

Oldenbourg

Technische Handbibliothek

Band XXI:

Fabrikbeleuchtung

von

Dr.-Ing. N. A. Halbertsma



München und Berlin 1918
Druck und Verlag von R. Oldenbourg

Fabrikbeleuchtung

Ein Leitfaden der Arbeitsstättenbeleuchtung
für Architekten, Fabrikanten, Gewerbehygieniker,
Ingenieure und Installateure

von

Dr.-Ing. N. A. Halbertsma

Mit 122 Textabbildungen



München und Berlin 1918
Druck und Verlag von R. Oldenbourg

By

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Kapitel I. Beleuchtung und Arbeitsleistung	3
§ 1. Der unmittelbare Einfluß der Beleuchtung auf die Arbeitsleistung.	3
§ 2. Der mittelbare Einfluß der Beleuchtung auf die Arbeitsleistung.	8
Kapitel II. Die Beleuchtungshygiene	11
§ 3. Die Wirkung ungenügender Beleuchtung	11
§ 4. Beleuchtungsschwankungen	13
§ 5. Die Blendung des Auges	15
§ 6. Einwirkung schädlicher Strahlengattungen auf das Auge	19
Kapitel III. Unfälle durch mangelhafte Beleuchtung	23
§ 7. Statistisches Material.	23
§ 8. Die Aufgaben der Unfallverhütung.	28
Kapitel IV. Von der Lichtmessung.	30
§ 9. Der Lichtstrom als Grundgröße	30
§ 10. Die Beleuchtung	32
§ 11. Lichtstärke und Lichtverteilung	34
§ 12. Die Flächenhelle	38
Kapitel V. Das Tageslicht	40
§ 13. Natürliche Beleuchtung und Tageslichtquotient	40
§ 14. Oberlicht und Seitenlicht.	44
§ 15. Lichthöfe	50
§ 16. Die Richtung des einfallenden Lichtes	52

	Seite
Kapitel VI. Die künstlichen Lichtquellen unter besonderer Berücksichtigung der elektrischen Glühlampen	54
§ 17. Die Wahl der Lichtquelle	54
§ 18. Die neuere Entwicklung der elektrischen Glühlampe	57
§ 19. Die Kennzeichnung der Glühlampen	58
§ 20. Glühlampen mit besonderer Anordnung des Leuchtkörpers	61
Kapitel VII. Die Zubehöerteile der Lichtquellen . .	65
§ 21. Reflektoren	66
§ 22. Lichtstreuende Glocken	71
§ 23. Armaturen für indirekte und halbindirekte Beleuchtung	74
§ 24. Die Einstellung der Glühlampe	78
§ 25. Schutz der Glühlampe gegen Beschädigungen	81
Kapitel VIII. Die künstliche Beleuchtung der Innenräume	84
§ 26. Allgemeinbeleuchtung und Arbeitsplatzbeleuchtung	84
§ 27. Direkte, halbindirekte und indirekte Beleuchtung	86
§ 28. Die Schattenbildung bei direkter, halbindirekter und indirekter Beleuchtung	90
§ 29. Die Beleuchtung spiegelnd reflektierender Gegenstände	94
§ 30. Die erforderliche Beleuchtungsstärke	96
§ 31. Die Aufhängehöhe der Lichtquellen	100
§ 32. Die Anordnung der Lichtquellen	103
Kapitel IX. Die Beleuchtung des Arbeitsplatzes	109
§ 33. Der Reflektor für Arbeitsplatzbeleuchtung. . .	109
§ 34. Der Schutz gegen die Blendung des Auges	112
§ 35. Die Befestigung des Arbeitsplatzreflektors . . .	113
Kapitel X. Besondere Aufgaben der Fabrikbeleuchtung	118
§ 36. Werkzeugmaschinen	118
§ 37. Die Beleuchtung von Schalttafeln und Meßinstrumenten	123
§ 38. Die Beleuchtung feuergefährlicher Räume . . .	126
§ 39. Die Beleuchtung von Zeichensälen und Büroräumen	131

