

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 30 (1939)
Heft: 25

Artikel: Der Stoss bei elektromotorischen Antrieben
Autor: Hopferwieser, S.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058424>

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>

sprechwerte ihrer Relais erreicht werden. Da die Grundzeit voraussetzungsgemäss kurz ist, klingen die Ausgleichsvorgänge unter Umständen nicht schnell genug ab, um ungewollte Schalterauslösungen und dadurch verursachte Betriebsunterbrüche zu vermeiden.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass es möglich ist, auch solche Netze des Vorteils der unverzögerten automatischen Wiedereinschaltung teilhaftig werden zu lassen, welche mit älteren, lange Grundzeiten besitzenden, Distanzrelais ausgerüstet sind.

c) Kombination mit dem Ueberstromschutz mit gestaffelten Auslösezeiten (bei doppelter Speisung mit Energierichtungsrelais kombiniert).

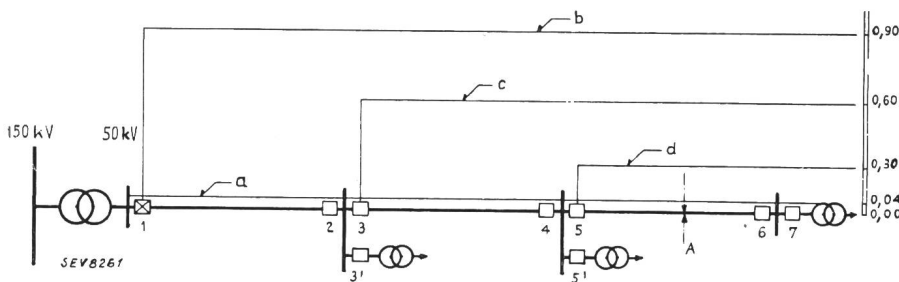


Fig. 2.
Anwendung der unverzögerten automatischen Wiedereinschaltung auf eine, mittels Maximalstromrelais geschützte, in mehrere Abschnitte unterteilte Stichleitung.
a Kennlinie der Schnellauslösung des Schalters 1.
b, c, d Auslösekennlinien d. Maximalstromrelais.
1 Schalter mit Schnellauslösung und automatischer Wiedereinschaltung.
2 bis 7 Schalter ohne Schnellauslösung und ohne automatische Wiedereinschaltung.

Auch mit diesem Schutzsystem ausgerüstete Netze können des Vorteils der Schnellausschaltung und automatischen Wiedereinschaltung in vollem Masse teilhaftig gemacht werden, indem man zum mindesten diejenigen Schalter, welche das Netz mit Energiequellen verbinden (nach Belieben auch Schalter an anderen wichtigen Netzpunkten), mit Einrichtungen für die automatische Wiedereinschaltung versieht, wobei diese Schalter, ausser der normalen selektiv bedingten Auslöseverzögerung, eine zusätzliche, möglichst unverzögerte, nur bei der ersten Auslösung in Funktion tretende Auslösung besitzen, welche alle Fehler in den zwischen diesen Schaltern gelegenen Leitungsabschnitten erfasst und abschaltet, bevor die Auslösung der übrigen Schalter in Tätigkeit tritt.

Hinsichtlich der Wahl der Messgrösse für die Schnellauslösung gilt das im Abschnitt 3 Gesagte. Wo irgendwie zugänglich, wird man sich einfacher, momentan wirkender Maximalstromrelais bedienen.

Fig. 2 zeigt als Beispiel eine 50-kV-Stichleitung, die über einen Transformator an ein 150-kV-Netz

angeschlossen ist und 3 Unterstationen bedient. In diesen wird der Strom auf eine tiefere lokale Verteilspannung transformiert. Da die Leistung des Speisetransformators verhältnismässig klein ist gegenüber der verfügbaren Energie im 150-kV-Netz, sind Aenderungen des Maschineneinsatzes von geringem Einfluss auf die Kurzschlussleistung im 50-kV-System. Für die Schnellauslösung des einzigen, mit automatischer Wiedereinschaltung ausgerüsteten Schalters 1, kann deshalb unbedenklich ein Maximalstromrelais verwendet werden.

