allem zur Messung von Farben an Selbstleuchtern, das heißt von Lichtquellen, Bildschirmen und Displays verwendet. Dabei müssen die zu messenden strahlenden Flächen eine gewisse Mindestleuchtdichte haben, die bei modernen Geräten nur wenige  $\text{cd}/\text{m}^2$  beträgt.



**Bild 7.11** Messgerät nach dem Dreibereichsverfahren LMK Color (Firma Techno Team)

#### 7.4.4 Spektralverfahren

Wie schon ausgeführt, kann die Spektralphotometrie auch für die Farbmessung eingesetzt werden. Das Messverfahren umfasst grundsätzlich zwei Arbeitsgänge, die Spektralphotometrie bzw. den Messvorgang in einem Spektralphotometer und die valenzmetrische Auswertung, d. h. die rechnerische Bewertung zur Ermittlung der Farbmaßzahlen.



**Bild 7.12** Prinzip des spektralphotometrischen Verfahrens



**Bild 7.13** links: Messgerät zur Messung von Körperfarben vom Typ CM-2600d (Firma Konica Minolta), rechts: Messprinzip

Die Spektralphotometrie ist eine rein physikalische Messung der optischen Kennwerte (Farbreiz) einer Farbprobe und dient der Ermittlung des spektralen Reflexionsgrades  $\beta(\lambda)$  der Probe. Der Reflexionsgrad der Probe wird intern mit den bekannten Werten eines Weißstandards verglichen und als Quasi-Vergleich zweier Leuchtdichten gemessen:

$$\beta(\lambda)_p = (L_p/L_w) * \beta(\lambda)_w \quad (7.6)$$

$\beta(\lambda)_p$  = Reflexionsgrad der Probe

$\beta(\lambda)_w$  = Reflexionsgrad des Weißstandards

$L_p$  = Leuchtdichte der Probe

$L_w$  = Leuchtdichte des Weißstandards

Nachdem über die Spektralphotometrie der spektrale Reflexionsgrad  $\beta(\lambda)$  bestimmt wurde, schließt sich die valenzmetrische Auswertung an, durch die die physikalischen Daten in die von der Farbseigenschaft des Auges abhängenden Farbmaßzahlen überführt werden.

Im Speicher des Spektralphotometers werden nun die spektralen Strahlungsdichtewerte  $S(\lambda)$  der entsprechenden Normlichtarten (z. B. D65, A) abgerufen und mit dem gemessenen spektralen Reflexionswert  $\beta(\lambda)$  der Farbprobe multipliziert. Dieses Produkt bildet die sogenannte Farbreizfunktion:

$$\phi(\lambda) = S(\lambda) * \beta(\lambda) \quad (7.7)$$

$\phi(\lambda)$  = Farbreizfunktion

$S(\lambda)$  = Strahldichteverteilung Normlichtart

$\beta(\lambda)$  = spektraler Reflexionsgrad

Die Farbreizfunktion stellt also die remittierte, in das Auge eintretende Licht und Lichtintensität dar. D. h. die Faktoren Lichtquelle (Strahlungsfunktion  $S(\lambda)$ ), Probe (spektraler Reflexionsgrad  $\beta(\lambda)$ ) sowie Beobachter (Normspektralwertfunktion  $x(\lambda)$  bzw.  $y(\lambda)$  bzw.  $z(\lambda)$ ) müssen mathematisch verknüpft werden. Durch Aufsummieren über die Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich, also in definierten  $\Delta\lambda$ -Schritten (z. B. 10 nm) von 380 nm bis 780 nm, erhält man eine Größe, die dem vom jeweiligen Empfänger abgegebenen Signal proportional ist.

Für das Y-Empfängersignal des Augenmodells erhält man folgende Gleichung:

$$Y = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} S(\lambda) * \beta(\lambda) * y(\lambda) * d\lambda \quad (7.8)$$

$Y$  = Normfarbwert

$S(\lambda)$  = Strahldichteverteilung der Lichtquelle

$\beta(\lambda)$  = spektraler Reflexionsgrad der Messprobe

$y(\lambda)$  = Normspektralwertfunktion

Man nennt diese Größe Normfarbwert. Entsprechend ist mit dem X- bzw. Z-Empfänger zu verfahren.

### Messung von Lichtquellen

Bei der Messung von Selbststrahlern gilt im Prinzip die gleiche Vorgehensweise wie bei Körperfarben, nur dass in diesem Fall der spektrale Reflexionsgrad der Messprobe nicht berücksichtigt werden muss.



**Bild 7.14** Messgerät CS 200 (Firma Konica Minolta)

## ■ 7.5 Messgeometrien

Nachfolgend noch einige Begriffe zur Messgeometrie, die maßgeblich für die Güte von Messwerten notwendig ist. Bei den Messgeometrien unterscheidet man einerseits den Winkel unter dem das Licht auf die Probe aufgebracht wird (z.B.  $45^\circ$ ) oder die Art, wie das Licht verteilt wird (z.B. diffus) und andererseits die Lage des Messsystems (z.B.  $0^\circ$ ).

### 7.5.1 Messgeometrie $45^\circ 0^\circ$

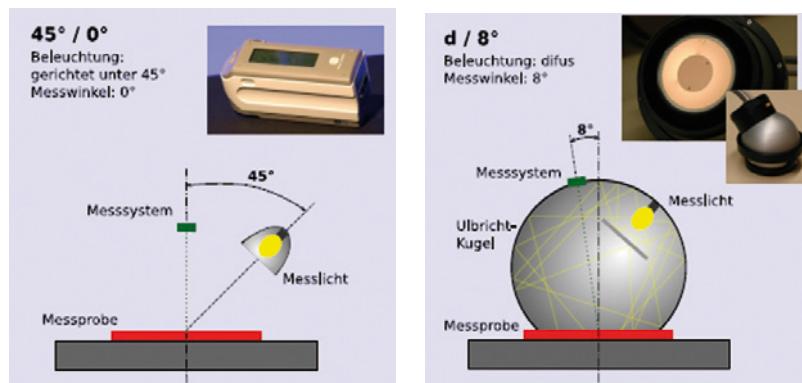
Diese Art von Messanordnung ist gerätetechnisch besonders einfach zu verwirklichen, weist jedoch eine ganze Reihe von Nachteilen auf. Das Messlicht wird in diesem Fall unter einem Winkel  $45^\circ$  von auf die Probe aufgebracht. Der Messwinkel zwischen Probe und Messsystem beträgt  $0^\circ$ . Diese schräg gerichtete Beleuchtung bewirkt bei strukturierten Proben, wie sie z. B. bei Textilien mit verschiedenen Webbindungen auftreten, eine Schattenbildung, sodass Messwerte erheblich differieren können. Bei glatten und stark glänzenden Proben bietet diese Messgeometrie jedoch den Vorteil der vollständigen Eliminierung des Glanzes. Eine Verbesserung der einfachen  $45^\circ 0^\circ$  Messgeometrie stellt die Erhöhung der Anzahl der Beleuchtungen auf  $2 \times 45^\circ 0^\circ$  dar. Man erhält damit eine hinreichend gute Probenausleuchtung.

### 7.5.2 Messgeometrie diffus d/ $0^\circ$

Eine diffuse, das heißt von allen Seiten auftreffende Beleuchtung der Probe eliminiert die Gefahr der Schattenbildung vollständig und ermöglicht die „richtige“ messtechnische Erfassung auch grobstrukturierter Proben. Misst man eine derartige Probe bei jeweiliger Drehung um  $90^\circ$  mehrmals hintereinander, erhält man faktisch dieselben Messergebnisse. Problematisch hingegen ist die Messung hochglänzender oder spiegelnder Oberflächen.

### 7.5.3 Messgeometrie diffus d/8°

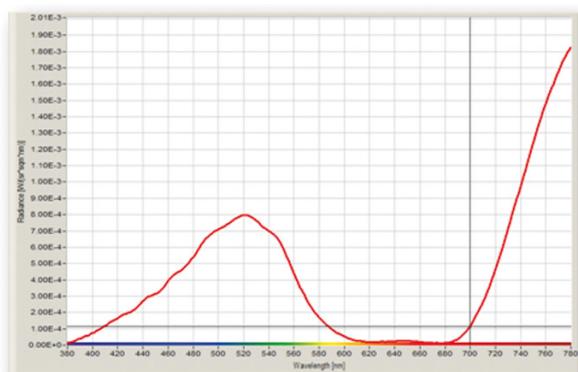
Der Unterschied zur vorgenannten Messgeometrie liegt in dem geneigten Blickwinkel, welcher sich an die realistische visuelle Abmusterung anlehnt. In der Praxis werden Proben immer unter geringem Neigungswinkel abgemustert bzw. bewertet, um mögliche Glaneinflüsse weitestgehend auszublenden. Über die Jahre hat sich diese Messgeometrie in fast allen Industriebereichen erfolgreich durchsetzen können.



**Bild 7.15** links: Messgeometrie 45° 0°, rechts: Messgeometrie d/8°

## ■ 7.6 Übungsbeispiele

1. Gemessen wurde eine Messprobe mit den Werten: X = 21.21, Y = 13.37, Z = 9.32. Welche Farbe ist das?
2. Welche LEE-Folie bzw. welche Farbe stellt der dargestellte Spektralverlauf dar?

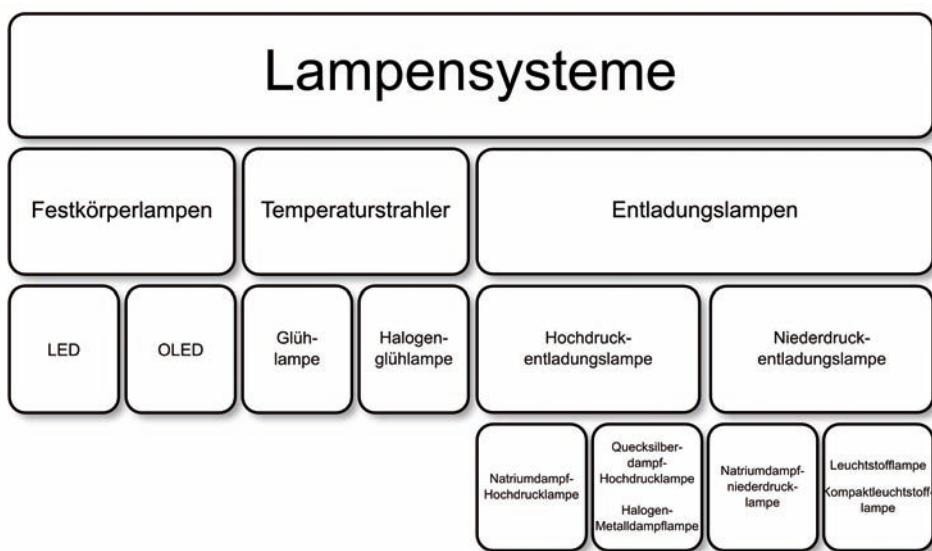


**Bild 7.16** Spektraler Verlauf eines LEE-Filters, durchleuchtet mit Halogenlampe

# 8

# Lichtquellen

Lampen sind technische Ausführungsformen von künstlichen Lichtquellen (Selbststrahler). Hinsichtlich ihrer Wirkungsweise lassen sich die Lampen in drei Hauptgruppen unterteilen, die ihrerseits wieder aus verschiedenen Untergruppen bestehen. Prinzipiell unterscheidet man zwischen Festkörper-, Temperatur- und Entladungslampen. Bild 8.1 zeigt die systematische Einteilung.



**Bild 8.1** Übersicht verschiedener Lampentypen

Die Unterscheidung der Wirkungsweise der verschiedenen Lampen beruht auf deren verschiedenen Grundfunktionen. D.h. Anregung auf höhere Energieniveaus durch Wärme, Stoß oder Halbleiterprozesse, Rückkehr in den Grundzustand und dabei Abgabe elektromagnetischer Strahlung zum Teil im sichtbaren Bereich.

## ■ 8.1 Aufbau und Wirkungsweise

Zur Beurteilung, ob Lampen für den jeweiligen Anwendungszweck und Einsatzort geeignet sind, ist es notwendig, die Vor- und Nachteile der Lampen zu kennen.

Als lichttechnische Auswahlkriterien können dienen:

- Lichtstrom
- Lichtausbeute
- Lebensdauer
- Leuchtdichte (Blendung)
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe
- Leistungsstufen
- Betriebsverhalten (Kalt- und Heißzündbarkeit, Anlaufzeit, Brennlage u. a.)
- Dimmbarkeit
- Abmessungen

## ■ 8.2 Lebensdauer und Lampenalterung

Die Lebensdauer einer Lampe ist das Zeitintervall innerhalb dessen diese ganz ausgefallen ist bzw. auf ein bestimmtes Lichtstromniveau zurückgeht. In einer Lampenpopulation ist die mittlere Lebensdauer das Zeitintervall innerhalb dessen 50 % aller Lampen ausgefallen sind (C0B50-Wert). Das Intervall beträgt je nach Lampentyp 1.000 h (einfache Glühlampe) bis zu 80.000 h (extrem langlebige Leuchtstofflampe am elektrischen Vorschaltgerät). Lampen altern zudem mit der Zeit. Als zweites wichtiges Kriterium wird neben dem Ausfall von Lampen auch ihr Lichtstromrückgang während ihres Betriebs betrachtet.

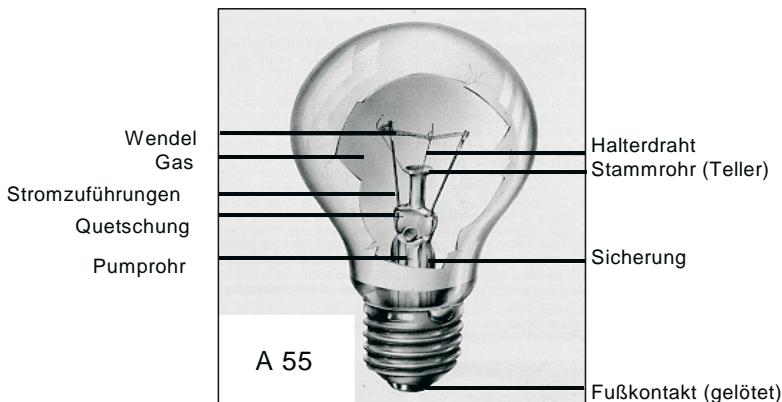
Bei LEDs wird heute der Lichtstromrückgang als hauptsächliches Lebensdauer-Kriterium angewendet. Gute LED-Leuchten liefern im Mittel noch 70 % Restlichtstrom nach 50.000 h bis 100.000 h (L70B50). Systemausfälle liegen hier bei kleiner 1 % je 10.000 Betriebsstunden, spielen also im Vergleich zum Lichtstromrückgang eine geringere Rolle. Bei LED-Austauschlampen beträgt der L70B50-Wert immerhin noch 25.000 h bis 45.000 h.

## ■ 8.3 Glüh- und Halogenlampen

Der bedeutendste Temperaturstrahler ist die Glühlampe. Erste funktionierende Glühlampen, in der Technik auch Allgebrauchslampen oder Allgebrauchsglühlampen genannt, wurden 1854 durch Goebel hergestellt. Goebel benutzte als gleichstromführende Wendel verkohlte Bambusfasern, die er zum Schutz gegen Oxidation in evakuierten Parfümflaschen betrieb.

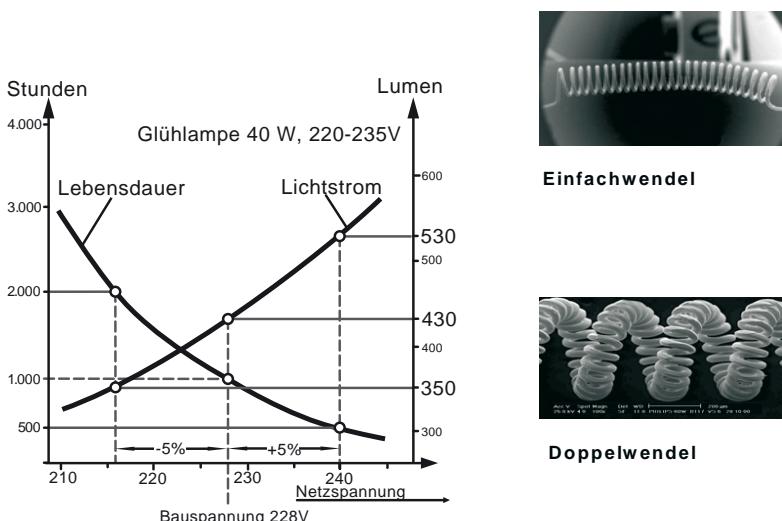
### 8.3.1 Die Glühlampe: Historie, Aufbau und Wirkungsprinzip

Eine technische Bedeutung erlangten aber erst die Kohlefadenlampen von Edison (1875), da Edison mit dem Generator auch eine großtechnisch nutzbare Stromquelle entwickelte.



**Bild 8.2** Aufbau einer modernen Glühlampe mit E27-Schraubsockel

In der modernen Glühlampe werden seit Anfang des 20. Jahrhunderts Wolframdrähte des Durchmessers 20–100 µm eingesetzt. Die mittlere Lebensdauer einer Glühlampe, d. h. der Zeitpunkt, nachdem in einer Lampenpopulation 50 % aller Leuchtmittel ausgefallen sind, beträgt bei Standard-Glühlampen ca. 1.000 h. Sie wird durch Abdampfen von metallischem Wolfram von der Wendel sowie Rekristallisationsprozesse im Material selbst bestimmt. Eine Erhöhung der Betriebsspannung um 5 % halbiert in etwa die mittlere Lampenlebensdauer und erhöht den Lichtstrom um ca. 25 %. Die Effizienz einer Glühlampe steigt mit fallender Betriebsspannung und steigender Leistungsaufnahme.



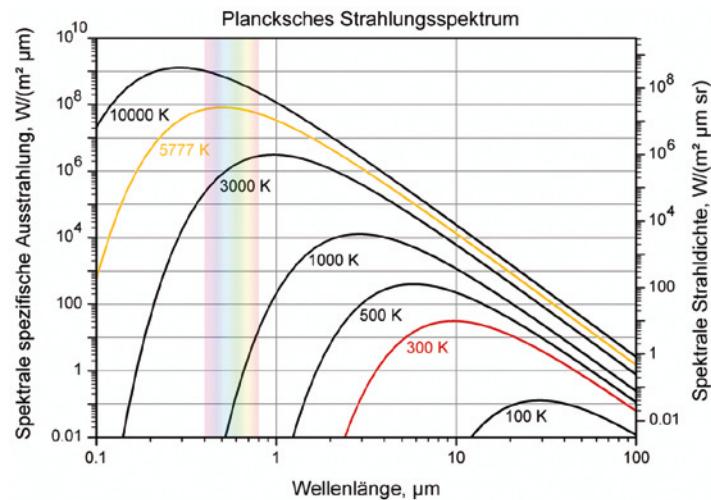
**Bild 8.3** links: Abhängigkeit der Lebensdauer und des Anfangslichtstroms einer 40 W/230-V-Glühlampe von der Netzspannung, rechts: Wendelbauformen

Eine Standard-100W/230V-Glühlampe liefert eine Lichtausbeute von ungefähr 14 lm/W. Der überwiegende Teil (ca. 95 %) der elektrischen Leistung wird also bei einer Glühlampe nicht in sichtbares Licht (VIS) umgewandelt, sondern geht durch Wärmestrahlung und Wärmeleitung verloren. Dieser Wert liegt weit unterhalb des maximalen visuellen Nutzeffekt seines Thermischen Strahlers (95 lm/W bei 6.600 K), da elektrisch leitfähige Wendelmaterialien mit Schmelz- oder Sublimationspunkten oberhalb von 4.200 K (TaC) nicht zur Verfügung stehen. So liefert selbst Wolfram am Schmelzpunkt (3.683 K) nur einen Wert von 54 lm/W. Das Effizienzmaximum bei technisch realisierten Niedervolt-Glühlampen hoher Leistungsaufnahme liegt bei etwa 40 lm/W.

Die Füllung des Lampenkolbens mit Inertgasen, wie Argon/Stickstoff, Krypton oder Krypton/Xenon, dient dem Ziel, die Abdampfrate des Wolframs zu reduzieren. Ein vergrößerter Wärmeverlust an den Kolben wird dabei zugunsten der verlängerten Lebensdauer in Kauf genommen.

### 8.3.2 Temperaturstrahlung

Ein heißer Festkörper emittiert ein Strahlungsspektrum, das eng mit seiner Oberflächentemperatur korreliert. Die Strahlungsdichte die ausgesandt wird, ist somit eine Funktion der Temperatur T und der Wellenlänge  $\lambda$ .



**Bild 8.4** Abhängigkeit der Temperaturstrahlung. Mit wachsender Oberflächentemperatur steigt die Strahlungsemision und ihr Schwerpunkt verschiebt sich hin zu kürzeren Wellenlängen

Je höher die Oberflächentemperatur eines Festkörpers ist, desto mehr Strahlung gibt dieser pro Zeiteinheit ab und desto kurzwelliger ist der spektrale Schwerpunkt der Strahlung (Wien'scher Verschiebungssatz). Die emittierte sichtbare Strahlung (Licht) verändert sich also mit steigender Oberflächentemperatur von Rot über Gelb bis hin zu Blau-Weiß.

### 8.3.3 Aufbau und Wirkprinzip der Halogenlampe

Die Halogenlampe ist im Prinzip ein Temperaturstrahler, verbessert hinsichtlich der Lebensdauer, der Lichtausbeute und der Baugröße. Das Wirkprinzip von Halogenlampen basiert auf Kreisprozessen, die auf chemischen Transport zurückgehen. So können in der Halogenlampe zwei wichtige chemische Transportprozesse unterschieden werden. Der schädliche Wasser-Kreisprozess transportiert das Wendelmetall Wolfram zur kälteren Kolbenwand, was die Lebensdauer der Lampe verkürzt. Dabei wird das Wasser meistens bei der Lampenproduktion über die Glaskolbenwand ins System eingeschleppt. Technisch versucht man daher, diesen Kreisprozess durch Beschichtung der Wendel mit rotem Phosphor zu unterbinden.

Der nützliche **Halogen-Kreisprozess** hingegen transportiert verdampftes Wolfram aus der Gasphase zurück in Richtung Wendel, was die Lebensdauer der Lampe verlängert. Der Halogen-Kreisprozess erlaubt eine Reduktion des Kolbenvolumens bis zu einem Faktor 100 gegenüber einer Standardglühlampe mit den daraus resultierenden Designvorteilen. Gleichzeitig wird die Lebensdauer der Lampe verlängert und durch eine höhere Wendeltemperatur die Lichtausbeute um bis zu 20 % vergrößert.



**MASTER Line ES, Master Line 111 und Master Line TC  
12 V Niedervolt-Kaltlichtspiegellampen mit IRC-Beschichtung**

**Bild 8.5** Moderne Halogen-Reflektorlampen

Der Halogen-Kreisprozess, der durch Zusätze von bromierten Methanverbindungen bei der Kolbenfüllung initiiert wird, verlängert die Lebensdauer der Glühwendel aber nur dann erfolgreich, wenn die Temperatur der Wendelaufhängungen nicht überschritten wird, d.h. deutlich niedriger als die Wendeltemperatur ist, und die Temperatur der Kolbenwand nicht unterschritten wird.

Ansonsten droht Metallabscheidung an der Wendelaufhängung bzw. die Kondensation von Wolframoxohalogeniden an der Kolbenwand. Letzteres führt zum Zusammenbrechen des Halogen-Kreisprozesses. In leistungsreduzierten (gedimmten) Halogenlampen ist daher der Halogenprozess nur noch sehr eingeschränkt funktionsfähig, was die Lebensdauer des Leuchtmittels reduziert. Sollen Halogenlampen über längere Zeiträume hinweg

leistungsreduziert betrieben werden, so ist es ratsam, zwischenzeitlich die Leuchtmittel wieder unter Vollast zu betreiben, da hierdurch die Lebensdauer deutlich verlängert werden kann.

Eine weitere Effizienzsteigerung kann durch den Einsatz von sogenannten  $\lambda/4$ -Schichten und  $\lambda/2$ -Schichten, optischen Schichten der Schichtdicke  $d = \lambda/4n$  bzw.  $d = \lambda//2n$ , erreicht werden. Diese sogenannten IRC-Lampen (IRC = Infra Red Coating) liefern einen bis zu 40 % höheren Lichtstrom. Die Reduzierung von IR-Strahlung im Licht einer Halogenlampe gelingt bei Reflektorlampen aber auch durch die sogenannte Kaltlichtverspiegelung. Bei Kaltlichtspiegellampen werden im lampeneigenen Reflektor Licht und UV-Strahlung reflektiert. Die Infrarotstrahlung wird verstärkt durch den Reflektor hindurch in Richtung Lampensockel abgestrahlt, was die IR-Strahlung im Lichtkegel der Lampe um ca. 30 % reduziert.

### 8.3.4 Halogenlampen im Fernseh-, Film- und Theaterbereich

Im Fernseh-, Film- und Theaterbereich werden, wie in Kapitel 9 „Scheinwerfer“ noch detaillierter ausgeführt, vor allem Halogenlampen mit der Leistungsgröße 1000 W, 2000 W und 5000 W eingesetzt.



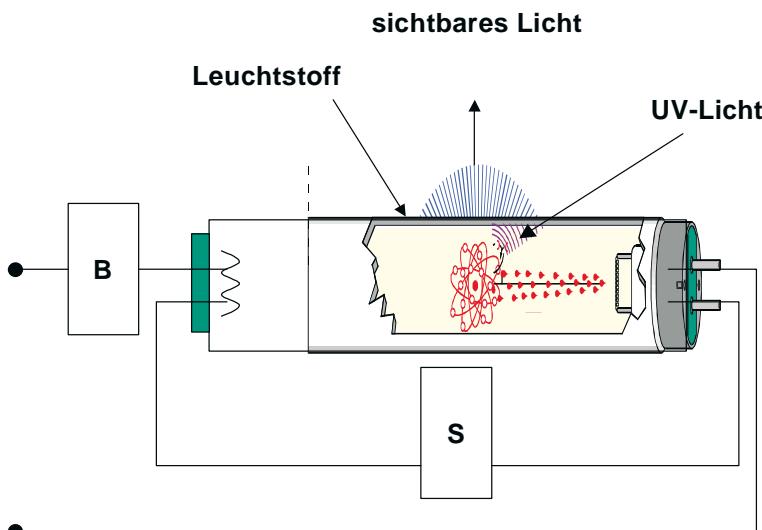
Bild 8.6 1000-W-Halogenlampe (Philips)

## ■ 8.4 Niederdruckentladungslampen

In Gasentladungslampen wird sichtbares Licht primär durch ein elektrisch angeregtes Plasma erzeugt. Unter einem Plasma versteht man dabei ein Gemisch aus Neutralteilchen, Ionen und Elektronen in verschiedenen Anregungszuständen mit starker Wechselwirkung untereinander und mit den Photonen (Licht), die das Plasma selbst erzeugt.

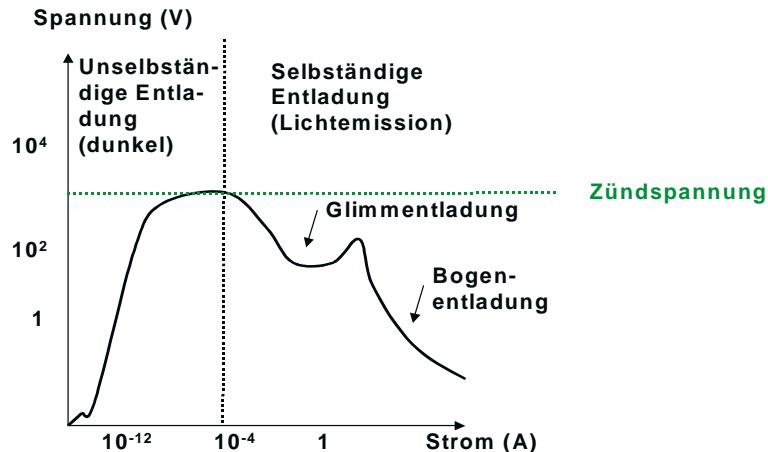
### Leuchtstofflampen

Die bekanntesten Leuchtmittel, die Licht auf dem Prinzip der Niederdruckgasentladung erzeugen, sind die Leuchtstofflampen. Da der Verlauf der selbstständigen Gasentladung eine negative Kennlinie besitzt, muss der durch das Plasma fließende Strom durch ein der Gasentladungslampe vorgeschaltetes strombegrenzendes Bauteil begrenzt werden, damit die Lampe nicht „durchgeht“. In der Praxis wird hierfür im einfachsten Fall eine Spule (B) verwendet. Die meist oberhalb der Netzspannung von 230 V liegende Zündspannung liefert ein externes Zündgerät, oft auch Starter (S) genannt.



**Bild 8.7** Lichterzeugungsmechanismus und Schaltskizze einer Leuchtstofflampe

Zur Zündung von Leuchtstofflampen werden die beiden mit Emitterpaste beschichteten Elektroden, die die Form kleiner Glühwendeln besitzen, siehe Bild 8.7, elektrisch vorgeheizt, um ausreichend freie Ladungsträger im noch kalten Gas der Lampe zu produzieren. Wird dann der Startstromkreis unterbrochen, so zündet der aus dieser Unterbrechung resultierende Spannungsstoß die selbstständige Gasentladung. Bei brennender Gasentladung wird dann die zur Glühemission notwendige Elektrodenerwärmung durch das Plasma selbst erzeugt.



**Bild 8.8** Zündphasen einer zur technischen Lichterzeugung genutzten Bogenentladung

Im 50 Hz/230 V-Wechselspannungsplasma einer Leuchtstofflampe zündet und erlischt die positive Säule mit einer Frequenz von 100 Hz, ohne dabei ihren Ort relativ zu den beiden Betriebsselektroden zu verändern. Das Kathodenglimmlicht hingegen alterniert mit 50 Hz zwischen den umgepolten Elektroden. Aus diesem Grund kann bei allen Leuchtstofflampen, die direkt am 50 Hz/230 V-Netz betrieben werden, stets ein geringfügiges 50 Hz-Flackern beobachtet werden. In modernen Leuchten sind die Spule und der Starter durch ein elektronisches Vorschaltgerät (EVG) ersetzt. Dieses betreibt die Lampe mit einer kHz-Frequenz von 10–40 kHz. Das emittierte Licht wird hierdurch visuell angenehmer. Gleichzeitig zeichnen sich EVGs durch eine geringere Verlustleistung und ggf. auch Dimmoption aus.

Die Lichterzeugung in Leuchtstofflampen erfolgt durch die Anregung von Quecksilberatomen in einer Gasentladung, die zudem Argon als Zünd- und Puffergas enthält. Der Betriebsdruck beträgt ca.  $10^{-3}$  mbar. Bei diesem Druck erreicht die Niederdruckquecksilberentladung ihr Effizienzoptimum. Wird der Druck erniedrigt, so sinkt die im Gas zur Anregung zur Verfügung stehende Quecksilberkonzentration, und der Lichtstrom der Lampe geht zurück. Wird der Druck hingegen erhöht, so sinkt der Lichtstrom ebenfalls infolge von Selbstabsorption des Quecksilbers. Aus diesem Grund hängt der Lichtstrom einer Leuchtstofflampe stark von der Temperatur der Röhrenwand (Umgebungstemperatur) ab und durchläuft ein Maximum, dessen absolute Lage mit dem Lampentyp variiert.

Da die Hauptemission des Quecksilbers im Gegensatz zur Hochdruckentladung bei der in der Leuchtstofflampe vorliegenden Niederdruckentladung ausschließlich im UV-Bereich erfolgt, wird die Innenwand der Leuchtstoffröhre mit fluoreszierenden Leuchtstoffen, den sogenannten „Phosphoren“ beschichtet. Dabei müssen mindestens zwei verschiedene Leuchtstoffe eingesetzt werden, um durch additive Farbmischung weißes Licht zu erzeugen. Dies ist bei Standardleuchtstofflampen der Fall. Hier werden mit Zinn und mit Magnesium dotierte Haflophosphate verwendet. Weißes Licht mit einer Farbwiedergabe  $R_a > 80$  erfordert hingegen den Einsatz von mindestens drei verschiedenen Leuchtstoffen (3-Bandentechnologie, z. B. TL-D Super 80 Leuchtstofflampen). Heutzutage kommen als Leuchtstoffe meist seltenerdotierte Aluminate zum Einsatz. Die Konversionsraten moderner Leuchtstoffe liefern eine Quantenausbeute nahe 1. Dies bedeutet, dass fast alle UV-Lichtquanten in sichtbares Licht transformiert werden. Die Energiedifferenz geht dabei in Form von Wärme verloren.

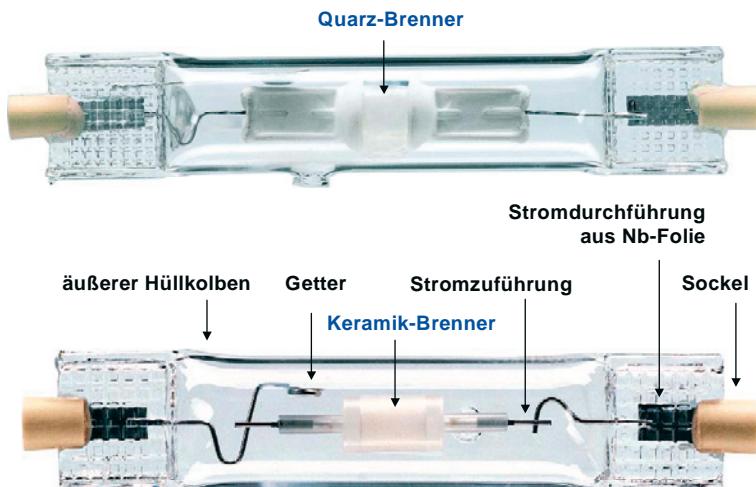
Langlebige Leuchtstofflampen und Kompakteuchtstofflampen besitzen speziell gefertigte Elektrodenwendeln. Durch einen kontinuierlichen Übergang zwischen dem Wendekern aus Wolfram und dem Emittermaterial Bariumoxid kann der Verlust von Bariumoxid über die Zeit deutlich reduziert werden. Hierdurch werden die Lampen sehr schaltfest ( $> 100.000$  Zündungen am Warmstart-EVG) und erreichen mittlere Lebensdauern von über 70.000 Stunden (TL-D Xtreme).

## ■ 8.5 Hochdruckentladungslampen

In Hochdruckentladungslampen brennt eine Bogenentladung zwischen zwei meist nur wenige Millimeter entfernten Wolframelektroden. Diese bestehen im Gegensatz zu den heizbaren  $70\text{ }\mu\text{m}$ -Wendeln einer Leuchtstofflampe aus wesentlich dickeren nicht heizbaren Wolframdrähten. Ein zusätzliches auf die Wendel aufgebrachtes Emittermaterial sichert, wie bei der Leuchtstofflampe, ein hohes Maß an Elektronenemission (Glühemission) bereits bei niedrigen Temperaturen (Startphase). Die hohen Stromdichten von Bogenentladungen führen im Entladungsbogen während des Lampenbetriebs zu Temperaturen von  $6.000\text{ K}-8.000\text{ K}$ .

### 8.5.1 Hochdruck-Metallhalogendampflampen

Um die Lichtemission im sichtbaren Bereich noch weiter steigern zu können, wird bei Metallhalogendampflampen (MHL) auf Halogenide bestimmter Metalle zurückgegriffen, wie Alkalimetalle (Li, Na, Cs), Elemente der III. und IV. Hauptgruppe (In, Tl, Sn) und einige Seltenerdmetalle (Ho, Dy, Tm). Die genaue Zusammensetzung variiert je nach Lampentyp.



**Bild 8.9** Aufbau von kompakten Metallhalogendampflampen (oben: MHN-TD Pro 70 W) und mit Keramikbrenner (unten: MASTER Colour CDM-TD 70 W)

Unter Betriebsbedingungen ist die Gasphase des Brenners an Metallhalogeniden gesättigt. Zur Lichterzeugung tragen sowohl die freien Metalle als auch ihre Monohalogenide bei. Das neben den Metalliodiden in geringen Mengen zugesetzte Quecksilber dient bei der Metallhalogendampflampe nicht der direkten Lichterzeugung, sondern fungiert als Puffergas, um durch elastische Stöße mit den Elektronen des Plasmas die Wandverluste zu reduzieren und die elektrische Feldstärke im Plasma zu vergrößern. Ein zusätzlicher, geringer Xenon-Basisdruck im Brenner sichert den Zündbetrieb des Leuchtmittels.

Metallhalogendampflampen mit Keramikbrenner (CDM 20 bis 150 W, CDM = Ceramic Discharge Metalhalide) zählen zu der Lampenklasse mit der besten Farbwiedergabe ( $\text{Ra} > 80$  bei 3000 K und  $\text{Ra} > 90$  bei 4.200 K) und Farbstabilität ( $\pm 150$  K nach 10.000 Betriebsstunden). Die Lichtausbeute liegt mit bis zu 95 lm/Watt um ca. 60 % höher als die vergleichbarer Hochdruck-Quecksilberdampflampen.

### 8.5.2 Hochdruckentladungslampen im Fernseh-, Film- und Theaterbereich

Im Fernseh-, Film- und Theaterbereich werden vor allem Hochdruckentladungslampen mit der Leistungsgröße 575 W, 1000 W, 1200 W für Tageslichtscheinwerfer und Moving Lights eingesetzt.



**Bild 8.10** Hochdruckentladungslampen, links: MSR 575 HR, rechts: HIT 1000 W

## ■ 8.6 Lichtemittierende Dioden (LED)

Lichterzeugung mittels LED basiert auf dem Wirkprinzip der Elektrolumineszenz.

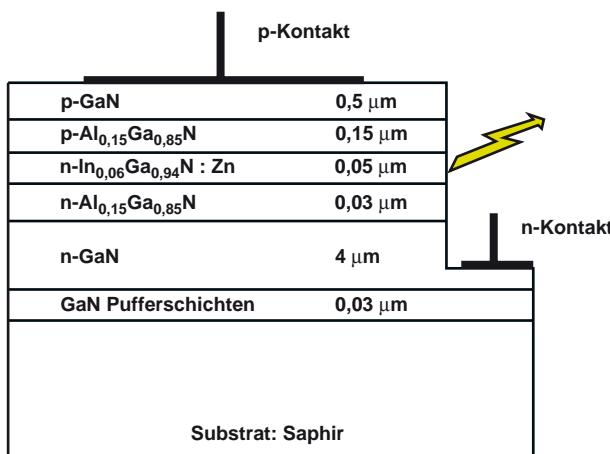
### 8.6.1 Elektrolumineszenz

Bei dieser Form der Lichterzeugung wird wie beim thermischen Strahler eine Spannung an einen leitenden Festkörper angelegt und dieser von einem Strom durchflossen. Im Gegensatz zum thermischen Strahler speichert der elektrolumineszierende Festkörper die aufgenommene elektrische Energie jedoch nicht nur in Form von Gitter-Schwingungen,

sondern auch in Form von elektronischer Anregung. Hierdurch kann im Gegensatz zum Festkörper die Emission von monochromatischem Licht beobachtet werden. Die wichtigsten Elektrolumineszenz-Strahlungsquellen in der Technik sind die III-V-Halbleiter.

### 8.6.2 Lichterzeugung im III-V-Halbleiter

Unter einem III-V-Halbleiter versteht man einen Festkörper, der aus den Elementen der dritten und fünften Hauptgruppe des Periodensystems gebildet wurde, wie GaAs, InP, GaN oder deren Mischkristalle. Ein reiner III-V-Halbleiter ist bei Raumtemperatur jedoch kaum elektrisch leitfähig. Erst durch einen geringfügigen Zusatz von Elementen differenter Elektronenkonfiguration (Dotierung), z.B. den Elementen der vierten Hauptgruppe, wie C, Si oder Ge, nimmt die elektrische Leitfähigkeit drastisch zu. Dabei können je nach Reaktionsführung als Reaktionsprodukt sowohl dotierte Halbleiter mit **Elektronenleitung** (n-Dotierung) als auch mit **Lochleitung** (p-Dotierung) hergestellt werden. Der dotierte Halbleiter ist nun für eine elektrische Leistungsaufnahme ausgelegt. Zur Lichterzeugung werden in einem LED-Chip n- und p-dotierte Halbleiterbereiche benachbart erzeugt (pn-Kontakt). Ein pn-Kontakt entsteht dabei in der Praxis nicht durch „mechanisches Berühren“ zweier verschiedener, unterschiedlich dotierter Halbleiterkristalle, sondern es werden mittels technischer Dünnschichtverfahren die unterschiedlichen Halbleiter direkt aufeinander abgeschieden und befinden sich im gleichen LED-Chip.

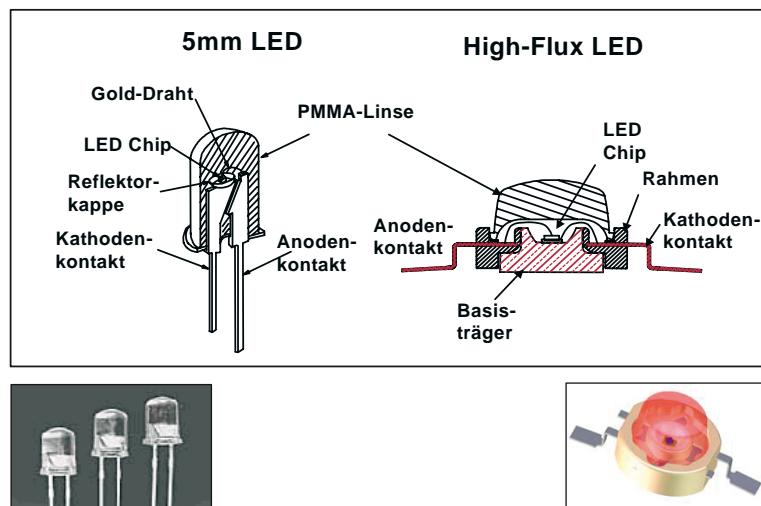


**Bild 8.11** Aufbau der ersten technisch produzierten blauen LED (Nichia 1994)

### 8.6.3 LED-Technologie

Kommerziell verfügbare Halbleiter-Leuchtdioden bestehen aus einem Halbleiter-Chip, der in eine Kunststofflinse (PMMA) eingebettet ist. Die Kunststofflinse bündelt das divergent abgestrahlte monochromatische Licht des LED-Chips und schützt gleichzeitig den LED-Chip vor

Feuchtigkeit und Korrosion. Die Ankontaktierung erfolgt meist mittels eines Anschlussdrahtes (wire bonding). Neben den seit den 70er-Jahren üblichen 5-mm-LED existieren seit 1999 auch die sogenannten High-Flux-LED. Letztere unterscheiden sich von 5-mm-LED durch einen je nach Lichtfarbe um den Faktor 20 bis 50 höheren Lichtstrom. Die Leistungsverbesserung basiert neben der Zunahme der Chipgröße und Optimierung der Chipgeometrie vor allem auf einer Steigerung des Wirkungsgrades durch den Einsatz von Heterostrukturchips, die eine bessere Strom- und Lichtlenkung im LED-Chip ermöglichen.



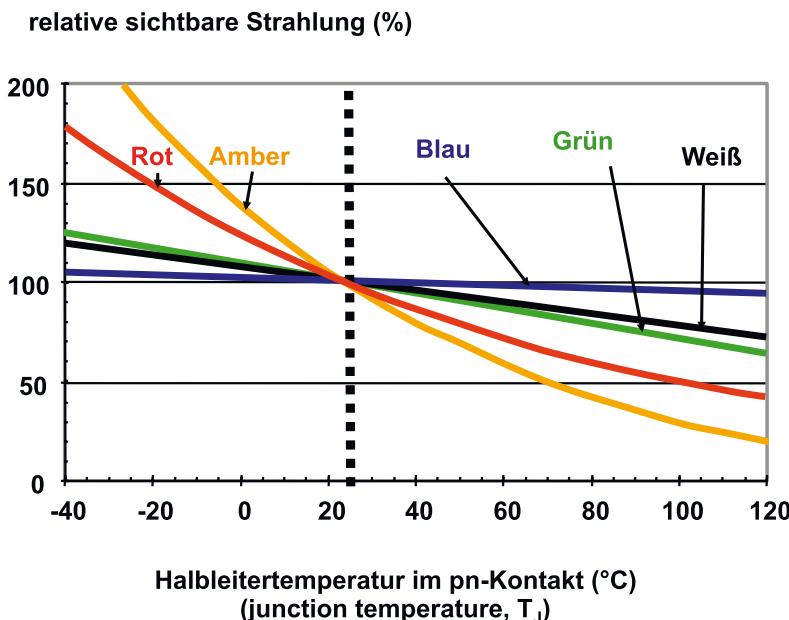
**Bild 8.12** Aufbau von 5-mm-Standard-LED und High-Flux-LED

#### 8.6.4 Aufbau und Wirkungsgrad von LED-Lampen

Halbleiter-Leuchtdioden sind heutzutage in fast allen Farben des sichtbaren Spektrums als auch als UV- oder Infrarotemitter verfügbar. Für die Erzeugung von weißem LED-Licht sind drei verschiedene LED-Bauformen denkbar. Zum einen kann das Licht einer roten, einer grünen und einer blauen LED additiv zu weißem Licht gemischt werden. Eine wesentlich bessere Alternative stellt die Beschichtung eines blau emittierenden LED-Chips mit mindestens einem Fluoreszenzfarbstoff dar. Hierdurch lassen sich Schwankungen des Weißpunkts über die Lebensdauer der LED fast völlig eliminieren und die Farbwiedergabe auf  $Ra > 90$  steigern. Die Farbtemperatur weißer LED wird durch die Schichtdicke und Zusammensetzung der Leuchtstoffschicht bestimmt.

LED müssen im Rahmen ihrer Herstellung vor der Verbauung in Modulen oder Leuchten in Schüttgutgruppen vereinzelt werden (binning). Hierbei werden die LED kurz elektrisch kontaktiert, um in einem automatisierten Verfahren den Farbort und den Lichtstrom zu bestimmen. Der maximale Farbortabstand bestimmt die Güte des LED-Bins. Der Farbortabstand und die Lichtstromdifferenz wird dabei so gewählt, dass bei einem späteren Einsatz der LED in der Applikation im Idealfall alle LED das gleiche optische Erscheinungsbild aufweisen.

Der technische Wirkungsgrad einer Leuchtdiode hängt neben der Lichtfarbe aber auch sehr stark von der Temperatur der aktiven Schicht im Halbleiterkristall ab: Der Lichtstrom fällt sehr stark mit steigender Umgebungstemperatur ab.



**Bild 8.13** Lichtstromverhalten von LED in Abhängigkeit von der Temperatur im pn-Kontakt (junction temperature,  $T_j$ )

Da bei verminderter Leistungsaufnahme die Temperatur des LED-Chips abnimmt, führt bei LED-Lichtquellen im Gegensatz zu allen anderen Lichtquellen die Leistungsreduktion zu einer Effizienzsteigerung, d.h. zu einer Verbesserung ihrer Lampenlichtausbeute. Aber auch die Ladungsträgerdichte im pn-Kontakt beeinflusst die Lichtausbeute einer LED. Aus wirtschaftlichen Gründen, d.h. um LED-Chipfläche zu sparen, werden Hochleistungs-LED im 100%-Betrieb heute fast immer mit einem Betriebsstrom versorgt, der oberhalb des Ladungsträgerdichteoptimums liegt. Wird der Betriebsstrom bei der Dimmung dann reduziert, so steigt die Effizienz der LED deutlich.

### 8.6.5 LED-Produkte und Applikationsfelder

LED sind hocheffiziente einfarbige Lichtquellen. In puncto Effizienz übertreffen sie alle bisher bekannten Lichtquellen, bei denen das farbige Licht aus weißem Licht durch Einsatz von optischen Filtern subtraktiv erzeugt wird. Aber auch in der Allgemeinbeleuchtung (Weißlicht) haben LED in den letzten 5 Jahren Wirkungsgerade von 60-120 lm/W erreicht, die ihren Einsatz als Austauschlampen, Strahler, Downlights oder Straßenleuchten rechtfertigen.



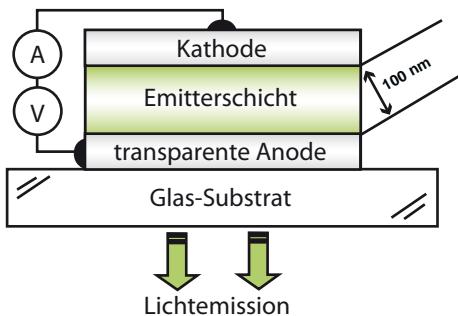
**Bild 8.14** Übersicht über die aktuellen Bauformen und Typen von LED-Austauschlampen (LED-Retrofits, Philips)

## ■ 8.7 Organische lichtemittierende Dioden (OLED)

OLED können entweder aus halbleitenden Polymeren („Kunststoffen“) oder niedermolekularen Verbindungen („Farbstoffen“, small molecules) bestehen. Für die aus Polymeren gefertigten organischen LEDs hat sich die Abkürzung p-OLED durchgesetzt. Als s-OLED oder sm-OLED werden die aus „small molecules“ hergestellten OLED bezeichnet.

### 8.7.1 Funktionsprinzip von OLED

Beim Anlegen einer äußeren Spannung werden wie bei der anorganischen LED Elektronen von der Kathode injiziert, während die Anode positive Löcher bereitstellt. Die verschiedenen Ladungsträger driften aneinander vorbei und treffen sich im Idealfall in der Emitterschicht, weshalb diese Schicht auch Rekombinationsschicht genannt wird. Die Elektronen und Löcher bilden dabei einen gebundenen Zustand, den man in Analogie zur LED als Exziton bezeichnet. Der angeregte Zustand setzt beim Übergang in den Grundzustand Energie in Form von Licht (Fluoreszenz) oder Wärme frei. Die Farbe des ausgesandten Lichts hängt vom Energieabstand zwischen dem angeregten Zustand und dem Grundzustand ab und kann durch Modifikation der Emitter gezielt verändert werden.



**Bild 8.15** Vereinfachter Aufbau einer OLED für die Allgemeinbeleuchtung



**Bild 8.16** Technisch realisierte Produkte (blaue und weiße OLEDs, Philips)

### 8.7.2 OLED-Display

Heutzutage werden OLED vor allem zur Herstellung kleiner farbiger Displays eingesetzt – mit einem Weltmarktvolumen von etwa 6,8 Mrd. Euro (2012). Da OLED-Displays aber bislang noch teurer als LCD-Displays sind, kommen sie bisher nur in speziellen Anwendungen zum Einsatz. Zu nennen sind insbesondere die farbigen Displays portabler Kleingeräte (z. B. Smartphones oder das iPhone von Apple). Die technischen Vorteile gegenüber kleinen LCD-Bildschirmen liegen vor allem in der geringeren Einbautiefe und dem geringen Energieverbrauch. OLED-Displays sind nämlich selbstleuchtend und müssen nicht, wie LCD-Displays, mit weißen Lichtquellen hinterleuchtet werden. Sie haben zudem ein sehr hohes Kontrastverhältnis von 10.000:1, einen großen Blickwinkelbereich von bis zu 170°, eine hohe maximale Schaltgeschwindigkeit und eine sehr geringe Einbautiefe von nur 0,7 bis 2,0 mm.

In der Allgemeinbeleuchtung haben sich OLED bisher noch nicht als Massenprodukt durchgesetzt. Bekannte OLED-Hersteller wie Philips, Osram oder Novaled fertigen bereits OLED-Kacheln mit einer Lichtemissionsfläche von bis zu 100 cm<sup>2</sup>. Die Leistungsdaten von 20–30 lm/Watt, Lebensdauern von 10.000 Stunden (L70B50) und der hohe Preis der Produkte erlauben aber bisher nur ihren Einsatz in einem hochpreisigen Leuchten-Nischenmarkt. Das größte technische Problem ist bis heute die geringe Lebensdauer von blauen organischen Emitterschichten. Die nähere Zukunft wird zeigen, ob OLED auch einen festen Platz in der Allgemeinbeleuchtung erobern werden.

# 9

# Scheinwerfer

Die Einteilung der Scheinwerfer kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen: Entweder nach Bauweise (Aufbau der optischen Systeme), nach Verwendungszweck (Theater, TV-Sendung, Film, Konzert) oder der historischen Entwicklung.

In ihrem Aufbau sind Scheinwerfer alle ähnlich. Gehäuse, Lichtquelle mit Lampenfassung, optisches System mit Reflektor und/oder Spiegel, siehe Bild 9.1 rechts. Das optische System der Scheinwerfer unterteilt sich nach ihren Funktionen in zwei Gruppen. Das lichtsammelnde und das abbildende System. Jeder Scheinwerfer besitzt mindestens eine Komponente des lichtsammelnden Systems. Die abbildenden Komponenten bestehen in den meisten Fällen aus einer Sammellinse oder zwei gegeneinander verschiebbaren Sammellinsen. Die Sammellinsen sind in der Regel Plankonvex- oder Bikonvexlinsen. Im Bereich der Moving Lights gibt es Bauformen, deren abbildendes System aus hochwertigen Projektionsoptiken besteht.

Zusätzlich verfügen manche Scheinwerfer noch über zusätzliche optische Systeme wie Prismen, Gobos, Farbfilter (Moving Lights) sowie auch über ein mechanisches System, um die Strahlung zu begrenzen oder zu lenken. Als Lichtquellen kommen verschiedene Lampentypen zum Einsatz (Halogenlampen, Leuchtstofflampen, Metalldampflampen und LEDs verschiedenster Ausführungen).

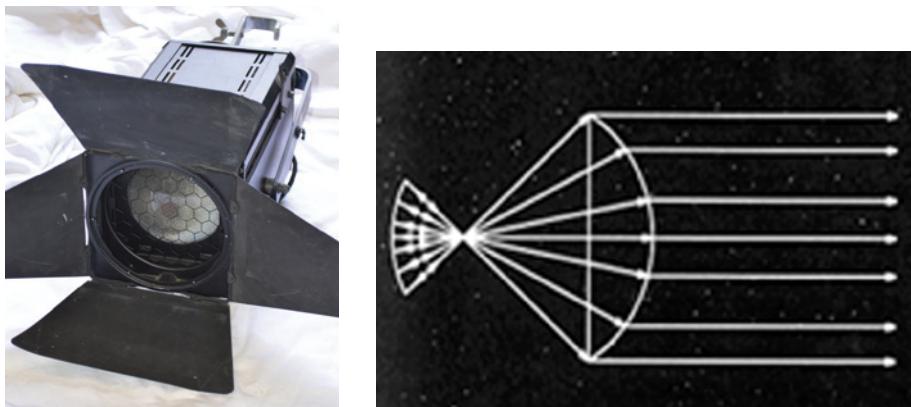
Zuerst werden Scheinwerfer aus dem Bühnen- und TV-Bereich betrachtet, um dann zu den Besonderheiten von „intelligenten Scheinwerfern“ wie Moving Heads zu kommen.

## ■ 9.1 Konventionelle Scheinwerfer

Als konventionelle Scheinwerfer bezeichnet man den Plankonvex-Scheinwerfer (PC-Scheinwerfer), den Stufenlinsenscheinwerfer (Fresnelscheinwerfer) und den Profilscheinwerfer.

### 9.1.1 Plankonvex-Scheinwerfer (PC-Scheinwerfer)

Der Plankonvex-Scheinwerfer ist der Ursprungsscheinwerfer, der in seiner Form vor rund 100 Jahren entwickelt und dessen Form über die Jahre kaum verändert wurde. Sein Anwendungsgebiet liegt im Theater- und Fernsehbereich.



**Bild 9.1** links: Plankonvex-Scheinwerfer, rechts: schematischer Verlauf des Lichtstrahlengangs mit Spiegel, Lichtquelle und Plankonvexlinse

Die Lichtquelle befindet sich in der Regel im Mittelpunkt eines Spiegels. Diese Spiegelform reflektiert alle aus dem Mittelpunkt kommenden Lichtstrahlen an den Ausgangspunkt (Mittelpunkt) zurück. In der Praxis wird eine Abbildung der Lichtquelle angestrebt, die versetzt neben der eigentlichen Lichtquelle steht. Die Glühwendel oder Entladungslampen werden so vor übermäßigen Temperaturbelastungen bewahrt. Um das divergierende Licht zu sammeln, besitzt der Plankonvexscheinwerfer eine Plankonvexlinse, deren plane Fläche eine feine Oberflächenstruktur besitzt. Sie verhindert bzw. verringert farbige Ränder des Lichtwurfs aufgrund der chromatischen Aberration. Diese Plankonvexlinse ermöglicht einen mehr oder weniger parallelen Lichtstrahl.

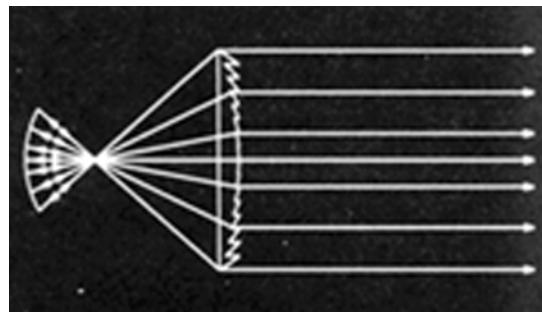
Der Plankonvex-Scheinwerfer besitzt die Möglichkeit, durch die Verschiebung des Leuchtmittels zwischen dem Brennpunkt und der Linse den Lichtstrahl bzw. die Lichtaufweitung „weicher“ (Spot-Einstellung) oder „härter“ (Flood-Stellung) einzustellen.

Im Theater und Bühnenbereich wird der PC-Scheinwerfer gerne eingesetzt, da er nur ein geringes Nebenlicht zur Folge hat. PC-Scheinwerfer gibt es üblicherweise nur bis zu 2-KW Leistung, da die größeren Plankonvexlinsen zu teuer sind.

### 9.1.2 Stufenlinsenscheinwerfer (Fresnelscheinwerfer)

Der Stufenlinsenscheinwerfer ist ein universell einsetzbarer Scheinwerfer sowohl im Bühnen- wie auch im TV-Bereich.

Die Stufenlinsen sind Sammellinsen, die in ihrem Aufbau einer asphärischen Plankonvexlinse gleichen. Entsprechend der Kontur einer Konvexlinse besitzt die Stufenseite konzentrisch angeordnete Wirkflanken. Ähnlich wie bei der Prismenkonvexlinse ist die plane Seite aufgeraut, um die Absätze der Stufen im Lichtwurf nicht sichtbar erscheinen zu lassen. Ein Vorteil der Stufenlinse gegenüber der Plankonvexlinse ist die große Materialeinsparung. Ein geringeres Gewicht und eine kleinere Wärmeabsorption zeichnen sie aus. Ihr Steu Lichtanteil ist jedoch bedeutend höher als der einer Plankonvexlinse.



**Bild 9.2** links: Stufenlinsenscheinwerfer Firma ARRI, rechts: schematischer Verlauf des Lichtstrahlengangs mit Spiegel, Lichtquelle und Fresnellinse

Eine genaue Begrenzung des Lichtwurfs mit Hilfe von Torblenden ist nicht möglich. Es entsteht ein weicher Helldunkel-Verlauf an den Rändern des Lichtkegels. Die Stufenlinsenscheinwerfer werden häufig dort eingesetzt, wo ein starkes, gleichmäßiges, gerichtetes Licht gefordert ist. Die Stufenlinsenscheinwerfer werden als Kunstlicht- und Tageslichtscheinwerfer gebaut. Die Baugrößen variieren bei den Kunstlichtscheinwerfern zwischen 500 W und 20 kW und bei den Tageslichtscheinwerfern zwischen 575 W und 6 kW.

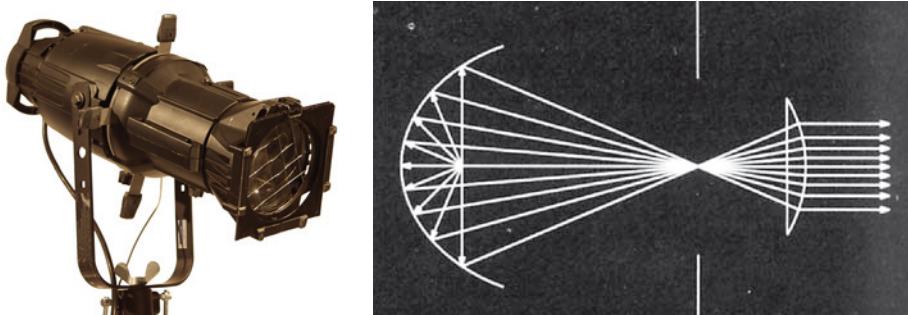
### 9.1.3 Profilscheinwerfer

Der Profilscheinwerfer ist zur Projektion von Formblenden, Gobos und Strukturgläsern ausgelegt. Die eingebaute Optik ermöglicht dabei präzise Verstellmöglichkeiten des Lichtkegels und der Lichtkreis kann durch die eingebauten Blendenschieber auf eine jeweils gewünschte geometrische Form begrenzt werden. Viele Bauformen verfügen über eine Irisblende, mit der der Lichtkreisdurchmesser verändert werden kann. Den Profilscheinwerfer kann man in mehrere Varianten unterscheiden (Ellipsenspiegel-Linsenscheinwerfer, Zoom-Profilscheinwerfer und Verfolgerscheinwerfer).

#### 9.1.3.1 Ellipsenspiegel-Linsenscheinwerfer

Bei dem Ellipsenspiegel-Linsenscheinwerfer besteht das optische System aus Linse und Ellipsenspiegel. Vorteil des Ellipsenspiegels mit zwei Brennpunkten ist die scharfe Lichtkreisabgrenzung. Zusätzlich erlauben verstellbare Blenden, sogenannte Schieber, den Lichtkreis variabel zu verändern.

Der Einschub für Gobos, Irisblende und Blendenschieber befindet sich in der Nähe des vorderen Brennpunktes in drei Ebenen. Scheinwerfer mit einer Festbrennweite besitzen als abbildendes System nur eine Sammellinse. Die Schärfe lässt sich über das Verschieben der Sammellinse einstellen.



**Bild 9.3** links: Profilscheinwerfer „Source Four“ der Firma ETC, rechts: schematischer Verlauf des Lichtstrahlengangs mit Ellipsenspiegel, Lichtquelle, Blendenschieber und Linse

Dieser Scheinwerfer wird vor allem zum Ausleuchten von klar definierten Bereichen und Dekoelementen am Fernsehset eingesetzt. Bei amerikanischen Theaterproduktionen wird dieser Scheinwerfer als Frontlicht eingesetzt. Eine verbreitete Bauform der Ellipsenspiegel-Linsenscheinwerfer besitzt mit einer speziellen 575-W-Halogenlampe sehr hohe axiale Lichtstärken (ETC-Source Four).

#### 9.1.3.2 Zoom-Profilescheinwerfer

Zoom-Profilescheinwerfer haben im Vergleich zu den klassischen Profilescheinwerfern zwei Linsen und damit den Vorteil, den Lichtkreisdurchmesser ohne Umbau des Scheinwerfers und ohne größere Einbußen des optischen Wirkungsgrades verändern zu können. Die Brennweiteinstellung erfolgt über die vordere Linse. Die Schärfe kann nachgestellt werden. Die variablen Halbstreuwinkelbereiche liegen größtenteils bei 15° bis 30° und 25° bis 50°. Die Festbrennweiten liegen zwischen 5° und 50°.

#### 9.1.3.3 Verfolgerscheinwerfer

Verfolgerscheinwerfer sind in vielen Fällen Profil- oder Parabolspiegelscheinwerfer. Sie besitzen Griffe und sind beweglich auf Stative montiert. Sie können Darsteller oder bewegliche Gegenstände mit einem zusätzlichen Licht erhellen, ohne die Gesamtlichtstimmung des Bühnenbildes zu verändern. Ihr beweglicher Lichtkegel kann manchmal als störend empfunden werden. Die Baugrößen und die Lichtquellen variieren stark. Halogen-Glühlampen (Netzspannungs- und Niedervoltlampen), Halogen-Metaldampflampen und Xenonlampen werden als Leuchtmittel verwendet. Die Baugrößen liegen zwischen 500 W (Niedervolt-Halogenglühlampe) und 4000 W (Xenon-Hochdrucklampe).

## ■ 9.2 Parabolspiegel-Scheinwerfer

Eine sehr häufig angewandte optische Anordnung ist die Verwendung des Parabolspiegels, wobei sich die Lichtquelle im Brennpunkt des rotationssymmetrischen Parabolspiegels befindet. Die Lichtführung erfolgt über einen Hilfspiegel (Kugelspiegel), der direkt auf dem Glaskolben des Leuchtmittels angebracht ist.

Man unterscheidet zwei Typen von Parabolspiegelscheinwerfern. Der klassische Parabolspiegelscheinwerfer besitzt keine zusätzlichen Linsen und wird mit Niedervoltlampen (12 V/24 V) betrieben. Der PAR-Scheinwerfer ist ein einfacher konstruierter Parabolspiegelscheinwerfer mit 230V-Lichtquellen, siehe Abschnitt 9.2.1

Vorteil der Niedervolttechnik ist die verbesserte Glühwendelausführung und damit bedingt auch eine etwas höhere Farbtemperatur. Die Niedervolt-Lichtquelle ermöglicht mit ihrer hohen Leuchtdichte ein punktuellenes und sehr brillantes Licht. Die Scheinwerfer können durch den hohen Bündelungsgrad auf sehr großen Distanzen (bis zu 80 m) eingesetzt werden. Die Nennspannung der Niedervoltlampen liegt zwischen 12 V und 24 V. Der erforderliche Transformator ist meist im Gehäuse des Scheinwerfers eingebaut. Die Leistungsaufnahmen liegen zwischen 100 W und 1 kW. Der einzelne Scheinwerfer wird zur punktuellen Akzentuierung und als Verfolgerscheinwerfer verwendet. Eine Rampenform (Svoboda-Rampen) mit neun in Reihe geschalteten 12 V, 250-W-Lampen wird zur Erzeugung von Lichtvorhängen genutzt.

Im Showbereich werden sehr gerne sogenannte Blinder eingesetzt. Meist bestehen sie aus 8 PAR-36-Lampen (28 V) mit sehr engem Lichtaustrittswinkel, die in Reihe geschaltet sind, um die Lampen ohne Transformator direkt an 230 V anzuschließen, siehe Bild 9.4. Diese Blinder werden sehr gerne als Frontlicht in Richtung Publikum eingesetzt, um das Publikum wirkungsvoll an manchen Stellen des Musikstücks zu blenden. Ab und zu wird dafür auch der Begriff ACL (Aircraft Landing Lamps) verwendet. Der Name leitet sich vom Verwendungszweck ab, als Landescheinwerfer bzw. Orientierungslichter für Flugzeuge zu dienen.



**Bild 9.4** 8er-Blinder

### 9.2.1 PAR-Scheinwerfer (Parabolspiegelscheinwerfer)

Der PAR-Scheinwerfer, ein einfach aufgebauter Parabolspiegelscheinwerfer, besteht aus einer fertigen Einheit in die eine 230-V-Hochvoltglühlampe eingebaut ist mit Parabolreflektor und Frontglas, sowie einem Blechtubus. Der Spiegel (parabolischer Reflektor), die Wendel und die

Frontlinse bilden eine Einheit (Sealed Beam) und können auch nur gemeinsam ausgetauscht werden. Durch diese kompakte Bauweise ist gewährleistet, dass das Leuchtmittel immer exakt fokussiert ist, da die Glühwendel im Brennpunkt fixiert ist.

Zur Befestigung von Farbfiltern befinden sich am Ende des Blechtubus entsprechend Halterungen. Die Tubenlängen gibt es in zwei Ausführungen. Für die Benutzung von breitstrahlenden CP62-Lampen ist es sinnvoll, die kurze Tubenlänge (sn = short nose) zu wählen, um den gesamten Abstrahlbereich nutzen zu können.



**Bild 9.5** links: PAR-Scheinwerfer, Mitte: Pressglaslampe CP 60, rechts: Vorderansicht einer Pressglaslampe CP 62

Neue Bauformen, die am Theater noch keine große Verbreitung gefunden haben, sind mit einer Halogen-Metaldampf-Höchstdrucklampe ausgestattet. Die Lampe steht fest im Brennpunkt eines Parabolspiegels. Unterschiedlich starke Diffusionsgläser können vor dem Lichtaustritt montiert werden, wodurch sich der Streuwinkel verändert. Die Streuwinkel liegen in Bereichen zwischen 9° und 58°. Diese Scheinwerfer sind auf eine hohe axiale Lichtstärke optimiert, was auf Kosten einer gleichmäßigen Lichtstärkeverteilung geht. Die Leistungsaufnahmen gehen bis zu einer Größenordnung von 12 kW.