	Seite
Kapitel XI. Außenbeleuchtung	138
§ 40. Die Aufgaben der Außenbeleuchtung	138
§ 41. Die Stärke und die Gleichmäßigkeit der Außenbeleuchtung	140
§ 42. Die Beleuchtungskörper für Außenbeleuchtung	143
Kapitel XII. Projektierung und Berechnung der Beleuchtung	149
§ 43. Die Unterlagen für die Projektierung	149
§ 44. Die Ermittlung des Lichtbedarfs	152
§ 45. Berechnungsbeispiele	162
Kapitel XIII. Vorschriften und Leitsätze	165
§ 46. Gesetzliche Vorschriften für Fabrikbeleuchtung	165
§ 47. Die Vorarbeiten für ein englisches Fabrikbeleuchtungsgesetz	167
§ 48. Der amerikanische »Code of lighting«	168
§ 49. Leitsätze für Fabrikbeleuchtung	170
Kapitel XIV. Die Instandhaltung der Beleuchtungsanlagen	173
§ 50. Der Einfluß der Verschmutzung auf den Wirkungsgrad der Beleuchtungsanlagen	173
§ 51. Die Schwärzung der Glühlampen	178
§ 52. Maßnahmen zur Instandhaltung der Beleuchtungsanlagen	182
Literaturverzeichnis	185
Namen- und Sachregister	188

Einleitung.

Anderen Zweigen der Technik gegenüber nimmt die Lichttechnik insofern eine eigenartige Stellung ein, als neben mathematischen und physikalisch-technischen Problemen auch Fragen aus dem Gebiete der Physiologie und der Psychologie bei ihr auftauchen. Die Lichttechnik ist nicht eine bloße Strahlungstechnik, sie hat auch den Eindruck zu berücksichtigen, den diese Strahlung im Auge und Gehirn auslöst, und durch den sie erst als »Licht« empfunden wird.

Andererseits gibt es aber auch keine Technik, die in solchem Maße jeden Menschen, sei er Fachmann oder Laie, interessieren sollte, weil die Beleuchtung ein Lebensbedürfnis ist. Die üblichen Vorstellungen von Licht und Beleuchtung sind aber oberflächlich und verworren, wenn die Beleuchtungsfrage nicht überhaupt als unwesentlich zur Seite gelegt wird. Dadurch fehlt die klare Einsicht in die einfachsten Grundlagen der Lichttechnik, die wir täglich anwenden könnten und sollten. Zum Teil muß dieses auch, worauf Monasch¹⁾ hingewiesen hat, der Vernachlässigung des lichttechnischen Unterrichtes, sowohl an den höheren wie an den mittleren technischen Lehranstalten, zugeschrieben werden.

So fehlen dann auch dem Ingenieur bei Entwurf, Ausführung und Betrieb von Beleuchtungsanlagen gewöhnlich jene Grundlagen der Lichttechnik, die zu einer befriedigenden Lösung dieser Aufgaben erforderlich sind. Sich auf allgemeine technische Kenntnisse zu verlassen, führt nur ausnahmsweise zum Erfolg, da die Lichttechnik sich hierfür in wesentlichen Punkten zu sehr von anderen Zweigen der Technik unterscheidet. Bildet das »Gefühl« nebst einigen unverstandenen

und daher gefährlichen Faustregeln das einzige Rüstzeug für lichttechnische Arbeiten, so gelangt man höchstens auf dem Umweg wiederholter, zeitraubender und teurerer Versuche zum Ziel. Mehr noch als bisher steht der Maschinentechner durch die Erweiterung und Neueinrichtung der Fabriken, sowie durch die Ausdehnung der Nachtschichten vor der Aufgabe, Fabrikräume und Fabrikanlagen zweckmäßig zu beleuchten. Eine zusammenfassende Darstellung der zur Fabrikbeleuchtung gebrauchten Lichtquellen und ihrer Zubehörteile, der verschiedenen Anordnung der Beleuchtungsanlagen, sowie ihrer Projektierung und Unterhaltung dürfte geeignet sein, dem Techniker diese Aufgaben zu erleichtern. Da die Fabrikbeleuchtung das typische Beispiel der »Nutzbeleuchtung« ist, kann das vorliegende Buch auch den Architekten und Installateur in Beleuchtungsfragen beraten.

Frankfurt a. M., Dezember 1917.

N. A. Halbertsma.

Kapitel I.

Beleuchtung und Arbeitsleistung.

§ 1. Der unmittelbare Einfluß der Beleuchtung auf die Arbeitsleistung.

