

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber:	Association suisse des électriciens
Band:	35 (1944)
Heft:	4
Artikel:	Das Flimmern bewegter Teile im Lichte diskontinuierlich betriebener Gasentladungslampen und seine Bedeutung bei der Beleuchtung von Fabrikräumen
Autor:	Högger, D.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1056938

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

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

suchenden Spannweiten oder auf Abschnitten derselben gleichmäig verteilt. Zur Nachahmung von Ketten- oder Seilbrüchen werden die Modell-Isolatoren oder bestimmte Stücke des Modelleiters an solchen Schmelzdrähten befestigt; an die in Reihe geschalteten Schmelzdrähte wird im gewünschten Moment eine so hohe elektrische Spannung angelegt, dass alle in ca. $1/100$ s durchschmelzen.

Messgenauigkeiten am Modell

Die Längen, z. B. Durchhänge und deren Aenderungen, lassen sich im Modell für die statischen Zustände bis auf ca. 0,1 mm genau einregulieren und messen, wobei zur Vermeidung von Parallaxe-Fehlern die Skalen auf Spiegeln angebracht werden können. Die Kinofilm-Auswertung dynamischer Vorgänge ist auf wenigstens 1 mm Genauigkeit möglich, was bei den meist verwendeten Modell-Massstäben ca. 3 cm in der Hauptausführung (also ungefähr der Seildicke) entspricht.

Unter Einhaltung der vom Hochfrequenz-Standpunkt aus nötigen Vorsichtsmassnahmen und Anordnungen wurden Genauigkeiten in der Messung der Kräfte am Modell bis ca. 2 % erzielt, was für die bisherigen Untersuchungen voll ausreichte. Als Beispiel für die gute Reproduzierbarkeit aller Vorgänge an Seilmödellen mögen die zwei Oszillogramme Fig. 9 und 10 dienen, von denen das eine die Wiederholung desselben dynamischen Vorganges (Kettenbruch an Einfach-Aufhängung) ca. 1 Stunde nach Aufnahme des ersten darstellt; unter Berücksichtigung der für jedes der beiden Seilzug-Diagramme geltenden Eichkurve ergibt sich die erwähnte Genauigkeit. Aber auch der bis Ende der Aufnahme fast vollständig gleiche Verlauf der Kurven ist bemerkenswert.

Bemerkungen zu den Oszillogrammen

Bei den Oszillogrammen Fig. 9 und 10 ist das Koordinaten-Netz den Charakteristiken der Bildröhre genau angepasst, d. h. Abszissen- und Ordinaten-Richtung des Rasters fallen mit der wirklichen Strahl-Ablenkung bei zeitlich konstanter Kraft bzw. bei ausgeschalteter Zeitablenkung und veränderlicher Kraft zusammen. Damit ist eine leichte und sichere Auswertung der Oszillogramme gewährleistet; vor allem können bei diesen Bildern dann die $\frac{dF}{dt}$ -Werte leicht bestimmt werden. Immerhin ist noch zu beachten, dass die Ordinaten-Teilung auf dem Raster gleichmäßig ist, während nur in Ausnahmefällen eine vollständig geradlinige, d. h. proportionale Eichkurve der gesamten Apparatur erreichbar sein wird.

Die entsprechende Rasteranpassung an die Eigenschaften der Bildröhre gilt für die ganze Lebensdauer der Röhre.

Die mechanischen Seilmödelle, die Methode der Kräftemessung an ihnen, die Messkondensatoren, die Einrichtung zur Ermittlung der Rückwirkung von Seilschwingungen auf die Aufhänge-Organe des Seils (besonders auf die Isolatoren) usw. wurden bei der Motor-Columbus AG. für elektrische Unternehmungen in Baden (Schweiz) entwickelt und leisten heute zur Untersuchung vieler, besonders den Freileitungsbau betreffenden Fragen, die auf andere Weise gar nicht lösbar wären, gute Dienste. Die Verwendung dieser neuen, geschützten Hilfsmittel bietet aber nicht nur für die Projektierung von Leitungen, Seilbahnen usw. grosse Vorteile, sondern auch für die Abklärung und Behebung aufgetretener Störungen an bestehenden Leitungen.