### 9.2.2 Unterscheidung PAR 36, PAR 56, PAR 64

Man unterscheidet bei den PAR-Scheinwerfern verschiedene Typen (PAR 36, PAR 56, PAR 64). Die Bezeichnung 64 bei dem PAR 64 entspricht dem Linsendurchmesser des Scheinwerfers in Zoll/10. D.h. 6,4 Zoll = 162 mm Durchmesser der Linse (1 Zoll = 25,4 mm). Entsprechend lassen sich die Linsendurchmesser für PAR 36 (91,5 mm), PAR 56 (142 mm) berechnen. PAR 36-Scheinwerfer werden mit 150 W Leuchtmittel bestückt. PAR 56 mit 300 W, PAR 64 wahlfweise mit 500 W oder 1000 W.

Die eingesetzten Leuchtmittel unterscheiden sich in ihrer Glasstruktur. CP 60 besitzt ein klares Glas und ermöglicht einen engstrahlenden Lichtaustritt. CP 61 besitzt ein mattiertes Glas und ist mittelbreitstrahlend. CP 62 besitzt ein geriffeltes Glas und ist breitstrahlend, siehe auch Bild 9.5 rechts und wird am häufigsten eingesetzt.

## ■ 9.3 Flächen- und Horizontleuchten

Reine Reflektorsysteme sind Scheinwerfer, die mittels eines Spiegels das Licht der Lichtquelle richten und bündeln. Sie besitzen kein Linsensystem. Die Flächenleuchten und Horizontleuchten besitzen einen Rinnenspiegel als lichtsammelndes System. Sie sind die einfachste Form eines Scheinwerfers. Ihre gerichtete Lichtabstrahlung erfolgt indirekt über den Rinnenspiegel und direkt über das Licht der stabförmigen Halogen-Glühlampen.

Die Flächenleuchte besitzt aufgrund eines symmetrischen Spiegels auch eine symmetrische Lichtabstrahlung. Analog dazu hat die Horizontleuchte mit ihrem asymmetrischen Rinnenspiegel eine asymmetrische Lichtabstrahlung. Der Lichtwurf beider Leuchten ist sehr gleichmäßig (flächig). An den Rändern verringert sich die Lichtstärke sprungartig. Viele Bauformen der Flächen- und Horizontleuchten bestehen aus drei oder vier einzelnen Kammern (Einheiten mit Reflektor und Lampe). Die Kammern können unabhängig voneinander betrieben werden. Gute Voraussetzungen zur additiven Farbmischung ergeben sich durch das Einfärben der Kammern mit unterschiedlichen Farben.



**Bild 9.6** Horizontleuchten

Die Horizontleuchten (siehe auch Bild 9.7 im Farbteil auf Seite 157) werden speziell zur Ausleuchtung von großflächigen Horizonten oder Prospekten etc. verwendet. Ihre asymmetrische Lichtabstrahlung ermöglicht eine geringe Distanz zu den zu beleuchtenden Flächen. Weitere Einsatzformen finden Flutlichtstrahler in den Oberlichtern und als Fußrampen. Die Leistungsgrößen liegen zwischen 100 W und 5000 W.

## ■ 9.4 Zubehör

An dieser Stelle sollen noch einige Details über das Zubehör von Scheinwerfern erläutert werden.

### Torblenden

Die Torblenden dienen zur Begrenzung des Lichtwurfs. Sie bestehen aus zwei bis vier dreh- und schwenkbaren Metallblechen, die am Scheinwerfer montiert sind.

## Blendenschieber

Blendenschieber sind Metallblenden, die im Bereich der Projektionsebene eines Profilscheinwerfers in den Lichtstrahl geschoben werden. Sie ermöglichen ein exaktes Beschneiden des Lichtstrahls.

## Irisblende

Die Irisblende ist eine mechanische, kreisförmige Lamellenblende. Sie ist im optischen System des Scheinwerfers so angeordnet, dass sie den Streuwinkel des Scheinwerfers beeinflussen kann. Je nach Anordnung oder Einstellung der Brennweite kann sie zum Dimmen des Scheinwerfers genutzt werden.

## Verdunklungsblende

Die mechanischen Verdunklungsblenden bieten die einzige Möglichkeit, Entladungslampen wie z. B. Halogen-Metalldampflampen bis auf null Prozent zu regulieren. Zum Verdunkeln werden waagerechte, senkrechte oder turbinenförmig angeordnete Lamellen in den Strahlengang gedreht. Einige Bauformen lassen Stroboskopeffekte zu.

## Gobo (Vignette)

Gobos sind Projektionsvorlagen für Scheinwerfer. Konventionelle Gobos sind aus dünnem Blech hergestellt. Sie ermöglichen die Projektion von Mustern und Formen.

Im Bereich der Moving Lights werden Gobos verwendet, deren Trägermaterial ein temperaturbeständiges Glas ist. Die Glasträger können mit hochauflösenden Grafiken oder Farben individuell beschichtet werden.

## Diffusionsfilter

Die Diffusionsfilter dienen dazu, den Streuwinkel einer Lichtquelle bzw. eines Scheinwerfers zu vergrößern, um eine gleichmäßige Lichtverteilung zu erzielen, einen weichen Lichtverlauf an den Rändern zu erhalten oder den Farbfehler einer Linse unsichtbar zu machen. Es lassen sich drei Arten von Diffusionsfiltern unterscheiden.

- Tüllgewebe und Draht-Gaze werden hauptsächlich im Film- und Fernsehbereich eingesetzt.
- Frostfolien oder Weichzeichner (WZ) sind Diffusionsfilter aus matten Folien oder strukturiertem Glas in verschiedenen Diffusionsstärken.
- Silk oder Brushed Silk ermöglichen es, einen Lichtstrahl in eine Vorzugsrichtung zu streuen. Das Silk ist eine Folie.

## Bedienstange

Um die Scheinwerfer in ca. 5–6 m Höhe im Theater, aber vor allem im Fernsehstudio einzurichten (zu fokussieren), benutzt man sogenannte Bedienerstangen, die ausziehbar sind. Damit können die an den Scheinwerfern angebrachten Drehknäufe, auch „**Glocken**“ genannt, bedient und die Scheinwerfer gedreht oder geschwenkt werden. Mit dem blauen Drehknauf kann die PAN-Richtung (horizontal) verändert werden, mit dem weißen Drehknauf die TILT-Richtung (vertikal). Der gelbe Drehknauf ist für die Lichtcharakteristik (hart/weich bzw. spood/flood) bzw. die Lichtkegelgröße zuständig (siehe Bild 9.8 im Farbteil auf Seite 158).

## Anschlagmittel für Scheinwerfer

Um die Scheinwerfer auf den Traversen zu befestigen bzw. in Kurbelstativen zu halten oder in Rohrwellenzügen zu fixieren, gibt es eine Vielzahl von Haltern bzw. Klemmen. Die typischen Halterungen sind sogenannte C-Klemmen.

Das Aufhängen von Lasten birgt immer ein Risiko. Daher müssen Lasten immer sekundär gesichert werden. Bild 9.9 zeigt eine Übersicht über verschiedene Anschlagmittel.

Anschlagmittel	G-Haken	C-Haken	Halbschelle	Doppelschelle	Magic Klammer	TV-Klammer	Safety	Rundslinge
Bild	A grey metal hook-shaped clamp.	A blue metal C-shaped clamp.	A grey metal half-loop clamp.	A grey metal double-loop clamp.	A black plastic magic clamp.	A black plastic TV clamp.	A grey safety lanyard.	A green and blue coiled safety lanyard.
zu beachten	Kann nur Lasten aufnehmen, die senkrecht nach unten hängen!	Kann nur Lasten aufnehmen, die senkrecht nach unten hängen!	Kann Lasten in beliebiger Drehung an Rohren befestigen!	Dient zur Verbindung zweier Rohre in beliebiger Position!	Kann Lasten in beliebiger Drehung an Rohren befestigen!	Sollte im Idealfall auch nur Lasten senkrecht nach unten aufnehmen	Muss immer als Zusatzsicherung verwendet werden! Muss das 10fache Gewicht der zu sichernden Last tragen!	Kann zum Anhängen von Lasten und Traversen genutzt werden, bedarf aber immer einer Zweisicherung!

**Bild 9.9** Überblick Anschlagmittel

## Steckverbinder

In der Veranstaltungstechnik existiert eine große Anzahl von Steckverbindern. Bild 9.10 zeigt einige der gängigen Steckverbindungen.

Steckverbinder	DMX 3pol	DMX 5pol	Kaltgeräte	Schukostecker	CEE 16 A 3pol 6h	CEE 16 A 5pol 6h	CEE 32 A 5pol 6h	Hartig HAN 16
Bild	A black DMX 3-pin connector.	A black DMX 5-pin connector.	A black cold equipment connector.	A black Schuko power plug.	A blue CEE 16A 3-pin connector.	A red CEE 16A 5-pin connector.	A red CEE 32A 5-pin connector.	A grey Hartig HAN 16 connector.
Leistung	2300 W	3680 W	3680 W	11040 W	22080 W	29440 W		
Strom	10 Ampere	16 Ampere	16 Ampere	3 x 16 Ampere	3 x 32 Ampere	8 x 16 A (Theorie)		
Spannungen	ca. +5 V	ca. +5 V	230 V	230 V	230/400 V	230/400 V	230 V	
Belegung	Pin1 Ground Pin2 Data 1- Pin3 Data - Pin4 Data 2- Pin5 Data 2+	Pin1 Ground Pin2 Data 1+ Pin3 Data 1- Pin4 Data 2+ Pin5 Data 2-	Pin Mitte Erde Pin Links L Pin Rechts N	Pin Mitte Erde Pin Links L Pin Rechts N	Pin Mitte Erde Pin Links L Pin Rechts N	Dicker Pin Erde Dann von erde ausgehend L1 bis L3 und N	Dicker Pin Erde Dann von erde ausgehend L1 bis L3 und N	Unbedingt auf Angaben vom Hersteller achten und Techniker fragen!!
Verwendung	DMX gängig	DMX neu	viele Geräte	Standard	neuer Theaterstandard	Stromverteiler	Dimmer/ Stromverteilungen	Last-Multicoreleitungen
zu beachten	nie mehr als 32 Geräte		korrekter Sitz und Belegung	Stecker einwandfrei?	Kabel korrekt	Kabel korrekt	Kabel korrekt	Fester Sitz der Verbindung
Unter Last stecken?	JA	JA	JA	JA	JA	NEIN	NEIN	NEIN

**Bild 9.10** Übersicht Steckverbindungen

## ■ 9.5 Moving Lights und Moving Heads

Seit mehreren Jahren werden im Fernsehbereich auch Moving Lights, d. h. Scheinwerfer mit beweglichem „Kopfteil“ eingesetzt. Ursprünglich kamen diese Scheinwerfer aus dem Rock'n'Roll-Bereich, finden aber immer mehr Einsatzgebiete in den Fernsehformaten.

Vorteil dieser beweglichen Scheinwerfer ist nicht nur die schnelle Veränderung des „Kopfes“ (Lichtaustrittsrichtung), sondern auch die Möglichkeit des schnellen Farbwechsels mit eingesetzten Farbfiltern. Weitere Effekte lassen sich durch eingebaute, rotierende Gobos (Metall- oder Glaslogos mit Schriften, Icons oder sonstigen Strukturen) erzeugen.

### 9.5.1 Moving Lights (Multifunktionsscheinwerfer)

Im Bereich der Musical und Theaterbeleuchtung haben Moving Lights in den letzten Jahren sehr an Einfluss gewonnen. Ursprünglich für den Musik- und Showbereich entwickelt, besitzen sie viele Effektlichtfunktionen. Daneben verfügen sie über Eigenschaften, die das konventionelle Theaterlicht sinnvoll unterstützen und ergänzen können. Sie werden in den meisten Fällen mit Halogen-Metaldampf-Hochstdrucklampen betrieben, deren Leistungsaufnahme zwischen 250 W und 4000 W liegt. Die Lichtqualität der Moving Lights lässt sich in zwei Gruppen einteilen, Washlights und Spotlights.

#### Folgende Funktionen kennzeichnen die Moving Lights:

- motorgesteuerte vertikale (TILT) und horizontale Bewegung (PAN)
- subtraktive Farbmischeinheit mit dichroitischen Farbfiltern
- dichroitische Farbfilter
- mechanischer Dimmer
- Shutter für Stroboskopeffekte
- motorische Irisblende



**Bild 9.11** links: Washlight Typ MAC 2000, rechts: Spotlight Typ MAC 575, beide Moving Lights von der Firma Martin

### 9.5.1.1 Washlights

Die Washlights entsprechen in ihrer Lichtqualität den Stufenlinsenscheinwerfern. Die Lichtverteilung ist je nach Bauform sehr unterschiedlich. Viele Hersteller optimieren ihre optischen Systeme auf eine maximale axiale Lichtstärke, was teilweise zu einer sehr schlechten Lichtverteilung führt. Die Spotlights entsprechen in ihrer Lichtqualität den Profilscheinwerfern. Ebenso wie bei den Washlight, variiert die Güte der Lichtverteilung je nach Bauform und Hersteller.

#### Zusätzliche Funktionen der Washlights:

- drehbarer Beamshaper (zur Ausrichtung der Lichtabstrahlung in eine Vorzugsrichtung)
- Diffusionsgläser

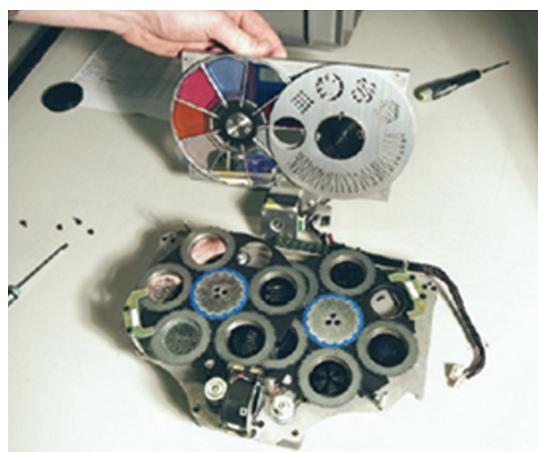
In den Washlights sind meistens CMY-Farbmischsysteme eingebaut, die über hochwertige CMY-Filter eine sehr gute und weitläufige Farbauswahl ermöglichen. Mancher Moving Light (z. B. MAC-Viper-Profile) besitzt dabei noch zusätzliche Farbgläser, um Farben noch „satter“ zu erhalten.

### 9.5.1.2 Spotlights

Spotlights sind bewegliche Scheinwerfer, die vor allem einen engstrahlenden Lichtstrahl aussenden können und über mehrere Effekt- und Goboräder verfügen.

#### Zusätzliche Funktionen der Spotlights:

- motorisch veränderbare Schärfeeinstellung
- motorisch veränderbare Brennweiteneinstellung
- Goboräder (Einheit mit mehreren Gobos)
- rotierende Gobos
- Effekträder mit Prismen und Diffusionsgläsern



**Bild 9.12** Effekträder mit Gobos und Farbrad



**Bild 9.13** Goboräder, eingebaut im MAC 2000 Profile, Firma Martin

**Tabelle 9.1** Beschreibung der Gobos des MAC 2000 Profile

Goborad 1		Goborad 2		Goborad 3	
Position	Name	Position	Name	Position	Name
1	Jet Fan	1	Limbo Donut	1	Red
2	Pipe Dreams	2	Triangle Cones	2	Green
3	Double Worms	3	Congo Star	3	Blue
4	Inverted King Star	4	Space Sun	4	UV
5	Limbo	5	Waves	5	Triple Cone
				6	Highways
				7	Dots

In Bild 9.13 sind verschiedene Goboräder, eingebaut im MAC 2000 Profile, dargestellt. Goborad 1 mit fünf Gobos, Goborad 2 mit fünf rotierbaren Gobos und Goborad 3 mit sieben verschiedenen Gobos, davon vier mit Farbgläsern.

Um die Farbtemperaturen ändern zu können, besitzen manche Moving Lights lineare CTO-Filter (CTO = Colorchange to Orange) zur Erzeugung von warmweißen Farbtemperaturen. Integrierte Frostfilter lassen die Gobo-Designs weicher erscheinen und ermöglichen ein nahtloses Überschneiden mehrerer Projektionen.

### 9.5.2 Scanner

Neben den optischen Systemen wird zwischen kopfbewegten Multifunktionsscheinwerfern (Moving Lights, oftmals auch Moving Heads genannt) und spiegelabgelenkten Multifunktionsscheinwerfern (Scannern) unterschieden. Die Bewegung des Lichtkegels wird beim Moving Head durch die Bewegung der gesamten Kopfeinheit erreicht. Der Scanner erzielt den gleichen Effekt durch die Bewegung eines Umlenkspiegels. Die Scanner haben i. d. R. eine schnellere Pan-Tilt Bewegung. Spotlights werden als Scanner und Moving Heads, Washlights nur als Moving Heads hergestellt.

### 9.5.3 B-Mover

In neuerer Zeit werden komplett Beamer in bewegte Scheinwerferbügel eingebaut und verbinden damit die Möglichkeit, Beamer auch zu bewegen. Diese Sonderform wird B-Mover genannt und immer häufiger in Events eingesetzt.

### 9.5.4 LED-Scheinwerfer

Der Einsatz von LED-basierten Scheinwerfern, vor allem als Washlights mit 30/60/90 oder mehr LEDs ist immer mehr im Kommen. Auch völlig auf LED bzw. LED-Engines basierende Scheinwerfer sind im Einsatz.



**Bild 9.14** links: LED-Washlight A7 mit 108 Luxeon Hochleistungs-LEDs, variables optisches Zoomsystem 8°–36°, rechts: LED-Washlight A12 mit 61 RGBW-Multichip-LEDs (beide Scheinwerfer Firma JB Lighting)

Hier gibt es bereits eine sehr große Auswahl an Scheinwerfern. Entweder in einer Standardbestückung von roten, grünen und blauen LEDs. Oder als Gerät mit reinweißen LEDs in verschiedenen Farbtemperaturen (JBLED A7 mit einer Bestückung aus zwei Dritteln kaltweißen und einem Drittel amberfarbenen LEDs) oder auch nur mit kaltweißen (Messepräsentationen) oder mit warmweißen LEDs bestückt, die sich als Frontlicht für Bühnen und Theater eignen.

## ■ 9.6 Spezielle Scheinwerfer im Filmbereich

Im Filmlicht werden neben den klassischen Scheinwerfern wie Fresnelscheinwerfer (Linsenscheinwerfer) sehr oft Scheinwerfer mit breitstrahlender und/oder weichstrahlender Lichtcharakteristik eingesetzt, um eine weiche Ausleuchtung von Personen zu erzielen. Gerade im Filmbereich und dort bei „Close“-Aufnahmen, d. h. nur das Gesicht ist sichtbar, soll gerade dieses Gesicht des Schauspielers oder der Schauspielerin eine sehr gleichmäßige und weiche Beleuchtung erhalten, in der kaum oder gar keine Schatten vorhanden sein sollten.

### 9.6.1 Dedo-Light

„Dedo-Lights“ sind im Prinzip kompakte, kleine Fresnelscheinwerfer, eng fokussierbar mit einer Lampenleistung von 50 W oder 100 W, angeschlossen an eine 12 V Spannungsversorgung, entwickelt von dem Kameramann Dedo Weigert, München. Neben der Kompaktheit zeichnen sich diese Scheinwerfer dadurch aus, dass sie mit vielen optischen Accessoires bestückbar sind.



Bild 9.15 Dedo-Light (Firma Dedo Weigert)

### 9.6.2 Fresnelscheinwerfer hoher Leistung

Im Filmbereich werden sehr oft Linsen- bzw. Fresnelscheinwerfer mit hohen bis höchsten Leistungseinheiten eingesetzt (z. B. HMI-Scheinwerfer mit bis zu 18 KW-Lampenleistung), um eine „sonnenähnliche“ Beleuchtung zu erzeugen.

### 9.6.3 Weichstrahlende Scheinwerfer

Um eine weiche Ausleuchtung von Personen zu erhalten, werden im Fernsehbereich, insbesondere bei Nachrichtensendungen, sehr oft Scheinwerfer eingesetzt, die eine große leuchtende

Fläche erzeugen, d. h. „weichzeichnend“ sind, um das Gesicht der Nachrichtensprecherin oder des Nachrichtensprechers perfekt auszuleuchten.

### 9.6.3.1 Kino-Flo

Im Filmbereich hat es sich teilweise eingebürgert, nicht von einer diffus strahlenden Lichtquelle zu sprechen, sondern sehr oft werden Firmennamen als Bezeichnung für eine Lichtquelle oder sogar für eine Art der Beleuchtung verwendet, wie z.B. die Namen „Kino-Flo“ oder „Chimera“. In den achtziger Jahren entwickelte die Firma Kino-Flo Leuchtstofflampen, die den besonderen Erfordernissen der Filmindustrie entsprachen. Im Prinzip ist eine Kino-Flo-Leuchte ein portables Gehäuse mit Leuchtstofflampen, das eine breitstrahlende Charakteristik besitzt und über eine Vielzahl von Bestückungsmöglichkeiten (einlampig, zweilampig, bis zu achtlampig) mit unterschiedlichen Größen verfügt.

Die Leuchtstofflampen waren dimmbar, an die spektralen Filmemulsionen angepasst (5500 K, bzw. 3200 K), besaßen eine relative gute Farbwiedergabe ( $R_a = 95$ ), einen Sicherheitsüberzug (safety-coated) und die Vorschaltgeräte wurden mit Hochfrequenz betrieben (flicker-frei). Darüber hinaus waren die Leuchten relativ robust für den täglichen Alltag bei Filmaufnahmen konstruiert. Die gesamte Palette umfasst zur Zeit folgende Typen: Mini-Flo, Micro-Flo, Single (2ft und 4ft), Double (2ft und 4ft) 4Bank (2ft und 4ft), Flathead 80. Die meist eingesetzte „Kino-Flo“ am Filmset ist die 4Bank. Sie besteht aus einem relativ leichten Kunststoff-/Aluminumgehäuse mit vier Leuchtstofflampen die einzeln zuschaltbar sind, mit einem herausnehmbaren Raster und leicht schwenkbaren Flügelklappen. In der Zwischenzeit gibt es natürlich eine ganze Reihe von ähnlichen Leuchtstofflampenreihen anderer Hersteller.



**Bild 9.16** Weichstrahlende Leuchte mit Leuchtstofflampen (Kino-Flo)

### 9.6.3.2 Chimera

Der Begriff „Chimera“ bezeichnet, ähnlich wie der Begriff „Kino-Flo“, eigentlich den Firmennamen eines Leuchtenherstellers (Chimera Photo, Film and Video Lighting, Boulder, Colorado), wobei die Besonderheit darin liegt, dass durch spezielle Adaptringe ganz normale Fresnelscheinwerfer zu weichstrahlenden, sehr flächigen Leuchten mit dazugehörigen weichen Schatten umgebaut werden können, zu so genannten „Lightbanks“. Diese „Lightbanks“, die ihren Ursprung in der Fotografie hatten, bestehen aus einem leichten Reflektor- und Dif-

fusormaterial, das mittels Aluminiumstäben um eine Lichtquelle bzw. einen Scheinwerfer aufgespannt werden kann.

Auch hier gibt es in der Zwischenzeit mehrere Anbieter für diese „Lightbanks“, wie z. B. Lowel-Light (Bild 9.17 links) oder Rifa-Light, die die Besonderheit haben, dass sie meist eine 1-kW-Halogenglühlampe und einen weißen oder silberfarbenen, aufklappbaren Reflektorschirm besitzen, ergänzbar mit einer abschließenden weißen Diffusorfläche. Diese Lichtquellen sehen im geschlossenen Zustand aus wie ein großer Regenschirm, sind entsprechend schnell am Set aufklappbar und in Betrieb zu nehmen. Um Streulicht zu vermeiden, können sogenannte Louver oder Honeycomb Grids (bienenwabenförmige Panels) auf die vordere Diffusorfläche aufgesetzt werden, siehe Bild 9.17 rechts.



**Bild 9.17** links: weichstrahlende Leuchte Typ „Lowel-Light“, ohne Abschlussdiffuser, rechts: „Lowel-Light“ mit geschlossener Diffusorfläche und einem aufgesetzten Louver bzw. Honeycomb-Grid

# 10

# Lichtsteuerung, Lichtstellpulte und Dimmer

Lichtsteuerungen sind wichtige Elemente eines Beleuchtungssystems. Manche bezeichnen sie auch als das Herz eines Beleuchtungssystems. Mit ihnen können die entsprechenden Scheinwerfer ausgewählt und in ihrer Helligkeit verändert werden. Das Gleiche gilt für die Farben und Effekte von Moving Lights. Ganze Sequenzen können vorab programmiert, gespeichert und dann im Live-Betrieb abgerufen werden. Seit einiger Zeit werden auch großflächige LED-Wände mit Lichtstellpulten angesteuert oder Videoeinspielungen abgerufen.

Das Gebiet der Lichttechnik bei großen Veranstaltungen ist längst nicht mehr nur auf das Bedienen von Moving Lights und konventionellen Scheinwerfern beschränkt. Die Entwicklung von LEDs als zusätzliche Elemente im Bühnenbild fordert einen rasanten Anstieg an Steuerprotokollen, sodass heutige Lichtstellpulte nicht nur Scheinwerfer oder LED-Paneele mit DMX (Digital Multiplex) ansteuern, sondern die Lichtstellpulte kommen auch nicht mehr ohne Netzwerktechnik aus. Das Lichtstellpult entwickelt sich zu einer „multimedialen Steuerkonsole“, die auch Steuerbefehle im Bereich Videotechnik erteilen kann, da die Anforderungen im Bühnen- und Fernsehbereich immer mehr zu einer multimedialen Bildgestaltung mit ästhetischen und individuell gestalteten Komponenten tendieren.

## ■ 10.1 Entwicklung der Lichtsteuerung

Die Aufführungen von Theaterstücken in den griechischen Theatern bzw. den späteren Amphitheatern der Römer fand vorwiegend bei Tageslicht statt. Wenn das Theaterstück sich dann doch in den Abend hineinzog, dann waren Fackeln oder Öllampen notwendig, die aber eher mystisch wirkten, als zur Beleuchtung der „Schauspieler“ zu dienen. Eine Steuerung, geschweige denn eine Regelung der Lichtquellen war zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. Selbst im Mittelalter wurden die Theaterstücke bzw. dann meist religiöse Aufführungen auf dem Marktplatz bei Tageslicht durchgeführt. Auch das berühmte Globe-Theater zu Shakespeares Zeiten war ebenfalls ein Tageslichttheater und die Stücke wurden am Nachmittag aufgeführt.

Die ersten konkreten, jedoch noch einfachen Lichtsteuerungen wurden im 16. Jahrhundert eingesetzt, als Joseph Furtenbach zur Abdunkelung Blechbehälter benutzte, die mit Hilfe eines Seilzugs über Wachskerzen abgesenkt werden konnten und somit das Licht „gedimmt“ werden konnte.

Im Jahr 1783 erfand Aime Argand die Rübölllampe mit Docht, Zylinder und Vorratsbehälter, bei der mit Hilfe der Veränderung der Dochtlänge die „Helligkeit“ verändert werden konnte.

Mit der Erfindung des Knallgases und damit der Möglichkeit, Gas als Leuchtmittel einzusetzen, wurde eine neue Ära in der Theaterbeleuchtung hervorgerufen. Die Gasbeleuchtung ermöglichte zum ersten Mal auch eine helle und breitstrahlende Beleuchtung von Szenen und Schauspielern. Mit dem Einsatz von raffinierten Linsen und Tuben war es auch möglich, die ersten Spotlichter zu verwirklichen. Und vor allem konnte jetzt auch Licht „gesteuert“ werden, aufgeteilt in Seitenbühne und Vorderlicht. Mit der Weiterentwicklung des elektrischen Lichts, insbesondere der Glühlampe durch Edison war es nun im größeren Stil möglich, Licht bewusst zu dimmen und zu steuern.

Nach der Erfindung der Glühlampe bestand auch die Möglichkeit, das Licht über sogenannte Hebelregulatoren zu steuern, an deren Enden entweder ein Salztopf, Wassertöpfchen oder Drahtwiderstände bzw. Schiebewiderstände den Strom regulierten. Die älteste Form dieses Stellers war der „Salztopf“. Die Durchflussmenge des Stromes wurde dabei durch die Höhenverstellung der Elektroden in der Salzlösung reguliert. Das Prinzip des Wasserwiderstandes ist ein Ähnliches. Je mehr Wasser sich zwischen den beiden Kontakten befand, desto höher war der Widerstand.

Im großen Stil setzte sich die Steuerungstechnik durch das berühmte Bordoni- bzw. Salani-Regelsystem Mitte der 30er-Jahre im 20. Jahrhundert durch. Diese Systeme bestanden aus einem Stelltransformator mit der Stromabnahme über bewegte Schlitten. In den weiteren Jahren der Theaterbeleuchtung wurden alle technischen Errungenschaften nach und nach eingesetzt, seien es Thyatronröhren, Magnetbandgeräte oder Lochstreifenleser. Damit konnte auch der „Dimmerraum“ und das Lichtstellpult zum ersten Mal örtlich weiter voneinander getrennt werden, da bis dahin immer mechanische Verbindungen, d. h. Drahtseile notwendig gewesen waren.

Das Jahr 1982 brachte in der Lichtsteuerung eine entscheidende Wende. Bis dahin benutzten Lichtkonsolen und Dimmer analoge elektrische Verbindungen, d. h. jeder Dimmer besaß eine eigene Leitung. Mit der Patentanmeldung des LAN (Local Area Network bzw. EtherNet) am Palo Alto Research in den USA wurde eine neue Ära im Bereich der Lichtsteuerung eingeleitet. Etwa zeitgleich entwickelte die Firma Varilite einen eigenen Datenbus zwischen ihrem Lichtstellpult und ihren Moving Lights (Varilights) sowie weitere Firmen die ersten analogen Multiplex-Signale (AMX 192, D 54 u. a.). Diese analogen Multiplex-Signale bestanden aus einer analogen Ansteuerung mit Niedervolt-Spannungen (0–10 V, 0–15 V, 0–24 V) für die Halogenlamphäfen-Scheinwerfer bzw. die Dimmer.

Mit der Entwicklung des DMX-512 (Digitales-Multiplex-Signal)-Protokolls 1986 in den USA wurde der bisherige Bereich „digital“. Im Jahr 1990 wurde das DMX-512/1990 von der USITT (United States Institute for Theatre Technology) zum Quasi-Standard erhoben, der sich weltweit etabliert hat. Im Jahr 1994 gab es in Deutschland eine erste Gruppierung von Anwendern mit der Absicht, DMX-512 zur nationalen Norm zu erklären. 1999 wurde dann DMX-512/DIN zur Norm (DIN 56930). Im Jahr 2000 veröffentlichte die Firma Artistic Licence das Protokoll ARTNET. Im Jahr 2004 wurde DMX-512A ein neuer Standard von der USITT und ESTA.

## ■ 10.2 Grundlagen von DMX (Digital Multiplex)

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, benutzten Lichtkonsolen bzw. Lichtpulse zur Ansteuerung von Dimmern bis zum Jahr 1982 hauptsächlich analoge Verbindungen zwischen Lichtkonsole und Dimmer. Ab dem Jahr 1982 setzten sich dann analoge und digitale Multiplex-Signale in der Veranstaltungstechnik durch.

### 10.2.1 Analoge Steuerungstechnik

In der Lichttechnik bedeutet analoge Steuerungstechnik, dass für jeden einzelnen Steuerkanal des Lichtpultes eine gesonderte Leitungsader, beziehungsweise ein Adernpaar zur Verfügung stehen muss. Die Übertragung der Steuerinformation geschieht parallel als Potenzialunterschied (Spannung) zwischen der Signalleitung und einer gemeinsamen Masse.

### 10.2.2 Analoges Multiplexing

Analoges Multiplexing bedeutet, dass die zuvor parallel laufenden Steuersignale der einzelnen Kanäle nun zeitversetzt hintereinander zu einem seriellen Steuersignal zusammengefasst werden (Zeitmultiplex oder Time Division Multiplex, TDM). Zur Übertragung der Steuerinformation ist nur noch ein einzelnes Adernpaar (Signalleitung und Masse) erforderlich. Um die einzelnen analogen Steuersignale des Lichtstellpultes den zugehörigen Dimmern zuzuweisen, ist noch ein weiteres Signal zur Synchronisation notwendig. Mit diesem Synchronsignal werden Impulse übertragen, um dem Empfänger mitzuteilen, dass der nächste Analogwert für den nächsten Dimmerkanal übertragen wird.

### 10.2.3 Digitales Multiplexing

Durch die Einführung des digitalen Multiplexing-Verfahrens wurde die analoge Lichtsteuerung relativ zügig abgelöst. Die Entwicklung von Multiplexsignalen auf digitaler Basis begann in den 80er-Jahren. Zu dieser Zeit war die Elektronik der Dimmer bereits in der Lage, digitale Datenprotokolle direkt zu verarbeiten. Die Helligkeitswerte mehrerer Dimmer konnten nun in Form von einzelnen Datenpaketen auf nur einer Steuerleitung übertragen werden.

### 10.2.4 DMX-512

Der Datenbus DMX-512 ist ein digitales Multiplexverfahren, das bis zu 512 Dimmerwerte mit 8-bit-Auflösung über einen symmetrischen Datenkanal transportieren kann. Das Signal wird über einen 5-poligen XLR-Stecker transportiert, obwohl eigentlich nur drei Adern notwendig

wären. Das digitale Multiplexprotokoll DMX-512 basiert auf der seriellen Schnittstelle EIA-485 (ehemals RS-485). Pro Leitung können bis zu 512 Kanäle in Form einzelner Datenpakete mit einer Auflösung von 8 Bit übertragen werden. Die Übertragungsgeschwindigkeit liegt bei 250 kbps. Bei Vollauslastung aller 512 Kanäle liegt die Refreshrate bei 44 mal pro Sekunde.

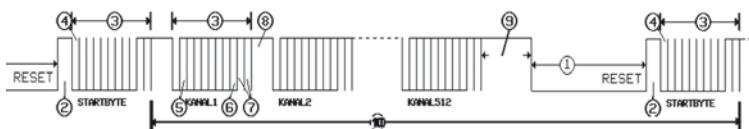
Dieses Multiplexverfahren ist heutzutage der Standard bei der Steuerung von Licht im Theater-, Event- und Fernsehbereich. Es dient als Datenbus für die Verbindung zwischen Lichtstellpult und Dimmer, aber auch zwischen Lichtstellpult und Moving Light. Dieser Datenbus, der ursprünglich für die reine Dimmersteuerung gedacht war, wird heute auch für die Ansteuerung von Moving Lights und deren Komponenten verwendet.

Der DMX-512-Datenbus wurde 1986 zum ersten Mal publiziert. 1990 wurde er als DMX-512/1990 von der USITT (United Standard of Theatre Technology) in den USA zum quasi Industriestandard erhoben. Seit 1999 ist DMX-512/DIN-56930 in Deutschland eine Norm.

### 10.2.5 Übertragungsprotokoll von DMX-512

Die Daten werden asynchron seriell übertragen. Die Pegelwerte für die einzelnen Dimmer werden sequentiell übertragen, beginnend bei Dimmer 1, aufsteigend bis max. Dimmer 512. Vor dem ersten übertragenen Wert wird ein RESET-Signal, gefolgt von einem Startbyte, übertragen. Gültige Dimmerpegel umfassen den Wertebereich 0 ... 255 (00h ... FFh). Der Bezug dieser Werte zum aktuellen Dimmer-Ausgangssignal wird nicht definiert und ist Sache des betreffenden Dimmers (kann z. B. durch eine besondere Dimmerkennlinie festgelegt werden).

Im Ruhezustand liegt die Datenleitung auf hohem Potenzial (MARK). Der aktive Pegel ist Low (BREAK, SPACE); die Begriffe MARK, SPACE und BREAK entstammen der Terminologie serieller Schnittstellen. Die Übertragung beginnt mit einem BREAK, der mindestens 88 µs Dauer aufweisen soll (2 Framezeiten). Dieser Break wird als RESET-Signal interpretiert. Alle angeschlossenen Geräte (Empfänger) müssen auf einen RESET reagieren; ein RESET beendet in jedem Falle eine laufende (auch eine nicht abgeschlossene) Übertragung.



**Bild 10.1** Datenprotokoll des DMX-512/1990-Standards

Der RESET wird von einem MARK gefolgt, der den Beginn der Datenübertragung signalisiert. Dieser MARK soll eine feste Länge von 8 µs nicht unterschreiten. Alle Empfänger müssen in der Lage sein, einen 8 µs MARK-nach-BREAK zu erkennen und auszuwerten. Empfänger, die darüber hinaus auch in der Lage sind, einen 4 µs MARK-nach-BREAK (gemäß DMX-512-Standard von 1986) erkennen und auswerten zu können, dürfen mit der Bezeichnung DMX-512/1990 gekennzeichnet werden.

Im Anschluss hieran werden n+1 Datenbytes gesendet, die die Daten für n Kanäle enthalten. Jedes Byte wird von einem Startbit (SPACE) eingeleitet und mit zwei Stopppbits (MARK) beendet. Man beachte jedoch, dass eine zu sendende 0 als BREAK, eine zu sendende 1 als

MARK gesendet wird. Das erste gesendete Byte wird als Startbyte bezeichnet und hat den festen Wert null (00h). Um zukünftigen Erweiterungen Rechnung tragen zu können, sind auch von null verschiedene Startbytes möglich; für Dimmersteuerung ist hingegen Startbyte null definiert. Angeschlossene Dimmer müssen also alle nachfolgenden Daten ignorieren, wenn ein anderes Startbyte als null gesendet wird.

Jede DMX-512-Verbindung unterstützt bis zu 512 Dimmer; eine Mindestzahl ist nicht vorgegeben. Nachdem der letzte gewünschte Wert gesendet wurde, kann die Übertragung abbrechen und die Datenleitung verbleibt auf Ruhepegel (MARK). Mit einem nachfolgenden RESET wird eine neue Übertragung eingeleitet. Zwei aufeinanderfolgende Übertragungen sollen nicht enger als 1196 µs (von Anfang BREAK bis Anfang des folgenden BREAK) aufeinanderfolgen.

### 10.2.5.1 Daten

Die Datenübertragungsrate beträgt 250 kBit/s. Daraus ergibt sich eine Bitzeit von 4 µs, entsprechend 44 µs pro Datenwort. Die Gesamtübertragungsdauer für 512 Kanäle ergibt sich im besten Falle zu  $(88+8+44+512 \cdot 44) = 22668$  us. Daraus ergibt sich eine maximale Refreshrate von 44,1 Hz.

Nr.	Signalname	Min.	Typ.	Max.	Einheit
1	RESET	88	88		us
2	MARK zw. RESET und Startbyte	8	-	1 s	us
3	Frame-Zeit	43,12	44,0	44,48	us
4	Startbit	3,92	4,0	4,08	us
5	LSB (niederwertigstes Datenbit)	3,92	4,0	4,08	us
6	MSB (höchstwertigstes Datenbit)	3,92	4,0	4,08	us
7	Stopbit	3,92	4,0	4,08	us
8	MARK zwischen Frames (Interdigit)	0	0	1,00	s
9	MARK zwischen Paketen	0	0	1,00	s

Bild 10.2 Datenübertragung DMX-512/1990-Standard

Die digitalen Steuersignale moderner Lichtstellenanlagen entsprechen heute, wenn nicht firmeneigene Übertragungscodes verwendet werden, der Spezifikation DMX-512 nach dem USITT-Standard bzw. der DIN-Norm.

### 10.2.5.2 Verkabelung

Die DMX-Verkabelung ist relativ einfach. Jedes Empfangsgerät hat eine Eingangsbuchse und eine Ausgangsbuchse. Die DMX-Leitung wird ausgehend vom Sender durch alle Empfänger durchgeschleift. An welcher Stelle sich irgendein Empfänger in der Schleife befindet, spielt keine Rolle. Die Festlegung, welche Adresse der Empfänger hat, wird durch DIP-Schalter oder bei den neuen Geräten per Touchpanel eingestellt. D.h. jedem Empfänger wird eine Adresse zugewiesen.

### DMX Booster/Splitter

Um bei DMX-Installationen das Signals zu verstärken, werden Booster eingesetzt. Damit können selbst stark gestörte Signale wieder regeneriert werden. Ein Splitter vereinfacht die Verteilung des Signals, indem es das eingespeiste DMX-Signal gleichzeitig auf mehrere Ausgänge aufteilt. Bei vielen Geräten wird das Signal zusätzlich aktiv verstärkt. Deshalb werden diese Geräte „Booster/Splitter“ genannt.

## DMX-Merger

Mit einem Merger können zwei DMX-Signalen auf eine gemeinsame Leitung zusammengefügt werden.

### 10.2.6 Neuere Entwicklungen – digitale Multiplexsignale

Für das ursprüngliche DMX-Protokoll (1990) wurde im Jahr 2004 eine Erweiterung definiert (DMX-512A), wobei die DIN-Normung (2000) schon gewisse Änderungen im Vergleich zum ursprünglichen Protokoll berücksichtigte.

#### 10.2.6.1 DMX-512A

Seit 2004 existiert der neueste Standard der USITT und der ESTA, das DMX-512A. In früheren Zeiten der Entwicklung war es unter der Bezeichnung „DMX-2000“ bekannt. Das neue DMX-512A-Protokoll ist kompatibel zu dem bisherigen Standard.

Die Ziele der Entwicklung eines erweiterten Standards waren zum einen eine höhere Übertragungssicherheit zu gewährleisten und zum anderen die Abwärtskompatibilität zum DMX-512/1990 zu garantieren. Die Spezifizierung des DMX-512A erfolgt mit der ANSI (American International Standard Institute) E1.11 und wird von der ESTA (Entertainment Services and Technology Association) definiert. Die Datenübertragungsrate beträgt auch weiterhin 250 kbps und auch die Kanalzahl, wie schon der Name vermuten lässt, bleibt bei 512 Kanälen pro Signalleitung. Der Protokollaufbau bleibt vom Prinzip her derselbe, es wurden nur einige Parameter zeitlich verändert.

#### 10.2.6.2 RDM (Remote Device Management)

RDM steht für Remote Device Management und baut auf dem DMX-Protokoll auf. RDM erlaubt Rückmeldungen, um insbesondere das Einrichten der Lichtstellpulte bei einer Lichtinstallation zu vereinfachen. Die Geräte schicken nach dem Einschalten von sich aus ihre Identifikationsnummer (UID) an das Lichtsteuerpult. Dabei nutzt das Protokoll die Zeit zwischen den einzelnen DMX-Datenpaketen, um RDM-Daten zu transportieren. RDM erlaubt sogar einen gemischten Betrieb mit älteren DMX-512-Geräten.

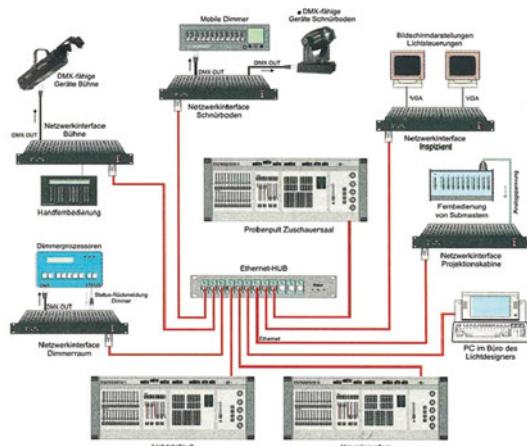
## ■ 10.3 Lichtnetzwerke

Obwohl DMX-512 als Datenübertragungsstandard sehr weit verbreitet ist, kann es nicht immer den Anforderungen von modernen Lichtsystemen Rechnung tragen. DMX-512 ist entwickelt worden, um Dimmer anzusteuern. Zur Zeit der Entwicklung war nicht abzusehen, dass über dieses Protokoll einmal ein vernetztes System verschiedener Mediengeräte angesteuert werden soll. Doch in heutigen Produktionen müssen hohe Datenmengen und verschiedene Arten von Steuersignalen transportiert werden, um den Ansprüchen Folge zu leisten.

Im Bereich der Lichttechnik findet das Ethernet-Netzwerk generell bei größeren Produktionen mit mehreren Lichtpulten und großen Datenmengen Verwendung. Es gibt verschiedene Firmen in der Veranstaltungstechnik, die eigene Lösungen zur Übertragung von DMX-512 über Ethernet entwickelt haben. Gemeinsam haben alle Firmen, dass sie ein Protokoll entwickelt haben, dass die Übertragung von DMX-512-Signalen über das Ethernet ermöglicht. Da die unteren beiden Schichten des OSI-Modells im Ethernet-Standard definiert sind, ergeben sich Unterschiede in den höheren Schichten. Zum Teil gehören die Herstellerfirmen der „ArtNet Alliance“ an und unterstützen neben dem eigenen Protokoll auch das ArtNet-Protokoll.

### 10.3.1 Ethernet

Eine Eigenschaft des Ethernet ist, dass nicht nur eine Signalart übertragen werden kann. Es besteht die Möglichkeit, verschiedene Daten schnell und gleichzeitig zu versenden, wie z. B. DMX-512-, Video- oder MIDI-Signale oder Signale zur Ansteuerung von Handfernbedienungen. Das Ethernet ist eine weit verbreitete Vernetzungstechnologie für lokale Netzwerke (LAN). Die Ethernet-Netzwerktechnik trägt zu einer wesentlichen Vereinfachung der Signalverteilung zwischen Lichtsteuerungs- und anderen beleuchtungstechnischen Geräten bei, insbesondere bei großen Events. Zugleich mindert sie auch den Aufwand des Datenaustausches bzw. der Kommunikation zwischen mehreren Lichtsteuerungen. Lichtpulte, die einen Ethernet-Port, also eine Ethernet-Schnittstelle besitzen, können direkt in die Netzwerkinstillation eingebunden werden. An welcher Stelle das Pult nun angedockt wird, spielt keine Rolle.



**Bild 10.3** Aufbauschema einer Lichtanlage mit 10BaseT-Netzwerkinstillation im Theater

#### 10.3.1.1 Aufbau eines Ethernet-Netzwerkes (Topologie)

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, ein Ethernet-Netzwerk aufzubauen:

- **Bus-Topologie:** Bei der Bus-Topologie sind alle Teilnehmer linear miteinander an ein Segment bzw. ein Haupt-Netzwerk kabel angeschlossen.

- **Ring-Topologie:** Bei der ringförmigen Anordnung von Netzwerkknoten sind die Teilnehmer an einer Art Ringleitung angeschlossen.
- **Stern-Topologie:** Bei der sternförmigen Netzwerktopologie sind alle Netzwerkteilnehmer an einem zentralen Punkt mit einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung (peer-to-peer-networking) angeschlossen.
- **Baum-Topologie:** Die Baum-Topologie wird angewendet, wenn zwischen Stationen größere Entfernung überbrückt werden müssen.

### 10.3.1.2 Netzwerkknoten/Nodes

Netzwerkknoten sind alle Teilnehmer in einem Netzwerk. Das können Lichtpulte, Dimmer oder Moving Lights mit Ethernet-Schnittstellen sein. Eine besondere Aufmerksamkeit gilt hier den Nodes. Das sind Protokollwandler, die verschiedene Protokolle vereinen und verwalten können. Diese Interfaces sind momentan noch unabdingbar innerhalb eines beleuchtungstechnischen Ethernet-Netzwerkes. Sie ermöglichen die Teilnahme des Ethernets in der DMX-Welt.

### 10.3.2 MA-Net (MA Lighting)

Das MA-Net-Protokoll ist ein hausinternes Protokoll der Firma MA Lighting. Es arbeitet mit 100 Mbps und sendet synchrone DMX-Signale aus. Auch wenn ein eigenes Protokoll existiert, unterstützt MA Lighting andere Systeme, wie z. B. ArtNet.

### 10.3.3 ArtNet

Da das ACN-Protokoll im Jahr 2000 noch nicht genormt war, aber Teillösungen notwendig waren, hat sich seit dem Jahr 2000 das ArtNet-Protokoll als eine „Überbrückungslösung“ entwickelt und zu einem Quasistandard gewandelt. Das ArtNet-Protokoll wurde von der britischen Firma Artistic Licence Anfang des Jahrtausends entwickelt. Inzwischen haben sich mehrere Herstellerfirmen aus dem Bereich der Lichtsteuerung zu der sogenannten „ArtNet Alliance“ zusammengeschlossen. Das ArtNet ist ein Protokoll, dessen Spezifikation frei verfügbar ist. Es ist ein offenes TCP/IP (UDP) basiertes Protokoll. Das bedeutet, dass das komplette Protokoll öffentlich zur Verfügung steht und jeder es verwenden kann.

### 10.3.4 ACN (Architecture for Control Networks)

Um eine erfolgreiche Kommunikation zwischen verschiedenen Komponenten herstellen zu können, ist das Ziel, zukünftig ein gemeinsames Protokoll zu benutzen. Die ESTA-Arbeitsgruppe Control Protocols Working Group (CPWG) startete 1997 die Entwicklung dieses Protokolls unter dem Namen „ANSI/ESTA BSR E1.17 Entertainment Technology-Multipurpose Network Control Protocol Suite“. Das ACN-Protokoll wird das Lichtsteuerungsnetzwerk so vereinheitlichen, dass es erlaubt wird, viele unterschiedliche Signalarten von lichtsteuerungsverwandten Daten über ein Kabel zu transportieren und Equipment von verschiedenen Herstellern miteinander zu verbinden. ACN ist als ANSI E1.17-2010 genormt. In Deutschland gibt es dafür noch keine Norm, ist aber in Vorbereitung (DIN 56930-4).

### 10.3.5 ETCNet (ETC-Electronic Theatre Controls)

Dieses Protokoll der Firma ETC ermöglicht eine Datenübertragung für DMX-512, Video und Fernbedienungen über ein Netzwerkkabel. Die erste Ausführung unterstützte die Ethernet-Standards 10Base2, -T und -F, basierend auf dem TCP/IP-Netzwerkprotokoll. Mit diesem Übertragungsprotokoll ist man in der Lage, bis zu 6 DMX-512-Linien zu übertragen. Das „update“ ETCNet2 passte sich den neuen Ethernet-Standards an. Das aktuelle Net3 von ETC basiert auf dem von der ESTA entwickelten ACN und unterstützt das RDM-Protokoll.

### 10.3.6 Power over Ethernet/LAN

Power over Ethernet bzw. Power over LAN ist ein weiterer Ethernet-Standard, der unter IEEE 802.3af spezifiziert ist. Die Veröffentlichung erfolgte im Jahr 2003. Diese Technologie ermöglicht eine integrierte Übertragung von Daten und Spannung innerhalb eines Netzwerkes und schafft so eine höhere Architecture.

### 10.3.7 Wireless DMX (kabellose Lichtsteuerung)

Der Gebrauch kabelloser Datenübertragung ermöglicht einen geringeren Verkabelungsaufwand. Außerdem können Lichtsteuerungen unter besonderen Umständen installiert werden, wo aus ästhetischen oder brandschutztechnischen Gründen kein Kabel verlegt werden kann. Kurzbezeichnungen dafür sind Wireless DMX (W-DMX) oder Funk-DMX.

## ■ 10.4 Lichtstellpulte

Lichtstellpulte können als die Zentrale eines jeden Beleuchtungssystems bezeichnet werden. Mit ihnen werden die Helligkeiten der unterschiedlichen Scheinwerfer eingestellt, Farben von Farbwechslern geändert und Positionen und Effektsequenzen von Moving Lights programmiert. Alle Einstellungen zusammen ergeben dann das Licht einer Spielszene, auch Lichtstimmung (cue) genannt, das abgespeichert und jederzeit exakt reproduziert werden kann.

Kennzeichnend für Lichtstallanlagen bzw. Lichtstellpulte sind die überwiegend regelbaren Stromkreise für Halogenscheinwerfer, die Ansteuerung von Moving Lights und LED-Wänden, um damit einen Spielort auf der Studio- oder Fernsehbühne mit unterschiedlicher Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte zu erhalten. Aus diesem Grund ist in jedem Theater-, in jedem Fernsehstudio und auch im Eventbereich neben einer Vielzahl von Scheinwerfern mindestens ein Lichtstellpult zur Lichtsteuerung vorhanden.

Das Kernstück des Steuerteils ist neben dem Rechner das Bedienpult mit allen Elementen für die Steuerung bzw. Regelung (Stromkreisanwahl, Abruf- und Überblendsysteme), Überwachung und Speicherung. Die Stromkreisanwahl kann als digitale oder als Stromkreistastenanwahl ausgeführt werden. Für die Überwachung werden Lichtanwahltasten oder Displays,

meist in topografischer Tableauform, oder die Bildschirmanzeige verwendet. Mit der Bildschirmanzeige können alle wichtigen Betriebszustände abgerufen und angezeigt werden.

Das Gebiet der Lichtsteuerung bei großen Veranstaltungen beinhaltet längst nicht mehr nur das Bedienen von Moving Lights und konventionellen Scheinwerfern. Die Entwicklung von LEDs als zusätzliches Element im Bühnenbild erfordert einen rasanten Anstieg an DMX-Kanälen. Bezuglich der benötigten DMX-Linien kommen die Lichtpulte nicht mehr ohne Netzwerktechnik aus. Um weitere DMX-Linien zu generieren, werden Nodes oder DMX-Prozessoren angeschlossen.

### Kategorien von Lichtstellpulten

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen an Lichtstellpulte unterscheidet man diese zum einen in den Bereich manuelle Lichtsteuerung, d. h. relativ einfache Lichtstellpulte und zum anderen in den Speicherlichtsteuerung, wobei die Speicherlichtsteuerung noch weiter klassifiziert werden kann.

- Manuelle Lichtsteuerung
- Speicherlichtsteuerung
  - Lichtsteuerung für konventionelles Licht (Stufenlinsen- und Profilscheinwerfer)
  - hybride Lichtsteuerung für konventionelles Licht und Moving Lights
  - Moving-Light-Steuerung

Eine alternative Aufteilung ist möglich in die Anwendungsbereiche:

- Lichtstellpulte im Fernsehstudio
- Lichtstellpulte im Theaterbereich

#### 10.4.1 Manuelle Lichtsteuerung

Die manuellen Lichtsteuerungen sind meistens kleinere Beleuchtungsanlagen bis ca. 48 Stromkreise, meist mit Schiebepotentiometern (Stellern) bestückt. Je nach Größenordnung und Ausführung sind einfache Funktionen wie Gruppenbildung und Überblendung möglich. Sie können stationär oder mobil ausgeführt werden.



**Bild 10.4** Manuelle Lichtsteuerung mit zwei Voreinstellungen (Presets) (Pult MX 32, Firma Strand Lighting)

## 10.4.2 Speicherlichtsteuerungen

Wie bereits erwähnt, werden diese Systeme noch weiter unterteilt, wobei bei allen Systemen Lichtstimmungen gespeichert und in beliebiger Reihenfolge abgerufen werden können. Umfangreiche Effektmöglichkeiten sind vorhanden und die Ansteuerung großer Stromkreiszahlen ist möglich. Man unterscheidet kleine Lichtstellpulte (48 bis 512 Kreise), mittelgroße Lichtstellpulte (256 bis 4098 Kreise) und große Lichtstellpulte (512 bis 8196 Kreise).

### 10.4.2.1 Lichtsteuerung für konventionelles Licht

In manchen Bereichen und auch grossen Events ist es üblich ein „eigenes“ Pult nur für das konventionelle Licht oft auch „Weißlicht“ genannt zu benutzen, um separat zu den Moving Lights und/oder LEDs die Halogenglühlampenscheinwerfer (meist Fresnel- oder Profilscheinwerfer) ansteuern zu können.

### 10.4.2.2 Hybride Lichtsteuerung für konventionelles Licht und Moving Lights

Diese Pulte können sowohl „konventionelles“ Licht, wie auch Moving Lights steuern. In der Zwischenzeit sind die meisten Pulte fähig beide Bereiche (konventionelles Licht und Moving Lights) abzudecken. Es ist oft nur die Frage wie viele Fader direkt anwählbar bzw. wie viele Encoder (Drehregler) auf dem Pult vorhanden sind.

### 10.4.2.3 Moving-Light-Steuerung

Lichtstellpulte für Moving Lights sind so aufgebaut, dass der Operator sehr schnell Rotationsbewegungen, Effekte, Goboräder oder Farben ändern kann. Die meisten Pulte besitzen in der Zwischenzeit Touchpanels mit unterlegten Attributen, sodass gezielt auf einzelne Funktionen sehr schnell reagiert werden kann. Üblich sind auch ein Trackball oder Wheels, um Farben zu mischen. Die Lichtstellpulte für Moving-Light-Steuerung können natürlich auch konventionelles Licht, wie z.B. Weißlicht ansteuern, jedoch ist die Programmierung meist etwas aufwendiger.



**Bild 10.5** links: grandMA Light, rechts: grandMA2 fullsize

Um große Shows mit mehreren Hundert Moving Lights, LED-Wänden und auch eventuell noch konventionellem Weißlicht steuern zu können, gibt es seit einigen Jahren sehr aufwendig konzipierte Lichtstellpulte wie z.B. die Konsole „**grandMA2 fullsize**“ (MA Lighting). Diese

Pulte sind in der Zwischenzeit mit Ethernet-Karten bestückt, können sowohl DMX-Daten ausgeben als auch per Netzwerk gesteuert werden. Oftmals besitzen diese Systeme ihre eigenen Netzwerke wie z. B. MA-Net.

#### **10.4.2.4 Lichtstellpulte im Fernsehstudio**

Im Vergleich zum Eventbereich ist das Hauptpult im Fernsehstudio fest im Regiebereich eingebaut. Der Sendeablauf wird dabei über Monitore vom Beleuchtungsmeister verfolgt und das Licht entsprechend gesteuert. Zum Einleuchten ist meist ein zweites mobiles Lichtsteuerpult (Havariepult) im Einsatz.

#### **10.4.2.5 Lichtstellpulte im Theaterbereich**

Auch im Theaterbereich ist das Hauptpult in der Lichtregie fest eingebaut, wobei aber im Gegensatz zum Fernsehstudio der Beleuchtungsmeister oder der „Lichtsteller“ einen direkten Blickkontakt zur Bühne hat. Zum Einleuchten ist meist ein zweites mobiles Lichtsteuerpult (Havariepult) im Einsatz.

### **10.4.3 Begriffsdefinitionen**

Nachfolgend einige der wichtigsten Begriffe bzgl. Lichtstellpulten.

#### **10.4.3.1 Hauptpult**

Das Hauptpult ist im TV- bzw. Theaterbereich fest im Regiebereich eingebaut. Im Eventbereich bzw. bei großen Shows befindet sich das Pult im Zuschauerbereich, meist im FOH (Front of House). Der Sendeablauf wird vom Beleuchter bzw. Operator verfolgt und das Licht entsprechend gesteuert. Zum Einleuchten ist meist ein zweites mobiles Lichtsteuerpult vorhanden.

#### **10.4.3.2 Havariepult**

Das Havariepult kommt zum Einsatz, wenn das Hauptpult den Dienst versagt. Es kann sich entweder um ein identisches Pult handeln oder um ein kleineres, gegenüber dem Hauptpult in der Funktionalität eingeschränktes Pult.

#### **10.4.3.3 Nebenpult**

Das Nebenpult ist für die Steuerung von Saal-, Orchester- und Galeriebeleuchtung etc. zuständig.

#### **10.4.3.4 Lastteil**

Der Lastteil besteht aus Lichtsteuergeräten in Halbleiterbauweise. Die fast ausschließlich verwendeten Thyristoren in Gegenparallelschaltung arbeiten mit Anschnittsteuerung und werden für die Steuerung von Glühlampen und induktiven Verbrauchern eingesetzt. Die Lastteile werden in sogenannten „Dimmerschränken“ in Einschubbauweise und bevorzugt in eigenen Betriebsräumen stationiert bzw. in kleineren mobilen Einheiten für den transportablen Einsatz eingerichtet.

### 10.4.3.5 Lastkreis

Die Steuerinformationen, die ein Pult versendet, müssen eindeutig adressiert sein. Deshalb gibt es eine Zuordnung von angeschlossenen Geräten zu Ausgangskanälen. Die Ausgangskanäle werden als Lastkreise bezeichnet.

### 10.4.3.6 Stromkreis

In einem Stromkreis können mehrere Lastkreise zusammengefasst werden. Das ist in dem Moment sinnvoll, wenn eine Gruppe von Scheinwerfern in jedem Fall synchron angesteuert werden soll. Das Lichtstellpult bietet im Betrieb nur Zugriff auf die Stromkreise.

### 10.4.3.7 Lichtstimmung (Cue)

Eine Lichtstimmung setzt sich aus mindestens einem, meistens aber aus vielen Stromkreisen zusammen. In einer Stimmung ist für jeden Stromkreis eine Intensität festgelegt. Außerdem können Effektparameter und Ein-/Ausblendzeiten sowohl für die komplette Stimmung als auch für einzelne Stromkreise festgelegt werden. Die Lichtstimmung enthält sowohl Helligkeitswerte von Stromkreisen als auch Attributwerte von Multifunktionsgeräten. Ebenso können ihre weiteren Parameter wie Blendzeiten und Überblendkurven zugeordnet werden.

### 10.4.3.8 Register

Ein Register stellt gewissermaßen einen Container für Lichtstimmungen dar. Dort können Lichtstimmungen aufgebaut und korrigiert werden, von dort können sie abgespeichert und umgekehrt aus dem Speicher aufgerufen werden. Register können neben der Lichtstimmung auch Zeiten für Ein- und Ausblenden enthalten sowie zugeordnete Effekte.

## 10.4.4 Bedienelemente eines Lichtstellpultes

Nachfolgend sollen anhand des Lichtstellpults Kongo der Firma ETC die einzelnen Bedienelemente eines Lichtstellpults erklärt werden.



**Bild 10.6** Lichtstellpult Kongo, Firma ETC

#### 10.4.4.1 Kreissteuerung

Als Kreissteuerung werden alle Bedienelemente eines Lichtstellpults bezeichnet, mit denen Kreise angewählt und Helligkeitswerte eingegeben werden können. Die Kreissteuerung besteht aus einem numerischen Tastenfeld, einem Digitalsteller (wenn vorhanden) und Bedientasten zum Ausführen von Speicher-, Anwahl- und Helligkeitsbefehlen.



**Bild 10.7** links: Eingabefeld, rechts: Submaster Eingabefeld Lichtstellpult, beide Bilder Typ Kongo (ETC)

#### 10.4.4.2 Submaster

Mit Hilfe von Submaster können Helligkeits- und Farbwerte gespeichert werden. Zusätzlich können sie aber auch mit Lichtszenen oder Effekten belegt werden. Jedem Submaster ist dabei ein Schieberegler zugeordnet. Um die gespeicherten Helligkeits- und Farbewerte zu überprüfen und gegebenenfalls zu aktivieren, ist dem Submaster in den meisten Fällen auch eine Blitztaste zugeordnet. Bei der Ansteuerung von Moving Lights besteht die Möglichkeit, dass Attributwerte abgelegt werden können.

#### 10.4.4.3 Playback-System

Das Playback-System dient zum manuellen oder zeitgesteuerten Abrufen der gespeicherten Lichtstimmungen. Gewöhnlich werden die Stimmungen im Speicher während der Aufführung sequentiell per Tastendruck aktiviert, um entsprechende Lichtveränderungen zu erzielen. Ebenso ist aber auch ein automatisches Abrufen über MIDI (Musical Instrument Digital Interface) oder SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) denkbar.

#### 10.4.4.4 Meistersteller/Grand Master

Der Meistersteller, auch Grand Master genannt, ist allen anderen Steuermodulen des Lichtstellpults übergeordnet. Damit ist es möglich, die Helligkeit aller Systeme zu verändern.

#### 10.4.4.5 Steuereinrichtungen für Multifunktionsgeräte

Hierzu zählen ein Trackball zum Steuern der X/Y-Achsen von Moving Lights und motorischen Geräten sowie mehrere Encoder (rotierende Digitalsteller) zum Verändern von Attributwerten.