Trotz aller Fortschritte, welche die letzten Jahre in bezug auf Werkstattstechnik, Organisation der Arbeit und verbesserte Betriebsführung gebracht haben, hat man den Einfluß der Beleuchtung auf die Leistungsfähigkeit des Arbeiters kaum beachtet. Diese Verminderung der Arbeitsleistung bedeutet eine Verschwendung, da sie nicht etwa der Erholung des Arbeiters zugute kommt. Sie macht sich vielmehr durch eine geringere Produktion geltend. Wenn dieser Einfluß ungenügender oder mangelhafter Beleuchtung sich nicht auffallender bemerkbar macht, so liegt das darin begründet, daß die Beleuchtung nicht der einzige Faktor ist, der auf die Leistungsfähigkeit des Arbeiters und des ganzen Betriebes einwirkt. Änderungen der Arbeitsmethoden, unrationelle Arbeitsverteilung, mangelnde Aufsicht, Schwankungen in dem Beschäftigungsgrad machen ebenfalls ihren Einfluß geltend. In einem Betriebe, in welchem zu besonderen diesbezüglichen Versuchen keine Zeit und kein Geld zur Verfügung stehen, fehlt die Möglichkeit, den Einfluß der verschiedenen Faktoren auf die Arbeitsleistung getrennt zu ermitteln. In vielen Industrien würden allerdings die Kosten derartiger Versuche durch die Ergebnisse reichlich gedeckt werden. Es ist ferner zu berücksichtigen, daß die Schuld für die Verringerung der Leistung hauptsächlich bei der künstlichen Beleuchtung liegt, da diese gewöhnlich weit mangelhafter ist

als die natürliche Beleuchtung. Die künstliche Beleuchtung wird bei normalem Tagesbetrieb im Sommer kaum und im Winter nur in einem Teil der Vor- und Nachmittagsstunden benutzt. Es ist nun aus technischen Gründen sehr schwer, innerhalb einer Schicht den Einfluß einer mangelhaften künstlichen Beleuchtung nachzuweisen. Weil er sich auf die ganze Tagesschicht verteilt, ist er schwer bemerkbar. In den Nachtschichten wird zwar ausschließlich bei künstlicher Beleuchtung gearbeitet, doch werden die Verhältnisse hier durch andere Faktoren, wie die Ermüdung der Arbeiter, mangelhafte Aufsicht u. dgl. verschleiert.

Wenn der Einfluß schlechter Beleuchtung auf die Leistungsfähigkeit des Arbeiters auch dringend der systematischen Erforschung bedarf, so liegen doch schon Angaben vor, die zu weiteren Untersuchungen anregen. Eshleman²⁾ berichtet z. B. von der Abnahme der Menge und der Güte der Arbeit in einer Spulenwickerei. In den Nachtschichten wurden nur 55% der Spulen hergestellt, von denen bei der Isolationsprobe 10 bis 15% versagten, gegen nur 5% Ausschuß der am Tage gewickelten Spulen. Wilson³⁾ berichtet von einer Abnahme der Produktion um 12 bis 20% bei künstlicher Beleuchtung, während nach Ritchie³⁾ die Verbesserung der Beleuchtung eine Steigerung des im Akkord erarbeiteten Lohnes um 11,4% herbeiführte. Eshleman gibt²⁾ die Verbesserung der Produktion durch bessere Beleuchtung auf 2 bis 10% an. Die erste Zahl gilt für Stahlwerke, letztere für Webereien und Schuhfabriken. Bei diesen Zahlen ist zu beachten, daß sie sich auf die Gesamtproduktion beziehen.

Dieser nachteilige Einfluß mangelhafter Beleuchtung bedeutet eine schwere Schädigung der Volkswirtschaft, denn die Anlage- und Betriebskosten für eine zweckmäßige und reichlichere Beleuchtung, die diesen Einfluß wesentlich verringern kann, betragen nur einen Bruchteil von den Beträgen, die durch unvollständige Verwertung der Arbeitskräfte und der Fabrikeinrichtungen verlorengehen. Besondere Bedeutung erlangen diese Fragen jedoch in einer Zeit, wo durch die Anforderungen an die Industrie Nachtschichten zur Regel geworden sind, und wo auch sonst alles darauf gerichtet ist,

§ 1. Der unmittelb. Einfluß d. Beleuchtung auf d. Arbeitsleist. 5

mit den vorhandenen Arbeitskräften und Einrichtungen die Höchstleistung zu erzielen.

