

2.	Anforderungen an das Aufmerksamkeitsniveau	285
a)	Monotone Arbeit.....	286
b)	Abwechslungsreiche Arbeit.....	287
3.	Klimaverhältnisse bei der Arbeit.....	288
4.	Lärm bei der Arbeit	290
5.	Saubere und stark schmutzende Arbeit.....	291
6.	Farben der Arbeitsunterlagen.....	292
7.	Vermeidung von Farbreflexen.....	294
E.	Beleuchtung und Farbgebung in industriellen Produktionsstätten	296
<i>I.</i>	<i>Erstellung eines Beleuchtungskonzeptes.....</i>	<i>296</i>
<i>II.</i>	<i>Erstellung eines Farbplanes.....</i>	<i>298</i>
<i>III.</i>	<i>Anwendungsbeispiele von Licht und Farbe</i>	<i>300</i>
1.	Metallverarbeitende Industrie	300
a)	Grobmontage und schwere Schmiedearbeiten.....	300
b)	Schweißen, Schlosserarbeiten, Maschinenarbeiten grober und mittlerer Art mit zulässigen Abweichungen $\geq 0,1$ mm	301
c)	Feine Maschinenarbeit mit zulässigen Abweichungen $\leq 0,1$ mm	302
d)	Anreiß- und Meßplätze, Lackier- und Kontrollarbeiten.....	303
e)	Farbgestaltung	304
2.	Chemische Industrie	306
a)	Überwachungsarbeiten an verfahrenstechnischen Anlagen.....	306
b)	Meß- und Steuerbühnen, Kontrollwarten und Laboratorien	307
c)	Kontrollarbeiten, Forschungslaboratorien.....	308
d)	Farbgestaltung	308
3.	Elektrotechnische Industrie.....	309
a)	Größere Arbeiten wie die Montage größerer Maschinen, Herstellung von Kabeln, Lackieren und Tränken von Spulen, Galvanisieren usw.....	309
b)	Mittel feine Arbeiten wie die Montage von kleineren Motoren, Wickeln von Spulen usw.....	310
c)	Feinere Arbeiten wie das Wickeln feiner Drahtspulen, Montage komplizierter Geräte, Prüfen und Eichen	311
d)	Sehr feine Arbeiten wie die Montage kleinster Teile	311
e)	Farbgestaltung	312
4.	Arbeiten in Hütten, Walzwerken und Gießereien	312
a)	Ständig besetzte Arbeitsplätze in Produktionsanlagen, an Öfen und Gießhallen.....	313

b)	Ziehen von Drähten und Profilen, Handformerei, Spritzguß.....	314
c)	Bearbeitung von Blechen und Drähten, Kernmacherei.....	314
d)	Farbgestaltung	315
5.	Holzverarbeitende Industrie	316
a)	Arbeiten an Dampfgruben.....	316
b)	Arbeiten am Sägegatter.....	316
c)	Hobeln, Leimen, Sägen und Fräsen	317
d)	Auswählen von Furnierhölzern, Furnieren, Lackieren, Polieren, Drechseln und Modelltischlern.....	317
e)	Farbgestaltung	318
	Literaturverzeichnis	320

Tabellenverzeichnis

Tabelle C1:	Versuche zur subjektiven Bewertung von Beleuchtungs- niveaus.....	50
Tabelle C2:	Darstellung der notwendigen Beleuchtungsstärke in Ab- hängigkeit von Alter und Sehaufgabe.....	57
Tabelle C3:	Ansprüche an die Beleuchtung, dargestellt an Beispielen verschiedener Arbeitsaufgaben und Räumlichkeiten	60
Tabelle C4:	Beleuchtungsstärken für verschiedene Tätigkeiten nach DIN 5035, Teil 2	62
Tabelle C5:	Stufen der Farbwiedergabe gemäß DIN 6169.....	68
Tabelle C6:	Farbwiedergabeeigenschaften verschiedener Lichtquellen.....	69
Tabelle C7:	Verhältnis zwischen deutschen Güteklassen und dem Blendungsgrad G.....	82
Tabelle C8:	Reflexionsgrade verschiedener Oberflächen und Gegen- stände	95
Tabelle C9:	Zusammenhang zwischen Tageslichtquotienten und An- spruchsniveau an die Beleuchtung	109
Tabelle C10:	Zusammenhang zwischen Neigungsgrad und Ausrichtung in die Himmelsrichtungen von Oberlichtern sowie den maximalen Bestrahlungssummen (kWh/m ²).....	113
Tabelle C11:	Zusammenhang zwischen Tageslichtquotienten und Fensterhöhe	120
Tabelle C12:	Reflexionsgrade verschiedener Reflektorbaustoffe	140
Tabelle C13:	Transmission-, Reflexions- und Absorptionsgrade licht- durchlässiger Baustoffe in Prozent.....	143
Tabelle C14:	Klassifizierung der Leuchten nach dem unteren und dem oberen halbräumlichen Lichtstrom.....	146