# Farbbogen

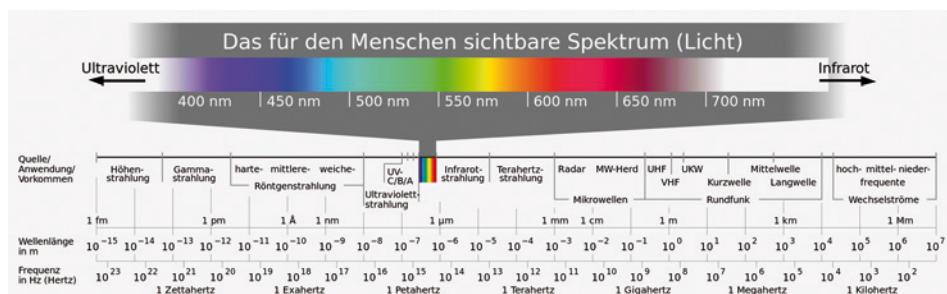


Bild 2.1 Gesamtes Spektrum der elektromagnetischen Wellen

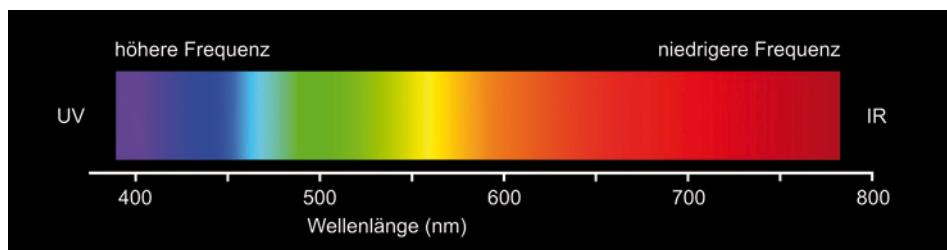


Bild 2.2 Sichtbare Strahlung bzw. Farbspektrum

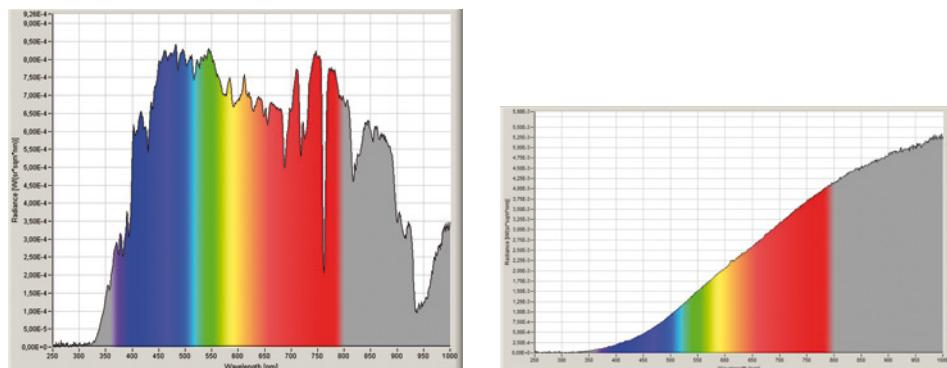
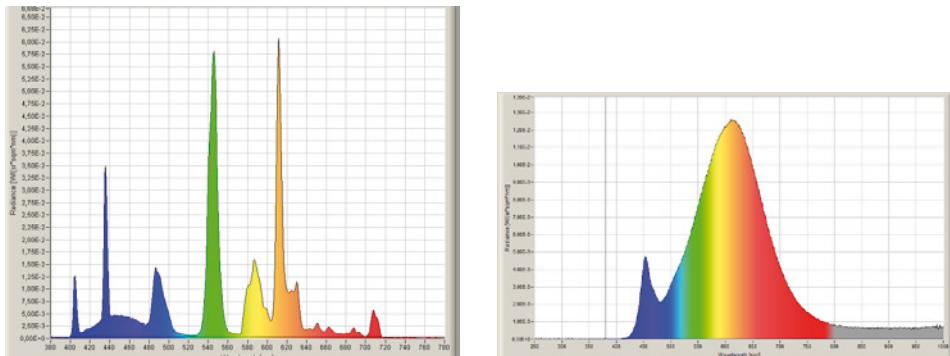
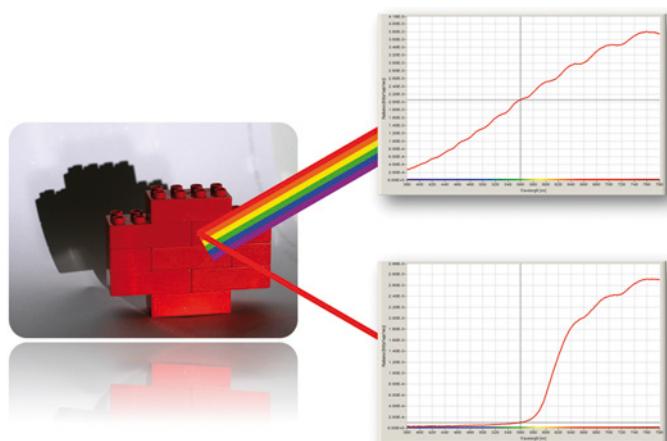


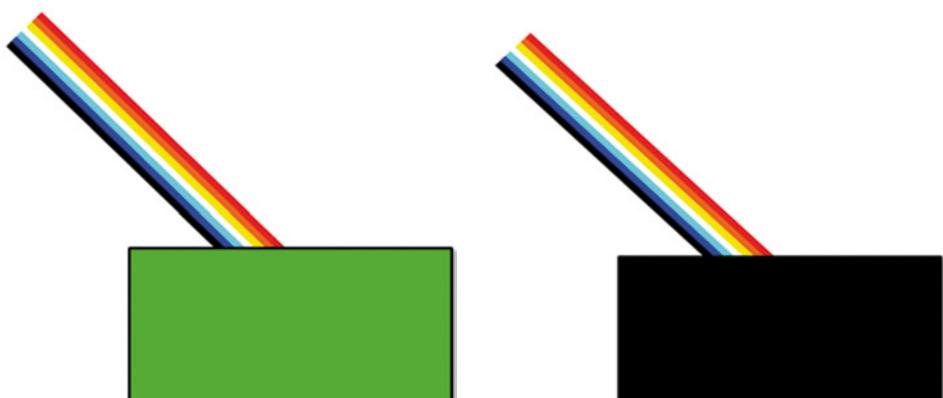
Bild 2.3 links: Spektrum Tageslicht (Hamburg, November 2012, bewölkter Himmel); rechts: Spektrum einer Glühlampe (60 W)



**Bild 2.4** links: Spektrum einer Leuchtstofflampe, rechts: Spektrum einer LED (Master Bulb, 12 W, Philips)



**Bild 2.5** Beleuchtung von roten Legosteinen mit kontinuierlichem Licht. Rechtes oberes Bild, Spektrum der verwendeten Halogenlampe, rechtes unteres Bild, reflektiertes Licht bzw. Spektrum



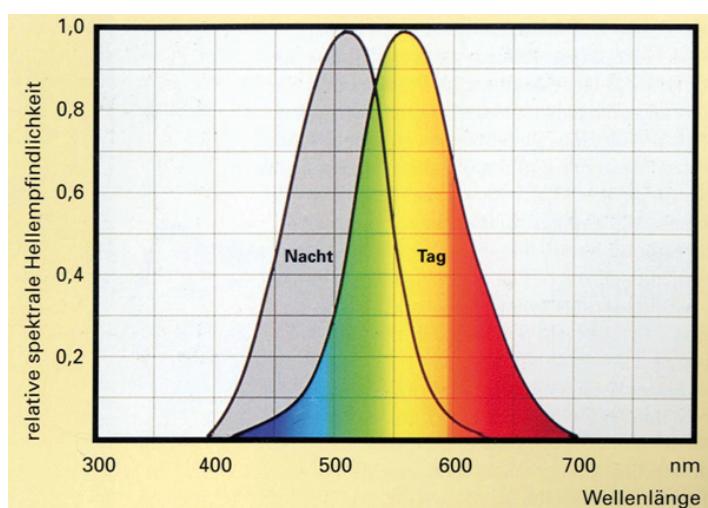
**Bild 2.6** links: Einfallendes Licht auf eine grüne Box, wobei bei dem Spektrum die grüne Spektralfarbe fehlt, rechts: Die Box wirkt dadurch schwarz



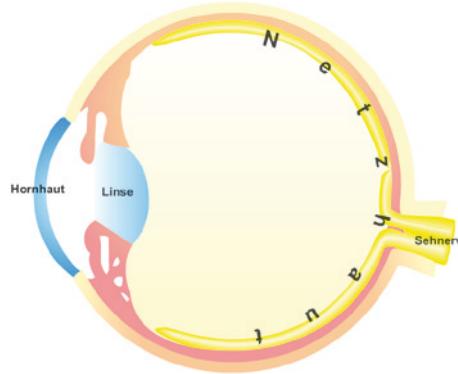
**Bild 2.8** Verschiedene Lichtfarben in einem Farbabmusterungskasten. Linker Kasten 6500 K (Tageslichtweiß), rechter Kasten 2700 K (Warmweiß)



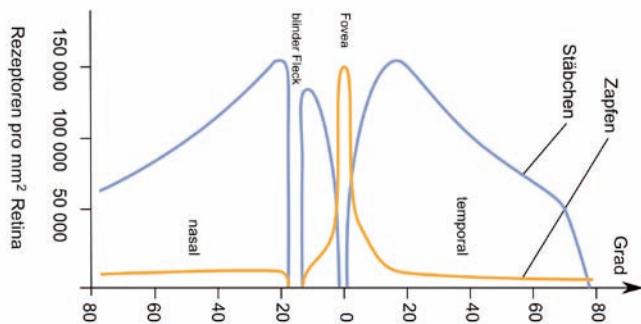
**Bild 3.1** links: Vergleichsfelder zur Helligkeitsbewertung, rechts: schematische Darstellung des Versuchsaufbau zum Vergleich des Helligkeitseindrucks verschiedener Lichtspektren



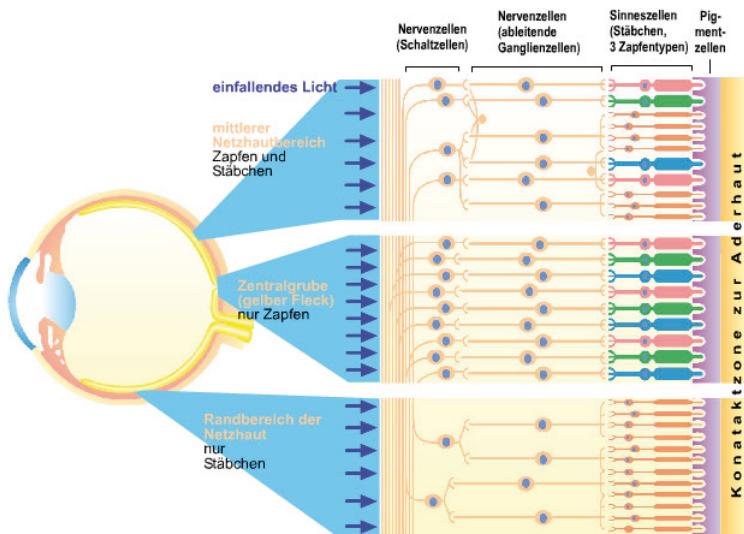
**Bild 3.2** Relative spektrale Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges bei Tag- und Nachtsehen



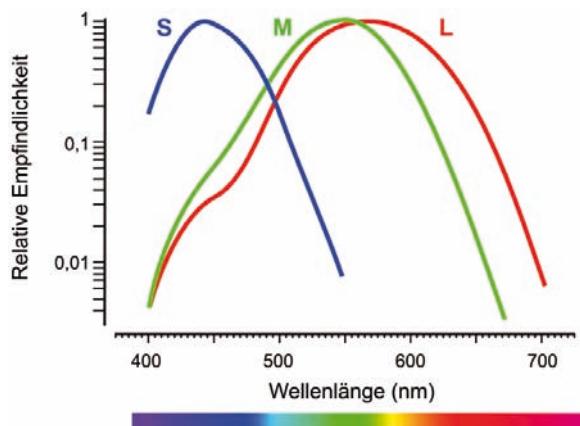
**Bild 5.1** Vereinfachter Aufbau eines Auges



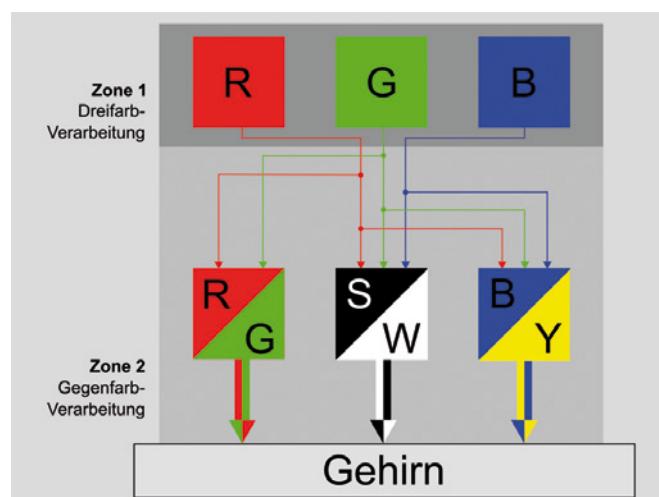
**Bild 5.2** Verteilung der lichtempfindlichen Rezeptoren in der Netzhaut



**Bild 5.3** Detaillierter Aufbau der Netzhaut



**Bild 5.4** Absorption- bzw. Empfindlichkeitskurve der SML-Zapfen (S = Short, M = Middle, L = Long)



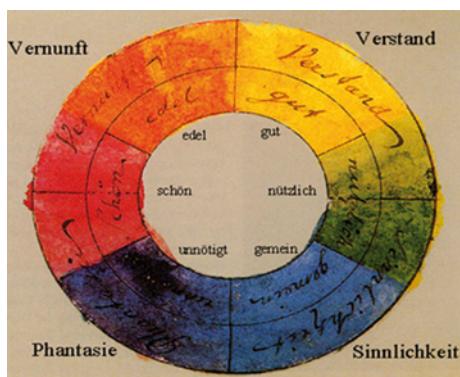
**Bild 5.5** Zonentheorie



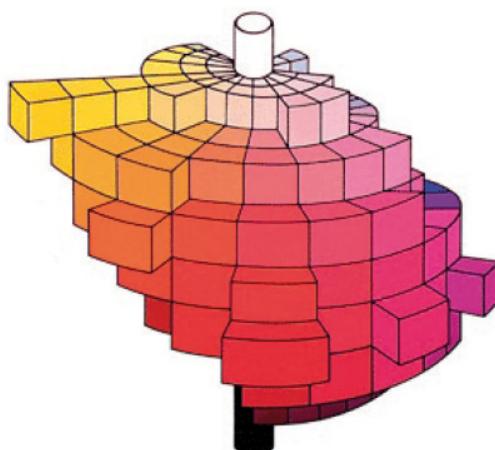
**Bild 5.8** Helligkeitskontrast (die inneren grauen Rechtecke in der Mitte besitzen die gleiche Helligkeit)



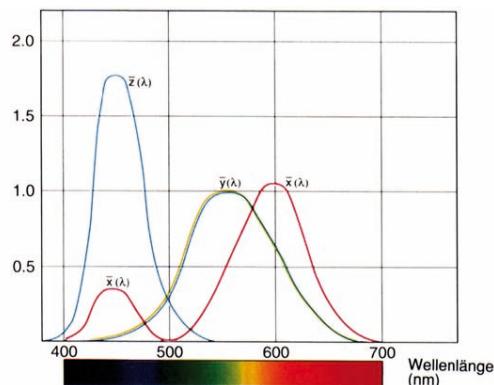
**Bild 5.9** Stevens-Hunt-Effekt. Farben werden immer intensiver wahrgenommen, je heller die Umgebung ist



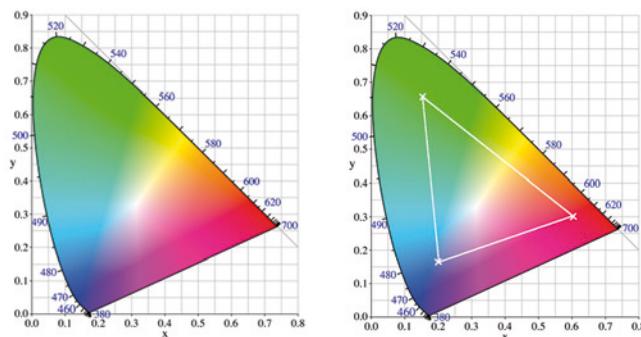
**Bild 6.2** Farbkreis von Goethe, erweitert um die psychologischen Definitionen von Farben nach Goethe und Schiller



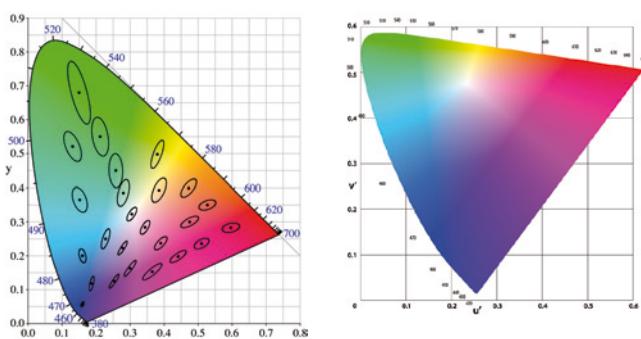
**Bild 6.3** Farbsystem nach Munsell



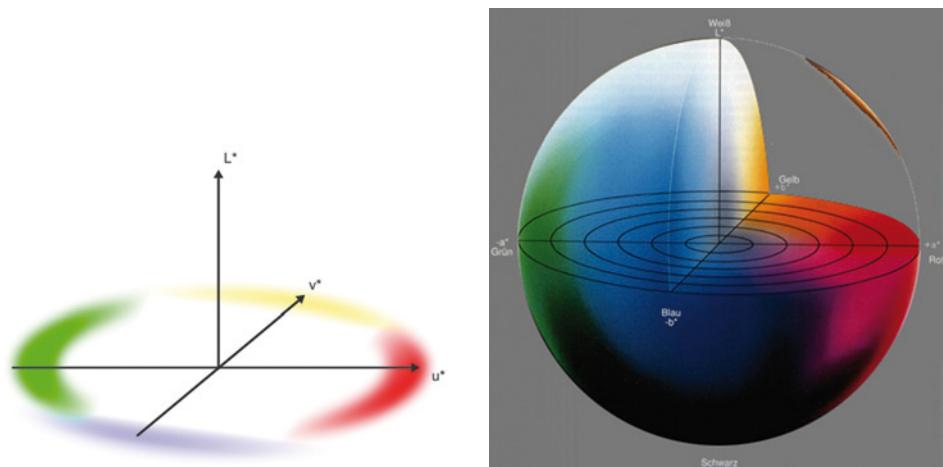
**Bild 6.5** Spektralwertkurven  $x_\lambda$ ,  $y_\lambda$ ,  $z_\lambda$  für den 2°-Beobachter



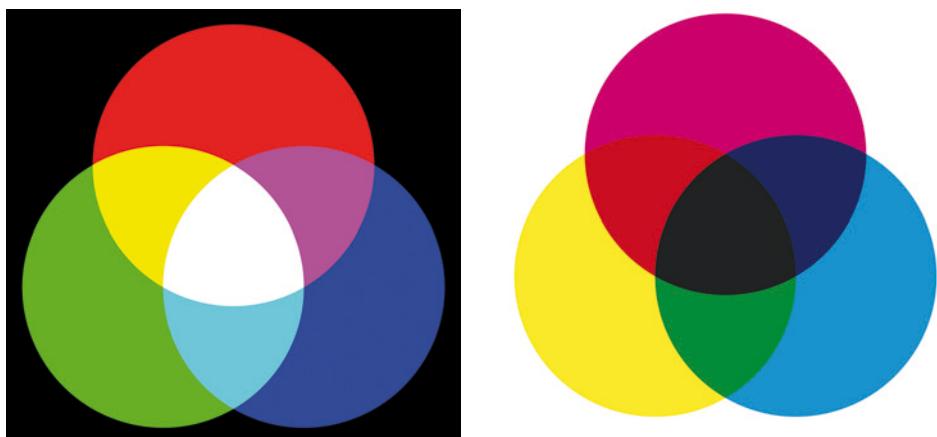
**Bild 6.6** links: Normfarbtafel nach CIE 1931; rechts: Beispiel für ein Color Gamut



**Bild 6.7** links: MacAdam-Ellipsen (die Ellipsen sind um den Faktor 10 zu groß dargestellt, um die Unterschiede darzustellen), rechts: UCS-Farbtafel 1976 (u' v'-Farbtafel)



**Bild 6.8** links: CIE- $L^*u^*v^*$ -Farbraum, rechts: CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbraum

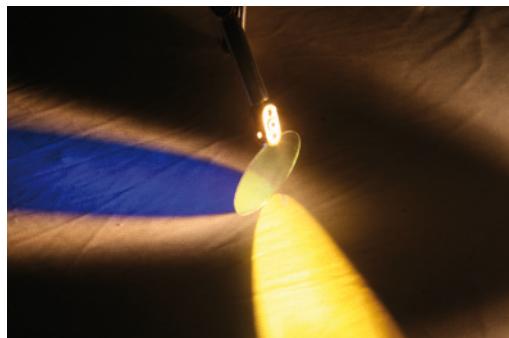


**Bild 6.10** links: additive Farbmischung mit drei getrennten Lichtquellen, rechts: subtraktive Farbmischung mit drei Farbfiltern

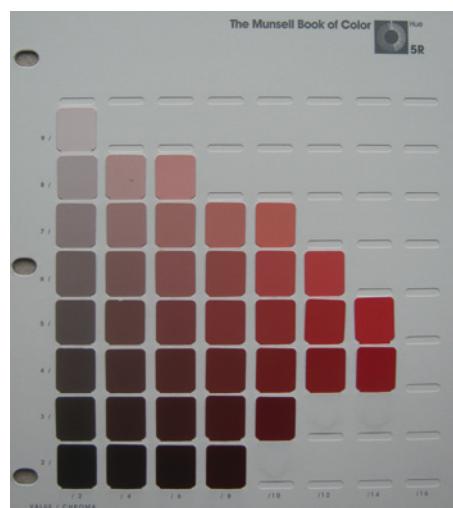
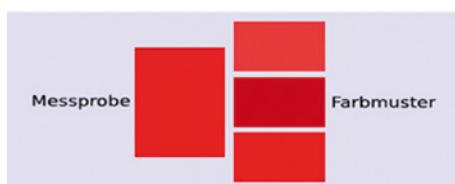
#### Die 14 Testfarben nach DIN 6169

# 1 Altrosa	# 9 Rot gesättigt
# 2 Senfgelb	# 10 Gelb gesättigt
# 3 Gelbgrün	# 11 Grün gesättigt
# 4 Hellgrün	# 12 Blau gesättigt
# 5 Türkisblau	# 13 Rosa (Hautfarbe)
# 6 Himmelblau	# 14 Blattgrün
# 7 Asterviolett	
# 8 Fliederviolett	

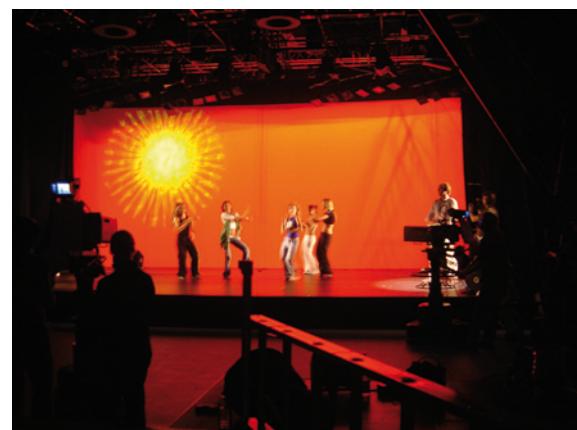
**Bild 6.11** Farbmuster mit 14 Testfarben



**Bild 6.13** Dichroitischer Filter (Lichtstrahl aufgebrochen)



**Bild 7.9** links: Messprobe, rechts: Farbmusterseite 5R des Munsell-Systems zur Auswahl



**Bild 9.7** Einsatz von Horizontleuchten (Studioproduktion MINDimension), links: Blick hinter die Opera-Folie, rechts: Blick von der Zuschauерseite



**Bild 9.8** Farbig gekennzeichnete Drehknäufe zur Veränderung der Scheinwerfer in PAN- und TILT-Richtung sowie der Lichtcharakteristik



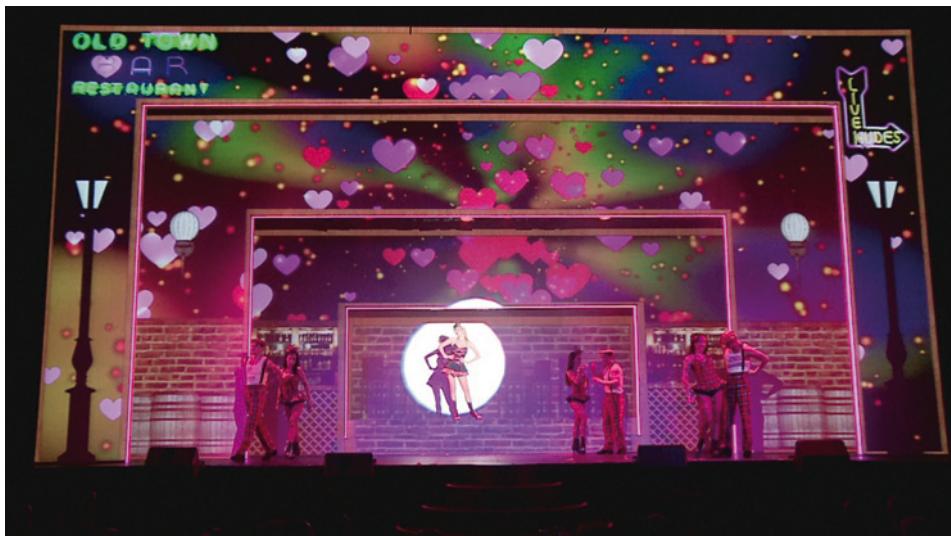
**Bild 11.1** Eurovision Song Contest – Baku 2012



**Bild 11.8** 360°-Projektion, Olympische Spiele Peking 2008 (Highend Systems)



**Bild 13.1** Anugerah Juara Lagu



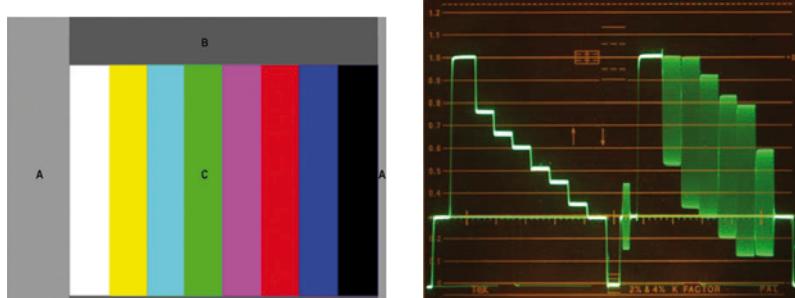
**Bild 14.1** Electric Circus South Africa



**Bild 14.4** „Die weiße Rose“, Theater Wolfsburg, links: Verhör Hans Scholl, rechts: Verhör Sophie Scholl



**Bild 15.1** Aufsagerstudio; links: Virtuelles Studio mit Sprecher, rechts: gesendetes Zuschauerbild



**Bild 15.8** links: Farbbalken, rechts: Waveformanzeige des Farbbalkens



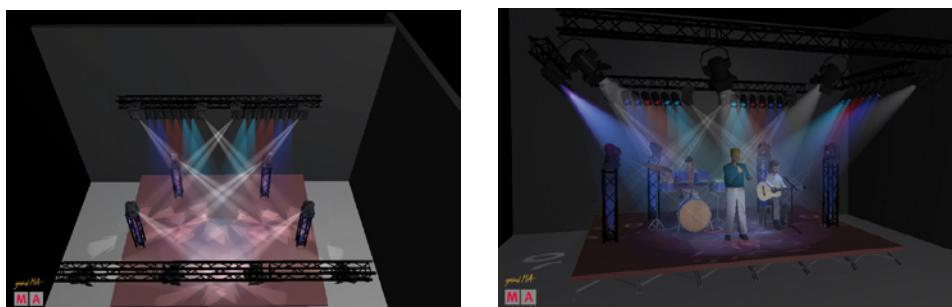
**Bild 15.10** links: „farbige“ Ausleuchtung der Gäste, rechts: Setbeleuchtung (Studio Hamburg Projekt Department Medientechnik)



**Bild 16.9** links: Ausschnitt aus dem Film „Der Graf von Monte Christo“, 1998, rechts: Falschfarbendarstellung (Leuchtdichte) des Gesichtes



**Bild 17.4** Kleine Bühne mit DJ



**Bild 17.5** Mittlere Bühne, links: Beleuchtungsanordnung, rechts: mit Band und Sänger



**Bild 17.6** Große Bühne



Bild 18.2 Eurovision Song Contest Baku 2012



Bild 18.3 Bühnendesign (Eurovision Song Contest Baku 2012)

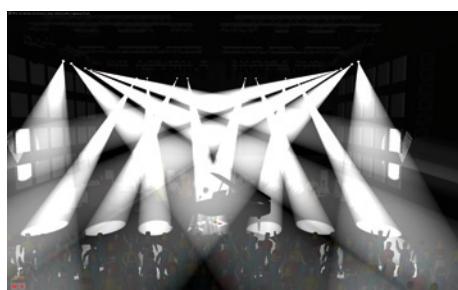
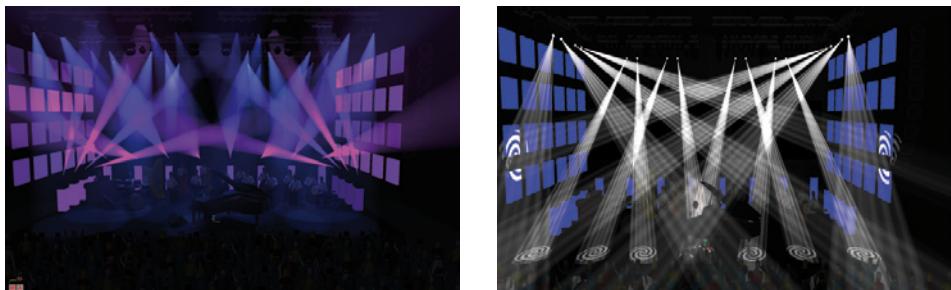


Bild 18.4 Verschiedene Anordnungen von Scheinwerfern mit weißem Licht, links: Fächer von oben, rechts: überkreuzende Strahler



**Bild 18.5** Gleicher Song wie vorher, links: jetzt mit farbiger Unterlegung, rechts: Weiß und Blau



**Bild 18.6** Farbige Beleuchtung der Band Deichkind („Show 3.0“ 2009), links: rote Beleuchtung, rechts: andere Lichtrichtung und blaue Beleuchtung



**Bild 18.7** Komplementärkontrast mit blauer und gelber Beleuchtung (A state of trance)

wie Iris oder Farben. Neuere Geräte besitzen meist einen Touchscreen, mit dem schnell auf Attribute und Funktionen von Moving Lights zugegriffen werden kann.

#### 10.4.4.6 Effektsteuerung

Die Effektsteuerung ermöglicht, eine Vielzahl von vordefinierten Einstellungen abzurufen. Je nach System können gespeicherte Effekte in Verbindung mit Lichtstimmungen, Submastern, speziellen Effekt-Playbacks oder auch nur manuell (bei einfacheren Systemen) aktiviert werden.

## ■ 10.5 Dimmer und Dimmeranlagen

Um den Lichtstrom der Stufenlinsen- und Profilscheinwerfer mit Halogenleuchtlampen ändern zu können, setzt man sogenannte Dimmer oder Dimmerschränke ein, mit denen es möglich ist, diese Scheinwerfer durch eine „**Phasenanschnittsteuerung**“ zu dimmen.

### 10.5.1 Dimmersysteme

Man unterscheidet zwischen Einschubdimmer, Dimmerrack, festverdrahtete Dimmersysteme und Dimmerschränke.



**Bild 10.8** links: fahrbares Dimmerrack, Typ Excalibur (Controlite), rechts: fest eingebauter Dimmerschrank Typ LD 90 (Strand Lighting)

### 10.5.2 Dimmeransteuerung

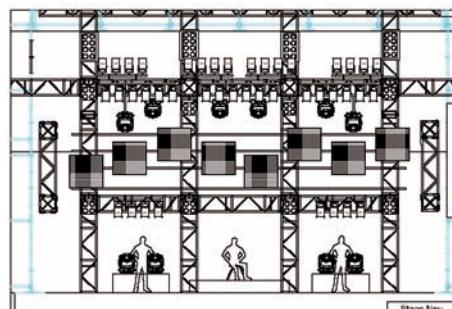
Im Allgemeinen unterscheidet man vier verschiedene Möglichkeiten der Ansteuerung:

- **Phasenanschnittsteuerung:** Bei der Phasenanschnittsteuerung werden vor allem zwei elektronische Bauelemente eingesetzt: der Thyristor oder der Triac.
- **Phasenabschnittsteuerung:** Das Prinzip funktioniert ähnlich wie das des Phasenanschnitts. Allerdings wird hier der Ausgang beim Nulldurchgang eingeschaltet und beim gewünschten Phasenwinkel wieder abgeschaltet.
- **Amplitudendimmer:** Im Gegensatz zu den zwei anderen vorgestellten Dimmerarten funktioniert dieser Dimmer nicht, indem der Netzspannungs-Sinus „zerhackt“ wird, sondern einfach nur in seiner Amplitude abgesenkt wird.
- **PWM (Pulsweitenmodulation):** Die Pulsweitenmodulation ist eine Modulationsart, bei der eine technische Größe (z. B. elektrischer Strom) zwischen zwei Werten wechselt. Dabei wird das Tastverhältnis bei konstanter Frequenz moduliert. Die Pulsweitenmodulation wird vor allem für das Dimmen von LEDs und LED-Systemen verwendet.

## ■ 10.6 Anwendungsbeispiel

Nachfolgend wird ein Anwendungsbeispiel für eine aufwendigere Lichtsteuerung dargestellt. Die alljährliche Geburtstagsfeier des österreichischen Radiosenders FM4 wurde im Januar 2008 in der Arena in Wien als Open-Air-Festival konzipiert. Neben vielen bekannten DJs traten Bands wie z. B. Fettes Brot auf.

Neben dem konventionellen Licht, wie 8-Light-Blindern mit vorgesetzten Farbwechslern, Standard-PAR64-Leuchten, ACL-Gruppen, Stroboskopen, 4-Light-Blindern und Fresnel-Scheinwerfern wurden LED-Paneele Typ C100 der Firma Schnick-Schnack eingesetzt. Gesteuert wurde das System über das Lichtstellpult grandMA full-size, ein Lichtstellpult MA Lightcommander 12/2 als Fader-Erweiterung und einen MA 2Port Node on PC. Der Video-Content kam von einem grandMA-Video-Medienserver, der im Pixel-Mapper-Mode die LED-Paneele ansteuerte.



**Bild 10.9** links: Lichtdesign Geburtstagsfeier Radiosender FM4, rechts: Trussaufbau

Zitat des Lichtdesigners Martin Rupprecht: „Ein weiterer Vorteil der LED-Paneele in Verbindung mit dem grandMA video Medienserver war der schnelle und unkomplizierte Aufbau des Gesamtsystems. Über die Art-Net-Ansteuerung standen alle 400 Pixel jedes Paneels zur Verfügung und wurden über den Pixel Mapper des grandMA video Medienservers mit Video-Content bespielt. Zudem ermöglichte der Medienserver über eine eingebaute Deck-Link Extreme Capture-Karte die Wiedergabe eines Live-Videosignals, sodass ein homogenes Gesamtbild von Bühnenhintergrund und Video-Screen zu sehen war. Anpassung der Größe und Skalierung des eingehenden Videosignals konnten on-the-fly vorgenommen werden. Das System war alles in allem nicht schwieriger zu steuern als ein herkömmliches Moving Light.“

# 11

# Digital Lighting

Diese Kapitel erweitert die Betrachtung von Licht und Beleuchtung zur szenischen Darstellung um den Grenzbereich hin zu bewegten Bildern und Videotechnik. Die historisch gewachsenen Teilbereiche einer lichttechnischen Inszenierung – Weißlicht („Licht zum Sehen“), Showlicht („Licht zum Hinsehen“) und Ambiente bzw. Dekoration („Licht zum Ansehen“) – wurden in den letzten Jahren durch den Bereich Video erweitert. In nahezu allen Bereichen werden Bewegtbilder – ob nun Animation oder Film – dazu benutzt, um die Aufmerksamkeit des Betrachters zu gewinnen. Ob bei animierten Werbetafeln im urbanen Umfeld, den bewegten Hintergründen in TV-Shows oder der Projektion von verschiedenen Szenerien im Bühnenbild eines Theaterstücks: Immer mehr bestimmen komplexe und dynamische Bildinszenierung und Videowiedergabe das Anforderungsprofil und die Wünsche der Kunden.

Der Begriff „Digital Lighting“ verdeutlicht den Versuch einer Abgrenzung zur klassischen Videotechnik. Systemintegration, Technik und vor allem Inhalte werden nicht dem Bereich Video- bzw. Fernsehtechnik zugeordnet, sondern unterliegen der Verantwortung und Kreativität von Set-Design und Lichtgestaltung. Durch die Entwicklung von leistungsfähigen und variabel einsetzbaren LED-Systemen ergeben sich für Bühnenbild und Lichtdesign völlig neue Möglichkeiten. So ermöglichen moderne LED-Systeme nicht nur freie Bildformate (im Gegensatz zu klassischen Formaten wie 16:9 oder 4:3), sondern lassen auch Freiformflächen oder sogar räumliche Anordnungen zu. Auch Videoprojektoren warten mit immer höheren Lichtstärken und Auflösungen auf, sodass z. B. großformatige Projektionen über ganze Häuserzeilen möglich sind.

## ■ 11.1 LED-Wände

In Kapitel 8 „Lichtquellen“ wurden bereits die Grundlagen der Lichterzeugung innerhalb von Halbleitern dargestellt. Je nach Dotierung des Halbleiters können LEDs in zwei Typklassen – warme (Rot bis Amber) und kalte (Grün bis Blau) Farben – unterteilt werden. Einzelne LEDs emittieren dabei nur ein schmalbandiges Spektrum, dessen dominante Wellenlänge durch die Dotierung bestimmt wird. Dies bedeutet auch, dass einzelne LEDs ohne Weiteres kein weißes Licht aussenden können. Dies kann durch Kombination mehrere LEDs in ein Cluster umgangen werden: jeweils eine LED der Grundfarben Rot, Grün und Blau bilden einen Verbund. Um die Abstände möglichst klein zu halten, kann

dies bereits auf Halbleiterebene, vor allem in SMD-Technik (SMD: Surface Mounted Device) realisiert werden (sogenannte 3-in-1-LED). Eine weitere Möglichkeit, die Lichtfarbe „Weiß“ zu generieren, ist die Phosphorbeschichtung einer blauen Leuchtdiode. Durch diese Schicht werden – ähnlich wie bei Leuchtstofflampen – energiereiche kurzwellige Strahlung in längerwellige „warme“ Bereiche verschoben. Durch die Addition der verschiedenen Wellenlängenbereiche ergibt sich weißes Licht. Man spricht hier von Lumineszenz-Wellenlängenkonversion.

### 11.1.1 Grundlagen

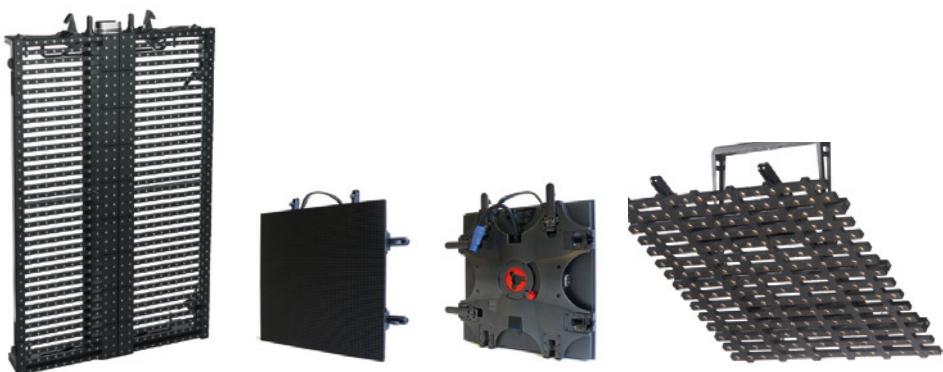
Um aus verschiedenen LEDs einen einzelnen Bildpunkt zu erstellen, ergeben sich verschiedene Varianten: Eine Möglichkeit besteht in der Kombination von einzelnen Single-LEDs in RGB ähnlich der Phosphore innerhalb eines Röhrenmonitors. Vorteil ist hierbei, dass sich Leuchtdichten der einzelnen LEDs addieren und die Leistungen pro LED, also pro Farbkanal höher sein können, da durch die räumliche Trennung ein besseres Temperaturmanagement möglich ist. Um Helligkeit und Farbwiedergabe zu erhöhen, können zusätzlich reinweiße LEDs zu einem Pixel hinzugefügt werden (RGBW). Um die einzelnen LEDs als Pixel wahrzunehmen, muss allerdings ein ausreichender Betrachtungsabstand bzw. entsprechende Brennweite bei Kameras gegeben sein. Zudem ergeben sich durch die räumliche Anordnung Farbvariationen bei unterschiedlichen Betrachtungswinkeln – durch partielle Verdeckung der abstrahlenden LED ist nicht das komplette abgestrahlte Spektrum sichtbar. Im Gegensatz hierzu steht der Einsatz von 3-in-1-LEDs. Diese LED ist bereits ein vollwertiges Pixel, die Farbmischung findet direkt am Halbleiter bzw. am Diffusor statt. LED-Flächen aus Full-Color-LEDs sind blickwinkelstabil und erlauben abhängig vom Pixelpitch auch nähere Betrachtungsabstände. Allerdings sind durch die hohe Integrationsdichte die Leistungen pro Bildpunkt im Gegensatz zu Single-LEDs geringer. Um trotzdem hohe Bildhelligkeiten zu erreichen, können Pixel aus mehreren Full-Color-LEDs zusammengesetzt sein.

### 11.1.2 Auflösung

Die Ansteuerung einzelner Bildpunkte eines Systems wird mittels spezieller Controller gelöst. Das jeweilige Eingangssignal bzw. dessen Auflösung und Format werden auf die zu bespielende Fläche abgebildet. Wichtige Eckdaten von LED-Wandsystemen sind maximale Auflösung, Adressierung und Ansteuerung einzelner Wandbereiche, genereller Kontrastumfang und Farbauflösung des Systems und Korrekturmöglichkeiten von Farb- und Helligkeitswerten. Gerade die Möglichkeit, das komplette System und einzelne Paneele in ihren Wiedergabecharakteristiken zu beeinflussen, ist für viele Anwendungen ausschlaggebend: eine LED-Wand soll trotz Produktstreuungen gleichmäßig weiß erscheinen, der Kontrast und die Graustufenauflösung sollen trotz Begrenzung der Maximalhelligkeit möglichst hoch bleiben. Betrachtet man die Eingangssignale, so sind die Farbwerte eines Pixels jeweils in 8 Bit für RGB aufgelöst; will man die volle Farbauflösung bei z. B. reduzierter Gesamthelligkeit oder bereits angepasstem Weißpunkt nutzen, muss der Controller alle Werte entsprechend anpassen.

### 11.1.3 Pixelpitch

Die Abgrenzung verschiedener Produkte kann über deren Eigenschaften geschehen. Der Bereich der klassischen Videowände kann von sogenannten Creative-LED-Produkten zum einen über das Format, aber auch über die Auflösung definiert werden. LED-Wände für die Zuspielung von Standard-Videosignalen sind üblicherweise in den gängigen Bildformaten 4:3 bzw. 16:9, zudem ist der Pixelabstand (engl.: Pixelpitch) so eng, dass das Publikum keine einzelnen Bildpunkte mehr wahrnehmen kann. Hier ist natürlich der Betrachtungsabstand ausschlaggebend: Aufgrund des Auflösungsvermögens des Auges und der Bildverarbeitung im Gehirn ergibt sich als Faustformel Pixelpitch in mm ist ungefähr der Betrachtungsabstand in m. Legt man hier gängige Bühnentiefen von ca. 10 bis 15 m zu Grunde wäre ein Pixelpitch von 10 mm als Grenze zu sehen. Hier beginnt zudem der Übergang hin zu transparenten LED-Systemen, bei denen der Bereich zwischen den LEDs freigelassen wurde.



**Bild 11.2 links:** LED-Modul (Martin EC-20), mitte: LED-Segment mit 6 mm Pixel-Pitch (BARCO C5), rechts: transparentes LED-System (CH Elidy)

Ein weiteres Kriterium kann die inhaltliche Vorgabe einer LED-Fläche sein. Betrachtet man die Bildfläche mehr als narratives Element, d.h. es wird eine mehr oder minder komplexe Geschichte erzählt und dargestellt, oder soll sich die LED-Ebene als gestalterisches Element in ein Bühnenbild als Ganzes einfügen? Diese Frage kann auch in Hinblick auf die ausschlaggebende Person gestellt werden: Werden die Inhalte eher vom Regisseur oder vom Licht- bzw. Setdesigner bestimmt?

Die Versuche, das Feld Creative LED und Digital Lighting einzuzgrenzen, können nur Anhaltpunkte sein. Auch nicht gängige Formate können der Bild- und nicht der Lichtgestaltung untergeordnet werden, auch hochauflöste Flächen müssen sich in ein Bühnenbild einpassen und entsprechend bespielt werden.

## ■ 11.2 Projektionen

Im Gegensatz zu LED-Flächen werden Projektionen meistens dann eingesetzt, wenn für den Betrachter – ob reale Person oder Kamerabild – keine Pixelstruktur mehr wahrnehmbar sein soll. Betrachtet man Projektion in Hinblick auf das Themenfeld „Digital Lighting“, so ergeben sich ähnlich wie bei LED-Wänden die Fragestellungen hinsichtlich Format und darzustellenden Inhalten. Projektionen im Umfeld von Inszenierung sind nicht wie klassische Filmvorführungen oder Datenpräsentationen an ein festes Format gebunden. Auch wenn eine Projektion ein Standard-Format darstellt, so muss sich nicht nur der Inhalt meist in ein großes Ganzes einfügen – die bespielte Fläche ist nur ein Teil eines zu gestaltenden Gesamtbildes.

Neben der Lösung von festen Bildformaten können Projektionen im kreativen Umfeld sich auch von den normalen zweidimensionalen Flächen lösen: es ist möglich, Bildinhalte auf beliebige Formen anzupassen, im Zweifelsfall können diese zudem bewegt oder sogar veränderbar sein.

### 11.2.1 LCD- und DLP-Projektoren

Die Kriterien für die Auswahl von Projektoren lassen sich von LED-Wänden ableiten: natives Auflösungsvermögen des Projektors, Helligkeit in ANSI-Lumen, Kontrastumfang, Farbwiedergabe und Schwarzwert. Für die im Veranstaltungsbereich angestrebten Helligkeiten ab ca. 5000 ANSI-Lumen sind aktuell zwei Technologien marktbestimmend: LCD- und DLP-Projektoren. Üblicherweise werden für bessere Farbwiedergabe und höhere Lichtleistungen 3-Chip-Systeme verwendet, die je Primärvalenz Rot, Grün und Blau eine separate Bilderzeugung besitzen. Sowohl Helligkeiten als auch Auflösungen werden kontinuierlich weiterentwickelt, aktuelle Modelle erlauben bis zu 4k-Auflösungen und bis zu 37.000 ANSI-Lumen (Stand 2013).



**Bild 11.3** links: 40k-ANSI-Lumen-Projektor (Barco HDQ2k4034), mitte: 4K-Projektor (Christie D4K35), rechts: Projektor in Flugrahmen (Christie RoadieHD35K)

Hochleistungsprojektoren auf Laser- oder LED-Basis sind (noch) selten und/oder werden nur für spezielle Aufgabenstellungen eingesetzt.

## 11.2.2 Technische Grundlagen

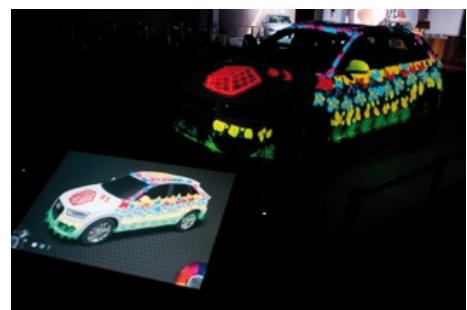
Betrachtet man die technischen Grundlagen für Projektionen und analysiert diese für das Einsatzfeld „Digital Lighting“, so treten vor allem folgende Punkte in den Vordergrund:

### 11.2.2.1 Geometrie und Entzerrung

Idealerweise werden Projektoren orthogonal zur Projektionsfläche positioniert. In vielen Fällen ist dies allerdings nicht möglich: Durch die Position außerhalb der Projektionsachse wird das Bild perspektivisch verzerrt auf der Fläche dargestellt, es bedarf einer sogenannten Trapezkorrektur. Um die Verzerrung auszugleichen, ergeben sich zwei Möglichkeiten: Zum einen kann dies durch ein Verschieben des Objektives zur Bildfläche entzerrt werden (Lens Shift), zum anderen kann dies durch Vorverzerrung des zu projizierenden Bildes geschehen (Keystone-Korrektur). Im Gegensatz zum Lens Shift wird bei der Keystone-Korrektur die resultierende Auflösung geringer, da das Original-Bild an den betreffenden Kanten kleiner gerechnet werden muss und entsprechend nicht alle Pixel des Panels genutzt werden können. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass durch die Entzerrung auch die Geometrie innerhalb des Bildes für den Betrachter perspektivisch richtig erscheint.

Aufwendiger werden Projektionen auf nicht plane Oberflächen wie gekrümmte Leinwände. Hier müssen die Bildkanten entlang von Kurven entzerrt und muss auf die Geometrie innerhalb des Bildes geachtet werden. Werden als Projektionsflächen dreidimensionale Objekte benutzt, muss die Entzerrung bereits im Vorfeld bei der Bildgestaltung mit einfließen.

Einfache Trapezkorrekturen werden üblicherweise in der Software-Matrix des Projektors vorgenommen, um die volle Panelauflösung zur Korrektur nutzen zu können. Eine 3D-Entzerrung bedarf einer detaillierten Vorplanung: Entweder müssen alle Inhalte entsprechend vorverzerrt werden oder es werden Geräte eingesetzt, die eine flexible Anpassung der Inhalte auf die Objekte erlauben – diese Aufgabe übernehmen zumeist Medienserver.



**Bild 11.4** links: Projektionsgrid zur Entzerrung, rechts: fertig entzerrtes Fahrzeug (jeweils Looplight)

### 11.2.2.2 Farbe

Der Farbraum einzelner Projektoren ist durch die eingesetzten Typen und deren Leuchtmittel und Farbfilter vorgegeben. Innerhalb des Geräts können üblicherweise Farbanpassungen vorgenommen werden, um Produktstreuungen auszugleichen. Beim Einsatz von Projektoren muss darum die Farbigkeit und der Weißpunkt mit Hilfe von Testbildern angeglichen werden. Handelt es sich nur um einen Projektor, geschieht dies hinsichtlich des Zielmediums, d. h. des menschlichen Auges oder der Kamera. Werden mehrere Projektoren eingesetzt, so müssen beide Projektoren aufeinander und zudem auf das Zielmedium abgeglichen werden.

### 11.2.2.3 Helligkeit

Auch die Helligkeit wird durch die Auswahl des verwendeten Projektors bestimmt. Hierbei spielen neben der Lichtstärke des Projektors auch die Projektionsentfernung und das Material der Projektionsfläche eine Rolle. Die Helligkeit von Projektoren wird in ANSI-Lumen angegeben. Bei dem genormten Messverfahren (ANSI: American Nation Standards Institut) werden auf einer Projektionsfläche die Messwerte von neun Messungen gemittelt auf die Fläche normiert:  $lm = lux / m^2$ .

Kann das Material der Fläche gewählt werden, so können Leinwände anhand des Gain-Faktors, ein Maß für die Reflexionseigenschaften, ausgewählt werden. Je höher der Gain-Wert, desto gerichteter wird das Licht reflektiert. Ein Gain = 1 entspricht einer mattweißen Oberfläche. Die Projektionsentfernung kann meist nur bedingt frei gewählt werden: Entweder erlauben eingeschränkte Räume nur kurze Distanzen wie z. B. innerhalb eines Fernsehstudios oder es müssen größere Entfernungen überbrückt werden wie bei Inszenierungen im öffentlichen Raum. Reicht die Helligkeit eines Projektors aus verschiedenen Gründen nicht aus – Budget, Verfügbarkeit, Entfernung, bespielte Fläche, so können mehrere Geräte zu einem Verbund zusammenfasst werden. Bei dieser Mehrfachprojektion oder Stacking (Stack, engl.: Stapel) ist die Konvergenz der beiden Bilder ausschlaggebend: Die einzelnen Pixel müssen exakt übereinanderliegen, um Unschärfen zu vermeiden.

### 11.2.2.4 Auflösung und Format

Im Gegensatz zu LED-Wänden wird bei Projektionen nicht der Abstand zwischen den Pixeln wahrgenommen, vielmehr sind bei zu geringer Auflösung die einzelnen Pixel als Bildpunkte erkennbar.

Soll eine Projektionsfläche bespielt werden, deren Dimension und Format die Möglichkeiten eines einzelnen Projektors übersteigt, z. B. eine  $360^\circ$ -Projektion, so muss das projizierte Bild durch mehrerer Projektoren generiert werden. Um eine bestmögliche Bildqualität auch am Übergang von zwei Projektoren zu liefern, werden deren Bildbereiche nicht hart nebeneinander gelegt, sondern überlappen. Da in diesem Bereich die Bildhelligkeit entsprechend höher ist, muss mittels Softedge-Blending ein möglichst weicher Übergang kreiert werden. Bei Bedarf kann mit diesem Verfahren eine beliebige Fläche mit der gewünschten Auflösung bespielt werden. So können auch Formate erfüllt werden, die sich von Standard-Bildformaten wie 4:3 oder 16:9 lösen. Grundlegende Problemstellungen wie ausreichende Gesamthelligkeit, Farbanpassung und Geometrie-Korrekturen müssen natürlich zusätzlich bedacht werden.

## ■ 11.3 Medienserver

Betrachtet man die technische Entwicklung von LED- und Projektionstechnologie, so haben leistungsfähige und vor allem erschwingliche Systeme Ende des 20. Jahrhunderts ihren Siegeszug im modernen Lichtdesign angetreten; Videoflächen unterschiedlichster Art sind in fast allen Szenarien zu finden. Bereits früher gab es Videozuspielungen, die in die Inszenierung eingebettet waren (vgl. Pink Floyd, Pulse-Tour 1994: Projektionen im Hintergrund mittels Kinofilmprojektor), allerdings ergab sich für Designer und Regisseure immer die Aufgabenstellung, alle Inhalte komplett vorab produzieren zu müssen. Um auch noch vor Ort Einfluss auf die Inhalte zu haben und damit Design und Look zu variieren, waren andere Systeme nötig. Nachdem 1999 das erste Moving Light mit „Soft-Gobo“ (LSD Icon M), ein kopfbewegter Projektor auf DMD-Basis (Digital Micromirror Device), auf der LDI (Live Design International) gezeigt wurde, folgten in den nächsten Jahren schnell verschiedene technische Lösungen, um die Konvergenz von Video und Licht zu forcieren. Es folgte das Catalyst-System, ein DMX-gesteuerter Ablenkspiegel für Videoprojektoren, der später auch Namensgeber für die erste Version des zugehörigen Medienservers war. Spiegel und Zuspieler wurden durch ein DMX-Interface von einem Lichtpult gesteuert: Das bedeutete, dass sowohl Licht als auch Video in den Händen des Lichtdesigners lagen. In der Folgezeit wurden weitere Medienserver mit unterschiedlichen Ausrichtungen und Funktionsumfang entwickelt. Basis hierfür war auch die Verfügbarkeit von günstiger Computerhardware und vor allem leistungsfähigen Grafikkarten durch den wachsenden Markt bei Computerspielen.

Betrachtet man den Begriff „**Medienserver**“ genauer, zeigt sich schnell, dass unter diesem Marketingschlagwort viele verschiedene Produkte und Lösungen zu finden sind. Nur die namentlichen Grundeigenschaften, also verschiedene Medien – in der Wortbedeutung „Kommunikationsmittel“ – bereitzustellen (engl. to serve), reicht für einen Einsatz in Bereich Lichtdesign und -gestaltung nicht mehr aus. Hier unterscheiden sich Medienserver im Bereich von Show-Produktionen von Broadcast-Ausspielrechnern oder Streaming-Servern: Es wird ein komplexes Computer-Programm zur Echtzeitbildbearbeitung und eventuell zugehöriger Hardware erwartet. Die Einordnung verschiedener Systeme kann auf Basis dieser Vorgabe – Echtzeitbildbearbeitung – über verschiedene Aspekte wie Funktionsumfang, Aufgabenfeld oder Produktphilosophie erfolgen.



**Bild 11.5** links: Pandoras Box (Coolux), rechts: Stadium Server (Arkaos)



**Bild 11.6** links: MA VPU plus (MA Lighting), rechts: Axon (Highend Systems)

### 11.3.1 Überblick Grundfunktionen

Komplexe Bildbearbeitung scheint durch immer leistungsfähigere Hardware kein Problem mehr darzustellen. Die Anforderungen an moderne Medienserver umfassen aber noch weitere Kriterien, um in modernen Produktionsumgebungen einsetzbar zu sein.

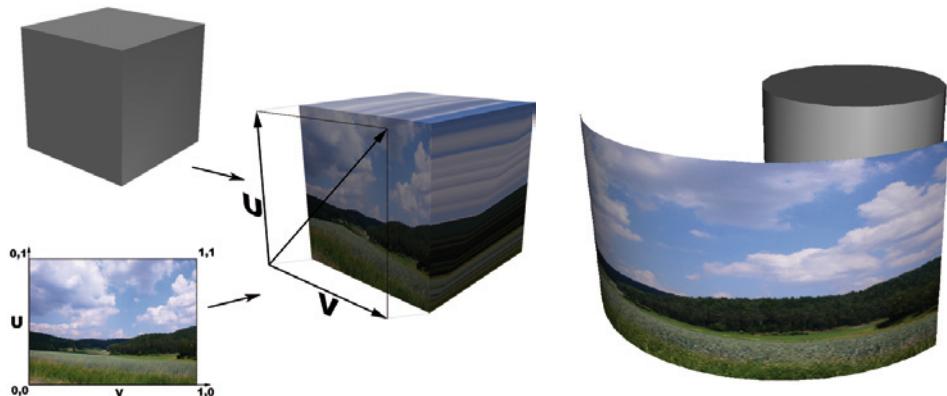
Medienserver sind zuerst eine Content-Datenbank mit integrierter Abspielenheit. Content fasst hierbei neben einfachen Grafiken auch Videos und Live-Signale ein. Im Server muss dieser Content strukturiert werden und auf Abruf ohne Verzögerung abspielbar sein. Des Weiteren soll Echtzeit-Compositing über mehrere Ebenen möglich werden. Dies beinhaltet neben dem reinen Playback von Inhalten auch deren Modifizierung, im Bedarfsfall auch dynamische Bildeffekte. Das so zusammengestellte Bild soll schließlich auf einem oder mehreren Ausspielwegen ausgegeben werden. Hierbei kann eine finale Bildmanipulation zur Bildanpassung geschehen. Anzahl und Art der Ausspielung kann dabei variieren, von einfachen Videoformaten über Pixelmapping auf RGB-Scheinwerfer bis hin zu aufwendiger 3D-Entzerrung. Dabei sollen möglichst viele Parameter dieses Design-Prozesses durch interne und/oder externe Schnittstellen variiert und gesteuert werden können. Auch hier ist der Begriff „in Echtzeit“ ausschlaggebend: Nimmt man die Bildwiederholraten von aktuellen Fernsehsystemen (NTSC 60 Hz = 30 Fps (Frames per second, Vollbilder/s), PAL 50 Hz = 25 Fps) als Basis, so muss jegliche Bildberechnung innerhalb eines Frames abgeschlossen sein.

Die jeweiligen Server bzw. Server-Systeme verfügen über unterschiedliche Ausstattungen und Möglichkeiten, nicht immer sind alle Features vorhanden – dies hängt vom jeweiligen Hersteller und von den Lizenz-Bedingungen ab. Hier gilt es, aus den zur Verfügung stehenden Systemen das für den jeweiligen Aufgabenzweck sinnvollste zu wählen.

#### 11.3.1.1 Layer

Basis für alle Bildmanipulationen ist der sogenannte Layer. Layer sind Bildebenen, die neben Content weitere Informationen, z.B. über Transparenz oder Objekt, beinhalten können. Die mögliche Anzahl und Eigenschaften einzelner Layer bestimmen die Funktionalität eines Medienservers. Grundlegende Eigenschaften sind die Sichtbarkeit bzw. Transparenz des einzelnen Layers und der zugewiesene Content. Der Layer stellt ein Objekt dar, dem eine Textur zugewiesen wird. Üblicherweise ist dieses Objekt eine plane Fläche ähnlich einem Blatt Papier. Je nach System kann dieses Objekt jedoch auch dreidimensional sein und frei zugewiesen, bei einigen Systemen sogar verformt werden. Das Objekt beinhaltet zudem die

Information, wie die Textur – also der Content – darauf aufgebracht wird (UV-Mapping). Um aus mehreren Layern eine Gesamtkomposition zu erstellen, muss definiert sein, wie und in welcher Reihenfolge die Layer übereinanderliegen. Einfache Server arbeiten hier mit einer festen Layer-Reihenfolge, komplexere Systeme ordnen Layer in einem virtuellen 3D-Raum an. Hier befindet sich jeder Layer auf einer z-Position, die je nach System auch als Parameter angesprochen werden kann. Das Arbeiten im 3D-Raum ermöglicht zudem die freie Positionierung, Rotation und Skalierung in allen drei Achsen.



**Bild 11.7** links: Prinzip UV-Mapping, rechts: UV-Mapping an einem 3D-Objekt

### 11.3.1.2 Content

Content ist der Inhalt der einem Layer zugewiesenen Textur. Dies können statische Grafiken oder Videos sein. Die Textur kann aber auch mit einem realen oder virtuellen Input gefüllt werden. Üblich sind Video-Input-Karten für diverse Schnittstellen, es ist aber auch möglich, Information aus Streams oder aus anderen Layern erstellte Submixes zu verwenden. Die Möglichkeiten richten sich hier nach Hersteller bzw. Lizenz des jeweiligen Systems. Dabei muss zudem beachtet werden, wie und welche Arten von Grafiken und Videos das System unterstützt. Einige Server bieten zudem eine freie Positionierung, Rotation und Skalierung des Contents auf dem Layer an (variables UV-Mapping). Ein weiterer grundlegender Punkt ist die Wiedergabesteuerung bei Bewegtbildwiedergabe: von einfacher Play-/Stop-/Pause-Funktionalität über Wiedergabe via Indizes eingegrenzter Bereiche bis hin zu möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeitsanpassung von Highspeed bis zum Stillstand sind verschiedene Optionen implementiert. Nicht alle Server verfügen über alle Möglichkeiten, auch sind einige Features nicht immer voll oder vergleichbar ausgeprägt.

### 11.3.1.3 Ausgabe

Ausgangspunkt einer Komposition ist üblicherweise das zu bespielende Medium. Je nach Produktion kann dies eine einfache Projektion sein, aber auch die Bespielung von ganzen Setdesigns aus vielen kleinteiligen LED-Flächen kann das Ziel sein. Die Ausgabesektion eines Medienservers kann hier eine weitere Abstraktionsschicht bilden, um bei der Gestaltung das Gesamtbild im Auge zu behalten und möglichst unabhängig von realen Gegebenheiten zu

agieren. So lassen sich z. B. finale Skalierungen oder Entzerrungen in einem sogenannten Camera-Layer realisieren. Diese virtuellen Kameras definieren gleichzeitig den Blickwinkel und die Position in Bezug auf die Layer und rendern (errechnen) das resultierende Bild. Eventuelle Anpassungen innerhalb der virtuellen Kamera z. B. zur Entzerrung, lassen so die eigentliche Komposition unberührt und können je nach Umgebung variiert werden. Die Ausgabe dieser Ansicht muss allerdings nicht zwingend als Bildsignal erfolgen. Es ist auch möglich, die RGB-Werte der einzelnen Bildpunkte z. B. als DMX-Signal für LED-Scheinwerfer auszugeben (Pixelmapping). Auch hier unterscheiden sich die Systeme in Lizenzierung und Möglichkeiten (siehe Bild 11.8 im Farbteil auf Seite 159).

#### 11.3.1.4 Texturen und Manipulation

Betrachtet man den Content als Textur, d. h. „Tapete“ für ein 2D- oder 3D-Objekt (vgl. UV-Mapping), so lassen sich Bildmanipulationen aus dem Verhältnis von Objekt zu Bespielung generieren. Einfaches Verschieben, Rotieren oder Skalieren des Bildinhalts auf der zu bespielenden Fläche bzw. Objekt, wahlweise auch kontinuierlich und dynamisch, ermöglichen einfache Video-Effekte. Zudem können Texturen verformt oder eingefärbt werden. Die Manipulationsmöglichkeiten sind je nach Server-Anwendung sehr ausgeprägt und dienen zum einen für dynamische Effekte, können aber auch z. B. im Bereich Farbigkeit zur Anpassung an verschiedene Ausgabeziele fungieren (z. B. Projektion oder LED).

#### 11.3.1.5 Ebenen

Um gesteuerte Überblendungen durchzuführen, müssen die Layer einer Anzeigenreihefolge folgen. Wird ein höherer Layer eingeblendet, müssen der oder die niedrigeren entsprechend überlagert werden. Diese Anzeigereihenfolge kann innerhalb des Medienservers fest vorgegeben sein (z. B. Ordnungszahlen), sie kann aber auch durch den Nutzer bestimmt werden, indem der jeweilige Layer „vor“ den anderen positioniert wird.

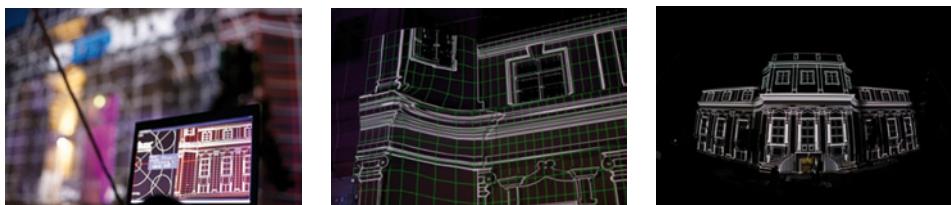
Um das Layerhandling für den Anwender einfacher zu machen, bieten einige Hersteller Überblendungen innerhalb eines Layers an: Hierbei wird meist ein zusätzlicher Steuerkanal genutzt, um Blendmodus und -zeit vorzugeben – wird dann der Content gewechselt, wird entsprechend der Voreinstellungen überblendet.

Die Priorisierung der Layer kann bei einigen Systemen nicht nur durch Sortierung bzw. Auswahl der Schichten geschehen, sondern auch durch das Positionieren innerhalb eines virtuellen 3D-Raums. Hierbei werden die Objekte als „Träger“ der Texturen im Raum zueinander und zur virtuellen Kamera positioniert. Die Anzeigenreihefolge wird dann durch die jeweilige z-Koordinate (z-Achse = Kameraachse) bestimmt und kann entsprechend angepasst und variiert werden.

#### 11.3.1.6 Virtuelle Kamera und 3D-Raum

Erweitert man das Konzept des abgefilmten 3D-Raums um frei definierbare Kamerapositionen und 3D-Objekte, so lassen sich nicht nur ansprechende Effekte und Bildkompositionen gestalten, auch komplexe Entzerrungen werden dadurch möglich. Wird z. B. die Kamera mit dem Projektor einer Projektion gleichgesetzt, so ist das resultierende Bild der virtuellen Kamera der Output des Projektors. Auf diesem Weg können aufwendige Entzerrungen reali-

siert werden, indem die virtuelle Kamera den realen Bedingungen (Blickwinkel, Bildwinkel, Position) angepasst wird. Werden zudem noch die beteiligten Objekte als 3D-Daten in das System integriert, so lassen sich komplexe Szenarien erstellen. Das Zusammenspiel der 3D-Daten von Objekten und Kamera ermöglichen dann erstaunliche Illusionen. Werden die 3D-Daten nicht nur auf einem Server, sondern innerhalb eines Server-Verbundes verwaltet, können auch großformatige Installationen (z.B. Fassadenprojektionen) relativ schnell entzerrt bzw. angepasst werden. Werden im Beispiel der Fassadenbespielung mehrere Projektoren für Format und Helligkeit benötigt, so greifen alle genutzten Server auf ein 3D-Objekt für die Fassade zurück, allerdings nutzt jeder Server eigene virtuelle Kameras zur Berechnung und Ausgabe des jeweiligen Projektorbildes.



**Bild 11.9** links: Entzerrung mittels Medienserver, mitte: Grid auf der Fassade, rechts: fertige Entzerrung (alle Bilder Looplight)

### 11.3.1.7 Erweiterte Funktionen

Um die Funktionalität und Möglichkeiten der Bildgestaltung zu erweitern, bieten diverse Serversysteme erweiterte Funktionen an.

So gibt es bei einigen Servern die Möglichkeit, das Mischverhalten der Layer vorzugeben. Dabei werden vergleichbar zu klassischer Bildbearbeitungssoftware Ebenen addiert, subtrahiert oder miteinander multipliziert. Dadurch ist es möglich, das von klassischen Videomischern bekannte Mask-Key-Fill-Verhalten zu gestalten. Dabei bestimmt ein Content die Maske der Überlagerung, ein zweiter Inhalt wird dann in diese Maske eingefügt.

Des Weiteren können verschiedene Effekte bzw. Effektebenen verwendet werden, die Auswahl an dynamischen Effekten ist sehr groß und variiert von System zu System. Einige Systeme bieten zudem die Möglichkeit, mit eigenen Effektgeneratoren zu arbeiten, z.B. Partikelsysteme oder virtueller Beleuchtung von Layern bzw. Objekten, hier verschwimmen dann die Grenzen zu bekannten Compositing- und 3D-Softwarelösungen.

### 11.3.1.8 Zeitbasis

Um ein System in eine vorhandene Produktionsumgebung zu integrieren, können auch noch Anforderungen an die verwendete Zeitbasis der einzelnen Zuspieler und des Gesamtsystems auftreten. So muss im Bereich von Fernsehstudios die Bildausgabe in 50 Hz geschehen, um Probleme beim Abfilmen von bespielten Flächen zu verhindern (Helligkeitsschwankungen/Schwebung). Grund hierfür ist die aus dem europäischen Stromnetz resultierende Grundfrequenz (50 Hz) der verwendeten Studiotechnik; die Computerhardware und Grafikkarten der Medienserver arbeiten üblicherweise auf Basis von 60 Hz (USA, Japan) und müssen eine entsprechende Anpassung ermöglichen.

Bei Nutzung der Medienserver als direkte Quelle für TV-Studios bzw. Ü-Wagen wird oft die Möglichkeit der Synchronisation der Bildausgabe erwartet. Um dies zu gewährleisten, werden die Grafikkarten mit dem Studiotakt (Genlock-Signal) synchronisiert. Dadurch ist gewährleistet, dass alle im System befindlichen Server das Bildsignal zeitgleich ausgeben.

Soll der Content bzw. die Gesamtkomposition mit externen Geschehnissen (Musik, Licht, Ton) synchronisiert werden, so muss das System Timecode-Signale (z.B. SMPTE, MIDI) verarbeiten können. Die Kopplung kann dabei je nach System bzw. Hersteller direkt für einen Content oder für die Gesamtkomposition geschehen.

### 11.3.1.9 Steuerung und Ansteuerung

Man muss unterscheiden zwischen der Steuerung einzelner Funktionen und Parameter der Medienserveranwendung und der externen Ansteuerung des eigentlichen Geräts. Während die Steuerung sich mit der Bedienung und Bedienphilosophie der Software des Medienservers beschäftigt, werden im Bereich der Ansteuerung die verschiedenen physikalischen Schnittstellen oder Protokolle betrachtet. Dabei gibt die Art der Steuerung den prinzipiellen Systemaufbau vor.

Bedienkonzepte basieren meist auf gewachsenen Strukturen. So ist bei den im VJ-Bereich (VJ = Visual Jockey) angesiedelten Medienservern eine lokale und direkte Bedienung geläufig. Diese sind oft als Single-Server-Systeme mit integrierten Steuerungen ausgeführt, um Budget, Systemkomplexität und Bedienungs-Know-how möglichst gering halten zu können. Bei Systemen, die aus dem Bereich der Lichtsteuerung kommen, sind die Benutzeroberflächen meist an die Steuerung von Multifunktionslampen angelehnt, um dem Nutzer ein gewohntes Gerät zu suggerieren. Neuere Systeme versuchen durch ein an Videoschnitt- oder Compositing-Software angelehntes Oberflächen-Design die Verbindung zum klassischen Broadcast-Bereich zu schaffen. Nicht zuletzt sind Bedienkonzepte und Strukturen auch an Lizenzierungsmodelle gekoppelt. Erweiterte Möglichkeiten der Fernsteuerung, eines größeren Systemaufbaus oder erweiterter Netzwerkfunktionalität finden sich in entsprechend höheren Preisstufen wieder.

