

Lichttechnische und ergonomische Anforderungen an Arbeitsplatzleuchten

STELLENWERT DER ARBEITSPLATZLEUCHTE

Der Stellenwert der Arbeitsplatzleuchten in der Normung ist eng mit der historischen Entwicklung der Beleuchtungsnorm DIN 5035 verbunden. Nicht zuletzt durch die jeweils vorherrschende Lampentechnologie änderte sich damit auch die Priorität von Arbeitsplatzleuchten innerhalb eines Beleuchtungskonzeptes. So gab es im Jahre 1953 noch 2 Konzepte in dieser Norm - einerseits eine Allgemeinbeleuchtung, andererseits eine "Platzbeleuchtung mit zusätzlicher Allgemeinbeleuchtung". Diese Platzbeleuchtung wurde zu jener Zeit im wesentlichen mit Glühlampen realisiert, während die wachsende Zahl von Leuchtstofflampen mit deutlicher höherer Lichtausbeute bald in der Allgemeinbeleuchtung dominierte. Die Kombination dieser Komponenten, welche auch in der Lichtfarbe oft nicht gut harmonierten, sowie die einhergehende zusätzliche Wärmebelastung führten schnell zu einem Verdrängen der Arbeitsplatzleuchten, zumindest aus der Bürolandschaft. Mit dem Aufkommen der Großraumbüros in den 70er Jahren konnte man nun die ausgereifte Leuchtstofflampentechnik nutzen, um mit einer alleinigen Allgemeinbeleuchtung "an allen Arbeitsstellen gleich gute Sehverhältnisse" zu schaffen. Sie war nun das bevorzugte Konzept, da man jetzt in der Lage war, hohe gleichmäßige Beleuchtungsstärken mit einer einzigen Komponente zu erzielen. Damit wurde auch die Nutzung von Tageslicht innerhalb der Normung relativ unbedeutend. Hintergrund dieses Beleuchtungskonzeptes war offenbar weniger die Grundsatzlösung "Gleiches Licht für alle", sondern vielmehr die Möglichkeit, Arbeitsplätze frei im Raum aufstellen zu können und somit diesen unabhängig von der Beleuchtungskonfiguration flexibel zu nutzen. Unterschiedliche individuelle Bedürfnisse der Nutzer wurden dabei ebenso wenig berücksichtigt wie die Raumwirkung. Eine "Einzelplatzbeleuchtung" war praktisch nur noch für Tätigkeiten zulässig, die aufgrund ihrer besonderen Sehanforderungen normative Nennbeleuchtungsstärken von 1000 lx und mehr forderten (Ausgabe 1979).

Mit der zunehmenden Verbreitung von Bildschirmarbeitsplätzen und der damit verbundenen Problematik der Reflexblendung gewann die Arbeitsplatzleuchte als individuelle Beleuchtungskomponente wieder an Bedeutung. Zusammen mit den gesellschaftlichen Erfordernissen nach energieeffizienter Beleuchtung und der Verfügbarkeit von Kompaktleuchtstofflampen führten diese Faktoren im letzten Jahrzehnt zu einer breiteren Wiederbelebung der Arbeitsplatzleuchten in der Bürolandschaft. Wissenschaftliche Untersuchungen, u.a. an der TU Ilmenau [4] und der Universität Karlsruhe [5], untermauerten deren Existenzberechtigung und hohe Akzeptanz beim Anwender in Verbindung mit einer (geringer dimensionierten) Allgemeinbeleuchtung. Dieses Konzept der "Kombinierten Beleuchtung" fand schließlich seine normative Berücksichtigung mit dem 1994 neu erschienenen Teil 8 der DIN 5035 "Spezielle Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen". Zur Definition heißt es dazu: "Eine Arbeitsplatzleuchte ist eine Leuchte für eine Einzelplatzbeleuchtung nach DIN 5035 Teil 1, die einem Arbeitsplatz zugeordnet ist" [8]. Damit wird dem Nutzer die Möglichkeit gegeben, die Beleuchtung an seinem Arbeitsplatz entsprechend der tatsächlichen Sehaufgabe und seinen individuellen Bedürfnissen

anzupassen und eine ausgewogene dynamische (nicht homogene) Beleuchtungsverteilung im Raum zu schaffen. [1][2]

SEHANFORDERUNGEN IN DER ARBEITSWELT

Gemeinhin denkt man beim Begriff der Arbeitsplatzleuchte an die "Schreibtischleuchte" im Büro, auf welche sich auch hauptsächlich die Anforderungen in DIN 5035 Teil 8 beziehen. Es gibt jedoch auch eine ganze Reihe von Arbeitsplätzen, die aufgrund ganz spezifischer Sehanforderungen besondere Beleuchtungsbedingungen erforderlich machen, die i.d.R. nur mit speziellen Arbeitsplatzleuchten zu erfüllen sind.