In welcher Weise die Beleuchtung auf die Leistung des Arbeiters einwirkt, zeigt folgende Überlegung.

Bei einer Beleuchtungsstärke von dem Werte 0, d. h. bei vollständiger Dunkelheit, ist die Leistungsfähigkeit auch 0, wenn es sich nicht um eine vollständig automatische Tätigkeit handelt, bzw. um eine solche, die auch von einem Blinden ausgeführt werden kann. Andererseits gibt es gewisse Beleuchtungsverhältnisse, bei denen eine Arbeit am raschesten und besten ausgeführt werden kann. Abgesehen von anderen später zu erwähnenden Anforderungen, die an die Beleuchtung gestellt werden müssen, gehört eine gewisse Beleuchtungsstärke zu diesem Höchstwert der Leistungsfähigkeit. Eine weitere Steigerung der Beleuchtungsstärke wird keine günstigeren Arbeitsverhältnisse mehr schaffen. Das ist z. B. der Fall bei den außerordentlich hohen Beleuchtungsstärken der unmittelbaren Sonnenstrahlung im Sommer, bei denen das Auge unter der von dem Werkstück oder von der Arbeitsfläche zurückgestrahlten Energie (sowohl Licht als Wärme) zu leiden hat. Das Auftreten dieser übermäßigen Beleuchtungsstärke und der durch sie erzeugten Art der Blendung des Auges ist bei der künstlichen Beleuchtung weniger häufig, man trifft dort eher auf die Blendung durch nackte Lichtquellen, sowie auf eine ungenügende Beleuchtungsstärke.

Bei einem Anwachsen der Beleuchtungsstärke von dem Mindestwert*), bei dem die Arbeit gerade verrichtet werden kann, auf den oben erwähnten Höchstwert, wird auch die Leistungsfähigkeit bei jeder von dem Sehvorgang abhängigen Arbeit ansteigen. Von verschiedener Seite⁴⁾ ist dieser Verlauf für eine verhältnismäßig einfache Arbeitsform, für das Lesen, untersucht worden. (Vgl. Abb. 1 nach Richtmyer). Dabei stellten sich, wie das bei Versuchen physiologisch-psycholo-

*) Nach Katz, Klin. Monatsblätter f. Augenheilkunde 35. 352. 1897, ist dieser Wert etwa $\frac{1}{25}$ von der Beleuchtungsstärke, bei der die betr. Arbeit auf die Dauer ohne Ermüdung des Auges ausgeführt werden kann.

gischer Natur infolge individueller Unterschiede stets der Fall ist, zwar wesentliche Verschiedenheiten heraus, die aber doch erkennen lassen, daß von einem Mindestwert der Beleuchtungsstärke an die Geschwindigkeit des Lesens zunächst rasch zunimmt, um dann langsamer einem Höchstwert zuzustreben.

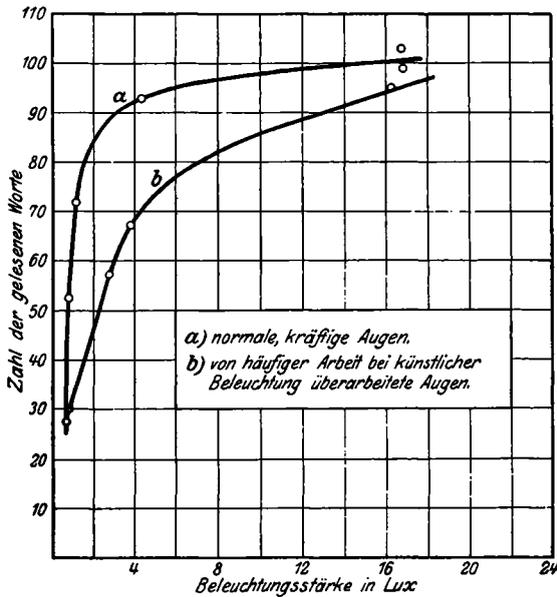


Abb. 1.

