

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 41 (1950)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Einiges über die Physiologie der Blendung und das Sehen bei herabgesetzter Beleuchtung  
**Autor:** Goldmann, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058938>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

dere Stromsysteme — eine grosse Anzahl von Lösungen.

Die SNCF gedenkt auf Grund der bisher erreichten Resultate das Anwendungsgebiet der Elektrifikation mit Einphasenstrom 50 Hz über ihre ursprünglichen Absichten hinaus auszudehnen.

Die Entwicklungsarbeiten der Triebmotoren für 50 Hz werden auch ihre Rückwirkungen auf die Verbesserung der Gleichstrom- und Einphasenmotoren 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz haben. Es ist nicht zu verkennen, dass Motoren für niedrigere Frequenz stets einfacher und in Bezug auf die Abnutzung der Kollektoren und Bürsten vollkommener sein werden. Demgegenüber wird der Motor für 50 Hz hinsichtlich geschmeidiger Charakteristik, Sicherheit gegen Rundfeuer, Über- und Durchschläge wesentlich vorteilhafter sein. Ferner können in Bezug auf die Hilfsbetriebe-Motoren, die besonders bei Gleichstrom eine nicht unbedeutende Quelle von Störungen darstellen und einen wesentlichen Unterhalt bedingen, ganz bedeutende Vorteile erwartet werden.

Um die Eignung und die Vor- und Nachteile eines Stromsystems zu beurteilen, muss das Ganze, also die ortsfesten Anlagen und die Triebfahrzeuge, in Betracht gezogen werden.

#### Literaturnachweis

- [1] Electrification partielle du réseau de la Cie d'Orléans. Par M. Parodi. Revue générale des chemins de fer 1928. Dunod, Paris.
- [2] Les futurs éléments automoteurs de banlieue de la Région du Sud-Est. Revue générale des chemins de fer, février 1948.
- [3] Die elektrische Traktion mit Einphasenwechselstrom auf der SBB-Linie Seebach—Wettingen. Von Hugo Studer, Zürich. Schweiz. Bauzeitung, Band 51, Nr. 15...20 (April/Mai 1908).
- [4] Seebach—Wettingen, die Wiege der Elektrifizierung der Schweiz. Bundesbahnen. Von A. Dudler. Bulletin Oerlikon Nr. 239 (September/Oktobre 1942).

- [5] Die Elektrisierung der Linie Budapest—Hegyeshalom. Von L. von Verebely, Budapest. Elektrische Bahnen, VIII. Jahrg., Heft 2 (Febr. 1932).
- [6] Die Elektrifizierung der Eisenbahnlinie Budapest—Hegyeshalom nach dem Kandoschen Phasenumformersystem. Druck der Athenaeum-Verlags- und Druckerei-AG., Budapest (Oktober 1943).
- [7] Betriebserfahrungen auf der mit Wechselstrom 50 Hz elektrisierten Linie Budapest—Hegyeshalom. Von L. von Verebely, Budapest. Elektrische Bahnen, X. Jahrgang, Heft 4 (April 1934).
- [8] Ganz: Neuere Entwicklung des 50-Perioden-Phasenumformer-Traktionssystems. Ganz & Co., Budapest 10.
- [9] Elektrisierung der Höllental- und Dreiseebahn. Von Roser. Die Fahr- und Speiseleitungen der Höllental- und Dreiseebahn. Von Jakob Schmitt. Das Unterwerk der Höllental- und Dreiseebahn. Von Georg Naderer. Die Stromversorgung der Höllental- und Dreiseebahn aus dem Netz des Badenwerkes. Von Fettweis. — Aus: Elektrische Bahnen, XII. Jahrgang, Heft 9 (September 1936).
- [10] Die elektrischen Lokomotiven für 50 Hz der Höllental- und Dreiseebahn. Von Otto Michel, München. Die elektrische Ausrüstung der AEG-Stromrichter-Lokomotive für die Höllentalbahn, Reihe 244, Nr. 01. Von Hermle und Partzsch, Berlin. Elektrische Ausrüstung der BBC-Gleichrichter-Lokomotive, Reihe E 244, Nr. 11. Von Hermann Hutt. Die elektrische BoBo-Lokomotive, Reihe 244, Nr. 21, der Siemens-Schuckert-Werke für die Höllentalbahn. Von Paul Herrmann. Die elektrische Krupp-Lokomotive, Reihe 244, Nr. 31, für die Höllentalbahn. Von L. Schön. Der Messwagen für die elektrischen Triebfahrzeuge auf der Höllentalbahn. Von E. W. Curtius. — Aus: Elektrische Bahnen, XIII. Jahrgang, Heft 3/4 (März/April 1937).
- [11] Ergebnisse des 50 Hz-Betriebes auf der Höllentalbahn. Von R. Fritsche und Ernst Kilb. Aus: Elektrische Bahnen, XX. Jahrgang, Heft 3/4 (März/April 1944).

Adresse des Autors:

H. Leyvraz, Oberingenieur der Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 50.

## Einiges über die Physiologie der Blendung und das Sehen bei herabgesetzter Beleuchtung

Vortrag, gehalten an der Lichttechniker-Tagung des SBK am 24. November 1949 in Bern,

von H. Goldmann, Bern

612.843.615

*Von der Definition der Blendung in den Schweizerischen Allgemeinen Leitsätzen für elektrische Beleuchtung ausgehend und sie ergänzend, untersucht der Autor den physiologischen und psychologischen Aspekt dieser Empfindung, sowie einige in neuerer Zeit erforschte mathematisch erfassbare Zusammenhänge. Er beschäftigt sich im besonderen mit der durch Blendung herabgesetzten Sehleistung des menschlichen Auges und deren Auswirkung auf den nächtlichen Strassenverkehr.*

*Partant de la définition de l'éblouissement dans les Recommandations générales sur l'éclairage électrique en Suisse, et en la complétant, l'auteur examine les aspects physiologique et psychologique de cette sensation, ainsi que quelques relations mathématiques découvertes ces derniers temps. Il s'occupe spécialement du pouvoir de visibilité de l'œil humain réduit par l'éblouissement et de l'effet de ce dernier sur la circulation routière de nuit.*

«Blendung ist die vorübergehende oder dauernde Verminderung der Sehfähigkeit des Auges, welche durch zu hohe Leuchtdichte oder durch zu starke Kontraste im Gesichtsfeld verursacht wird. Sie beeinträchtigt die Sehleistung und damit die gesamte Leistungsfähigkeit des Menschen. Sie erzeugt Unbehagen und Unsicherheit und wird dadurch Ursache von Unglücksfällen.» Das ist die Definition,

die die Schweizerischen Allgemeinen Leitsätze für elektrische Beleuchtung<sup>1)</sup> für Blendung geben. Sie ist insofern unvollständig, als sie das Blendungsgefühl, das nicht mit einer nennenswerten Herabsetzung der Sehfähigkeit einhergeht, trotzdem aber die Leistungsfähigkeit der Menschen beeinträchtigt, nicht mitberücksichtigt. Diese Art

<sup>1)</sup> Publikation Nr. 144 des SEV.

von Blendungsgefühl und der Blendungsschmerz scheinen vor allem auf übermässiger Beanspruchung der Irismuskulatur zu beruhen, da der bei inneren Augenerkrankungen häufige Blendungsschmerz durch pupillenlähmende Mittel beseitigt werden kann. Wir werden uns mit dem Blendungsschmerz nur soweit zu beschäftigen haben, als er unter dem Sammelbegriff Missbehagen durch Blendung zu subsummieren ist. Hauptsächlich wollen wir uns aber bei der oben definierten Blendung mit der Herabsetzung der Sehleistung beschäftigen. Sie tritt *während* der Einwirkung des Lichtes auf, kann sie aber längere Zeit *überdauern* und kann sich dann durch das Auftreten von Nachbildern noch besonders störend zeigen. Die Umstände, welche der Herabsetzung der Sehleistung durch Blendung zugrunde liegen, werden uns sofort klar, wenn wir die Wirkung eines Automobilscheinwerfers aufs Auge in der Nacht mit der Wirkung des gleichen Scheinwerfers bei Tageslicht vergleichen. Im ersten Fall blendet er enorm, im zweiten Fall überhaupt nicht, denn er ist dann kaum heller als die Umgebung.