So verlangen beispielsweise Prüfplätze in der Elektronik oder Feinmechanik oft gerichtetes Licht, um räumliche Strukturen oder feine Risse unter Ausnutzung des Glanzeffektes gut sichtbar machen zu können, während an Farbprüfplätzen in der Druckindustrie nur mit großflächiger diffuser Beleuchtung und sehr guter Farbwiedergabe relevante Farbdifferenzen zu erkennen sind. Diese unterschiedlichen Anforderungen resultieren in Arbeitsplatzleuchten, die sich je nach Anwendungsgebiet in Konstruktion, Lampentechnologie sowie räumlicher und spektraler Lichtverteilung deutlich voneinander unterscheiden können.[3]

Tabelle 1 zeigt einen exemplarischen Überblick über verschiedene Einsatzgebiete von Arbeitsplatzleuchten.

Arbeitsplatz	Besondere (Seh-)Anforderungen	Ausführungsbeispiel
Büro (Schreib-/Lesetätigkeiten)	• Gleichmäßige Lichtverteilung auf der Arbeitsfläche • Gute Erkennbarkeit von Arbeitsunterlagen und Bildschirm • Blendfreiheit • Flexible Einstellbarkeit • Ergonomische Bedienung	Büro-Arbeitsplatzleuchte mit Gelenkgestänge und Blendenschutzraster 
Prüfplätze Elektronik	• Erkennung geringer Kontraste über größere Flächen	Universalleuchte mit hoher Beleuchtungsstärke und gleichmäßiger Ausleuchtung 
	• Gute räumliche Detailerkennung • Federentlastete Gelenke	Lupenleuchte mit Ringleuchstofflampe 

Farbabmusterung	• Großflächige diffuse Beleuchtung ohne Reflexe • Hohe Gleichmäßigkeit • Sehr gute Farbwiedergabe	Großflächige Auflichtleuchte mit Leuchtstofflampen hoher Farbwiedergabestufe 
Medizinische Untersuchungen	• Sehr hohe Beleuchtungsstärken auf begrenztem Leuchtfelddurchmesser • Gute Farbwiedergabe (besonders rötliche Farbtöne) • Geringe Wärmeabstrahlung • Geringe Abschattung durch den Arzt	Untersuchungsleuchte mit Halogenlampe und Filter zur Wärmeabsorption und Konversion der Lichtfarbe 
Maschinenarbeiten/ Feinmechanik	• Flächig verteilte Beleuchtungsstärken • Flimmerfrei • Robuster Aufbau, leichte Reinigung • Hoher Schutzgrad	Schutzrohrleuchte in IP 67 mit elektronischem Vorschaltgerät und Parabolraster 
	• Hohe Kontrastwahrnehmung durch Glanzeffekte • Streiflicht zur Erkennung von Unebenheiten	Halogenleuchte mit gerichteter Abstrahlcharakteristik und begrenztem Leuchtfelddurchmesser 

Tabelle 1

LICHTTECHNISCHE GÜTEPARAMETER UND MESSUNG

Um Arbeitsplatzleuchten entsprechend ihren unterschiedlichen Einsatzbereichen beleuchtungstechnisch bewerten zu können, sind seitens des Herstellers bestimmte Güteparameter anzugeben. Dabei sollten vor allem Aspekte der Gebrauchstauglichkeit im Vordergrund stehen, die die Eignung

des Produktes bezüglich seines Anwendungszweckes beschreiben. Dieses Konzept der Gebrauchstauglichkeit, deren Zielerfüllung sich nach den Hauptkriterien Effektivität, Effizienz und Nutzerzufriedenheit ausrichtet, wird wohl auch künftig in Teil 8 der DIN 5035 berücksichtigt werden, die dann keine Anforderungen an die Planung mehr enthält, sondern eine reine Produktnorm darstellen soll. Es wird damit vor allem den weiteren Anwendungsgebieten von Arbeitsplatzleuchten außerhalb des Büros Rechnung getragen.