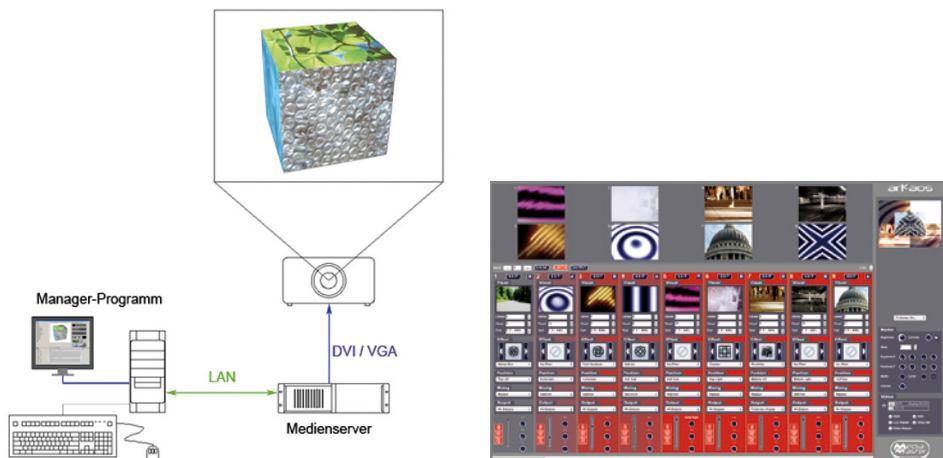
Die Ansteuerung ist lediglich Mittel zum Zweck und kann auf verschiedene Arten erfolgen. Diese unterscheiden sich hinsichtlich des Funktionsumfangs, der Informationsübertragungskapazität und des Verkabelungsaufwandes.

### 11.3.1.10 Integrierte Benutzeroberflächen

Bei integrierten Benutzeroberflächen werden alle Systemeinstellungen sowie Programmierung und Wiedergabe innerhalb eines GUI vorgenommen. Diese Art der Benutzeroberfläche findet sich vor allem bei Single-Server-Systemen. Hier ist es nicht notwendig, teilweise auch nicht erwünscht, erweiterte Einstellungen außerhalb des lokalen Medienservers zu ermöglichen, denn so können weniger komplexe Anwendungen schnell und einfach realisiert werden. Gleichzeitig ist dieser Modus aber auch für die Einrichtung und Fehlersuche bei größeren Szenarien sinnvoll. Nahezu alle Anbieter bieten diese Möglichkeit der Steuerung ihrer Systeme.

Ein Beispiel für ein integriertes GUI ist die Medienserver-Software Arkaos DJ DMX. Innerhalb der Oberfläche finden sich neben einem Vorschaufenster (hier Preview genannt) sowohl ein Bereich zur Programmierung (Effekte) als auch eine Liste des zur Verfügung stehenden

Bildmaterials. Sämtliche Einstellungen über Ausgabegröße, Hardwareeinstellungen oder Fernsteuerung via DMX oder ArtNet werden innerhalb der gleichen Oberfläche verändert. Die Verwaltung der Inhalte (Content) findet ebenfalls hier statt. Im unteren Teil der Anwendung findet sich zusätzlich eine Wiedergabeübersicht (Playback). Diese kann als Tastaturlayout angezeigt werden, wobei kleine Vorschaubilder (Thumbnails) die einzelnen Funktionen kennzeichnen.



**Bild 11.10** links: Schema: integrierte Bedienoberfläche, rechts: Beispiel integrierte Benutzeroberfläche (Arkaos)

### 11.3.1.11 Bedienung durch Lichtstellpulte

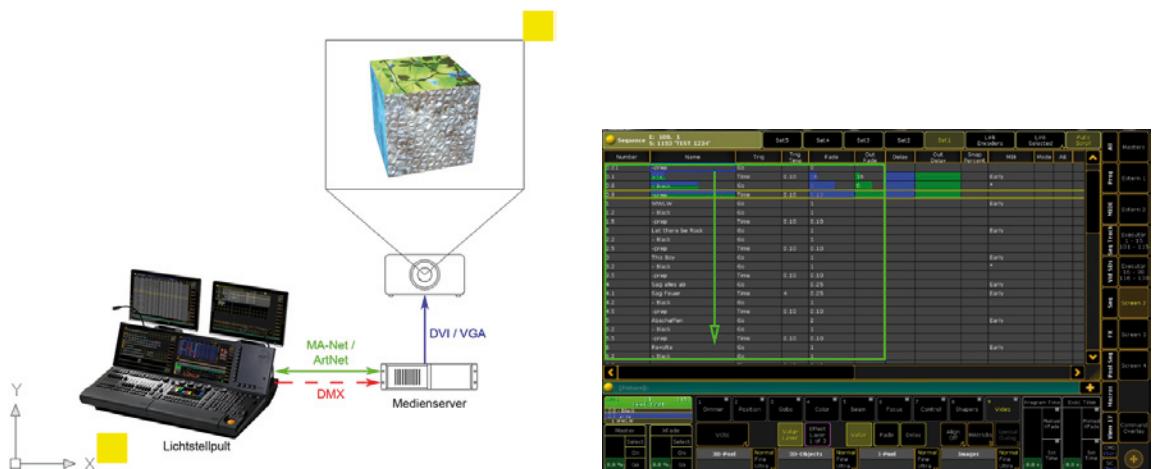
Das klassische Bedienkonzept stellt die Steuerung eines Medienservers durch ein Lichtpult dar. Hier findet eine Trennung in zwei separate Bedienmodule statt, die meist auf getrennter Hardware ausgeführt werden. Diese klare Aufteilung der Aufgabenbereiche ergibt zwei getrennte Benutzeroberflächen. Der Medienserver dient als reine Wiedergabeinstation, innerhalb deren Benutzeroberfläche lediglich Systemeinstellungen und Contentverwaltung vorgenommen werden. Alle anderen Funktionalitäten, wie zum Beispiel Programmierung und Wiedergabesteuering, werden im Lichtpult bedient, welches die Steuerung übernimmt.

Die benötigte Verbindung zwischen den beiden Anwendungen, Steuerung auf der einen und Wiedergabe auf der anderen Seite, kann über verschiedene Protokolle stattfinden und fällt in den Bereich der Ansteuerung. Üblicherweise wird dafür als Basis DMX-512A verwendet. Durch den hohen DMX-Kanalbedarf und die entsprechende Datenmenge werden diese Verbindungen aber immer häufiger via ArtNet oder proprietäre Netzwerkprotokolle realisiert.

Im Lichtpult erfolgt die komplette Programmierung und Wiedergabesteuering von einem oder mehreren Medienservern. Am Medienserver selbst werden nur administrative Aufgaben erledigt. Die Kommunikation, ergo die Ansteuerung, erfolgt über ArtNet oder proprietäre Protokolle. Proprietäre, d.h. nicht offene Protokolle ermöglichen die bidirektionale Kom-

munikation von Steuerung und Server(n) und stellen oft zusätzliche Funktionen bereit wie Synchronisierungsdaten, Thumbnailsvorschau oder Contentverteilung im Netzwerk.

Der Zugriff auf den Medienserver gestaltet sich ähnlich wie bei einem Multifunktionsscheinwerfer. Alle Layer und ihre Funktionen sind im Pult entsprechend angelegt und gepatcht, das bedeutet, es erfolgt eine Verknüpfung von Funktionen zu entsprechenden DMX-Adressen. Die Programmierung erfolgt Cue-orientiert. Das bedeutet, dass der Operator zunächst verschiedene Stimmungen (Cues) für Szenen oder einzelne Showelemente programmiert. Diese werden dann als Abfolge von Stimmungen in Listenform als Sequenzen (Sequence oder CueList) gespeichert. Bei der üblichen Darstellungsform von untereinander gestapelten Stimmungen spricht man von „vertikaler Programmierstruktur“.



**Bild 11.11** links: Schema Ansteuerung mit Lichtstellpult, rechts: Screenshot Cueliste Lichtstellpult

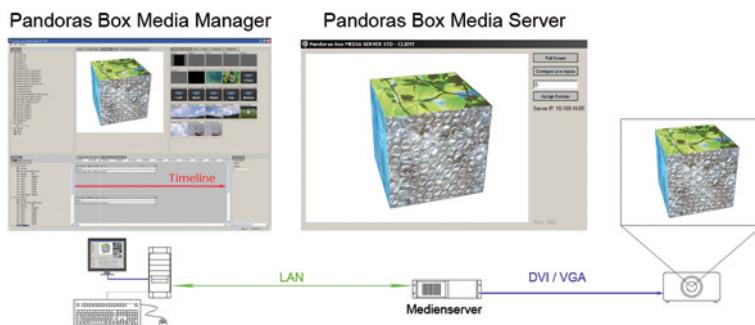
Der große Vorteil dieser Steuerungsart besteht in der bekannten Arbeitsweise für Stellwerker bzw. Operator und der guten Livetauglichkeit durch die der Anwendung angepassten Bedienoberfläche von Lichtpulten. Der Nachteil ergibt sich aus der Komplexität der aktuellen Medienserver, welche mit ihren vielen Funktionen nicht nur viele DMX-Adressen benötigen, sondern auch schnell unübersichtlich werden. Zudem erfordert schon die Funktionsvielfalt innerhalb eines Lichtpultes eine gut durchdachte Arbeitsweise. Das klassische Bedienkonzept mittels Lichtpult hat durch den vermehrten Einsatz von Netzwerktechnik eine Erweiterung der Funktionalität und Loslösung von den Einschränkungen des DMX erfahren. Dadurch verschieben sich die Steuerung und Ansteuerung von der klassischen Lichtsteuerung hin zu Netzwerken mit Master-Client-Struktur.

### 11.3.1.12 Manager-Anwendung und Timeline

Neuere Konzepte zur GUI-Gestaltung orientieren sich beim Workflow und Design an aktueller Videoschnitt- oder Compositingsoftware. Diese Videoediting-Systeme arbeiten üblicherweise entlang einer Zeitleiste (Timeline). Durch die immer weitere Verbreitung und qualitative Weiterentwicklung von Medienserversystemen wird deren Einsatz in Bereichen realisiert,

die früher Broadcast-Videotechnik vorbehalten waren. Für Anwender aus dem Bereich Video wird durch timelinebasierte Systeme eine bekannte Arbeitsumgebung bereitgestellt. Eine netzwerkisierte Master-Client-Struktur ermöglicht darüber hinaus integriertes Arbeiten innerhalb von Verbundanwendungen. Dabei bietet die Timeline und die grafische Benutzeroberfläche bei der Steuerung erhebliche Vorteile.

Um die Systemressourcen sinnvoll zu verteilen und die Aufgabenverteilung innerhalb großer Verbundsysteme zu strukturieren, wird die Programmiersektion und Wiedergabesteuerung auf einen separaten Steuerrechner ausgelagert. Dieser enthält ein spezielles Managerprogramm und besetzt die Masterfunktion. Nahezu die gesamte Bedienung eines oder mehrerer Medienserver wird über das GUI dieses Programms erledigt. Im Gegensatz zum Lichtpult erfolgt hier auch die Contentverwaltung. Im Medienserver selbst, der Client-Anwendung auf optimierter Serverhardware, verbleiben nur grundlegende Netzwerk- und Hardwareeinstellungen sowie die Bildberechnung (engl.: Rendering) und die Bildausgabe.



**Bild 11.12** Schema mit GUI: Manager-Software inklusive Timeline

Die eigentliche Programmierung findet anhand einer Timeline mit „horizontaler Programmierstruktur“ statt. Die Timeline bietet dabei eine aufgeräumte und übersichtliche Struktur auch und gerade für komplexere Shows, da sie in mehreren Spuren alle verwendeten Attribute direkt anzeigen kann. Die Wiedergabe fertiggestellter Sequenzen kann direkt aus der Manager-Software oder durch Ansteuerung der Timeline von außen mit einem Triggersignal erfolgen. Manager-Programme mit Timeline bieten gute Möglichkeiten zur Vorprogrammierung, da auch ohne die Medienserver gearbeitet werden kann (engl.: Offline-Programming).

### 11.3.2 Signale und Schnittstellen

Da der ursprüngliche Einsatzbereich von Medienservern in Verbindung mit Lichtstellpulten stattfand, ist bei vielen Produkten immer noch die Ansteuerung via DMX implementiert. Da allerdings die Funktionsvielfalt selbst einfacher Systeme sehr viele Parameter umfasst und zudem diese in höherer Genauigkeit (8 bit vs. 16 Bit) kontrolliert werden sollen, wird zur Steuerung ein immenser Bedarf an DMX-Adressen benötigt. Um zudem Latenzen durch Wandler-Hardware (Pult->DMX-Ausgabe->DMX-Interface Server->Server-Software) zu umgehen, werden mittlerweile fast alle Systeme über Netzwerk gesteuert.

### 11.3.2.1 Ansteuerung

Am verbreitesten ist hierbei das ArtNet-Protokoll. Viele Medienserversysteme bieten allerdings zusätzlich eigene proprietäre Protokolle an, die dem Nutzer einen Mehrwert bieten. So können z. B. mehrere Server synchronisiert, Thumbnails übertragen oder Systemeinstellungen wie Format oder Auflösung des Servers via Netzwerk administriert werden.

### 11.3.2.2 Bildschnittstellen

Für analoge Signale sind immer noch VGA-Schnittstellen vertreten, die allerdings mittlerweile innerhalb von DVI-D-Steckern geführt werden. Üblicherweise werden die realen Ausgänge über DVI bereitgestellt. Hierbei wird in Dual Link bzw. Single Link unterschieden: Können DVI Dual Link Outputs bis zu 7,22 Gbit/s (2560 x 1600 Pixel bei 60 Hz) übertragen, sind es bei Single Link nur 3,72 Gbit/s (1600 x 1200 Pixel/60 Hz). Bei DVI-I-Ausgängen (Integrated) sind zusätzlich zu den digitalen auch noch analoge Signale verfügbar. DVI-D (Digital) stellt am Stecker nur noch digitale Signale bereit. DVI-A entspricht einem Adapterkabel auf Analogsignal, da hier nur analoge Daten übertragen werden.

DVI-D und DVI-I sind aufwärtskompatibel zu HDMI. HDMI stellt zusätzliche Kopierschutzinformationen (HDCP) bereit und kann zudem auch Audiodaten übertragen. Zukünftig werden mit höheren Spezifikationen höhere Datenraten und damit Auflösungen bis zu 4K möglich sein.

SDI (Serial Digital Interface) ist die Standard-Videoschnittstelle in professionellen Studioumgebungen. SDI überträgt unkomprimierte Videosignale im Format YCRCB in 4:2:2 mit je 10 Bit Auflösung, üblicherweise über Koaxialkabel. SD-SDI überträgt Auflösungen von 576i (PAL) bzw. 480i (NTSC), für HD-Formate muss HD-SDI (720p/1080i) genutzt werden. Für progressive Full-HD-Auflösungen (1080p) wird der Standard 3G-SDI verwendet. Oft wird parallel zu SDI-Signalen in TV-Studios auch ein Genlock-Signal bereitgestellt, um den Bildwechsel einzelner Systembestandteile zu synchronisieren.

Als mittelbare Bildschnittstelle muss hier noch DMX bzw. ArtNet aufgeführt werden, da sehr viele Medienserver die Möglichkeit bieten, die Farb- bzw. Helligkeitswerte einzelner Pixel oder Bildsegmente als DMX-Daten an z. B. LED-Scheinwerfer auszugeben (Pixelmapping).

### 11.3.2.3 Sonstige Schnittstellen

In professionellen Umgebungen wird das Tonsignal meist separat verarbeitet, Standard-Schnittstellen hierfür sind symmetrische Audioausgänge an den Servern, je nach Ausbaustufe von Stereo bis Mehrkanal-Ton. Mögliche weitere Schnittstellen zur Kommunikation mit anderen Geräten oder Systemen sind unter andere MIDI und SMPTE-Timecode, wobei Medienserver nicht nur Informationen annehmen, sondern auch senden können, um externe Hardware anzusteuern.

Mittlerweile werden viele dieser Schnittstellen allerdings in Software implementiert, um den Systemtechnikern die Möglichkeit zu bieten, auch zukünftige Entwicklungen mit einbezogen zu können. So gibt es z. B. für die Pandoras Box von Coolux Software-Schnittstellen für Kinect-Kameras oder andere Gamecontroller, die dem Server-System 3D-Daten in Echtzeit übermitteln können.

# 12

## Lichtführung

Nachdem in den letzten Kapiteln die Theorie bzw. die Grundlagen der Licht- und Beleuchtungstechnik sowie die „**Geräte**“ (Scheinwerfer, Lichtsteuerung, Medienserver) besprochen wurden, wird jetzt der Bereich der Anwendungen betrachtet. Grundlage einer guten Lichtgestaltung bzw. eines Lichtdesigns ist die Lichtführung und damit das Zusammenspiel von Licht und Schatten, siehe Bild 12.1.



**Bild 12.1** links: gezielte Lichtwirkung, rechts: Dreipunktbeleuchtung

Die Wirkung des Lichtes kann man dabei in verschiedene Parameter unterteilen. Man kann durch die Lichtgestaltung eine Person ins „helle Licht“ setzen, den Gesichtszügen schmeicheln, weich und diffus ausleuchten, dies durch zusätzliche Effektfilter noch unterstützen, oder man kann genauso durch ausgewählte Lichtrichtungen, z. B. von schräg unten, das Gesicht bedrohlich ausleuchten, sodass die jeweilige gewollte Dramaturgie einer Szene eindrucksvoll unterstützt werden kann. Die Schatten spielen aus diesem Grund eine große Rolle innerhalb der Film- und Fernsehausleuchtung sowie der Theater-, Konzert- und Showbeleuchtung. Licht bzw. die Lichtgestaltung ist immer ein untrennbarer Teil der szenischen Handlung.

Um später den Stil bzw. den Look einer Show, eines Konzertes, eines Theaterstückes zu definieren, sollen zu Beginn die Grundlagen von Licht und Schatten definiert werden. Welche Lichtrichtungen gibt es und welche Lichtrichtungen ermöglichen welche Emotionen? Licht von unten ist immer theatricalisch und zieht die Aufmerksamkeit auf die Person, auf

das Stück. Dazu ist auch wichtig, sich zu vergewissern, welches Licht es gibt (hartes Licht, weiches Licht, diffuses Licht, Flächenlicht, gerichtetes Licht) und wie sich der jeweilige Schattenwurf darstellt.

## ■ 12.1 Licht und Schatten

Das räumliche Erkennen von Gegenständen setzt die richtige Verteilung von Licht und Schatten auf den Oberflächen und der Umgebung der Gegenstände voraus. Bei einer schattenlosen Ausleuchtung wirken alle Gegenstände flach, das Bild hat keine Tiefe, ermöglicht jedoch eine sehr weiche Ausleuchtung. Bei zu starker Schattigkeit gehen die Feinheiten verloren. Die richtige Ausleuchtung, je nach der Stimmung, die erreicht werden soll, ist ein wesentliches gestalterisches Element der Licht- und Beleuchtungstechnik im Medienbereich.



**Bild 12.2** Licht- und Schattenwirkung bei einer identischen Wandoberfläche, jedoch mit unterschiedlichem Lichteinfall, links: schräges Licht von oben, rechts: gleichmäßig diffuses Licht direkt von vorne

### 12.1.1 Natürliche Lichtrichtungen

Aus unserer alltäglichen Erfahrung sind uns verschiedene Beleuchtungssituationen vertraut. Das gerichtete Licht der Sonne bei wolkenlosem Himmel und das diffuse Licht bei geschlossener Wolkendecke. Charakteristische Eigenschaften sind dabei vor allem die gleichmäßige, fast schattenlose Beleuchtung bei bedecktem Himmel gegenüber dem dramatischen Wechsel von Licht und Schatten im Sonnenlicht. Diffuses Licht kommt immer von großen leuchtenden Flächen. Dies können das Himmelsgewölbe bei Tageslicht oder großflächige Leuchten im Kunstlichtbereich sein, wie Chimera-Lighting oder Bouncing-Lighting (Details siehe Kapitel 16 „Film-Licht“). Damit wird eine gleichmäßige, weiche Beleuchtung erreicht, die wenig Schatten oder Reflexe erzeugt.

Gerichtetes Licht geht immer von punktförmigen Lichtquellen aus. Dies ist beim Tageslicht die Sonne, im Kunstlichtbereich sind es kompakt gebaute Scheinwerfer wie engstrahlende Fresnelscheinwerfer oder Profilscheinwerfer. Die wesentlichen Eigenschaften von gerichtetem Licht sind die Erzeugung von Schatten auf Körpern und strukturierten Oberflächen sowie Reflexe auf spiegelnden Objekten.

### 12.1.2 Licht zur Orientierung

Eine ebenso selbstverständliche wie grundlegende Eigenschaft unserer Umwelt ist ihre Dreidimensionalität. Uns über diesen Aspekt zu informieren, ist ein wesentliches Ziel der visuellen Wahrnehmung. Da wir im Film- und Fernsehbereich die Bilder auf einem zweidimensionalen Medium (Filmleinwand bzw. Fernsehbildschirm) betrachten, ist gerade die Lichtrichtung, insbesondere für die Wahrnehmung räumlicher Formen und Strukturen, die sogenannte „Modellierung“ durch Licht und Schatten, von entscheidender Bedeutung.

Aufgabe der Ausleuchtung von Gegenständen und Personen muss es also sein, ein der jeweiligen Situation angemessenes Verhältnis von diffusem und gerichtetem Licht zu erzeugen. Bei der Planung gerichteter und diffuser Beleuchtungsanteile sollten unsere elementaren Erfahrungen bezüglich Lichtrichtung und Lichtfarbe bei Tageslicht aus der Natur berücksichtigt werden. So kommt das gerichtete Sonnenlicht von oben oder von der Seite, jedoch nie von unten. Die Lichtfarbe des Sonnenlichts ist deutlich wärmer als die des diffusen Himmelslichts. Das bedeutet, eine Beleuchtung, bei der ein gerichtetes Licht schräg von oben einfällt und eine warme Lichtfarbe besitzt, wird als natürlich empfunden. Der Einsatz abweichender Lichtrichtungen und Farbtemperaturkombinationen ist möglich, führt jedoch zu besonders auffälligen Effekten.

Ziel der Wahrnehmung ist nicht das Registrieren von Lichterscheinungen, sondern die Information über die Umwelt. Interessant sind nicht nur die Leuchtdichten die eine Ansammlung von Objekten abstrahlt, sondern vielmehr die Information über die Beschaffenheit dieser Objekte und über die Beleuchtungssituation, unter der diese Beschaffenheit wahrgenommen wird.

Licht ist also nicht nur dazu da, etwas zu beleuchten, Licht transportiert auch immer eine Information. Wir können aus dem Lichtfall, der Lichtrichtung und dem Schatten sehr schnell auf die Situation schließen, wo die Szene sich abspielt.

## ■ 12.2 Lichtrichtungen

In den verschiedenen Medienbereichen (Film, Fernsehen, Theater) haben sich im Laufe der Jahrzehnte teilweise gleiche, teilweise differenzierte Lichtrichtungen etabliert. Im nächsten Kapitel sollen die verschiedenen Lichtrichtungen kurz angesprochen werden, ausführliche Details siehe die nachfolgenden Kapitel (Film-, Fernseh-, Theater- und Konzert-Licht), in denen jeweils die Besonderheiten der einzelnen Lichtrichtungen genauer und ausführlicher erläutert werden.

Ganz prinzipiell kann man folgende Lichtrichtungen und Stile definieren:

- Vorderlicht
- Seitenlicht
- Hinterlicht
- Gegenlicht
- Oberlicht

- Unterlicht
- Akzentlicht
- Grundlicht
- Spitzlicht
- Kameralicht
- Kostümlicht
- Kantenlicht
- Augenlicht
- Haarlicht (Gegenlicht)
- 3/4-Gegenlicht

## ■ 12.3 Schattigkeit

Der Mensch ist nur dann in der Lage Gegenstände zu erkennen, wenn von den Gegenständen Lichtstrahlen ausgehen oder zurückgeworfen (reflektiert) werden. Körper aus Glas, die fast alles auffallende Licht hindurchlassen, können nur schwer erkannt werden. Erst der Wechsel von Licht und Schatten macht die Struktur einer Oberfläche sichtbar.

Wird z. B. eine Kugel unter völlig diffuser Beleuchtung gesehen, so wird ihre räumliche Gestalt nicht wahrzunehmen sein, sie erscheint lediglich als kreisförmige Fläche. Erst wenn gerichtetes Licht auf die Kugel trifft, d. h. erst, wenn sich Schatten bilden, kann ihre Räumlichkeit erkannt werden. Ebenso verhält es sich bei der Wahrnehmung von Oberflächenstrukturen, die unter diffusem oder senkrecht auftreffendem Licht kaum wahrzunehmen sind. Erst bei einem unter einem Winkel auftreffenden, gerichteten Licht können Schattenwirkungen hervortreten.



**Bild 12.3** links: Lichtquelle punktförmig (Sonne), rechts: Lichtquelle großflächig (diffuser Himmel)

### 12.3.1 Gerichtetes Licht

Gerichtetes Licht geht von punktförmigen Lichtquellen aus. Dies ist beim Tageslicht die Sonne; im Bereich des Kunstlichts sind es kompakt gebaute Lampen. Die wesentlichen

Eigenschaften von gerichtetem Licht sind die Erzeugung von Schatten auf Körpern und strukturierten Oberflächen sowie von Reflexen auf spiegelnden Objekten. Diese Wirkungen treten bei einem geringen Anteil von diffusem Licht an der Gesamtbeleuchtung besonders deutlich hervor. Im Bereich des Tageslichts liegt der Anteil von gerichtetem und diffusem Licht bei wolkenlosem Himmel durch das Verhältnis von Sonnen- und Himmelslicht (5:1 bis 10:1) praktisch fest.

Die Form und die Größe des Schattens werden von folgenden Einflüssen bestimmt:

- Die Größe des Schattens wird bestimmt durch den Abstand der Lichtquelle vom Objekt.
- Der Lichteinfallswinkel und die Stellung des Objektes zum Hintergrund haben Einfluss auf die Größe und die Form des Schattens. Je steiler der Lichteinfall, um so kürzer der Schatten.

### 12.3.2 Kernschatten bzw. Zentralschatten

Ist eine Lichtquelle punktförmig, so entsteht ein scharf abgegrenzter Zentralschatten (Kernschatten). Der Schlag- oder Kernschatten kann nur entstehen, wenn die Lichtquelle kleiner ist als der beleuchtete Gegenstand.

### 12.3.3 Halbschatten

Bei größeren Lichtquellen oder einem kurzen Abstand zwischen Lichtquelle und Objekt bilden sich neben dem Zentralschatten noch Zonen des Halbschattens aus. Ist die Fläche der Lichtquelle größer als der schattenwerfende Gegenstand, so entsteht nur Halbschatten.

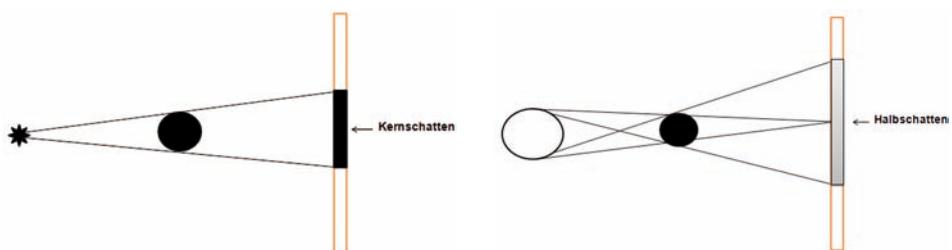


Bild 12.4 links: Kernschatten, rechts: Halbschatten

### 12.3.4 Harter bzw. weicher Schatten

Wird Körperschatten in der Inszenierung bewusst eingesetzt, so ist die Distanz zwischen Lichtquelle und dem beleuchteten Objekt von entscheidender Wichtigkeit. Befindet sich die Lichtquelle relativ nahe am Objekt, so verliert der Schatten an Schärfe.



**Bild 12.5** Hartes bzw. weiches Licht

### 12.3.5 Lichteinfallslinie

Der Winkel, den die Lichteinfallslinie und die optische Achse (Blickrichtung, Kameraachse) bilden, ist der Lichtwinkel. Je kleiner der Lichtwinkel, umso flacher und kontrastärmer ist das Bild. Mit größer werdendem Lichtwinkel wird eine größere Tiefenwirkung erzielt und das Bild wird kontrastreicher, jedoch wächst der Einfluss des Schattenelementes. Bei einer frontalen Beleuchtung fällt der Schatten hinter das Objekt, der Schatten ist nicht mehr sichtbar.

### 12.3.6 Punktuelles Licht

Unsere natürlichste Lichtquelle, die Sonne, ist ein extremer Punktstrahler. Das bedeutet, wann immer wir in der Sonne stehen oder ein Objekt von der Sonne beleuchtet wird, besitzt dieses Objekt einen sehr klaren harten Schatten. Dieser Schatten ändert sich auch nicht, wenn man sich in der Sonne bewegt. Versucht man diese Sonne im Theater oder Film mit künstlichen Lichtquellen zu simulieren, so ist es wichtig, dass der Scheinwerfer im Vergleich zum ausgeleuchteten Objekt deutlich kleiner ist, damit es nur einen Kernschatten gibt.

### 12.3.7 Weiches Licht

Wie bereits ausgeführt, erzeugt der diffuse Himmel ein sehr weiches Licht. Dies wird mit verschiedenen Kunstgriffen auch bei der Kunstlichtbeleuchtung mit entsprechenden Scheinwerfern umgesetzt. Durch eine große flächige Beleuchtung kann man beinahe schattenfrei ausleuchten, was im Filmbereich sehr gerne eingesetzt wird.



**Bild 12.6** Weiche Ausleuchtung Typ DLPA7 (Dedo Weigert)

# 13

## Lichtgestaltung und Lichtdesign

Beginnend mit der Theaterwelt werden die Besonderheiten der Lichtgestaltung über TV-Beleuchtung, Film-Licht bis hin zu den Events/Shows vermittelt. In den nachfolgenden Kapiteln (14 bis 17) werden dann die Besonderheiten beim Theater-Licht (Lichtrichtungen), Fernseh-Licht (Licht für die Kamera und das Auge), Film-Licht (detaillierte Beleuchtung) und Konzert-Licht (Effektlicht) erläutert, um dann in Kapitel 18 „Show- und Event-Licht“ die einzelnen Bereiche zusammenzuführen und das Zusammenspiel mit modernen Technologien wie Netzwerken, Projektionen und LED-Wänden darzustellen, denn eine Show oder ein Event ist heutzutage immer groß und immer multimedial (siehe Bild 18.2 im Farbteil auf Seite 159).

### ■ 13.1 Kurzer historischer Überblick

Von einer wirklichen „Lichtinszenierung“ kann erst mit Beginn des 20. Jahrhunderts gesprochen werden. 1900 entrümpelte der Londoner Bühnenbildner und Regisseur Edward Gordon Graig (1872–1966) die Bühne, entfernte gemalte Kulissen und verkündete: Licht wird nicht mehr gemalt, sondern geleuchtet. Sein schweizerischer Kollege Adolphe Appia führte im Jahr 1901 die Reorganisation des Raums in Deutschland durch. Er setzte dreidimensionale Körper im Bühnenraum ein, was die Beleuchter dazu zwang, zum ersten Mal auch Raumtiefen zu leuchten und Gegenstände plastisch auszuleuchten. Entsprechend wurden dadurch die ersten Scheinwerfer entwickelt.

Stanley McCandless wird oft als der Vater der modernen Bühnenbeleuchtung bezeichnet. Er lehrte dabei vor allem eine strukturierte Methode für den Lichtdesignprozess, siehe dazu die Ausführungen im Kapitel 14 „Theater-Licht“.

Durch die Entwicklung des Rock'n' Rolls bzw. den Auftritten der ersten Bands in den 1960er-Jahren zuerst in Sport- und Messehallen, später in großen Stadien hat die Lichtinszenierung eine neue Dimension erhalten. Während in den Anfängen die Gruppen noch mit wenig Licht- und Tonequipment unterwegs waren, standen Bands wie Jethro Tull in den 1970ern bereits ein Lkw mit Scheinwerfer zur Verfügung. Gruppen wie Genesis, Rolling Stones füllten in den 1980er-Jahren riesige Hallen und Stadien. Die letzte spektakuläre LED-/Lichtshow ist die Tour360 von der Band U2. Diese Show war 2 Jahre weltweit unterwegs und es wurden mehr als 7 Millionen Tickets verkauft.

Mit dem Einsatz von LED- und Medienwänden sowie Medienservern ist eine weitere Dimension im Bereich der Lichtinszenierung eröffnet worden. Durch die großflächigen Medien- und Videowände können opulente Bilder, Farben und Texte visualisiert werden, die gewaltige Dimensionen annehmen können.

## ■ 13.2 Grundregeln der Lichtgestaltung

Es gibt eine Menge Grundregeln, wie man Licht gestalten kann. Die wichtigste Grundregel kommt aus dem Theater und lautet: „Man muss die Schauspielerin bzw. den Schauspieler sehen, um sie/ihn zu hören“. Eine weitere wichtige Grundregel lautet: „Licht präsentiert und gewichtet“. Da unser Blick unweigerlich vom hellsten Lichtpunkt angezogen wird, ist eine der Hauptaufgaben der Beleuchtung einer Szene (Lichtgestaltung) diese durch wechselnde Lichtverteilung und Schwerpunktsetzung dynamisch zu halten.

Die weiteren Grundsätze zitiert nach Marie-Luise Lehmann aus ihrem Buch *Lichtdesign* lauten „Licht schafft, enthüllt und verändert Körper“. Mit Licht muss die Dreidimensionalität von Personen und Räumen unterstützt werden. „Licht erzeugt Stimmungen“ bzw. Emotionen. „Licht begleitet und kommentiert die Handlung“. Licht und Lichtänderungen markieren Wendepunkte in der Dramaturgie. „Licht vermittelt abstrakte Begriffe“ durch Farben, Kontraste und Lichtrichtungen und „Licht ist ein Designelement“ das seine eigene Ästhetik besitzt. Details dazu siehe Abschnitt 18.2 „*Lichtdesign*“.

James Turell, einer der größten noch lebenden Lichtkünstler der Welt, definiert Lichtgestaltung mit dem Begriff „Light behind the eye“. Das bedeutet, bei einer Lichtgestaltung muss ein Bild beim Zuschauer entstehen, es müssen Emotionen transportiert und es muss eine Geschichte erzählt werden.

### 13.2.1 Lichtgestaltung/Lichtstimmung/Lichtdesign

Der Haupteffekt einer Lichtgestaltung, einer Lichtstimmung oder des Lichtdesigns ist der „Look“ bzw. der Lichtstil. Dabei gibt es natürlich sehr große Unterschiede, ob man ein Musical beleuchtet, eine TV-Show, ein Rock-‘n’-Roll-Konzert oder einen Film. Jeder dieser Bereiche hat eigene „Looks“, wobei einige grundlegendene Dinge hier beschrieben werden.

Im Prinzip bedeutet *Lichtdesign* einen „Look“ aus verschiedenen Lichtstimmungen (Cues) zusammenzusetzen. Die kreative Kunst, diese Lichtstimmungen zu „designen“, wird im deutschsprachigen Raum als *Lichtgestaltung* definiert.

### 13.2.2 Personen

Schaut man sich den Abspann einer Fernsehsendung oder eines Filmes an, so wird am Ende eine relativ lange Liste von beteiligten Mitarbeitern aufgeführt (Produzent, Regisseur, Ka-

meramann, Bühnenbildner u. a.). Relativ selten wird dort der zuständige Lichtgestalter oder Lichtdesigner erwähnt, obwohl Licht ein essentieller Teil der kreativen Arbeit ist.

Im Lichtbereich unterscheidet man:

- Lichtdesigner (Lighting Designer)
- Oberbeleuchter (Gaffer)
- Best Boy, Assistent des Oberbeleuchters (Assistant Chief Lighting Technician)
- Beleuchter (Electrician)
- Lichtpultoperator

Im Showbereich kommen dann noch Spezialisten für Videocontent, Netzwerk, Medienservert und IT-Spezialisten dazu. Die Besonderheiten der einzelnen Medienbereiche (Theater, Film, Fernsehen, Konzert, Show) sieht man auch in der Festlegung, wer die künstlerische Verantwortung in den einzelnen Bereichen für das Licht bzw. die Lichtgestaltung besitzt.

In großen Theatern oder Musicals gibt es den speziellen Lichtdesigner, der in den USA eine eigene akademische Ausbildung durchläuft und dort als Künstler gesehen wird. In Deutschland ist die Berufsbezeichnung „**Lichtdesign**“ nicht geschützt. In mittleren und kleineren Theatern in Deutschland übernimmt das Lichtdesign meist der Beleuchtungsmeister. Beim Film und Fernsehen ist der Kreative der „**lichtsetzende Kameramann**“ (DoP, Director of Photography), der sich um die Bild- und Lichtgestaltung kümmert.

## ■ 13.3 Ausleuchten des Darstellers (Personenlicht)

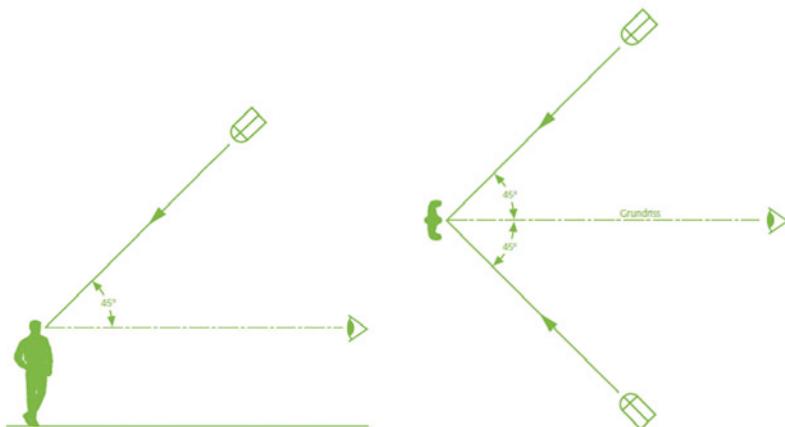
Historisch gesehen, ist die Lichtinszenierung im Theaterbereich die älteste, so dass mit den Grundlagen der Inszenierung im Theater begonnen werden soll. Danach soll auf die Besonderheiten beim Fernsehen, beim Film und im Showbereich eingegangen werden.

Von den vielfältigen Theorien und Vorgehensweisen für die Lichtgestaltung und Theaterbeleuchtung soll an dieser Stelle die grundlegende Theorie von **McCandless** vorgestellt werden. Für McCandless ist das natürliche Licht, d. h. das Himmels- und Sonnenlicht, die Grundlage des Lichtdesigns. Dieses Licht kann in zwei Kategorien unterteilt werden, zum einen in ein allgemeines Licht (Himmelslicht bzw. das Licht des bedeckten Himmels), zum anderen in das speziell gerichtete Licht (Sonnenlicht).

Für die Ausleuchtung des Spiellichtes im Theater legt McCandless fest, dass die ideale Scheinwerferposition zur harmonischen Ausleuchtung des Darstellers im horizontalen und vertikalen Winkel von 45 Grad zu beiden Seiten des Kopfes zu positionieren ist. Er ging dabei von einer Lichtrichtung im Frühjahr um 10.00 Uhr aus, bei der die Sonne schräg von oben eine Person ausleuchtet. Dies Lichtrichtung und auch der Schattenwurf war für ihn die natürliche Beleuchtung, wie eine Person im Theater beleuchtet werden sollte. Das Himmelslicht als weiches Umgebungslicht sollte dabei die Dreidimensionalität unterstützen.

Damit ist nach McCandless eine Beleuchtung einer Person durch ein seitliches, hohes Vorderlicht für die Darstellerbeleuchtung ideal. Man spricht von einem „optimalen“ Lichtein-

fallswinkel, wenn die Lichteinfallsrichtung und die Beobachtungsrichtung räumlich einen Winkel von  $45^\circ$  bilden. Das bedeutet, eine Person wird von zwei Scheinwerfern ausgeleuchtet, die im Idealfall einen Winkel von  $2 \times 45^\circ$  zueinander besitzen.



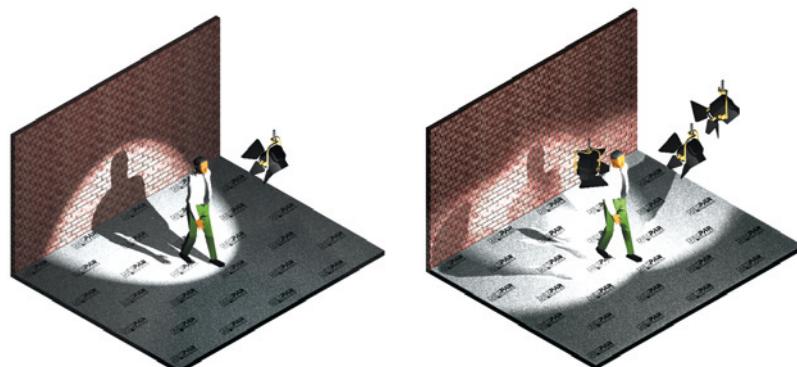
**Bild 13.2** links: idealer Lichteinfallswinkel nach McCandless zur Ausleuchtung einer Person von der Seite, rechts: von oben gesehen

## ■ 13.4 Lichtrichtungen

Ausgehend von der Theorie von McCandless und natürlich auch anderen Lichtdesignern haben sich im Laufe der Jahrzehnte in den verschiedenen Medienbereichen (Film, Fernsehen, Theater) teilweise gleiche, teilweise verschiedene Lichtrichtungen etabliert, die in diesem Kapitel ausführlich erklärt werden sollen. Weiterführende Details siehe die nachfolgenden Kapitel (Theater-, Fernseh-, Film- und Konzert-Licht), wo jeweils die Besonderheiten der einzelnen Lichtrichtungen genauer und ausführlicher erläutert werden. Ganz allgemein gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Lichtrichtungen, siehe dazu nachfolgende Abschnitte.

### 13.4.1 Vorderlicht

Das Vorderlicht ist eines der am häufigsten eingesetzten Lichtarten, um eine Person oder Gegenstände zu beleuchten. Mit dem Vorderlicht wird das Gesicht eines Schauspielers gut ausgeleuchtet. Die Schatten, die auf den Boden bzw. auf die Dekorationsflächen fallen sind noch relativ groß. Das Vorderlicht wird normalerweise im Theater in der Z-Brücke oder in den seitlichen Nischen angebracht.



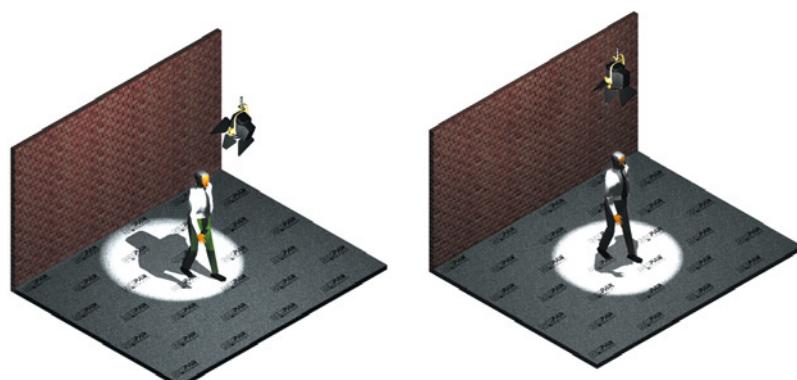
**Bild 13.3** links: Vorderlicht, rechts: Vorderlicht und seitliches Vorderlicht

### 13.4.2 Seitliches Vorderlicht

Seitliches, hohes Vorderlicht ist für die Darstellerbeleuchtung ideal. Man spricht von einem „optimalen“ Lichteinfallswinkel, wenn die Lichteinfallsrichtung und die Beobachtungsrichtung räumlich einen Winkel von  $45^\circ$  bilden. Dieser Winkel kann natürlich flacher oder steiler werden, je nach gewünschter Dramaturgie oder Gegebenheiten am Set.

### 13.4.3 Oberlicht

Das Oberlicht besitzt im Gegensatz zum Vorderlicht einen steileren Einfallswinkel. Diese Scheinwerfer sind meist in den Portalbrückenbereichen angeordnet. Das Oberlicht schafft Lichtübergänge vom Vorderlicht zum Seitenlicht und kann, richtig eingesetzt, eine offene Raumatmosphäre suggerieren.



**Bild 13.4** links: Oberlicht, rechts: Kopflicht

### 13.4.4 Kopflicht (Toplight)

Das Kopflicht, auch Toplight genannt, ist die besondere Form des Oberlichtes und wird senkrecht über einer Person platziert. Gesichtspartien bleiben bei einem solchen Licht meist dunkel. Das Kopflicht wird direkt im Rigg über der Bühne montiert.

### 13.4.5 Hinterlicht bzw. Gegenlicht

Das Hinterlicht dient dazu, die von vorne beleuchtete Person vom Hintergrund zu trennen. Es entspricht im Prinzip einem von oben einfallenden Licht, das speziell die Haare und die Schultern einer Person zusätzlich ausleuchtet. Da sich die Lichtquelle hinter dem Objekt befindet, beleuchtet es von der Rückseite und wirft Schatten nach vorne. Dieses Licht vermittelt dem Betrachter ein Gefühl für die Tiefe des Raumes.

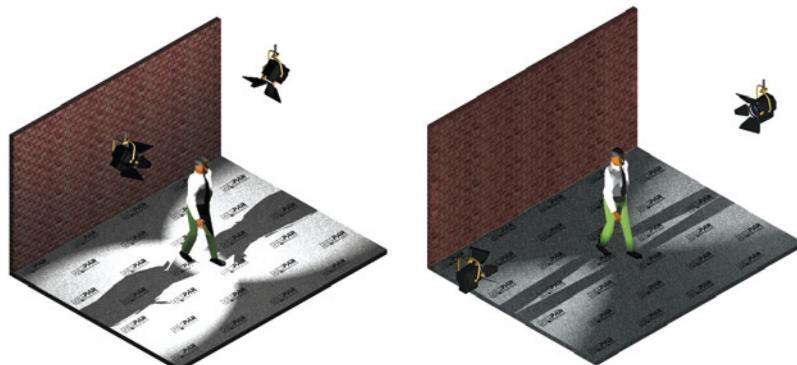
Ein sehr weit nach hinten und unten gezogenes Hinterlicht wird als Gegenlicht bezeichnet, das die Umrisslinien des Objektes betont. Es ist ein Hilfslicht zur Erzielung von scharfen Konturen und Kanten und entspricht den Vorschlägen von McCandless nach Dreidimensionalität. Auch die Scheinwerfer für das Hinterlicht sind im Rigg über der Bühne angebracht.



**Bild 13.5** links: Hinterlicht, rechts: Gegenlicht

### 13.4.6 Seitenlicht

Das Seitenlicht wird durch ein schräg von oben einfallendes Licht erzeugt. Das Seitenlicht lässt die Person noch plastischer wirken und unterstützt die Dreidimensionalität. Das Seitenlicht wird an den Beleuchtungsgalerien befestigt.



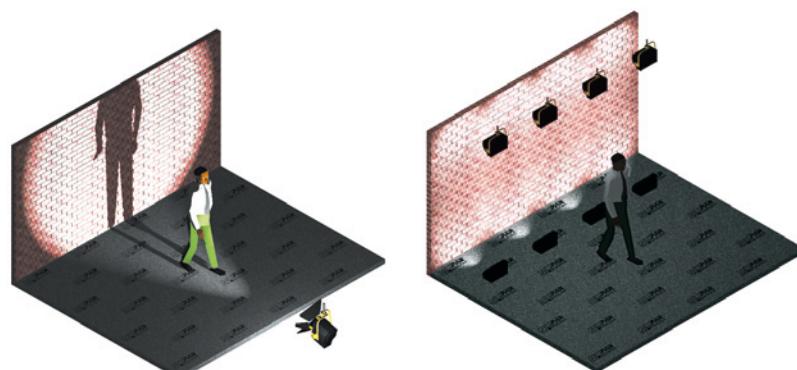
**Bild 13.6** links: Seitenlicht, rechts: Gassenlicht

### 13.4.7 Gassenlicht

Das Gassenlicht ist eine Sonderform des Seitenlichts und fällt im  $90^\circ$ -Winkel von der Seite auf die Person. Dieser Einfallswinkel vergrößert den plastischen Effekt und wird vor allem im Ballett und Tanztheater verstärkt eingesetzt, um die Konturen der Tänzer/innen hervorzuheben, ohne das Bühnenbild aufzuhellen. So wird die Aufmerksamkeit der Zuschauer auf den Tanz fokussiert. Die Scheinwerfer werden meist auf Stativen angebracht.

### 13.4.8 Rampenlicht, Unterlicht, Fußlicht

Das Rampenlicht charakterisiert eine Lichtart, die von unten auf die Person fällt und durch die „verkehrte“ Licht- und Schattenwirkung im Gesicht eine besondere Aufmerksamkeit beim Zuschauer erzeugt. Das Licht erscheint unnatürlich und vermittelt einen theatralisch überhöhten Effekt. Dieses Licht wird auch Unterlicht oder Fußlicht genannt. Es steht meist am vorderen Bühnenrand.



**Bild 13.7** links: Rampenlicht, rechts: Horizontlicht

### 13.4.9 Horizont- bzw. Hintergrundlicht

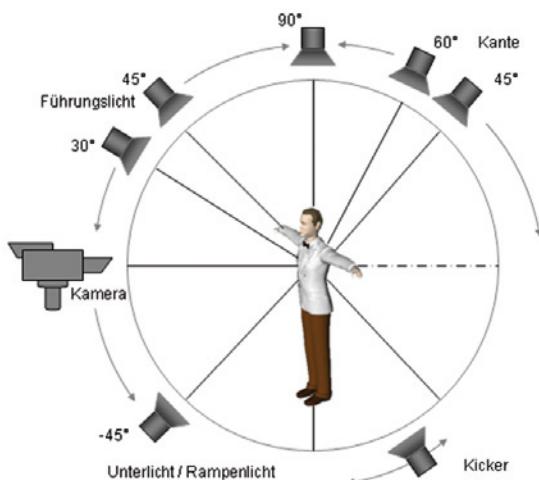
Das Horizontlicht dient zur Beleuchtung von Dekorationen im hinteren Bühnenbereich. Diesem Licht kommt bei der Bühnenbeleuchtung eine große Bedeutung zu. Es bestimmt die dritte Dimension, die Raumtiefe. Hier werden häufig auch Opera-Folien eingesetzt, die von hinten mit asymmetrischen Flutern möglichst flächig beleuchtet werden.

## ■ 13.5 Lichtgestaltung für Fernsehkameras

Bei der klassischen Fernsehaufnahme und damit Fernsehbeleuchtung werden am Set mindestens drei, meistens aber noch viel mehr Kameras eingesetzt, da der Regisseur bzw. der lichtsetzende Kameramann bei einer Live-Produktion oder „Live-on-tape-Produktion“ unmittelbar zwischen den verschiedenen Kameras schneidet, je nachdem welches Motiv gerade die Aufmerksamkeit des Zuschauers erregen soll. Dadurch müssen die Scheinwerfer deutlich weiter entfernt platziert werden, um nicht im Fernsehbild zu erscheinen.

### 13.5.1 Lichtrichtungen im Fernsehbereich

Nur in wenigen Situationen sind wir aufgefordert, eine homogene Lichtkonzeption zu entwerfen. Bei der Mehrzahl von Beleuchtungseinrichtungen gehen wir davon aus, dass eine Hauptlichtquelle, auch Führungslicht genannt, die Lichtführung bestimmt. Eine solche Entscheidung wird natürlich immer mit der Dramaturgie der Szene vereinbart. Bestimmte Positionierungen der Scheinwerfer wie z.B. Führungslicht, Aufhelllicht und Hinterlicht (Kante), haben sich auch im Film- und Fernsehbereich durchgesetzt.



**Bild 13.8** Verschiedene Lichtrichtungen im TV-Bereich

## Führungslicht

Das Führungslicht ist das prägende, d. h. das wichtigste Licht (Hauptlicht) der Ausleuchtung und bestimmt damit die Gesamtbeleuchtung. Es ist vergleichbar mit dem Vorderlicht. Mit dem Führungslicht wird der Moderator, die Nachrichtensprecher/in so beleuchtet, dass die Person so charakteristisch wie möglich erscheint oder die Handlungsgeschichte in der Szene mit unterstützt wird.

## Aufhellung

Die „Aufhellung“ hat die Aufgabe, die eventuell durch das Führungslicht auftretenden Schatten zu vermindern. Aus diesem Grund wird daher eine Lichtquelle verwendet, die diffuses Licht ausstrahlt. Dies können entweder Leuchten mit bereits weichstrahlendem Charakter sein oder aber auch „weichgezogene“ Fresnelscheinwerfer.

## Hinterlicht/Kantenlicht/Spitzlicht

Das Hinterlicht, auch Kanten- bzw. Spitzlicht genannt, dient dazu, die von vorne beleuchtete Person vom Hintergrund zu trennen.

## Kicker

Der Kicker ist ein von schräg unten gegen das Objekt gerichtetes Streiflicht und dient, ähnlich wie das Hinterlicht, zur Erzeugung einer Kontur.

## Augenlicht

Das Augenlicht soll den Glanz in den Augen der Darstellerin/des Darstellers unterstützen. Hierfür wird meistens ein sogenanntes „Kameravorderlicht“ eingesetzt. Dieses Kameravorderlicht befindet sich direkt oberhalb des Objektivs der Kamera und erzeugt einen Glanzpunkt in der Pupille der Darstellerin/des Darstellers.

## Gloriole

Die Gloriole ist ein Licht, das direkt von hinten eine Person ausleuchtet. Insbesondere werden durch dieses Licht die Haare der dargestellten Person extrem ausgeleuchtet und erzeugt so ein Art „Heiligschein“.

## 13.5.2 Personenausleuchtung im Fernsehbereich

Um Einzelpersonen im Fernsehbereich qualitativ gut auszuleuchten, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Man unterscheidet dabei Einpunkt-, Zweipunkt-, Dreipunkt- oder Vierpunkt-Beleuchtung. Natürlich gibt es, davon abgeleitet, noch eine Vielzahl von Varianten, entsprechend den Notwendigkeiten z.B. einer großen Talkrunde oder Ausleuchtung von großen Fernsehaufzeichnungen.

### 13.5.2.1 Einpunkt-Ausleuchtung

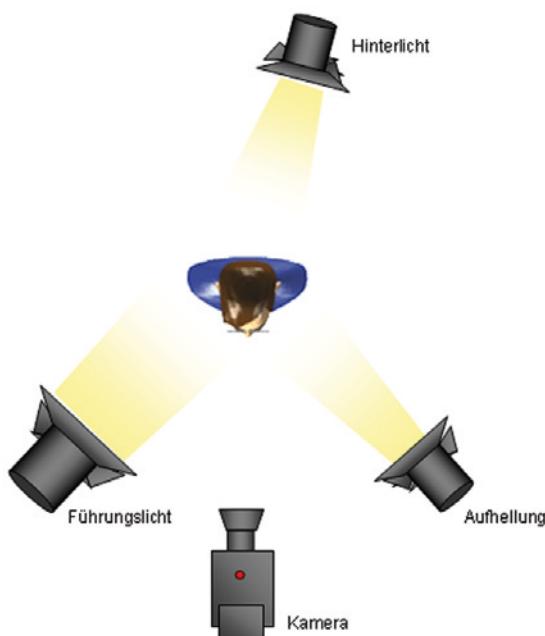
Man spricht von einer Einpunkt-Ausleuchtung, wenn nur ein einziger Scheinwerfer auf die Person gerichtet ist. Dieser Scheinwerfer entspricht dem Führungslicht und hat vor allem den Zweck, das Gesicht bzw. die Gesichtspartien auszuleuchten.

### 13.5.2.2 Zweipunkt-Ausleuchtung

Bei der Zweipunkt-Ausleuchtung dient der zweite Scheinwerfer als Hinterlicht, um Haare und Schultern zu betonen und damit eine gewisse Plastizität zu erzielen, was bei einer reinen Einpunkt-Ausleuchtung nicht möglich ist.

### 13.5.2.3 Dreipunkt-Ausleuchtung

Zur Ausleuchtung von Personen hat sich im Laufe der Jahre die Dreipunkt-Ausleuchtung, auch Studio-Portrait-Ausleuchtung genannt, durchgesetzt. Die aufzunehmende Person und die Verbindungsgeraden zur Kamera bilden die optische Achse. Auf diese Achse muss die Ausleuchtung bezogen werden. Entsprechend einer natürlichen Beleuchtung oder einer dramaturgisch begründeten Lichtrichtung wird zuerst das Führungslicht gesetzt. Dementsprechend folgt dann die Lichtsetzung durch das Aufhelllicht und das Hinterlicht.



**Bild 13.9** Dreipunkt-Ausleuchtung bzw. Studio-Portrait-Ausleuchtung

Dies bedeutet, dass bei einer Talksendung im Fernsehen mit z.B. sechs Gästen allein für die Personenausleuchtung 6 x 3 Scheinwerfer, also 18 Scheinwerfer notwendig sind sowie zusätzliche Scheinwerfer für die Dekoration.

### 13.5.2.4 Vierpunkt-Ausleuchtung

Seit einiger Zeit wird im Fernsehbereich von der Dreipunkt-Beleuchtung abgewichen und eine sogenannte Vierpunkt-Beleuchtung eingesetzt. Dabei werden aus der Kameraachse ein Führungslicht, zwei seitliche Seitenlichter und ein Hinterlicht gesetzt.

### 13.5.2.5 Green-/Blue-Box-Ausleuchtung

Bei virtuellen Studios, typischerweise eingesetzt bei Nachrichtensendungen wie Tagesschau, Heute-Journal, wird noch deutlich aufwendiger ausgeleuchtet. Bild 13.10 zeigt den Lichtplan einer Green-Box-Ausleuchtung mit einer klassischen Dreipunkt-Beleuchtung, jedoch erweitert um zwei Leuchten von der Seite (Gassenlicht) und zwei Hinterlichter.

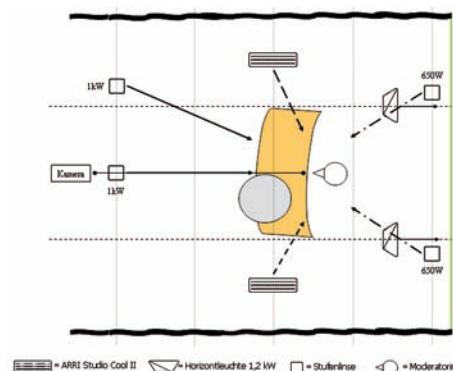


Bild 13.10 Lichtplan einer Green-Box-Ausleuchtung

### 13.5.3 Lichtsetzung im Film

Wie im Falle der Theater- und Fernsehbeleuchtung haben sich im Laufe der Jahre bestimmte Positionierungen der Scheinwerfer wie z.B. Führungslicht, Aufhelllicht und Hinterlicht (Kante) durchgesetzt, wobei beim Film vor allem die sehr gleichmäßige Beleuchtung der Gesichter der Schauspieler/innen von entscheidender Bedeutung ist. Das bedeutet, dass neben dem Führungslicht vor allem die Aufhellung einen wichtigen Part am Drehort spielt.

Das Führungslicht ist wie im TV-Bereich das prägende, d.h. das wichtigste Licht der Ausleuchtung und bestimmt die Gesamtbeleuchtung. Mit dem Führungslicht wird die/der Schauspielerin/Schauspieler so beleuchtet, dass der Charakter oder die Dramaturgie der Szene erkennbar ist („key-light“).

Die „Aufhellung“ hat im Filmbereich die Aufgabe, einerseits die eventuell durch das Führungslicht auftretenden Schatten zu vermindern, zum anderen, das Gesicht sehr gleichmäßig auszuleuchten. Aus diesem Grund werden Lichtquellen verwendet, die diffuses und auch „weiches“ Licht ausstrahlen.

## ■ 13.6 Fotografische Stile

Jede Szene eines Filmes und damit auch die einer Fernsehproduktion benötigt ihren eigenen fotografischen Stil. Von der rein technischen Seite gesehen, unterscheiden sich diese Lichtstile lediglich durch die LeuchtdichteVerteilung und die Leuchtdichteunterschiede im Gesicht der Schauspieler oder der Dekoration voneinander.

Von der ästhetischen und dramaturgischen Betrachtungsweise aus gesehen, sind dies jedoch Welten, die sich grundlegend voneinander unterscheiden. Das bedeutet, dass der zuständige Regisseur gemeinsam mit dem lichtsetzenden Kameramann vor Drehbeginn den gewünschten Stil diskutiert und festlegt, da der fotografische Stil die Ausleuchtung entscheidend bestimmt. Man unterscheidet dabei drei prinzipielle Lichtstile:

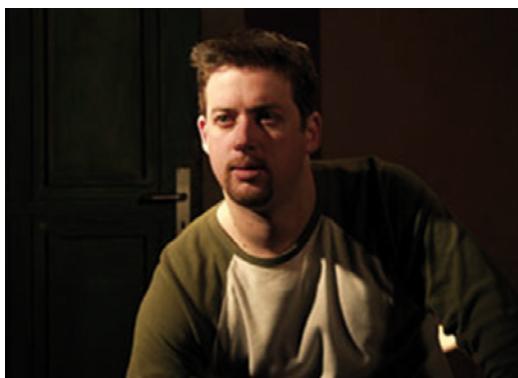
Es haben sich im Lauf der Jahre sogenannte „klassische“ Lichtstile wie Normal-Stil, Low-Key- und High-Key-Stil und Varianten herausgebildet. Im Filmbereich gibt es neben diesen klassischen Lichtstilen auch besondere, von einem gewissen Genre geprägte Lichtstile, wie „*Film Noir*“ oder „*Dogma95*“ u. a., die hier als „Genre-Lichtstile“ bezeichnet werden, siehe dazu Kapitel 16 „Film-Licht“.

### 13.6.1 Normal-Stil

Der Normal-Stil ist gekennzeichnet durch eine weitgehend gleichmäßige Ausleuchtung. Schlecht oder kaum durchzeichnende Flächen gibt es beim Normal-Stil nicht. Deshalb werden die meisten Filmaufnahmen im Normal-Stil gedreht. Er findet grundsätzlich überall dort Anwendung, wo der Zeitpunkt der Handlung und die im Drehbuch festgelegte Stimmung keine Abweichung vom Normalempfinden des Betrachters verlangen.

### 13.6.2 Low-Key-Stil

Charakteristisch für den Low-Key-Stil sind ausgedehnte, schwach oder überhaupt nicht durchgezeichnete Schattenflächen. Angebracht ist dies, wenn entweder der Zeitpunkt oder die Dramatik des Geschehens nach dieser kunstvollen Ausleuchtung verlangen. Beim reinen Low-Key-Stil sollten harte Kontraste vermieden und somit Schatten relativ weich dargestellt werden. Bei dem Low-Key-Stil gibt es noch weitere Unterteilungen in Lichtstile wie „unausgeglichener Low-Key“ und „aufgehellerter Low-Key“.



**Bild 13.11** links: Low-Key-Stil mit der Tendenz zu „unausgeglichenen Low-Key“, rechts: High-Key-Stil

### 13.6.2.1 „Unausgeglichener Low-Key“

Jede Übertreibung des Low-Key-Stils führt zu einer unausgeglichenen Beleuchtung, dem sogenannten „**unausgeglichenen Low-Key**“. Er fällt durch extrem harte Übergänge von Hell zum Dunkel auf, sodass Mitteltöne gänzlich fehlen und die Schatten absolut dominieren. Die dramaturgische Funktion des „**unausgeglichenen Low-Key**“ liegt vor allem in der Darstellung der ungeschminkten Realität, einer betonten Realistik.

### 13.6.2.2 „Aufgehellter Low-Key“

Der „**aufgehelle Low-Key**“ gilt als Übergangsform des Normalstils zum reinen Low-Key. Im Gegensatz zum „unausgeglichenen Low-Key“ dominieren bei dieser aufgehellten Variante nicht die so gut wie gar nicht durchgezeichneten Schattenpartien. Der „**aufgehelle Low-Key**“ ist weicher als der reine Low-Key und besitzt einen verhältnismäßig hohen Mittelton-Anteil.

## 13.6.3 High-Key-Stil

Bezeichnend für den High-Key-Stil sind helle, lichte Tonwerte. Im Bild überwiegen die Elemente mit hohem Reflexionsgrad. Der High-Key-Stil zeichnet sich durch eine sehr freundliche Grundstimmung aus, die Hoffnung, Zuversicht und Glück betont. Verschiedene Regisseure benutzen diesen Stil auch, um z. B. auf eine gute Wende im Geschehen hinzuweisen.

## 13.6.4 Grundregeln der Lichtführung

Die nachfolgenden Grundregeln der Lichtgestaltung für den Filmbereich wurden von dem Kameramann und Dozenten Hilmar Mehnert formuliert und stellen die theoretische Basis für jede Lichtplanung dar. Die nachfolgenden 9 Regeln sind zitiert aus Mehnert, H., Das Bild in Film und Fernsehen, VEB Fotokino Verlag 1986.

1. „In der Natur ist die Hauptlichtquelle die Sonne. Daraus ergibt sich ein definierbarer Schatten, verursacht vorwiegend durch die Hauptlichtquelle. Der entscheidende Schritt jeder Lichtführung ist daher die Festsetzung des Führungs-(Haupt)-Lichtes.“
2. „Jede Szene soll so ausgeleuchtet werden, dass sie wie durch die im Bild vorhandene (oder dem Betrachter bekannte) natürliche Lichtquelle beleuchtet zu sein scheint.“
3. „Die Hauptlichtquelle (das Führungslicht) muss aus einer dem szenischen Aufbau entsprechenden Richtung strahlen (z. B. Fenster), und zwar auch dann, wenn die Lichtquelle nicht im Bild zu sehen ist, aber ihr Standort aus vorangegangenen Einstellungen bekannt ist.“
4. „Das Führungslicht soll so an der natürlichen Lichtquelle aufgestellt werden, dass das auf die Dekoration und die Darsteller fallende Licht richtungsgemäß mit dem der praktischen Lichtquelle übereinstimmt.“
5. „Strahlen mehrere Lichtquellen in die Szene, so müssen sie so angeordnet werden, dass sich die von den Gegenständen der Szene entworfenen Schatten richtungsgemäß nicht widersprechen.“

6. „In vielen Fällen muss man gegen die Logik verstößen, und der Geschlossenheit des Bildes, der Ästhetik oder der Dynamik des Schattens wegen, einen einzigen Schatten entwerfen.“
7. „Das Führungslicht muss/soll im Regelfall die stärkste Lichtquelle darstellen.“
8. „Die Beleuchtungsdifferenzierung richtet sich allein nach der Leuchtdichte des vom Führungslicht getroffenen Gesichtsteils.“
9. „Die im Bild zu sehende praktische Lichtquelle muss heller sein als jeder beliebige andere, von ihr beleuchtete Gegenstand.“

# 14

## Theater-Licht

Man muss den Schauspieler, die Schauspielerin sehen, um ihn/sie zu hören. Dies ist einer der wichtigsten Leitsätze von Lichtdesignern. Die Mimik und die Gestik eines/einer Schauspielers/in ist ein wichtiges Ausdrucksmittel auf der Bühne. Kann der Zuschauer die Gesichter nicht erkennen, verliert er schnell das Interesse und fühlt sich gelangweilt. Dieses Zitat, drückt aus, welchen wichtigen Stellenwert das Licht bzw. die Lichtgestaltung im Theater-/Bühnenbereich besitzt (siehe Bild 14.1 im Farbteil auf Seite 160).

Dieses Kapitel ist der klassischen Theaterbeleuchtung gewidmet. Ein grundlegendes Verständnis für Lichtrichtungen und Beleuchtungsstile ist notwendig, um ein gutes Lichtdesign zu schaffen. Kennt man die Grundlagen, sind der Fantasie keine Grenzen gesetzt. So werden heute bei den meisten sehr großen Theaterproduktionen Videoprojektionen oder LED-Elemente als Beleuchtung oder sogar als Teil des Bühnenbildes eingesetzt. Deren Einsatz setzt auf den klassischen Beleuchtungslösungen auf und soll in Kapitel 18 „Show- und Event-Licht“ detaillierter beschrieben werden.

### ■ 14.1 Kurzer historischer Überblick

Die Faszination von Aufführungen und Theaterstücken ist mit der Entwicklung des Menschen direkt verknüpft. Von den Griechen weiß man aufgrund der Amphitheater recht gut, dass schon damals „Szenerien“ durchgeführt wurden, seien es nun Bühnenstücke oder auch Sängerwettstreite.

Man unterteilt die Geschichte des Theaters und damit indirekt auch die der Theaterbeleuchtung in verschiedene Epochen. Diese unterscheiden sich nicht nur durch verschiedene Themen und Aufführungsarten, sondern auch durch den Einsatz der theatralischen Mittel wie Beleuchtung und Akustik.