Diese Ergebnisse sind der Kurve in Abb. 2 zugrundegelegt, welche den der Arbeitsleistung entsprechenden Wert in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke darstellt⁵⁾. Trägt man in diese Kurve als wagrecht verlaufende Gerade den auf einen Arbeiter entfallenden Anteil an den allgemeinen Produktionskosten ein, und darüber die der Beleuchtungsstärke ungefähr proportionalen Unkosten der künstlichen Beleuchtung als sanft ansteigende Gerade, so stellt die schraffierte Ordinatendifferenz dieser Kurven den Verlust, bzw. Gewinn dar, welcher dem Betriebe aus der Tätigkeit des Arbeiters erwächst. Zunächst ist dieser Verlust sehr erheblich, es kommt

§ 1. Der unmittelb. Einfluß d. Beleuchtung auf d. Arbeitsleist. 7

dann der Punkt, in dem sich der Wert der Arbeit und die Unkosten die Wage halten. Oberhalb dieses Punktes setzt erst der Gewinn aus der Fabrikation ein. Der größte Gewinn tritt etwas eher auf als der Höchstwert der Arbeitsleistung, nämlich in dem Augenblick, wo die Steigung der Leistungskurve weniger rasch erfolgt als die der Geraden, welche die Unkosten der Beleuchtung darstellt (L_{\max}).

Cohn, der als erster 1885 Versuche über die zweckmäßigste Beleuchtungsstärke durch Leseproben anstellte, kam zu dem Ergebnis, daß eine Beleuchtung in der Stärke von etwa 60 Lux für einen Arbeitsplatz erwünscht sei. Dieser Wert

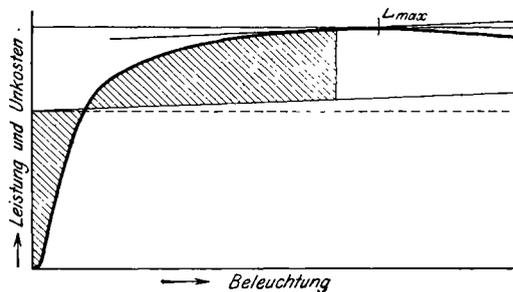


Abb. 2.

hat lange Zeit als Grundlage für die Anforderungen an Beleuchtungsanlagen gedient und wird auch heute noch benutzt, trotzdem die Lichtquellen seitdem eine rasche Entwicklung durchgemacht haben. Neuere Arbeiten auf diesem Gebiet, unter Berücksichtigung der Verhältnisse in modernen Beleuchtungsanlagen, sind im wesentlichen in Amerika ausgeführt (z. B. in der physiologischen Abteilung des Nela-Laboratoriums⁶⁾ in Cleveland). Da derartige Arbeiten in Europa oft mit Lichtquellen und Beleuchtungssystemen ausgeführt werden, die technisch längst veraltet sind, ist es eine Aufgabe der Beleuchtungstechnischen Gesellschaften*), die fehlende Fühlung zwischen Physiologie und Technik herzustellen. Sie können die

*) Deutsche Beleuchtungstechnische Gesellschaft (Charlottenburg), ferner: Illuminating Engineering Society (New York), Illuminating Engineering Society (London).

Arbeiten anregen, welche die Entwicklung der Technik erforderlich macht, und andererseits deren Ausführung durch ihre technischen Hilfsmittel erleichtern.

Gegen die Verallgemeinerung der Cohnschen Ergebnisse und anderer Versuche muß gewarnt werden. Es gibt Arbeiten, für die eine Beleuchtung von 60 Lux reichlich ist, während andere eine wesentlich stärkere Beleuchtung erfordern. So genügen 60 Lux z. B. für eine ganze Reihe sog. Fein- oder Naharbeiten nicht. Der Goldarbeiter, der Graveur, der Lithograph, der Uhrmacher, die Näherin und die Stickerin und viele andere brauchen eine wesentlich stärkere Beleuchtung, um bei der Ausführung ihrer Arbeit nicht behindert zu sein. Snellen betonte schon in 1896, als er für das Niederländische Arbeiterschutzgesetz (vgl. S. 166) ein Minimum von 15 Lux vorschlug, daß eine viel stärkere Beleuchtung erforderlich sei, wenn das Auge auf die Dauer mit voller Sehschärfe arbeiten soll.