Beleuchtungsstärkeverteilung

Das wohl am häufigsten angewandte Kriterium ist die Beleuchtungsstärke E (Lichtstrom pro Flächeneinheit auf der Bewertungsebene), die in Lux angegeben wird. Zur vollständigen Beschreibung wird hier sinnvollerweise die zweidimensionale Verteilung der Beleuchtungsstärke auf einer definierten Bewertungsfläche dargestellt. Daraus können statistische Größen wie Minimum, Maximum und Mittelwert abgeleitet werden, aus denen sich auch weitere Verteilungsparameter (örtliche Gleichmäßigkeiten $g_1 = E_{\min}/E_m$, $g_2 = E_{\min}/E_{\max}$) berechnen lassen. Zu beachten sind hier jedoch noch weitere Randbedingungen, die bei vergleichenden Messungen einzuhalten sind:

- gleicher Messabstand zwischen Leuchte und Bewertungsebene
- gleiches Bewertungsfeld und Messraster
- $V(\lambda)$ -angepaßte Empfänger
- Verwendung vorgealterter und eingebrannter Messlampen
- Einhaltung der elektrischen Parameter
- Eliminierung von Fremdlicht, reflexionsarme Umgebung

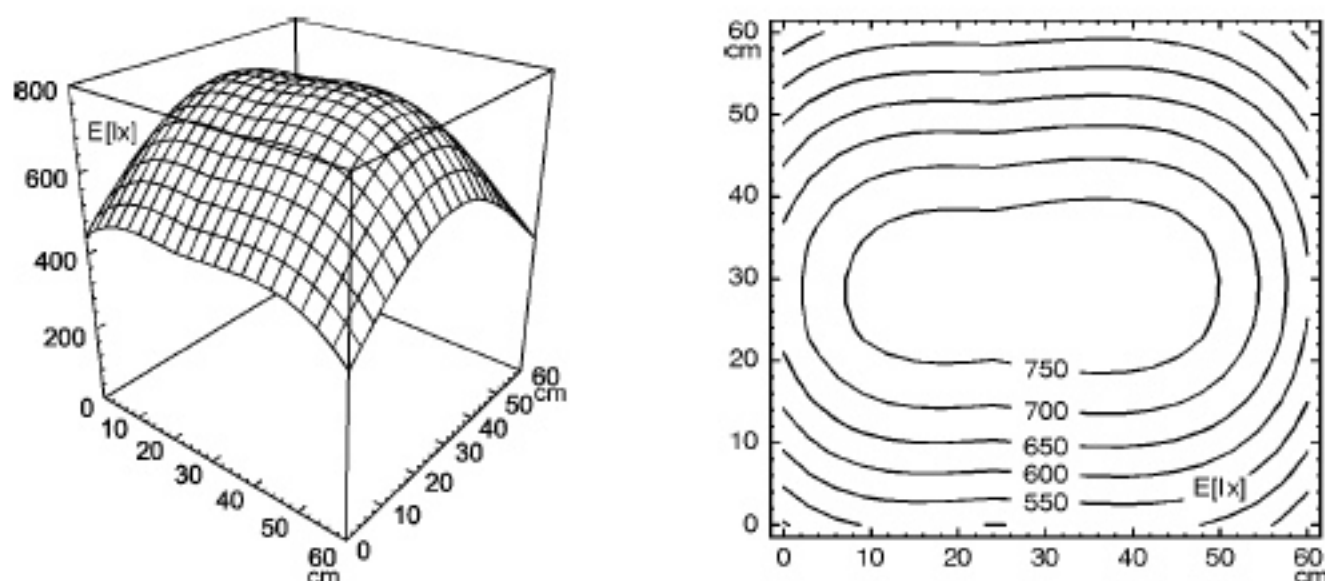


Abbildung 1: 3D-Darstellung und Isolux-Diagramm der Beleuchtungsstärkeverteilung einer Büro-Arbeitsplatzleuchte

Am genauesten kann man die Wertematrix mittels sequenzieller Abfrage eines Beleuchtungsstärke-sensors auf einem x-y-Koordinatentisch ermitteln, da hier ein systematischer Fehler des Meßgerätes innerhalb der gemessenen Verteilung nahezu konstant bleibt. Für Messungen mit geringerem Genauigkeitsanspruch sind auch parallele Sensorabfrage bzw. CCD-Kamera-Meßtechnik zweckmäßig. Für einige Anwendungen mit rotationssymmetrischer Lichtverteilung ist oft die Leuchtfeldgröße von Interesse. Hier bedient man sich i.d.R. des D_{10} -Durchmessers. Dies ist der mittlere Durchmesser der Isoluxlinie auf der Bewertungsebene, bei der 10% der Zentrumsbeleuchtungsstärke erreicht werden. Analog können auch weitere charakteristische Werte, wie z.B. der D_{50} -Durchmesser, bestimmt werden.