Bei den Griechen wurden Theaterstücke zu Ehren des Gottes Dionysos aufgeführt. Diese Theaterstücke besaßen zwar nur einfache Hintergründe, dauerten jedoch den ganzen Tag und bedienten sich des natürlichen Tageslichts. Das römische Theater fand aber auch abends und oftmals in geschlossenen Räumen statt, sodass eine große Anzahl an Kerzen, Öllampen und Fackeln benötigt wurde, die allerdings nur einen praktischen, jedoch keinen dramaturgischen Effekt besaßen. Im Mittelalter fanden die Aufführungen beinahe ausnahmslos in Kirchen oder

auf großen Plätzen statt, da es zu dieser Zeit keine Theaterbauten gab. Die Aufführungen fanden bei Tage statt, sodass Tageslicht das vorherrschende Licht war.

In der Renaissance wurde in Italien ein völliger Wandel der Bühnenform eingeführt. Das höfische Theater in Italien erhielt erstmals Rampen-, Ober- sowie Seitenlichter. Angelo Inguggeri (1550–1613) unterstrich mit der Forderung, die Bühne heller zu beleuchten als den Zuschauerraum das Prinzip der Guckkastenbühne und bewirkte damit den ersten Schritt in Richtung Barocktheater. Der Architekt Nicola Sabbattini (1574–1654) entwickelte verschiedene mechanische Verdunklungsmöglichkeiten, z.B. das langsame Absenken von Blechrohren über Flammen oder die Verwendung von Lichtquellen in einem drehbaren Halbzylinder, um die Lichtintensität in einer Richtung zu reduzieren. Diese und andere praktische Überlegungen bereiteten den Weg für erste lichtdramaturgische Ansätze.

Joseph Furtttenbach (1591–1667) empfahl z.B. verdecktes Licht oberhalb der Bühne, welches mit Hilfe von Spiegeln auf diese gelenkt wurde. Des Weiteren empfahl er eine Fußrampe mit Reflektoren, um die Zuschauer nicht zu blenden. Diese und andere Empfehlungen waren bis zur Hälfte des 18. Jahrhunderts bestimmd. Das Theater des Barocks war bahnbrechend für die Entwicklung des heutigen Theaters. Die szenentechnischen Elemente wurden plötzlich üppig und farbenfroh. Bis heute entsprechen in Europa Theater und Opernhäuser im Wesentlichen den damals entwickelten Strukturen. Die Lichteffekte wurden immer mehr perfektioniert, trotzdem blieb die einzige effektive Beleuchtung die Fußrampe. Durch diese Beleuchtungsart verlor sich das Licht sehr schnell zur Bühnenmitte, und dort, wo es eigentlich am hellsten sein sollte, herrschte Schatten. Aufgrund der schwachen Lichtquellen war selbst mit Reflektoren keine ausreichend gleichmäßige Ausleuchtung zu erzielen. Dadurch musste sich der größte Teil der Handlung vorne am Bühnenrand abspielen und die Darsteller wurden unnatürlich ausgeleuchtet.

Mit der Entdeckung des Steinkohlegases (1785) und damit der Möglichkeit, Gas als Leuchtmittel einzusetzen, wurde eine neue Ära in der Theaterbeleuchtung hervorgerufen. Insbesondere war es nun möglich, die einzelnen Bereiche wie Seitenbühne, Oberbühne etc. einzeln zu steuern und zu dimmen. Die Gasbeleuchtung ermöglichte zum ersten Mal auch eine helle und breitstrahlende Beleuchtung von Szenen und Schauspielern. Mit der Entwicklung der Bogenlampe und allgemein mit dem Einzug der elektrischen Beleuchtung im Theater wurden die Vorteile, die die elektrische Beleuchtung mit sich brachte, sehr schnell für den Einsatz im Theater erkannt. 1858 wurde der erste Verfolgerspot mit Bogenlampe und Shutter in einem Londoner Theater eingesetzt.

## Lichtinszenierung im 20. Jahrhundert

Wie in Kapitel 13 „Lichtgestaltung und Lichtdesign“ schon ausgeführt, entrümpelte im Jahr 1900 der Londoner Bühnenbildner und Regisseur Edward Gordon Graig die Bühne und führte eine radikale Veränderung in der Bühnengestaltung und -beleuchtung ein. Weitere Pioniere der Lichtinszenierung waren in den USA die „Lichtdesigner“ Stanley McCandless, Norman Bel Geddes, Abe Feder, Jean Rosenthal. McCandless wird oft als der Vater der modernen Bühnenbeleuchtung bezeichnet. Er war von Hause aus Architekt und einige Jahre als selbstständiger Lichtberater in New York tätig. Als in den 20er-Jahren die Yale School of Drama gegründet wurde, bekam McCandless den Auftrag, dort das Fach Bühnenbeleuchtung zu lehren. Dies tat er von 1925 bis zu seiner Pensionierung 1964. Er lehrte dabei vor allem eine strukturierte Methode für den Lichtdesignprozess.

In den 80er-Jahren führte der Bühnenbildner und Regisseur Robert Wilson eine weitere Revolution im Bühnenbild und in der Lichtinszenierung durch. Wilson forderte ultimativ, dass der Großteil der Dekoration von der Bühne zu entfernen sei. Das Theaterstück sollte nur noch von den Schauspielern/innen und riesigen farbigen Flächen im Hintergrund leben.

Durch den Einsatz von Tageslichtscheinwerfern (HMI) in Theaterstücken führte der Beleuchtungsmeister und Lichtdesigner Max Keller in den 80er-Jahren eine völlig neue Ästhetik im Bühnenbereich ein. Die Bühnenbilder und das Lichtdesign wurden sehr viel heller und dramatischer, im Prinzip expressionistisch beleuchtet und ermöglichen ganz neue Interpretationen von Bühnenstücken. Max Keller gilt seither als der Pionier des Lichtdesigns im Theater in Deutschland.

Heutzutage ist eine Verschmelzung von Lichtdramaturgie und Bühnenbild vollzogen. Insbesondere wird auch immer stärker der Einfluss aus dem Architekturbereich und aus dem Rock-'n'-Roll-Bereich sichtbar. Als ein Beispiel von vielen soll die Verpflichtung des Lichtdesigners Patrick Woodroffe für das Lichtdesign der Neuinszenierung der Oper von Romeo et Juliette von Gounod im Jahr 2001 an der Wiener Staatsoper sein (Regie: Jürgen Flimm). Patrick Woodroffe war langjähriger Lichtdesigner der Rolling Stones, von Tina Turner, Rod Stewart, Cher, Phil Collins u.v.a.

## ■ 14.2 Verantwortliche Personen

Die zentrale Person bei der Entstehung eines Theaterstückes ist der Regisseur. Er interpretiert den zu bearbeitenden Stoff meist in Zusammenarbeit mit einem Dramaturgen. Dann gibt er seine konzeptionelle Idee an die einzelnen Gewerke (Bühne, Licht, Ton, Kostüm u.v.a.) im Theater weiter. Mit den Leitern dieser Gewerke bildet er das Regieteam. Dies ist sinnvoll, damit das Konzept von Anfang an durchgängig umgesetzt werden kann. Neben dem Regisseur spielen also der Bühnenbildner und der Lichtdesigner sowie weitere Personen des Regieteams eine wichtige Rolle bei der Entstehung eines Stückes.

Das Regieteam setzt sich bei unterschiedlichen Theaterformen natürlich auch anders zusammen. Hier ein kurzer Überblick, wie sich ein solches Team zusammensetzen kann:

- Das kleinste gängige Team: Regisseur, Bühnenbildner, Lichtdesigner
- Sprechtheater: Regisseur, Dramaturg, Bühnenbildner, Lichtdesigner, Kostümbildner
- Oper: Regisseur, Dirigent, Bühnenbildner, Lichtdesigner, Kostümbildner
- Ballett: Regisseur, Dirigent, Choreograph, Bühnenbildner, Lichtdesigner, Kostümbildner

In den USA und in England gibt es schon seit den 60er-Jahren professionelle Lichtdesigner für den Theaterbereich und später auch für den Architekturbereich. Sie werden speziell dafür ausgebildet die gestalterischen Ideen in technische Lösungen zu übertragen. In Deutschland gibt es diese Ausbildung erst seit Kurzem.

Ursprünglich gaben der Regisseur und der Bühnenbildner ihre Ideen zum Licht an den Beleuchtungsmeister weiter. Dieser war und ist für die technische Umsetzung zuständig. Er hatte also mit dem Design nichts zu tun, sondern kümmerte sich um die technische Einrichtung.

Außerdem ist er im Theater verantwortlich für die Zusammenstellung der Beleuchtungstechnik, das heißt welche Scheinwerfer oder welches Lichtpult werden angeschafft, sowie für die Wartung und Instandhaltung. Außerdem muss ab einer bestimmten Bühnengröße bei der Aufführung ein Meister anwesend sein, der technisch verantwortlich ist. Dies kann ein Bühnen- oder Beleuchtungsmeister sein. Genaueres findet man in der Versammlungsstättenverordnung. Heute gibt es im Regieteam immer einen Verantwortlichen für Licht, da es als eigenes Gestaltungsmedium voll anerkannt ist. Oft hat derjenige in Deutschland aber keine Ausbildung zum Lichtdesigner, sondern er ist gleichzeitig der Beleuchtungsmeister oder er hat sich sein Wissen anderweitig erarbeitet.

Dem Beleuchtungsmeister unterstehen die Beleuchter, die die technischen Aufgaben erfüllen. Sie setzen den Auf- und Abbau, die Verkabelung, den Fokus der Scheinwerfer und die Programmierung des Lichtpultes um. Der Programmierer wird im Theater Stellwerker genannt.

### Messgeräte

Im Theater wird für das Auge der Zuschauer beleuchtet. Es gibt in der Regel im Theater keine festen Beleuchtungsstärkewerte für bestimmte Anforderungen wie die Ausleuchtung für Schauspieler oder Szenen, die erfüllt werden müssen. Deswegen werden nur selten Messwerte genommen, sondern der Lichtdesigner leuchtet nach seinem Sehempfinden ein.

## ■ 14.3 Scheinwerfer und Standorte

In diesem Abschnitt wird kurz auf die eingesetzten Scheinwerfer im Theaterbereich sowie ihre Standorte eingegangen. Die Wirkungsweise der eingesetzten Scheinwerfer ist in Kapitel 9 „Scheinwerfer“ ausführlich erklärt.

### 14.3.1 Scheinwerfertypen

Im Theater werden bestimmte Scheinwerfertypen aufgrund ihrer Eigenschaften häufiger eingesetzt als andere, die gängigsten sind:

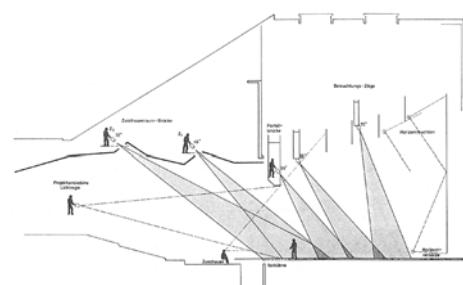
- Profilscheinwerfer mit Fest- oder Zoomoptik, meist von 750 W – 2 kW
- Scheinwerfer mit Fresnel- oder PC-Linsen, meist 650 W – 5 kW
- PARs mit CP60 – CP62 Leuchtmittel (1 kW) oder CP86 – CP 88 Leuchtmittel (500 W), gängige Gehäuse-/Linsendurchmesser PAR 56 oder PAR 65, longnose
- Fluter, asymmetrisch oder symmetrisch, 500 W – 5 kW
- verschiedenste Entladungslampen
- Niedervolt-Scheinwerfer

Natürlich kann der Lichtdesigner einsetzen, was technisch machbar ist. Er ist keinesfalls an die obige Aufzählung gebunden. Diese Scheinwerfer stellen aber in den meisten Theatern die Grundausstattung dar.

Heute finden immer mehr Moving Lights und LED-Scheinwerfer ihren Weg in den Theaterbereich. Movinglights sind sehr flexibel und es ist gelungen, störende Lüftergeräusche zu minimieren. LED-Scheinwerfer sind äußerst energieeffizient und meist auch leichter. Neueste Modelle haben eine gute Lichtausbeute und Farbwiedergabe.

### 14.3.2 Standorte der Beleuchtungseinrichtungen

Die Beleuchtungsgeräte werden mit festem oder mobilem Standort aufgestellt. Die wichtigsten festen Standorte sind in der nachfolgenden Abbildung skizziert. Alle Einsatzpunkte von Beleuchtungsgeräten werden von den betriebsbedingten Erfordernissen bestimmt. Bild 14.2 zeigt die typischen Beleuchtungspositionen im Theater (Längsschnitt durch den Zuschauer- und Bühnenraum).



**Bild 14.2** Beleuchtungspositionen im Theater

Bestimmte Positionierungen der Scheinwerfer wie z.B. Vorderlicht, Oberlicht, Hinterlicht, siehe nachfolgende Erklärungen, haben sich im Laufe der Jahre im Theater, aber auch im Film- und Fernsehbereich durchgesetzt. Zusätzlich gibt es im Theater jedoch noch besondere Beleuchtungspositionen wie z.B.

- Z-Brücke (Zuschauerbrücke): Aus dieser Position können die Schauspieler/innen auf der Vor- und Hauptbühne sehr gut ausgeleuchtet werden (Frontlicht).
- Portalbrücke: Die Portalbrücke befindet sich hinter dem „Eisernen Vorhang“ und ermöglicht ein sehr steiles Licht auf die Schauspieler/innen). Der „Eiserne Vorhang“ trennt im Brandfall den Bühnenraum in Sekundenschnelle hermetisch vom Zuschauerraum ab, um die Ausbreitung eines Feuers zu verhindern.

## ■ 14.4 Lichtgestaltung im Theaterbereich

Von den vielfältigen Theorien und Vorgehensweisen für die Lichtgestaltung für die Theaterbeleuchtung sollen an dieser Stelle zwei exemplarische Lichttheorien vorgestellt werden. Die grundlegendste Theorie wurde von McCandless vorgelegt.

Stanley McCandless, der Pionier der Theaterbeleuchtung und einer der ersten Wissenschaftler, der sich mit „Lichtinszenierungen“ beschäftigte, unterteilt in seinem 1932 erschienenen Buch „**A Method of Lighting the Stage**“ das Licht in unterschiedliche Qualitäten und Funktionen. Für McCandless ist das natürliche Licht die Grundlage des Lichtdesigns. Dieses Licht kann in zwei Kategorien unterteilt werden, zum einen in ein allgemeines Licht (Himmelslicht bzw. das Licht des bedeckten Himmels) zum anderen in das speziell gerichtete Licht (Sonnenlicht).

#### **14.4.1 Theorie nach McCandless - Qualitäten des Lichts**

Nach seiner Vorstellung besitzt das Licht folgende vier Qualitäten: Intensity, Color, Distribution, Movement.

##### **14.4.1.1 Intensität (Intensity)**

- Das menschliche Auge ist durch natürliches Licht an einen großen Leuchtdichtebereich gewöhnt, daher steht ein großer Spielraum bei der Gestaltung mittels Kunstlicht zur Verfügung.
- Ein helleres Objekt wird vom Zuschauer aus psychologischen Gründen stärker gewichtet.
- Entscheidende Bereiche können durch erhöhte Beleuchtungsstärke aus dem gesamten Bühnenbild hervorgehoben werden.

##### **14.4.1.2 Farbe (Colour)**

- Gezielt ausgerichtetes Licht mit warmer Farbgebung dient der Nachbildung von Sonnenlicht.
- Mit kaltem Licht lassen sich die bei Sonnenlicht entstehenden Schatten gestalten.
- Warme sowie ungesättigte Farben werden typischerweise mit Komödien assoziiert, der Tragödie werden kalte und gesättigte Farben zugesprochen.

##### **14.4.1.3 Verteilung des Lichtes (Distribution)**

- In der Natur kommt das meiste Licht von oben. Im Theater eingesetzt, hätte das einen sehr geringen Eindruck von Räumlichkeit und Tiefe sowie die Entstehung von störenden Schatten auf den Gesichtern der Darsteller zur Folge.
- Fällt das Licht im anderen Extrem nur in einem sehr flachen, vertikalen Winkel ein, bewirkt dies einen sehr flächigen und unnatürlichen Eindruck.
- Erst durch die Beleuchtung aus verschiedenen Richtungen erhalten Darsteller und Objekte Plastizität, der räumliche Eindruck wird verbessert.

##### **14.4.1.4 Bewegung (Movement)**

- Sichtbarkeit erfordert Zeit. Wenn diese nicht zur Verfügung gestellt wird, ist Verwirrung die Folge. Änderungen müssen verhältnismäßig langsam ablaufen.
- Die Bewegung eines beleuchteten Objektes als auch einer Lichtquelle bewirkt eine Veränderung von Intensität, Farbe, Form und Richtung.

- Schnelle Veränderungen von Lichtverteilung, Farbe oder Helligkeit liefern einen komödiantischen Aspekt. Für die Tragödie sind langsame Bewegungen typisch.

#### **14.4.2 Theorie nach McCandless - Funktionen des Lichts**

Ausgehend von diesen vier Qualitäten des Licht besitzt das Licht folgende Funktionen: Visibility, Naturalism, Composition, Mood. McCandless betrachtet dabei nicht den physikalischen Aspekt des Lichtes, sondern den psychologischen Aspekt.

##### **14.4.2.1 Sichtbarkeit (Visibility)**

- Der Zuschauer muss das Dargestellte erkennen können, nur so kann er es verstehen.
- Dinge werden entsprechend ihres Bedeutungsgrades mehr oder weniger sichtbar gezeigt.
- Angedeutete, nicht eindeutig erkennbare Formen regen die Phantasie des Betrachters an.

##### **14.4.2.2 Natürlichkeit/Formgebung (Naturalism)**

- Ein Objekt muss natürlich, d. h. dreidimensional erscheinen.
- Natürliches Licht ist unaufdringlich und wird meist unbewusst wahrgenommen.
- Anhand der Lichtstimmung schließt der Betrachter auf Ort und Zeit.

##### **14.4.2.3 Gestalterischer Aufbau (Composition)**

- Der Gesamteindruck von einem Bühnenbild entsteht durch die Anordnung und Positionierung der Akteure und Objekte.
- Deshalb sind Darsteller und vorhandene Objekte proportional zu ihrer Wichtigkeit zu beleuchten.
- „**Die Bühne mit Licht malen**“. Vorbilder für die Lichtgestaltung sind die großen Meister der Malerei, wie Caravaggio, Rembrandt u. a.

##### **14.4.2.4 Stimmung (Mood)**

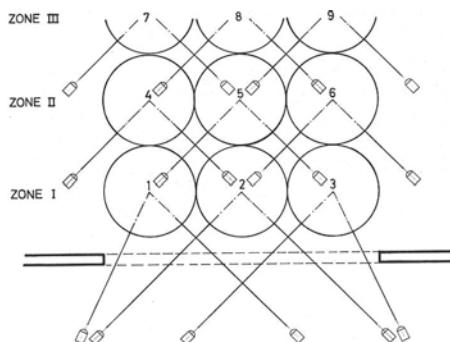
- Eine bestimmte Stimmung ist das Resultat des Zusammenspiels von Sichtbarkeit, Natürlichkeit und gestalterischem Aufbau.
- Stimmungen wie z. B. Gefühle von Freude, Traurigkeit oder Angst entstehen in den Gedanken des Zuschauers.
- Ungewöhnliche „extreme“ Beleuchtung wird mit einer tragischen Grundstimmung assoziiert, unauffälliger Beleuchtung werden die Attribute der Komödie zugesprochen.

#### **14.4.3 Umsetzung der Theorien nach McCandless**

Wie in Abschnitt 13.3 „Ausleuchten des Darstellers (Personenlicht)“ schon einmal erwähnt, berufen sich die meisten amerikanischen Lichtdesigner für die Ausleuchtung des

Spiellichtes auf die Theorien von McCandless, der im Prinzip festgelegt hat wie die ideale Scheinwerferposition zur harmonischen Ausleuchtung des Darstellers sein soll. Um diese Theorie umzusetzen und eine lückenlose Ausleuchtung zu erhalten, muss die Bühnenfläche in gleichmäßige Kreise (areas) aufgeteilt werden, die als Fokuspunkte für die Scheinwerfer dienen. Eine Aneinanderreihung von mehreren „areas“ wird dabei zu einer „Zone“. Jede „Zone“ hat dabei ein in sich einheitliches System der Beleuchtung.

Nach McCandless ist eine Beleuchtung durch ein seitliches, hohes Vorderlicht ideal. Man spricht von einem „optimalen“ Lichteinfallswinkel, wenn die Lichteinfallsrichtung und die Beobachtungsrichtung räumlich einen Winkel von  $45^\circ$  bilden. Das bedeutet, jede „area“ wird von zwei Scheinwerfern aus beleuchtet, die im Idealfall einen Winkel von  $2 \times 45^\circ$  zueinander besitzen. Diese beiden Vorderlichter müssen dabei, gemäß dem McCandless'schen Prinzip, ein „warmes“ und ein „kaltes“ Licht besitzen, um die Person wie in der Natur vergleichbar auszuleuchten. Warmes Sonnenlicht auf der einen Seite, „kühlere“ Schatten auf der anderen Seite. Einer der beiden Vorderlichtscheinwerfer wird dabei als „key-light“ (Hauptlicht/Führungslicht) eingesetzt.



**Bild 14.3** Schematische Aufteilung der Bühnenfläche in „areas“ nach McCandless

Um Plastizität zu erzielen, ist es notwendig, dass Licht von vorne (Vorderlicht), schräg seitlich (seitliches Vorderlicht), von den Seiten (Seitenlicht bzw. Gassenlicht), von hinten (Hinterlicht) und von oben (Oberlicht) auf den Körper auftrifft. Zusätzlich müssen je nach Dramaturgie des Stückes weißes oder farbiges Flächenlicht, Dekorationslicht und Specials eingesetzt werden.

#### 14.4.4 Theorie nach Richard Pilbrow

Pilbrow und auch andere Lichtdesigner haben die oben aufgeführte Theorie von McCandless etwas modifiziert und an heutige Bedingungen angepasst. Richard Pilbrow definiert seine Vorgehensweise bei der Ausleuchtung der Darsteller und der Spielfläche wie folgt:

- Dominant Lighting (key-light)
- Secondary Lighting (sekundäres Licht)
- Rim-Lighting (Kanten-Licht)
- Fill-Lighting (Füll-Licht)

Pilbrow definiert, dass zuerst das „key-light“ als das dominante Licht festgelegt und gesetzt werden muss. Dieses Licht sorgt für das Grundgerüst, auf welchem der Rest der Komposition aufgebaut wird. Als nächstes kommt dann das „secondary lighting“, was im Prinzip der Beleuchtung der Aktionsbereiche nach McCandless entspricht. Bei dem „Rim-Lighting“ handelt es sich um die Akzentuierung von oben oder seitlich des Darstellers. Es unterstützt die Dreidimensionalität seines Körpers durch ein „Kantenlicht“ und hebt ihn vom Hintergrund ab. Das „Fill-Lighting“ wird hauptsächlich von vorne eingesetzt, um Schatten auszuleuchten.

## ■ 14.5 Lichtkonzeption und Produktion

Die Beleuchtung einer Inszenierung erfordert eine intensive Vorplanung und darf auf keinen Fall losgelöst von allen anderen künstlerischen und theatertechnischen Prozessen betrachtet werden. Das Licht bedingt und wird bedingt durch eine Reihe von nebeneinander stattfindenden Produktionsprozessen, die nur in der aufeinander abgestimmten Addition eine gute Inszenierung ausmachen. Bühnenbild, Requisiten, Kostüme und Maske müssen ins „richtige Licht“ gesetzt werden, Lichtstimmungen und deren Übergänge sind dem Spiel und der Musik anzupassen.

Der Lichtdesigner hat somit in seiner Arbeit viele Funktionen. Er ist Künstler, Techniker und Büromensch, er muss die Intentionen des Regisseurs und des Bühnenbildners kennen, sie verstehen, auf sie eingehen und sie unterstützen.

Ebenso wie eine szenische Darstellung lässt sich auch die Lichtinszenierung dramatisch zuspitzen, können Höhepunkte verzögert und Abläufe vorangetrieben werden. Das bedeutet für den Lichtdesigner, dass er sich sehr gründlich in das Theaterstück, die Partitur einlesen muss, um ein entsprechendes Lichtkonzept zu entwickeln. Aus diesem Grund steht jeweils zu Beginn der Beleuchtungsplanung die Entwicklung eines Lichtkonzeptes im Vordergrund, zuerst im Kopf und dann auf dem Papier, oder wie es die englischen Kollegen so schön nennen „plot and paperwork“.

### 14.5.1 Planung

Sowohl die deutschen als auch amerikanischen Lichtdesigner haben eine ähnliche Vorgehensweise. Die wichtigste Aufgabe zum Start der Planung ist, erst einmal das Stück zu lesen und sich damit eingehend auseinanderzusetzen. Zuerst wird festgelegt, was für einen Stil das Licht haben soll, danach wird Szene für Szene durchgegangen und erste Rohpläne werden gezeichnet. Dabei wird mit den wichtigsten Lichtstimmungen begonnen und aus diesem Grundlicht werden die Akzente herausgearbeitet. Trotz aller technischen Hilfsmittel geschieht dies meist noch in Handarbeit.

Ist eine erste, vollständige Lichtplanung für alle Szenen ausgearbeitet, so geht es daran, die Szenen nicht mehr voneinander gelöst zu betrachten, sondern sich das Stück als Ganzes vorzunehmen. Mitberücksichtigt werden müssen dabei natürlich auch die Gegebenheiten im Theater. Wo kann man Scheinwerfer aufhängen? Gibt es bereits eine festinstallierte Be-

leuchtung im Theater, die nicht verändert werden darf? Wie sind die Stromkreise, Dimmer und das Lichtsteuerpult dimensioniert?

Ist die Planung abgeschlossen, wird ein Lichtplan angefertigt, in dem alle technischen Informationen festgehalten werden, siehe Kapitel 19 „Lichtpläne und Lichtsimulation“. Alles wird durchnummieriert: Scheinwerfer, Farbfolien, Farbscroller, Gobos, die Channels des Lichtmischers, die Dimmerbelegung und die Stromkreise. Für jeden Scheinwerfertyp gibt es ein eigenes Symbol. Bei der Erstellung des Plans ist es wichtig, exakt und maßstabsgetreu zu zeichnen.

Der Übersichtlichkeit halber gibt es für jede Produktion noch mehrere Unterteilungen des Lichtplans. Alle Informationen in einem Papier wären nicht mehr lesbar und bei der Fehlersuche hinderlich.



**Plot (Draufsicht):** Der Lightplot ist eine Draufsicht. Er gibt detailliert Aufschluss darüber, welcher Scheinwerfer wo hängt, von welchem Typ er ist, welche Farbe sein Licht hat und über welche Kanal-Nummer auf dem Lichtpult er angesteuert wird.

**Section (Seitenansicht):** Bei dieser Seitenansicht werden vor allem die Angaben zur Aufhängehöhe und zu den Sicht- (gleich Blendungs-) Linien deutlich hervorgehoben.

**Layout Schedule:** Dies ist die Liste über Typ, Leistungsaufnahme, Farbe, Position und Zweck jedes einzelnen Scheinwerfers, quasi die Textform des Lightplot.

**Hook-Up Schedule (Versatz-Plan):** Dieser auch als „Plugging Schedule“ bezeichnete Plan liefert Information über die Belegung der Stromkreise und der Dimmer für die Techniker.

### 14.5.2 Produktionsablauf

Wenn der Lichtplan erstellt ist, kann die technische Einrichtung beginnen. Alle Scheinwerfer müssen an ihre Position gebracht und verkabelt werden.

#### Technische Einrichtung und Fokus

Man beginnt mit den Scheinwerfern im Rigg oder an den Zügen. Gleichzeitig können Galerien, Z-Brücke und Portalbrücke bestückt werden, wenn es keinen Festverhang (Scheinwerfer sind bereits vorher schon fest an Traversen montiert worden) gibt, vor dem Hochfahren der Züge werden Scheinwerfer und Kabel getestet.

Jetzt können alle Scheinwerfer am Boden gestellt und verkabelt werden. Dafür benötigen die Beleuchter „Plot“ und „Section“. Es werden auch schon Farbfolien vorbereitet oder Zusatzgeräte mit aufgebaut. Wenn die Pläne exakt sind, kann diese Arbeit der Beleuchtungsmeister mit seinem Team auch ohne den Designer machen.

Bei der Einrichtung muss notiert werden, welcher Scheinwerfer auf welchem Dimmerversatz verkabelt wurde, damit man sie ansteuern kann. Außerdem benötigt man den Dimmerbele-

gungsplan, um zu wissen, wie man die Scheinwerfer im Pult „**Patchen**“ (Verlinkung eines Dimmerkanals mit einem Pultkanal) muss, um sie dann komfortabel programmieren zu können. Man nennt diese Liste wie oben angeführt auch „*Hook-Up Schedule*“. Bei Fehlern in der Beleuchtungstechnik ist dieser Plan sehr wichtig.

Sind alle Scheinwerfer funktionstüchtig und können über das Pult oder eine Fernbedienung gesteuert werden, kann mit dem „**Fokussieren**“ (Zentrieren der Scheinwerfer auf ausgewählte Beleuchtungspositionen) begonnen werden. Im „**Layout Schedule**“ findet man, was welcher Scheinwerfer beleuchten soll. Der Lichtdesigner ist zu diesem Zeitpunkt anwesend, um das Feintrimming bzw. die Feinarbeit zu übernehmen.

### 14.5.3 Beleuchtungsproben

Ist das „**Set Up**“ vollendet, können die Beleuchtungsproben beginnen. Bei deutschen Produktionen wird das Licht oftmals ohne Schauspieler nur vom Regisseur und Lichtdesigner mit dem vorhandenen Bühnenbild programmiert, sodass das Licht zuerst auf die Ästhetik des Bühnenbildes abgestimmt wird. Erst zu einem späteren Zeitpunkt kommen die Schauspieler/innen auf die Bühne. Der Lichtdesigner korrigiert die einzelnen Cues (Lichtstimmungen) während der Proben. Dazu eignen sich vor allem Durchlaufproben. Da er die Intention des Regisseurs kennt, kann er dies eigenständig ausführen. Damit sich der Regisseur das Ergebnis ansehen kann, gibt es sogenannte „technische Durchläufe“. Hier stellen sich die Schauspieler an ihre Positionen und spielen kurze Teile der Szene, um die Licht-Cues und die Übergänge dazwischen überprüfen zu können.

Die Generalprobe ist die letzte Probe ohne Publikum. Bei größeren Aufführungen, z.B. Musical folgen zwei Vorpremieren. Auch hier werden noch Übergänge und kleine Fehler korrigiert, obwohl hier schon Publikum anwesend ist. Erst bei der eigentlichen Premiere muss alles stimmen.

## ■ 14.6 Bühne und Bühnenformen

Es gibt verschiedene Konzepte, wie Bühne und Zuschauerraum aufgeteilt sind. In den nachfolgenden Erklärungen wird von einer Guckkastenbühne (Rahmenbühne) ausgegangen. Diese Bühnenform ist im Theater sehr häufig.

Die Stücke, die auf die Bühne gebracht werden, sind einzelnen Sparten zuzuordnen. In jeder Sparte sind unterschiedlich ausgebildete Personen tätig. Im Sprechtheater gibt es zum Beispiel keinen Dirigenten und keine Opernsänger. Es gibt Mehrspartentheater oder die Theater haben sich auf einzelne Sparten spezialisiert.

- Sprechtheater (Schauspiel, Tragödie, Komödie)
- Musiktheater (Oper, Operette, Musical)
- Ballett, Tanztheater

Je nach Sparte unterscheidet sich die Beleuchtung. Dies hängt nicht so sehr von der Größe des Theaters und der Produktion ab, sondern vom Bühnenbild und dem, was gezeigt werden soll. So sind beim Sprechtheater die Gesichter der Schauspieler sehr wichtig, wohingegen beim Tanztheater der ganze Körper herausgearbeitet werden muss.

## ■ 14.7 Bühnen- und Lichtstile im Theater

Man kann ganz pauschal drei Bühnenstile unterscheiden, von denen es natürlich sehr viele Untervarianten gibt. Entsprechend den aufgeführten Bühnenstilen gibt es dafür entsprechende Lichtstile.

### 14.7.1 Bühnenstile

- **Realistisches Bühnenbild:** Es entspricht in etwa der Situation, wie man sich ein Zimmer, einen Salon vorstellt. Der Zuschauer erkennt sofort den Raum und die Spielhandlung.
- **Stilisiertes Bühnenbild:** Einerseits ist noch ein gewisser Anteil an realen Möbel- und Kulissenteilen vorhanden, ein größerer Teil der Dekoration ist nur noch angedeutet.
- **Fragmentarisches Bühnenbild:** Es enthält nur noch wenige Möbelstücke oder Kulissenteile.

### 14.7.2 Lichtstile

- **Realistische Lichtführung:** ist vergleichbar mit dem Lichtstil „Normalbeleuchtung“ im Film- und Fotobereich
- **Symbolische Lichtführung:** ist eine Art anti-realistische Lichtführung. Sie benutzt Symbole und Allegorien, um Stimmungen und Gefühle beim Publikum auszulösen.
- **Expressionistische Lichtführung:** charakteristisch ist eine harte, mit hohen Kontrasten umgesetzte Beleuchtung und damit entsprechend auch harten Schatten
- **Theatralische Lichtführung:** besitzt gewisse Anzeichen der stilisierten und der expressionistischen Lichtführung
- **Pictoralism:** bezeichnend sind kräftige, gesättigte, aber teilweise auch irreale Farben

## ■ 14.8 Sprech-, Musik- und Tanztheater

Man unterscheidet vier klassische Sparten des Theaters (Sprech-, Musik-, Tanz- und Figurentheater), wobei in diesem Abschnitt nur auf die ersten drei genauer eingegangen werden soll.

### 14.8.1 Sprechtheater

Beim Sprechtheater sind die Gesichter der Schauspieler entscheidend. Hier wird häufig eine realistische Lichtführung eingesetzt, aber auch die expressionistische oder theatralische. Häufig eingesetzte Lichtrichtungen sind

- Vorderlicht (aus Z- und Portalbrücke)
- Seitenlicht
- Gegenlicht
- Specials für das Bühnenbild

Im folgenden Beispiel („Die weiße Rose“, Februar 2006, Theater Wolfsburg) handelt es sich um eine realistische Lichtführung. An den nachfolgenden Beispielbildern erkennt man, dass die Verhörsituation (Sophie Scholl contra Verhörer) durch ein kaltes hartes Licht unterstützt wird. Das Bühnenbild wird zusätzlich leicht grün eingefärbt, um das Ungemütliche hervorzuheben. In Bild 14.4 rechts (im Farbteil auf Seiote 160), wiedersetzt sich Sophie Scholl ihrem Verhörer, sie verteidigt das Gute. Dies wird durch das warme Licht auf ihr und das kalte Licht auf ihm unterstützt. So hat das Licht auch eine symbolische Wirkung.

### 14.8.2 Musiktheater

Zum Begriff des Musiktheaters zählt man das Musical, die Oper und die Operette. Neben der Sprache und der Bewegung ist hier vor allem die Musik das verbindende Element.

#### 14.8.2.1 Musical

Typisch für Musicals ist der „Pictoralism“-Lichtstil mit kräftigen Farben, deshalb kommen in Musicals Farbwechsler und Moving Lights verstärkt zum Einsatz. Es kommen alle genannten Lichtrichtungen zum Einsatz, da es Schauspiel, Gesang und Tanz gibt. Es wird auch häufig mit Lichteffekten und Projektion gearbeitet. Die Produktionen sind sehr aufwendig und man kann sie im Eventbereich ansiedeln.

#### 14.8.2.2 Oper

Auch Opernproduktionen sind häufig sehr aufwendig. Je nach Inszenierung sind verschiedene Bühnen- und Lichtstile zu finden. Daraus folgt, dass auch alle Lichtrichtungen zur Anwendung kommen können. Moving Lights, Projektionen und anderes Effektlicht werden häufig eingesetzt, um die Wirkung der Szenen und des Bühnenbildes besonders herauszuarbeiten.

### 14.8.3 Tanztheater

Das Tanztheater und das Ballett ist als eine eigene Kunstform und vom Musiktheater getrennt. Für das Tanztheater oder Ballett wird häufig ein expressionistischer Beleuchtungsstil gewählt, da das Bühnenbild auch oft fragmentarisch ist, um genügend Raum für den Tanz zu lassen.

Oft eingesetzte Lichtrichtungen:

- seitliches Vorderlicht
- Seitenlicht
- Gassenlicht
- Gegenlicht

Am folgenden Beispiel „Maracana“, Januar 2006, Kampnagel Hamburg (Lichtdesign Carsten Sander), kann man die Wichtigkeit des Gassenlichts erkennen. Die Tänzer werden hervorgehoben, ohne, dass ein anderes Bühnenelement beleuchtet wird. Sie scheinen zu schweben. In Bild 14.5 links kann man erkennen, dass das Gassenlicht die Tänzer deutlich hervorhebt. Während in Bild 14.5 rechts die Tänzer zu schweben scheinen. Durch das Gassenlicht lässt sich so eine Szene beleuchten, ohne dass der restliche Bühnenraum zu sehen ist.



**Bild 14.5** Maracana Tanztheater, links: Gassenlicht hebt die Tänzer deutlich hervorhebt, rechts: Gassenlicht und Frontlicht

Auch in den Theatern ist der Einsatz von Moving Lights in der Zwischenzeit üblich geworden. Vorteile der Moving Lights sind natürlich ihre schnellen Lichtänderungen, die große Vielzahl an Farben und Farbänderungen sowie die Projektion von Bildern, Symbolen durch Gobos. Auch der Einsatz von LED-Wänden sowie Medienservern mit der Möglichkeit, ganze Videos zu gestalten, wird immer intensiver und ermöglicht völlig neue Bühnenbilder.

## ■ 14.9 Verständnisfragen

1. Erklären sie den Begriff „**Versatz**“.
2. Wo befindet sich im Theater die Beleuchtungsposition „**Rinne**“?
3. Was ist ein **Tüll**?

# 15

# Fernseh-Licht

Während im Theater oder bei einem Event der Zuschauer direkt die Handlung sehen bzw. verfolgen kann, ist bei Fernsehaufnahmen, außer bei den Zuschauern im Studio, immer ein technisches Gerät (Fernsehkamera und Bildschirm) zwischen Aufnahme und Rezipient vorhanden. Das bedeutet das Licht, das in einer Fernsehsendung vor Ort eingesetzt wird, wird auf jeden Fall durch die Übertragungskette verändert. Entsprechend müssen technische Gegebenheiten bei der Fernsehkamera, aber auch dem Ausgabebildschirm berücksichtigt werden.

## ■ 15.1 Studios

In diesem Abschnitt werden Fernsehstudios nach ihren technischen Möglichkeiten unterschieden. Der Übergang zwischen den einzelnen Studio-Typen ist in der Praxis genauso fließend wie ihre Nutzung.

### 15.1.1 Aufsager- oder Schaltenstudio

Das Aufsager- oder Schaltenstudio ist ein sehr kompaktes Studio in dem Schaltgespräche mit Nachrichten- oder Magazinsendungen mittels Chroma Key realisiert werden.

In modernen Studios sitzen oder stehen die Gesprächspartner vor einer gespannten Opera-Folie, die von hinten beleuchtet wird. Als Lichtquellen für die Opera-Beleuchtung werden Flächenleuchten auf Basis von Leuchtstofflampen oder LEDs eingesetzt. Die bevorzugten Chroma-Key-Farben sind Grün und Blau. Dazu ist die Hintergrundbeleuchtung mit vier Farben (RGB plus Weiß) ausgestattet.

In klassischen Studios wird der Chroma-Key-Hintergrund mit einem grünen oder blauen Stoff geschaffen. Dieser wird mit Halogen-Flächenleuchten gleichmäßig ausgeleuchtet. Ist mit der eingebauten Videotechnik kein Chroma Key möglich, bleibt nur eine Real-Dekoration in Form einer Fototapete oder man nutzt echte Studiobauten.

Im Aufsager- oder Schaltenstudio (siehe Bild 15.1 im Farbteil auf Seite 160) befindet sich häufig nur eine Kamera. Diese wird entsprechend der Größe des Moderators/Moderatorin oder des Gesprächsgastes neutral auf Augenhöhe eingerichtet. Gängige Einstellungsgrößen für Schaltgespräche finden sich zwischen halbnah und nah.

Dieser Studio-Typ ist in seinen Maßen oft sehr kompakt gebaut. Entsprechend gibt es auch selten hohen Decken mit aufwendiger mechanischer Konstruktion inklusive Leuchten-Hängern oder Pantographen. Ein Pantograph ist ein einzelner Leuchtenhänger, bei dem der Scheinwerfer einzeln angehängt wird, siehe auch Bild 15.5. Stattdessen kommen einfache Traversen-Konstruktionen zum Einsatz.

Die lichttechnische Ausstattung ist häufig für ein klassisches Personenlicht optimiert. Es werden Stufenlinsen-Scheinwerfer im Leistungsbereich um 500 W bzw. 1000 W oder Flächenleuchten auf Basis von Leuchtstofflampen eingesetzt.

### 15.1.2 Nachrichten-, Magazin- oder Spartenstudio

In Nachrichten-, Magazin- oder Spartenstudios finden sich häufig fest eingebaute Dekorationen. Dadurch sind diese Studios sendungsgebunden. Die gesamte technische Infrastruktur ist für diese eine Sendung optimiert.

Dieses Studioprinzip wird heute nur noch bei Sendungen angewendet, die täglich oder im Fall von Nachrichten, mehrfach am Tag produziert werden. Damit ist eine sehr hohe Auslastung garantiert.

Ausnahmen sind Sendungen mit sehr aufwendigen Dekorationen wie man sie z.B. häufig bei Talk-Formaten findet. Diese Sendungen werden oft in einem Wochen-Rhythmus produziert, belegen das Studio aber durchgehend. In solchen Gesprächsrunden müssen sich für den Fernsehzuschauer alle Gäste im selben Raum befinden. Das bedeutet, die Dekoration muss so groß sein, dass für jeden Gast Deckung gegeben ist. Wird eine Talk-Sendung sogar mit Livepublikum produziert, muss die Dekoration eventuell noch größer werden, wenn der Eindruck erzeugt werden soll, dass auch das Publikum mit im selben Raum ist. Hier ist der Aufwand im Allgemeinen so groß, dass die Dekoration nicht mehr auf- und abgebaut wird.



**Bild 15.2** Magazinstudio (z. B. SWR Sport)

Ob die verbaute Dekoration eine komplette Realdekoration, eine farbig beleuchtete Opera-Folie, eine bedruckte Opera-Folie mit Hintergrundbeleuchtung, ein Chroma-Key-Hintergrund, eine mit RGB-LED komplett bestückte Rückwand oder eine Mischung aus allem ist, hängt am Design der Sendung.

In Studios mit einer gespannten Opera-Folie im Hintergrund wird diese oft von hinten beleuchtet. Als Lichtquellen werden Flächenleuchten mit vier Farben (RGB plus Weiß) auf Basis von Leuchtstofflampen oder LEDs eingesetzt. In diesem Studio-Typ finden sich häufig zwei bis vier Kameras. Bei den verwendeten Einstellungsgrößen gibt es keine Einschränkungen. Damit muss auch der Studioboden in die Dekoration mit einbezogen werden. Die Maße dieser Studios sind sehr unterschiedlich. Die Decken aber so hoch, dass der Einsatz von manuellen oder automatischen Schienensystemen mit Pantographen für die Positionierung der verwendeten Scheinwerfer möglich ist.

Die lichttechnische Ausstattung ist häufig für Personenlicht optimiert. Zusätzlich müssen Lichtpositionen für die Realdekoration gegeben sein. Es werden Stufenlinsen-Scheinwerfer im Leistungsbereich um 1.000 W und Flächenleuchten auf Basis von Halogen-Leuchtmitteln oder Leuchtstofflampen eingesetzt.

### 15.1.3 Multifunktionsstudio

Multifunktionsstudios gibt es in vielen verschiedenen Größen. Ihnen allen gemeinsam ist eine flexible Ausstattung, um damit ein möglichst großes Spektrum an verschiedenen Sendungsformaten realisieren zu können, siehe Bild 15.3.

Es gibt Studios mit und ohne Opera samt Hintergrundbeleuchtung. Eigentlich immer findet sich aber ein Vorhangschienensystem mit zumindest einem schwarzen Vorhang. Ein Livepublikum ist genauso möglich (wie große Dekorationen oder große Requisiten) bis hin zu PKW. In diesem Studio-Typ finden sich häufig vier bis sechs Kameras. Für bestimmte Formate können die klassischen Systemkameras auf Studio-Stativen um Sonderkameratechnik wie Polecam oder Kamerakran, Kameraturm, Deckenkamera, Steadycam u. a. flexibel erweitert werden.

Die Decken sind mit Leuchtenhängern und verfahrbaren Traversensystemen ausgestattet, um Scheinwerfer möglichst flexibel positionieren und ausrichten zu können. Die lichttechnische Ausstattung reicht von Stufenlinsen-Scheinwerfern im Leistungsbereich um 2.500 W über klassische PAR-Scheinwerfer bis hin zu Moving Lights für die Dekorationsbeleuchtung oder Show-Effekte.



**Bild 15.3** Multifunktionsstudio, z. B. Studio Hamburg

### 15.1.4 Show-Studio

Das Show-Studio gleicht eher einer Halle und ist im Allgemeinen sehr groß. Seine Ausstattung entspricht der eines Multifunktionsstudios, nur gibt es von aller Technik mehr. Die Infrastruktur ist noch aufwendiger. Es gibt eine Vielzahl an Anschlussfelder für die Energieversorgung und die Signalverteilung, um jeden Winkel im Studio zu erreichen. Dieser Studio-Typ ist für Sendungs-Formate mit großem Livepublikum gedacht.

Die lichttechnische Ausstattung reicht von Stufenlinsen-Scheinwerfern im Leistungsbereich um 5.000 W über klassische PAR-Scheinwerfer bis hin zu Moving Lights für die Dekorationsbeleuchtung oder Show-Effekte. Moderne Projektionstechnik, LED-Technik, LED-Wände, Medienserver und Pyro-Technik eingeschlossen.



**Bild 15.4** Casting-Show „Voice of Switzerland“ mit Einsatz von LED-Scheinwerfern A12 (JB-Lighting)

## ■ 15.2 Genres von Sendungen

Im täglichen Fernsehprogramm findet man eine große Anzahl an unterschiedlichen Sendungen. Gleichzeitig lassen sich die verschiedenen Formate, die in Fernsehstudios produziert werden, in Genres gliedern. Hier eine Übersicht der wichtigsten Genres:

- Nachrichten: regional, national, international
- Magazin: Boulevard, Politik, Wissenschaft
- Talk: Unterhaltung, Politik
- Show, Event

Natürlich gibt es auch jede denkbare Mischform. Also Sendungen, die Elemente verschiedener Genres beinhalten. Neben den inhaltlichen Unterschieden der Genres gibt es auch aus lichttechnischer Sicht Unterschiede. Nicht zwingend in der eingesetzten Lichttechnik, aber z.B. bei der Personenausleuchtung.

Bei Nachrichten- oder Magazinsendungen werden Personen gleichmäßig und ohne große Kontraste ausgeleuchtet. Hier soll der Inhalt transportiert werden. Der/die Nachrichten-

sprecher/in wird im Bild neutral präsentiert, er/sie soll nicht den Inhalt dominieren. Bei Talk-Formaten kommt es auf das Thema an. Eine politische Talk-Sendung wird sich eher an die nüchterne Ausleuchtung einer Nachrichtensendung halten als eine Sendung mit kulturellen oder künstlerischen Inhalten.

Eine Show kann viele verschiedene Elemente haben. Insbesondere Künstlerauftritte werden auch gerne aufwendig umgesetzt. Hier ist erlaubt, was Spaß macht und den Inhalt unterstützt. Moderationen werden im Gegensatz dazu eher klassisch neutral, aber für die Person vorteilhaft gehalten.

## ■ 15.3 An der Lichtgestaltung beteiligte Personen

Im Folgenden werden die verschiedenen an einem Fernsehbild beteiligten Gewerke mit ihren Aufgaben und ihrer Verantwortung kurz vorgestellt.

### 15.3.1 Regie

Der Regisseur verantwortet die Sendung als Ganzes. Er setzt die Vorstellungen der Redaktion mit Hilfe des gesamten Produktions-Teams in die Praxis um. Dabei übernimmt der Regisseur die Schnittstelle zwischen Redaktion und Produktion.

Zusammen mit dem Bildmischer und den Kameraleuten im Studio ist er für die Kamerapositionen, Bildausschnitte, Kamerafahrten und den Bildschnitt, also die Bildgestaltung der Sendung verantwortlich.

### 15.3.2 Setdesign

Der Setdesigner entwickelt für das redaktionelle Konzept ein passendes Outfit (Look) für die Sendung. Das geht vom allgemeinen Bühnenbild der Sendung mit Realdekoration oder aktiven Elementen, wie z. B. LED-Wänden, bis zum Content für diese Medienflächen oder grafischen Elementen wie Inserts. Dabei geht es um die allgemeine Gestaltung, die Farben und Formen.

### 15.3.3 Lichtdesign

Der Lichtdesigner, der oft auch als Director of Photography (DoP), lichtsetzender oder erster Kameramann bezeichnet wird, ist verantwortlich für die gesamte Lichtgestaltung einer Sendung.

Der Lichtdesigner entwirft ein Beleuchtungskonzept für die Personen und die Dekoration. Wobei heute Licht- und Setdesign fließend ineinander übergehen. Viele moderne Sets, gerade

bei Show-Formaten, bestehen zum größten Teil aus aktiven Elementen wie LED-Wänden, Projektions-Flächen oder Displays. Klassische Sets, die mit Licht beleuchtet werden, findet man dagegen z. B. eher im Magazin-Bereich. Wobei auch da gerne steglose Displays verbaut werden.

### **15.3.4 Kameramann**

Das gesamte Kamerapersonal, egal ob am Boden mit Studiokamera, Schulterkamera oder Steadycam oder in der Luft mit einem Kamerakran, setzt die geplante Sendung zusammen mit der Regie um. Je nach Sendung und Konzept haben Kameras dabei feste Aufgaben oder sie können „frei schießen“, also zur jeweiligen Sendungssituation passende Bilder anbieten.

### **15.3.5 Beleuchtungsmeister**

Der Beleuchtungsmeister setzt die Ideen und Planungen des Lichtdesigners am Set in die Tat um. Dazu stehen ihm je nach Sendungsaufwand ein oder mehrere Lichtpult-Operatoren und ein Beleuchter-Team zur Seite.

### **15.3.6 Lichtpult-Operator**

Der Lichtpult-Operator oder auch Lichtpult-Meister bedient die Lichtstellenanlage. Er speichert die verschiedenen Scheinwerferintensitäten in verschiedene Stimmungen. Diese werden dann während der Sendung ausgegeben.

Je nach Sendungsaufwand gibt es mehrere Lichtstellenanlagen für Personen-Licht (Weißlicht), Effekt-Licht auf der Show-Bühne oder Video-Einspielungen.

### **15.3.7 Beleuchter**

Das Beleuchter-Team ist für den Aufbau und das Einrichten der gesamten Licht- und Energietechnik verantwortlich.

### **15.3.8 Bildingenieur**

Der Bildingenieur ist für die gesamte Kameratechnik einer Sendung verantwortlich. Zusammen mit dem Bildtechnik-Team bereitet er die Kameras für die Produktion vor.

Der Bildingenieur setzt den vom Lichtdesigner gewünschten Look mit Hilfe der technischen Möglichkeiten der Kamera um. Das betrifft z. B. die Farbgestaltung, die Bildschärfe oder die Übertragungskennlinie.

### 15.3.9 Maske

Die Maskenbildner schminken die Personen, damit diese vor der Kamera möglichst vorteilhaft aussehen. Im Zentrum ihrer Arbeit steht eine natürliche Hautfarbe. Manchmal ist auch ein individueller Look gefragt. Für Kamerabilder ist Glanz ein Problem, darum müssen Menschen vor der Kamera immer wieder abgepudert werden.

### 15.3.10 Kostüm

Die Auswahl der Kleidung trägt sehr zum visuellen Bild bei. Sie muss sowohl zur Person als auch zum Stil und Look der Sendung passen. Gleichzeitig unterliegt die Kleidungswahl auch technischen Gesichtspunkten. Ist die Farbe kompatibel mit dem Chroma-Key-Hintergrund oder hebt sie sich von der Deko ab? Aber auch die Struktur von Oberflächen ist entscheidend. Ist sie so fein, dass durch die Kamera ein negativer Moiré-Effekt entsteht?

### 15.3.11 Protagonisten

Alle sich vor der Kamera bewegenden Personen tragen auch zum Lichtdesign bei. Das wird vielleicht erst auf den zweiten Blick klar. Wenn z. B. ein Moderator nicht auf seiner Position steht, dann kann das je nach umgesetzten Lichtkonzept unvorteilhaft aussehen. Oder wenn ein Gang nicht wie eingeleuchtet abgeschritten wird, geht man vielleicht ins Dunkle.

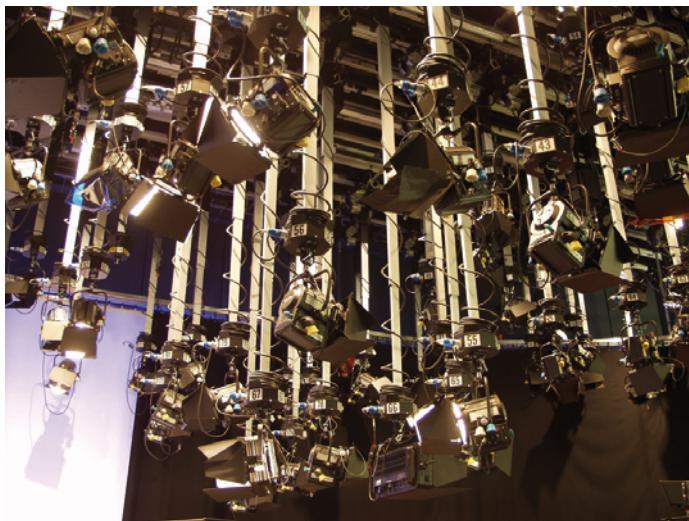
## ■ 15.4 Eingesetzte Scheinwerfer

Neben den Fresnel-Scheinwerfern kommen in den Fernsehstudios noch eine Vielzahl weiterer Scheinwerfer hinzu. In den letzten Jahren auch verstärkt Moving Lights

### 15.4.1 Fresnel-Scheinwerfer

Der Fresnel- oder Stufenlinsen-Scheinwerfer ist der typische Scheinwerfer im Fernsehstudio. Er wird mit Leuchtmitteln in verschiedenen Leistungsklassen vom Personenlicht bis zum Dekorations-Licht für alles eingesetzt.

Es gibt diverses Zubehör für Fresnel-Scheinwerfer, wie z. B. Tore zur Begrenzung des Lichtkegels, Farb- und sonstige Folien, Gaze zur Lichtverteilung und die Stangenbedienung, siehe dazu die Ausführungen in Abschnitt 9.4. Die Scheinwerfer hängen in den Studios vorwiegend an Teleskopstangenhängern oder an großen Leuchtenhängern, die elektrisch verfahrbar sind, siehe Bild 15.5.



**Bild 15.5** Pantographen (Teleskopleuchtenhänger)

Die Scheinwerfer können aber auch in einem Haltebügel mit Hilfe einer Beleuchterstange über PAN und TILT manuell verdreht werden. Die PAN-Richtung wird dabei mit dem blauen und die TILT-Richtung mit dem weißen Drehknauf bewegt. Zur Erinnerung, der gelbe Drehknauf ist für die Lichtcharakteristik (hart/weich bzw. spood/flood) und die Lichtkegelgröße zuständig.

#### 15.4.2 Weitere Scheinwerfer im Fernsehstudio

Neben dem Stufenlinsen-Scheinwerfer gibt es in einem Fernsehstudio auch andere Scheinwerfertypen. Genutzt wird, was die jeweilige Aufgabe erfüllt. Es gibt Flächenscheinwerfer mit Halogen- oder Leuchtstofflampen zur Personenbeleuchtung oder zur Hintergrund- bzw. Opera-Beleuchtung. Man findet auch Effekt-Scheinwerfer auf HMI und LED-Basis in Form von Moving Lights für Deko und Licht-Effekte mit Gobos. Eher selten sieht man den klassischen Theater-Scheinwerfer, den Profil-Scheinwerfer.

### ■ 15.5 Fernsehsystem

Das Fernsehen soll Bilder von einem zu einem anderen Ort übertragen. Bilder bestehen aus Licht und Licht trägt Informationen für den menschlichen Sehsinn. Diese Informationen werden mit dem Fernsehsystem übertragen. Das Fernsehen ist damit eine Übertragungskette für visuelle Informationen.

### 15.5.1 Die Fernsehübertragungskette

Die gesamte Übertragungskette beinhaltet „**Licht zu Licht**“, also das Licht vor der Kamera bis zum Licht aus dem Display beim Fernsehzuschauer zu Hause. Es besteht heute aus digitalen Kameras mit CCD- oder CMOS-Sensoren im Studio und Flach-Displays in LCD-, Plasma- oder OLED-Technologie beim Fernsehzuschauer.

Das nach technischen und inhaltlichen Regeln gestaltete Licht wird von der Kamera in ein elektrisches Signal gewandelt. Das Videosignal entspricht damit der technischen Beschreibung des aufgenommenen Lichts. Die Kamera ist also der Licht-/Videosignal-Wandler.

Das Standard-Videosignal ist heute ein digitales serielles High-Definition-Komponentensignal YC<sub>R</sub>C<sub>B</sub> mit einem Sampling von 4:2:2 und einer Quantisierung von 10 Bit pro Pixel. Die Auflösung beträgt dabei 1920 x 1080 oder 1280 x 720 Pixel. Am Ende der Fernsehkette steht heute ein Display, dass die Informationen aus dem Videosignal wieder in Licht wandelt, das der Mensch vor dem Gerät sehen kann.

Damit ist die Übertragungskette von Licht zu Licht geschlossen. Natürlich findet hier keine absolute sondern nur eine relative Übertragung des Lichtes statt. Ein Display, egal welcher Technologie, kann nicht die Leuchtdichte der Sonne erzeugen. Relativ bedeutet also, wenn es in der Original-Szene um eine Blende dunkler wird, dann muss auch das Licht aus dem Display um eine Blende dunkler werden.

### 15.5.2 Display und Bildbeurteilung

Die Bildröhre (engl. CRT, Cathode Ray Tube) war Jahrzehnte die einzige Bildwiedergabetechnologie. In Zeiten von High Definition findet man in einem modernen Produktionsumfeld LCDs mit CCFL (cold-cathode fluorescent lamps) oder LED-Hintergrundbeleuchtung bzw. OLED-Displays zur visuellen Beurteilung der Bildqualität.

Ein korrekt eingestelltes Display ist zusammen mit einer korrekten Betrachtungs-umgebung die Basis für eine objektive Bildbeurteilung. Beides muss zueinander passen. Ein zu heller Raum oder zu dunkles Display führen genauso zu einer falschen Beurteilungsgrundlage wie eine zu niedrige Farbtemperatur in Bezug auf das Fernsehweiß des Displays. Alles endet in einer falschen Adaptation des Auges und somit in einer falschen Bildbeurteilung.

Die Displays sind in Qualitäts-Klassen eingeteilt. Die für die Bildbeurteilung relevanten Geräte sind sogenannte Klasse-1 oder auch Referenz-Displays. Ihre Grundparameter sind in der EBU-Tech 3320 beschrieben. Die dazugehörigen Messanweisungen findet man in der EBU-Tech 3325.

Die Bildtechnik und auch der Lichtdesigner sollten sich nicht mit einem falschen oder einem schlecht eingestellten Display zufriedengeben. Am einfachsten ist es, wenn beide identische Geräte nutzen. So kann man auf einer gemeinsamen Basis die Bilder einer Produktion beurteilen.



**Bild 15.6** Bildregie (WDR Studio E)

Die Betrachtungsbedingungen müssen zu den Parametern des Displays passen. Die Umfeld-Beleuchtungsstärke muss nach ITU-R BT.500 15 % der Spitzenleuchtdichte des Displays entsprechen. Nur so erscheint dem Auge die Display-Leuchtdichte bei einem LUMA-Pegel von 100 % auch als Weiß.

### 15.5.3 Kamera und Objektiv

Es gibt eine sehr große Anzahl an verschiedenen Kameras von SD bis HD. In den „großen“ Fernsehstudios kommen sehr hochwertige Kameras zum Einsatz. Mit ihnen sind die gängigen Standards wie 1080i/50, 1080p/50, 1080p/25, 720p/50 u. a. realisierbar.

#### 15.5.3.1 Objektiv

In der Fernsehstudientechnik ist der B4-Mount bei Kameras mit 2/3“-Sensoren und Strahlenteiler der Standard-Objektivanschluss. Es gibt zwei Bauformen mit B4-Mount: die sogenannten Box- oder Studio-Objektive und die ENG-Objektive. Box-Objektive sind größer, schwerer, sind mit deutlich mehr Linsen aufgebaut und haben daher eine größere Abbildungsqualität im Vergleich zu den ENG-Objektiven für Camcorder oder den Handkamerabetrieb.



**Bild 15.7** Fernsehstudiokamera Typ HDC 2000B (Sony)

In der klassischen Fernsehproduktion gibt es so gut wie ausschließlich Zoom-Objektive mit veränderbarer Brennweite. Je nach ihren Brennweiten werden sie in verschiedene Kategorien eingeteilt:

- Standard-Objektiv mit einem mittleren Brennweitenbereich von z.B. 18 x 7,6 mm
- Teleobjektiv mit langen Brennweiten von z.B. 25 x 11,5 mm
- Weitwinkelobjektiv mit kurzen Brennweiten von z.B. 14 x 4,5 mm

Die Brennweitenangaben werden bei Zoom-Objektiven über den Zoom-Faktor multipliziert mit der Anfangsbrennweite angegeben. Ein Standard-Objektiv mit einer Angabe von 16 x 6,3 mm hat also im Weitwinkelbereich eine Anfangsbrennweite von 6,3 mm und im Telebereich eine Endbrennweite von  $16 \times 6,3 = 100,8$  mm.

### 15.5.3.2 Lichtempfindlichkeit, Arbeitsblende und Lichtniveau der Produktion

Welche Beleuchtungsstärke benutzt man in einem Studio, das mit modernen Systemkameras ausgestattet ist? Diese Frage ist abhängig von der nominalen Lichtempfindlichkeit der Kamera, davon mit welcher Arbeits-Blende man produzieren will und wie hell eine Person mit ihrem individuellen Hautton im Bild erscheinen soll.

Die nominale Lichtempfindlichkeit einer Broadcast-Kamera wird über eine neutrale Weißfläche mit einem Reflexionsgrad von 89 % bestimmt. Die Weißfläche wird mit einer vertikalen Beleuchtungsstärke von 2.000 lx bei einer Farbtemperatur von 3.200 K beleuchtet. In dieser definierten Lichtsituation wird die Blende nach einem Weißabgleich in der Kamera auf einen LUMA-Pegel von 100 % (Weiß) belichtet. Die für diesen LUMA-Pegel am Objektiv benötigte f-Blende definiert die Lichtempfindlichkeit der Kamera.

In der Praxis halten sich alle Hersteller an diese Definition, sodass die Kamerasysteme untereinander grundsätzlich vergleichbar ist.



**Praxistipp:** Die Angabe der Lichtempfindlichkeit bezieht sich immer auf eine bestimmte Fernsehnorm. Aktuelle Systemkameras erreichen bei der in Europa gängigen Fernsehnorm 1080i/25 je nach Modell und Hersteller eine Blende f/8 bis f/11.

Die Arbeitsblende definiert die Blende, mit der produziert wird. Soll eine f/11-Kamera mit einer Arbeitsblende f/5.6 betrieben werden, kann das Lichtniveau im Studio um zwei Blenden von 2000 lx auf 500 lx gesenkt werden. Die Belichtung bleibt dabei identisch.

Ein Teleprompter reduziert die Lichtmenge für die Kamera, abhängig von der Scheibe, in der Regel um eine halbe Blende. Diese halbe Blende muss bei der Beleuchtungsstärke im Studio wieder aufgeschlagen werden, wenn die Arbeitsblende bei f/5.6 stehen bleiben und die Belichtung auch mit Teleprompter identisch bleiben soll. Eine f/11-Kamera benötigt also bei f/5.6 mit Teleprompter ein Lichtniveau im Studio von ca. 750 lx.

### 15.5.3.3 Weißabgleich

Damit eine Kamera ein korrektes Weiß abbilden kann, muss ein Weißabgleich durchgeführt werden. Der Weißabgleich verknüpft die im Studio vorhandene Farbtemperatur über eine neutrale Testkarte mit einem unbunten Videosignal. Dabei misst die Kamera das von der Testkarte reflektierte Licht in seinen RGB-Anteilen und verstärkt Rot und Blau solange gegeneinander, bis sie gemeinsam mit Grün einen identischen Pegel erreichen.

Erst nach einem Weißabgleich wird eine weiße Oberfläche in der im Studio vorhandenen Farbtemperatur über die Kamera an einem Display auch weiß wiedergegeben (siehe Bild 15.8 im Farbteil auf Seite 161).

Oft wird heute zugunsten eines individuellen Looks mit einem bewusst falschen Weißabgleich produziert. Soll eine Sendung z.B. in einer warmen Stimmung erscheinen, wird der Weißabgleich in Richtung Rot/Gelb manipuliert. In allen modernen Systemkameras kann man den Weißabgleich manuell stufenlos verschieben. Alternativ kann man den Weißabgleich bei 100 % Scheinwerferleistung ausführen und für die Sendung alle Scheinwerfer dimmen, bis der gewünschte Look erreicht ist.

## ■ 15.6 Fernseh-Licht

Im Folgenden werden einige besondere Aspekte für Licht im Fernsehbereich beschrieben.

### 15.6.1 Lichtkonzepte

Ausgehend von den verschiedenen Genres von Sendungen müssen grundsätzlich bei allen Fernsehsendungen eine oder mehrere Personen sowie Personengruppen (Zuschauer) optimal beleuchtet werden. Des weiteren wird auch sehr viel Mühe für die Beleuchtung des „Sets“ aufgewendet, um den „Look“ der Sendung dem Zuschauer am Bildschirm zu Hause zu vermitteln.

### 15.6.1.1 Punktuelles Licht

Die Beleuchtung von Personen mit punktuellem Licht ist das klassische Lichtkonzept der Personenbeleuchtung. Es funktioniert in allen Formaten, in denen sich die Positionen von Moderator und Kamera durch die Regie fest planen lassen, wie z. B. bei Magazinsendungen.

Durch das punktuelle Licht mit seinen festgelegten Lichtrichtungen gibt es nur eine Achse zwischen Moderator und Kamera, die eine perfekte Ausleuchtung garantiert. Darum gehören zu diesem Lichtkonzept auch die Marken auf dem Studioboden.

Das Punktlichtkonzept wird z. B. mit der Dreipunkt-Ausleuchtung umgesetzt. Dabei wird eine Person mit drei Scheinwerfern beleuchtet: dem Führungslicht, der Aufhellung und dem Hinterlicht. Die Person und die Kamera bilden die sogenannte Kameraachse. Die Führung und die Aufhellung befinden sich in einem Winkel von jeweils  $45^\circ$  zu dieser Achse und beleuchten die Person von links und rechts vorne. Das Hinterlicht befindet sich im Normalfall genau in der Kameraachse hinter der Person. Dadurch bekommen der Kopf und die beiden Schultern ein symmetrisches Licht von hinten. Die vertikalen Winkel der drei Lichtrichtungen werden mit jeweils  $45^\circ$  angegeben.

Nachteil der klassischen Dreipunkt-Ausleuchtung sind die zwei Gesichtsschatten. Darum findet man in der Praxis oft eine andere Variante der Dreipunkt-Ausleuchtung, oftmals Vierpunkt-Ausleuchtung genannt. Auch hier bilden die Person und die Kamera die Kameraachse. Das Führungslicht wird genau in dieser Achse von vorne gesetzt und ist damit ein symmetrisches Grundlicht. Die Aufhellung kommt aus einem individuellen Winkel von links oder rechts und betont dezent eine Gesichtshälfte. Damit erzeugt die Aufhellung eine definierte Lichtrichtung. Das Hinterlicht befindet sich weiterhin in der Kameraachse hinter der Person.



**Bild 15.9** Dreipunkt-Ausleuchtung

Die vertikalen Winkel von Führung und Aufhellung werden oft flacher gewählt, um den Kinn- und den Nasenschatten klein zu halten. Es finden sich Winkel um  $30^\circ$ . Dabei muss ein individueller Kompromiss gefunden werden. Je flacher das Licht von vorne kommt, desto mehr wird der Moderator geblendet. Das ist doppelt unglücklich, denn Blendung erschwert das Ablesen des Teleprompters und führt zu unschönem Kneifen der Augen. Das Hinterlicht wird steiler gesetzt, um direktes Streulicht in die Kamera zu vermeiden. Es findet sich ein Winkel um  $60^\circ$ .