Wenn von Sehleistung gesprochen wird, so kommen für uns drei Formen in Betracht, nämlich

1. Sehschärfe,
2. Unterschiedsempfindlichkeit,
3. Wahrnehmungs- bzw. Erkennungsgeschwindigkeit eines Objektes.

Alle drei Funktionen sind optimal, wenn die Beleuchtung des gesamten Gesichtsfeldes seit längerer Zeit ungefähr gleichmässig ist, und das betrachtete Objekt in seiner Helligkeit vom Grunde nicht mehr als um höchstens zwei Zehner-Potenzen absticht, mit anderen Worten: Wenn Adaptation an eine bestimmte Beleuchtung besteht und im Gesichtsfeld ausserhalb des Zentrums sich nicht Objekte befinden, die für sich eine ganz andere Adaptationslage der Netzhaut verlangen, als das betrachtete Objekt, dann sind die Bedingungen vorhanden, bei denen unter den gegebenen Umständen am besten gesehen wird. Sind die Unterschiede aber grösser, indem z. B. in einem dunkeln Gesichtsfeld auf eng begrenztem Gebiet eine sehr grosse Leuchtdichte herrscht, dann wird nicht mehr optimal gesehen, dann beginnt Blendung. Denn der Adaptationszustand des Auges wird dann von dem grossen, dunkeln Gesichtsfeld bestimmt, der durch die umschriebene Helligkeit gestört wird. Zunächst unterscheidet man formal simultane und sukzessive Blendung. *Simultane* Blendung besteht, wenn eine oder mehrere Lichtquellen von zu hoher Intensität in einem Gesichtsfeld vorhanden sind, *Sukzessivblendung*, wenn man aus einem Raum mit geringer Lichtintensität plötzlich in einen solchen von hoher Intensität eintritt; bis ein neuer Adaptationszustand sich wieder eingestellt hat, ist eine gewisse Blendung vorhanden. Andererseits kann nach dem Wegfall von blendenden Lichtern eine Zeitlang ein Zustand herabgesetzter Ansprechbarkeit des Sinnorgans bestehen mit und ohne Blendungsnachbildern.

Was sind die Ursachen der Blendung?

Als man an die Untersuchung der Blendung ging, war man der Meinung, dass als die einzige Ursache

der Blendung Streulicht im Auge anzusehen sei. Tatsächlich streut das Bild einer intensiven Lichtquelle falsches Licht über die ganze Netzhaut. Die Wirksamkeit dieses falschen Lichtes wird bei guter Helladaptation stark, bei schlechter wenig vermindert durch den Stiles-Crawford-Effekt: schräg auf die Netzhaut fallendes Licht erregt die helladaptierten Sinneselemente viel weniger als senkrecht auffallendes. Im übrigen wissen wir heute, dass andere Faktoren als das falsche Licht bei der Blendung eine grosse Rolle spielen. Davon später mehr. Man hat sich daran gewöhnt, in Experimenten die Verminderung der Unterschiedsempfindlichkeit durch Blendung so darzustellen, dass man angibt, um wie viel man die Beleuchtung erhöhen muss, um die alte Schwelle wieder zu erreichen. Das war das Vorgehen von *Holladay*, von *Luckiesh* und von *Stiles*, und es gelang diesen Autoren in erster Annäherung eine Formel für Blendung zu entwickeln, die folgendermassen lautet:

$$\beta = B + K \frac{E}{\theta^2}$$

In dieser Formel ist  $\beta$  die Helligkeit, auf die  $B$ , die Helligkeit des Grundes — das wäre in unserem Fall also die Strassenhelligkeit — erhöht werden muss, um einen Schwellenwert wahrzunehmen, wenn durch ein blendendes Licht die Beleuchtungsstärke  $E$  am Ort des Auges erzeugt wird,  $\theta$  der Winkel zwischen Gesichtslinie und blendender Lichtquelle.  $K$  ist eine Konstante, deren Wert je nach dem Maßsystem schwankt.

Aus dieser Formel gehen zwei Dinge hervor, die uns interessieren. Einmal hat sich nämlich ergeben, dass bei Lichtquellen, die kleiner sind als  $2^\circ$  — und das sind die Autoscheinwerfer — die Blendung unabhängig ist von der Leuchtdichte und nur abhängig ist von der Beleuchtungsstärke der Lichtquelle, welche das Auge trifft, was sich so ausdrückt, dass man nur die Beleuchtungsstärke der blendenden Lichtquelle am Orte des geblendeten Auges zu messen braucht. Zweitens nimmt die Blendung quadratisch mit dem Winkelabstand vom Fixierpunkt ab. Da bei Annäherung eines Autos sich zwar das Bild im geblendeten Auge von der Mitte nach der Peripherie verschiebt, aber die Beleuchtungsstärke viel rascher zunimmt, als das Quadrat dieser Verschiebung, so nimmt die Blendung der Scheinwerferlichter bei Annäherung immer mehr zu. *Die Formel misst nur Schwellenempfindlichkeiten.* Beim Sehen auf der Strasse handelt es sich ja wohl angenehm um Wahrnehmung nahe der Schwellen, aber nicht allein um formlose Schwellenempfindung. Je geringer die Beleuchtung der Strasse ist, um so grösser ist die Blendwirkung einer bestimmten Lichtquelle, und je näher die blendende Lichtquelle dem Fixierpunkt des geblendeten Auges liegt, um so höher ist ihre Blendwirkung. Bei starker Blendung treten dann noch Nachbilder auf. Mit Hilfe der oben gegebenen Formel kann man sich in erster Annäherung ein Bild davon machen, wie auf nächtlicher Strasse die Scheinwerfer eines entgegenkommenden Automobils sich auswirken, wenn die

Scheinwerfer des geblendeten Fahrzeuglenkers die Strasse mit einer bestimmten Beleuchtungsstärke anleuchten, und man kann die blendende Wirkung von Scheinwerfern auf diese Weise quantitativ untersuchen. Fig. 1 zeigt, wie sich mit Annäherung eines Automobils der Winkelabstand seines Scheinwerferlichtes zur Gesichtslinie des geradeaus schauenden, auf der anderen Strassenseite entgegenkommenden Menschen ändert (nach Ferrero und Perucca).

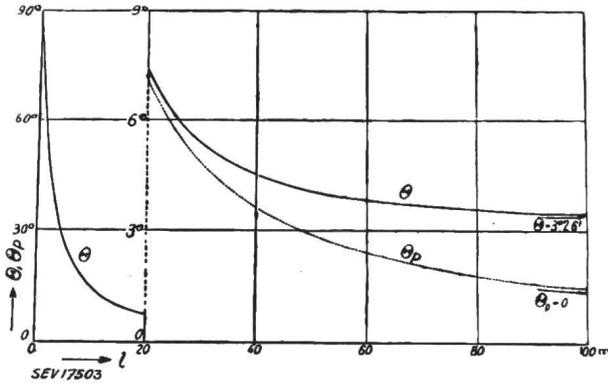


Fig. 1

Anderung des Winkelabstandes  $\theta$  des Scheinwerferlichtes eines entgegenkommenden Wagens zur Gesichtslinie des geradeaus sehenden Menschen, in Funktion der Entfernung  $l$   
 Für Scheinwerferabstände grösser als 20 m Ordinate 10 mal vergrössert  
 $\theta$  für  $l = \infty : 3^\circ 26'$        $\theta_p$  für  $l = \infty : 0^\circ$

Fig. 2 zeigt die Wirkung der Blendung auf die Wahrnehmbarkeit verschieden grosser Objekte. Die immer angewandte blendende Lichtquelle wirft 50 lx auf das Auge und befindet sich  $5^\circ$  vom Fixierpunkt entfernt. Im Diagramm sind auf der Abszisse die Grösse des Prüfobjektes in Minuten, auf der Ordinate der physikalische Kontrast des Prüfobjektes zum Hintergrund angegeben. Die ausgezogenen Linien geben an, wie bei den drei gewählten Grundbeleuchtungen 1000, 100 und 10 lx die Schwellen-

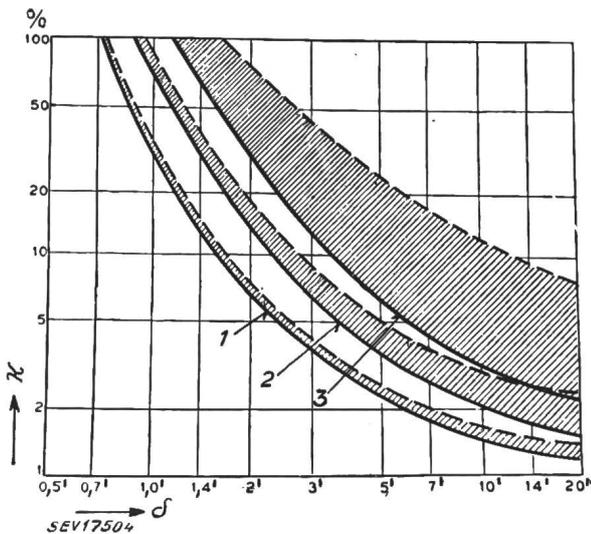


Fig. 2

Physikalischer Kontrast  $\kappa$  des Prüfobjektes zum Hintergrund (bei drei verschiedenen Beleuchtungsstärken) in Funktion der Winkelgrösse  $\delta$  des Objektes  
 1 bei 1000 lx    2 bei 100 lx    3 bei 10 lx  
 (siehe Erläuterung im Text)

werte abhängig von Grösse und Kontrast des Testobjektes sind, und zwar ohne Blendung. Wird die blendende Lichtquelle eingeschaltet, so ist die Wahrnehmungskurve durch die gestrichelte Linie dargestellt. Man sieht, dass die blendende Lichtquelle die Empfindlichkeit um so stärker herabsetzt, je geringer die Grundbeleuchtung ist.