Zeitliche Gleichmäßigkeit

Das mit doppelter Netzfrequenz pulsierende Licht (100Hz-Flimmern) von Leuchtstofflampen ist besonders im Bereich rotierender Maschinenteile zu vermeiden. Diese Frequenzüberlagerung, bekannt als "stroboskopischer Effekt", führt zum "Zerhacken" der kontinuierlichen Drehbewegung und kann daher zur verfälschten Wahrnehmung führen (u.U. scheinbarer Stillstand). Um diese potenzielle Gefahr für das Bedienpersonal zu vermeiden, sollten hier elektronische Vorschaltgeräte Einsatz finden.

Blendungsbegrenzung

Eine von der Arbeitsplatzleuchte ausgehende Direktblendung ist sowohl in Bezug auf den unmittelbaren Nutzer als auch weitere anwesende Personen im Raum zu vermeiden. Die DIN 5035 Teil 8 fordert daher für büroähnliche Räume bestimmte Grenzen der mittleren Leuchtdichten (200 cd/m² bzw. 1000 cd/m² für benachbarte Arbeitsplatzleuchten), die unter einem Blickwinkel von $\alpha \leq 30^\circ$ oberhalb der Horizontalen gemessen werden können. Im Sinne der Gebrauchstauglichkeit ist es daher zweckmäßig, entblendete Arbeitsplatzleuchten (z.B. mit Parabolspiegellaster) zusätzlich mit einer mechanischen Begrenzung des Kopfgelenkes zu versehen, so dass der Leuchtenkopf nur um $\pm 30^\circ$ um die Horizontalachse geneigt werden kann.



Abbildung 2: Begrenzung der Direktblendung durch Parabolspiegellaster

Die Messung mittlerer Leuchtdichten gestaltet sich mit herkömmlichen Leuchtdichtemessgeräten sehr aufwendig, da viele punktuelle Messungen erforderlich wären und örtlich begrenzte Leuchtdichtespitzen, wie sie zum Beispiel am Entblendungsraster auftreten, kaum richtig bewertet werden können. Eine schnellere Alternative bieten hier ebenfalls Meßsysteme, die auf einer ortsauflösenden CCD-Kamera mit guter $V(\lambda)$ -Anpassung basieren.

Bezüglich der indirekten Blendwirkung durch umgebende Oberflächen bzw. Bildschirme unterscheidet man einerseits die Reflexblendung, die durch Lichtreflexe auf glänzenden Oberflächen unzulässige Blendung hervorruft, und andererseits die (im allgemeinen kritischere) Schleierreflexion, bei der sich durch Überlagerung einer diffusen Schleierleuchtdichte auf das Sehobjekt die Kontraste wesentlich vermindern. Die Lesbarkeit wird somit deutlich erschwert. Gekennzeichnet wird die Kontrastminderung durch den Kontrastwiedergabefaktor CRF (Contrast Rendering Factor), der sich aus dem Verhältnis der Kontraste mit und ohne zusätzlicher Schleierreflexion unter Berücksichtigung einer definierten Referenzbeleuchtung ergibt.

Die Aufstellposition der Leuchte sollte bei glänzenden Arbeitsunterlagen so gewählt werden, dass sowohl Reflexblendung als auch Schleierreflexion minimiert werden, beispielsweise durch seitlichen Lichteinfall.