Das Flimmern bewegter Teile im Lichte diskontinuierlich betriebener Gasentladungslampen und seine Bedeutung bei der Beleuchtung von Fabrikräumen

Von D. Högger, Zürich

612.843.53

Dr. med. D. Högger, Arbeitsarzt des Bundesamtes für Industrie, Gewerbe und Arbeit, veröffentlicht hier eine eingehende Untersuchung des stroboskopischen Effektes bei Gasentladungslampen; es ergibt sich daraus folgendes:

Das Flimmern kleiner Gegenstände bei Bewegung in diskontinuierlichem Licht ist abhängig von dem Verhältnis $\omega : A$, wo ω die Winkelgeschwindigkeit des Gegenstandes im Gesichtsfeld und A die Abmessung des Gegenstandes in der Bewegungsrichtung bedeutet, ausgedrückt im Bogenmaß. Das Flimmern beginnt, wenn bei zunehmender Geschwindigkeit die Einzelbilder nicht mehr bündig aneinandergereiht werden können. Bei grösseren Gegenständen ist die Geschwindigkeit jedoch kleiner, als dieser Formel entspricht, und hängt bei gegebener Beleuchtungsstärke nur noch von der Winkelgeschwindigkeit ab, die die Grösse der Nachbilder bestimmt.

Bei der Beleuchtung von Fabrikräumen wirkt sich das Flimmern, respektive der stroboskopische Effekt an bewegten Gegenständen nur äusserst selten störend aus, da

1. die Arbeitsbewegungen unter bewusster Kontrolle der Augen ohnehin nie die kritische Geschwindigkeit erreichen, da diese auch bei kontinuierlicher Beleuchtung eine ausreichende Beobachtung des Objektes nicht mehr erlaubt;

2. die Umlaufgeschwindigkeit der meisten Räder zu klein ist, um den stroboskopischen Effekt zu ergeben. Sollte dies ausnahmsweise nicht zutreffen, so können derartige Maschinenteile wohl gegen Sicht abgedeckt werden;

3. die Mehrzahl der Arbeiter den Flimmereffekt überhaupt nicht bemerkt. Die möglichen Ursachen hiefür werden diskutiert.

M. le docteur D. Högger, médecin attaché à l'Office fédéral de l'industrie, des arts et métiers et du travail, expose les résultats d'une étude détaillée de l'effet stroboscopique de lampes à décharge.

Le vacillement de petits objets en mouvement, éclairés par une lumière discontinue, dépend du rapport $\omega : A$, c'est-à-dire de la vitesse angulaire ω de l'objet dans le champ visuel par la dimension A de l'objet dans le sens du déplacement, exprimée en longueur d'arc. Un vacillement se produit, à une certaine vitesse, dès que les images ne peuvent plus être juxtaposées. Lorsqu'il s'agit d'assez grands objets, la vitesse est toutefois plus faible que ne l'indique la formule, car, pour un éclairage donné, elle ne dépend plus que de la vitesse angulaire qui détermine la grandeur des images rétiniennes.

Dans les locaux industriels éclairés à l'électricité, le vacillement ou l'effet stroboscopique d'objets en mouvement n'est que très rarement gênant, car

1° les mouvements de travail qui sont consciemment observés n'atteignent jamais la vitesse critique qui ne permettrait plus une perception suffisante de l'objet, même sous un éclairage continu;

2° la vitesse périphérique des roues est généralement trop faible pour provoquer un effet stroboscopique. Au cas exceptionnel où cela se produirait néanmoins, il serait certainement de soustraire ces parties à la vue;

3° les ouvriers ne remarquent presque jamais ces vacillements. M. Högger en analyse les raisons.

Mit Wechselstrom betriebene Gasentladungslampen strahlen keinen kontinuierlichen Lichtstrom aus, sondern geben eine Reihe von sehr rasch aufeinanderfolgenden Lichtblitzen ab, deren Zahl pro Sekunde doppelt so gross ist wie die Frequenz des Wechselstroms. Trotzdem entsteht bei der Betrachtung ruhender Gegenstände der Eindruck einer kontinuierlichen Beleuchtung, da das Nachbild im Auge die dunklen Intervalle überbrückt. Werden jedoch rasch bewegte Gegenstände betrachtet, so beobachtet man ein unangenehmes Flimmern, dessen Entstehungsbedingungen im folgenden untersucht werden.

1. Versuche

Als Lichtquellen dienten eine Quecksilberdampflampe, eine Natriumdampflampe und eine Leuchtstofflampe, deren Licht mit Glühlampenlicht kombiniert werden konnte. Zum Betrieb diente Wechselstrom von 50 Hz. Durch einen 17 cm langen, waagrecht liegenden Schlitz wurde die Bewegung der Peripherie eines Velorades beobachtet, auf dem als deutlich sichtbare Marke ein 6 mm, resp. 17 mm breiter Silberpapierstreifen aufgeklebt war. Die Geschwindigkeit des Streifens wurde errechnet, indem die für eine, resp. zwei oder drei Radumdrehungen benötigte Zeit mit der Stoppuhr gemessen wurde, wobei die abgestoppten Zeiten zwischen 15 und 20 Sekunden lagen, was eine genügende Genauigkeit gewährleistet (Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$ s; n in Umdrehungen pro Sekunde). Alle Versuche wurden parallel mit zwei Versuchspersonen durchgeführt.