Bei einem Kurzschluss an der Stelle A löst der Schalter 1 mit der Zeitverzögerung der Schnellauslösung von 0,04 Sek. aus und unterbricht den Kurz-

schlußstrom, bevor die Relais der Schalter 3 und 5 ansprechen. Die Wiedereinschaltung findet beispielsweise nach 0,25 Sek. statt, und sofern der Kurzschluss inzwischen verschwunden ist, bleiben alle Teilstrecken im Betrieb. Setzt der Kurzschlussstrom jedoch von neuem ein, so wird die betroffene Teilstrecke durch den Schalter 5 mit 0,3 Sek. selektiv abgeschaltet. Kurzschlüsse in den Verteilnetzen der Unterstationen sind durch die Reaktanzen der Abzweigtransformatoren begrenzt und ihre Grösse bleibt im allgemeinen unterhalb des Ansprechwertes der Schnellauslösung des Schalters 1. Aber auch die Auslösung des Schalters 1 durch einen Kurzschluss im Sekundärnetz bliebe ohne nachteilige Folgen für den Betrieb. Schalter 1 würde nämlich sofort wieder einschalten, während der betroffene Netzteil durch seinen zuständigen Schalter streng selektiv abgetrennt würde. Die Abzweigschalter, sofern sie Freileitungen speisen, können ebenfalls für automatische Wiedereinschaltung eingerichtet werden.

Der Stoss bei elektromotorischen Antrieben.

Von S. Hopferwieser, Baden.

621.34

Es wird auf den Unterschied von Drehmomentstoss und Massenstoss hingewiesen. Ein einfaches zeichnerisches Verfahren erlaubt, die beim Massenstoss ausgelösten Stossdrehmomente zu ermitteln. Daraus wird abgeleitet, wie Massenstösse unschädlich gemacht werden können.

L'auteur attire l'attention sur ce qui différencie un choc par variation brusque du couple moteur d'un choc résultant de la rencontre de deux masses animées de vitesses différentes. Un procédé graphique simple permet de déterminer le couple de choc provoqué par le choc d'une masse. L'auteur en déduit comment on peut rendre inoffensifs les chocs de masse.

Man spricht bei elektromotorischen Antrieben von einem Belastungsstoss, wenn das Drehmoment

im Betrieb plötzlich steil ansteigt. Ein Beispiel dafür ist der Fall nach Fig. 1, wo ein Bremsklotz an

die mit voller Geschwindigkeit angetriebene Scheibe gepresst wird und plötzlich ein Belastungsdrehmoment $= P \cdot r$ erzeugt.

Die Mechanik dagegen lehrt den Stoss als den Vorgang, der eintritt, wenn zwei Massen mit ungleicher Geschwindigkeit aufeinandertreffen. Wird die gleiche Scheibe, während sie mit voller Drehzahl läuft, plötzlich mit dem Gewicht G belastet

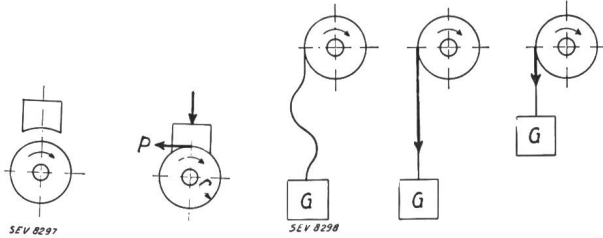


Fig. 1.

Fig. 2.