Fig. 3 ist eine Abwandlung von Fig. 2. Die Kurvenschar zeigt die Wirkung der blendenden Lichtquelle in Abhängigkeit von ihrem Winkelabstand

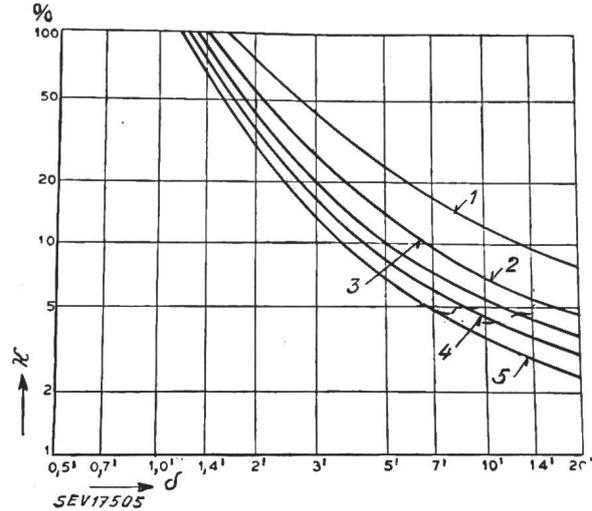


Fig. 3

Physikalischer Kontrast  $\kappa$  des Prüfobjektes zum Hintergrund (bei verschiedenem Winkelabstand der blendenden Lichtquelle vom Fixierpunkt des Beobachters) in Funktion der Winkelgrösse  $\delta$  des Objektes

- 1 Abstand  $5^\circ$
- 2 Abstand  $10^\circ$
- 3 Abstand  $20^\circ$
- 4 Abstand  $40^\circ$
- 5 Abstand  $> 40^\circ$  (keine Blendung)

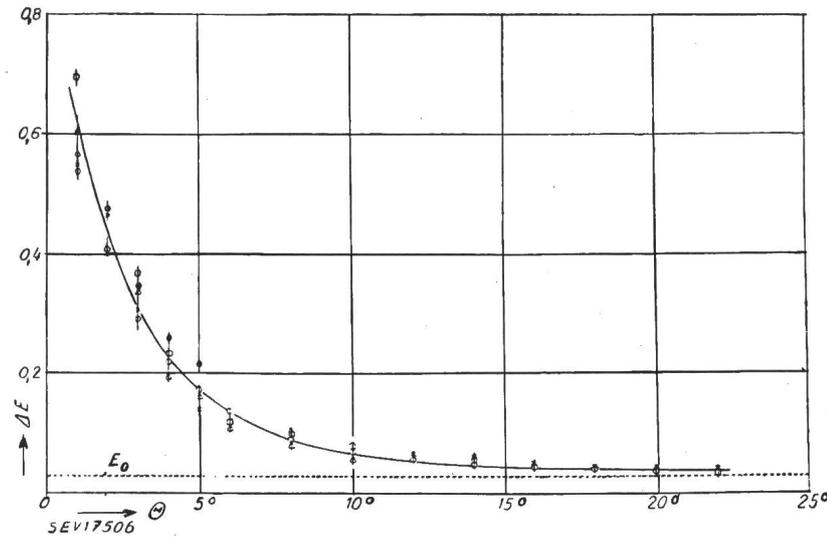
vom Fixierpunkt des Beobachters. Die unterste Kurve ist die Empfindlichkeitskurve ohne Blendung. Die blendende Lichtquelle hatte eine Beleuchtungsstärke von 60 lx am Orte des Beobachters. Die Beleuchtungsstärke des Hintergrundes betrug 10 lx. Man sieht, dass die Blendung um so grösser ist, je geringer der Winkel zwischen Fixierpunkt und blendender Lichtquelle ist. Liegt die blendende Lichtquelle  $5^\circ$  vom Fixierpunkt ab, so ist die Verminderung an Empfindlichkeit grösser, als wenn man ohne Blendung die Beleuchtung der Objekte von 1000 auf 10 lx herabgesetzt hätte; sie ist grösser, als wenn man die Expositionszeit von 0,3 auf 0,075 s vermindert hätte. Man müsste also, um im gegebenen Fall die gleiche Sehleistung zu erhalten, die Beleuchtung auf das 100fache erhöhen oder die Expositionszeit auf das 4fache.

Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit der Blendwirkung vom Winkel  $\theta$  (zwischen Gesichtslinie des Beobachters und blendender Lichtquelle) bei gleichbleibender Stärke der Lichtquelle. (Abszisse  $\theta$  in Grad, Ordinate: Erhöhung der Beleuchtungsstärke des Hintergrundes, die nötig ist, um ein Objekt wieder sichtbar zu machen.  $E_0$  Beleuchtungsstärke ohne Blendung.)

Nun zu den rechnerischen Folgerungen aus dem bisher Gezeigten. Die folgenden Kurven (Fig. 5)

von *Stiles* und *Dunbar* zeigen, was auf der Strasse geschieht, wenn ein Automobil, das mit verschiedenen Scheinwerfern ausgerüstet ist, auf der gegenüberliegenden Strassenseite immer näher kommt.

zugleich etwas nach der Strassenseite des blendenden Automobils gerichtet ist, bei (c) um einen Scheinwerfer mit günstiger asymmetrischer Lichtstromverteilung.



Zuerst liegt zwar die Lichtquelle dem Fixierpunkt nahe, die Blendwirkung ist aber gering, weil die Beleuchtung des Auges gering ist. Je näher das Auto kommt, um so grösser wird der Winkel zwischen der geradeausgerichteten Gesichtslinie des Beobachters und der blendenden Lichtquelle, aber zugleich nimmt die Intensität der Lichtquelle zu. Passiert das Auto den Beobachter, so verschwindet

Fig. 4  
Nötige Erhöhung der Beleuchtungsstärke  $\Delta E$  zur Sichtbarmachung des Objektes bei verschiedenem Winkelabstand  $\theta$  der blendenden Lichtquelle

Als Ordinate ist die Abnahme der Sehleistung bei Annäherung des Scheinwerfers, auf der Abszisse die Entfernung in Fuss eingetragen. Im Versuch gilt die Sehleistung I und höher als genügend, die Sehleistung unter I als ungenügend. Die Kurven I geben die Wirkung an, wenn der Beobachter geradeaus schaut, II wenn er ein Objekt anblickt, das

die Blendwirkung *nach der Rechnung*. In Wirklichkeit ist dies nicht so. Die Bilder erfassen eben nicht vollständig den Mechanismus der Blendwirkung, worauf später noch eingetreten wird.

Beschäftigen wir uns nun etwas näher damit, was bei Blendung im Auge und im gesamten Sehorgan geschieht.

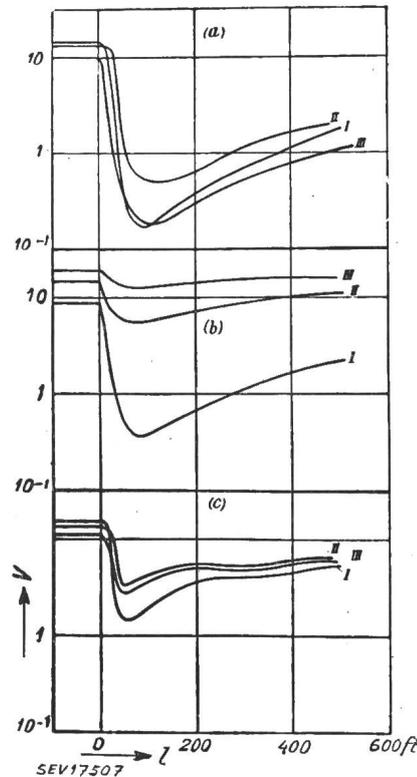


Fig. 5  
Abnahme der Sehleistung  $V$  in Funktion der Entfernung  $l$  eines Beobachters von einem mit zwei verschiedenen eingestellten Scheinwerfern ausgerüsteten Automobil  
I Der Beobachter schaut geradeaus  
II Der Beobachter betrachtet einen Punkt, der sich 1,5 m rechts der Fahrbahn befindet  
III Der Beobachter betrachtet einen Punkt, der sich 2,7 m links der Fahrbahn befindet  
(a) Axial stehender Scheinwerfer  
(b) Der gleiche Scheinwerfer  $1,3^\circ$  nach unten und zugleich etwas gegen den Strassenrand gerichtet  
(c) Scheinwerfer mit günstiger asymmetrischer Lichtstromverteilung

sich  $1\frac{1}{2}$  m rechts, und III eines, das sich 2,7 m rechts von der Fahrbahn befindet. Bei (a) handelt es sich um einen Scheinwerfer, der axial steht, bei (b) um einen solchen, der um  $1,3^\circ$  nach unten und