a) Ergebnisse

Während bei sehr hoher Geschwindigkeit der 6 mm breite Streifen überhaupt nicht sichtbar ist, beobachtet man, wenn er mit einer Winkelgeschwindigkeit von 1,4...1,7/s durch das Gesichtsfeld geht, bei jedem Durchgang ein einmaliges Aufblitzen. Die Form des Streifens kann jedoch nicht erkannt werden. Nimmt die Geschwindigkeit weiter ab, so sieht man zuerst zwei, dann drei, später immer mehr nebeneinanderliegende Streifen bei jedem Durchgang aufleuchten. Sinkt die Geschwin-

digkeit weiter, so beginnen die zuerst scharf getrennten Mehrfachbildchen zusammenzufließen, und es entsteht ein einfaches, jedoch stark verbreitetes Streifenbild, das lebhaft flimmert. Schliesslich sieht man nur noch den einfachen Streifen, der in der Breite des Ruhebildes erscheint und sich ohne Flimmern durch den Schlitz bewegt.

Tabelle I enthält die Winkelgeschwindigkeiten ω , mit denen sich der Streifen durch das Gesichtsfeld bewegt, in dem Moment, wo das Flimmern eben aufgehört hat infolge der abnehmenden Geschwindigkeit. Die Beobachtungsdistanz betrug 2 m, resp. 4 m oder 6 m. Die Zahlen stellen den Mittelwert von fünf aufeinanderfolgenden Messungen dar. Innerhalb eines Versuches schwankten die Angaben einer Versuchsperson um 3...15 %, durchschnittlich um 9 % um den Mittelwert. Stärker aus der Reihe fallende Werte waren sehr selten.

Die Beobachtung des Flimmers bei Beleuchtung mit Leuchtstoff- und Glühlampen-Licht gleichzeitig erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit, da die Erscheinung weniger auffällig ist als in reinem Gasentladungslicht.

Die drei Messungen mit Quecksilberdampf-Licht in Zeile 1...3 liegen je 14 Tage auseinander. Während nach der ersten Sitzung der beiden Versuchspersonen eine starke Ermüdung zu beobachten war, trat bei den folgenden keine auffallende Müdigkeit mehr auf. Es scheint, dass sich das Auge rasch an die besondern Bedingungen gewöhnt.

b) Diskussion

Die Rechnung ergibt, dass bei Winkelgeschwindigkeiten über 1,5/s der 6 mm breite Streifen unter den angegebenen Bedingungen (4 m Beobachtungsdistanz) den Beobachtungsschlitz während des dunklen Intervalls völlig zu passieren vermag. Je höher die Geschwindigkeit ist, desto geringer wird die Wahrscheinlichkeit, dass er gerade während eines Durchgangs von einem Lichtblitz erhascht wird. Wenn die Geschwindigkeit jedoch stark abnimmt, wird der Streifen bei jedem Durchgang mindestens einmal, bei weiterem Sinken der Geschwindigkeit sogar mehrmals sichtbar.

Grösste Winkelgeschwindigkeit des Streifens, bei der weder Flimmern noch Bildverzerrung auftritt

Tabelle I.

Art des Lichtes	Breite des Streifens	Beleuchtungsstärke	Versuchsperson D Distanz			Versuchsperson A Distanz		
			2 m	4 m	6 m	2 m	4 m	6 m
Hg-Dampf-Licht								
1. Messung	6 mm	22 Lux	0,28	0,17	0,15	0,23	0,24	0,20
2. Messung			0,28	0,18	0,14	0,24	0,21	0,14
3. Messung			0,25	0,16	0,14	—	0,18	0,17
Na-Dampf-Licht	6 mm	22 Lux	0,26	0,15	0,12	0,24	0,19	0,13
Hg- und Na-Dampf-Licht gleichzeitig	6 mm	45 Lux	0,25	0,16	0,13	0,23	0,16	0,18
Leuchtstoff- und Glühlampen-Licht gleichzeitig	6 mm	30 Lux	0,28	0,19	0,13	0,27	0,20	0,17
Hg-Dampf-Licht	17 mm	22 Lux	0,37	0,31	0,31	0,48	0,42	0,33
Leuchtstoff- und Glühlampen-Licht gleichzeitig	17 mm	30 Lux	0,40	0,38	0,27	0,46	0,40	0,29

Die mit noch weiter abnehmender Geschwindigkeit auftretende Erscheinung des Flimmerns kann durch blosse Beobachtung nicht weiter analysiert werden, wenn man sich nicht mit blossem Analogieschlüssen bescheiden will. Hingegen ergibt die Rechnung einen interessanten Befund.