(Fig. 2), so tritt ein Stoss auf, der sich ganz wesentlich vom ersten Fall unterscheidet, selbst wenn G und P , in Kilogramm gemessen, einander gleich sind. Der Unterschied besteht darin, dass durch die Wirkung des Massenstosses zunächst eine Kraft oder, gemessen auf dem Halbmesser r , ein Drehmoment entwickelt werden muss, um die Masse des Gewichtes G auf die Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe zu beschleunigen. Erst wenn G diese Geschwindigkeit erreicht hat, tritt ein Belastungsdrehmoment $G \cdot r = P \cdot r$ auf, wenn $G = P$ ist.

Die Bezeichnung «Stoss» für zwei so ungleiche Vorgänge schafft eine Verwirrung, die sich darin äussert, dass bei der Beurteilung des in einem Antriebssystem auftretenden Kräftespieles «Drehmomentstoss» und «Massenstoss» oft miteinander verwechselt werden. Es soll daher der Versuch gemacht werden, die Wirkungen beider Vorgänge zu klären und die Begriffe gegeneinander abzugrenzen.

Der Drehmomentstoss. Wird ein Motor mit Kurzschlussanker eingeschaltet, so entwickelt er augenblicklich ein Drehmoment, das im allgemeinen zwischen dem ein- und zweifachen Nenndrehmoment liegt. Dieser Drehmomentimpuls ist für den Motor ganz unschädlich; nur die durch den grösseren Strom verursachte Erwärmung begrenzt Dauer und Häufigkeit des Anlaufvorganges. Tritt im Betrieb plötzlich ein grosses Belastungsdrehmoment auf, so fällt die Drehzahl ab und das vom Motor erzeugte Drehmoment nimmt so lange zu, bis sich wieder Gleichgewicht einstellt. Die Steilheit des Drehmomentanstieges im Motor hängt somit davon ab, wieviel von der lebendigen Energie des bewegten Systems zur Deckung der Belastungsspitze zur Verfügung steht. Auf jeden Fall ist es für die Beanspruchung des Motors innerhalb seines Arbeitsbereiches von untergeordneter Bedeutung, wie schnell sich der Uebergang von einem kleinen auf ein grosses Drehmoment vollzieht.

Mehr als beim Motor selbst fürchtet man eine stossweise Beanspruchung bei manchen Uebertragungsteilen, insbesondere Zahnradgetrieben. Bei Zahnradern mit gerader Verzahnung übernimmt aber der jeweils in Eingriff kommende Zahn —

im Gegensatz zu Rädern mit schräger Verzahnung — die Belastung sprunghaft, so dass auch im ruhigen Dauerbetrieb mit Vollast jeder einzelne Zahn immer stossweise mit 100 % belastet wird. Wenn also selbst in diesem günstigsten Fall jeder Zahn stets schlagartig belastet wird, dann kann es natürlich nichts zu bedeuten haben, ob auch das Lastdrehmoment selbst stossweise auftritt oder nicht.

Der Massenstoss. Dass Drehmoment und Massenwirkung unmittelbar nichts miteinander zu tun haben, lässt sich am Beispiel des Pendels veranschaulichen:

Ein Pendel schwinde aus der in Fig. 3 dargestellten Lage (Punkt A) um seine Achse. Das durch die Wirkung des Gewichtes G erzeugte Drehmoment ist gleich $G \cdot r \cdot \cos \alpha$ und verläuft in Abhängigkeit von der erzeugten Winkelgeschwindigkeit nach der Linie M (Fig. 4). Die Grösse einer allfälligen Stosswirkung auf eine ruhende Masse hängt, von sonstigen Bedingungen abgesehen, von der aufgespeicherten kinetischen Energie (A) ab und nimmt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zu. Sie wird also im

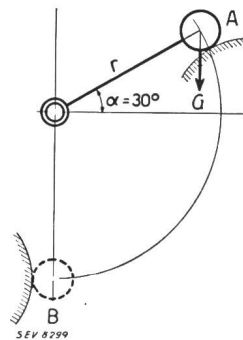


Fig. 3.