Tabelle C15:	Betriebswirkungsgrade einiger Innenleuchten	148
Tabelle C16:	Schutzarten gegen Fremdkörper, Berührung und das Eindringen von Wasser	151
Tabelle C17:	Technische Daten von Allgebrauchslampen	163
Tabelle C18:	Technische Daten von Halogenlampen	167
Tabelle C19:	Verschiedene Lichtfarben von Leuchtstofflampen im betrieblichen Einsatz	176
Tabelle C20:	Technische Daten von Leuchtstofflampen	177
Tabelle C21:	Vergleich von Lichtstrom und Leistung von Glühlampen und Kompaktleuchtstofflampen	178
Tabelle C22:	Technische Daten von Natriumdampf-Niederdrucklampen	181
Tabelle C23:	Technische Daten von Natriumdampf-Hochdrucklampen	184
Tabelle C24:	Technische Daten von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	187
Tabelle C25:	Technische Daten von Halogen-Metallampflampen	190
Tabelle C26:	Technische Daten von Xenonlampen	192
Tabelle C27:	Technische Daten von Mischlichtlampen	194
Tabelle C28:	Vergleich der Betriebsdaten von Leuchtstofflampen bei 50 Hertz mit Drossel und im Hochfrequenz-Betrieb mit elektronischem Vorschaltgerät	200
Tabelle C29:	Daten der Sanierung einer Beleuchtungsanlage	207
Tabelle D1:	Mischfarben aus Nachbild und Folgefeld	231
Tabelle D2:	Bevorzugte und abgelehnte Farben in Abhängigkeit vom Lebensalter	246
Tabelle D3:	Farben für Rohrleitungen gemäß DIN 2403	256
Tabelle D4:	Darstellung der Inhaltsstoffe von Wasserleitungen	257
Tabelle D5:	Mindest- und Optimalwerte von gelb-schwarzen Warnstreifen	266
Tabelle D6:	Farben für Maschinen und deren unmittelbares Umfeld	281

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A1:	Das Leistungsangebot des Menschen	20
Abbildung B1:	Spektrum der sichtbaren elektromagnetischen Strahlung und spektraler Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$	24
Abbildung B2:	Lichtstrom	25
Abbildung B3:	Lichtstärke	26
Abbildung B4:	Beleuchtungsstärke	27
Abbildung B5:	Reflexion und Transmission	30
Abbildung B6:	Aufbau des Auges	31
Abbildung C1:	Aufbau der Arbeitsstättenverordnung	44
Abbildung C2:	Mehrleistung in einer Lederstanzerei durch Steigerung der Beleuchtungsstärke	51
Abbildung C3:	Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke, Arbeitsleistung und Ermüdung	52
Abbildung C4:	Zusammenhang zwischen Fehlerzahl und Be- leuchtungsstärke	53
Abbildung C5:	Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Leistung, Ermüdung, Fehlerrate und Unfallzahlen	55
Abbildung C6:	Höherer Lichtbedarf älterer Menschen	56
Abbildung C7:	Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke, Objektgröße und Kontrast	58
Abbildung C8:	Relative Energieverteilung einer Glühlampe und des Tageslichts	67
Abbildung C9:	Spiegelnde Reflexion	76