Ob die Aufhellung von links oder rechts kommt, bestimmt der geforderte Bildausschnitt. Soll eine Person aus Kamerasisicht nicht zentral, sondern z. B. leicht links im Bild eingesetzt werden, muss die Aufhellung aus Kamerasisicht von rechts kommen. Die Mutter des Punktlichtes ist das Spotlicht, das mit einem Verfolger realisiert wird.

### **15.6.1.2 Flächiges Licht**

Eine Lichtfläche benötigt keinen besonderen Standpunkt des Moderators oder der Kamera. Beide haben eine maximale Bewegungsfreiheit im Set oder auf der Show-Bühne. Die Idee, mit der dieses Ziel erreicht wird, ist ein gleichmäßiges Lichtniveau und dies überall im Set. Flächiges Licht wird mit Flächenleuchten oder mit Stufenlinsen-Scheinwerfern, die einen großen Abstand zum Set und gleichzeitig eine hohe Leistung haben, umgesetzt.

### **15.6.2 Ausleuchtung mehrerer Personen**

Die bisher aufgeführten Lichtrichtungen, Lichtgestaltungsregeln gelten vor allem der Personenbeleuchtung. In Talk-Shows, Fernsehsendungen werden natürlich mehrere Talk-Gäste, Gruppen, ganze Zuschauerbereiche und natürlich die Sets extra ausgeleuchtet.

### **15.6.3 Beleuchtung bei Talk-Sendungen im Fernsehen**

Bei typischen Talksendungen wie Maybrit Illner, NDR-Talk, Riverboat etc. sind meistens 5 bis 7 Gäste eingeladen, die um einen Tisch platziert sind. Der Moderator bzw. die Moderatorinnen sitzen entweder in der Runde mit dabei oder stehen etwas abseits. Ab und zu gibt es einen Gang zu Studiogästen oder zu einer Co-Moderatorin.

Bei allen Situationen geht es darum, dass die Gäste und die Moderatorin/der Moderator gut ausgeleuchtet sind, damit der Zuschauer die Argumente der Talkgäste, die Emotionen, aber auch die Fragestellung des Moderators deutlich im Gesicht ablesen kann. Entsprechend wird in diesen Talk-Sendungen die typische Dreipunkt- oder Vierpunkt-Ausleuchtung eingesetzt. D.h. jeder Guest hat mindestens ein Führungslicht und ein Aufhelllicht. Eventuell erhalten zwei Gäste einen gemeinsamen Hinterlicht, um die Anzahl der Scheinwerfer zu reduzieren.

### **15.6.4 Beleuchtung von Zuschauern im Fernsehen**

Neben der Beleuchtung der Gäste ist natürlich die Beleuchtung von Zuschauern wichtig, wenn die Sendung mit Zuschauern umgesetzt wird. Dabei sind je nach Sendung zwischen 20 bis 100 Gäste im Studio anwesend. Bei großen Block-Buster, wie „Wetten, dass...?“ oder großen Preisverleihungen natürlich mehrere Tausend.

Bei Sendungen mit wenig Gästen (20 bis 100) wird versucht, alle Studiogäste gut auszuleuchten. Natürlich wird die erste Reihe besonders gut ausgeleuchtet. Entweder klassisch mit Führungslicht von vorne und eventuell mit 1/2 CTB-Folie eingefärbtem Hinterlicht. Blaues

Licht erzeugt eine deutliche Tiefe, sodass der Zuschauerraum deutlich größer und mächtiger aussieht, als er in Wirklichkeit ist.

Bei sehr großen Events wird dann auch schon eine farbige Beleuchtung mit eingesetzt, aber immer mit weißem Vorderlicht, sodass, wenn die Kamera ins Publikum schaut oder im Fernsehgargon „schießt“, die Gesichter und die Emotionen der Gäste gut sichtbar sind (siehe Bild 15.10 im Farbteil auf Seite 161).

### 15.6.5 Beleuchtung des Sets im Fernsehen

Neben der Beleuchtung der Gäste und der Zuschauer ist natürlich die Beleuchtung des Sets sehr wichtig, um eine Stimmung, ein Brand oder einen gewissen „Look“ der Sendung zu erzeugen. Einerseits um sich von anderen Sendungen abzuheben, andererseits natürlich auch für den Wiedererkennungswert einer Sendung, wenn der Fernsehzuschauer durch die Programme „zappt“ und innerhalb von Sekunden weiß, welche Sendung er gerade betrachtet.

## ■ 15.7 Sendeablauf

Nachfolgend sollen die Arbeitsschritte vor und während einer Sendung detaillierter betrachtet und ausgeführt werden.

### 15.7.1 Vor der Sendung

Vor einer Sendung werden von der Redaktion zusammen mit dem lichtsetzenden Kameramann die für den jeweiligen Themenkomplex der Sendung benötigten Moderationspositionen und Blickrichtungen innerhalb des Sets festgelegt. Daraus ergeben sich dann die Kamerapositionen und die für das Personen- und Dekorationslicht benötigten Lichtrichtungen. Diese Festlegungen sind die Basis für das Licht. Neben der Positionsfrage wird auch der Look der Sendung festgelegt. Welche Stimmung ist von der Redaktion gewünscht?

### 15.7.2 Einleuchten

Beim Einleuchten werden die getroffenen Festlegungen im Set umgesetzt. Dazu werden die einzelnen Moderationspositionen nacheinander geleuchtet. Zusätzlich kommt das Licht für die Dekoration und ggf. auch Licht für das Publikum.

Der Lichtdesigner nimmt die Position der Kamera ein. So kann er die Lichtwirkung auf den Moderator sofort aus der richtigen Richtung und vor dem richtigen Hintergrund visuell beurteilen.

Der Beleuchtungsmeister nimmt die Positionen des Moderators ein. Von dort aus kann er die Kamera sehen, die ebenfalls immer die jeweils abgesprochene Position einnimmt. Aus dieser Achse zwischen Kamera und Moderator ergeben sich die jeweils optimalen Lichtrichtungen und die dafür benötigten Scheinwerferpositionen. Das Beleuchter-Team richtet die Scheinwerfer mit Beleuchterstangen auf Ansage des Beleuchtungsmeisters aus.

Alle Positionen werden mit einem Luxmeter eingeleuchtet, um die Beleuchtungsstärken an den verschiedenen Positionen im Set konstant zu halten. Das ist für eine einheitliche Arbeitsblende an der Kamera wichtig.



**Bild 15.11** „Eingeleuchtete“ Sendung ohne Gäste und Publikum

Die Farbtemperatur ist beim Einleuchten oft Erfahrungssache. Scheinwerfer gleicher Leistung, in vergleichbarem Abstand und vergleichbarer Intensität erzeugen auch eine vergleichbare Farbtemperatur. Treten doch Farbtemperatur-Sprünge an den verschiedenen Positionen im Set auf, werden diese durch die Bildtechnik an der Kamera ausgeglichen. Darum sieht man ein Farbtemperatur-Messgerät in der Praxis nicht sehr oft in einem Fernsehstudio. Soll die Farbtemperatur aber konstant sein, kommt man um eine Messung nicht herum.

Ist das Licht im Studio eingerichtet, finden Lichtproben statt. Dazu wechselt das Licht-Team in die Lichtregie oder an einen Licht-Platz innerhalb des Studios, der mit eingemessenen Displays ausgestattet ist, welche die Kamerabilder zeigen.

In der Lichtprobe werden dann die einzelnen Positionen durch die Kamera betrachtet und optimiert. Zuerst wird mit Licht-Doublen gearbeitet und während der Sendungsproben wird dann das finale Sendungslicht mit dem Moderator und ggf. den Gästen erstellt.

### 15.7.3 Lichtplan

Der Lichtdesigner skizziert während des Einleuchtens einen Lichtplan der Sendung. Dabei erfasst er die Moderationspositionen im Set samt der verwendeten Scheinwerfer und ihren Dimmer-Nummern sowie die Lichtrichtungen.

Der Beleuchtungsplan dokumentiert im Laufe des Einleuchtens auch, welche Scheinwerfer schon verwendet werden und welche noch frei sind. Ein Scheinwerfer kann in einer Sendung nicht für zwei verschiedene Positionen benutzt werden. Bei großen Produktionen werden detaillierte Lichtpläne am Computer gezeichnet.

### 15.7.4 Pultkonzept

Je nach vorhandener Lichtstellenanlage benötigt man ein individuelles Bedien- und Programmierkonzept für das Licht einer Fernsehsendung. Der einzelne Speicher, in dem man einen oder mehrere Scheinwerfer bzw. Dimmer mit Intensitätswerten speichert, ist dabei oft die Basis.

Wie viele Speicher man für eine Sendung benötigt, ist von ihrer Struktur abhängig. Eine Magazin-Sendung besteht z. B. aus Moderationen und Beiträgen. Für die Moderationen gibt es entweder eine feste oder mehrere verschiedene Positionen im Set. Für jede dieser Moderationspositionen wird ein eigener Lichtspeicher angelegt. So kann die gesamte Sendung in Lichtspeicher zerlegt werden. Gibt während der Sendung ein Gespräch zwischen Moderator und Gast, so kann man die Lichtspeicher noch weiter aufteilen, jeweils einen Speicher für den Moderator und den Gast. So können beide Positionen sehr flexibel und schnell in ihrer jeweiligen Gesamtintensität verändert werden, ohne dass innerhalb eines gesamten Lichtspeichers mehrere Scheinwerfer einzeln verändert werden müssen.

Zum Personenlicht kommen dann noch Speicher für das Licht der Dekoration. Je nach Größe oder der Anzahl der einzelnen Sets innerhalb der Gesamt-Dekoration, gibt es auch hier mehrere Lichtspeicher. Weitere Speicher sind für spezielle Aktionen, Publikum oder Lichteffekte wie Auftritt einer Person im Gegenlicht oder Moving-Light-Bewegungen nötig.

Natürlich kann es innerhalb einer Position im Studio auch mehrere Lichtspeicher geben. Wenn sich die Lichtstimmung z. B. von einem normalen Sendungslicht in ein schummeriges Wohnzimmerlicht ändern soll, dann sind vielleicht keine anderen Scheinwerfer sondern nur andere Intensitäten nötig. Diese werden in einem zweiten Speicher abgelegt. Die so erzeugten verschiedenen Lichtspeicher und Lichtstimmungen können dann in der Sendung manuell oder in einer Programmierung nach Timecode aktiviert werden.

### 15.7.5 Lichtänderung während der Sendung

Das nach der Vorplanung eingeleuchtete und in den Proben angepasste Licht wird während der laufenden Sendung ständig weiter aktiv optimiert. Grundsätzlich müssen der Moderator und die Kameras ihre für den jeweiligen Sendungsteil exakt festgelegten Positionen wiederfinden. Nur so funktioniert das eingeleuchtete Licht.



**Bild 15.12** Aufnahmesituation während der Sendung

In einer Magazinsendung haben dafür alle Beteiligten genügend Zeit, während die Beiträge laufen. Was passiert, wenn z.B. am Ende einer Kamerafahrt oder bei Gängen im On die eingeleuchteten Endpositionen nicht sauber wieder getroffen werden? Oder die Kamera für eine Moderation doch nicht an der abgesprochenen Position steht und sich der Moderator damit vielleicht aus dem Licht drehen muss, um direkt in die Kamera sehen zu können. Die Folge ist, dass das Personenlicht nicht mehr optimal ist und die Kollegen in der Lichtregie gezwungen sind, während der laufenden Sendung aktiv in das vorbereitete Licht einzugreifen. Damit ist klar, dass auch Kameraleute sich mit dem Lichtkonzept und den Positionen Scheinwerfer in der Sendung vertraut machen sollten. Das Licht einer Sendung ist also erst fertig, wenn auch die gesamte Sendung fertig ist.

### 15.7.6 Lichtwechsel

Lichtwechsel sind immer dann nötig, wenn sich Positionen verändern. Die meisten Veränderungen der Lichtsituation werden im Off gewechselt, wenn z.B. in einer Magazin-Sendung ein Beitrag läuft. Muss ein Lichtwechsel im On passieren, gibt es zwei Varianten: entweder ist er für alle deutlich sichtbar und folgt z.B. einem Bildschnitt oder er wird sanft und möglichst unauffällig überblendet.

In einer Magazinsendung geht ein Beitrag zu Ende und es wird zurück ins Studio geschnitten: Man sieht den Moderator in einer Großeinstellung für eine thematische Abnahme. Dann kommt ein Themenwechsel. Dazu dreht er sich um  $45^\circ$  in eine zweite Kamera, die ihn in einer halbnahen Einstellung zeigt. Entweder ist das Licht als Kompromiss so eingerichtet, dass es für beide Positionen passt oder es muss mit dem Bildschnitt auch einen Lichtwechsel geben.

### 15.7.7 Sendung

„Nach der Sendung ist vor der Sendung!“ Dieses Zitat ausgeliehen aus dem Fußballspiel, spiegelt die Situation bei Fernsehsendungen wider. Wie man aus den Ausführungen erkennen kann, ist das Zusammenspiel der sehr vielen Bereiche im Fernsehen sehr wichtig und ermöglicht eine gute oder auch schlechte Sendung. Am Ende muss alles zusammenpassen, damit der Zuschauer das Gefühl hat, eine gute Sendung gesehen zu haben und gerne wieder einschaltet.

# 16

## Film-Licht

Die Lichtgestaltung bei hochwertigen Filmen, insbesondere bei Block-Buster-Filmen, ist sehr aufwendig und sehr differenziert. Man kann zu Recht sagen, dass die Filmbeleuchtung zur Krönung einer Karriere als Beleuchter bzw. Oberbeleuchter gehört und eine Auszeichnung für den Ausführenden darstellt. Bei den meisten „klassischen“ Filmproduktionen, insbesondere bei 35-mm-Filmen, ist es bis zum heutigen Tag üblich, dass nur eine einzige, jedoch hochwertige, Kamera am Set eingesetzt wird, sodass die Lichtgestaltung der Schauspieler/innen sowie des Filmsets sehr genau und gezielt auf den Kamerablickwinkel ausgerichtet wird. In neueren Filmen, insbesondere mit spektakulären Szenen, die nur einmal gedreht werden können, werden in der Zwischenzeit auch mehrere Kameras aus unterschiedlichen Blickwinkeln eingesetzt. Entsprechend aufwendiger wird dabei auch die gesamte Lichtgestaltung bzw. die Lichtsetzung. Insbesondere benötigt die Lichtsetzung für einzelne Takes (ein Film besteht aus sehr vielen einzelnen Takes (Szenen), die je nach Umfang nur einige Sekunden, maximal einige Minuten dauern) eine Menge an Zeit, um Schauspieler/innen und Setdetails perfekt auszuleuchten. Wenn dieser Take abgedreht ist, wird in der Regel das Licht für den nächsten Take komplett neu eingerichtet. Das bedeutet, dass für das Lichtsetzen sehr viel Zeit am Set benötigt wird. Es gilt daher die Daumenregel, dass eine gute Filmcrew mit allem „Drum und Dran“ im Schnitt nicht mehr als 3 min „sendefähiges“ Material pro Tag produziert. Dies bedeutet für einen typischen Kinofilm mit ca. 90 min Länge mindestens 30 Drehtage.

### ■ 16.1 Kurzer historischer Überblick

Mit Beginn der ersten „längeren“ Filme ab 1902/1903 wurde auch die Beleuchtung bzw. Ausleuchtung der Schauspieler bzw. des Filmsets ein wichtiger Aspekt des Filmes. Aufgrund der zur damaligen Zeit verwendeten relativ unempfindlichen Filme (Schwarz-Weiss-Negativfilme) wurde meist im Freien und bei Tageslicht gedreht.

Um vom Wetter unabhängiger zu sein, wurden z. B. in der 20er-Jahren des 20. Jahrhunderts in Babelsberg (dieser Name war erst durch die Zusammenlegung von zwei Orten ab 1938 gebräuchlich) Filmstudios mit Glasdächern gebaut, in denen die Filmaufnahmen stattfanden. Das neue Glashaus der damaligen Firma „Deutsche Bioscop-Gesellschaft“ wurde am 12. Februar 1912, auf dem Gelände nahe der Wohnkolonie Neubabelsberg, mit den Aufnahmen der Asta-Nielsen-Serie 1912/13, Der Totentanz, eingeweiht.

Durch die relativ unempfindlichen Filme wurde, wie bereits erwähnt, entweder sehr viel Tages- bzw. auch Sonnenlicht benötigt oder aber sehr starke Lichtquellen. Für die Filmbeleuchtung in den „Babelsberger Studios“ wurden in den 20er-Jahren vor allem lichtstarke Bogenlampen sowie die ersten Quecksilberdampflampen (Cooper-Hewitt-Lampen), mit all ihren Problemen von der Zündung bis hin zu den nicht optimalen Spektralanteilen der Lichtquelle, eingesetzt.

In diesen Anfangsjahren konnte man von einer Lichtgestaltung noch nicht sprechen, hier war es nur notwendig, genügend viel Licht am Set zu haben. Die ersten Innenraumaufnahmen mit einer bewussten Lichtgestaltung bzw. einer bewussten Lichtinszenierung wurden in den Filmen von Fritz Lang, und dort vor allem in dem Film „Nibelungen“ (1922), realisiert. Damit begann die Ära der Lichtgestaltung, etwa zeitgleich auch mit dem Filmpionier David W. Griffith (USA).

## ■ 16.2 Filmempfindlichkeit

Die Grundvoraussetzung für die Aufnahme von Bildern ist ihre Abbildung auf einem Aufnahmemedium, d. h. in diesem Fall auf Filmmaterial oder auf einem CCD- oder CMOS-Chip einer digitalen Kinokamera. Die lichttechnisch relevanten Grundbestandteile einer Filmkamera (ob analog oder digital) sind

- das Objektiv (es bündelt das Licht und projiziert es auf die Bildebene),
- die Blende (steuert den Lichteinfall),
- der Verschluss bzw. die Verschlusszeit (regelt/steuert die Dauer der Belichtung),
- der Bildsensor (die Bildebene, auf die das Licht fällt).

Zum heutigen Zeitpunkt gibt es im professionellen analogen Filmbereich (16-mm-Film, Super 16- und 35-mm-Film) noch eine gewisse Auswahl von Filmen mit verschiedenen Filmempfindlichkeiten (z. B. Kodak VISION 50T, 100T, 200T, 500T, 800T). T bedeutet Tungsten. Im Filmbereich wird das Kontrastverhältnis mit Hilfe der Filmkennlinie beschrieben. Diese Filmkennlinie stellt den Verlauf der Kontrastübertragung sowie den Aufzeichnungsbereich dar. Diese Kennlinie wird auch als Gamma-Kurve, Schwärzungs- oder Dichtekennlinie bezeichnet.

### 16.2.1 Belichtung

Im Filmbereich stellt die Messgröße Belichtung eine entscheidende Messgröße dar. Die Kenndaten werden daher immer in luxsec (lxs) angegeben.

---


$$H = E \cdot t \quad (16.1)$$

H = Belichtung [lxs]

E = Beleuchtungsstärke [lx]

t = Zeit [s]

---

## 16.2.2 Dichtewert D

Die Abhängigkeit der Schwärzung eines Filmmaterials von der Intensität des auffallenden Lichtes (Beleuchtungsstärke mal Belichtungszeit) wird durch den Begriff Dichtewert oder einfach Dichte D gekennzeichnet. Aufgrund der Tatsache, dass das menschliche Auge die Leuchtdichten nicht linear, sondern logarithmisch als Helligkeit bewertet, wurde auch der Dichtewert D als logarithmischer Reziproker Wert der Transparenz T definiert.

$$T = \Phi_T / \Phi_0 \quad (16.2)$$

T = Transparenz

$\Phi_T$  = durchgelassener Lichtstrom

$\Phi_0$  = einfallender Lichtstrom

D =  $\log(1/T)$

D = Dichte (Filmschwärzung)

T = Transparenz

## 16.2.3 Gradation

Durch die Belichtung eines Negativ-Filmmaterials wird dieses geschwärzt (lichtempfindliche Silberhalogenide werden unter Einfluss von Licht und einem sich anschließenden chemischen Prozess zu metallischem Silber) und damit die Transparenz des Filmes vermindert.

Der für die Filmaufnahmen interessante Bereich ist der lineare Bereich (geradliniger Abschnitt, siehe Bild 16.1, da hier die Kontrastverhältnisse des Originalbildes sozusagen 1:1 auf das Filmmaterial übertragen werden. Abhängig von dem verwendeten Filmmaterial kann dieser Bereich eine mehr oder weniger hohe Steigung aufweisen. Die Steigung wird dabei als Gradation oder einfach als Gamma bezeichnet.

$$\gamma = a/b = \tan \alpha$$

$\gamma$  = Gammawert

$\alpha$  = Steigungswinkel

Ist der Gammawert gleich eins, wird der Objektkontrast im Bild genau richtig wiedergegeben bzw. „tonwertrichtig“ übertragen.

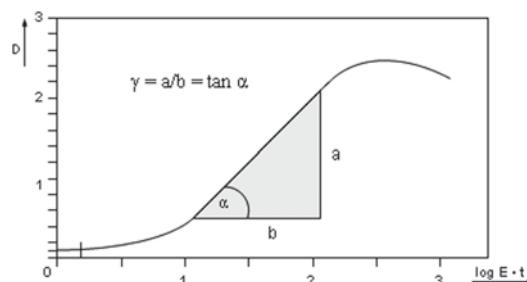


Bild 16.1 Definition der Gradation eines Films

Flache Kurven, d. h. der Gammawert ist kleiner als 1, besitzen einen „weichen“ Charakter. Das bedeutet, solche Filme haben einen möglichst großen Belichtungsspielraum. Ein Filmmaterial mit einem Gammawert deutlich größer als 1, wird auch als „hartes“ Filmmaterial bezeichnet.

### 16.2.4 Lichtempfindlichkeit (ISO – DIN/ASA)

Die Lichtempfindlichkeit von Filmmaterialien wird heutzutage immer noch durch zwei Begriffe (DIN bzw. ASA) gekennzeichnet, obwohl korrekterweise die beiden Begriffe immer durch die Bezeichnung ISO bzw. ISO° gekennzeichnet sein müssten.

DIN:	ASA:	ISO:
1°	1	1/1°
2°	1,2	1,2/2°
3°	1,6	1,6/3°
6°	3	3/6°
9°	6	6/9°
12°	12	12/12°
15°	25	25/15°
18°	50	50/18°
21°	100	100/21°
24°	200	200/24°
27°	400	400/27°
30°	800	800/30°
33°	1600	1600/33°
36°	3200	3200/36°



Bild 16.2 Genormte Filmempfindlichkeiten DIN, ASA, ISO

Die amerikanische Bezeichnung ASA (America Standard Association) für die Filmempfindlichkeit beschreibt ein lineares System. Das bedeutet, eine Verdoppelung bzw. eine Halbierung der ASA-Zahl entspricht auch einer Verdoppelung bzw. einer Halbierung der Empfindlichkeit. Entsprechend gilt dies dann auch für die Blendenwerte und die Beleuchtungsstärkewerte.

Wird mit DIN-Empfindlichkeiten gerechnet, entspricht eine Änderung von 3 DIN einer Verdoppelung oder Halbierung der Empfindlichkeit und damit einer Blendeneinstufung. Ab dem Wert 20 ISO°/DIN bzw. 100 ISO/ASA, können die Werte auch in 1,26-Schritten angegeben werden (21 ISO°/DIN, 22 ISO°/DIN, 23 ISO°/DIN, 24 ISO°/DIN bzw. 100 ISO/ASA, 125 ISO/ASA, 160 ISO/ASA, 200 ISO/ASA etc.).

### 16.2.5 Kontrastumfang beim Filmmaterial

Je nach ausgewähltem Filmmaterial besitzt ein Negativfilm bis zu 10 Blenden Kontrastumfang, beispielsweise der Kodak Vision 200T. Üblicherweise können bei klassischen Filmaufnahmen Kontrastumfänge von ca. 8 Blenden verwendet werden, dies entspricht einem Kontrastverhältnis von 1:256. Die Umrechnung zwischen Kontrastverhältnis und Blenden ist recht einfach (2:4:8:16:32:64:128:256 = 8 Blenden).

### 16.2.6 Lichtempfindlichkeit digitaler Filmkameras

Betrachtet man heute digitale Filmkameras vom Typ ARRI Alexa oder Red, so besitzen diese alle einen elektronischen Sensor. Im Prinzip sind sie also heutzutage mit den Fernseh- bzw.

Videokameras vergleichbar. Da sich der Begriff ISO in der Filmwelt jedoch sehr stark etabliert hat, verwenden die Filmkameras teilweise noch den Begriff des ISO-Werts, um die Empfindlichkeit anzudeuten, damit der Kameramann weiß wie empfindlich seine Kamera ist.

Die ISO-Empfindlichkeit ist somit ein Maß für die Lichtempfindlichkeit des Bildsensors einer Digitalkamera. Hohe Werte bedeuten, dass wenig Licht ausreicht, um helle Punkte im fertigen Bild zu erhalten.



Die gängigen ISO-Werte sind:

100 – 200 – 400 – 800 – 1600 – 3200 – 6400 – 12800 ...

Niedrige ISO-Empfindlichkeiten liefern eine gute Bildqualität, mit höheren Empfindlichkeiten kann ein stärkeres Bildrauschen auftreten.

**Tabelle 16.1** Vergleich ISO-Empfindlichkeit und Aufnahmesituation

ISO-Empfindlichkeit	Aufnahmesituation
100–200 ISO	Aufnahmen bei Sonne
400–800 ISO	bedeckter Himmel, abends
> 800 ISO	nachts oder in dunklen Innenräumen



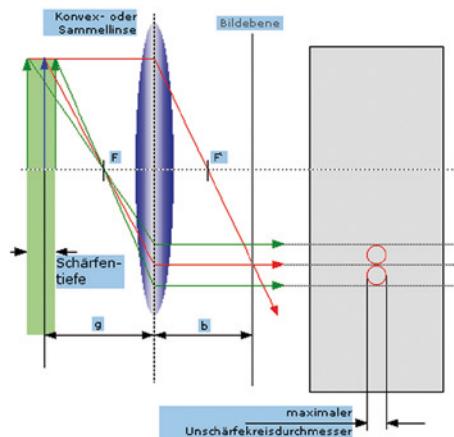
**Bild 16.3** Digitale Filmkamera „Alexa“ (ARRI)

### 16.2.7 Schärfentiefe versus Tiefenschärfe

Physikalisch gesehen, wird nur der Punkt bzw. der Gegenstand scharf abgebildet, der sich in der optimalen Entfernung vor der Linse befindet (Gegenstandsweite  $g$  kann bei gegebener Brennweite  $f$  und Bildweite  $b$  aus der allgemeingültigen Abbildungsgleichung berechnet werden). Vorgaben für die Schärfe oder Unschärfe einer Abbildung sind dabei die physiologischen Gegebenheiten des menschlichen Auges. Die ausschlaggebende Rolle hierbei spielt die Sehschärfe (Visus). Das menschliche Auge besitzt im Normalfall eine maximale Auflösung von ungefähr einer Winkelminute, sodass daraus die entsprechenden Werte berechnet werden können.

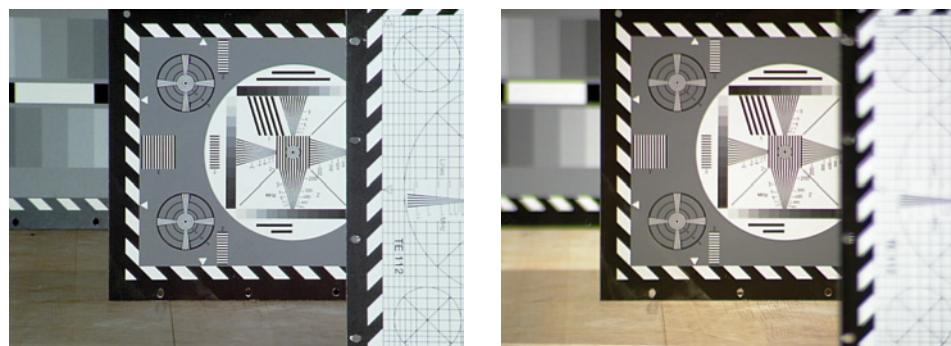
Befindet sich der aufzunehmende Gegenstand in der richtigen Entfernung, so wird bei einem optischen System jeder Punkt des Gegenstandes auf genau einen Punkt der Bildebene abgebildet. Ist die reale Gegenstandsweite größer oder kleiner als die ideale Gegenstandsweite, so entsteht von jedem Punkt des Gegenstandes eine kreisförmige Fläche und nicht mehr ein exakter Punkt in der Bildebene.

Das bedeutet, solange der abgebildete Punkt im Zusammenspiel von Betrachtungsabstand und Durchmesser nicht größer als eine Winkelminute ist, wird er als scharfer Punkt und nicht als unscharfe Fläche wahrgenommen. Somit kann ein maximaler Durchmesser der Fläche festlegt werden, der noch scharf wahrgenommen wird. Mit dieser Voraussetzung kann ein Entfernungsbereich vor der Linse bestimmt werden, in dem alle Punkte, mit einer kleineren Fläche als der des Toleranzkreises, abgebildet und deshalb scharf wahrgenommen werden. Dieser Entfernungsbereich wird mit dem Begriff Schärfentiefe bezeichnet. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird dies auch Tiefenschärfe genannt. Bild 16.5 zeigt Beispiele für unterschiedliche Schärfentiefen bzw. Tiefenschärfen.



**Bild 16.4** Darstellung der Schärfentiefe und des Unschärfekeksdurchmessers

Die Schärfentiefe spielt im Filmbereich neben dem rein physikalischen Aspekt eine sehr große Rolle als gestalterisches Mittel und unterstützt dabei die Dramaturgie des Filmes. Normalerweise ist in einem Filmbild in der Tiefenstaffelung der Schauspieler/Protagonist scharf abgebildet. Durch die Verlagerung der Schärfentiefe auf den Kontrahenten/Gegenspieler – der Protagonist wird dabei unscharf dargestellt – kann der Kameramann bzw. der Regisseur die Aufmerksamkeit bzw. den Fokus des Zuschauers gezielt verändern und die Aufmerksamkeit auf die andere Person lenken. Damit kann die Handlung und die Spannung des Filmes gesteigert werden.



**Bild 16.5** Links: „große“ Schärfentiefe (alle Details sind scharf abgebildet), rechts: „geringe“ Schärfentiefe (nur die mittlere Testtafel ist scharf abgebildet)

## ■ 16.3 Personen

Die Lichtgestaltung und die Festlegung der einzelnen Lichtstile, siehe dazu auch Abschnitt 16.6 „Lichtstile im Filmbereich“ wird am Set vom „lichtsetzenden Kameramann“ festgelegt. Der Oberbeleuchter (engl. Gaffer) und seine Crew unterstützen ihn dabei in der technischen Ausführung, jedoch wird die ästhetische Komponente des Lichtes, aber natürlich auch die Bildausschnitte u.a. durch den Kameramann festgelegt. Dabei kann es bei großen Block-Buster-Filmen durchaus vorkommen, dass der „lichtsetzende Kameramann“ gar nicht mehr selbst die Kamera „schwenkt“, d.h. also selbst an der Kamera „steht“, sondern dies ein anderer Kameramann für ihn übernimmt, damit er den Überblick für die Lichtgestaltung und den Bildausschnitt behalten kann. Aus der Vielzahl von berühmten „lichtsetzenden Kameramännern“, auch DoP (Director of Photography) genannt, soll an dieser Stelle stellvertretend der deutsche Kameramann Michael Ballhaus („Die Ehe der Maria Braun“, „Air Force One“, „Gangs of New York“ etc.) erwähnt werden, der auch in Hollywood erfolgreich ist. Die Liste könnte natürlich beliebig lang fortgesetzt werden. Neben dem Kameramann und dem Oberbeleuchter mit seiner Crew sind natürlich auch Regisseur, Aufnahmeleiter, Kostümdesigner u.v.a. am Set vorhanden.

## ■ 16.4 Messtechnik

Da sich bei der Aufnahme zwischen dem Rezipienten (Zuschauer) eine Filmkamera oder auch digitale Kamera und ein Bildschirm bzw. im Kino ein Beamer befindet, müssen die Lichtverhältnisse in Abhängigkeit des ausgewählten Filmmaterials, siehe auch Kapitel 4 „Kontrast und Helligkeit“, gemessen werden, um optimale Bedingungen zu erhalten (Beleuchtungsmesser, Belichtungsmesser, Spotmeter). Voraussetzung ist dabei die in Abhängigkeit von der Dramaturgie ausgewählte Arbeitsblende, um eine Schärfentiefe bzw. Tiefenschärfe zu erzeugen oder auch nicht.

Bei der Lichtmessung, auch Expositionsmessung genannt, unterscheidet man zwei verschiedene Messtechniken. Zum einen die so genannte Objektmessung, bei der direkt am Objekt die einfallende Lichtmenge, in Bezug auf den ausgewählten Film, gemessen wird. Zum anderen die so genannte Spotmessung bei der, wie bei einem Leuchtdichtemesser, die reflektierte Leuchtdichte, im Idealfall auf einer Graukarte mit 18 % Remissionsgrad, gemessen wird. In Analogie zur Architektur- bzw. Fernsehbeleuchtung spricht man in diesen Fällen bei den Messgeräten von einem Belichtungsmesser bzw. einem Spotmeter.

## ■ 16.5 Eingesetzte Scheinwerfer

Im Filmbereich werden bestimmte Scheinwerfertypen aufgrund ihrer Eigenschaften häufiger eingesetzt als andere. Die gängigsten sind:

- Scheinwerfer mit Fresnel- oder PC-Linsen, meist 500 W - 20 KW
- weichstrahlende Scheinwerfer wie Kino-Flo, Chimera etc.
- Dino Lights, Spacelights, siehe nächster Abschnitt
- Butterflies unter Ausnutzung von Tageslicht oder leistungsstarken Scheinwerfern
- Dedo-Lights zu Ausleuchtung von Details

Wichtig ist in diesem Genre, dass Personen teilweise sehr „weich“ ausgeleuchtet werden, wobei kaum oder gar keine Schatten vorhanden sein sollten.

Besondere Scheinwerfer, die aufgrund Ihrer Größe (entweder zu klein oder zu groß) nicht so sehr im Fernseh- oder Theaterbereich eingesetzt werden, sollen in den nächsten Abschnitten vorgestellt werden. Wie schon erwähnt, hat es sich im Filmbereich teilweise eingebürgert, oft Firmennamen als Bezeichnung für eine Lichtquelle oder sogar für eine Art der Beleuchtung zu verwenden.

### 16.5.1 Dino Lights

„Dino Lights“ sind Scheinwerfer, bestehend aus senkrechten Reihen aus 1-KW-PAR-64-Kunstlicht-Brennern, die in schwenkbare Bars eingebaut sind. Die Lichtquellen erzeugen ein relativ hartes Licht, sodass eine relativ große Fläche auch in größerer Entfernung ausgeleuchtet werden kann. Die Lichtquellen können dabei einzeln per Kippschalter dazugeschaltet werden. Sehr oft werden Dino Lights gemeinsam mit Butterflies, Details siehe nachfolgend, eingesetzt, um ein weiches, flächiges Licht zu erzeugen.

Die leistungsstärksten Dino Lights besitzen eine Leistung von 36 KW (6 x 6 1-KW-PAR-64-Lampen). Werden Lichtquellen mit geringerer Brennerleistung (650 W) eingesetzt, jedoch die Anzahl der Lichtquellen erhöht, z.B. auf 6 x 8 oder 7 x 7, dann spricht man von „Wendy Lights“. Sind nur 3 x 3 oder 3 x 4 1-KW-PAR-Lampen in dem Gehäuse vorhanden, spricht man von „Maxibrutes“, siehe Bild 16.6.



**Bild 16.6** links: Lichtquelle „Maxibrite“ (3 x 4 1-KW-PAR-Lampen), rechts: ausgeleuchteter Butterfly mit Maxibrite (Dino Lights) bei einer Filmproduktion

### 16.5.2 Spacelights

Um eine große Spielfläche gleichmäßig auszuleuchten, wie z.B. in der Filmtrilogie „Herr der Ringe“ (die Heimat der Elfen in Bruchtal), können entweder sehr viele Fresnelscheinwerfer eingesetzt werden, wobei dies immer das Problem vieler Schatten nach sich zieht, oder es können in diesem Fall sogenannte „Spacelights“ eingesetzt werden. Spacelights wirken auf den ersten Blick wie große Lichtsäcke. Sie bestehen aus einem speichenförmigen Ring aus 6 zweiseitig gesockelten 800-W-Stabhalogenleuchtlampen. Um diese Ringanordnung befindet sich ein weißer, diffus strahlender Stoff, meist Seide, der zylinderförmig aufgebaut ist und das Licht gleichmäßig in den Raum verteilt. Optional können schwarze Schürzen angebracht werden, um die Lichtwirkung in gewisse Richtungen zu vermindern.

Da der Diffusorstoff viel Licht absorbiert, ist für eine Filmausleuchtung eine relativ große Anzahl von Spacelights notwendig, die jedoch den Vorteil besitzen, dass dann eine gleichmäßige Beleuchtung am Filmset erreicht wird.



**Bild 16.7** links: „Spacelight“ im eingeschalteten Zustand, rechts: „Spacelight“ von schräg oben betrachtet

### 16.5.3 Heliumballon

Ein ähnlicher Effekt wie die durch „Spacelights“ kann durch Heliumballone erreicht werden, bei denen im Inneren Halogenleuchtlampen oder auch HMI-Brenner installiert sind. Dieser Ballon kann bis zu einer Höhe von 50 m hochsteigen und erzeugt dabei eine sehr gleichmäßige Ausleuchtung der Filmszene. Die Lichtquellen im Inneren des Ballons können je nach Typ auch einzeln geschaltet und gedimmt werden. Es sind Leistungen von 2 KW bis 16 KW Kunstlicht und 2 x 1,2 KW bis 8 x 4 KW HMI-Licht möglich.

### 16.5.4 Butterfly

„Butterflys“ bestehen aus Aluminiumrahmen, die mit Diffusions- oder Reflektionsmaterialien bespannt sind und zum einen die Möglichkeit bieten, direktes Sonnenlicht zu mindern, zum anderen das Sonnenlicht als großflächige diffuse Beleuchtung zu nutzen. Die Bespannungen können aus unterschiedlichsten Materialien bestehen (Seide, Scrims/Gaze etc.). Übliche Größen für Butterflies sind 6 x 6 ft, 12 x 12 ft, 10 x 20 ft. Wie bereits bei den Spacelights erwähnt, vermindern Butterflies in starkem Maße den Lichteinfall, sodass man ohne Probleme davon ausgehen kann, dass bei dem Einsatz eines Butterflies mit einer „klassischen“ Bespannung ein Blendenabfall von ca. 2 bis 2,5 Blenden vorhanden ist.

Daneben kann durch die Anstrahlung bzw. Durchleuchtung von Butterflies mit leistungsstarken Fresnelscheinwerfern oder auch Dino Lights, ein großflächiges, „weiches“ Licht erzeugt werden.

### 16.5.5 Bouncing

Im Filmbereich wird sehr gerne von „bouncen“ gesprochen. Das bedeutet, dass ein lichtstarker Scheinwerfer auf eine große weiße Fläche, meist auf eine großflächige Styroporplatte gerichtet wird und das indirekt abstrahlende Licht die Schauspieler sehr weich und gleichmäßig ausleuchtet (bouncen = werfen).



**Bild 16.8** links: schematische Darstellung für „Bouncing-Light“, rechts: Ausnutzung des Sonnenlichts für die „Aufhellung“ einer Schauspielerin

### 16.5.6 Fahnen/French Flags

Um Streulicht zu vermindern oder ganz abzuschatten, werden sogenannte Fahnen, d. h. kleine bis mittelgroße Aluminiumrahmen mit aufgespanntem schwarzen Molton verwendet, die das Licht beinahe völlig absorbieren, oder es können auch sogenannte „French Flags“ benutzt werden, die aus dünnen schwarzlackierten Aluminiumblechen bestehen. Beide Systeme werden dabei über spezielle Gelenke an Stativen befestigt.

## ■ 16.6 Lichtstile im Filmbereich

Für die Wahrnehmung räumlicher Formen und Strukturen ist die Modellierung durch Licht und Schatten von zentraler Bedeutung. Um die Dramaturgie der einzelnen Szenen zu unterstützen, können die Licht- und Schattenbereiche sowohl auf dem Gesicht der Schauspieler/innen, als auch dem Set überzeichnet werden, da Film im Prinzip nie die Realität darstellt, sondern immer ein ästhetisiertes Abbild darstellt.

Wie bereits in Abschnitt 13.6 „Fotografische Stile“ ausführlich ausgeführt, gibt es „klassische“ Lichtstile wie „Normal-Stil“, „Low-Key-Stil“ und „High-Key-Stil“ und Varianten davon. Im Filmbereich gibt es neben diesen klassischen Lichtstilen auch besondere, von einem gewissen Genre geprägte Lichtstile wie „Film Noir“ oder „Dogma95“ u.a., vom Verfasser als „Genre-Lichtstile“ bezeichnet.

### Genre-Lichtstile

Nach den ersten Lichtinszenierungen bei Fritz Langs Nibelungen, wurden in den 30er- und 40er-Jahren, vor allem in Hollywood, sogenannte Screwball-Komödien produziert sowie Filme mit Tanzeinlagen, die nicht wie bei früheren Filmen vereinzelt High-Key-Szenen zeigten, sondern die meisten Szenen der Filme wurden im High-Key-Stil gedreht.

Als Gegensatz zu diesen Filmen entwickelten sich in den 40er- und 50er-Jahren düstere Kriminalfilme, bekannt unter dem Begriff „Film Noir“ oder „Schwarze Serie“ (z.B. „Der Malteser Falke“ mit Humphrey Bogart). Die meisten der klassischen amerikanischen Filme im Noir-Film-Stil waren Gangsterfilme, die stärker mit Schatten als mit Licht arbeiteten. Das bedeutete, zum ersten Mal wurden ganz bewusst starke Schlagschatten im Film eingesetzt, ganze Szenen waren nur dunkel, d.h. eine durch und durch subtile Low-Key-Beleuchtung.

Einen besonderen Meilenstein in der Filmgeschichte setzte Stanley Kubrick mit seinem Film „Barry Lyndon“ (1975), unter anderem honoriert durch einen Oscar für die Beste Kamera. Um die Innenraumszenen nur mit den dort vorhandenen Kerzen und dem entsprechenden lichtschwachen Kerzenlicht zu drehen, ließ Kubrick lichtempfindliche Kameraobjektive entwickeln, so dass es zum ersten Mal möglich war, Innenraumszenen nur mit den dort eingesetzten Kerzen als Lichtquelle zu nutzen und trotzdem die Gesichter vollständig zu erkennen. Das bedeutete, dass diese Szenen gänzlich ohne zusätzliche Scheinwerfer auskamen.

Durch den immer stärker werdenden Einsatz von Special-Effects und den immensen technischen Aufwand am Set unterzeichneten die beiden Filmregisseure Lars von Trier und Thomas Vinterberg im Jahr 1995 ein Manifest (Dogma 95), bei dem Effekte, technische Raffinessen, Illusionen etc. verbannt wurden. Das bedeutete für das Licht, dass nur noch mit „available light“, d.h. ohne künstliche Beleuchtung gedreht werden durfte. Dementsprechend besitzen diese Filme ihren eigenen „Look“, neben allen anderen Besonderheiten dieser Dogma 95-Filme. In den neueren Filmen wird nun verstärkt die Farbigkeit als Stilmittel eingesetzt, um die Dramaturgie zu unterstützen (The Cell, Matrix-Trilogie, Herr-der-Ringe-Trilogie etc.).

## ■ 16.7 Modelling

Unter dem Begriff „Modelling“ versteht man vereinfacht gesagt die ausgewogene „gute/schöne“ Verteilung von Licht und Schatten auf Oberflächen und auf Gesichtern. Es wurde schon vielfach versucht, eine einfache Formel für zu viel oder zu wenig Schattenbildung zu finden, um damit den ästhetischen Belangen gerecht zu werden. Dabei wurde versucht, aus dem Verhältnis von zylindrischer zu horizontaler Beleuchtungsstärke oder auch vertikaler Beleuchtungsstärke zu horizontaler Beleuchtungsstärke einen Schattigkeitsindex S zu definieren. Gutrov nennt dies mit ähnlichen Ansätzen Körperwiedergabeindex m.

Wie Hassenstein in seiner Diplomarbeit nachweisen konnte, sind die bisher gewählten Belechnungsmethoden, ob halbzylindrische oder zylindrische Beleuchtungsstärke, oder davon abgeleitete Modelle, siehe oben, nur für allgemeine Aussagen einsetzbar, jedoch nicht für das Modelling von Gesichtern. Hassenstein konnte nachweisen, dass diese Modelle sowohl bei guter als auch schlechter Ausleuchtung von Gesichtern Werte berechnen, die keine eindeutigen Aussagen erlauben. Fazit dieser Arbeit war unter anderem, dass auf jeden Fall mit Leuchtdichten bzw. mit Leuchtdichtegradienten gearbeitet werden muss, nicht mit Beleuchtungsstärkewerten.

Hassenstein konnte weiterhin aufzeigen, dass „ästhetisch“ ausgeleuchtete Gesichter in Filmen immer eine großflächige und auch gleichmäßige Ausleuchtung besitzen, sodass das Erkennen der Charakteristika eines Gesichtes für den Zuschauer sehr schnell möglich ist, während eine schlechte Ausleuchtung sich durch zahlreiche Hell-Dunkelzonen, d.h. sehr viele und steile Leuchtdichtegradienten auszeichnet (Siehe Bild 16.9 im Farbteil auf Seite 161).

# 17

## Konzert-Licht

Bei dem Begriff Konzert-Licht soll an dieser Stelle nicht das klassische Musikkonzert beschrieben werden, sondern der Bereich, den man mit dem Begriff Rock-'n'-Roll und den verschiedenen Varianten definieren kann.



**Bild 17.1** Guy Sebastian Australian Tour

### ■ 17.1 Kurzer historischer Überblick

Die Mitte der 50er-Jahre im 20. Jahrhundert kann man als den Beginn der Rock-'n'-Roll-Ära definieren. Vor allem Bands in den USA und auch teilweise in England gingen für Einnahmen aus Ticketverkäufen und zum Ankurbeln der Plattenverkäufe erstmals auf Tournee.

Da es zu der damaligen Zeit kaum Konzerthäuser oder Clubs wie heute gab, waren diese Bands auf Messehallen, Sport- und Mehrzweckhallen sowie öffentliche Flächen („Open Air“) angewiesen. Da es auch gleichzeitig relativ rebellisch und laut zu ging und die klassischen Konzertbetreiber Angst vor „rowdyhaften“ Fans hatten, durften die Band nicht in den klassischen Theatern oder Konzerthäusern auftreten.

In den erwähnten Messe-, Sport- und Mehrzweckhallen gab es als einzige Beleuchtung nur das Hauslicht, eventuell ein dreifarbiges Lichtband vor der Bühne. Eine Showbeleuchtung wie heute mit Rigging, Moving Lights gab es zu der damaligen Zeit noch nicht. Das bedeutete, dass bis Anfang der 60er-Jahre Konzertlicht als Teil der Bühnenperformance kaum bekannt war. Mitte der 1960er brachte Harry Belafonte als einer der Ersten Licht mit auf seine Konzerte. Der „**Lichtdesigner**“ Chip Monck war für das Licht verantwortlich und startete mit Belafonte seine Karriere als Lichtdesigner. Viele andere Bands nahmen Notiz davon und integrierten ebenfalls Konzertbeleuchtung mit in ihre Auftritte.

Mitte der 60er-Jahre gab es z. B. bei Auftritten von den Rolling Stones nur statische Beleuchtung, einige farbige Lichtbänder und Spots. Ab dem Jahr 1966 gab es die ersten Konzerte mit Lichtdesign mit einer Konzertbeleuchtung in England. Erste Effektlampen mit Leuchtmitteln aus Autonebelscheinwerfern wurden in Kaffeedosen eingebaut. Der erzielte Effekt: ein breiter dichter Lichtstrahl quer über die vordere Bühne. Bands wie YES und Jethro Tull setzten solche Effektlichter ein. Ab 1970 begann die industrielle Entwicklung von Bühnentechnik mit dem Einsatz von PAR-Scheinwerfern. 500 Stück dieser „**PAR-Kannen**“ wurden erstmals 1971 auf Jethro Tulls „Passion Play Tour“ eingesetzt. Damit war es nicht nur möglich, grelle Farben zu erzeugen. Es war auch das erste Mal, dass PAR-Kannen „**geflogen**“ wurden, also an einem Rigg befestigt waren. Die PAR-Kannen gehören heute zu der Grundausrüstung jedes Konzertlichtes, ob kleiner Auftritt im Club oder großes Event.

Neben dem Licht wurde auch das Tonequipment umfangreicher, das die Bands mit auf Tour nahmen. Dabei wurde ein Problem immer drängender, wie konnte man das Ton- und Lichtequipment in Clubs, Schulaulen oder Messehallen aufhängen. Es gab für die Tourneen kaum Aufhängemöglichkeiten bzw. ein transportables „**Rigg**“, an denen die Scheinwerfer und Lautsprecher aufgehängt werden konnten. Und wenn, dann war alles sehr mühsam, sehr aufwendig und nicht wirklich tourtauglich. Die ersten Traversen/Gerüstelemente wurden aus dem Gerüstbau ausgeliehen, modifiziert, bis dann die ersten Dreikant- bzw. Vierkant-Traversen aus leichtem Aluminium entwickelt wurden, mit denen man schnell das Ton- und Lichtequipment aufhängen und wieder abbauen konnte. Das erste Touring Equipment wurde für die 1972 stattfindende Rolling-Stones-Tour hergestellt.

Mit der Einführung von Multiplexsignalen zwischen Dimmer und Lichtstellpult, der Einführung des DMX-512-Signals, siehe Abschnitt 10.2 „Grundlagen DMX“ und der Entwicklung des Ethernets konnte ab 1980/81 sogenanntes „**Intelligentes Licht**“ eingesetzt werden. Die Firma **Varilite** entwickelte die ersten Moving Lights. Mit der Gründung der Firma PRG im Jahr 1995 (im Moment die weltgrößte Verleihfirma für Licht-, Ton-, Video- und Rigging-Equipment) wurde die Branche professionell und weltweit tätig. Der Einsatz von Moving Lights, von Medienwänden waren die nächsten Schritte, um vom Konzertlicht zum Showlicht zu kommen.

## ■ 17.2 Personen

Betrachtet man die Liste eines Events einer Show mit den zugehörigen Personen, so findet man eine relativ lange Liste von beteiligten Mitarbeitern. Die Unterteilung, siehe Abschnitt 13.2 „Lichtgestaltung und Lichtdesign“.

### Inszenierung

Die Idee der Inszenierung geht von den Musikern aus. Sie entscheiden, was ihre Musik unterstützt und bei einem Auftritt nicht störend für sie ist. Mit diesen Ideen tritt die Band meist an einen Lichtdesigner heran, der die künstlerischen Vorstellungen in Technik umsetzt. Die Strukturen ähneln dabei denen eines Regieteams im Theater.

Oft wachsen die Strukturen mit dem Bekanntheitsgrad der Band. Zuerst werden die an der Spielstätte vorhandenen technischen Lösungen genutzt und das Konzert wird häufig auch von den Ton- und Lichttechnikern vor Ort betreut. Es gibt dann einen „Technical Rider“, der die Ideen der Band und ihre technischen Anforderungen enthält. Der Verantwortliche für Veranstaltungstechnik wird von der Location gestellt, z. B. ein Bühnen- oder Beleuchtungsmeister.

Bei lokal bekannten Gruppen kommen Ton- und Lichttechniker von der Band und oft ist auch schon eigenes technisches Equipment vorhanden. Es gibt vorgefertigte Lichtstimmungen für bestimmte Songs, die auf vorhandene Scheinwerfer und eigenes Zusatzmaterial vor dem Konzert abgestimmt werden. Der Verantwortliche wird auch hier vom Veranstalter vor Ort gestellt.

Bekannte Bands haben oft einen Künstlerbetreuer, der ihre Belange mit den Spielstätten abstimmt. Die Ton- und Lichttechniker reisen immer mit den Musikern mit und entwickeln immer neue Ideen. Der Lichttechniker ist häufig auch der Designer und programmiert das Pult. Aber auch hier gibt es Bands, die mit mehreren Personen für diese Aufgaben zusammenarbeiten. Beim Ton gibt es dann einen Tontechniker für das FoH-Pult (Front of House) und einen für das Monitorpult neben der Bühne.

Die Bühnenaufbauten werden auch immer komplexer und es gibt bandeigene Bühnentechniker. Auch die Crew, die den Auf- und Abbau betreut, reist mit. Sie wird von lokalen Technikern für Licht, Ton und Bühne unterstützt. Meist haben die Techniker eine Ausbildung zum Veranstaltungstechniker gemacht. Es gibt aber auch Quereinsteiger. Es muss in Deutschland jedoch auch immer ein Verantwortlicher für Veranstaltungstechnik vor Ort anwesend sein, der die Richtlinien der Versammlungsstätten-Verordnung erfüllt.

## ■ 17.3 Eingesetzte Scheinwerfer

Bei klassischen Konzerten werden bestimmte Scheinwerfertypen häufiger eingesetzt als andere. Generell sind die Möglichkeiten durch die neueren Entwicklungen in der Beleuchtungstechnik (z. B. LED-Wände) aber vielfältiger geworden.

### Konventionelles Licht:

- PAR 64, CP60- bis CP62-Leuchtmittel, LED, long- oder shortnose, floors
- Scheinwerfer mit Fresnel- oder PC-Linsen, meist 1 KW – 2 KW
- ACLs (Aircraft Landing), hier werden 8 Scheinwerfer mit 28 V in Reihe geschaltet und üblicherweise als Fächer über die Bühne geleuchtet
- Profilscheinwerfer oder Verfolgerscheinwerfer, meist 750 W – 2 kW

Zum Einsatz kommen fast immer Farbfolien, um die Stimmung der Lieder zu unterstreichen. Immer häufiger kommen Systeme zum Einsatz, die Farbfolien überflüssig machen und mehr Flexibilität zulassen.

### Intelligentes Licht:

- RGB-LED-Systeme, z. B. PARs oder Rampen
- Moving Lights (Wash oder Spot)
- Effekte: Blinder/Stroboskop/Laser

Generell sind den Ideen der Lichtdesigner nur Grenzen durch Budget und technische Möglichkeiten gesetzt. Mit LEDs haben sich diese Möglichkeiten aber enorm vergrößert und schon Bands mittleren Bekanntheitsgrades können ihren eigenen Look kreieren.

## ■ 17.4 Lichtkonzeption und Produktion

In den nachfolgenden Abschnitten soll die Lichtkonzeption, die Planung bis hin zum Produktionsablauf in ihren Einzelschritten beschrieben werden.

### Planung

Im Vergleich zu einer Planung im Theater sind die Planungen für ein Konzertdesign wesentlich komplexer. Vor allem die unterschiedlichen Spielstätten sind hier eine große Herausforderung. Meist werden Konzerte als Tour produziert und müssen somit an viele verschiedene Orte angepasst werden. Zusätzlich gibt es manchmal auch Orte, die eigentlich nicht für Konzerte gedacht sind und somit keine grundlegende Infrastruktur für eine solche Produktion bieten. Grundsätzlich gibt es verschiedene Punkte, die die Planung der Beleuchtung für Konzerte beeinflussen:

- die Größe des Konzertes
- die Art der Darbietung
- die Anzahl der Künstler
- das Budget
- die Logistik

All diese Punkte sind sehr eng miteinander verknüpft und beeinflussen sich gegenseitig. Bei einem kleinen Budget darf auch die Logistik nicht viel kosten, es muss mit wenig Personal gearbeitet werden und die Produktion darf nicht zu komplex werden. Bei einem großen

Budget handelt es sich meist auch um ein Konzert renommierter Künstler in großen Ver- sammelungsstätten, die eine ausreichende Beleuchtung erfordern, was wiederum zu einem großen logistischen und personellen Aufwand führt.

Bei jeder lichttechnischen Planung gibt es aber Grundelemente, die in der Planung bei allen Größen gleich bleiben. Zunächst geht es darum, rein technisch die Künstler zu beleuchten. In welcher Form dies geschehen kann, wird durch den Rahmen des Konzertes bestimmt. Anschließend geht es darum, die Beleuchtung als Stilmittel einzusetzen und durch ein ent- sprechendes Design dem Künstler auf der Bühne einen passenden Rahmen zu geben. Hier lässt sich auch je nach Art des Konzertes mit verschiedensten Stilmitteln arbeiten. So lassen sich viele Effekte bereits durch eine geschickte Positionierung der Lichtquellen erreichen. Auch ein gezielter Einsatz bestimmter Scheinwerfertypen ist eine gute Möglichkeit, Lichtef- fekte zu erhalten. Eine der wohl sichtbarsten Möglichkeiten für eine effektvolle Beleuchtung ist dann die Auswahl von Farben.

Bei der Auswahl der Scheinwerfertypen kommt es auch darauf an, wie diese später an- gesteuert werden sollen. Umgekehrt lässt sich sagen, wer soll später die Veranstaltung am Lichtsteppult begleiten? Bei einer Verwendung von bewegten Scheinwerfern wird die Ansteuerung durchaus komplex und erfordert die Arbeit von einem professionellen „**Licht- Operator**“ am Lichtpult.

Sobald diese grundlegenden Ideen stehen, muss in der Planung berücksichtigt werden, wie die Scheinwerfer befestigt werden, also ob Stative, Traversen und Kettenzüge notwendig sind. Aus diesen Informationen lassen sich die Kabelwege, vor allem die Signalwege entwickeln, die ebenfalls wichtig für die Planung sind. All diese Punkte sind entscheidend bei dem Budget und der Logistik sowie dem Personalaufwand.

Nach Vollendung der Planung werden Beleuchtungspläne gezeichnet, die die Positionen, Farbfilter, Verkabelung und die Signalführung für die Scheinwerfer beinhalten. Für kom- plexe Scheinwerfer wird auch noch ein Patchplan erstellt, der die DMX-Adressierung der verschiedenen Geräte beschreibt.

## ■ 17.5 Produktionsablauf

Nach der Planung und Festlegung der Stilmittel werden die Scheinwerfer „eingerichtet“, „fokussiert“ und die ersten Proben beginnen.

### 17.5.1 Rigging

Bevor bei einer Produktion der Aufbau der Lichttechnik erfolgen kann, werden alle Helfer, Techniker und Gewerksleiter über den Aufbauplan informiert, auf dem alle Positionen der Scheinwerfer festgelegt sind. Auch finden sich hier die Kabelwege. Dann werden zunächst die Traversen und Stative, an denen die Scheinwerfer aufgehängt werden, aufgestellt, zusam- mengebaut und an den vorgegebenen Positionen bereitgestellt. Sofern Traversen aufgehängt werden, müssen zunächst sogenannte „Rigger“ die entsprechenden Hängepunkte im Dach

der Spielstätte vorbereiten und die Hand- oder Motorkettenzüge einhängen. An diesen wird dann die Traverse befestigt, das sogenannte „Rigg“. Sobald das „Rigging“ abgeschlossen ist, kann mit dem Installieren der Scheinwerfer begonnen werden.

### 17.5.2 Positionierung und Adressierung von Scheinwerfern

Da in dem Zeitraum, in dem die Traversen, die später über der Bühne hängen, mit Beleuchtung bestückt werden, weder die Bühne aufgebaut werden kann noch die Bühne eingerichtet werden kann, ist eine zügige Bestückung der Traversen vorrangig. Es werden alle Scheinwerfer an den vorgegebenen Positionen eingehängt, mit Strom und Signalkabeln versehen, gesichert und die Kabel werden ordentlich auf den Traversen gebündelt. Hierbei ist es wichtig, die Kabel gut zu beschriften, da gerade bei größeren Konzerten von jeder Traverse ein großer Kabelbaum hinter die Bühne gelegt wird und es sehr schwierig ist, dort ohne Beschriftung die richtigen Anschlüsse zu finden. Diese Beschriftung ist im Stromlaufplan und im Signallaufplan festgelegt, sodass im Problemfall jedem Scheinwerfer sofort der entsprechende Anschluss zuzuweisen ist.

Entsprechend dem „Patchplan“ werden die komplexen Scheinwerfer mit DMX-Adressen versehen, damit eine Ansteuerung über das Lichtpult erfolgen kann. Bevor alle Traversen mit Kettenzügen auf die richtige Höhe gefahren werden, werden alle Scheinwerfer überprüft, ggf. Farbfilter eingehängt und die Ansteuerung wird getestet, da eine Behebung eventueller Fehler auf Bodenhöhe immer einfacher ist, als später, wenn alle Traversen unter dem Dach der Spielstätte hängen. Scheinwerfer, die auf der Bühne stehen sollen, können erst dann positioniert werden, wenn die Traversen unter dem Dach hängen. Allerdings werden bereits im Vorwege alle Kabel und Anschlüsse vorbereitet, um so schnell und effizient wie möglich zu sein, nachdem die Bühne fertig ist.

### 17.5.3 Einleuchten/Fokussieren

Sobald der Bühnenaufbau fertig ist und alle Positionen auf der Bühne markiert sind, kann mit dem Einleuchten begonnen werden. Hierfür werden alle konventionellen Scheinwerfer von Hand eingeleuchtet. Dies geschieht durch Techniker von der Plattform einer Hebebühne aus oder direkt durch Techniker, die an Strickleitern auf die Traversen klettern. Hierbei wird immer nur ein Scheinwerfer eingeleuchtet, ausgerichtet und fokussiert und nicht mehrere gleichzeitig. Im Idealfall wird hier mit mindestens drei Personen gearbeitet. Eine Person richtet den Scheinwerfer aus, eine Person bedient das Lichtpult und der Lichtdesigner gibt aus dem Publikumsbereich heraus Anweisungen, wie der Scheinwerfer einzustellen ist.

Die beweglichen Scheinwerfer werden danach über das Steuersignal DMX auf die entsprechenden Positionen auf der Bühne gerichtet und die Positionen werden im Lichtpult gespeichert. Meist werden hier nur die Positionen als sogenannte „Presets“ gespeichert. Die gesamte Lichtshow wird je nach Größe meist schon vorab programmiert und die programmierten Positionen der bewegten Scheinwerfer beziehen sich auf die Presets. So wird viel Zeit beim tatsächlichen Aufbau gespart, da die Show nicht weiter programmiert werden muss, sobald die Presets eingestellt sind.

Oft wird auch bereits zum Einleuchten der Effektbeleuchtung ein leichter Dunst mit sogenanntem „**Hazer**“ im Bühnenbereich erzeugt. Dieser Hazer funktioniert ähnlich wie eine Nebelmaschine, erzeugt jedoch einen feinen Dunst, in dem sich die Lichtstrahlen brechen und somit sichtbar werden. So können die Scheinwerfer im Sinne des Lichtdesigns besser eingeleuchtet werden.

## ■ 17.6 Bühnenform und Lichtrichtungen

Bei vielen großen Konzerten wird die Bühnenform auch von dem planenden Lichtdesigner konzipiert. Hier wird das Lichtdesign als Einheit mit der Bühne angesehen und beide Bereiche werden direkt aufeinander abgestimmt. Grundsätzlich sind viele verschiedene Bühnenvariationen möglich, da die Bühnen im Konzertbereich meist nur für das stattfindende Konzert aufgebaut oder modifiziert sind.

### 17.6.1 Bühnenformen

Um die Vielfalt der Bühnenkonstruktionen zu beschreiben, finden sich nachfolgend einige Beispiele:

- Guckkastenbühne, gleich einer Theaterbühne
- einfache, rechteckige und offene Bühne
- Bühne mit Catwalk in den Publikumsbereich
- Bühne mit Balkonen und verschiedenen, unterschiedlich hohen Podesten
- Bühnen mit fahrbaren Hubelementen
- Bühnen mit großen Kulissenteilen (teilweise abstrakte Gebilde)

Da viele Künstler inzwischen die Wirkung und Bedeutung von Live-Konzerten wieder entdeckt haben, setzen diese immer mehr auf ein interessantes Live-Erlebnis. Damit wächst auch die Anforderung an die Bühnen- und Lichtdesigns. Teilweise werden ganze Bühnenteile so konstruiert, dass diese beweglich durch den Raum gesteuert werden können. Beispiele hierfür sind Hubschrauber, Zepeline, Gondeln oder Schaukeln.

### 17.6.2 Traversen

Beginnend von der ersten Entwicklung von Tour-Traversen im Jahr 1972, gibt es heute eine Vielzahl von möglichen Traversen, die bei einem Konzert zum Einsatz kommen. Bekannt sind die Dreikant- und Vierkanltraversen, die es in unterschiedlichen Größen und Abmessungen gibt.

Die Einsatzbereiche für die Traversen kann man grundlegend in einige Bereiche unterteilen bzw. Bezeichnungen für die Position der einzelnen Traversen verwenden

- Frontruss
- Backtruss
- Quertraverse



**Bild 17.2** links: Dreikantraverse, rechts: Vierkantraverse (THOMAS)

### 17.6.3 Lichtrichtungen

Die Lichtrichtungen entsprechen den im Kapitel 14 „Theater-Licht“ ausgeführten. Allerdings werden sie etwas anders eingesetzt. Wie bei den nachfolgend aufgeführten Beispielen zu erkennen ist, wird verstärkt Gegenlicht und Seitenlicht eingesetzt. Damit erreicht man, dass die Lichteffekte für die Zuschauer sichtbar sind und das Geschehen auf der Bühne unterstreichen. Es werden die Konturen herausgearbeitet.

Frontlicht wird möglichst sparsam eingesetzt. Man muss die Künstler sehen können, ohne sie zu stark zu blenden. Gesichter müssen in der Regel nicht gut ausgeleuchtet sein, wichtiger ist es, die Emotionen die in der Musik transportiert werden, zu unterstreichen. Manche Bands lehnen zu helles Frontlicht durch Verfolgerscheinwerfer oder Ähnliches komplett ab, da sie dann aufgrund der Blendung nicht mehr mit dem Publikum interagieren können.

Das Publikum ist hier Teil der Show, deshalb kommen auch Blinder oder andere Scheinwerfer zum Einsatz, die die Zuschauer beleuchten. Diese Lichtrichtung kommt fast nur bei Konzerten zum Einsatz. Eine wichtige Rolle spielen auch Scheinwerfer am Boden, sogenannte Floors. Sie ermöglichen spannende Effekte, gerade wenn Nebel oder Haze zum Einsatz kommen und man die Beams sehen kann.

Gegenlicht wird heute häufig in Form von Moving Lights (Wash), LED-Bars oder LED-Matrix-elementen eingesetzt, um mehr Tiefe zu bekommen. Außerdem können ab einer gewissen Anzahl von Matrixelementen Inhalte dargestellt werden.

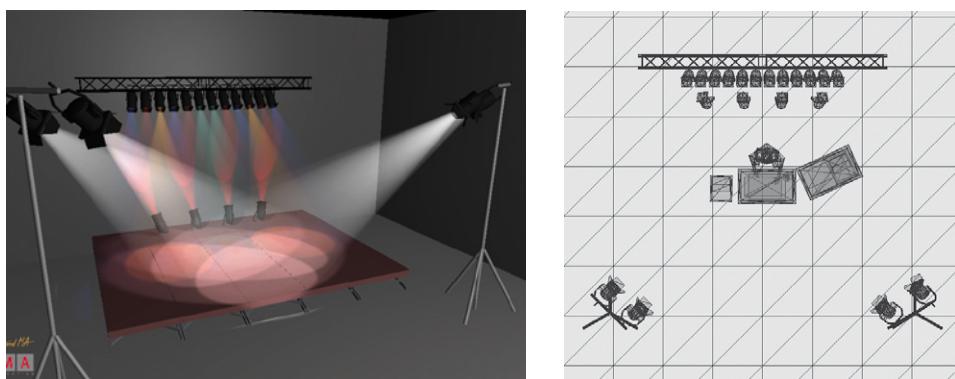
Moving Lights ermöglichen einen flexiblen Einsatz der Lichtrichtung. In der Frontruss können sie zum Beispiel als Frontlicht oder Publikumslicht dienen. Man kann mit ihnen Beams verschiedene Bilder bzw. Fächer bilden, die die Bühne abwechslungsreich gestalten.

## ■ 17.7 Bühnenbeispiele

In diesem Abschnitt soll anhand von drei Beispielen gezeigt werden, wie ein Lichtdesign, abhängig von den Anforderungen, durch Größe und Vielfalt der eingesetzten Scheinwerfer variiieren kann. Bei der Auswahl der Farbfilter bietet sich eine große Palette verschiedenster Farben. In den gezeigten Beispielen wurde zur Veranschaulichung eine einfache Farbauswahl getroffen. Zu beachten ist hierbei, dass bei dunklen Farbfiltern viel Licht der Scheinwerfer durch Transmission verloren geht, weshalb meistens mehr Scheinwerfer mit dunklen Farbfiltern bestückt werden als mit hellen Farbfiltern.