Abbildung 3: Schleierreflexionen der Allgemeinbeleuchtung auf dem Arbeitsdokument

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Häufig stehen beim Einsatz von Arbeitsplatzleuchten weniger die maximalen Beleuchtungsstärken, sondern vielmehr die spektralen Eigenschaften des abgegebenen Lichtes im Vordergrund. So ist die Erkennung geringster Farbunterschiede im Dentallabor nur dann gewährleistet, wenn die eingesetzte Lichtquelle sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften besitzt, also bestimmte Körperfarben durch das Lichtspektrum ebenso gut wiedergegeben werden wie unter einem definierten Referenzspektrum. Da Standardleuchtstofflampen kein kontinuierliches Spektrum, sondern dominante Spektrallinien besitzen, sind diese für anspruchsvolle Anforderungen nicht ausreichend. Einige Farbtönen werden hier nicht korrekt wiedergegeben, da bestimmte Wellenlängenbereiche unterrepräsentiert sind. Leuchtstofflampen hoher Farbwiedergabe besitzen daher kontinuierliche Spektralanteile (vgl. Abb. 4). Gekennzeichnet wird die Farbwiedergabe durch den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a bzw. durch adäquate Farbwiedergabestufen.

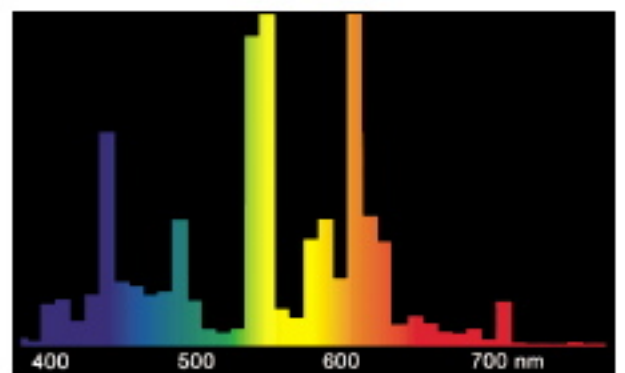
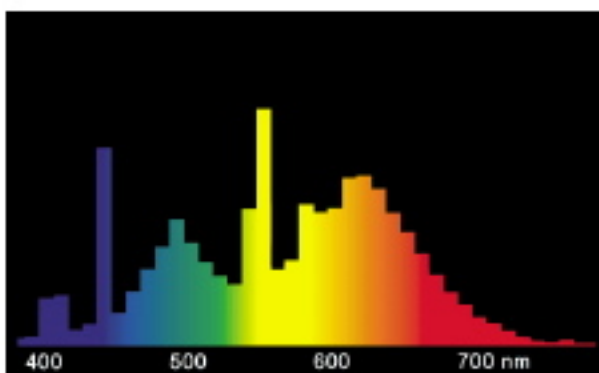


Abbildung 4: Spektralverteilungen von Leuchtstofflampen gleicher Lichtfarbe (4000 K), links: Farbwiedergabestufe 1A, rechts: Stufe 1B (Quelle: Osram)

Die Lichtfarbe hingegen bezeichnet die allgemeine Farbstimmung, die vom Betrachter wahrgenommen wird. Sie kann messtechnisch oder rechnerisch aus dem Spektrum ermittelt werden und wird durch die (ähnlichste) Farbtemperatur gekennzeichnet (Angabe in Kelvin). Die gemessene Farbtemperatur läßt jedoch keinen Rückschluß auf die spektrale Verteilung und somit auf die Farbwiedergabe zu. Man unterscheidet die Lichtfarben warmweiss (< 3000 K), neutralweiss (3000 - 5000 K) und tageslichtweiss (> 5000 K).

OPTIMIERUNG IM ENTWICKLUNGSPROZESS

In der Beleuchtungsindustrie werden zur Berechnung und Optimierung lichttechnischer Systeme zunehmend Simulationswerkzeuge, sogenannte Ray-Tracing-Programme eingesetzt. Dies ermöglicht bereits in der Konstruktionsphase der Leuchte, prinzipielle Aussagen über die Lichtverteilung und die Einhaltung der im Pflichtenheft geforderten Beleuchtungsparameter geben zu können und minimiert damit den Aufwand im Musterbau.

Das Prinzip der am Markt befindlichen Softwareprodukte beruht auf der Verfolgung einer im statistischen Sinne ausreichenden Vielzahl von Einzelstrahlen durch das lichttechnische Systemmodell, wobei jede Interaktion mit relevanten Flächen (Reflektor, Prismenstrukturen etc.) die Richtung und den "Energieinhalt" der Strahlen beeinflussen können (ray tracing = Strahlverfolgung). Die Genauigkeit des simulierten Ergebnisses, beispielsweise einer Beleuchtungsstärkeverteilung, hängt damit nicht zuletzt auch von der gewählten Strahlenanzahl ab, die oft in der Größenordnung von einer Million und mehr zu finden ist. Entsprechende Rechenzeiten von mehreren Stunden sind daher die Regel. Weitere Voraussetzungen sind u.a. die genaue Kenntnis der maßgeblichen Materialeigenschaften (Reflexionsgrad, Streuverteilung) sowie die Geometrie, Abstrahlcharakteristik und Lichtströme der verwendeten Lampen.