Es spielt ferner die Farbe, bzw. das Reflexionsvermögen des verarbeiteten Materials eine wichtige Rolle. Die Erfahrung bestätigt, daß die Näharbeit an einem schwarzen Stoff eine stärkere Beleuchtung erfordert, als die an einem weißen oder hellfarbigen Stoff. Walsh⁷⁾ fand, daß er ein feines Muster auf Papier von 80 bis 3,5% Reflexionsvermögen (von weiß über verschiedene Schattierungen von grau bis zu schwarz) gleich gut unterscheiden konnte, wenn die Beleuchtungsstärke dem Reflexionsvermögen umgekehrt proportional war. Es kommt somit weniger an auf das Licht, welches auf den Arbeitsgegenstand auftrifft, als auf das Licht, welches von diesem zurückgeworfen wird. Durch das von ihnen reflektierte Licht werden die Gegenstände unserem Auge überhaupt erst sichtbar.

§ 2. Der mittelbare Einfluß der Beleuchtung auf die Arbeitsleistung.

Mittelbar wird bei mangelhafter Beleuchtung die Leistungsfähigkeit noch in verschiedener Weise beeinflusst. Wenn durch das Suchen nach Werkzeugen, durch die Wiederholung unnötiger Handgriffe in jeder Stunde nur eine Minute verloren

§ 2. Der mittelbare Einfluß d. Beleuchtung auf d. Arbeitsleist. 9

geht, übersteigt dieser Verlust schon die Kosten einer reichlichen Beleuchtung. Besonders ist dies bei der Bedienung teurer Werkzeugmaschinen der Fall, bei denen Abschreibung und Verzinsung neben der Lohnsumme und den allgemeinen Unkosten von Bedeutung sind. Durch unvollkommene Beleuchtung wird außerdem die Menge des Ausschusses bei der Fabrikation zunehmen. Dieses kann man wiederholt während der Nachtschichten beobachten. Wichtige große Stücke werden bei der Bearbeitung auf der Werkzeugmaschine am ehesten während der Nacht verdorben. Inwiefern das der geringeren Aufmerksamkeit des ermüdeten Arbeiters zuzuschreiben ist, oder dem Umstand, daß ungenügende Beleuchtung die Übersicht über die ganze Maschine behindert, ist noch nicht festgestellt. Bei der Untersuchung solcher Fälle (ein gleiches gilt auch für Unfälle) sollte man stets sofort den Beleuchtungsverhältnissen nachgehen. Reichliche Beleuchtung wird schon durch den psychologischen Einfluß auf den Arbeiter eine etwaige Ermüdung weniger hervortreten lassen, sie regt an und hält den Arbeiter auch in solchen Fällen wach, wo er sonst im Halbdunkel einer durch wenige kleine Lampen beleuchteten Werkstatt vielleicht bei seiner Maschine einschlafen würde. Man hat die Wirkung reichlicher (dabei aber nicht blendender!) Beleuchtung mit der eines Reizmittels verglichen, dem schädliche Nebenwirkungen jedoch fremd sind. Auf Frauen soll die Beleuchtung, wenn reichlich und richtig angewandt, in noch höherem Maße anregend wirken. Zu einer Zeit, in der Frauenarbeit in einem großen Umfang in der Industrie Verwendung findet, und zwar auch in den Nachtschichten, verdient diese durch die größere psychische Empfindlichkeit der Frau erklärliche Erscheinung volle Beachtung.

Solange man nicht überhaupt darauf verzichten kann, die Arbeiter zu beaufsichtigen, wird jeder Umstand, der diese Aufsicht erschwert, seine Folgen in Form einer geringeren Arbeitsleistung zeigen. Durch die auf Einzellampen beschränkte Arbeitsplatzbeleuchtung ist bei größeren Werkstätten eine wirksame Beaufsichtigung gar nicht durchzuführen. Ist dagegen für eine gute Allgemeinbeleuchtung gesorgt und der Überblick über den Raum nicht durch Lampen behindert,

die sich gerade im Gesichtsfelde des Meisters befinden, so wird die Werkstatt jederzeit leicht beaufsichtigt werden können.

Berücksichtigen wir die mannigfaltige Art und Weise, in der mangelhafte Werkstattbeleuchtung einen schädlichen Einfluß auf die Produktion ausüben kann, so entbehrt die Behauptung Eshlemans nicht einer gewissen Berechtigung, wonach für jeden Betrieb erforderlich sind:

1. gute Arbeitskräfte,
2. gute Maschinen,
3. gute Beleuchtung.

Fehlt eine derselben, führt er aus, so sind die beiden anderen ebenfalls wertlos.

Kapitel II.

Die Beleuchtungshygiene.