### 17.7.1 Kleine Bühne

Die in Bild 17.3 dargestellte Bühne hat die Maße 4,0 m x 4,0 m mit einer Lichtpunktthöhe von 3,5 m. Das hier gezeigte Lichtdesign ist für kleine Bands, Live-Acts oder Discjockeys auf kleinen Bühnen gedacht. Es handelt sich um einen sehr einfachen Aufbau, mit dem man im Rahmen der Möglichkeiten so viel wie möglich machen kann.



**Bild 17.3** Kleine Bühne: links: Beleuchtungsanordnung, rechts: Blick von oben

**Tabelle 17.1** Verwendetes Material (kleine Bühne)

Anzahl	Scheinwerfer/Material	Bemerkung
12	PAR-64 CP 61	aufgeteilt in zwei 6er-Bars
4	PAR-64 CP 61	Floorspots
4	Stufenlinse 1000 W	Frontlicht
4	Kurbelstativ	
2	Traverse F34 2,5 m	
1	Dimmer 12 Kanal	
1	Lichtpult 12 Kanal	

Die Beleuchtung der Personen auf der Bühne erfolgt durch je zwei Stufenlinsenscheinwerfer links und rechts vor der Bühne auf Kurbelstativen (siehe Bild 17.4 im Farbteil auf Seite 162).

Um die Bühne wirkungsvoll mit farbigem Licht zu beleuchten, werden zwei „6er-Bars“ an einer Quertraverse aufgehängt, die wiederum von zwei weiteren Kurbelstativen gehalten wird. Um zusätzlich noch eine räumliche Wirkung zu erzielen, wird die Rückwand mit 4 einfachen PAR-64 Floorspots beleuchtet.

## 17.7.2 Mittlere Bühne

Dieses Design (Bühnenmaß 6,0 m x 5,0 m mit einer Lichtpunkthöhe von 5 m) ist für größere Live-Bands und Live-Acts gedacht, zum Beispiel bei Stadtfesten oder kleinen Open-Air-Veranstaltungen. Auch hier gibt es eine Aufhellung für die Künstler aus der Front, allerdings sind die Stufenlinsenscheinwerfer an einer Traverse aufgehängt. Ein Teil der farbigen Effektbeleuchtung wird auch hier durch „6er-Bars“ realisiert, die in den hinteren und seitlichen Traversen hängen.

Zusätzlich wird bei diesem Design allerdings auf die Verwendung von Moving Lights gesetzt, um die ansonsten statischen Szenen durch das farbige Licht aufzubrechen und die Lichtstimmungen noch besser auf dargebotene künstlerische Leistung abzustimmen. So lassen sich Bewegungen erzeugen, Motive projizieren, Farbveränderungen herbeiführen und auch verschiedenste Kombinationen aus diesen Effekten (siehe Bild 17.5 im Farbteil auf Seite 162).

**Tabelle 17.2** Verwendetes Material (mittlere Bühne)

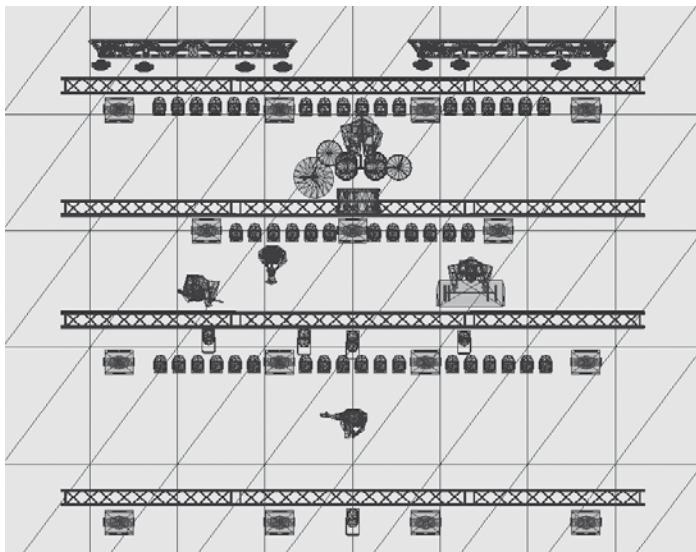
Anzahl	Scheinwerfer/ Material	Bemerkung
24	PAR-64 CP 61	aufgeteilt in vier 6er-Bars
4	LED PAR	Floorspots in Traversentower
8	Movinglights Spot	
4	Stufenlinse 1000 W	Frontlicht
2	Traverse F34 3 m	seitliche Traversen
6	Traverse F34 2 m	Front- und Backtruss
4	Traverse F34 1,5 m	Traversentürme
1	Lichtpult Hybrid	
2	Dimmer 12 Kanal	
8	Motorkettenzug	alternativ Traversenlift

Ein zusätzlicher Effekt sind LED-Scheinwerfer in den Traversentürmen auf der Bühne, auf denen vier der Moving Lights stehen. So lassen sich farbige „Säulen“ erzeugen, die aufgrund der Anordnung der Traversentürme eine räumliche Wirkung erzielen. Für eine solche Show wird bereits ein Hybridpult zur Ansteuerung benötigt, um die komplexen und vielfältigen Parameter der Moving Lights zu kontrollieren.

### 17.7.3 Große Bühne

Bei dem Beispiel für eine große Bühne wurden viele verschiedene Scheinwerfertypen verwendet. Hier finden sich einfache „6er-Bars“, Profilscheinwerfer, Spot-Moving Lights und LED-Movinglights. Maße der Bühne 9,0 m x 6,0 m, mit einer Lichtpunkthöhe von 5,0 m (siehe Bild 17.6 im Farbteil auf Seite 162).

Durch den gezielten Einsatz von Profilscheinwerfern werden die einzelnen Mitglieder der Band aufgehellt und hervorgehoben.



**Bild 17.7** Blick von oben auf die große Bühne

Mit insgesamt 8 „6er-Bars“, gefiltert in zwei Farben, wird hier ein farbiges Hinterlicht als Grundlage geschaffen. Hier wurden bewusst nur zwei Farben ausgewählt, da sich diese in verschiedenen Kombinationen mit den Moving Lights verwenden lassen.

Die 15 Spot-Moving Lights hängen an verschiedenen, strategisch günstigen Positionen, um sowohl jeden Ort auf der Bühne durch ihren Einsatz zu erreichen als auch imposante Muster, Fächer, Bewegungen und Szenenbilder zu generieren. Sie lassen sich so als Rücklicht, Frontlicht oder Toplicht für die Musiker nutzen.

Als zusätzliches Element wurden zwei halbe Traversenkreise im hinteren Bereich auf der Bühnen positioniert und mit sogenannten Washlights, in diesem Fall in LED-Ausführung, bestückt. Hier lassen sich kräftige Farben sowohl in die Decke, auf den Boden, direkt ins Publikum oder gefächert über die Bühne leuchten.

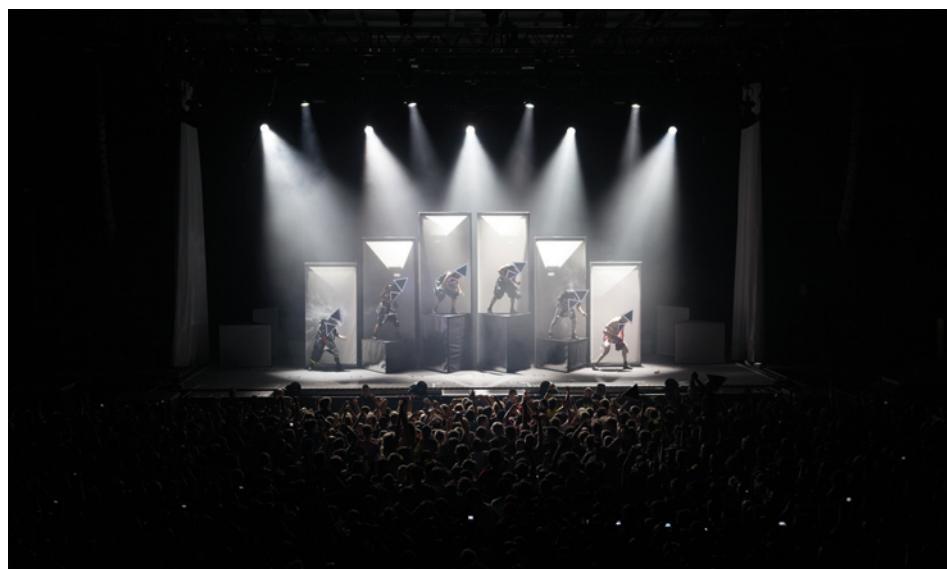
Diese Vielfalt lässt alle Möglichkeiten für ein anspruchsvolles und hochwertiges Lichtdesign zu, welches direkt auf und mit den Künstlern abgestimmt werden kann. Die komplexe Ansteuerung erfordert auch hier ein Hybridpult.

Das Thema Show-Bühne wird in Kapitel 18 „Show- und Event-Licht“ näher beschrieben, um dann das Zusammenwirken der einzelnen Bereiche (Licht, Video, Netzwerk) aufzuzeigen.

# 18

## Show- und Event-Licht

Das Gebiet der Lichttechnik bei großen Veranstaltungen ist längst nicht mehr das Bedienen von Moving Lights und konventionellen Scheinwerfern. Die Entwicklung von LEDs als zusätzliche Elemente im Bühnenbild hat den Bereich der Konzerte, aber auch der großen Fernsehshows gewaltig verändert.



**Bild 18.1** Lichteffekte bei der Band Deichkind („Befehl von ganz unten“ – Tour 2012)

Bei allen großen internationalen Konzerten ob Madonna, Robbie Williams, aber auch deutschen Konzerten und Events wie Deichkind, Helene Fischer u.a. sowie große TV-Shows wie dem Eurovision Song Contest oder bei der Opernaufführung der Bregenzer Festspiele werden neben aufwendigem Equipment an Licht- und Tontechnik auch sehr viel LED-Wände eingesetzt.

Im Show-Licht kommen somit alle Aspekte, die in den vorausgegangenen Kapiteln aufgelistet wurden zusammen, nur alles sehr viel grösser, mächtiger und kostspieliger. Neben Weißlicht sind dies Moving Lights, LED-Scheinwerfer, LED-Wände, Projektionen, Binder, Strobe-Effekte, Pyro-Technik, verfahrbare Traversen und Podiums-Bewegungen.

## ■ 18.1 Beispiel: Eurovision Song Contest 2012 in Baku (Aserbaidschan)

Als eine von vielen großen Shows soll an dieser Stelle das Equipment und das Technikteam bei dem Eurovision Song Contest 2012 in Baku, Aserbaidschan betrachtet werden. Es gab in Baku zwei Semi-Finale am 22.05.12 bzw. 24.05.12 und das Finale am 26.05.12. Ca. 125 Millionen Zuschauer verfolgten das Finale über TV. Für das Lichtdesign war Jerry Appelt (Hamburg) verantwortlich. Federführend für die Creative Production die Brainpool TV GmbH aus Köln. Das Licht und das Rigging kam von der Firma Cape Cross (Köln) (siehe Bild 18.2 im Farbteil auf Seite 163).

Insgesamt waren 2.800 Scheinwerfer installiert, davon rund 1.400 Moving Lights. An Lichstellpulten und Netzwerkkomponenten wurden eingesetzt:

- 8 x grandMA2 full-size
- 5 x grandMA2 fader wing
- 15 x MA NPU (Network Processing Unit)
- 21 x MA NSP (Network Signal Processor)

Um die Ausmaße dieser Show zu erkennen, ist unten aufgeführt die Crew bzw. das Team, das für den ESC in Baku vor Ort war:

- Lichtdesigner: Jerry Appelt
- Set-Designer: Florian Wieder
- Technischer Koordinator und Oberbeleuchter: Matthias Ra
- Concert und Stage Producer: Ola Melzig
- Oberbeleuchter/Spot-Caller: Thorsten Berger
- Showlighting Operator: Sascha Matthes
- Weißlicht-Operator: Markus Ruhnke
- Greenroom- und Publikumslicht-Operator: „Matze“ Meyert
- Video-Operator: Stephan Flören
- Exterior-Lighting-Operator: Sebastian Huwig
- Server-Farmer: Roland Greil
- Systemtechniker: Martin Rupprecht

## ■ 18.2 Lichtdesign

Um solche Konzerte oder Shows zu „fahren“ ist neben der Beschallung das Lichtdesign ein wichtiger Aspekt. Wie in Kapitel 13 „Lichtgestaltung und Lichtdesign“ ausgeführt ist, ist es beim Lichtdesign wichtig eine Ästhetik, bzw. einen „Look“ zu kreieren, bei dem die Lichtrichtungen, die Intensitäten und die Farben zusammenpassen. Welche Scheinwerfer, welche Moving Lights, welche LED-Wände, welche Videoinhalte passen zu welchem Musikstück?

Lichtdesign ist das Kreieren eines „**Looks**“ mit dem passenden Equipment, damit am Ende ein Gesamtbild, eine Emotion, ein Feeling herauskommt, das dem Zuschauer/Besucher vermittelt werden soll.

### 18.2.1 Erzeugung eines „**Looks**“

Der „Look“ ist von mehreren Faktoren abhängig. Von der Dramaturgie des Stückes, der ausgewählten Ästhetik, dem Bühnendesign, dem eventuell gezeigten Videocontent und natürlich von den ausgewählten Lichtrichtungen bzw. Farben. Ein „Look“ bedeutet, es muss alles aus einem Guss sein. Es passt alles zusammen. Die Farbe, die Lichtrichtungen passen und sind stimmig.

Lichtdesign ist vergleichbar mit einem Musikstück. Das Licht entspricht einem Orchester. Man hat mehrere Geigen, einige Violinen, ein oder zwei Bratschen u.a. Die sind alle sehr genau und örtlich korrekt platziert und gestaffelt. Passen zusammen. Die Anzahl ist wichtig bzw. ändert sich je nach Musikstück.

- D.h. man muss jedes Musikinstrument bzw. jeden Scheinwerfertyp kennen und überlegen, wird dies benötigt, wenn ja, wie viele davon, wo hängt man diese hin?
- Welche Farbe wählt man aus?
- Wie schnell soll sich die Farbe ändern?
- Welchen Lichtausfallkegel will man einsetzen? Ist der engstrahlend oder breitstrahlend?
- Wie ist die zeitliche Bewegung, langsam von unten nach oben, schnelle Änderung etc.?
- Einstieg/Beginn: wie beim Musikstück. Wie beginnt man?
- Wie stellt man die einzelnen Akteure, Schauspieler vor?
- Welche Lichtrichtungen sollen gewählt werden? Von unten, von oben. Düster, dramatisch, im hellen Licht.
- Wie baut man die Spannung auf?
- Bleibt man in dem gewählten Lichtstil oder gibt es zwischendrin Überraschungen, Dissonanzen, Spektakuläres?
- Will man den Zuschauer überraschen, ihn mitnehmen, Emotionen erzeugen?
- Gibt es mehrere Plots, Höhepunkte?
- Tauchen verschiedene Akteure auf, Gäste?
- Kommen neue Schauspieler dazu, neue Akteure?
- Wie bindet man diese in das Gesamtbild ein?
- Wie kann man den Gesamtbogen halten, damit der Zuschauer nicht müde wird, dass es spannend bleibt, neue Überraschungen gibt?
- Wie leitet man in die nächste Szene über?
- Wie beendet man das Stück?

### **18.2.1.1 Dramaturgie**

„Dramaturgie ist die Wissenschaft von der Kunst des Dramas und des Theaters, die aus der Lehre von seinem Wesen die inneren Gesetze und Aufbaumittel im Hinblick auf ihre Bühnenwirksamkeit deduktiv oder induktiv ableitet.“ Zitat aus der Online-Enzyklopädie (Enzyklo).

### **18.2.1.2 Ästhetik**

Der Begriff der Ästhetik wird alltagssprachlich meist als Synonym für schön, geschmackvoll oder ansprechend verwendet. In der Zwischenzeit hat die Beleuchtung im 20. Jahrhundert unzählige Entwicklungen erfahren und entwickelt sich stetig weiter. Mit jeder technischen Neuerung ändert sich auch die Ästhetik und es werden neue gestalterische Möglichkeiten offenbart, seien es Halogen-Metallampflampe HMI (Tageslichtscheinwerfer), Moving Light, LED-Scheinwerfer oder LED-Wände.

### **18.2.1.3 Bühnendesign**

Neben dem Lichtdesign besitzt das Bühnendesign einen wichtigen Stellenwert. Geprägt war das Bühnenbild im 19. Jahrhundert durch die Kulissenbühne, d.h. zweidimensionale Bühnenbilder. Die perspektivische Bühnenmalerei täuschte dabei eine Dreidimensionalität vor. Heute beherrschen die Bühne großflächige LED-Wände oder Videoprojektionen (siehe Bild 18.3 im Farbteil auf Seite 163).

### **18.2.1.4 Video-Content**

Durch den Einsatz von LED-Wänden, großflächigen Projektionen und Live-Einspielungen ist bei einer Show zu bedenken, welcher Content eingesetzt wird. Wie passen Lichtdesign, Bühnendesign und Videocontent zusammen? Welche Farbe, welche Größen, welche Informationen werden transportiert? Schaut der Zuschauer noch auf die Band, hört er ihr noch zu oder betrachtet er nur den Videoinhalt?

## **18.2.2 Gestaltungsregeln**

Betrachtet man die verschiedenen Konzerte und Bühnenbilder, dann gibt es sehr viele Möglichkeiten. Im Prinzip jedoch gelten ähnliche Design- und Gestaltungsvorgaben wie in der Architektur.

- Was soll in den Vordergrund, was in den Hintergrund platziert werden?
- Wo ist die optische Mitte?
- Soll eine Harmonie durch Gleches entstehen oder eher eine Disharmonie durch Verschiedenes?
- Wie ist die Nah- und Fernwirkung des angestrebten Mediums?
- Wie ist die Prägnanz bzw. der Grad der gewünschten Aufmerksamkeit?
- Wie sind die Hierarchien, die Auffälligkeiten?
- Symmetrie oder Asymmetrie

Für Scheinwerfer müssen, entsprechend den Definitionen nach McCandless, siehe Abschnitt 14.4 „Lichtgestaltung im Theaterbereich“, folgende Funktionen berücksichtigt werden:

- Intensität (Intensity)
- Farbe (Color)
- Lichtrichtung (Distribution)
- Bewegung (Movement)

### **18.2.3 Anordnung der Scheinwerfer**

Scheinwerfer können in vielfältiger Weise positioniert werden (siehe Bilder 18.4 und 18.5 im Farbteil auf Seite 163 und Seite 164):

- im Kreis
- mehrere Kreise bildend
- als Fächer
- als Uplights
- verengend
- schräg nach oben (aufstrebend)
- einrahmend
- die Lichtstrahlen bündelnd in einem Punkt

## **■ 18.3 Grundlagen Farbkonzept**

Neben den Anordnungen der Scheinwerfer ist Farbe ein sehr wichtiges Instrument zur Emotionalisierung einer Show. Auch hier gelten Gestaltungsgrundsätze.

- Wirken die Farben in ihrer Kombination?
- Welche Farbkontraste werden eingesetzt?
- Welche Emotionalität sollen die Farben vermitteln und was sollen die Farben symbolisieren?
- Wird durch die Farbwahl die gestalterische Idee unterstützt?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen Farbe und Inhalt?
- Löst die Farbgestaltung beim Betrachter die gewünschten Gefühle und Reaktionen aus (siehe Bild 18.6 im Farbteil auf Seite 164)?

### **Farbkontraste**

Nach der Theorie von Itten gibt es sieben verschiedene Farbkontraste, die sich hinsichtlich ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen.

- Warm/Kalt-Kontrast (z.B. Orange zu Grün)
- Hell/Dunkel-Kontrast (z.B. Hellblau zu Dunkelblau)

- Komplementärkontrast (z.B. Gelb zu Blau) (siehe Bild 18.7 im Farbteil auf Seite 187)
- Simultankontrast (z.B. gleiche Innenfeldfarbe zu unterschiedlicher Umgebungsfarbe)
- Qualitätskontrast (z.B. kräftiges Rot zu abgeschwächtem Rot (Buntheitsunterschied))
- Quantitätskontrast (z.B. wenige kleine rote Punkte in einem blauen Umfeld)
- Flimmerkontrast (z.B. rotes Innenfeld zu grünem Außenfeld)

# 19

# Lichtpläne und Lichtsimulation

Im Bereich der Showbeleuchtung, aber auch der Theaterbeleuchtung werden seit einiger Zeit zur Vorabvisualisierung und als Previsualisierung von großen Events Lichtsimulationsprogramme eingesetzt. Neben Programmen wie Vectorworks kommen dabei auch Programme wie grandMA 3D (MA-Lighting), Wysiwig (Cast), Martin Showdesigner (Martin Professional), 3DStudio Max (Autodesk), ReluxSuite (Relux Informatik AG) sowie hochwertigere Programme wie Maya oder Softimage (beide Autodesk) zum Einsatz.

## ■ 19.1 Grundlagen

Das chinesische Sprichwort, dass ein Bild mehr aussagen kann als tausend Worte, ist in unserer jetzigen Zeit mehr als berechtigt. Pläne, 2D- und 3D-Bilder, fotorealistische Bilder oder Videos helfen bei der Darstellung komplizierter Vorgänge. Während im Theaterbereich und bei Opern lange Zeit der Bau von Modellen durch den Bühnendesigner üblich war bzw. auch teilweise heutzutage noch ist, wird im TV-Bereich mit Scribbles, CAD-Plänen aber auch Renderings, Bühnen- und Lichtplänen präsentiert, bis hin zu aufwendigen 3D-Simulationen im Event- und Showbereich. Mit der eindeutigen Bildsprache ist es möglich, dem Kunden die geplante Show zu präsentieren, den verschiedenen Abteilungen Änderungen im Produktionsprozess und wichtige Informationen in kurzer Zeit zu vermitteln und eine Planungssicherheit zu ermöglichen und vielleicht sogar die eine oder andere Beleuchtungsprobe einzusparen.

### 19.1.1 Modellbau

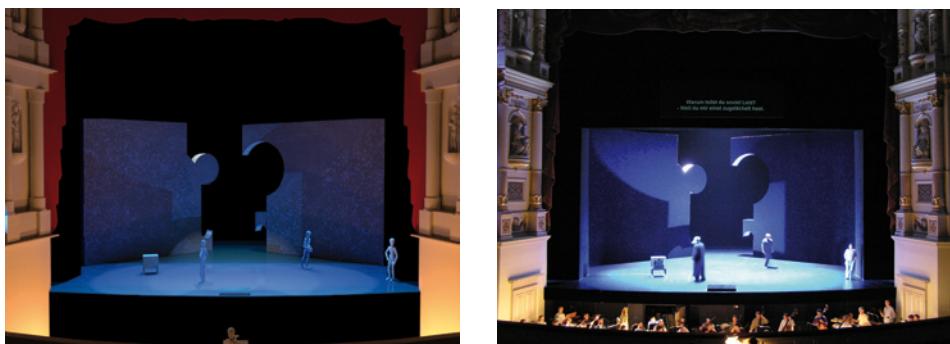
Zur Beurteilung der räumlichen Lichtstimmung können natürlich auch sogenannte „**Schuhkarton-Modelle**“ der Größe 1:20 oder 1:50 verwendet werden. Mit Hilfe dieser Modelle können erste Aussagen über das Bühnendesign, die Gestaltung, den Raumauflauf etc. diskutiert werden. Probleme wird es dabei immer mit den Lichtquellen, insbesondere mit der korrekten Wiedergabe der Lichtstimmungen geben. Man kann wohl mit Miniaturscheinwerfern schon einen ersten Lichteindruck von den Szenen erhalten, die korrekte Lichtwirkung ist jedoch nicht befriedigend möglich. Lediglich im Maßstab 1:4 können heute bereits gute Lichtwirkungen mit entsprechenden Miniaturscheinwerfern dargestellt werden.

### 19.1.2 Simulation

Hinter diesem Begriff steht die vielfältige Möglichkeit, Räume, Bühnen, Theaterstücke per Rechner in 2D und 3D aufzubauen, die Räume, Wände, Möbel zu variieren, um so die Raum- und Lichtwirkung vorab zu betrachten und sich im virtuellen Raum zu bewegen.

In den letzten Jahren ist die Computersimulation sehr große Schritte vorangekommen, von einfachen 3D-Bildern bis hin zu „fotorealistischen Darstellungen“. Gerade in den letzten Jahren hat man die Wirkung von realitätsnahen oder fotorealistischen Bildern schätzen gelernt, bis hin zur Darstellung und Meinungsbildung der Lichtwirkung unterschiedlicher Leuchten. Zusätzlich kann auch mit manchen Programmen der technische Nachweis von notwendigen Beleuchtungsstärken dokumentiert werden.

Nachfolgend ein Beispiel für eine Vorabvisualisierung einer Szene mit dem Programm Wysiwig aus der Oper „Turandot“ von Giacomo Puccini (Semperoper Dresden).



**Bild 19.1** links: Vorabvisualisierung der Oper Turandot, Semperoper Dresden mit dem Programm Wysiwig (Cast), rechts: Originalszene

Auch im Bereich der Fernsehunterhaltung (z. B.. Wetten, dass...? u. a.) werden seit einiger Zeit, zur Vorabvisualisierung Lichtsimulationsprogramme eingesetzt.

#### Vorteile der Computersimulation

- frühzeitige Vorstellung der Lichtwirkung im Raum
- frühzeitige Entscheidungsfindung für die eine oder andere Lichtlösung
- schnelles Modifizieren von Raumelementen und Leuchten
- verbesserte Basis zur Diskussion der Probleme mit den am Projekt Beteiligten

#### Nachteile der Computersimulation

- Ist nicht so realistisch wie ein echter Modellraum.
- Blendungsprobleme sind kaum darstellbar.
- Bei komplexen Räumen ist eine längere Eingabezeit notwendig.
- Bei komplexen Räumen sind große Rechenzeiten notwendig.

Nachfolgend einige Beispiele für den Einsatz verschiedener Programme bei der Vorabvisualisierung.

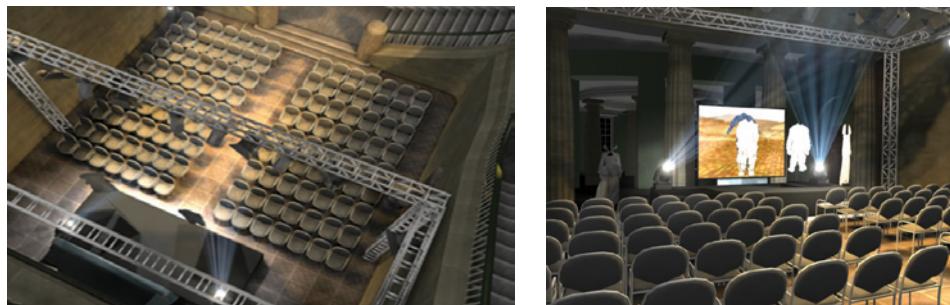


Bild 19.2 Vorabvisualisierung einer Modenschau (Kunsthalle Hamburg) mit dem Programm Maya; links: Blick von oben, rechts: Blickrichtung aus dem Zuschauerraum

## ■ 19.2 Lichtpläne

Für jede größere Produktion, ob Fernseh-, Theater- oder Showbereich werden vorab, wie allgemein in der Lichttechnik üblich, Beleuchtungspläne benötigt und gezeichnet. Die Grundrisspläne sind heute üblicherweise in CAD-Form, meist wird AUTOCAD oder Vectorworks verwendet. Bei großen Produktionen gibt es noch verschiedene Unterteilungen von Lichtplänen (Plot, Section, Layout Schedule, Hook-up Schedule), Details dazu siehe Kapitel 14 „Theater-Licht“.

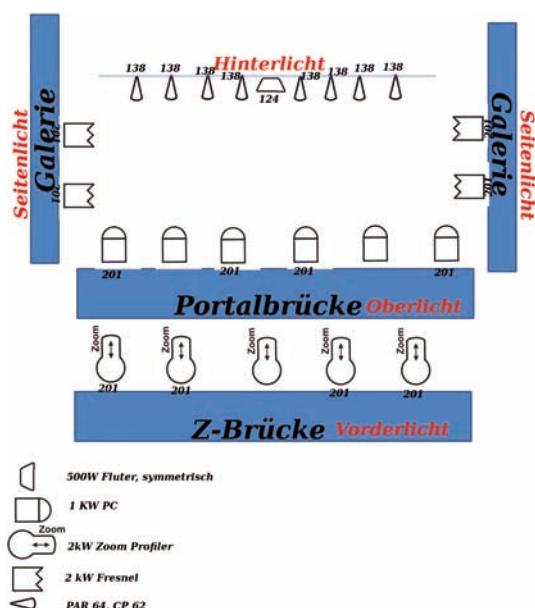


Bild 19.3 Vereinfachter Beleuchtungsplan „Weiße Rose“ mit Legende

## Scheinwerfersymbole

Um einen Beleuchtungsplan zu erstellen, der für alle Mitarbeiter der Lichtcrew gut lesbar ist, bedarf es Symbole, die es dem Betrachter erlauben, schnell zu erkennen, um welchen Scheinwerfertyp es sich in diesem Plan handelt. Aus diesem Grund ist in der DIN 15560, Teil 6 festgelegt, welche Scheinwerfer durch welche Symbole gekennzeichnet werden sollen.

Mit einem Viereck kennzeichnet man einen Scheinwerfer mit der Leistungsklasse bis 1KW. Der Kreis repräsentiert einen Scheinwerfer mit der Leistungsklasse 2 KW. Ein 5-KW-Scheinwerfer wird durch ein Dreieck dargestellt. Fluter werden durch ein Trapez dargestellt. Entsprechende Schablonen zum Zeichnen auf Papier sind auf dem Markt erhältlich.

Nach DIN 15560 Teil 6	Gebräuchlich im Theater
0,650 - 1 kW	[ ]
2 kW	( )
5 kW	△
10 kW	[ ]
Nicht Vorhanden	[ ]

Fresnellinsen-  
(Sufenlinse)-  
Scheinwerfer  
[ F ]

Plankonvexlinsen-  
Scheinwerfer  
(auch  
Pebbelplankonvex)  
[ PC ], [ PPC ]

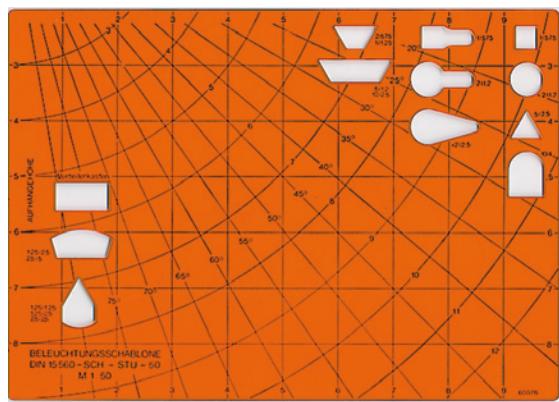


Bild 19.4 links: Scheinwerfersymbole nach DIN 15560, Teil 6, rechts: Schablone

Leider ist diese DIN relativ veraltet und berücksichtigt die neueren Scheinwerfertypen wie Moving Lights und Scanner nicht bzw. nur durch das einfache Symbol „Effektgerät“. Entsprechend haben Lichtdesigner und die Programmhersteller eigene Symbole entworfen, die schon sehr detailliert die einzelnen Scheinwerfertypen darstellen.

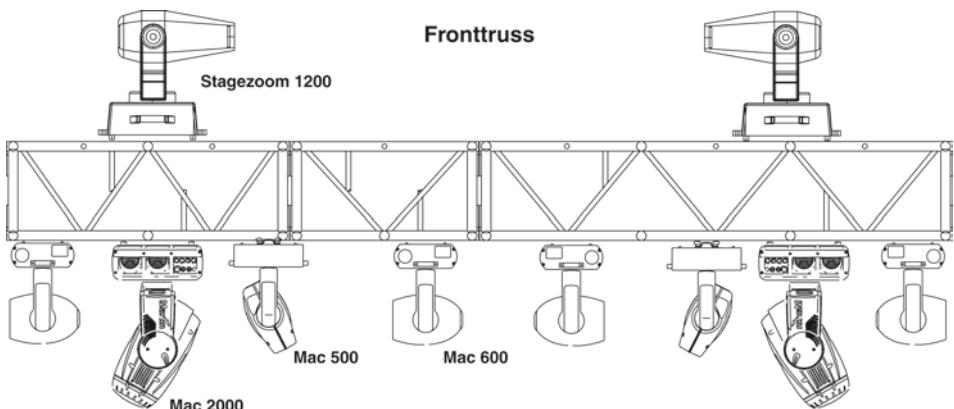


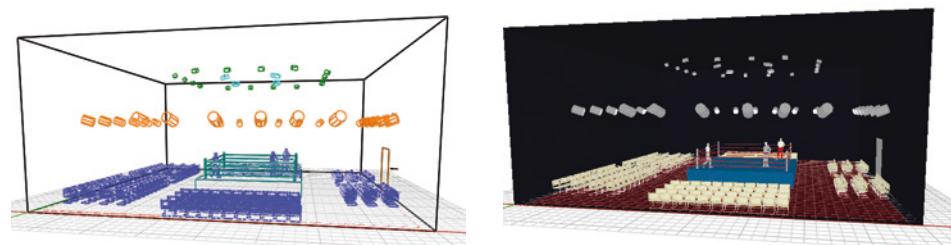
Bild 19.5 Detaillierte Scheinwerfersymbole mit einem CAD-Programm

## ■ 19.3 Begriffe der Computersimulation

Bevor auf die verschiedenen Rechenalgorithmen und Rechenprogramme eingegangen wird, sollen einige Begriffe der Computersimulation erläutert werden.

### 19.3.1 Drahtgittermodell (Wireframe)

Um ein Bühnenstück bzw. eine Bühne darstellen zu können, muss ein 3D-Modell meist als Drahtkörper (Wireframe) erstellt werden. Basis aller 3D-Modelle sind sogenannte Polygone, d. h. Elemente, die aus mindestens 3 Linien bestehen und an ihren Anfangs- und Endpunkten miteinander verbunden sind. Durch diese Verbindung der Linien (Vektoren) entsteht eine ebene Fläche, ein Dreieck. Eine Vielzahl dieser Flächen (Facetten) miteinander verbunden ergeben die Oberflächen eines Drahtmodells. Je mehr Polygone eingesetzt werden, umso runder wirkt das Objekt, aber umso aufwendiger und zeitintensiver werden die Berechnungszeiten.



**Bild 19.6** links: Drahtgittermodell (dargestellt der Boxring des Musicals „Rocky“, nachgebaut in Relux Suite), rechts: mit Oberflächen bedecktes (geshadetes) Modell

Eine andere Methode stellt das Solid Modeling dar, bei der die Objekte aus dreidimensionalen Grundkörpern kreiert werden. Diese sogenannten Primitiven bestehen nicht mehr aus ihren Oberflächen, sondern liegen mathematisch als Volumen vor. Aus diesen Basiselementen können dann beliebig neue Objekte entstehen, bzw. können durch Boolesche Operationen auch Teile ausgeschnitten werden.

### 19.3.2 Materialbeschreibung

Um den Objekten Oberflächeneigenschaften zuweisen zu können, benötigt man einen sogenannten Material-Editor. Hier können verschiedene Oberflächen wie Stein, Holz etc. ausgewählt oder auch ganz neues Material erstellt werden. Zusätzlich können dem Material auch die Komponenten Farbe, Glanz, Durchsichtigkeit zugeordnet werden. Die Technik des Auflegens bzw. „Überziehens“ von Texturen wird als „Mapping“, „Texture Mapping“, „Picture Mapping“ oder „Bump-Mapping“ bezeichnet.

### 19.3.3 Beleuchtung

Ein Objekt wird erst dann sichtbar, wenn es selbst leuchtet oder von einer Lichtquelle angestrahlt wird und das Licht teilweise oder ganz reflektiert wird. Zur korrekten Berechnung müsste normalerweise die Lichtverteilungskurve der eingesetzten Scheinwerfer verwendet werden (im Eulumdat- oder IES-Format). Leider verwenden nicht alle Programme dieses Format bzw. es gibt nicht alle Scheinwerfer in dem Format. Die Probleme sind jedoch vielfältig. Beginnend bei den fehlenden Lichtstärkeverteilungskurven (LVKs) der führenden Scheinwerferhersteller über fehlende Torblenden für Fresnelscheinwerfer sowie Berücksichtigung der vielen Parameter von Moving Lights, bis hin zur Verwendung von einfachen Shading-Algorithmen (Wysig, Showdesigner), die nicht physikalisch korrekt rechnen.

Fehlen die LVKs, dann werden oftmals vereinfachte Lichtquellen verwendet, die wohl „schönes“ Licht darstellen, aber nicht korrekt sind.

- Omni Lights sind punktförmige, in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlende Lichter. Ihre Strahlen verlaufen konisch und haben eine konstante Intensität.
- Spot Lights sind Lichtquellen mit einem gerichteten Strahlenverlauf. Position, Richtung und Abstrahlwinkel sind vom Anwender frei positionierbar.
- Ambient Lights entsprechen einem einmal definierten Umgebungslicht. Es erhellt gleichmäßig sämtliche Objekte unabhängig von ihrer Position im Raum.

### 19.3.4 Rendering

Der abschließende Prozess, um von einem Drahtgitter-Modell eine schattierte Darstellung zu bekommen, ist das sogenannte „**Rendering**“. Rendern bedeutet die Übersetzung der Vektorendarstellung einer Szene in eine Pixeldarstellung. Erst beim Rendering der endgültigen Oberflächenberechnung werden sichtbare Flächen des dreidimensionalen Modells mittels entsprechender Algorithmen umgewandelt. Oftmals kann nach Aufruf des Renders dann der Schattierungsalgorithmus „**Flat-Shading**“, „**Gouraud-Shading**“ oder „**Phong-Shading**“ ausgewählt werden, Details dazu siehe den nachfolgenden Abschnitt.

## ■ 19.4 Rechenalgorithmen

Der Unterschied vieler Simulationsprogramme liegt in der unterschiedlichen Vorgehensweise bei der Lichtberechnung. Rechenprogramme, die spezielle Nachweismethoden verwenden, wie Beleuchtungsstärkewerte, Leuchtdichten, Blendungsbegrenzung, Gleichmäßigkeit etc. verwenden oftmals einen anderen Algorithmus als Visualisierungs-Programme.

Bei den Visualisierungsmethoden unterscheidet man:

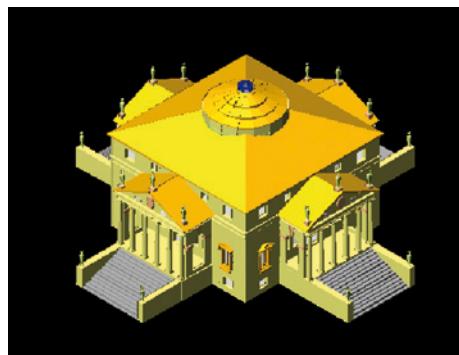
- Shading-Programme (Flat-, Gouraud-, Phong-Shading)
- Radiosity-Programme
- Raytracing-Programme
- Hybrid-Programme (Two Path Methode)

Ganz allgemein kann man Programme, die nur einfachste Schattierungsalgorithmen besitzen, zu dem Bereich der Rendering-Programme zählen, wobei es dann einen fließenden Übergang zu den anderen Programmvarianten wie Radiosity und Raytracing gibt.

Um lichttechnisch korrekte Berechnungen durchführen zu können, müssen bei den Radiosity- und Raytracing-Programmen jedoch die Lichtstärkeverteilungskurven der Scheinwerfer sowie die Lumenwerte der eingesetzten Lichtquellen verwendet werden. Typische Berechnungsalgorithmen sind dabei das Punkt-zu-Punkt- bzw. Raumwinkelprojektionsverfahren.

#### 19.4.1 Flat-Shading

Das einfachste Beleuchtungsmodell ist das Flat-Shading. Bei dieser Darstellung wird jede Facette (Polygon) mit einer einzigen Farbe versehen, die in Abhängigkeit von der Lichtquelle berechnet wird. Dadurch ändert sich der Farbton abrupt beim Übergang von einem Polygon zum nächsten. Gekrümmte Flächen erhalten ein facettiertes Aussehen. Dieser Algorithmus ist für eine fotorealistische Darstellung nicht geeignet, ist aber ein sehr schnelles Verfahren, um erste Lichtberechnungen zu erhalten.



**Bild 19.7** Villa Rotunde mit Flat-Shading-Algorithmus berechnet (AutoCAD)

#### 19.4.2 Gourand-Shading

Für das Gourand-Shading wird eine lineare Interpolation der Farben innerhalb einer Teilfläche vorgenommen. Für die Eckpunkte des umschließenden Polygons wird eine Intensität der Helligkeit bestimmt und die Helligkeit der dazwischenliegenden Pixel linear entlang einer Scan-Line interpoliert. Die Qualität dieses Verfahrens ist wesentlich besser als beim Flat-Shading. Mit Gourand-Shading berechnetes Material wird aber noch keine Spiegelungen und Glanzlichter aufweisen. Dies wird erst mit dem Phong-Shading möglich.

#### 19.4.3 Phong-Shading

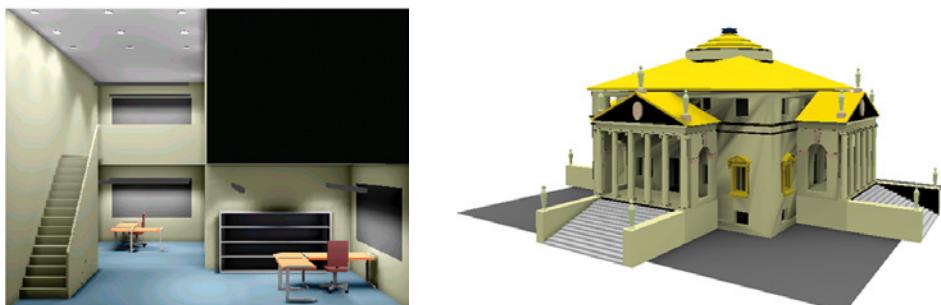
Für das Phong-Shading werden die Normalenvektoren auf den Eckpunkten des umschließenden Polygons berechnet und danach der Normalenvektor des entsprechenden Bildpixels mit einem Scan-Line-orientierten Interpolationsverfahren ermittelt. Für diesen Bildpunkt und Normalenvektor wird explizit die Schattierung, Helligkeit ermittelt.

#### 19.4.4 Radiosity- bzw. Punkt-zu-Punkt-Verfahren

Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten in Innenräumen setzen sich im Prinzip aus der Summe von zwei Komponenten zusammen. Dies ist zum einen die Direktkomponente, zum anderen die Indirektkomponente. Die direkte Beleuchtungsstärke eines Raumpunktes lässt sich exakt berechnen, wenn die Lichtstärkeverteilung (LVK) der Lichtquellen sowie die Geometrie von Lichtquellen und Empfängerort bekannt sind (Photometrisches Entfernungsgesetz).

Zur Berechnung des Indirektanteils kann man unterschiedliche Berechnungsverfahren anwenden, wie z. B. das Punkt-zu-Punkt-Verfahren (Raumwinkelverfahren) oder das Radiosity-Verfahren. Beide Verfahren wenden das Prinzip an, dass der Lichtstromaustausch zwischen zwei Flächen i und j, die sich im Raum gegenüberstehen, berechnet wird. Die Flächen können sich dabei auch schräg im Raum befinden. Mit Hilfe sogenannter Lichtstromübertragungsfaktoren wird die Zustrahlung von dem Sender zu dem Empfänger berechnet (Interflexionen). Nach genügend Interflexionen (üblicherweise vier Interflexionen) können für den Raum dann die auf die Flächen auftreffenden Beleuchtungsstärken bzw. Leuchtdichtewerte der Flächen ausgegeben werden.

Im Gegensatz zum Raytracing-Verfahren, siehe unten, rechnet das Punkt-zu-Punkt-Verfahren bzw. das Radiosity-Verfahren eine Szene komplett durch und erst danach wird ein Blickwinkel zur Visualisierung ausgewählt. Der Vorteil dieser Methode ist jedoch, dass man sich dann im Raum beliebig bewegen kann und nicht jede Blickänderung neu berechnet werden muss.

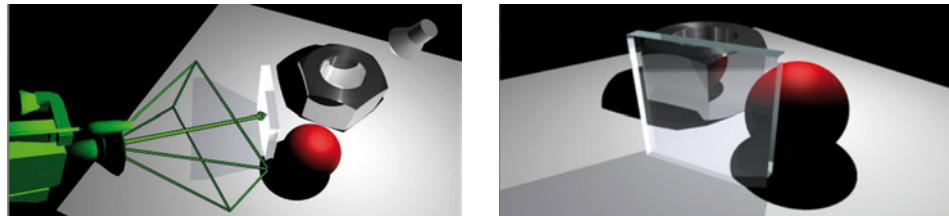


**Bild 19.8** links: Innenraumdarstellung mit diffusen Oberflächen, rechts: Villa Rotunde transportiert von AutoCAD in Relux Suite und mit Tageslichtanteil berechnet (beides Relux Suite)

#### 19.4.5 Raytracing-Verfahren

Ausgehend vom Blickpunkt wird der Strahl verfolgt, bis er einen Gegenstand oder eine Leuchte erreicht hat. Ein vom Blickpunkt ausgehender Strahl wird durch ein Bildelement, (Pixel) durchgeschossen und ermittelt, welches Sehobjekt er als Erstes trifft. Ist die Objektoberfläche reflektierend oder spiegelnd, wird mit Einfallswinkel gleich Ausfallwinkel ein weiterer Strahl abgeschossen; ist das Material teilweise oder ganz lichtdurchlässig, muss zusätzlich auch der gebrochene Strahl weiterverfolgt werden. Je nach Güte des Verfahrens, wird diese Rekursion mehrfach wiederholt, bis der Strahl die Szene verlässt oder auf eine Lichtquelle trifft. Für jeden Auftreffpunkt der Strahlen wird eine Helligkeitsberechnung und

danach für das Bildelement eine Helligkeitssummation durchgeführt. Zusätzlich kann für den Strahl eine Farbanalyse mit durchgeführt werden, dies entspricht einer Mischung der Farbe der Lichtquelle mit der Farbe des Objektes je nach Winkel zwischen Lichtstrahl und der Richtung der Lichtquelle.



**Bild 19.9** links: vom Blickpunkt des Beobachters ausgehender Strahl, rechts: fertig gerendertes Raytracingbild

Trifft ein Strahl keine beleuchtete Fläche oder einen Punkt, würde das Pixel vollständig schwarz dargestellt werden. Um eine solche, unrealistische, Helligkeitssituation in der Szene zu vermeiden, wird ein zusätzliches „**Ambient Light**“, Hintergrundlicht, überlagert. Das Ambient Light entsteht durch die diffuse Reflexion von Licht an allen in der Szene befindlichen Objekten.

Raytracing-Verfahren zeigen relativ schnell erste Berechnungsergebnisse zur Orientierung. Jedoch besteht der Nachteil des Raytracing-Verfahrens zum Radiosity-Verfahrens darin, dass immer nur genau der Blickwinkel „gerendert“ wird, den man ausgewählt hat. Will man den Blickwinkel ändern, muss das Bild komplett neu berechnet werden.

#### 19.4.6 Hybrid-Verfahren (Two-Path-Methode)

Um die Vorteile des Raytracing-Verfahrens sowie der Radiosity-Methode zu vereinen, entstehen gegenwärtig erste Programme, in denen die Two-Path-Methode verwirklicht wird. Der zu berechnende Raum wird zu Beginn mit dem Radiosity-Verfahren berechnet. Für interessante Blickwinkel wird dann ein Raytracer nachgeschaltet. Dies wird zum Beispiel in dem Program Relux Suite mit Radiance umgesetzt.



**Bild 19.10** links: Blick in ein Großraumbüro, berechnet mit dem Radiosityalgorithmus, rechts: Raytracingbild (beide Bilder mit Relux Suite)

## ■ 19.5 Lichtsimulationsprogramme

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es eine größere Anzahl von Lichtsimulationsprogrammen, vor allem im Architekturbereich, die teilweise auch im Theater- und Eventbereich eingesetzt werden.

- Relux
- Dialux
- Cinema 4D
- 3ds Max
- Maya
- Softimage
- Pytha
- Mental Ray
- Maxwell
- VRay
- Vectorworks
- grandMA 3D
- Martin ShowDesigner
- wysiwyg

### 19.5.1 Einteilung der Programme in Anwendungsbereiche

Man kann diese Programme grob in fünf Gruppen bzw. Anwendungsbereiche einteilen.

#### 19.5.1.1 High-End-Programme

High-End-Programme wie Maya oder Softimage sind aufgrund ihrer Komplexität und ihres Umfangs meist im Bereich Film-Postproduktion und Animationsbereich zu finden. Auch Mental Ray und VRay gehören zu diesem Bereich.

#### 19.5.1.2 Middle-Programme

Middle-Programme 3ds Max und Cinema 4D sind Programme, die sehr mächtig sind und im Bereich der Visualisierung und der Lichtsimulation auch von Bühnenbildnern eingesetzt werden. Diese Programme waren vor einigen Jahren preislich noch im High-End-Bereich sind aber deutlich billiger geworden. In diesem Bereich sind natürlich auch AutoCAD, Vectorworks und andere Programme zu finden.

#### 19.5.1.3 Programme aus dem Veranstaltungsbereich

Spezielle Programme wie grandMA 3D, Martin ShowDesigner und wysiwig sind Programme, die speziell für den Veranstaltungsbereich entwickelt worden sind. Es zeigt sich heute die

Notwendigkeit, dass Lichtdesigner und Lichtstelloperator eine Vorabvisualisierung mehr und mehr einsetzen. Die Zeiten für den reinen Aufbau und die Programmierung für große Shows werden immer kürzer (3 bis 4 Tage). Somit sind die Lichtdesigner gezwungen, die Show im Vorfeld per PC zu entwerfen und zu programmieren, um dann die Show vor Ort nur noch anzupassen und Ungereimtheiten zu ändern.

Die Programme stellen dem Programmierer offline alle Tools, Scheinwerfer, Farben, Cues zur Verfügung, um die Show zu programmieren. Selbst Effekte wie Nebel und Einbindung von Videos sind möglich. Im Moment kranken diese Programme nur noch daran, dass die eingesetzten Scheinwerfer keine LVKs verwenden.

#### 19.5.1.4 Lichtberechnungsprogramme

Lichtberechnungsprogramme wie Relux oder Dialux kommen aus dem Bereich der Lichtarchitektur, enthalten Datenbanken von über 100 Leuchtenfirmen mit Hunderten von LVKs, sodass damit komplette Räume, Gebäude, Außenanlagen etc. geplant werden können. Diese Programme basieren auf dem Prinzip des Punkt-zu-Punkt-Verfahrens und verwenden die LVKs der eingesetzten Leuchten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, RAL-Farben sowie Materialien korrekt einzubauen, die Transmissionskurven von Lee- und Rosco-Filtern berücksichtigen, um so auch farbige Beleuchtungen zu rechnen. Das einzige Problem dieser Programme ist, dass sie keine Verbindung zu den typischen Lichtstellpulten des Theaters oder TV-Bereiches besitzen, um Lichteffekte/Cues per Lichtstellpult zu steuern.

Durch den Einsatz von Raytracer wie Radiance bei Relux und POV-Ray bei Dialux können auch Spiegelungen berechnet werden.

#### 19.5.1.5 Game-Engines

Ein noch unbeachteter Bereich für die Lichtsimulation ist der Einsatz von Game-Engines wie Unity 3D oder Unreal3D. Diese Programme sind das Herzstück von Games. Mit ihnen können relativ schnell ganze Szenen/Welten entwickelt, aufgebaut und in Echtzeit simuliert werden.

### 19.5.2 Spezielle Programme für den Einsatz im Showbereich

Nachfolgend etwas ausführlicher zwei Programme, die im Veranstaltungs- bzw. Showbereich eingesetzt werden.

#### 19.5.2.1 wysiwyg

Dieses Programm von der Firma Cast aus Kanada ist ein Programm, das weltweit von Lichtdesignern eingesetzt wird, da es die Möglichkeit besitzt, neben der Visualisierung auch komplexe Traversen und Bühnenelemente einzubauen, PreShows zu programmieren und am Ende auch Material- und Kabellisten auszugeben. Auch hier besteht das Problem, dass das Programm keine LVK-Daten verarbeiten kann.

### 19.5.2.2 grandMA 3D

Die Firma MA Lighting bietet seit einigen Jahren in Ihren Lichtstellpulten das Simulationsprogramm grandMA 3D an. Das Programm beinhaltet neben Rigging, eine sehr große Bibliothek an gängigen Scheinwerfern, sowie die Möglichkeit der Visualisierung und das Einbinden von Videos u.a.



**Bild 19.11** Lichtsimulation einer Show mit dem Programm grandMA 3D

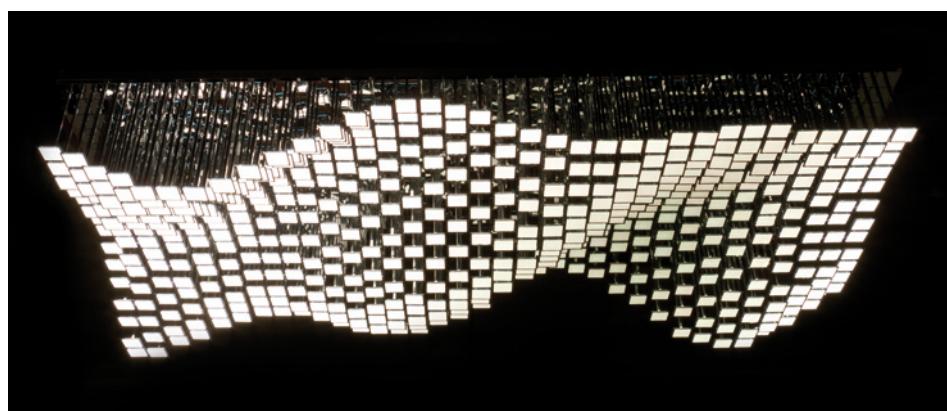
# 20

## Ausblick: Lichttechnik in der Zukunft

Wohin geht die Lichttechnik mit den Videoinhalten, mit der möglichen Netzwerktechnik? Ein schönes Beispiel zeigt die Vision in dem Film „Blade Runner“ aus dem Jahr 1982, in dem im Freien, sozusagen schwerelos, Videoinhalte im Raum schweben, die den Menschen die wichtigsten Informationen per Medienwand mitteilen. Utopie oder bald Realität?

Die Entwicklung der LEDs wird, wie in Kapitel 8 „Lichtquellen“ ausgeführt, noch weitergehen, mit deutlich höheren Lichtausbeuten und besserer Farbwiedergabe. In Zukunft werden jedoch die OLED eine rasante Entwicklung erleben und ein deutliches Gewicht in der Lichtinszenierung erhalten. Vor allem durch die sehr flachen, in Zukunft auch biegsamen und hochauflösenden Scheiben. Damit kann man sich der Vision von „Blade Runner“ annähern.

Mit den OLEDs besteht damit die Möglichkeit einer völlig neuen Bildsprache, da die Inhalte dann auf gebogene Flächen aufgebracht werden können, die auch andere Bühnenelemente ermöglichen, und was eventuell bisher nur farbig leuchtete wird jetzt auch mit Text- und Videoinhalt bespielbar.

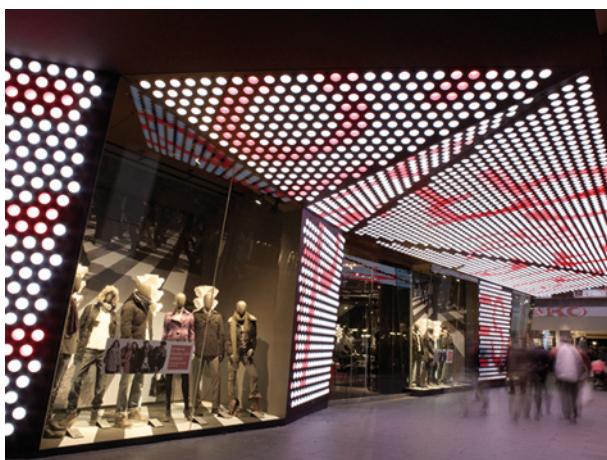


**Bild 20.1** 3D-Lichtskulptur mit OLED-Elementen (Philips)

## ■ 20.1 Zusammenwachsen von Eventwelt und Lichtarchitektur

Spektakuläre Gebäude wie das Yas Hotel in Dubai, das mit seiner glänzenden Metallstruktur wie ein Fischernetz aussieht, bestückt mit 5300 LEDs, die farbig und über die Lichtsteuerung der Firma ecue/Traxon einzeln steuerbar sind, zeigen das Zusammenwachsen der Eventwelt mit der Lichtarchitektur. Diese Fassade war im Jahr 2010 die größte Medienfassade der Welt. Anlässlich des jährlich stattfindenden Formel-1-Rennens in Dubai, wobei ein Teil der Rennstrecke unter bzw. durch das Gebäude geführt wird, wird entsprechend die Farbe des gesamten Gebäudes verändert. Aber auch Texte, wenn auch grobpixelig, können an der Fassade „entlanglaufen“.

Bild 20.2 zeigt die Außenfassade des Esprit-Flagshops in Frankfurt, wo auf der Fassade Informationen dargestellt und auch ständig verändert werden können, eine völlig neue Möglichkeit im Kampf um die Aufmerksamkeit der Kunden im Shopbereich.



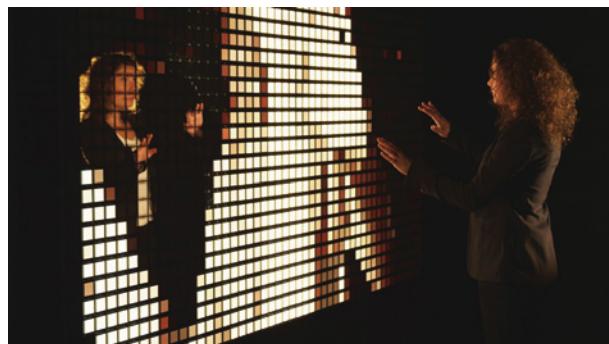
**Bild 20.2** Außenfassade des Esprit-Flagshop Frankfurt

## ■ 20.2 Zusammenwachsen von Licht, Video und Netzwerktechnik

Neben der Annäherung der Eventwelt mit der Lichtarchitektur werden die Bereiche Licht, Video (Videocontent) und Netzwerktechnik in Zukunft noch enger zusammenwachsen. Die Netzwerktechnik ist heute schon Bestandteil der großen Shows und wird noch deutlich umfangreicher werden. Heutzutage wäre es möglich jedem Gerät/System eine IP-Adresse zuzuweisen, so dass die im Moment noch unterschiedlichen Protokolle und Steuersysteme schneller und effektiver miteinander kommunizieren könnten.

## Interaktivität

Ein weiterer Aspekt der Beeinflussung von Bildern und Videoinhalten in Echtzeit sind die Möglichkeiten, die durch Systeme wie die Kinect der Firma Microsoft ermöglicht wurden. Entwicklungen in Richtung Gestiksteuerung sind auf dem Vormarsch und werden in den nächsten Jahren ein breiteres Spektrum bei der Veränderung von Helligkeiten, Inhalten und Farben von Medienwänden darstellen. Mit der Kinect ist schon relativ viel möglich, jedoch zeigen neuere Entwicklungen, dass hier noch viel Entwicklungspotenzial für neue Idee und Erfindungen möglich ist, wie z. B. der Einsatz von AirScan der Firma Coolux zusammen mit dem Medienserver Pandoras Box.



**Bild 20.3** Interactive Wall mit OLEDs (Lumiblade)

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

# Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Roland Greule lehrt am Department Medientechnik der HAW Hamburg die Fächer Licht- und Beleuchtungstechnik, Lichtdesign, Farbmehrheit und Virtuelle Systeme. Parallel forscht er zur Lichtwahrnehmung, der emotionalen Wirkung von Licht und Farbe und der photorealistischen Lichtsimulation von Innenräumen.

Dipl.-Ing. (FH) Alexandra Ehrlitzer hat Medientechnik an der HAW Hamburg studiert. Sie ist freie Lichtplanerin und Lichtdesignerin und arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin an einem Forschungsprojekt über farbige Beleuchtung an der HAW.

Dipl.-Ing. (FH) Martin Rupprecht hat Medientechnik an der HAW Hamburg studiert. Er ist freier Lichtdesigner, Spezialist für Digital Lighting und unterrichtet als Lehrbeauftragter im Department Medientechnik das Fach Lichtdesign und Medienservert.

Dr. habil. Roland Heinz hat mehrere Jahre bei der Philips Deutschland gearbeitet und leitete dort die Philips Lighting Academy. Er ist seit 2001 Gastprofessor an der Technischen Universität Graz.

B.Sc. Fabian Oving war während seines Studiums lange Jahre als Tutor im Lichtlabor tätig. Neben seiner Arbeit als Freiberufler im Bereich Veranstaltungstechnik und Lichtprogrammierung arbeitet er auch als Gastdozent an verschiedenen Departements der HAW.

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

# Anhang A

## ■ Lösungen der Übungsaufgaben und Verständnisfragen

### Kapitel 3 „Lichttechnische Grundgrößen“

#### Aufgabe 1:

1. *Lösung 1:*  $E_0 = I/r^2 = 900 \text{ cd} / 100 \text{ m}^2 = 9 \text{ lx}$
2. *Lösung 2:*  $E_{60} = E_0 * \cos 60^\circ = 9 \text{ lx} * 0,5 = 4,5 \text{ lx}$
3. *Lösung 3:*  $r = \sqrt{I/E_0} * \cos 60^\circ = 7,07 \text{ m}$

#### Aufgabe 2:

*Lösung:*  $\Phi = 0,8 * 1200 \text{ lm} = 960 \text{ lm}$ . Dieser Lichtstrom verteilt sich gleichmäßig im gesamten Raumwinkel  $4\pi \text{ sr}$ . Die Lichtstärke beträgt demnach:  $I = \Phi / 4\pi \text{ sr} = 960 \text{ lm} / 12,56 \text{ sr} = 76,43 \text{ cd}$ .

### Kapitel 4 „Kontrast und Helligkeit“

#### Aufgabe 1:

*Lösung:*  $103 \text{ cd/m}^2$

#### Aufgabe 2:

*Lösung:* Bei diesen Kontrastangaben handelt es sich um sogenannte dynamische Kontraste. D.h. die Helligkeit der Hintergrundbeleuchtung wird verändert bzw. beliebig reduziert. Der dynamische Kontrast wird bei Bewegtbildern verwendet und hat keinen Bezug zu der Definition des statischen Kontrasts.

## Kapitel 6 „Farbmetrische Grundlagen“

### Aufgabe 1:

*Lösung:* Es ist eine Konvertierungsfolie mit rund + 134 Mired notwendig: Miredwert (Folie) =  $(1.000.000/3200 - 1.000.000/5600) = (312,5 - 178,57) = +133,93$  Mrd.

### Aufgabe 2:

*Lösung:*  $\Delta E = 6,91$ . Der Farbunterschied ist deutlich sichtbar.

## Kapitel 7 „Licht- und Farbmesstechnik“

### Aufgabe 1:

*Lösung:* Die Farbe Magenta

### Aufgabe 2:

*Lösung:* Die Farbe Cyan (LEE 115)

## Kapitel 14 „Theater-Licht“

1. *Lösung:* eine Möglichkeit, elektrische Geräte einzustecken, eine Art Steckdose.