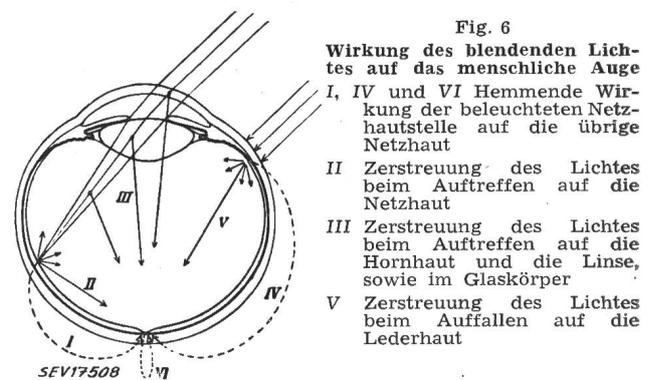


Fig. 6  
Wirkung des blendenden Lichtes auf das menschliche Auge  
I, IV und VI Hemmende Wirkung der beleuchteten Netzhautstelle auf die übrige Netzhaut  
II Zerstreung des Lichtes beim Auftreffen auf die Netzhaut  
III Zerstreung des Lichtes beim Auftreffen auf die Hornhaut und die Linse, sowie im Glaskörper  
V Zerstreung des Lichtes beim Auffallen auf die Lederhaut

Fig. 6 zeigt (nach *Schouten*), auf welche Weise das blendende Licht wirken kann. Das Licht wird (III) an der Hornhaut, an der Linse und im Glaskörper gestreut. Es wird weiterhin dort, wo es auf die Netzhaut auftrifft, nach allen Seiten gestreut (II). Es wird schliesslich auch Licht, das nicht durch die Hornhaut in die Pupille eintritt, sondern auf die Lederhaut fällt («diasklerales Licht»), Streulicht im Auge erzeugen (V). Aber neben diesen rein physikalischen Verschlechterungen der Abbildung gibt es noch eine Wechselwirkung der einzelnen Netzhautstellen aufeinander, die schon *Hering* bekannt war. Diese Wechselwirkung haben *Schouten* und *Ornstein* mit Hilfe eines Binocularverfahrens untersucht, indem jedem Auge ein Halbfeld eines Photometers dargeboten wurde, also binoculare Gleichungen hergestellt wurden. Bei zu-

sätzlicher Belichtung eines Auges durch eine mehr oder weniger starke Lichtquelle wurde das Halbfeld dieses Auges regelmässig *im Moment* deutlich *dunkler*, was nicht durch Schleierwirkung erklärt werden kann. Man kann nun die Helligkeit in beiden Augen wieder gleich machen und so ein Mass der Wirkung des Blendlichtes gewinnen; dabei zeigt es sich, dass diese Verdunkelung nicht nur vorübergehend ist, sondern so lange anhält, als das blendende Zusatzlicht einwirkt. Fällt das blendende

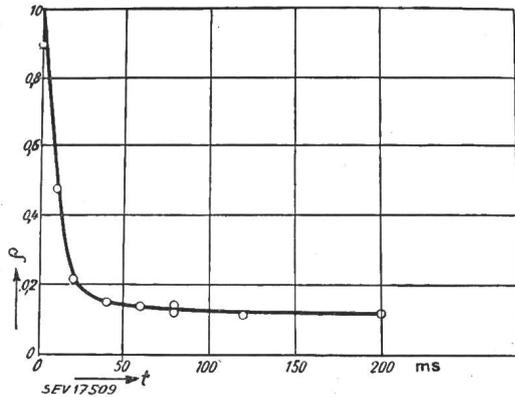


Fig. 7

Geschwindigkeit der Ausbildung der  $\alpha$ -Adaptation

Abszisse: Zeit  $t$  in ms; Ordinate: Verhältnis  $e$  der Lichtintensität, die ohne Blendung ( $E_1$ ) eine binoculare Gleichung ergibt, zu der Intensität, die mit der Blendung ( $E_2$ ) diese Gleichung

$$\text{gibt } \left( e = \frac{E_1}{E_2} \right)$$

Zusatzlicht weg, so wird, wenn es nur kurz eingewirkt hat, der Vorzustand fast momentan wieder hergestellt. Hat es aber längere Zeit eingewirkt, so braucht es auch wieder längere Zeit, bis die ursprüngliche Empfindlichkeit wieder da ist. Den ersten Vorgang hat *Schouten* als  $\alpha$ -Adaptation bezeichnet. Es muss sich dabei wegen der Promptheit der Veränderung (Fig. 7) um ein rein nervöses

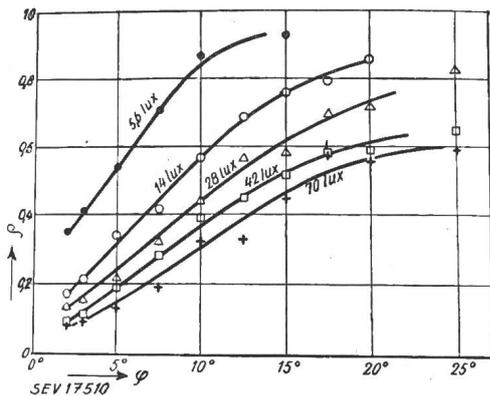


Fig. 8

Grösse der  $\alpha$ -Adaptation in Abhängigkeit vom Winkelabstand des Blendlichtes vom Fixierpunkt (für verschiedene blendende Lichtquellen)

Abszisse: Winkelabstand  $\varphi$  des Blendlichtes; Ordinate: wie Fig. 7.

«Hemmungs»-Phänomen handeln. Fig. 8 zeigt die  $\alpha$ -Adaptation in Abhängigkeit vom Winkelabstand des Blendlichtes vom Fixierpunkt für verschiedene blendende Lichtquellen. (Abszisse: Winkelabstand des Blendlichtes. Ordinate: wie in Fig. 7.)

Fig. 9 zeigt die Abhängigkeit der  $\alpha$ -Adaptation von der Einwirkungsdauer des blendenden Lichtes. (Ordinate: wie in Fig. 7, Abszisse: Zeit nach Aufhören der Blendung.) Bei jeder Kurve steht, wie lange das blendende Licht eingewirkt hat: je länger das blendende Licht einwirkt, um so längere Zeit benötigt die Netzhaut zur Erholung. (Oben: Blendlicht um den Fixierpunkt, Mitte: Blendlicht abseits vom Fixierpunkt, unten: Blendlicht diaskleral.)

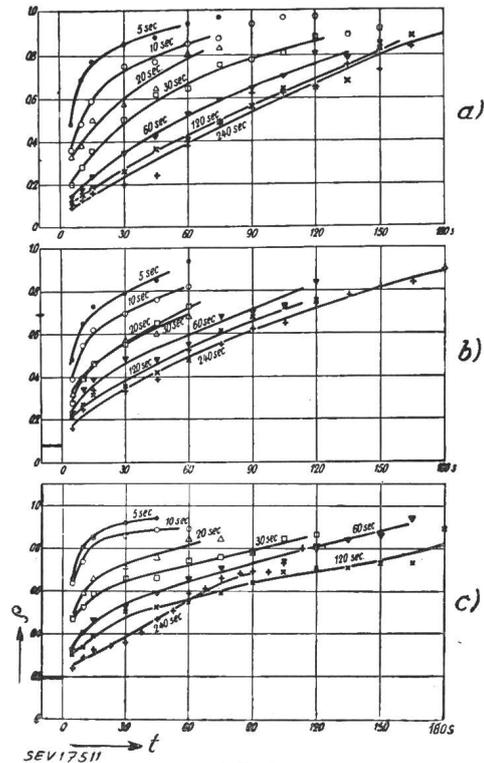


Fig. 9

Abhängigkeit der  $\alpha$ -Adaptation von der Einwirkungsdauer des blendenden Lichtes

Abszisse: Zeit nach Aufhören der Blendung  
Ordinate: wie Fig. 7

- a) Blendlicht um den Fixierpunkt
- b) Blendlicht abseits vom Fixierpunkt
- c) Blendlicht diaskleral

(siehe Erläuterungen im Text)

Die *Nachwirkung* der Blendung nennt *Schouten*  $\beta$ -Adaptation; diese ist möglicherweise ein photochemischer Prozess (Fig. 9). Wichtig ist, dass, wenn man *als Mass der Blendung die relative Zunahme der Beleuchtung nimmt*, die nötig ist, um die alte subjektive Helligkeit wieder herzustellen, die Blendung, die hier nicht mehr an Schwellenreizen gemessen wird, wie in den früheren Versuchen, direkt proportional der Lichtstärke des blendenden Lichtes und nur einfach verkehrt proportional dem Winkel zwischen Blendlicht und Gesichtslinie ist. Also wird diese  $\alpha$ -Adaptation, die sich nicht im Schwellengebiet, sondern bei grösserer Helligkeit abspielt, durch die Annäherung des Objektes noch stärker beeinflusst als der Schwellenwert.