Die Zahlen der Tabelle I, auf die wir uns dabei stützen, beruhen auf dem Urteil der Versuchspersonen, wann nach deren subjektivem Eindruck das Flimmen nicht mehr beobachtet werden kann. Es ist beachtenswert, dass sie trotz dieser subjektiven Komponente verhältnismässig gut übereinstimmen, auch wo es sich um Resultate handelt, die in beträchtlichen Zeitabständen gewonnen wurden. Das weist darauf hin, dass für den Eindruck des Flimmerns bestimmte objektive Umstände massgebend sind, die unabhängig sind von der Laune der Versuchsperson.

Tabelle I zeigt, dass die kritische Winkelgeschwindigkeit, bei der das Flimmen aufhört, unter anderm von der Beobachtungsdistanz abhängig ist. Dies mag auf den ersten Blick auffallen, ist aber leicht zu erklären.

Tabelle II.

Beobachtungsdistanz	Blickwinkel	
	6-mm-Streifen	17-mm-Streifen
2 m	10,4'	29,3'
4 m	5,2'	14,6'
6 m	3,4'	9,7'

Tabelle II gibt an, unter welchem Winkel die Breite der beiden Streifen bei den verschiedenen Beobachtungsdistanzen erscheint (in Bogenminuten).

Hundertstelsekunde gesunken ist. Aus Tabelle III ist zu entnehmen, dass der Winkelgeschwindigkeit 0,25/s tatsächlich ein Vorschub des Streifens von 8,57 Bogenminuten entspricht. Das Flimmen ist also ein Mehrfachsehen des Streifens, das jedoch wegen der Gedrängtheit der Bilder durch blosse Beobachtung nicht ohne weiteres analysiert werden kann.

Diese Erklärung genügt für die Mehrzahl der gewonnenen Ergebnisse. Sie macht auch verständlich, weshalb beim breiten Streifen das Flimmen erst bei höhern Winkelgeschwindigkeiten auftritt. Bei der kürzesten Beobachtungsdistanz gelten jedoch für das Flimmen des breiten Streifens andere Bedingungen. Die kritische Winkelgeschwindigkeit ist hier erheblich kleiner, als es dieser Erklärungsweise entsprechen würde. Bei den gefundenen Werten zwischen 0,37 und 0,48/s, entsprechend ungefähr 13...16 Bogenminuten pro Hundertstelsekunde, überdecken sich die einzelnen Bilder noch, da deren Breite laut Tabelle II 29,3 Bogenminuten beträgt. Dunkle Intervalle im Gesamtbild können also nicht auftreten. Statt diesen entsteht hinter dem Hauptbild ein Schweif von weniger hellen Nachbildern, der offenbar genügt, um den Eindruck des Flimmerns zu erwecken. Mit steigender Geschwindigkeit nimmt die Grösse der Nachbilder zu; das Flimmen beginnt, sobald eine bestimmte Abmessung erreicht ist. Die Abmessung des Nachbildes ist daneben auch von der Beleuchtungsstärke abhängig, insofern diese die Dauer und damit die Grösse und Richtung des Netzhautbildes beeinflusst. In unserem Fall beträgt die kritische Abmessung 13...16 Bogenminuten. Dieses Flimmen ist verständlicherweise nicht so auffällig wie dasjenige

Tabelle III

Winkelgeschwindigkeit in 1/s .	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Weg pro Hundertstel-Sekunde in Bogenminuten	3,42	5,14	6,86	8,57	10,28	12,0	13,72	15,43

Tabelle III enthält die Weglänge in Bogenminuten, die bei der angegebenen Winkelgeschwindigkeit pro Hundertstelsekunde zurückgelegt wird, das heisst in der Zeit von einem Aufleuchten der Lampe bis zum nächsten.

Den Tabellen kann entnommen werden, dass das Flimmen aufhört, wenn der Vorschub des Streifens in der Zeit von einem Aufleuchten der Lampe bis zum nächsten nicht mehr als eine Streifenbreite beträgt, das heisst, wenn sich ein Streifenbild ohne Unterbruch an das andere reiht. Entsprechend tritt das Flimmen dann auf, wenn die einzelnen hellen Bilder des Streifens durch dunkle Zwischenräume getrennt werden, weil der Vorschub des Streifens von einem Aufleuchten zum andern die Streifenbreite um mehr als eine Bogenminute übersteigt. Die kritische Geschwindigkeit beträgt zum Beispiel für den 6 mm breiten Streifen bei 6 m Beobachtungsdistanz 0,25/s. Die Breite des Streifens beträgt laut Tabelle II 10,4 Bogenminuten. Das Flimmen muss entsprechend der obigen Erklärung aufhören, wenn die Geschwindigkeit unter 10,4 Bogenminuten pro

der getrennten Nachbilder. Es fällt jedoch schwer, diese Tatsache zahlenmäßig zu erfassen.