Abbildung C10: Kritischer Ausstrahlungsbereich einer Leuchte nach DIN 5035, Teil 1	79
Abbildung C11: Leuchtdichte-Grenzkurven gemäß DIN 5035, Teil 1	81
Abbildung C12: Direkte Beleuchtung	86
Abbildung C13: Indirekte Beleuchtung	88
Abbildung C14: Teilweise indirekte Beleuchtung	89
Abbildung C15: Erwünschte Leuchtdichte in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad	91
Abbildung C16: Bevorzugte Deckenleuchtdichte L_C in Abhängigkeit von der Leuchtenleuchtdichte L_L	94
Abbildung C17: Tages- und jahreszeitlicher Verlauf der Horizontalbeleuchtungsstärken (lx) im Freien	112
Abbildung C18: Maximale Leuchtdichten bei verschiedenen Oberlichtvarianten (Diffuser Transmissionsgrad 0,7)	117
Abbildung C19: Verteilung der Beleuchtungsstärke in einem durch Fenster beleuchteten Raum	119
Abbildung C20: Raupen- und Satteloberlicht	122
Abbildung C21: Laternenoberlicht	123
Abbildung C22: Kuppeloberlicht	124
Abbildung C23: Sheddach	125
Abbildung C24: Aufbau einer Leuchte	135
Abbildung C25: Ornamentglas	142
Abbildung C26: Prismenglas	142
Abbildung C27: Lichtstärkeverteilung von Leuchten	145
Abbildung C28: Verschiedene Leuchtentypen zur Allgemeinbeleuchtung oder arbeitsplatzorientierten Allgemeinbeleuchtung	153
Abbildung C29: Doppelarmige Gelenkleuchte	157
Abbildung C30: Scherengelenkleuchte	158
Abbildung C31: Aufbau einer Glühlampe	160

Abbildung C32: Kreisprozeß der Halogenlampe	165
Abbildung C33: Anregung eines Gases	169
Abbildung C34: Lichtstrom von Leuchtstofflampen in Abhängigkeit von der Spannung	172
Abbildung C35: Lichtstromabnahme einer Leuchtstofflampe im Laufe der Brennzeit	173
Abbildung C36: Temperaturabhängigkeit des Lichtstromes von Leuchtstofflampen	174
Abbildung C37: Relative spektrale Strahldichtevertelung ausgewählter Leuchtstofflampen im sichtbaren Bereich	175
Abbildung C38: Relative spektrale Strahldichtevertelung ausgewählter Entladungslampen im sichtbaren Bereich	189
Abbildung C39: Induktive Schaltung mit Glimmstarter und kapazitive Schaltung	197
Abbildung C40: Duo-Schaltung	198
Abbildung C41: Tandem-Schaltung	198
Abbildung C42: Elektronisches Vorschaltgerät	199
Abbildung D1: Entstehung farbiger Schatten	228
Abbildung D2: Vorder- und Hintergrund eines farbigen Musters	242
Abbildung D3: Bedeutung von Farbe und Gesichtsfeld zur Unfall- verhütung	263

Abkürzungsverzeichnis

α	Absorptionsgrad
γ	Halbwertwinkel
ρ	Reflexionsgrad
σ	Streuvermögen
τ	Transmissionsgrad
ASR	Arbeitsstätten-Richtlinie
ASV	Arbeitsstätten-Verordnung
cd	Candela (Maßeinheit für die Lichtstärke)
cd/m ²	Maßeinheit für die Leuchtdichte
EVG	elektronisches Vorschaltgerät
G	Blendungsgrad
HF	Hochfrequenz
Hz	Hertz
IR	infrarot
kHz	Kilohertz
lm	Lumen (Maßeinheit für den Lichtstrom)
lm/W	Maßeinheit für die Lichtausbeute
lx	Lux (Maßeinheit für die Beleuchtungsstärke)
nm	Nanometer
nw	neutralweiß
Pa	Pascal (Maßeinheit für Druck)
Ra	Maßzahl der Farbwiedergabe
S	Sehschärfe
tw	tageslichtweiß
UV	ultraviolett
V	Volt
V(λ)	spektraler Hellempfindlichkeitsgrad
W	Watt
ww	warmweiß

A. Die Bedeutung von Licht und Farbe im Industriebetrieb

Das Auge ist die wichtigste Verbindung des Menschen zur Außenwelt.¹ Rund 90 Prozent aller Umweltinformationen werden auf visuellem Wege wahrgenommen.² Der Einsatz von Licht und Farbe bietet daher vielfältige Möglichkeiten zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit eines Industriebetriebes.³

Bereits in den 50er- und 60er-Jahren wurden die Auswirkungen von Licht und Farbe auf den arbeitenden Menschen untersucht. Es gibt allerdings nur wenige neue Veröffentlichungen auf diesem Gebiet. Dadurch besteht die Gefahr, daß der große Einfluß von Licht und Farbe auf die Arbeitsleistung nicht in genügendem Umfang berücksichtigt wird.