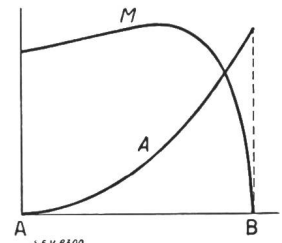


Fig. 4.

Punkt A Null sein, obwohl das Drehmoment gross ist, im Punkt B dagegen ein Maximum werden, obwohl hier das Drehmoment Null geworden ist. Genau gleich liegen die Verhältnisse beim Anlauf eines Motors. Ein Motor mit Kurzschlussanker entwickelt ein Drehmoment, dessen charakteristischer Verlauf mit der Kurve M gut übereinstimmt. Der durch das plötzliche Auftreten des Drehmomentes am Beginn der Bewegung mögliche Stoss ist beim Motor genau so wie bei dem dargestellten Pendel Null.

Nach der eingangs angeführten Definition ist eine Massenwirkung nur möglich, wenn Massen mit *verschiedener* Geschwindigkeit aufeinandertreffen. Innerhalb eines bewegten Systems, dessen Teile starr miteinander verbunden sind und sich relativ zueinander nicht bewegen können, ist daher jeder Massenstoss ausgeschlossen. Anders dann, wenn Uebertragungsteile gegeneinander Spiel haben. Es ist überraschend, wie gross die Wirkung selbst eines kleinen Spieles sein kann:

Ein Motor von 10 kW Leistung, $n = 1450$ min, habe einen Rotor mit einem $GD^2 = 0,5$ kgm^2 und treibe irgendeine Maschine über ein Getriebe an, dessen Ritzel innerhalb des Zahnspieles um $0,5^\circ$ gedreht werden kann. Das Anlaufdrehmoment M be-

trage ca. 150 % des Nenndrehmomentes, d. h. ca. 10 mkg. Aus diesen Zahlen errechnet sich das

$$\text{Trägheitsmoment } J = \frac{GD^2}{4g} = 0,01275 \text{ mkg}^2$$

und der bis zum Stoss zu durchlaufende Weg $s = 0,5^\circ = 8,7 \cdot 10^{-3}$ Bogeneinheiten.

Die am Ende dieses Weges aufgespeicherte kinetische Energie ist $A = J \frac{\omega^2}{2}$; da $\omega^2 = 2\varepsilon s$ und die

Winkelbeschleunigung $\varepsilon = \frac{M}{J}$, so ist $A = J \frac{2Ms}{2J} = M \cdot s = 8,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,087 \text{ mkg}$.

Diese Energie scheint bedeutungslos klein zu sein; wenn sie aber beispielsweise mit einer Vorrichtung von so geringer Elastizität abgefangen werden muss, dass sich eine Stossbahn von nur $0,1^\circ = 1,74 \cdot 10^{-3}$ Bogeneinheiten ergibt, so wird bereits ein Stossdrehmoment von $\frac{0,087}{1,74} \cdot 10^3 = 50 \text{ mkg}$ oder 750 % des Nenndrehmomentes ausgeübt.

Bei dieser Rechnung ist allerdings vorausgesetzt, dass die Bewegung durch den Stoss zum Stillstand kommt, ein Fall, der üblicherweise nicht eintritt. Ein viel klareres Bild über die tatsächlichen mechanischen Wirkungen des Stosses erhält man, wenn man den Vorgang zeichnerisch darstellt.

Nimmt man an, dass zwei Massen m_1 und m_2 aufeinanderstossen, deren Trägheitsmomente J_1 und J_2 , auf dieselbe Drehzahl bezogen, gleich sind, und dass das Beschleunigungsmoment M zunächst nur auf die Masse m_1 mit dem Trägheitsmoment J_1 wirke, so ist der Anstieg der Winkelgeschwindigkeit ω_1 in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt durch die Winkelbeschleunigung $\varepsilon_1 = \frac{M}{J_1} = \text{tg } \alpha_1$ (Fig. 5).