Die Versuche mit Beimischung von kontinuierlich brennendem Glühlampenlicht zeigen, dass das Flimmen auch bei erheblicher Kontrastverminderung noch wahrgenommen werden kann.

Als Ergebnis unserer Versuche stellen wir somit fest, dass das Flimmen bewegter Gegenstände in diskontinuierlichem Licht abhängig ist von dem Verhältnis $\frac{\omega}{A}$, wo ω die Winkelgeschwindigkeit des Gegenstandes im Gesichtsfeld und A die Abmessung des Gegenstandes in der Bewegungsrichtung ist, ausgedrückt im Bogenmass. Das Flimmen beginnt dann, wenn bei zunehmender Winkelgeschwindigkeit der Wert dieses Verhältnisses den Bereich von 0,03...0,04 nach oben überschreitet. In diesem Moment können die Einzelbilder nicht mehr bündig aneinander gereiht werden; ihr Abstand erreicht die Trennschärfe des Auges. Bei grösseren Gegenständen ist der Wert für $\frac{\omega}{A}$ jedoch kleiner. Das

Flimmern hängt nur noch von der Winkelgeschwindigkeit ab, die die Grösse der Nachbilder bestimmt.

2. Der Flimmereffekt in Arbeitsräumen

a) Rundfrage

Im weiteren wurde die Bedeutung des Flimmereffektes für die Beleuchtung von Arbeitsräumen untersucht, und zwar wurde dabei auf folgende Punkte geachtet:

1. Erreichen die Bewegungen beim Arbeitsvorgang an irgendeinem Punkt regelmässig oder doch sehr häufig eine Geschwindigkeit, die hinreicht, um bei der üblichen Frequenz des Wechselstroms von 50/s, das heisst von 100 Lichtblitzen pro Sekunde, das beschriebene Flimmern zu erzeugen? Es muss dabei unterschieden werden zwischen den Hauptbewegungen des Arbeitsvorganges, die unter genauer Kontrolle der Augen erfolgen, und den Hilfsbewegungen, wie Herholen und Weglegen des Arbeitstückes, wo nicht genauer beobachtet wird.

2. Gibt es Bewegungen im Arbeitsraum, die unabhängig von der Arbeit des einzelnen Arbeiters sind, und die die kritische Geschwindigkeit erreichen oder überschreiten? Sind solche Erscheinungen geeignet, den Arbeitsvorgang zu stören? In Betracht kommt hier vor allem die Bewegung von Maschinenteilen und Transmissionen. Aus der Theorie folgt, dass an Rädern mit bestimmter Speichen- oder Zahnbreite bei einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit ein stroboskopischer Effekt auftreten muss. Die Beobachtungsdistanz

spielt dabei keine Rolle, da das Verhältnis $\frac{n}{A}$ davon unabhängig ist (n bedeutet die Umdrehungszahl des Rades, die in diesen Fällen statt ω verwendet wird).

3. Wie wird die Beleuchtung von den Arbeitern beurteilt, insbesondere was das Flimmern anbetrifft? Zu diesem Zwecke wurden in den verschiedenen Betrieben an ca. 50 Arbeiter folgende Fragen gerichtet:

Ist die Beleuchtung gut zum Arbeiten?

Ist sie besser als die alte Glühlampenbeleuchtung, oder möchten Sie lieber wieder bei Glühlampenbeleuchtung arbeiten?

Flimmt die Beleuchtung nicht?

Macht Sie das Arbeiten bei dieser Beleuchtung besonders müde?

4. Wie wird die Beleuchtung von den Betriebsinhabern beurteilt in ihrem Einfluss auf das Arbeits tempo und die Qualität der Arbeit?

Die Untersuchungen wurden durchgeführt in fünf Räumen einer Spinnerei (Quecksilberdampf-Mischlicht), in zwei Räumen einer Apparatefabrik (Quecksilberdampf-Mischlicht), in zwei Hallen eines Aluminiumwalzwerkes (Quecksilberdampf-Mischlicht), in zwei Räumen einer Zigarrenfabrik (Leuchtstoffröhren), im Prüfraum einer Apparatefabrik (Leuchtstoffröhren), in zwei Räumen einer mechanischen Schlosserei (Natriumdampflampen), im Pressraum einer Ziegelei (Natriumdampflampen) und auf einem Industrieleise (Natriumdampflampen). In all diesen Betrieben waren sämtliche Lampen an dieselbe Phase des Wechselstromnetzes angeschlossen, so dass die Voraussetzungen zur