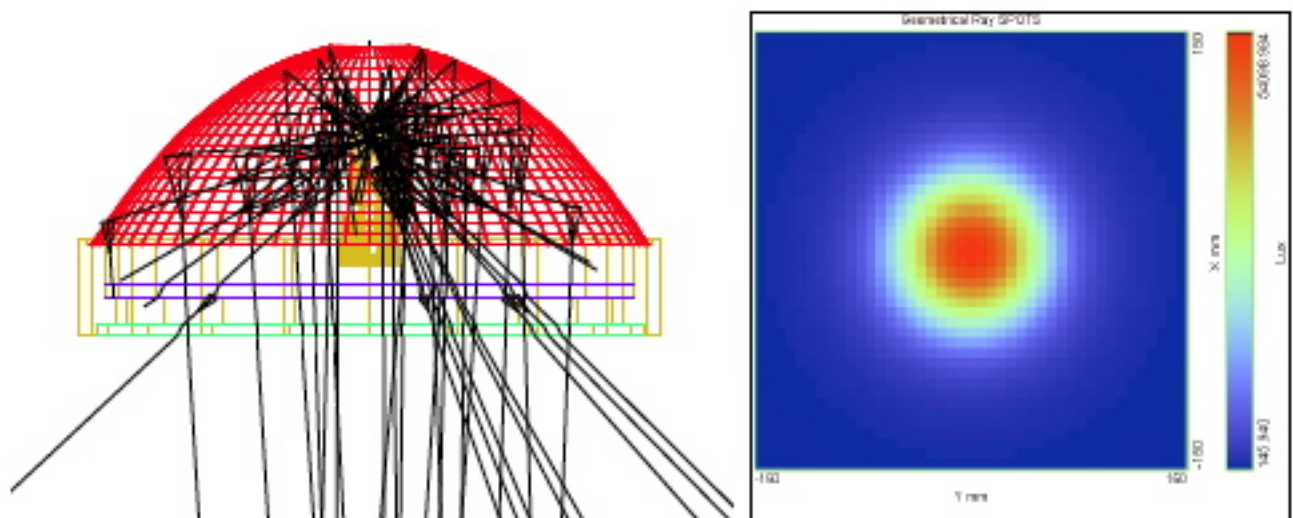


Abbildung 5: Simulationsbeispiel mit prinzipiellem Strahlenverlauf und Falschfarbenbild der Beleuchtungsstärkeverteilung auf der Bewertungsfläche

ERGONOMISCHE BEDEUTUNG MECHANISCHER FLEXIBILITÄT

Der Vorteil, den das Konzept der kombinierten Beleuchtung gegenüber einer reinen Allgemeinbeleuchtung ausspielen kann, ist die Möglichkeit des Anwenders, die Beleuchtung am Arbeitsplatz seinen individuellen Sehleistungen und Sehgewohnheiten sowie der gerade ausgeübten Tätigkeit gezielt anzupassen, ohne benachbarte Mitarbeiter wesentlich zu beeinflussen. Diesen Vorteil jedoch voll zu nutzen bedarf es auch entsprechender mechanischer Verstellmöglichkeiten. Die Anzahl der Freiheitsgrade und damit die Flexibilität wäre damit auch ein Gebrauchstauglichkeitsmerkmal im Hinblick auf die Effektivität der Beleuchtung. So sollte diese mechanische Flexibilität gewährleisten, dass sich der Nutzer entsprechend den Anforderungen seiner Schaufgabe das richtige Beleuchtungsniveau und die Lichtrichtung bzw. Schattigkeit einstellen kann. Ein Linkshänder wird z.B. das Licht vorzugsweise von rechts einfallen lassen, um störende Handschatten zu vermeiden. Auch die Forderung aus der Ergonomie-Norm EN ISO 9241 Teil 6 "Das Beleuchtungssystem sollte eine hinreichende Flexibilität aufweisen, um den Anforderungen der Benutzer von aktiven und passiven Anzeigen zu genügen" lässt sich idealerweise mittels Arbeitsplatzleuchten umsetzen, was

auch im informativen Anhang A Berücksichtigung findet [7].