Wären beide Massen gemeinsam durch dasselbe Drehmoment M beschleunigt worden, so wäre die Winkelbeschleunigung gewesen $\varepsilon_3 = \frac{M}{J_1 + J_2} = \text{tg } \alpha_3$. Wenn die Winkelgeschwindigkeit der Masse m_1 den Punkt A erreicht hat, treffen die beiden Massen auf-

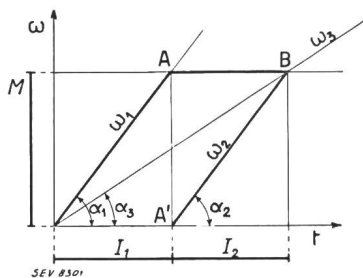


Fig. 5.

einander und die Masse m_1 beginnt die Masse m_2 mitzunehmen. Da das Moment M auch weiterhin ausgeübt wird, müssen die Winkelgeschwindigkeiten ω_1 und ω_2 so verlaufen, dass sie sich auf der Linie ω_3 treffen. Wo dieser Treffpunkt liegt, hängt ganz von der Elastizität des Stosses ab.

Die Elastizität lässt sich messen durch die auf der Abszisse aufgetragene Zeit, innerhalb der der Stoss abläuft. Nimmt man den Idealfall an, dass

die Zeitdauer des Stosses ebenso lang ist als die Zeit, während der ω_1 von Null bis zum Punkt A anstieg, so wird ω_2 , ausgehend vom Punkt A', mit einer Beschleunigung $\varepsilon_2 = \varepsilon_1$ ansteigen und ω_1 von A an nach einer horizontalen Linie verlaufen. ω_1 und ω_2 treffen sich im Punkt B und verlaufen von dort an gemeinsam nach der Linie ω_3 . Das Stossdrehmoment, mit dem die Masse m_2 beschleunigt

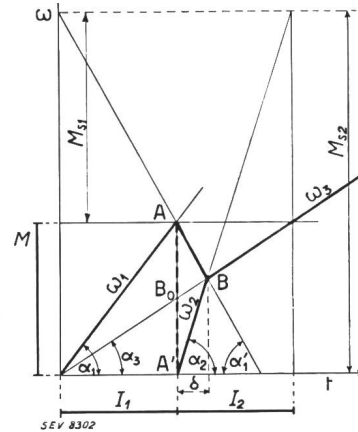


Fig. 6.

wird, ist somit gleich M , d. h. das ganze vom Motor ausgeübte Drehmoment wird beim Stoss zur Beschleunigung der Masse m_2 verbraucht, während die Masse m_1 , solange der Stoss dauert, in der gleichen Winkelgeschwindigkeit verharret.

Ist die Dauer δ des Stosses, wie in Fig. 6 gezeigt, kürzer, so wird während der Stossperiode die Masse m_2 wesentlich steiler beschleunigt und die Masse m_1 abgebremst. δ lässt sich, ausgedrückt in Sekunden,

errechnen aus $\delta = \sqrt{\frac{2s}{\varepsilon}}$, wo $\varepsilon = \frac{M}{J}$ und s den aus

der Nachgiebigkeit der Kupplung sich ergebenden Stossweg in Bogeneinheiten bedeutet. Die Steilheit der Linien ω_1 und ω_2 , d. h. $\text{tg } \alpha_1$ und $\text{tg } \alpha_2$, geben ein Mass für das durch den Stoss erzeugte Drehmoment. In der Figur ist die Ordinate des Punktes A ein Mass für das vom Motor erzeugte Drehmoment. Die Strecke $M s_2$ stellt im gleichen Maßstab das auf m_2 ausgeübte Stossdrehmoment und $M s_1$ das auf m_1 ausgeübte Stossdrehmoment dar. Der Unterschied $M s_2 - M s_1 = M$, d. h. er ist gleich dem vom Motor selbst erzeugten Drehmoment. Wäre der Stoss absolut unelastisch (Punkt B_0), so kämen beide Drehzahllinien in die Vertikale zu liegen, d. h. das Stossdrehmoment wäre unendlich gross.