Wahrscheinlich hängt mit der  $\alpha$ -Adaptation auch folgendes zusammen. *Lythgoe* hat gefunden, dass, wenn man die Blendungswirkung auf die Sehschärfe untersucht, bei mässiger Blendung die Sehschärfe

sogar besser werden kann, als sie ohne Blendung war, was offenbar ebenfalls mit nervösen Hemmungsprozessen von der Art der  $\alpha$ -Adaptation zusammenhängt. Bei stärkerer Blendung nimmt aber die Sehschärfe (*Lythgoe, Ferrero und Perucca*) ab.

Wir haben bisher von der Wirkung der Blendung auf den Sehvorgang gesprochen; zu der physiologisch fassbaren Herabsetzung der Sehleistung treten aber noch das unangenehme Gefühl der Blendung und allenfalls Blendungsschmerz hinzu, die dahin wirken, dass die Reaktionszeit des Geblendeten sich deutlich vergrössert. Man kann sagen, dass er zur Erfassung eines Objektes länger braucht, wenn er geblendet ist, als wenn er ungeblendet ist. Und gerade dies ist beim fahrenden Automobilisten von grösster Bedeutung. Zeit bedeutet beim fahrenden Automobil Weg. Der Fahrer muss sich dem Objekt viel mehr nähern und wird erst später die richtigen Bremsreaktionen vornehmen, d. h. unter Umständen zu spät.

Aber nicht nur Blendung, sondern auch «Discomfort» wirken in der gleichen Richtung der Verlangsamung der Auffassung oder erhöhen die Ermüdbarkeit. Man spricht in angelsächsischen Ländern direkt von «discomfort glare» und versteht darunter sofort oder nach längerer Zeit auftretende unangenehme Sensationen, deren Zusammenhang mit der bestehenden Beleuchtung einwandfrei erwiesen werden kann. Dieser «discomfort glare» wird besonders bei Beleuchtung von Innenräumen festgestellt, und das Ziel jedes Beleuchtungstechnikers muss sein, ihn zu vermeiden und durch komfortable Beleuchtung zu ersetzen. Die «Blendung» wird in solchen Fällen durch grossflächiges Leuchten erzeugt. Über ihr Zustandekommen wissen wir nur, dass allzustarke Kontraste im Gesichtsfeld dabei eine Rolle spielen. Man hat Formeln für sie aufzustellen versucht. Ich setze die von *Harrison* hierher, nicht weil sie befriedigend wäre, sondern um zu zeigen, welche Faktoren man für das Zustandekommen des «discomfort glare» für wichtig hält.

Blendungsfaktor =

$$\frac{\text{scheinbare Fläche der Lichtquelle} \cdot (\text{Leuchtdichte})^2 \cdot \text{Lokationsfaktor}}{(\text{Höhe d. Lichtquelle über Augenebene})^2 \cdot \text{Umgebungsfaktor}}$$

Hier erscheint also die Leuchtdichte und die Grösse der Lichtquelle in der Formel. Der «Lokationsfaktor», für den Diagramme existieren, ist ein Korrektionsfaktor, der der Tatsache Rechnung tragen soll, dass das Unbehagen, das eine  $\vartheta^0$  seitlich vom Auge liegende Lichtquelle verursacht, grösser ist als das, welches eine gleiche Lichtquelle  $\vartheta^0$  über dem Auge auslöst. Der «Umgebungsfaktor» soll die verschiedene Wirkung der lichtquellennahen und -fernen Umgebung berücksichtigen.

Für den Strassenverkehr spielen im Sinne von «discomfort glare» wohl nur Reklamebeleuchtungen eine Rolle. Gerade in solchen Fällen wird es manchmal sehr schwer fallen, festzustellen, wieso eine gefährliche Verzögerung des Erkennens von Gegenständen durch den Automobilisten zustande kam: War es Discomfort oder war es die Ablenkung der

Aufmerksamkeit des Fahrers durch die Reklame, *eben das, was ja der Zweck der Reklame ist?*

Wir haben bisher vorausgesetzt, dass sich ein Auge in einem bestimmten Adaptationszustand befindet, und ich habe davon, was dieser Adaptationszustand bedeutet, nichts gesagt. Unter Adaptation des Auges versteht man die Fähigkeit des Auges, sich an verschiedene allgemeine Beleuchtungszustände anzupassen. Die volle Entwicklung eines bestimmten Adaptationszustandes bedarf immer einer gewissen Zeit, und zwar viel länger beim Übergang von hoher zu niedriger Helligkeit als umgekehrt. Die Anpassung des Auges an niedrige Allgemeinbeleuchtung (unter 0,1 lx) geht mit recht erheblichen Veränderungen der Qualität des Sehens einher (z. B. dass keine Farben mehr erkannt werden). Dabei wird eine hohe Lichtempfindlichkeit erreicht. Diese «Dunkeladaptation» wird durch Anhäufung eines sensibilisierenden Farbstoffes, des «Sehpurpurs» in den lichtempfindlichen Elementen der Netzhaut erreicht. Einem bestimmten Adaptationsniveau entspricht eine bestimmte Konzentration Sehstoff, eine Konzentration, die die Empfindlichkeit des Auges gegen Lichteinfall unter den gegebenen Umständen repräsentiert. Es braucht eine bestimmte Zeit, bis ein anderes, vor allem ein höheres Niveau der Empfindlichkeit bei geringerer Allgemeinbeleuchtung erreicht wird, und diese Anpas-

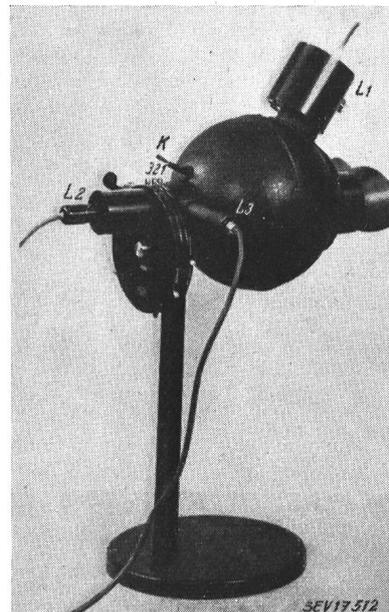


Fig. 10  
Nycrometer nach  
Comberg  
L<sub>1</sub> Lichtquelle  
L<sub>2</sub> Hilfslichtquelle  
L<sub>3</sub> Blendungslichtquelle  
K Kugel  
(siehe Erläuterung  
im Text)

sung an verschiedene Beleuchtungsniveaus wird durch das, was wir «Dunkeladaptation» nennen, erfasst. Wir pflegten früher die Dunkeladaptation vor allem durch die Messung der Schwelle zu charakterisieren. Es wird also untersucht, wie gross die Leuchtdichte eines Fleckes sein muss, damit er im absolut dunklen Raum wahrgenommen werden kann, und zwar in verschiedenen Zeitabständen vom Beginn der Abdunkelung, der eine Anpassung an eine definierte Beleuchtung vorausgeht. Aber in der Praxis handelt es sich bei der Sehleistung, die bei herabgesetzter Beleuchtung verlangt wird, nicht

nur um reine Schwellenwahrnehmung, sondern um *Objekterkennung*. Deshalb erfasst einfache Schwellenbestimmung das praktische Problem nicht vollständig. Viel besser ist es, wenn man entweder auf Formerkennen abstellt, wie dies beim Scotopicometer von *Møller* oder bei dem *Della-Casaschen* Instrument<sup>2)</sup> der Fall ist, oder allenfalls sogar auf Sehschärfe, wie dies *Comberg* mit seinem Nyctometer anstrebt.

Fig. 12 zeigt den Verlauf der Sehanpassung bei plötzlicher Herabsetzung der Beleuchtung von 8000 auf 32, 2, 0,5 usw. lx. (Abszisse: Zeit, Ordinate: Sehschärfe.)