Eine wirtschaftswissenschaftliche Behandlung dieser Thematik sollte aktuelle Erkenntnisse aus den Bereichen Physik, Architektur, Lichttechnik, Ergonomie und Arbeitspsychologie integrieren. Dies ermöglicht es, die vielfältigen Auswirkungen von Licht und Farbe auf die Beschäftigten eines Industriebetriebes aufzuzeigen. Zudem lassen sich hieraus Empfehlungen für den sinnvollen Einsatz optischer Elemente ableiten.⁴

Direkten Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit eines Industriebetriebes hat das menschliche Leistungsangebot. Dieses setzt sich nach Schulte aus der Leistungsfähigkeit und der Leistungsbereitschaft zusammen.⁵ Die *Leistungsfähigkeit* besteht aus ererbten Eigenschaften, Fähigkeiten und Kenntnissen eines

¹ Vgl. Ewert, J.P., Nerven- und Sinnesphysiologie, Braunschweig, 1982, S. 89.

² Vgl. Bauer, E.W., Humanbiologie, 1. Auflage Berlin, 1981, S. 154; vgl. Hartmann, E., Beleuchtung am Arbeitsplatz, herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, 3. Auflage München, 1985, S. 6.

³ Mellerowicz, K., Betriebswirtschaftslehre der Industrie, Band I: Grundfragen und Führungsprobleme industrieller Betriebe, 7., neubearbeitete Auflage Freiburg i.Br., 1981, S. 381.

⁴ Vgl. Ott, E./Boldt, A., Wörterbuch zur Humanisierung der Arbeit, herausgegeben von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, Bremerhaven, 1983, S. 127.

⁵ Vgl. Schulte, B., Wesen menschlicher Leistung, in: Taschenbuch der Arbeitsgestaltung, herausgegeben vom Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Köln, 1978, S. 27 - 41.

Menschen. Die *Leistungsbereitschaft* setzt sich aus der physiologischen Leistungsbereitschaft (Disposition) und der psychologischen Leistungsbereitschaft (Leistungsmotivation) zusammen. Abbildung A1 zeigt die verschiedenen Komponenten des Leistungsangebotes.

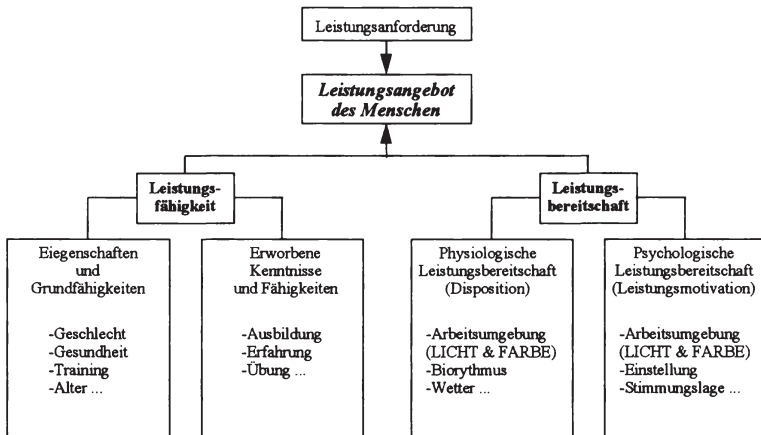


Abbildung A1: Das Leistungsangebot des Menschen⁶

Wie aus Abbildung A1 hervorgeht, ist die Grundfähigkeit eines guten Sehvermögens ein wichtiger Bestandteil der menschlichen *Leistungsfähigkeit*. Eine optimale Beleuchtung und Farbgebung am Arbeitsplatz trägt zu ihrer Erhaltung bei.⁷

Die *physiologische Leistungsbereitschaft* wird in weitem Maße durch die Gestaltung der Umweltbedingungen beeinflusst. Das "...Auge kann nur dann optimal arbeiten, wenn die Schaufgabe seinen physiologisch-optischen Eigenschaften möglichst gut ..." ⁸ angepaßt wird.