In Fig. 7 ist der Verlauf des Stosses für zwei verschieden grosse Massen und für zwei Fälle, nämlich mit einer Dauer des Stosses gleich δ und δ' , gezeichnet.

Die Zeichnung zeigt sehr anschaulich, wie leicht sich grosse Massenstösse ergeben und wie sie vermieden werden können. Es lassen sich daraus die drei Mittel zur Verhinderung grosser Massenstösse ableiten:

1. Spiele zwischen den Uebertragungsgliedern soweit als möglich verringern. Dies gilt insbesondere für das Zahnspiel von Getrieben, weil hier jede freie Bewegung zu einem harten Schlag führt.

Der moderne Getriebebau trägt dieser Forderung Rechnung. Bei Uebersetzungsgetrieben, wo sich elastische Zwischenglieder nicht einbauen lassen, z. B. bei Rädergetrieben von Werkzeugmaschinen, verwendet man heute spiellose Getriebe, um solche Schlagwirkungen zu verhüten.

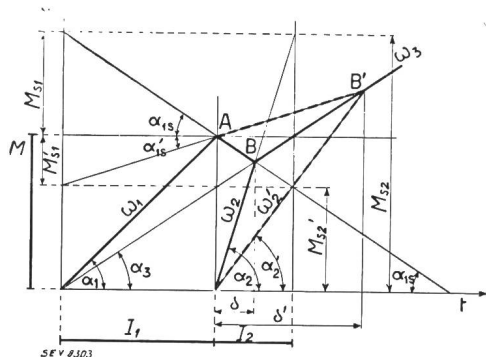


Fig. 7.

Stoss zweier verschieden grosser Massen
 $I_1 > I_2$ (auf dieselbe Drehzahl bezogen)

M Motordrehmoment

A Beginn des Stosses

$B-B'$ Ende des Stosses

Es entsprechen einer Dauer des Stosses	$= \delta$	δ'
eine Winkelgeschwindigkeit der Masse m_2	$= \omega_2$	ω_2'
ein Neigungswinkel von ω_2 während des Stosses	$= \alpha_2$	α_2'
ein Neigungswinkel von ω_1 während des Stosses	$= \alpha_{1s}$	α_{1s}'
ein Stossdrehmoment auf die Masse m_1	$= M_{s1}$	M_{s1}'
ein Stossdrehmoment auf die Masse m_2	$= M_{s2}$	M_{s2}'

2. *Elastische Uebertragungsglieder verwenden*, d. h. nachgiebige Kupplungen, wenn möglich sowohl für die schnell- als auch die langsamlaufende Getriebewelle. Bei Motorgetrieben, bei denen das Ritzel unmittelbar auf der Motorwelle sitzt, muss die Kupplung zwischen der Sekundärwelle und der angetriebenen Maschine besonders gut nachgiebig sein. Die Nachgiebigkeit dieser Kupplung soll min-

destens gleich dem Spiel in den Rädern sein. Diese Forderung lässt sich mit einer nachgiebigen Kupplung nur an der langsamlaufenden Welle leicht erreichen, dagegen wäre die Summe der Leergänge, übertragen auf die schnelllaufende Welle, in der Regel zu gross, als dass sie durch eine nachgiebige Kupplung nur an dieser Welle noch ausgeglichen werden könnte. Sehr günstig wirken sich auch die bei manchen Getriebekonstruktionen verwendeten, zwischen Stern und Kranz eingebauten Radfederungen aus. Bei mehreren hintereinander geschalteten Rädern, insbesondere bei Verwendung gewöhnlicher, roh bearbeiteter Stirnräder, kann die Summe der Zahnspiele sehr gross werden. In solchen Fällen besteht daher um so mehr die Gefahr heftiger Stosswirkungen beim Anlauf. Starre Kupplungen sind in Verbindung damit unbedingt zu vermeiden.