2. *Lösung:* auf der Seite im Zuschauerraum

3. *Lösung:* eine Gewebeart zur Verhüllung/Verschleierung

# Anhang B

## ■ Webadressen (Verbände)

[www.fktg.de](http://www.fktg.de)

[www.litg.de](http://www.litg.de)

[www.dthg.de](http://www.dthg.de)

[www.vplt.org](http://www.vplt.org)

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

## ■ Literaturverzeichnis

- Ackermann, Norbert*; Lichttechnik: Systeme der Bühnen- und Studiobeleuchtung rationell planen und projektierten, Oldenburg Wissenschafts-Verlag, 2. Auflage, 2006
- Baer, Roland*; Beleuchtungstechnik Grundlagen, Verlag Technik Berlin, 2. Auflage, 2006
- Birn, Jeremy*; Lighting and Rendering, Addison-Wesley Verlag, 1. Auflage, 2007
- Brandi, Ulrike*, *Geissmar-Brandi, Christoph*; Lichtbuch. Die Praxis der Lichtplanung; Birkhäuser-Verlag, 1. Auflage, 2001
- Cadena, Richard*; Automated Lighting: The Art and Science of Moving Light in Theatre, Live Performance, and Entertainment, Focal Press, 2. Auflage, 2010
- Carsten, Grigo*; CAD gestützte Beleuchtungsplanung, Untersuchung der Planungs- und Visualisierungsssoftware WYSIWYG auf ihre Eignung am Theater, Diplomarbeit, Technische Fachhochschule Berlin, Theater- und Veranstaltungstechnik, 2005
- DIN 15560*; Scheinwerfer für Film, Fernsehen, Bühne und Photographie, Teil 6: Graphische Symbole für Studioleuchten, Studioscheinwerfer, Bühnenleuchten und Bühnenscheinwerfer auf Beleuchtungsplänen und Beleuchtungsschablonen, Beuth Verlag, 2003
- DIN 5032-7*; Lichtmessung; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichte-meßgeräten, Beuth Verlag, 1985
- DIN EN 62471*; Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen, Beuth Verlag, 2009
- Dunker, Achim*; Die chinesische Sonne scheint immer von unten, UVK Verlagsgesellschaft; 6. Auflage, 2014
- Ebner, Michael*; Lichttechnik für Bühne und Disco, Elektor-Verlag, 2. Auflage, 2011
- EBU-Tech 3320*; User requirements for Video Monitors in Television Production, October 2010
- EBU-Tech 3325*; Methods for the Measurement of the performance of Studio Monitors, September 2008
- EU-Richtlinie 2006/25/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung), 5. April 2006
- Foley, James D.*; Grundlagen der Computergrafik, Addison Wesley Verlag, 1. Auflage, 1999
- Gall, Dietrich*; Circadiane Lichtgrößen und deren messtechnische Ermittlung, Licht 54 (2002) 11/12, 2002, S. 1292–1297
- Gans, Thomas*; Filmlicht, Shaker Verlag, 1. Auflage, Aachen, 1999
- Hassenstein, Lutz*; Untersuchung der relevanten Parameter von Lichtszenen anhand von Filmbeispielen und Fernsehsendungen zur wissenschaftlichen Beschreibung des Begriffes „Lichtmodelling“, Diplomarbeit, HAW-Hamburg, Fachbereich Medientechnik, 1999
- Hof, Gert*; Obsessions, Eichborn Verlag, 1. Auflage, 2003
- IEC/EN 62471*; die Photobiologische Sicherheitsnorm für Lampen und Lampensysteme,
- Kramer, Heinrich*, *von Lom, Walter*; Licht - Bauen mit Licht, Verlagsgesellschaft Müller, 1. Auflage, 2001
- Keller, Max*; Faszination Licht, Licht auf der Bühne, Prestel Verlag, 4. Auflage, 2010
- Lang, Dieter*; Der richtige Einsatz von blauen Spektralanteilen in der Beleuchtung; NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG IN ARBEIT UND UMWELT, 43. Jahrestagung, Tagungsband S.489–499, Dortmund, 2011
- Larmann, Ralf*; Stage Design, Daab; 1. Auflage, 2007
- Larmann, Ralf*; Stage Design Emotions, PPVMedien, 1. Auflage, 2010
- Lehmann, Marie-Luise*; Lichtdesign, Handbuch der Bühnenbeleuchtung in Deutschland und den USA, Dietrich Reimer Verlag, 1. Auflage, 2002

- Maelicke, Alfred;* Vom Reiz der Sinne, VCH, 1990
- Matthaei, Rupprecht;* Goethes Farbenlehre, Otto Maier Buchverlag, 1. Auflage, 1987
- McCandless, Stanley;* A Method of Lighting the Stage, Stanley, Theatre Arts, 3. Auflage, 1947
- McCandless, Stanley;* A Syllabus of Stage Lighting, Stanley, 11 Ed., 1964
- Mehnert, Hilmar;* Filmfotografie Fernsehfilmfotografie, VEB Fachbuchverlag, 1971
- Mehnert, Hilmar;* Das Bild in Film und Fernsehen, VEB Fotokinoverlag, 1986
- Millerson, Gerald;* Handbuch der Beleuchtungstechnik für Film- und Fernsehproduktionen, Fachbuchverlag Andreas A. Reil, Übersetzung der 3. Auflage, 2001
- Möllering, D., Slansky P.C.;* Handbuch der professionellen Videoaufnahme, edition filmwerkstatt, 2. Auflage, 1993
- Monaco, James;* Film verstehen, rororo., 3. Auflage, 2009
- Mücher, Michael;* Fachwörterbuch der Fernsehstudio- und Videotechnik, BET, 17. Auflage, 2014
- Müller, Jens;* Handbuch der Lichttechnik: Das Kompendium für den Praktiker, PPV-Medien, 4. Auflage, 2008
- OStrV;* Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 38, Bonn, 26. Juli 2010
- Pilbrow, Richard;* Stage Lighting Design: The Art, the Craft, the Life, Nick Hern Books, 2008
- Ris, Hans Rudolf;* Beleuchtungstechnik für den Praktiker, Grundlagen - Lampen - Leuchten - Planung - Messung, vde Verlag, 4. Auflage, 2008
- Schiller, Brad;* The Automated Lighting Programmer's Handbook, Focal Press, 2. Auflage, 2010
- Schmidt, Robert F., Lang, Florian, Heckmann, Manfred;* Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 31. Auflage, 2011
- Schmidt, Ulrich;* Digitale Film- und Videotechnik, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 3. Auflage, 2010
- Schmidt, Ulrich;* Professionelle Videotechnik, Springer Vieweg, 6. Auflage, 2013

## Fachzeitschriften

- AIT,* Architektur, Innenarchitektur, Technischer Ausbau, Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH (VAK), Leinfelden-Echterdingen
- Bühnentechnische Rundschau,* Friedrich Verlag GmbH, Seelze
- EventPartner,* MM-Musik-Media-Verlag, Köln
- Event Rookie,* Leikro Media GmbH, Gröbenzell
- FKT,* Fachverlag Schiele & Schön GmbH, Berlin
- Highlight,* Highlight Verlagsgesellschaft, Rüthen
- Film & TV Kameramann,* I. Weber Verlag München
- Licht,* Pflaum Verlag, München
- PMA,* PPVMedien, München
- Production Partner,* MM-Musik-Media-Verlag, Köln
- Professional Lighting Design,* VIA Verlag, Gütersloh
- Professional Production,* EuBuCo Verlag GmbH, Hochheim
- Professional System,* MM-Musik-Media-Verlag, Köln
- Stage Report,* AktivMedia GmbH, Uetze-Dedenhausen
- VPLT-Magazin,* Verband für Professionelle Licht- und Tontechnik e.V., Langenhagen

## ■ Bildnachweis

### Kapitel 2 Licht und Strahlung

- 2.1 Horst Frank, wikipedia.de
- 2.2 Grafik Thomas Lemke
- 2.3l Screenshot Autor
- 2.3r Screenshot Autor
- 2.4l Screenshot Autor
- 2.4r Screenshot Autor
- 2.5 Montage Matthias Wilkens
- 2.6l Grafik Matthias Wilkens
- 2.6r Grafik Matthias Wilkens
- 2.7 Grafik Thomas Lemke
- 2.8 Foto Autor, Lichtlabor HAW-Hamburg

### Kapitel 3 Lichttechnische Grundgrößen

- 3.1l Grafik Autor
- 3.1r Grafik Autor
- 3.2 Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL)
- 3.3 Grafik Thomas Lemke
- 3.4 Grafik Thomas Lemke
- 3.5 Grafik Thomas Lemke
- 3.6l Screenshot Autor, Relux Suite
- 3.6b Screenshot Autor, Relux Suite
- 3.6c Screenshot Autor, Relux Suite
- 3.7l Screenshot Autor, Relux Suite
- 3.7r Screenshot Autor, Relux Suite
- 3.8l Screenshot Autor, Relux Suite
- 3.8r Screenshot Autor, Relux Suite
- 3.9 Grafik Thomas Lemke
- 3.10 Grafik Thomas Lemke
- 3.11 Grafik Thomas Lemke
- 3.12l Grafik Thomas Lemke
- 3.12r Grafik Thomas Lemke
- 3.13l Grafik Thomas Lemke
- 3.13r Grafik Thomas Lemke
- 3.14 Grafik Thomas Lemke
- 3.15 Grafik Thomas Lemke
- 3.16 Screenshot Autor, Datenblatt MAC Viper Profile, Firma Martin Professional

### Kapitel 4 Kontrast und Helligkeit

- 4.1 Grafik Thomas Lemke
- 4.2 Montage Matthias Wilkens
- 4.3 Montage Matthias Wilkens
- 4.4 Montage Matthias Wilkens
- 4.5 Montage Matthias Wilkens
- 4.6 Montage Autor nach Vorlage Thomas Lemke und Matthias Wilkens
- 4.7 Grafik Thomas Lemke
- 4.8l Foto Autor
- 4.8m Foto Autor
- 4.8r Foto Autor
- 4.9 Grafik Thomas Lemke nach Vorlage Prof. Kokoschka

### Kapitel 5 Auge und Wahrnehmung

- 5.1 Grafik Autor
- 5.2 Grafik Autor
- 5.3 Grafik Autor
- 5.4 Grafik Thomas Lemke
- 5.5 Grafik Thomas Lemke
- 5.6a Maelicke Alfreda; Vom Reiz der Sinne, VCH-Verlag, 1990
- 5.6b Firma SMI-SensoMotoric Instruments
- 5.7 Grafik Marc Briede, nach Vorlag Dissertation Roland Greule
- 5.8 Grafik Thomas Lemke
- 5.9 Foto und Montage Autor
- 5.10 Screenshot Autor, Datenblatt ETC Source Four LED Daylight, Firma ETC

### Kapitel 6 Farbmétrische Grundlagen

- 6.1 Montage Autor
- 6.2 Montage Autor, modifiziert nach Mattheai Rupprecht, Goethes Farbenlehre, Otto Maier Buchverlag
- 6.3 Firma Konica Minolta, Heft Exakte Farbkommunikation
- 6.4 Grafik Thomas Lemke
- 6.5 Firma Konica Minolta, Heft Exakte Farbkommunikation
- 6.6l Firma Konica Minolta
- 6.6r Firma Konica Minolta
- 6.7l Firma Konica Minolta

6.7r	Adoniscik, wikipedia, Stichwort CIELUV-Farbraum	8.2	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
6.8l	Firma Konica Minolta	8.3	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
6.8r	Firma Konica Minolta, Heft Exakte Farbkommunikation	8.4	Herbert Bernstädter
6.9	Lange, Bruno; LUCI 100 Spektrale Farbmessung, Dr. Bruno Lange GmbH, Berlin	8.5	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
6.10l	Quark 67, wikipedia, Stichwort Additive Farbmischung,	8.6	Foto Autor
6.10r	Quark 67, wikipedia, Stichwort Subtraktive Farbmischung	8.7	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
6.11	Chris 828, wikipedia, Stichwort Farbwiedergabeindex	8.8	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
6.12	Foto Autor	8.9	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
6.13	Herbert Bernstädter	8.10l	Foto Autor
<b>Kapitel 7 Licht- und Farbmesstechnik</b>		8.10r	Foto Autor
7.1	Grafik Autor	8.11	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011, Seite 81
7.2l	Foto Autor	8.12	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
7.2r	Firma Konica Minolta	8.13	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
7.3	Firma Konica Minolta	8.14	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
7.4l	Firma TechnoTeam	8.15	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
7.4r	Alexandra Ehrlitzer	8.16l	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011, Seite 123
7.5	Foto Autor	8.16r	Roland Heinz, Buch Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight Verlagsgesellschaft, 4. Auflage, 2011
7.6	Foto Autor		
7.7	Foto Autor		
7.8	Foto Autor		
7.9l	Montage Thomas Lemke		
7.9r	Foto Autor		
7.10	Firma Konica Minolta		
7.11	Firma TechnoTeam		
7.12	Firma Konica Minolta		
7.13l	Firma Konica Minolta		
7.13r	Firma Konica Minolta		
7.14	Firma Konica Minolta		
7.15l	Montage Thomas Lemke		
7.15r	Montage Thomas Lemke		
7.16	Screenshot Autor		
<b>Kapitel 8 Lichtquellen und Lampen</b>			
8.1	Grafik Thomas Lemke nach Hans R. Ris, Buch Beleuchtungstechnik für Praktiker, AT Verlag, 1992		

**Kapitel 9 Scheinwerfer**

- 9.1l Fabian Oving  
 9.1r Firma Despar  
 9.2l Firma ARRI  
 9.2r Firma Despar  
 9.3l Firma ETC  
 9.3r Firma Despar  
 9.4 Fabian Oving  
 9.5l Fabian Oving  
 9.5m Foto Autor  
 9.5r Fabian Oving  
 9.6 Fabian Oving  
 9.7l Foto Henning Rades, Studio Hamburg Projekt MINDimensions  
 9.7r Foto Henning Rades, Studio Hamburg Projekt MINDimensions  
 9.8 Foto Autor  
 9.9 Fabian Oving  
 9.10 Fabian Oving  
 9.11l Firma Martin Professional  
 9.11r Firma Martin Professional  
 9.12 Firma Martin Professional  
 9.13 Firma Martin Professional  
 9.14l Firma JB Lighting  
 9.14r Firma JB Lighting  
 9.15 Firma Dedo Weigert  
 9.16 Foto Autor  
 9.17l Foto Autor  
 9.17r Foto Autor

**Kapitel 10 Lichtsteuerung**

- 10.1 Firma Soundlight  
 10.2 Firma Soundlight  
 10.3 Firma Despar  
 10.4 Foto Autor  
 10.5l Foto Autor  
 10.5r Firma MA Lighting  
 10.6 Foto Autor  
 10.7l Foto Autor  
 10.7r Foto Autor  
 10.8l Foto Autor  
 10.8r Foto Autor  
 10.9l Martin Rupprecht  
 10.9r Martin Rupprecht

**Kapitel 11 Digital Lighting**

- 11.1 Martin Rupprecht, Freigabe von der Firma Brainpool  
 11.2l Firma Martin Professional  
 11.2m Firma Barco  
 11.2.r Firma MA Lighting  
 11.3l Firma Barco  
 11.3m Firma Christie  
 11.3r Firma Christie  
 11.4l Firma Loopligh  
 11.4r Firma Loopligh  
 11.5l Firma Coolux  
 11.5r Firma Arkaos  
 11.6l Firma MA Lighting  
 11.6r Firma Highend Systems  
 11.7l MartinRupprecht  
 11.7r MartinRupprecht  
 11.8 Firma Highend Systems  
 11.9l Firma Loopligh  
 11.9m Firma Loopligh  
 11.9r Firma Loopligh  
 11.10l Martin Rupprecht  
 11.10r Martin Rupprecht  
 11.11l Martin Rupprecht  
 11.11r Martin Rupprecht  
 11.12 Martin Rupprecht

**Kapitel 12 Lichtführung**

- 12.1l Firma Dedo Weigert  
 12.1r Firma Dedo Weigert  
 12.2 Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL)  
 12.3l Foto Autor  
 12.3r Foto Autor  
 12.4l Grafik Autor  
 12.4r Grafik Autor  
 12.5 Firma Dedo Weigert  
 12.6 Firma Dedo Weigert

**Kapitel 13 Lichtgestaltung und Lichtdesign**

- 13.1 Firma Lightpower  
 13.2l Firma Niethammer Lichttechnik GmbH  
 13.2r Firma Niethammer Lichttechnik GmbH

13.3l	Firma Despar	16.2	Montage Thomas Lemke
13.3r	Firma Despar	16.3	Firma ARRI
13.4l	Firma Despar	16.4	Grafik Thomas Lemke
13.4r	Firma Despar	16.5l	Matthias Wilkens
13.5l	Firma Despar	16.5r	Matthias Wilkens
13.5r	Firma Despar	16.6l	Foto Autor
13.6l	Firma Despar	16.6r	Foto Autor
13.6r	Firma Despar	16.7l	Foto Autor
13.7l	Firma Despar	16.7r	Foto Autor
13.7r	Firma Despar	16.8l	Grafik Thomas Lemke
13.8	Grafik Thomas Lemke	16.8r	Foto Autor
13.9	Grafik Thomas Lemke	16.9l	Lutz Hassenstein
13.10	Christian Fusenig	16.9r	Lutz Hassenstein
13.11l	Foto Autor		
13.11r	Foto Autor		

**Kapitel 14 Theater-Licht**

14.1	Firma Arkaos	17.1	Firma Arkaos
14.2	Firma Niethammer Lichttechnik GmbH	17.2l	Firma Amptown
14.3	Firma Niethammer Lichttechnik GmbH	17.2r	Firma Amptown
14.4l	Michael Kersten, Theater Wolfsburg	17.3l	Grafik Fabian Oving
14.4r	Michael Kersten, Theater Wolfsburg	17.3r	Grafik Fabian Oving
14.5l	Dominik Mentzos	17.4	Grafik Fabian Oving
14.5r	Dominik Mentzos	17.5l	Grafik Fabian Oving
		17.5r	Grafik Fabian Oving
		17.6	Grafik Fabian Oving
		17.7	Grafik Fabian Oving

**Kapitel 15 Fernseh-Licht**

15.1l	Norbert König	18.1	Sebastian Jakob
15.1r	Norbert König	18.2	Martin Rupprecht, Freigabe Firma Brainpool
15.2	Firma Despar	18.3	Martin Rupprecht, Freigabe Firma Brainpool
15.3	Sofia Layer	18.4l	Visualisierung Daniel Müller
15.4	Markus Beug-Rapp	18.4r	Visualisierung Daniel Müller
15.5	NDR	18.5l	Visualisierung Daniel Müller
15.6	Firma MCI	18.5r	Visualisierung Daniel Müller
15.7	Firma Sony	18.5l	Foto Autor
15.8l	Matthias Wilkens	18.6r	Foto Autor
15.8r	Matthias Wilkens	18.7	Tom Doms
15.9	Foto Auto		
15.10l	Foto Autor		
15.10r	Foto Autor		
15.11	Sofia Layer		
15.12	Sofia Layer		

**Kapitel 16 Film-Licht**

16.1	Grafik Thomas Lemke	19.1l	Carsten Grigo
		19.1r	Carsten Grigo
		19.2l	Screenshot Autor, Visualisierung Modenschau „Vergnügliches Leben“

**Kapitel 17 Konzert-Licht**

17.1	Firma Arkaos
17.2l	Firma Amptown
17.2r	Firma Amptown
17.3l	Grafik Fabian Oving
17.3r	Grafik Fabian Oving
17.4	Grafik Fabian Oving
17.5l	Grafik Fabian Oving
17.5r	Grafik Fabian Oving
17.6	Grafik Fabian Oving
17.7	Grafik Fabian Oving

**Kapitel 18 Show- und Event-Licht**

18.1	Sebastian Jakob
18.2	Martin Rupprecht, Freigabe Firma Brainpool
18.3	Martin Rupprecht, Freigabe Firma Brainpool
18.4l	Visualisierung Daniel Müller
18.4r	Visualisierung Daniel Müller
18.5l	Visualisierung Daniel Müller
18.5r	Visualisierung Daniel Müller
18.5l	Foto Autor
18.6r	Foto Autor
18.7	Tom Doms

**Kapitel 19 Lichtpläne und  
Lichtsimulation**

19.1l	Carsten Grigo
19.1r	Carsten Grigo
19.2l	Screenshot Autor, Visualisierung Modenschau „Vergnügliches Leben“

- |       |  |        |  |
|-------|--|--------|--|
| 19.2r | Screenshot Autor, Visualisierung<br>Modenschau „Vergnügliches Leben“ | 19.9l  | Raphael Javor  |
| 19.3  | Grafik Alexandra Ehrlitzer   | 19.9r  | Raphael Javor  |
| 19.4l | Herbert Bernstädt  | 19.10r | Screenshot Autor mit Relux Suite,<br>CAD-Modell Relux AG |
| 19.4r | Foto Autor   | 19.10l | Screenshot Autor mit Relux Suite,<br>CAD-Modell Relux AG |
| 19.5  | Grafik Thorsten Maier  | 19.11  | Visualisierung Daniel Müller                             |
| 19.6l | Screenshot Autor Relux Suite   |        |  |
| 19.6r | Screenshot Autor Relux Suite   |        |  |
| 19.7  | Screenshot Autor AutoCAD   |        |  |
| 19.8l | Markus Hegi, Relux AG  |        |  |
| 19.8r | Screenshot Autor mit Relux Suite,<br>CAD-Modell Relux AG             |        |  |
- 20. Lichttechnik in der Zukunft**
- |      |                         |
|------|-------------------------|
| 20.1 | Firma Lumiblade         |
| 20.2 | Frank Alexander Rümmele |
| 20.3 | Firma Lumiblade Symbole |

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

# Index

## Symbole

- 2° Gesichtsfeldgröße 77
- 2°-Normalbeobachter 77
- 3-in-1-LEDs 169
- 360°-Projektion 173

## A

- Abmusterungskasten 84
- Absorptionsgrad 47
- ACL 123
- ACLs (Aircraft Landing) 253
- ACN 142
- ACN-Protokoll 142
- Adaptation 67
- Adaptationsleuchtdichte 50, 57
- additive Farbmischung 73, 83
- Adolphe Appia 191
- ähnlichste Farbtemperatur  $T_n$  29
- Akkommodation 60, 66
- Akkommodationsbreite 60
- aktinische Messverfahren 91
- Ambient Light 275
- Amplitudendimmer 166
- ANSI\ul{American Nation Standards Institut} 173
- ANSI-Lumen 171
- Arbeitsblende 230
- ArtNet 136, 183
- ArtNet-Protokoll 141, 142
- ASA 241
- Attributwerte 148
- aufgehellter Low-Key 202, 203

- Aufhelllicht 55, 198
- Aufhellung 199
- Auflösung 169
- Augenlicht 199

## B

- Bedienstange 126
- Beleuchter 224
- Beleuchtungsmesser 244
- Beleuchtungsstärke 39, 40
- Beleuchtungsstärkemesser 40, 91
- Belichtung 42, 96, 239
- Belichtungsmesser 97, 244
- Best Boy 193
- Bildingenieur 224
- blaues Licht 69
- Blaulichtgefährdung (Blue Hazard) 69
- Blende 239
- Blendenschieber 121, 126
- Blendenstufe 53, 54
- Blendenumfang 54
- Blinder 123, 253, 261
- Blitztaste 148
- B-Mover 131
- Booster/Splitter 139
- Bouncing 247
- BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) 46
- Bühnendesign 264
- Bühnenstile 216
- Bump-Mapping 271
- Buntheit 72
- Bunton 72
- Butterfly 245, 247

**C**

Candela 36  
 Chimera 133  
 Chroma-Key-Hintergrund 219, 220  
 Chromatische Adaptation 68  
 CIE 32, 58, 72, 76  
 CIE-Farbdigramm 79  
 CIE- L\*a\*b\* 81  
 CIE-L\*u\*v\* 80  
 CIE-LUV-System 80, 81  
 CIE-UCS 79  
 CIE-XYZ-Farbraum 77  
 circadiane Wirkung 33  
 circadianer Wirkungsfaktor 34, 35  
 Color Gamut 79  
 Computersimulation 268  
 Content 175, 176  
 Cosinusgetreue Bewertung 92  
 Cosinus-Korrektur 92  
 cosinustreu 40  
 Cosinuswinkel 40  
 CP 60 124  
 CP 61 124  
 CP 62 124  
 Creative LED 170  
 CRI (color rendering index) 84  
 CTB 88  
 CTO 88, 130  
 CueList 181  
 Cues 181, 192

**D**

D65 81, 84  
 Dedo-Light 132, 245  
 Dichroitische Farbfilter 87  
 Dichtewert 240  
 Diffuses Licht 185  
 diffuse Transmission 46  
 Diffusionsfilter 126  
 Digital Lighting 168, 170  
 Dimmerrack 165  
 DIN 98  
 Dino Lights 245  
 DIN-System 80  
 Diskrimination 50

DMX 183  
 DMX-512 136, 137  
 DMX-512A 140  
 DMX-2000 140  
 DMX-Adressen 182  
 DMX (Digital Multiplex) 135  
 DMX-Merger 140  
 Dogma95 202, 248  
 DoP (Director of Photography) 193, 223, 244  
 Dramaturgie 264  
 Dreibereichsverfahren 97, 99  
 Dreifarbentheorie 62, 63  
 Dreipunkt-Ausleuchtung 200, 231  
 dritter Rezeptor 32, 34  
 DVI 183

**E**

Edward Gordon Graig 191  
 Effektsteuerung 165  
 Einleuchten 233  
 Einpunkt-Ausleuchtung 199  
 Eiserner Vorhang 209  
 Elektronenleitung 114  
 Ellipsenspiegel-Linsenscheinwerfer 121  
 ETCNet 143  
 ETC-Source Four 122  
 Ethernet 141  
 Ethernet-Netzwerk 141  
 EVG 111  
 Eye-Tracking-Systeme 65

**F**

f1-Fehler 91  
 Fahnen 247  
 Falschfarbenbild 93  
 Farbabstand 82  
 Farbabstandsformel 82  
 Farbabstandsschwellen 80  
 Farbdifferenzschwelle 83  
 Farbempfindung 71  
 Farbfilter 85, 86  
 Farbfolien 86  
 Farbkonstanz 68  
 Farbkreis 74

Farbmetrik 21, 74  
 Farbmischung 73  
 Farbordnung 76  
 Farbordnungssysteme 75  
 Farbort 29  
 Farbrad 129  
 Farbraum 75  
 Farbreiz 71, 72  
 Farbreizfunktion 71, 72, 78, 101  
 Farbsystem 75  
 Farbtafel 79, 80  
 Farbtemperatur 28, 29  
 Farbton 72  
 Farbunterschiedsschwellen 80  
 Farbvalenz 72, 98  
 Farbvalenzmetrik 74  
 Farbwiedergabe 84, 85, 111  
 Farbwiedergabeindex 85  
 Farbwiedergabe Ra 84  
 f-Blende 229  
 Festbrennweiten 122  
 Film Noir 202, 248  
 Fixation 65  
 Flächenleuchten 125  
 Flathead 133  
 Flat-Shading 272, 273  
 Flood-Stellung 120  
 FoH 252  
 Fokussieren 215  
 Fovea 64  
 Fovea centralis 61  
 French Flags 247  
 Fresnelscheinwerfer 119, 120, 185, 225  
 Frontlicht 122  
 Führungslicht 55, 198, 199  
 Fußlicht 197  
 Fußrampen 125

**G**

Gain 173  
 Gammawert 240  
 Ganglienzenellen 32  
 Gassenlicht 197, 218  
 Gegenfarben 63  
 Gegenfarbentheorie 63  
 Gegenlicht 196, 217, 218

gemischte Reflexion 45  
 gemischte Transmission 46  
 gerichtete Reflexion 45  
 gerichtetes Licht 187  
 gerichtete Transmission 46  
 Gleichheitsverfahren 97, 98  
 Glocken 126  
 Gloriole 199  
 Glühlampe 106  
 Gobos 121, 129, 130  
 Gobo (Vignette) 126  
 Gonioskop 94  
 Gourand-Shading 272, 273  
 Gradation 240  
 grandMA2 fullsize 145  
 Grand Master 148  
 Grassmann 75  
 Graukarte 44

**H**

Halbschatten 188  
 Halbstreuwinkel 48  
 Halogen-Kreisprozess 108  
 Halogenlampen 108  
 Hauptlicht 199  
 Hauptpult 146  
 Havariepult 146  
 Hazer 256  
 HDMI 183  
 Hellempfindlichkeit 33  
 Hellempfindung 71  
 Helligkeit 56, 72  
 Helligkeitseindruck 43  
 Helligkeitskonstanz 68  
 High-Flux-LED 115  
 High-Key-Stil 202, 203, 248  
 Hinterlicht 196, 199, 209, 231  
 Hinterlicht (Kante) 198  
 HMI 24  
 Hochdruckentladung 111  
 Hochdruckentladungslampen 112  
 Hochdruckmetalldampflampen 24  
 höhere Farbmetrik 74  
 Honeycomb Grids 134  
 Hook-Up Schedule 214  
 Horizontleuchten 125

Horizontlicht 197, 198  
HSV-System 80  
Hybride Lichtsteuerung 145

**I**

Indikatrix 46  
Infrarot-Bereich 24  
Irisblende 121, 126  
IR-Strahlung 25

**K**

Kantenlicht 199  
Kelvin 29  
Kernschatten 188  
key-light 201, 213  
Keystone-Korrektur 172  
Kicker 199  
Kino-Flo 133  
kontinuierliches Spektrum 26  
Kontrast 50, 54  
Kontrast K 51  
Kontrastumfang 53  
konventionelles Licht 145  
Konversionsfolien 87  
Kopflicht 196  
Körperfarben 28, 72  
Kreissteuerung 148

**L**

L70B50-Wert 105  
Labormessgeräte 91  
Lambert-Strahler 45  
Lastkreis 147  
Lastteil 146  
Layer 175, 177  
Layout Schedule 214, 215  
Lebensdauer 105  
LED 113, 115, 116  
LED-Chip 114, 116  
LED-Retrofits 117  
LED-Systemen 168  
Lens Shift 172  
Leuchtdichte 32, 43  
Leuchtdichtekamera 93  
Leuchtdichtheitkoeffizienten 46

Leuchtdichtemesser 93, 97  
Leuchtstofflampen 110  
Lichtausbeute 35, 107  
Lichtdesign 192, 193, 223, 262  
Lichtdesigner 207, 208, 251, 262  
Lichtempfindlichkeit 229, 241  
Lichtgestaltung 192  
Lichtinszenierung 191  
Lichtkontrast 53  
Licht-Operator 254  
Lichtplan 235, 269  
lichtsetzender Kameramann 193  
Lichtstärke I 36  
Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) 37, 94  
Lichtstelltische 143  
Lichtstile 216  
Lichtstimmung (Cue) 147  
Lichtstrom 33  
Lightbanks 134  
Linienspektrum 27  
Lochleitung 114  
Look 184, 192, 230, 233, 262, 263  
Louver 134  
Lowel-Light 134  
Low-Key-Stil 202, 248  
LUMA-Pegel 229  
Lux 39  
Luxmeter 91  
LVK 37, 38

**M**

MacAdam-Ellipsen 80  
MA-Net 142  
Manuelle Lichtsteuerung 144  
MARK 138  
Master-Client-Struktur 181  
Maxibrute 245  
Max Keller 207  
McCandless 48, 191, 193, 194, 206, 209,  
210, 211  
Medienserver 21, 172, 174, 180  
Melatonin 33  
mesopisches Sehen 32  
Messgeometrie 102  
MIDI 148, 183  
Mired 88

Mired Shift Value 88  
Mired-Wert 88  
Modelling 249  
Moving Heads 130  
Moving Lights 119, 128, 209, 253  
Moving-Light-Steuerung 145  
Multifunktionsstudios 221  
Munsell 75, 98  
Munsell-System 80  
Myopie 66

## N

Nachtsehen 32  
Natural Color System (NCS) 76  
NCS 98  
NCS-System 80  
Nebenpult 146  
Netzhaut 23, 61  
Netzwerknoten 142  
Neutralfilter 87  
Niederdruckgasentladung 110  
niedere Farbmetrik 74  
Normalenvektor 40, 41  
Normal-Stil 202, 248  
Normfarbwerte 81  
Normlichtart A 30, 84  
Normlichtart C 30  
Normlichtart D 65 30  
Normlichtarten 101  
Normvalenzsystem XYZ 72

## O

Oberbeleuchter 193, 238, 244  
Oberlicht 125, 195, 209  
Objektkontrast 52  
OLED 21, 117, 118, 279  
OLED-Displays 118  
Opazität 97  
Open Air 251  
Opera-Beleuchtung 219  
optische Strahlung 23

## P

PAN 226  
PAN-Richtung 126

PAR 36 124  
PAR 56 124  
Parabolspiegelscheinwerfer 123  
PAR-Scheinwerfer 123  
Patchen 215  
Patchplan 255  
PC-Scheinwerfer 119, 120  
Phasenabschnittsteuerung 166  
Phasenanschnittsteuerung 165, 166  
Phong-Shading 272, 273  
Phosphoren 111  
Photometrie 23  
photometrisches Entfernungsgesetz 41,  
    42, 90  
photopisches Sehen 31, 32  
physikalische Photometrie 91  
Physiologie 60  
Physiologie des Auges 21  
Pixelmapping 177  
Pixelpitch 170  
Planck'scher Strahler 26, 28  
Plankonvex-Scheinwerfer 119, 120  
Plot (Draufsicht) 214  
positiver Kontrast 51  
Power over Ethernet 143  
Presets 255  
Primärfarben 78  
Primärvalenzen 76  
Primärvalenzsystem 77  
Profilscheinwerfer 121, 185, 208  
Projektionen 171  
psychometrische Helligkeit 98  
psychometrische Helligkeitsfunktion 81  
PWM (Pulsweitenmodulation) 166

## R

Radiosity-Programme 272  
Radiosity-Verfahren 274  
RAL-Design-System 80  
Rampenlicht 197  
Ratio 54, 55  
Raumwinkel 36, 37  
Raumwinkelement 26  
Raytracing-Programme 272  
Raytracing-Verfahren 274  
RBG-Farbraum 76

- RDM 140  
 Reflexionsgrad 44, 95, 98  
 Refreshrate 138  
 Register 147  
 relative Hellempfindlichkeit 31  
 Relux 277  
 Remission 97  
 Remissionsgrad 44  
 Rendering 272  
 RESET-Signal 138  
 RGBW 169  
 Rigg 251  
 Rigging 254, 255
- S**
- Saccade 65  
 Sättigung 72  
 Scanner 130  
 Schärfentiefe 242, 243  
 Schatten 184  
 Schattigkeit 187  
 Scheinwerfer 119  
 Scheinwerfersymbole 270  
 Schwarzer Körper 26, 29  
 Schwarzer Strahler 28  
 Schwarzschwelle 57  
 Schwellenkontrast 51  
 Section (Seitenansicht) 214  
 Sehleistung 50  
 Sehschärfe 66  
 Seitenlicht 196, 217, 218  
 seitliches Vorderlicht 195, 218  
 Sekundärstrahlern 72  
 Selbstleuchter 28, 72  
 Selbststrahler 104  
 Setdesigner 170  
 Sets 230  
 Set Up 215  
 Show-Studio 222  
 Simulation 268  
 Simultankontrast 266  
 skotopisches Sehen 32  
 SML-Zapfen 62  
 SMPTE 148, 183  
 Softedge-Blending 173  
 Solid Modeling 271
- Sonnenlicht 27  
 Source Four 70, 122  
 Spacelight 246  
 Speicherlichtsteuerung 144, 145  
 spektrale Hellempfindlichkeit 31, 33  
 spektrale Hellempfindlichkeitskurve 32  
 spektraler Strahlungsfluss 33  
 Spektrallinien 27  
 Spektralphotometrie 96, 100  
 Spektralverfahren 97, 100  
 Spektralwertkurven 78  
 Spitzlicht 199  
 Spot-Einstellung 120  
 Spotlights 129  
 Spotmessung 96  
 Spotmeter 96, 97, 244  
 Stäbchen 23, 32, 61  
 Standard-Objektiv 229  
 Stevens-und-Hunt-Effekt 69  
 Strahldichte 26  
 Strahlungsfluss 25, 33  
 Strahlungsfunktion 98  
 Strahlungsleistung 26, 33  
 Strahlungsphysik 23  
 Stromkreis 147  
 Stufenlinsenscheinwerfer 119, 120, 121  
 Submaster 148  
 subtraktiven Farbmischung 73, 83, 84  
 Szenenkontrast 53
- T**
- Tagessehen 31, 32  
 Teleobjektiv 229  
 Texturen 177  
 Tiefenschärfe 242  
 TILT 226  
 TILT-Richtung 126  
 Timeline 181, 182  
 Toplight 196  
 Torblenden 121, 125  
 Trackball 148  
 Transmissionsgrad 46  
 Traversen 256

**U**

Überfarben 78  
 U-Kugel 95  
 Ulbrichtkugel 95  
 Ultraviolettrahlung (UV) 24  
 unausgeglichener Low-Key 202, 203  
 Unbuntpunkt 78  
 Unterlicht 197  
 UV-A 24  
 UV-B 24  
 UV-Bereich 24  
 UV-C 24  
 UV-Mapping 176

**V**

Varilite 251  
 Verdunklungsblende 126  
 Verfolgerscheinwerfer 122  
 vertikale Beleuchtungsstärke 40  
 Video-Content 264  
 Vierpunkt-Ausleuchtung 200  
 virtuelle Kamera 177, 178  
 visueller Kanal 21  
 visueller Cortex 61  
 visuelle Photometrie 90  
 VJ-Bereich (VJ = Visual Jockey) 179  
 Vorderlicht 194, 209, 217  
 V( $\lambda$ )-Kurve 32, 92

**W**

Washlights 129  
 Weber-Fechner-Bereich 56  
 Weber-Fechner'sche Regel 56  
 weiches Licht 190  
 Weißabgleich 68, 230  
 weißes Licht 27  
 Weißlicht 145, 168  
 Weißstandards 100  
 Weitwinkelobjektiv 229  
 Wellenlänge 23  
 Wendy Lights 245  
 Wien'scher Verschiebungssatz 107  
 Wireframe 271  
 Wireless DMX 143

**X**

XLR-Stecker 137

**Z**

Zapfen 23, 32, 61  
 Z-Brücke (Zuschauerbrücke) 209  
 Zonentheorie 63  
 Zoom-Profilscheinwerfer 122  
 Zweipunkt-Ausleuchtung 200

HANSER

## Das Standardwerk für Kreative



Christian Fries  
**Grundlagen der Mediengestaltung**  
**Konzeption, Ideenfindung, Visualisierung,  
Bildaufbau, Farbe, Typografie**  
4., aktualisierte Auflage  
256 Seiten. Vierfarbig  
€ 29,90. ISBN 978-3-446-42476-0  
Auch einzeln als E-Book erhältlich  
€ 23,99. E-Book-ISBN 978-3-446-42502-6

Mediengestaltung ist mehr als nur Design. Deshalb liegt der Fokus dieses Buches auf der konzeptionellen Gestaltung. Dabei stehen Grundidee und ein umfassendes Konzept im Vordergrund. Gestalttechniken und formales Design werden als unverzichtbarer Hintergrund ebenfalls umfassend behandelt.

Viele praktische Übungen und Checklisten schaffen dabei die Basis für erste eigene Schritte und motivieren zum Ausprobieren. Das Buch macht Mediengestalter fit für die Herausforderungen unserer Zeit, in der ideenreiche Allrounder für Online- und Offline-Medien gefordert sind.

Das Buch richtet sich an Studierende, Grafiker, Web-Designer, Werbe- und PR-Fachleute sowie an alle anderen, die im Job mit Gestaltung und Kommunikation zu tun haben oder diese beurteilen müssen.

Mehr Informationen finden Sie unter [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

TOM DEMARCO



Als auf der Welt  
**DAS LICHT**  
ausging

Ein Wissenschafts-Thriller

HANSER

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

**»Der Weltuntergang steht bevor,  
aber nicht so, wie Sie denken.  
Dieser Krieg jagt nicht alles in die Luft,  
sondern schaltet alles ab.«**

Tom DeMarco  
Als auf der Welt das Licht ausging

ca. 560 Seiten. Hardcover  
ca. € 19,99 [D]/€ 20,60 [A]/sFr 28,90  
ISBN 978-3-446-43960-3 · WG 121  
Erscheint im November 2014



Sie möchten mehr über Tom DeMarco und  
seine Bücher erfahren.  
Einfach Code scannen oder reinklicken unter  
[www.hanser-fachbuch.de/special/demarco](http://www.hanser-fachbuch.de/special/demarco)

Lizenziert für held.matthias@yahoo.de.

© 2014 Carl Hanser Fachbuchverlag. Alle Rechte vorbehalten. Keine unerlaubte Weitergabe oder Vervielfältigung.

**TOM DEMARCO**

**Als auf der Welt  
DAS LICHT  
ausging**

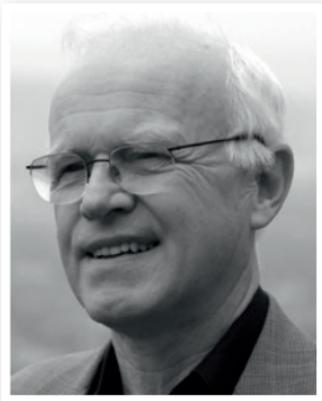
Aus dem Amerikanischen von Andreas Brandhorst

**Leseprobe**

Das Buch erscheint im November 2014.

## Tom DeMarco

ist Projektmanagement-Experte, vielgefragter Berater und Autor zahlreicher im Carl Hanser Verlag erschienener Bestseller wie »Der Termin« oder zuletzt »Wien wartet auf Dich«. Er ist Partner der Atlantic Systems Guild, einer Beratergruppe, die sich auf die komplexen Prozesse der Systementwicklung spezialisiert hat, mit besonderem Augenmerk auf die menschliche Dimension.



## Andreas Brandhorst

Andreas Brandhorst (geboren 1956 in Norddeutschland) hat mit dem Schreiben sehr früh angefangen und wenige Jahre später wurde aus dem Hobby ein Beruf, zu dem nicht nur das Schreiben eigener Texte gehörte, sondern auch das Übersetzen (u.a. der Werke von Terry Pratchett). Er ist

Autor der bekannten Kantaki-Romane (2 Trilogien), der Science-Fiction-Romane »Kinder der Ewigkeit«, »Das Artefakt« (ausgezeichnet mit dem Deutschen Science-Fiction-Preis als bester deutscher SF-Roman 2013), »Der letzte Regent« und »Das Kosmotop« (erscheint Juni 2014). Außerdem gehen die Thriller »Äon«, »Die Stadt« und »Seelenfänger« auf sein Konto.



## Was vorher geschah:

Fanatiker in der US-Regierung glauben sich hinter ihrem Raketenabwehrschild sicher und wollen Amerikas Gegner überall auf der Welt mit einem nuklearen Erstschlag auslöschen. Doch eine kleine Gruppe von Forschern hat einen Apparat entwickelt, der weltweit Atomexplosionen verhindern kann. Die Aktivierung dieses Apparats würde zwar einen Atomkrieg verhindern, aber der Menschheit auch die Elektrizität nehmen

...

## DER MANN, DER EINGRIFF

Homer hatte sie alle zu Bett geschickt. Während der vergangenen Nacht waren sie auf den Beinen gewesen, sagte er, und sie mussten frisch und ausgeruht sein für das, was geschehen würde. Doch zumindest für Loren und Edward war an Schlaf nicht zu denken. Sie saßen am Fenster von Edwards Zimmer und blickten über die Stadt. Ed hatte das Licht ausgeschaltet, dann wieder ein und noch einmal aus. Eine ganz einfache Sache, über die man gar nicht nachdachte, aber würde sie am kommenden Tag noch möglich sein? Er durchquerte das dunkle Zimmer und setzte sich auf den leeren Stuhl Loren gegenüber.

»Ich glaube, ich weiß, was passieren wird«, sagte er.  
»Kelly hat es bereits gesagt. Es scheint vorherbestimmt zu sein.«

Loren nickte betrübt.

»Die Offshore-Kabaner werden sich genau so verhalten, wie es Simula-7 vorhergesagt hat. Sie sind vollkommen berechenbar. Sie werden St. Louis angreifen, wie in der Simulation. Sie werden es sich nicht anders überlegen. Bestimmt gehen sie davon aus, dass unsere Behörden eine Evakuierung der Stadt veranlassen. Und bestimmt reden sie sich ein, dass wir eine Eskalation vermeiden wollen. Es wäre dumm von uns, alles auf die Spitze zu treiben – nach dem, was wir auf Kuba angerichtet haben, ist die Zerstörung einer leeren Stadt durch

eine einzelne Rakete nicht mehr als eine kleine Verwarnung.«

Loren nickte erneut. »Dumm«, wiederholte er.

»Sie werden glauben, dass wir nicht zurückschlagen, aber da irren sie sich. Wir wissen es besser. Stell dir vor, was passiert, wenn sie ihre eine Rakete auf St. Louis abfeuern. Das modifizierte Revelation 13 erledigt sie vielleicht, oder auch nicht. Möglicherweise ist das System nicht in der Lage, eine einzelne Rakete abzufangen. Angenommen, es ist dazu imstande. Was machen wir dann?«

Loren dachte darüber nach. »Die logische Sache wäre, nichts weiter zu tun. Die Welt könnte glauben, dass Amerikas Raketenabwehr schild funktioniert, dass wir unangreifbar sind. Es wäre eine sehr starke Position für uns.«

»Aber wir gehen nicht logisch vor. Wir sind Fanatiker.«

»Ja. Also regen wir uns mächtig auf. Man hat uns angegriffen; wir müssen es den Angreifern zeigen. Es ist eine Frage verletzten Männerstolzes.«

»Also schicken wir unsere Raketen los. Wir radieren Iran, Nordkorea, Pakistan und alle anderen Länder aus, die uns ein Dorn im Auge sind. Genau das passiert, wenn der Schild hält. Wenn nicht ... Dann sitzen wir in den Trümmern von St. Louis. Es wird viele Opfer geben, weil wir die Stadt nicht evakuiert haben. Was machen wir?«

»Vergeltung. Wir suchen einen Sündenbock und starten unsere Raketen.«

»Wir starten sie auf jeden Fall.«

»Ja, auf jeden Fall.«

Sie schauten in die Nacht hinaus und beobachteten die Lichter der Stadt. Nach einer Weile fuhr Edward fort: »In der griechischen Tragödie gibt es einen Moment des Übergangs, direkt nach dem Höhepunkt. Vorher haben Menschen die Ereignisse kontrolliert und nachher kontrollieren die Ereignisse die Menschen. Ich habe den Eindruck, dass dieser Moment heute Morgen verstrichen ist. Jetzt erwartet uns das düstere Ende

der griechischen Tragödie; die Akteure werden zu Zuschauern.«

»Das gilt nicht für uns«, sagte Loren. »Bei uns sieht es anders aus. Wir können eingreifen. Wir können handeln, den Effektor einschalten.«

»Aber können wir frei entscheiden? Haben wir eine Wahl? Eigentlich nicht. Wir müssen den Effektor einschalten. Die Zahlen diktieren es, denn selbst ein begrenzter nuklearer Schlagabtausch würde weitaus mehr Opfer fordern. Wir müssten selbst dann eingreifen, wenn wir wüssten, dass weitere Eskalationen ausbleiben. Das ist der zweite Teil von dem, was meinem Gefühl nach heute Nacht geschehen wird: Wir schalten den Effektor ein. Wodurch die Welt zum Stillstand kommt. Die Menschen, die von den Atomraketen getötet worden wären, leben noch – wir haben sie gerettet. Aber jetzt funktioniert nichts mehr. Die abgefeuerten Raketen fallen zu Boden, ohne zu explodieren, doch das ist nur der Anfang. Motoren lassen sich nicht mehr starten, es gibt keinen elektrischen Strom, Flugzeuge stürzen ab ... Der wahre Albtraum beginnt.«

»Vielleicht können wir den Effektor später abschalten. Wenn die Krise überstanden ist.«

»Nein, nie. Es wird immer mehr Waffen geben, die auf ihre Chance warten.«

»Wir können den Effektor nach Belieben ein- und ausschalten.«

»Loren. Denk gründlich darüber nach. Wenn wir uns einen Spaß daraus machen, den Permanenten Effektor zu aktivieren und zu deaktivieren ... Wie lange dauert es dann wohl, bis die Leute merken, dass wir dahinterstecken?«

»Ich verstehe nicht ganz ...«

»Rupert Paule wendet sich an Armitage, einen Physiker von Weltklasse, und sagt: »Was zum Teufel ist hier los? Welche Kraft neutralisiert unsere Raketen, Motoren und Generatoren?« Armitage nimmt einige Untersuchungen vor, während der Effekt wirkt. Was kann er herausfinden?«

Loren überlegte. »Die potenzielle Energie in jeder brennbaren Substanz erscheint reduziert, wenn sich der Effekt auswirkt, und kehrt ohne den Effekt auf das normale Niveau zurück. Das böte einen Hinweis auf die ganze Theorie von T-Prime. Wozu wir Jahre gebraucht haben, um es zu verstehen ...«

»Armitage könnte viel schneller die richtigen Schlüsse ziehen, vielleicht in Wochen.«

»In Tagen«, sagte Loren.

»Wahrscheinlich. Und dann würde Paule fragen: »Wer tut uns dies an, Dr. Armitage?« Und für Lamar wäre es schon nach einer Sekunde klar: Homer Layton und sein Team. Homers Artikel in Science über die Pekuliarbewegung bietet einen eindeutigen Hinweis.«

»Sie würden über uns herfallen, uns den Effektor wegnehmen und ihn ausschalten.«

»Und manchmal würden sie ihn wieder einschalten.«

Loren begriff, was Edward meinte. »Oh.«

»Ja. Sie schalten ihn ein, wenn sie gegen sie gerichtete strategische Aktionen entdecken. Und sie schalten ihn aus, wenn sie selbst zuschlagen wollen. Einen besseren Abwehrschild gibt es nicht.«

»Vielleicht wäre es gar nicht so schlecht.«

»Es wäre furchtbar. Denn ihnen müsste klar sein, dass auch andere Länder Physiker haben. Mit dem Hinweis, den wir ihnen gegeben haben, kommen sie schnell hinter das Geheimnis von T-Prime. Was bedeutet, dass sie nach einigen Wochen ihren eigenen Effektor bauen können. Doch das würde den Eiferern und Fanatikern ganz und gar nicht gefallen. Sie müssten damit rechnen, dass ihr Vorteil nach wenigen Wochen dahin ist. Was würden sie tun?«

»Sie müssten handeln, um ihren Vorteil abzusichern. Sie würden vielleicht ...«

»Genau. Sie würden angreifen, solange sie die Gewiss-

heit haben, dass sich der Gegner nicht wirkungsvoll zur Wehr setzen kann. Davon müssen wir ausgehen.«

Es dauerte eine Weile, bis sich die Erkenntnis festsetzte. Die Entscheidung, den Effektor einzuschalten, war auch die Entscheidung, ihn für immer an zu lassen. »Vielleicht funktioniert der Effektor gar nicht«, sagte Loren.

»Das ist unsere optimistischste Hoffnung.« Edward lächelte bitter. »Es würde bedeuten, dass wir zusammen mit dem Rest der Welt in nuklearer Glut gebraten oder vom Fallout vergiftet werden. Wir wären tot, was wir eines Tages ohnehin sein werden. Aber zumindest müssten wir uns nicht vorwerfen, dass alles unsere Schuld ist.«

.

.

.

... Eine Atomrakete vom Typ SS-24 startete von einer Insel vor der Küste Ecuadors, gerichtet auf St. Louis, Missouri. Der Startzeitpunkt war so gewählt, dass die Rakete ihr Ziel genau um Mitternacht St. Louis-Zeit erreicht. Ein zweihundert Meilen westlich von San Diego stationierter Zerstörer der amerikanischen Marine ortete die Rakete und einige Sekunden später wurde ein Alarm ausgelöst. Da der Zerstörer auf eine solche Sichtung vorbereitet gewesen war, ging man gleich auf Alarmstufe Rot und schickte eine Nachricht ins StratCom-Netzwerk.

Albert döste mit dem Ohr am Empfänger. Die Mitteilung hätte Teil seines Traums sein können, denn in letzter Zeit träumte er oft von solchen Dingen. Er hob den Kopf und starrte auf das Gerät in seiner Hand, das den Alarm wiederholte. Er blickte zu Homer, der wach im Sessel neben ihm saß. Homer hatte alles gehört. Die Worte der Ankündigung schienen keine nennenswerte Wirkung auf ihn zu haben; sie waren mehr wie ein morgens klingelnder Wecker. In diesem Fall lautete die Botschaft des Klingelns: Es geht los.

Albert hielt das kleine Gerät wieder ans Ohr und sein

Blick kehrte zu Homer zurück. »Neunzehn Minuten, glauben sie«, sagte er und sah auf die Uhr. »Um ein Uhr unserer Zeit.«

Homer stand mühsam auf. Alte Leute sollten nicht in tiefen Sesseln sitzen, dachte er. Loren, der auf dem Boden neben ihm geschlafen hatte, war schon auf den Beinen. »Ich hole die anderen«, sagte er.

Edward hatte seine Tür einen Spaltbreit offen gelassen. Loren sah ins Zimmer und sagte: »Es ist so weit, Ed.« Es hätte das frühe Wecken für den Beginn eines Campingausflugs sein können. Er hörte Edwards Antwort aus dem dunklen Zimmer und ging weiter, zu Sonia gleich nebenan.

Loren klopfte an und wartete. Er hörte Bewegung im Zimmer, die Tür öffnete sich und Sonia blinzelte im Licht des Flurs. »Sonia.« Er wollte sie in die Arme nehmen, sie trösten, doch sie behielt die Tür zwischen ihnen.

»Ich bin im Schlafanzug«, sagte sie.

»Komm so schnell du kannst zu Homer.«

»Gib mir ein paar Minuten fürs Anziehen.« Sie schloss die Tür.

Weiter zu Kellys Zimmer. Loren klopfte an und hörte Geräusche, bevor sich die Tür öffnete. Kelly war hellwach. Sie trug ein weißes Nachthemd mit Rüschen an den Ärmeln. Hinter ihr brannte eine kleine Lampe.

»Es ist geschehen«, sagte Loren.

Kelly zog ihn herein. »Sieh nach Curtis«, sagte sie. »Ich ziehe mir schnell was über.«

Loren ging ins Nebenzimmer und spähte in die Dunkelheit. Er hörte das gleichmäßige Atmen des Kindes. Die Gestalt im Bett wirkte friedlich im Schlaf. Er kehrte in Kellys Raum zurück. Sie stand vor der Kommode, mit dem Rücken zu ihm, und zog eine Jeans unter ihrem Nachthemd hoch. Ihr Hintern zeigte sich kurz, als sie die Hose zurechtrückte. Das Nachthemd warf sie achtlos beiseite. Loren sah ihren langen, schmalen Rücken. Sie war größer als seine Schwestern, dach-

te er, ein bisschen größer. Kelly zog sich ein T-Shirt über den Kopf und drehte sich zu ihm um. »Fertig«, sagte sie und stand barfuß vor ihm. Keine Schuhe, keine Unterwäsche. Sie trafen noch vor Edward in Homers Suite ein.

Homer hatte Maria geweckt. Sie trat aus dem Schlafzimmer und zog den Gürtel eines Morgenmantels zu. Claymore kam von der anderen Seite herein. Sonia und Edward erschienen gleichzeitig. Noch elf Minuten bis zum Einschlag. Homer schloss die Tür, verriegelte sie und drehte sich ernst zu ihnen um.

»Gloria Verde hat eine Rakete auf St. Louis abgefeuert. Albert hat den Alarm vor einigen Minuten mit seinem StratCom-Apparat gehört. Die Rakete wird ihr Ziel um ein Uhr unserer Zeit erreichen. Uns bleiben nur wenige Minuten, um genau zu überlegen. Darauf kommt es jetzt an, dass wir genau nachdenken.

Es gibt einige Dinge, die wir Albert, Maria und Claymore erklären müssen, über unsere Vereinbarung in Bezug auf den Effektor, falls wir entscheiden, ihn einzuschalten. Hörst du zu, Clay?«

»Oh, klar.« Claymore hatte als einziger Platz genommen. Er saß auf der Couch, in einem pfirsichfarbenen Schlafanzug. Auf dem Tisch lag eine Hochglanzbroschüre über das Nachtleben von Fort Lauderdale. Er schlug sie auf. »Klar«, sagte er.

Homer wandte sich an Albert und Maria. »Ihr wisst, was es mit dem Effektor auf sich hat. Ich habe es euch erklärt. Ihr wisst auch, was wir heute Nacht tun könnten, was wir in Erwägung ziehen. Aber was auch immer hier geschieht, ihr seid dafür nicht verantwortlich. Das ist wichtig. Die Verantwortung tragen wir fünf.« Er sah die Mitglieder der Gruppe an. »Ich selbst, Edward, Sonia, Loren und Kelly. Nur wir fünf. Wir stimmen ab, bevor wir etwas unternehmen. Zuvor sind wir übereinkommen, dass die Entscheidung, den Effektor einzuschalten,

die Zustimmung von uns allen verlangt. Eine Nein-Stimme läuft auf ein Veto hinaus. Offenbar müssen wir heute Nacht abstimmen. Bald.

Noch hat eine Abstimmung darüber, ob wir den Effektor verwenden sollen, keinen Sinn, denn ich würde mit Nein stimmen. Wir können nicht einschreiten, um St. Louis zu retten. Es gibt noch immer die Möglichkeit, dass damit alles vorbei ist. Wenn Washington entscheidet, den Angriff auf St. Louis ohne Vergeltungsmaßnahmen hinzunehmen, brauchen wir den Effektor nicht einzuschalten. Das wäre eine große Erleichterung für uns alle. Auf diese Weise müssen wir es sehen. Wir warten bis nach der Explosion der Rakete. Wir warten und warten. Wenn Amerika protestiert, ohne einen Gegenangriff zu starten, brauchen wir nicht abzustimmen. In dem Fall muss niemand sagen, wie er oder sie gestimmt hätte. Dann können wir den Rest unseres Lebens mit ruhigem Gewissen verbringen, weil wir die Macht, die in unsere Hände fiel, unangetastet ließen, eine Macht, die die Welt in Dunkelheit stürzen kann. Dann werden wir uns immer fragen, was geschehen wäre, wenn wir ein paar Leben in einer Stadt des Mittelwestens gerettet, dafür aber die ganze Welt grundlegend verändert hätten. Wir könnten bei einem Bier in Cornell darüber reden.«

Ihm gingen die Worte aus. Er hätte überhaupt nichts sagen müssen, das wussten sie alle.

Für einen langen Moment herrschte Stille und dann raschelte es, als Claymore umblätterte.

Homer fiel noch etwas ein. »Wenn wir abstimmen müssen, und ich hoffe, das ist nicht der Fall, aber wenn uns die Umstände zu einer Abstimmung zwingen, so möchte ich fragen ...«

Albert hob die Hand. Er hatte das Ohr am Empfänger und sein Blick ging ins Leere. »Sie starten«, sagte er.

»Was?«, fragte Loren fassungslos. »Wer startet? Wir?«

»Der Präsident hat den Befehl gegeben. Amerika schlägt zu.«

»Aber das kann doch nicht sein! Sie müssen warten, bis die Rakete St. Louis trifft. Vielleicht hält der Abwehrschild. Oder die Kubaner überlegen es sich im letzten Moment anders und lassen die Rakete ins Meer stürzen. Oder sie explodiert überhaupt nicht. Es ist zu früh für eine Reaktion.«

Albert zuckte die Schultern.

Homer sah auf die Uhr. »Wir stimmen jetzt ab«, sagte er. »Es bleiben noch neun Minuten. Wenn wir alle mit Ja stimmen, können wir handeln, noch bevor die Rakete St. Louis erreicht. Dann retten wir auch das Leben der dortigen Menschen, was alles leichter macht.«

»Es wird gestartet«, sagte Albert. »StratCom bestätigt, dass sich die erste Rakete auf den Weg macht ... und jetzt die zweite, von einem U-Boot aus. Es hat begonnen. Weitere Starts werden gemeldet ...«

»Wir stimmen ab.« Homer und seine Gruppe wichen beiseite, weg von Albert und Maria. Eine symbolische Trennung. »Ja bedeutet, dass wir den Effektor einschalten. Nein bedeutet, dass wir nichts unternehmen. Ich stimme ...«

»Warte!«, sagte Loren. Er erinnerte sich an die letzte Abstimmung. Alle hatten sofort ihre Stimme abgegeben, mit Ausnahme von Sonia; letztendlich war es also ihre Stimme gewesen, die den Ausschlag gegeben hatte. Loren wollte nicht, dass sich so etwas wiederholte. »Kleine Zettel«, sagte er. »Wir schreiben unsere Stimme auf. Damit niemand der Letzte ist und den ganzen Druck fühlen muss.«

Auf dem Tisch lag ein Block mit gelben Haftzetteln. Loren riss einen für jeden von ihnen ab. Es gab Stifte und jeder nahm einen. Sonia holte einen aus ihrer Handtasche. Loren schrieb »Ja« auf seinen Zettel und sammelte dann die anderen ein. Er klebte sie an seinen Ärmel, in einer Reihe: alles Ja-Stimmen. Sonias Ja war so klein geschrieben, dass man genau hinschauen musste, um es zu erkennen: zwei winzige Buchstaben, kaum einen halben Zentimeter groß.

»Alle haben mit Ja gestimmt«, sagte er.

Homer nickte. »Ich schalte den Effektor selbst ein.«

»Noch sieben Minuten«, sagte Albert.

Edward hatte den verzierten Eichenholzkasten mitgebracht. Er stellte ihn auf den Tisch, öffnete ihn und trat zurück. Stille herrschte. Homer ging allein zu dem Kasten und blickte darauf hinab.

»Es befindet sich ein Schiebeschalter an der Seite«, sagte Loren.

»Ich weiß, ich weiß.«

Alberts Stimme kam wie aus weiter Ferne. »Noch sechs Minuten«, sagte er. »Was nicht heißt, dass ich drängen möchte.«

»Ich weiß«, erwiderte Homer.

Es wäre Loren lieber gewesen, wenn Maria jetzt neben Homer gestanden hätte; er sollte jetzt nicht so allein sein. Doch Maria war tief in den weißen Sessel gesunken und hatte den Kopf zur Seite gedreht.

Kelly trat vor, griff mit beiden Händen nach Homers linker Hand und drückte ihre Wange an seine. Loren glaubte zu sehen, dass sie ihm etwas zuflüsterte, aber er hörte nichts. Homer nickte und streckte die rechte Hand nach dem Schalter aus. Loren reckte den Hals. Hatte er den Effektor eingeschaltet? Homer wirkte wie erstarrt.

»Wie viele Menschen leben in St. Louis?«, fragte Edward. »Drei Millionen? Homer, in den nächsten Minuten rettest du genug Menschen, um die Entscheidung zu rechtfertigen. Innerhalb der nächsten Stunde wirst du Dutzende von Millionen Leben gerettet haben, weitaus mehr, als durch den Effekt verlorengehen.«

»Ich weiß«, sagte Homer. »Also tue ich es.« Er betätigte den Schiebeschalter und trat zurück. Die anderen beugten sich vor. Der Schalter leitete Strom in den kleinen, einem Maser ähnelnden Generator und löste die mechanische Arretierung,

die das freie Schweben der Karte verhinderte. In der Mitte des Apparats glühte es rosarot. Die Karte begann sich zu drehen und suchte nach dem magnetischen Nordpol. Sie drehte sich über den Norden hinaus, kehrte dann quälend langsam zu ihm zurück und verharrte schließlich. Loren blickte aus dem Fenster. Nichts war geschehen.

»Vielleicht ist der Magnet ...«, begann er.

Das Licht im Zimmer wurde schwächer. Es ging nicht einfach aus, wie bei einem plötzlichen Stromausfall; es wirkte eher, als würde jemand einen Dimmer herunter drehen. Als es im Zimmer ganz dunkel geworden war, sahen sie aus dem Fenster. Auch in der Stadt breitete sich Dunkelheit aus – nach einigen Sekunden waren überhaupt keine elektrischen Lichter mehr zu sehen. Eine Zeit lang blieb es still, bis Albert das Schweigen brach. »Drei Minuten bis zum Einschlag der Rakete in St. Louis.« Er hielt sich noch immer den StratCom-Apparat ans Ohr. Das Gerät lief mit Batterie, war also nicht vom Effektor betroffen. Der StratCom-Sender befand sich in einem Satelliten, außerhalb des irdischen Magnetfelds.

Sie wandten sich alle dem Fenster zu. Claymore stand auf und kam näher. »Sieh nur«, sagte er und winkte Homer nach vorn. »Ich hab's dir ja gesagt. Es ist eine andere Farbe.«

Der Nachthimmel hatte einen Hauch von Rosarot. Es sah wie die Nordlichter aus, die Aurora Borealis, aber das schwache Leuchten zeigte sich im Süden.

»Es ist eine andere Farbe«, wiederholte Claymore.  
»Pink.«

»Ja, stimmt«, sagte Homer.

Loren holte tief Luft. »Es ist ein Uhr. Wird etwas durchgegeben?«

Alle Blicke richteten sich auf Albert. Er drückte sich den Empfänger noch etwas fester ans Ohr und schüttelte den Kopf. Dann starre er wieder ins Nichts. »Moment ... Es heißt, der Schild habe gehalten. Ja, der Schild habe gehalten und St.

Louis sei nicht zerstört. Es gibt Beobachter unweit der Stadt und sie melden keine Explosion.« Albert sah die anderen an. »Sie glauben, es liegt am Raketenabwehrschild.«

»Oh«, sagte Homer. »Ihnen dürfte bald klarwerden, was geschehen ist.« Er setzte sich auf die Armlehne von Marias Sessel. Sie sah noch immer zur Seite.

»Es werden die Namen der Personen genannt, die angeblich St. Louis gerettet haben«, sagte Albert. »Armitage und seine Leute ... und Curly Burlingame. Curly Burlingame?«

»Ein wahrer amerikanischer Held«, sagte Edward.

»Jetzt werden einige Stromausfälle in den Vereinigten Staaten gemeldet«, fuhr Albert fort. »Keine große Sache, heißt es. Die Rede ist von mutmaßlicher Sabotage, aber nur Einzelfälle.«

Homer lächelte grimmig. »Sabotage, ja. Einzelfälle, nein.«

»Stromausfälle auch in Europa. Sie wissen noch nicht, was sie davon halten sollen.«

Homer winkte geistesabwesend. »Schalt aus, Albert. Worauf es jetzt ankommt, passiert nicht dort draußen, sondern hier drinnen.«

Albert legte den StratCom-Empfänger auf den Couchtisch und sah wieder aus dem Fenster. Es gab überhaupt kein künstliches Licht mehr, nur Sterne und das fahle rosarote Leuchten, wie das schwache Licht etwa eine Stunde vor Sonnenaufgang. Aber es ließ sich in allen Richtungen beobachten und war am südlichen Horizont ein wenig stärker.

»Meine Güte«, sagte Albert. »Was haben wir getan?«

Homer saß in der Dunkelheit. »Was haben wir getan? Was habe ich getan? Wir haben etwa acht Millionen Menschen zum Tod verurteilt – sie werden im Lauf der nächsten Monate sterben. Acht Millionen.« Er sprach leise, schwieg einige Sekunden und fügte dann noch leiser hinzu: »Im Vergleich mit uns war Hitler ein Dilettant.«

Loren hielt den Atem an. Kelly beugte sich zu Homer

hinab, streckte die Hände nach seinen Seiten aus und ... kitzelte ihn. Homer war unglaublich kitzlig. Er zuckte heftig zusammen. »Dummer alter Kerl«, sagte Kelly. »Du hast gerade St. Louis gerettet und sechzig Millionen Menschen überall auf der Welt. Das geht aus unseren Berechnungen hervor. Du hast die Atmosphäre der Erde vor radioaktiver Verseuchung bewahrt. Vielleicht hast du sogar das ganze Leben auf diesem Planeten gerettet.«

»Es stimmt, Homer«, sagte Loren. »Du bist der größte Held aller Zeiten.«

»Aber all das Sterben, das jetzt beginnt ...«, wandte er ein.

»Daran ist jemand anderer schuld.« Edward legte Homer den Arm um die Schulter. »Rupert Paule. Er und General Simpson und all die anderen. Es ist ihre Schuld, Homer.«

Homer nickte, wirkte aber nicht sonderlich überzeugt.

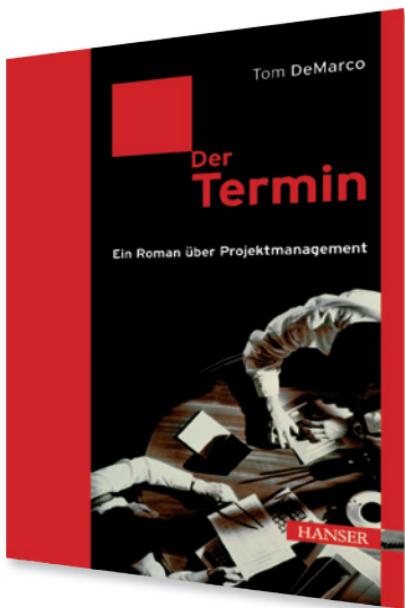
Loren löste die Batterie vom Effektor und sah seine Annahmen bestätigt, als das winzige rosarote Licht in der Kartenmitte blieb - es bezog seine Energie vom irdischen Magnetfeld. Der kleine Apparat auf der Karte war nötig für die Übertragung der Störung, die den Effekt erhielt. Solange er aktiv und ausgerichtet blieb, dauerte der Effekt an. Loren entfernte auch die Arretierung, damit sie nicht unabsichtlich ausgelöst werden konnte, schloss den Kasten und schloss ihn ab.

Edward verteilte Taschenlampen aus einer Box mit Vorräten, die sie Stunden zuvor hochgetragen hatten. Außerdem gab er jedem eine Liste mit detaillierten Anweisungen für die nächsten Schritte.

»Es wartet viel Arbeit auf uns, Leute, und wir haben nur ein paar Stunden Zeit, alles zu erledigen. Packen wir's an.«

(Ende 15. Kapitel)

## Weitere Bücher von Tom DeMarco



Tom DeMarco  
**Der Termin**  
ISBN 978-3-446-41439-6



Tom DeMarco, Timothy Lister  
**Wien wartet auf Dich!**  
ISBN 978-3-446-43895-8

Tom DeMarco, Tim Lister  
**Bärentango**  
ISBN 978-3-446-22333-2

Tom DeMarco  
**Spielräume**  
ISBN 978-3-446-21665-5

# »Der Weltuntergang steht bevor, aber nicht so, wie Sie denken. Dieser Krieg jagt nicht alles in die Luft, sondern schaltet alles ab.«

Im obersten Stock der Cornell University's Clark Hall stehen der Physiker Homer Layton und seine drei jungen Assistenten vor einem Durchbruch, der es ermöglicht, die Zeit etwas langsamer ablaufen zu lassen. Sie vermuten, dass der sogenannte Layton-Effekt keinen praktischen Nutzen haben wird, rechnen aber damit, dass die von ihnen geplante Abhandlung einem Paukenschlag in der Welt der theoretischen Physik gleichkommen wird. Doch dann bemerkt Loren Martine, jüngstes Mitglied von Homers Team, etwas Seltsames: Wird die Zeit verlangsamt, reicht die in Brennstoffen gespeicherte Energie nicht mehr für ein plötzliches Feuer. Dinge können noch immer brennen, wenn auch langsamer, aber nichts kann mehr explodieren. Die Wissenschaftler stellen sich eine Art Layton-Effekt-Taschenlampe vor, die das Abfeuern einer Waffe verhindert. Ihnen wird klar, dass man auch die Explosion einer Bombe oder gar einen ganzen Krieg verhindern könnte.



Sie möchten mehr über Tom DeMarco und  
seine Bücher erfahren.  
Einfach Code scannen oder reinklicken unter  
[www.hanser-fachbuch.de/special/demarco](http://www.hanser-fachbuch.de/special/demarco)

# LICHT UND BELEUCHTUNG IM MEDIENBEREICH //

- Grundlagenwissen zu Licht und Beleuchtung
- Anwendung im Film-, Konzert-, Show- und Eventbereich
- Hoher Praxisbezug

Von den Grundlagen bis zu Anwendungen im Show- und Eventbereich – dieses Lehrbuch vermittelt alles, was Sie über Licht und Beleuchtung im Medienbereich wissen müssen.

Neben den Grundgrößen der Lichttechnik und Farbmehrheit und der Wahrnehmung des Auges werden die Eigenschaften von Lichtquellen inklusive LEDs, verschiedene Scheinwerfer, Lichtstellpulte und die Lichtsteuerung behandelt. Moderne Lichtsysteme wie Medienwände und Medienservert (Digital Lighting) werden erläutert und ihre Anwendung gezeigt.

Das Buch zeigt Anwendungen von Theater- über Fernseh- bis zum Show- und Eventlicht. Beispiele aus der Praxis, etwa zum Eurovision Song Contest, vermitteln, was mit Licht und Beleuchtung möglich ist.

Das Buch bietet Verständnisfragen, Übungsbilder, viele Fotos, Grafiken und Infokästen und eignet sich daher ideal als kursbegleitendes Lehrbuch oder zum Selbststudium. Die Autoren arbeiten alle im Bereich Lichtplanung und Lichtdesign und garantieren einen hohen Praxisbezug.

## Prof. Dr.-Ing. Roland GREULE

ist Professor im Department Medientechnik (Fakultät DMI) der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg und Leiter des Lichtlabor.

## AUS DEM INHALT //

- Lichttechnische Grundgrößen
- Licht- und Farbmesstechnik
- Lichtquellen
- Digital Lighting
- Lichtgestaltung und Lichtdesign
- Film-, Konzert-, Show- und Event-Licht
- Lichtpläne und Lichtsimulation

## UNSER BUCHTIPP FÜR SIE //



Schmidt, Digitale Film- und Videotechnik  
256 Seiten, Broschur, € 29,90.  
ISBN 978-3-446-42477-7

HANSER