⁶ Vgl. Schulte, B., Wesen menschlicher Leistung, S. 27 - 41; dargestellt nach REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 1, Grundlagen, 7. Auflage München, 1984, S. 135.

⁷ Der Gebrauch des Wortes Farbe bezieht sich in der vorliegenden Arbeit vor allem auf die Wahrnehmung farblicher Reize. Andere Aspekte, wie z.B. Farbe als Anstrich werden nur gelegentlich berücksichtigt.

⁸ Hartmann, E., Beleuchtung und Sehen am Arbeitsplatz - Einführung in die Beleuchtungstechnik, Physiologie des Sehens, München, 1970, S. 9.

Waren noch vor wenigen Jahrzehnten vor allem Arbeitsleistungen im körperlich-physischen Bereich zu erbringen, so gewannen im Laufe der Zeit verstärkt dispositive und überwachende Funktionen an Bedeutung.⁹ Moderne Arbeitsplätze erfordern daher oft eine besonders gute Sehfähigkeit. Hinzu kommt, daß in der Produktion technischer Güter geringere Toleranzen zugrunde gelegt werden und zunehmend kleinere Details bearbeitet werden müssen. Licht und Farbe bieten gute Ansatzpunkte zur Optimierung und Anpassung der menschlichen Arbeitsleistung an die zum Teil gestiegenen Anforderungen.

Die richtige Beleuchtungsstärke steigert die Sehleistung und kann das betriebliche Problem eines altersbedingten Nachlassens der Sehschärfe in weitem Maße kompensieren. Über Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke können der Aufmerksamkeits- und Wachheitsgrad des Menschen beeinflusst werden. Der bewußte Einsatz von Kontrasten und farblichen Hinweisen begünstigt einen schnellen Arbeitsablauf durch eine beschleunigte Orientierung und eine fehlerfreie Informationsverarbeitung.¹⁰

Die von Licht und Farbe geprägte Umgebung eines Arbeitsplatzes hat auch weitreichende Auswirkungen auf die *psychologische Leistungsbereitschaft*. Zwischen vielen optischen Daten des visuellen Systems und olfaktorischen, gustatorischen sowie akustischen Reizen bestehen Verbindungen. Licht und Farbe am Arbeitsplatz bieten die Möglichkeit, die Art und Intensität der Wahrnehmung verschiedener Sinneseindrücke zu beeinflussen. Hier ergeben sich vielfältige Ansatzpunkte zur Einwirkung auf die Stimmungslage und die Einstellung der Beschäftigten gegenüber ihrer Tätigkeit.

Neben einer Steigerung der Arbeitsleistungen lassen sich weitere Ansatzpunkte zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit eines Industriebetriebes durch

⁹ "Überschaut man den Komplex Mensch-Arbeit, Mensch-Maschine, kommt man bald zu der Erkenntnis, daß die optimale Gestaltung der Arbeitsvorgänge nur möglich ist, wenn all die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Mensch (mit seiner körperlich-seelischen Veranlagung), der geforderten Arbeitsleistung und der zur Verfügung stehenden Apparatur (Maschinen und Werkzeuge), ja sogar dem benutzten Arbeitsplatz und der Umgebung erkannt und wirkungsbeußt eingesetzt werden." Mellerowicz, K., Sozialorientierte Unternehmensführung, 2., neubearbeitete Auflage von "Strukturwandel und Unternehmensführung", Freiburg i.Br., 1976, S. 228.

¹⁰ Visuelle Reize haben über das vegetative Nervensystem und die Hirnanhangdrüse zudem Auswirkungen auf Vorgänge des Stoffwechsels. Weitere Einflüsse von Licht und Farbe lassen sich auf das Keimdrüsenwachstum, Puls und Blutdruck nachweisen. Vgl. Frieling, H., Farbe am Arbeitsplatz, herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München, 1984, S. 79.