Mechanische Verstellbarkeit spielt auch in ergonomischer Hinsicht bei der Vermeidung von Blendungserscheinungen eine wesentliche Rolle. Bei auftretender Direkt- oder Reflexblendung starrer Systeme wird der Nutzer diese durch langanhaltende Änderung der Blickrichtung oder Sitzposition auszuweichen versuchen, was in der Folge zu chronischen Haltungsschäden führen kann. Flexibel einstellbare Beleuchtungseinheiten können dem sinnvoll entgegenwirken.

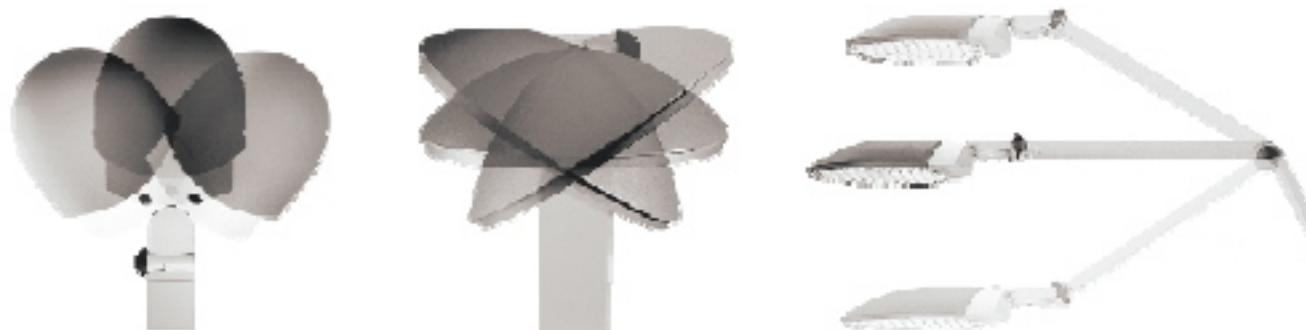


Abbildung 6: Prinzipielle Verstellmöglichkeiten einer Büro-Arbeitsplatzleuchte

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Çakir, E. A., Çakir, G.: „Licht und Gesundheit – Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros“, ERGONOMIC Institut für Arbeit und Sozialforschung Forschungsgesellschaft mbH, 3. erw. Auflage, Berlin, 1998
- [2] Eisele, S.: „Der neue Stellenwert von Arbeitsplatzleuchten bei der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen“, Tagungsband „Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen – neue Regelungen, neue Konzepte, neue Lösungen“, hrsg. v. Çakir, G., Çakir, A., ERGONOMIC Institut für Arbeits- und Sozialforschung Forschungsgesellschaft mbH, Berlin, 2001
- [3] Eisele, S., Körber, J.: „Das Licht am Industriearbeitsplatz“, Bibliothek der Technik, Band 157, Verlag moderne industrie, Landsberg/Lech, 1998
- [4] Gall, D., Vandahl, C., Greiner Mai, U., Wolf, S., Helm, H.-P.: „Einzelplatzbeleuchtung und Allgemeinbeleuchtung am Arbeitsplatz“, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 753, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1996
- [5] Bodmann, H. W., Ebenbach, K., Leszczynska, H.: „Lichttechnische und ergonomische Gütekriterien der Einzelplatzbeleuchtung im Büro“, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 712, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2. Auflage, Bremerhaven, 1992
- [6] Schmidt-Clausen, H.-J., Finsterer, H.: „Beleuchtung eines Arbeitsplatzes mit erhöhten Anforderungen im Bereich der Elektronik und Feinmechanik“, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 593, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 1996
- [7] EN ISO 9241-6 „Ergonomische Eigenschaften für Büroarbeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung“, Ausgabe 1999
- [8] DIN 5035, Teil 8 „Beleuchtung mit künstlichem Licht – Spezielle Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen“, Ausgabe 05/1994

Autorenangaben:

Dipl.-Ing. Jürgen Nevoigt
H. Waldmann GmbH & Co., Peter-Henlein-Str. 5
78056 Villingen-Schwenningen
Tel.: 07720-601-482
Fax: 07720-601-356
E-mail: j.nevoigt@waldmann.com