Während der Einfluß der Beleuchtung auf die Leistungsfähigkeit des Arbeiters eine Angelegenheit ist, die der Arbeitgeber in erster Linie von wirtschaftlichen Gesichtspunkten aus betrachten wird, haben die Fragen der Beleuchtungshygiene und der Unfallverhütung für den Arbeiter selbst das größte Interesse. Allerdings bedeutet jede Einbuße an körperlicher Arbeitsfähigkeit durch die Schädigung seiner Augen oder durch einen Unfall nicht nur für den Arbeiter einen Schaden, indem sie ihm den Erwerb erschwert oder unmöglich macht, sondern auch für die gesamte Volkswirtschaft.

In das Gebiet der Beleuchtungshygiene fallen alle Erscheinungen, die eine Schädigung des Auges durch Licht bewirken können. Es kommen vor:

- a) ungenügende Beleuchtung,
- b) periodische Schwankungen der Beleuchtungsstärke,
- c) die Blendung durch große Flächenhelle (Glanz) und durch starke Kontraste,
- d) die Einwirkung schädlicher Strahlengattungen auf das Auge.

§ 3. Die Wirkung ungenügender Beleuchtung.

Wenn die Kurzsichtigkeit auch nicht auf ungenügende Beleuchtung als ausschließliche Ursache zurückgeführt werden kann, so gilt doch die Überanstrengung und zu große Annäherung des Auges bei mangelhafter Beleuchtung

12 Kapitel II. § 3. Die Wirkung ungenügender Beleuchtung.

als mitwirkende Ursache der sog. gewerblichen Kurzsichtigkeit. Diese tritt nach Koelsch⁸⁾ in folgendem Umfang auf:

Landwirte, Knechte, Kutscher	3— 5%
Tagelöhner, Fabrikarbeiter	4— 6 »
Uhrmacher	10—18 »
Goldarbeiter	11—46 »
Graveure.	16—33 »
Mechaniker	18—25 »
Schriftsetzer	42—51 »

Die sog. Nah- und Feinarbeiten gefährden das Auge in besonderem Maße. Bei ihnen benötigt das Auge die volle Sehschärfe. Da diese aber erst bei höherer Beleuchtungsstärke erzielt wird, erleidet bei schwacher Beleuchtung die Sehschärfe eine Einbuße, die der Arbeitende dadurch auszugleichen sucht, daß er sein Auge der Arbeit nähert. Das im Auge entstehende Bild wird hierdurch größer, so daß Einzelheiten besser erkannt werden. - Man verwendet dieses für das Auge bedenkliche Hilfsmittel unwillkürlich, z. B. auch zum Lesen bei ungenügender Beleuchtung.

Eine übermäßige Anstrengung und Ermüdung der Augenmuskeln ist hiervon die Folge, und neben der Begünstigung der Kurzsichtigkeit treten andere subjektive Beschwerden (Kopfschmerzen, Brennen der Augen) auf.

Wird in Fabriken und Werkstätten Feinarbeit ausgeführt, so ist deshalb auf eine reichliche Beleuchtung, sowohl bei Tag als am Abend, besonderer Wert zu legen.

Durch die Entwicklung der Lichtquellen, die eine entsprechende Verbilligung der Lichterzeugung mit sich gebracht hat, sind die Fälle ungenügender Beleuchtungsstärke weniger zahlreich geworden, wenn sie auch keineswegs verschwunden sind. Es ist jetzt weniger Sparsamkeit als Nachlässigkeit des Arbeitsgebers und oft auch des Arbeiters, die eine wirkliche unzureichende Beleuchtungsstärke zu verschulden pflegt. Ihr kann sowohl durch eine größere Lichterzeugung (Verwendung größerer Lichtquellen) als auch durch eine vermehrte Heranziehung des zurückgeworfenen Lichtes (weiße Wände und Decken) abgeholfen werden.

§ 4. Beleuchtungsschwankungen.

Mit der Änderung der Beleuchtungsstärke im Gesichtsfelde ändert sich auch der in das Auge tretende Lichtstrom. Die Pupille ist stets bestrebt, diese Schwankungen durch ihre Verengung bzw. Erweiterung etwas auszugleichen, während vor allem die Netzhaut des Auges selbst sich den großen Unterschieden des auf ihn treffenden Lichtstromes anpassen kann. Bei dem Übergang von dunklen Innenräumen ins Freie vermag sich das Auge so den großen Änderungen der Beleuchtung anzupassen, wenn ihm eine gewisse Zeit hierzu gelassen wird. Der plötzliche Übergang ist dagegen dem Auge stets peinlich.