Ich habe Ihnen die Kompliziertheit des Blendungsproblems, soweit es physio-psychologisch fassbar ist, dargestellt, um daraus zunächst die für Augenärzte und dann auch allgemein wichtige Folgerungen abzuleiten. Zweierlei Problemgruppen

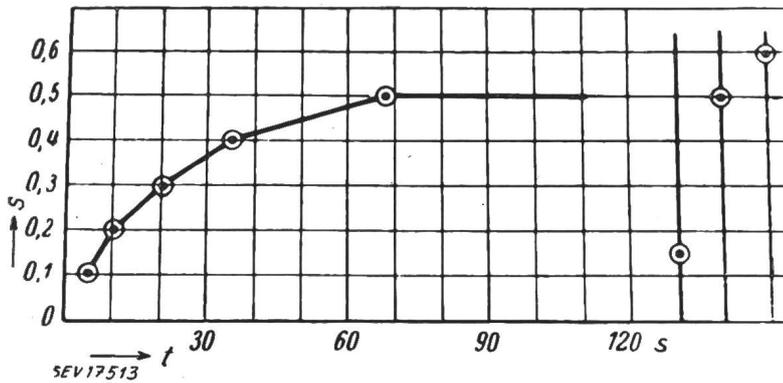


Fig. 10 zeigt das Nyctometer nach *Comberg*. Die Lichtquelle  $L_1$  leuchtet eine Kugel mit 8000 lx aus. An dieses Licht adaptiert sich der Beobachter 3 min, dann wird die Lichtquelle abgeschaltet und ein schwaches Licht  $L_2$  ( $1/2$  oder  $1/8$  lx) eingeschaltet, das eine kleine Sehprobentafel im Inneren der Kugel messbar beleuchtet. Es wird die Zeit bestimmt, bei der nach Abschalten des Lichtes  $L_1$  verschiedene feine Sehproben gelesen werden können.  $L_3$  liefert dann noch ein blendendes Licht, und es wird wieder untersucht, wieviel länger man jetzt braucht, um die Sehproben bei einer Beleuchtung von  $1/2$ , 4 und 32 lx zu lesen, und wie stark die Sehleistung herabgesetzt wird.

Fig. 11  
Mit dem Nyctometer aufgenommene  
Kurve der Adaptation

Abszisse: Zeit  
Ordinate: Sehschärfe  
Rechts die anschliessend an die Adaptationskurve aufgenommene Blendungsempfindlichkeitskurve: Einschalten des Blendlichtes und Bestimmung der Sehschärfe bei 3 Beleuchtungsstufen (0,5; 4; 32 lx)

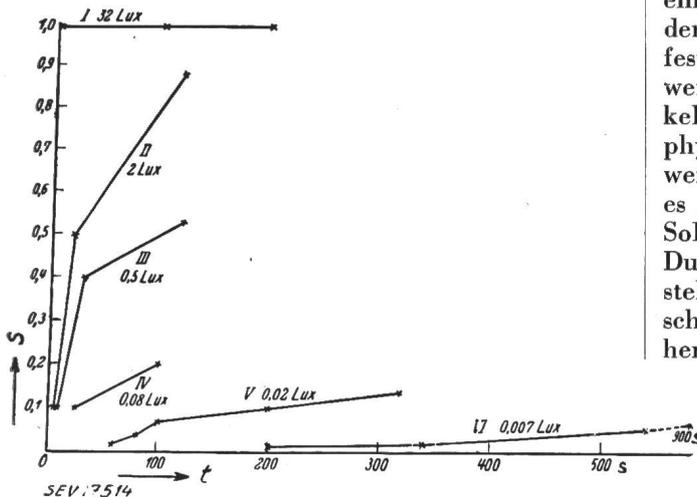


Fig. 11 gibt eine typische Kurve des Normalen, wie sie mit dem Nyctometer erhalten wird. (Abszisse: Zeit in s. Ordinate: Sehschärfe.)

<sup>2)</sup> Es wird die Zeit gemessen, nach der bei definierter schwacher Beleuchtung die Lage der Öffnung eines Ringes erkannt wird, der sich wenig vom Grunde abhebt.

existieren. Erstens: Welche Menschen sind als normal zu betrachten, was Blendungsempfindlichkeit und Dunkeladaptation anbelangt? Zweitens: Wie kann die auch für den Normalen gefährliche Blendung beseitigt werden? Es ist vor allem die erste Gruppe, die die Augenärzte angeht, wenn sie eine Eignungsprüfung von Automobilisten vornehmen sollen. Die zweite Gruppe geht Augenärzte und Lichttechniker an und betrifft die praktischen Probleme der Strassenbeleuchtung und des Blendeschutzes.

Zunächst ist die Frage zu erörtern, was wir beim Prüfling untersuchen sollen. Die Strenge der Anforderungen wird davon abhängen, ob die Eignung einer Person für eine Kategorie der Autofahrer, für den Eisenbahndienst, für Schifffahrt oder Flugwesen festgestellt werden soll. Natürlich müssen alle Bewerber eine gute Sehschärfe und eine normale Dunkeladaptation haben. Die Dunkeladaptation nimmt physiologischerweise mit dem Alter ab. Mit der Anweisung «Bestimmung der Dunkeladaptation» ist es aber nicht getan. Wie soll sie bestimmt werden? Soll auf «Geradewahrnehmbarkeit von etwas im Dunkeln», d. h. auf Schwellenbestimmung, abgestellt werden oder auf Bestimmung von Unterschiedsempfindlichkeit oder gar auf Sehschärfe bei herabgesetzter Beleuchtung? Ich glaube, man muss

Fig. 12  
Verlauf der Sehanpassung bei plötzlicher Herabsetzung  
der Beleuchtung  
(Koordinaten wie in Fig. 11)

sich hier an das halten, was heute allgemein in der praktischen Physik Geltung gewonnen hat. Man muss sich klar darüber werden, wie die Bedingungen sind, auf die es in der Praxis ankommt, dann wird man die richtige Wahl der Untersuchung treffen. Es kommt nicht auf Schwelle an, es kommt

nicht auf Sehschärfe an, es kommt darauf an, ein Objekt vom Untergrund sich abheben zu sehen und dieses Objekt richtig zu deuten. Also muss man Formen bei herabgesetzter Beleuchtung darbieten und solche Formen, deren Erkennen nur geringe Ansprüche an die Sehschärfe stellen, müssen als Test-Objekte benützt werden; dies um so mehr als wir hörten, dass eine Sehschärfebestimmung gerade bei der Blendung gar nicht das optimale Reagens ihrer Wirkung darstellt. Aber ausser der Dunkeladaptation sollte die Blendempfindlichkeit untersucht werden: die Herabsetzung der Sehleistung durch ein blendendes Licht von der Intensität und der Lage der Scheinwerferlichter, bei einer Allgemeinbeleuchtung, wie sie auf der Strasse herrscht. Es sollte allenfalls die Schnelligkeit der Wiederherstellung der Funktion nach der Blendung geprüft werden. Schliesslich muss einmal allgemein die Veränderung der Reaktionsgeschwindigkeit durch Blendung klargestellt werden, damit man die Bedeutung dieses Punktes richtig würdigen kann. Nur eine für den gegebenen Fall vollkommene Prüfung, die übrigens praktisch in recht einfacher Weise verwirklicht werden könnte, kann Aufschluss darüber geben, was ein Mensch unter den besten Aufmerksamkeitsbedingungen einer ärztlichen Untersuchung leisten kann und *im besten Fall* im kritischen Moment leisten wird. Selbst dieser beste Fall wird nicht immer verwirklicht sein, denn Ermüdung, Unaufmerksamkeit, Alkoholgenuss werden die Leistung erheblich vermindern. Der Prüfungsmodus wird verschieden sein, je nach dem Zwecke der Untersuchung (Motorfahrzeuglenker, Zugspersonal, Schiffs- oder Flugzeugbesatzung). Die wichtigsten Angaben, welche uns verschiedene standardisierte Methoden über Dunkeladaptation und Blendung liefern, zeigen die folgenden Diagramme. Die Fig. 13...15 zeigen die Normalkurven der Dunkel-

0,05 lx herabgesetzt. Ein Hakenobjekt (Landolt'scher Ring), das einen physikalischen Kontrast von 20 % hat, ist das Prüfobjekt. Es wird bestimmt, wann die Platte, auf der das Prüfzeichen montiert ist (S),

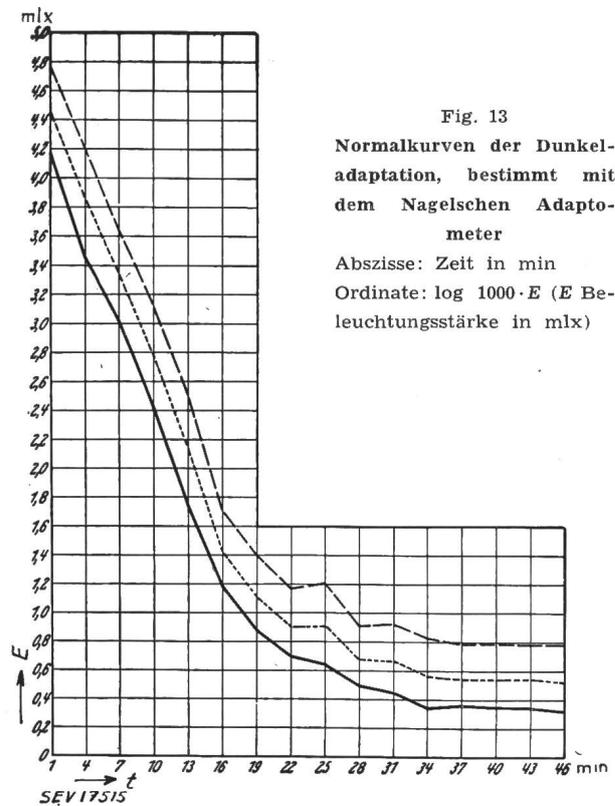


Fig. 13  
Normalkurven der Dunkeladaptation, bestimmt mit dem Nagelschen Adaptometer  
Abszisse: Zeit in min  
Ordinate:  $\log 1000 \cdot E$  ( $E$  Beleuchtungsstärke in mlx)

wann der Ring gesehen wird, ohne dass die Lage der Ringöffnung erkannt wird (R) und wann die Öffnung des Hakens dreimal richtig erkannt wird (I, II, III). Die drei Kurvenscharen zeigen, dass die Dunkeladaptation mit dem Alter schlechter wird.