3. *Sanft anlassen*. Von Sonderfällen abgesehen gilt diese Forderung nicht, wo sich die unter 1. und 2. erwähnten Mittel anwenden lassen und ebenso auch nicht für Riemenantriebe, die ihrer Natur nach bereits gut elastisch sind. Der Sanftanlauf soll nur dazu dienen, den Leergang der Uebertragungsteile mit kleinster Geschwindigkeit zu durchlaufen, damit der im Augenblick des Eingriffes aller Uebertragungsteile auftretende Stoss so klein als möglich wird. Stern-Dreieck-Anlauf wird, sofern er überhaupt anwendbar ist, auch in dieser Hinsicht vorteilhaft sein. Ein anderes, sehr zweckmässiges Mittel besteht darin, den Motor zunächst über einen Widerstand — beispielsweise eingeschaltet in den Stator-Stromkreis eines Motors mit Kurzschlussanker — anzulassen.

Beachtet man diese Möglichkeiten, so werden sich die Wirkungen von Massenstössen, die ungleich nachteiliger als reine Drehmomentstösse sind, leicht unschädlich machen lassen.

Ein Apparat zur Selbstwahl der optimalen Beleuchtungsstärke.

Von W. v. Berlepsch, Genf.

621.316.75

Es wird ein zusammenlegbarer, im Auftrag der Zentrale für Lichtwirtschaft Zürich für die Landesausstellung gebauter Demonstrationsapparat beschrieben, der es ermöglicht, eine Leseprobe in den Grenzen von 0 bis 5000 Lux beliebig zu beleuchten. Damit kann jede beliebige Versuchsperson die für sie optimale Beleuchtungsstärke bestimmen. Diese Beleuchtungsstärke wird auf einer Karte vermerkt, die die Versuchsperson mitnehmen kann; ferner werden alle Einstellungen registriert, was eine nachherige statistische Verarbeitung ermöglicht.

L'auteur décrit un appareil démontable de démonstration, construit pour le compte de l'Office d'éclairagisme à Zurich en vue de l'Exposition Nationale Suisse. Cet appareil permet d'éclairer à volonté un texte entre les limites de 0 et 5000 lux, afin que chaque personne puisse déterminer elle-même l'intensité d'éclairage qui lui convient le mieux. La valeur, en lux, de cette dernière est marquée sur une carte que la personne peut emporter. En outre, toutes les lectures faites sur cet appareil sont enregistrées, en vue d'établir ultérieurement une statistique.

Die Augen können ihre wichtige Aufgabe nur dann auf die Dauer ohne nachteilige Folgen erfüllen, wenn sie ihre Arbeit unter günstigen Sehbedingungen leisten. Vom beleuchtungstechnischen Standpunkt aus sind die Sehbedingungen dann günstig, wenn das Licht blendungsfrei ist und Lichtverteilung und Beleuchtungsstärke der Sehaufgabe entsprechen.

In den verschiedenen Leitsätzen für künstliche Beleuchtung¹⁾ findet man Empfehlungen sowohl für Lichtverteilung als auch für Beleuchtungsstärke,

diese besonders weitgehend nach der Art der Sehaufgabe unterteilt. Die Einhaltung dieser Empfehlungen gewährleistet in den meisten Fällen die nötige Leichtigkeit in der Bewältigung der gestellten Sehaufgabe.

Diese Empfehlungen stellen, soweit die Beleuchtungsstärke in Frage steht, im wesentlichen einen

¹⁾ Z. B. Schweizerische Allgemeine Leitsätze für Elektrische Beleuchtung, aufgestellt vom Schweiz. Beleuchtungskomitee, herausgegeben von der Zentrale für Lichtwirtschaft, Zürich 1939, deutsch und französisch.