Entstehung des Flimmerns die gleichen waren wie in den Experimenten. Die Beleuchtungsstärke an den Arbeitsplätzen wechselte von Betrieb zu Betrieb. Sie betrug im Minimum 20 Lux (Aluminiumwalzwerk) und im Maximum 120 Lux (Spinnerei). Vergleichsweise wurde schliesslich noch die Beleuchtung in drei Hallen einer Maschinenfabrik untersucht, wo Quecksilberdampf-Mischlichtlampen abwechselnd an die drei verschiedenen Phasen des vorhandenen Wechselstromnetzes angeschlossen waren, so dass der Flimmereffekt nicht entstehen konnte.

ad 1. Es stellte sich heraus, dass beim eigentlichen Arbeitsvorgang nur ganz ausnahmsweise Bewegungen vorkommen, die rasch genug sind, um das Flimmern hervorzurufen. Der kritische Wert für ω von 0,04 wird nur erreicht, wenn die Geschwindigkeit so hoch liegt, dass auch ganz abgesehen von der Beleuchtung der Gegenstand nicht mehr genau beobachtet werden kann, so dass bei Arbeiten, die unter genauer Kontrolle der Augen durchgeführt werden müssen, von vornherein, ohne Rücksicht auf die Beleuchtungsart, Bewegungen dieser hohen Geschwindigkeit vermieden werden.

Es ist im übrigen auch zu beachten, dass die Geschwindigkeit in cm/s, bei der das Flimmern auftritt, um so höher liegt, je näher der bewegte Gegenstand dem Auge ist. Da die Distanz Auge-Arbeitstück meist weniger als 1 m beträgt, tritt das Flimmern nur bei sehr grossen absoluten Geschwindigkeiten auf.

Nur ein einziges Mal konnte eine zum eigentlichen Arbeitsvorgang gehörige Bewegung beobachtet werden, die so rasch war, dass sie einen eigentlichen stroboskopischen Effekt hervorrief. Es handelte sich um die Prüfung eines Zahnradgetriebes, wobei die Zähne eines Rades, das mitten im Beobachtungsfeld lief, die hinreichende Geschwindigkeit erreichten.

Hingegen erreichen die Hilfsbewegungen, so insbesondere das Holen und Weglegen der Arbeitstücke, häufig die kritische Geschwindigkeit, insbesondere dann, wenn ein geringes Gewicht der Gegenstände deren rasches Verschieben erleichtert, zum Beispiel beim Aufstecken von Spulen auf den Flyer. Es handelt sich jedoch dabei um Verrichtungen, die infolge der dauernden Übung ohne Kontrolle der Augen rasch und trotzdem mit ausreichender Genauigkeit ausgeführt werden können. Was genau beobachtet wird, ist lediglich die Ausgangs- und die Endlage des Gegenstandes, aber nicht die Bewegung.

ad 2. Das Flimmern, respektive ein stroboskopischer Effekt, konnte außerhalb des unmittelbaren Arbeitsfeldes in drei Fällen beobachtet werden, das heisst relativ sehr selten. In zwei Fällen handelte es sich um Riemenscheiben, an denen infolge des stroboskopischen Effekts die Geschwindigkeit wesentlich niedriger schien als sie tatsächlich war, und der scheinbare Drehsinn dem tatsächlichen entgegengesetzt war. Es ist klar, dass dies unter Umständen zu Unfällen führen kann. *Riemenscheiben in derartig beleuchteten Räumen sollen deshalb keine Speichen*

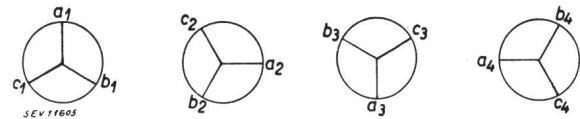
haben, sondern Scheibenräder sein. Dass sie darüber hinaus noch abgeschräkt sein müssen, wenn sie in erreichbarer Höhe liegen, ist selbstverständlich. Im dritten Fall handelte es sich um den Flyer in einer Spinnerei, auf dem einzelne Reflexlichter in umgekehrter Drehrichtung herumließen. Da jedoch die Mehrzahl der Reflexe den richtigen Drehsinn aufwies, dürfte der Erscheinung keine allzu grosse Bedeutung zukommen, insbesondere, da die Arbeiterin nur ausnahmsweise die umlaufenden Teile beobachtet. Es entsteht auch bei gewöhnlicher Beleuchtung durch die lange Reihe der rasch umlaufenden Reflexlichter ein sehr unruhiges Bild, das wohl am besten dadurch vermieden würde, dass die spiegelnden Teile an diesen Maschinen mattiert würden.

Das seltene Auftreten des stroboskopischen Effekts an Maschinenteilen mag auffallen. Die Rechnung ergibt aber, dass bei einem Rad, dessen Speichenbreite ein Zehntel des Durchmessers beträgt, ein Flimmereffekt erst auftreten kann, wenn die Umdrehungszahl mehr als 200 pro Minute beträgt. Bei 200 Umdrehungen pro Minute wird das Rad während einer Umdrehung dreissigmal angeleuchtet, das heisst, es bewegt sich während des dunklen Intervalls auch an der Peripherie um nicht mehr als eine Speichenbreite, womit die Bedingungen für flimmerfreie Bewegung noch erfüllt sind. Erst bei höhern Drehzahlen beginnt das Flimmen.