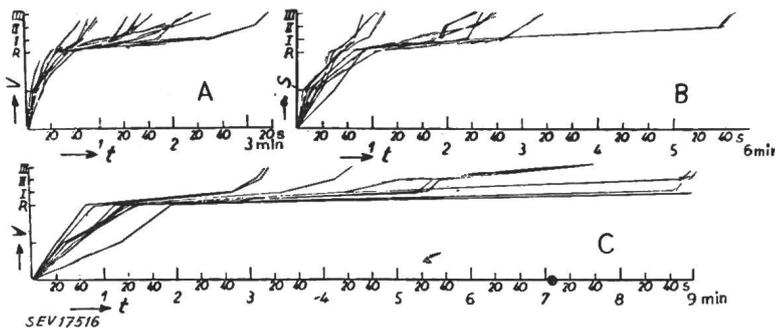


Fig. 14  
Normalkurven der Dunkeladaptation, bestimmt mit dem Della-Casaschen Adaptometer  
Alter und Dunkeladaptation. A Leute zwischen 15 und 25 Jahren; B Leute zwischen 35 und 45 Jahren; C Leute über 55 Jahren  
Abszissen: Zeit in s  
Ordinaten: Sehleistung

adaptationsbestimmungen mit verschiedenen Apparaten, Fig. 13 mit einem Instrument, das Schwellenwahrnehmung registriert (Nagelsches Adaptometer). Kriterium: ein Fleck von 10° Durchmesser wird im absolut dunkeln Raum gerade wahrgenommen. Vor dem absoluten Lichtabschluss erfolgt eine Anpassung des Auges an eine Beleuchtung von 3000 lx während 10 Minuten.

Fig. 14 zeigt die Standard-Kurven mit einem Instrument, das auf Formwahrnehmung als Kriterium abstellt (Della Casa). Nach 5 Minuten Voradaptation an 750 Apostilb wird die Beleuchtung auf

Fig. 15a und b sind Messungen mit dem Combergschen Nyctometer, bei dem als Kriterium Sehschärfe genommen wird. Es sind auch supernormale Werte eingetragen. Im gestrichelten Bereich liegen die Normalwerte (2 verschiedene Beleuchtungen der Sehproben).

Fig. 16 zeigt die Altersabhängigkeit bei dieser Untersuchungsart. Alte Leute erreichen geringere Sehschärfearten.

Fig. 17 zeigt die Blendempfindlichkeit für drei verschiedene Beleuchtungen des Objektes bei Blendung mit der gleichen Blendlichtquelle in ver-

schiedenen Altersklassen, gemessen am Nyctometer. (Ordinate: Sehschärfe.) Man sieht, dass auch die Blendempfindlichkeit mit dem Alter zunimmt.

Welche Daten stehen uns zur Verfügung, um ein Instrument anzugeben, das für die Prüfung von Autofahrern am praktischsten ist?

Von Scheinwerfern wird verlangt, dass die Beleuchtung der Strasse am Ende des Bremsweges

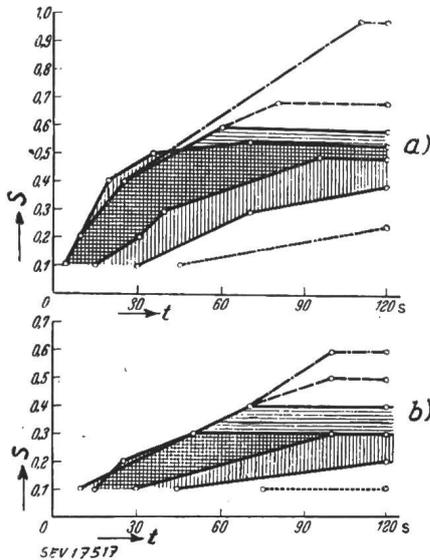


Fig. 15

Normal- und Supernormalkurven der Dunkeladaptation, bestimmt mit dem Combergschen Nyctometer

Abszissen: Zeit in s  
Ordinaten: Sehschärfe

a) Sehprobenbeleuchtung 0,5 lx  
b) Sehprobenbeleuchtung 0,125 lx

Die Mehrzahl normaler Ergebnisse fällt in ein Normalband hinein, das schraffiert dargestellt ist

- Normalband nach Heinsius
- Normalband nach Comberg
- Zone, in der sich die normalen Ergebnisse aller bisherigen Untersuchungen decken
- Supernormale Leistungen
- Subnormale Grenze

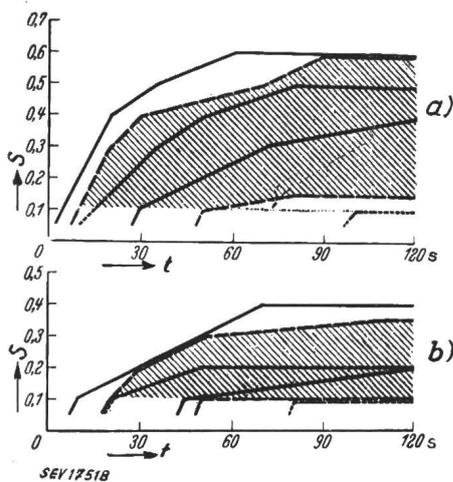


Fig. 16

Altersabhängigkeit der Dunkeladaptation, bestimmt mit dem Combergschen Nyctometer

Abszissen: Zeit in s  
Ordinaten: Sehschärfe

a) Sehprobenbeleuchtung 0,5 lx  
b) Sehprobenbeleuchtung 0,125 lx  
Ausgezogene Linien: Grenzwerte für 20jährige; schwach schraffiert: 50jährige; stark schraffiert: 60jährige

mindestens 1 lx sei, woraus schon hervorgeht, dass die Scheinwerfer immer stärker sein müssen, je höher die Geschwindigkeit sein wird. In praxi ist die Beleuchtungsstärke der heutigen Scheinwerfer am Boden einzeln auf 100 m rund 1 1/2 lx, also bei-der zusammen 3...3 1/2 lx, abgeblendet auf 30 m etwas mehr. Die Strassenbeläge sind, wie man weiss, meist sehr dunkel, nämlich in der Grössenordnung von

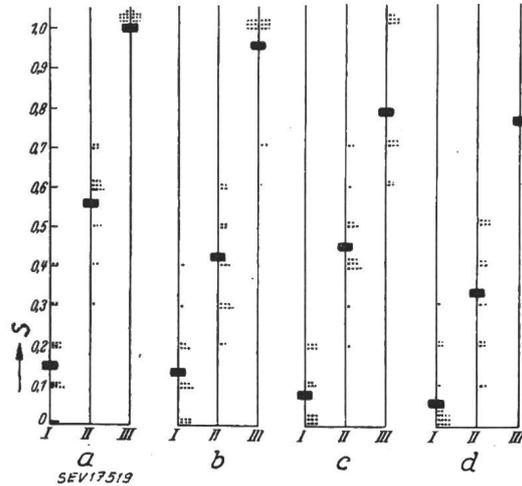


Fig. 17

Blendempfindlichkeit der verschiedenen Altersklassen für 3 verschiedene Beleuchtungen des Objektes bei Blendung mit der gleichen Blendlichtquelle

a, b, c, d Altersklassen (20, 40, 50 und 60 Jahre)

I Beleuchtung 0,5 lx

II Beleuchtung 4 lx

III Beleuchtung 32 lx

Ordinate: Sehschärfe

5...20 % Albedo<sup>3)</sup>, wenn sie trocken sind. (5...15 %: Asphalt trocken; 25...50: Beton trocken). Nass haben Asphaltstrassen oft 0 Reflexvermögen oder reflektieren spiegelnd. Daraus folgt, dass die Leuchtdichte im Gesichtsfeld des Fahrers sich in der Grössenordnung von 1/10 Apostilb bewegt. Die Kleidung