Gehen Änderungen der Beleuchtungsstärken plötzlich und wiederholt vor sich, so ermüdet das Auge rasch. Deshalb wird jede zeitliche Ungleichförmigkeit der Beleuchtung störend empfunden. In welchem Maße das der Fall ist, hängt ab von der Größe der Änderungen, von ihrer Geschwindigkeit und von ihrer Häufigkeit⁹⁾.

Ändert sich die Beleuchtung in weiten Grenzen oder gar von ihrem vollen Wert auf Null und umgekehrt, so ist die Beleuchtung gänzlich unverwendbar, wenn diese Änderungen nicht mindestens 20 bis 30 mal in der Sekunde vor sich gehen. Gewöhnlich ist die Größe der Schwankungen geringer, je nach ihrer Ursache. Sie können z. B. durch Spannungsschwankungen bei starkbelasteten Leitungsnetzen mit Motoranschluß veranlaßt werden. Bei den Metallfadenlampen entspricht einer Änderung der Spannung von $\pm 5\%$ schon eine Änderung von $\pm 20\%$ in dem erzeugten Lichtstrom und damit auch in der Beleuchtung. Findet eine derartige Änderung ausnahmsweise in größeren Zeitabständen statt, so ist sie noch erträglich, nicht aber, wenn sie sich in kurzen Zeitabständen, sei es regelmäßig oder unregelmäßig, wiederholt.

Die gleiche Erscheinung tritt auch bei der Gasbeleuchtung auf, beim Betrieb eines Gasmotors von demselben Rohrstrang ohne Druckregler, oder bei falscher Einstellung eines Gasglühlichtbrenners. Offene Gasflammen, die in rauen Betrieben vereinzelt noch vorkommen, zeigen ebenfalls ein

Flackern. In derartigen primitiven Anlagen darf man allerdings eine besondere Beachtung der Beleuchtungshygiene nicht erwarten.

Die der Wechselzahl des Stromes entsprechenden Schwankungen der Lichtstärke von Wechselstromlampen machen sich erst dann störend bemerkbar, wenn die Periodenzahl unter 25/Sek. fällt. So ist es z. B. in Werkstätten von elektrischen Wechselstrombahnen mit der Periodenzahl 15/Sek. nicht möglich, die Beleuchtungsanlage ohne Ausgleichsvorrichtungen (z. B. Synchronmotor-Generatorgruppen) von dem Wechselstromnetz aus zu versorgen. Bei den üblichen Periodenzahlen von 40 bis 50/Sek. macht sich eine Ungleichförmigkeit der Beleuchtung dem Auge überhaupt nicht mehr bemerkbar; es sei denn, daß diese rasche Bewegungen von Maschinen u. dgl. zu verfolgen hat, wobei die störende Zerlegung bewegter Teile in mehrere aneinandergrenzenden Bilder und stroboskopische Erscheinungen (Rücklaufen von Rädern) auftreten. Bogenlampen zeigen diese Schwankungen bei Wechselstrom besonders deutlich, und zwar Reinkohlenlampen mehr als Effektlampen und Lampen mit vertikal übereinanderstehenden Kohlen mehr als solche, bei denen beide Kohlen V-förmig nach unten gerichtet sind. Von den Glühlampen sind Metallfadenlampen mit sehr dünnen Drähten in dieser Hinsicht empfindlich, Gasfüllungslampen, besonders solche für hohe Stromstärke, weniger. In Drehstromanlagen niedriger Periodenzahl läßt sich durch gleichzeitige Verwendung dreier Glühlampen zwischen den verschiedenen Phasen eine gleichbleibende Beleuchtung erzielen, wobei es allerdings erforderlich ist, die drei Glühlampen in eine lichtstreuende Glocke (aus Opalüberfangglas) einzuschließen.

Eine weitere Ursache für recht unangenehme Schwankungen der Beleuchtung in selbständigen, kleineren Gleichstromanlagen kann ein zu großer Ungleichförmigkeitsgrad der Antriebsmaschine (Dampfmaschine, Gas- oder Ölmotor) sein. Hier hilft nur eine Vergrößerung der Schwungradmasse oder die Verwendung einer Akkumulatorenbatterie für die Lichtversorgung.