Der stroboskopische Effekt, das heisst die Erscheinung, dass das Rad sich rückwärts oder verlangsamt zu bewegen scheint, ist im Gegensatz zum Flimmen nicht von der Speichenbreite, sondern von der Speichenzahl abhängig. Bei einem Rad mit 8 Speichen wird ein stroboskopischer Effekt erst auftreten, wenn die Drehzahl 300 pro Minute überschreitet. Bei 300 Umdrehungen pro Minute wird das Rad zwanzigmal pro Sekunde angeleuchtet, das heisst es dreht sich während des dunklen Intervalls um weniger als ein Zwanzigstel seines Umfangs, oder, um weniger als die Hälfte des Speichenabstands. Der Drehsinn wird deshalb noch richtig erkannt. Erst wenn das Rad weniger als 16mal pro Umdrehung angeleuchtet wird, das heisst eine Drehzahl von 375 pro Minute hat, kann ein stroboskopischer Effekt auftreten, da in diesem Fall während des dunklen Intervalls mehr als die Hälfte des Speichenabstands zurückgelegt wird. Bei Rädern mit weniger Speichen kommt der stroboskopische Effekt erst bei entsprechend höhern Drehzahlen zu stande.

Derart hohe Drehzahlen sind jedoch verhältnismässig selten anzutreffen mit Ausnahme der Motorwellen. Die entsprechenden Riemenscheiben sind meist klein; sie werden häufig ohne Speichen konstruiert, oder wenn Speichen vorhanden sind, so sind diese im Verhältnis zum Raddurchmesser sehr breit. Wie die Verhältnisse in diesem Fall liegen, zeigt folgendes Beispiel. Es handle sich um einen vierpoligen Wechselstrommotor, das heisst die Umdrehungszahl pro Sekunde sei halb so gross wie die Frequenz (bei 50 Hz 25 Umdrehungen pro Sekunde, das sind 1500 Umdrehungen pro Minute). Seine

Riemenscheibe habe drei Speichen. Bei einer Umdrehung wird die Scheibe viermal angeleuchtet, und zwar bei Drehsinn in der Richtung des Uhrzeigers in folgenden Stellungen:



Der Effekt ist folgender: Da der Winkel zwischen a_1 und a_2 grösser ist als der Winkel zwischen a_1 und c_2 , wird das Auge nicht a_1 mit a_2 , sondern a_1 mit c_2 identifizieren. Die Folge davon ist, dass das Rad sich rückwärts zu drehen scheint, und zwar mit einer dreimal kleineren Geschwindigkeit, da der Winkel $a_1 c_2$ 30° beträgt, während der Winkel $a_1 a_2$ 90° beträgt. Scheiben mit 4 Speichen werden demgegenüber still zu stehen scheinen.

Praktisch wird die Sichtbarkeit allfällig auftretender stroboskopischer Effekte meist dadurch beeinträchtigt, dass die Breite der Riemenlauffläche im Verhältnis zum Durchmesser der Scheibe sehr gross ist. Die Speichen sind deshalb weitgehend verdeckt, wenn das Rad sich nicht auf Augenhöhe des Beobachters befindet. Sie liegen aus dem gleichen Grunde auch meist völlig im Schatten, was ebenfalls dazu beiträgt, die Erscheinung unauffällig zu machen.

ad 3. Auffallenderweise bemerken die Arbeiter das Flimmen, respektive den stroboskopischen Effekt im allgemeinen nicht. Von den rund 50 daraufhin befragten Arbeitern hatte einziger Vorarbeiter, der die erwähnten Zahnradgetriebe prüfte, den Effekt beobachtet, und da er früher dieselbe Arbeit bei Glühlampenlicht verrichtet hat, auch den Zusammenhang mit der Beleuchtung richtig erkannt. Alle übrigen hingegen wollten überhaupt nichts bemerkt haben. Es ist dies um so auffallender, als der Effekt schon an ihren im Gespräch gestikulierenden Händen meist ohne weiteres wahrnehmbar war, gleichwie auch an zahlreichen andern Bewegungen, die nicht unmittelbar zur Arbeit gehörten.