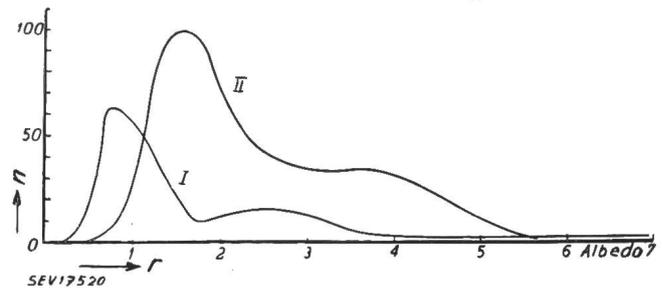


Fig. 18

Eine Statistik über den Reflexionskoeffizienten von Kleidungen Da das Reflexionsvermögen von trockenen Asphaltstrassen zwischen 5...15 % liegt, von nassen Asphaltstrassen bei 0, so sieht man, wie wenig sich im allgemeinen Menschen auf der Strasse vom Grund abheben. Bei Blendung können sie leicht verschwinden

Abszisse: Reflexion in Albedo

Ordinate: Zahl der Kleider

I Mäntel

II Anzüge

der Personen auf der Strasse hat, wie Fig. 18 zeigt, eine Grössenordnung von im Mittel 2...3 % Albedo, so dass also, wie die Erfahrung lehrt, Personen sich

<sup>3)</sup> Ausdruck für die diffuse Reflexion einer matten, d. h. nicht gerichtet reflektierenden Oberfläche.

oft sehr schlecht von der Strasse abheben. Das Prüfobjekt muss also einen schwachen Kontrast gegen den Grund haben, nicht mehr als 20 %. Da ein Mensch auf 100 m ungefähr ein Grad gross ist, so sollte die Sehschärfe unter den oben beschriebenen Bedingungen in der Grössenordnung von 0,05 liegen. Was die Blendung betrifft, so wird man für die Festsetzung der Blendungsuntersuchung die neuen internationalen Abmachungen über Automobilscheinwerfer abwarten müssen. In der Schweiz wird gegenwärtig verlangt, dass die Beleuchtung eines Scheinwerfers nie höhere Werte als 0,7 lx in der Ebene des Auges des Entgegenfahrenden, d. h. 80 cm über dem Boden, haben soll; das ist sicher ein zu hoher Wert. Man wird wahrscheinlich auf 0,5 lx kommen. Es muss noch festgelegt werden, in welcher Winkeldistanz vom Fixierpunkt das blendende Licht geprüft werden soll. Ich würde meinen, dass da ein Winkel von 5...10° in Frage käme, weil da die Blendwirkung noch sehr deutlich ist, und dieser Winkelabstand einen Scheinwerferabstand zwischen 20 und 30 m seitlich 4...5 m neben der Fahrtrichtung bedeuten würde. Es wäre zu ermitteln, wieviel normalerweise die Unterschiedsempfindlichkeit eines Auges durch ein solches blendendes Licht herabgesetzt wird, wenn es an eine Strassenleuchtdichte zwischen  $\frac{1}{10}$  und  $\frac{1}{100}$  Apostilb adaptiert ist. Daraus wären die Normen für die Anforderungen an die Prüfung abzuleiten.

Was als zulässiger Schwellenwert bei Dunkeladaptationsuntersuchungen mit Hilfe des Schwellenwertes zu fordern ist, geht aus den Untersuchungen von Müller und Mathey hervor. Ein 10° grosses Feld, 10° extrafoveal betrachtet, soll nach kurzem Dunkelaufenthalt und anschliessender Helladaptation an 3000 Apostilb nach 20 Minuten einen Schwellenwert von rund 0,0001 Apostilb ergeben.

Ich komme zur 2. Problemgruppe: Was ist gegen Blendung zu tun? Zunächst einmal ergibt sich die primitivste Massnahme, dass der Fahrer so viel als möglich nach dem Rand seiner Strassenseite schaut, weil er dadurch den Winkel zwischen Gesichtslinie und blendendem Licht vergrössert. Abgeblendete Scheinwerfer werden optimal ausgenutzt werden können, wenn sie etwas gegen die Strassenseite des Fahrenden gerichtet sind, doch sind sie dann (bei uns) in Linkskurven ungünstig gerichtet. Als weitere Massnahmen sind angegeben worden: gelbes Licht, polarisiertes Licht der Scheinwerfer und polarisierte Brillen für den Fahrer, sowie schliesslich allgemeine Strassenbeleuchtung von Hauptstrassen. Die Blendung durch gelbes Licht scheint prima vista geringer zu sein als durch weisses, aber bei genauer Prüfung hat sich herausgestellt, dass in der Hauptsache diese Verminderung darauf beruht, dass die Lichtstärke des Scheinwerfers durch Vorschalten der gelben Folie vermindert wird; wenn man also Lampen gleicher Lichtstärke mit gelben Filtern ausrüstet, so blenden sie wirklich weniger. Wenn man aber ihre Lichtstärke auf die alte Stärke erhöht, so ist

der Unterschied minimal, wenn auch gesagt werden muss, dass gelbes Licht subjektiv weniger unangenehm ist, als blauweiss strahlendes.

Was die Anwendung von polarisiertem Licht betrifft, so wäre dies eine ideale Lösung, vorausgesetzt, dass wirklich alle Fahrzeuge mit Scheinwerfern mit polarisierten Folien ausgerüstet sind und dementsprechend alle Fahrer mit Polaroidbrillen. Wenn dies nicht der Fall ist, so ist der Zustand schlimmer als vorher, denn der Träger einer Polaroidbrille erhält nur die Hälfte des Lichtes der Strasse. Wird er geblendet, so sieht er nachher, wie die Untersuchungen von Kyrieleis gezeigt haben, wegen der dunklen Brille viel schlechter als jemand ohne Brille, oder er muss schnell die Brille abreißen.

Die ideale Lösung ist die allgemeine blendungsfreie Strassenbeleuchtung von Hauptstrassen. Ihr sollte unbedingt das Wort geredet werden. Damit wird wirklich eine Blendung verhütet, wenn unnachlässiglich darauf geachtet wird, dass nicht unsinnige Fahrer auf solchen Strassen noch ihre Scheinwerfer voll andrehen.

Die schweizerischen Normen für Beleuchtung geben auch Richtlinien für Strassenbeleuchtung. Die Daten sind eher hoch angesetzt (siehe diese). Praktisch gilt für eine unserer am besten beleuchteten Überlandstrassen, die Tiefenaustrasse in Bern, ähnlich der Industriestrasse bei Zürich,  $E_{med}$  rund 5 lx,  $E_{min}$  rund 2,5 lx,  $E_{max}$  rund 11 lx.

### Literatur

1. Schweizerische Allgemeine Leitsätze für elektrische Beleuchtung, 2. Aufl., Publ. Nr. 144 des SEV, 1947.
2. Comberg, W., Heidelberg. Bericht Bd. 52(1938), Nr. 11; Bd. 53(1940), Nr. 6.
3. Della Casa, F.: Ophthalmologica Bd. 106(1943), S. 143 u. 189.
4. Harrison, W.: Comfortable Lighting (aus Electrical World).
5. Holladay, L. L.: J. O. S. A. Bd. 12(1926), S. 271.
6. Luckiesh, M., u. Holladay: Trans. I. E. S. Bd. 20(1925), S. 221.
7. Mathey, G.: v. Graefe's Arch. 129, 275, 1933.
8. Schouten, I. F., und Ornstein L. S.: J. O. S. A. Bd. 29 (1939), S. 158.
9. Stiles, W., und Dunbar C.: The Evaluation of Glare from Motor-Car Headlights. London 1935.

### Herkunft der Bilder

- Fig. 1 und 4: aus Ferrero, M., und Perucca, E.: L'electrotecnica Bd. 28(1941), Nr. 23.  
 Fig. 2 und 3: aus Luckiesh: «Science of Seeing». D. Van Noshard Company, New York.  
 Fig. 5: aus teils W. S. Stiles und Dunbar, C.  
 Fig. 6...9: aus Schouten, I. F., und E. Ornstein.  
 Fig. 10, 11 und 12: aus Comberg.  
 Fig. 13: aus Mathey, G.  
 Fig. 14: aus Della Casa.  
 Fig. 15...17: aus Braun, R.: Arch. f. Augenheilkde Bd. 144 (1942), Nr. 41.  
 Fig. 18: aus Bouma, P. J.: Philips Nachrichten Bd. 9 (1947), S. 150.

### Adresse des Autors:

Prof. Dr. H. Goldmann, Direktor der Universitäts-Augenklinik, Inselspital, Bern.