Die überwiegende Mehrzahl der Arbeiter, die schon seit mehreren Jahren bei Gasentladungsbeleuchtung arbeiten, sprach sich lobend über diese Beleuchtungsart aus und zog sie der Glühlampenbeleuchtung vor¹⁾. Die wenigen kritischen Bemerkungen bezogen sich ausnahmslos auf unrichtige Aufhängung der Leuchten oder auf eine ungenügende Beleuchtungsstärke. Es ist schwer zu entscheiden, ob das Flimmen überhaupt nicht beobachtet wird, oder ob die Beobachtung als Sinnes täuschung gedeutet und deshalb aus dem Bewusstsein verdrängt wird. Diese Frage konnte nicht sicher entschieden werden, da mit Rücksicht auf die praktischen Interessen der Arbeitgeber und Arbeitnehmer nicht versucht werden darf, den Arbeitern den Flimmereffekt zu demonstrieren. Man würde sonst Gefahr laufen, dass durch einige allzu Besorgte

¹⁾ Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass mit der Einführung der neuen Beleuchtungsart fast immer auch die Beleuchtungsstärke erhöht wird.

auf Grund volkstümlicher Vorstellungen die ganze Beleuchtungsart als unbrauchbar und gesundheitsschädlich verschrien würde. Wir mussten uns deshalb mit der Frage begnügen, ob die Beleuchtung nicht flimmere, und erhielten darauf, wie erwähnt, ausschliesslich verneinende Antworten.

ad 4. Die Betriebsinhaber äusserten sich durchweg günstig über die Gasentladungsbeleuchtung, sowohl was das Arbeitstempo, als auch was die Arbeitsgenauigkeit anbetrifft. Es ist allerdings auch hier wieder darauf hinzuweisen, dass im allgemeinen mit der Einführung der Gasentladungsbeleuchtung eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke einhergeht, die wohl die Hauptursache für die Verbesserung gegenüber dem Glühlampenlicht sein dürfte. Vier Betriebsinhabern von sieben war der Flimmereffekt wohlbekannt, und sie achteten von Anfang an auf einen eventuellen Einfluss auf die Arbeit, ohne jedoch etwas Nachteiliges feststellen zu können. Klagen von seiten der Arbeiter wegen des Flimmers waren bei keinem Betriebsinhaber eingelaufen.

b) Diskussion

Die Erfahrungen der Praxis zeigen, dass mit Bezug auf den Arbeitsvorgang irgendwelche Bedenken wegen des Flimmers nicht am Platze sind. Auch vom gesundheitlichen Standpunkt dürfte nach den bisherigen Erfahrungen nichts gegen die mit Wechselstrom betriebenen Gasentladungslampen einzuwenden sein. (Wir verzichten hier auf eine Diskussion der Monochromasie einzelner Lamparten, da diese praktisch nur noch eine sehr geringe Rolle spielen.) Bei der Betrachtung ruhender Gegenstände integriert das Sehorgan die zahlreichen Einzeleindrücke ohne weiteres, und es liegen bis heute keinerlei Anhaltspunkte dafür vor, dass dieser Vorgang irgendeine Schädigung des Organs

nach sich ziehen könnte. Bemerkenswert ist, dass auch bei Betrachtung bewegter Gegenstände den meisten Leuten der Flimmereffekt nicht zum Bewusstsein kommt. Es ist anzunehmen, dass der Effekt vom Auge zwar beobachtet, von der Psyche aber beim Zustandekommen des Bildes aus dem Bewusstsein verdrängt wird. Auf derartigen Korrekturen beruht ja auch die Möglichkeit, eine Serie kinematographischer Bilder, die nur mit geringer Geschwindigkeit abläuft, trotzdem als kontinuierlichen Vorgang zu erfassen. Theoretisch wäre es denkbar, dass infolge der Notwendigkeit, fortwährend die verschiedenen Bilder zu einem Gesamtein-Vorgang zu erfassen. Theoretisch wäre es denkbar, dass in Folge der Notwendigkeit, fortwährend die verschiedenen Bilder zu einem Gesamtein-druck zu kombinieren, die Ermüdung rascher eintritt. Tatsächlich ist dies aber nicht der Fall. Im Gegenteil ermüdet derjenige stärker, der sich bemüht, den Vorgang zu analysieren und die Kombinationstendenz auszuschalten. Es dürfte dies davon herrühren, dass es eine gewisse Aufmerksamkeit erfordert, der natürlichen Tendenz zur Kombination gegenüber den Sehvorgang in seine Einzelkomponenten aufzulösen.

Trotzdem dürfte es aber doch zu empfehlen sein, wenn möglich, die Lampen eines Raumes abwechslungsweise an die verschiedenen Phasen des Wechselstroms anzuschliessen, um das Flimmen nach Möglichkeit zu vermeiden. Für den Betriebsungewohnnten wird dadurch die Beleuchtung zweifellos angenehmer und es fragt sich, ob dies nicht auch für den Arbeiter der Fall ist, auch wenn er sich über den Grund nicht Rechenschaft zu geben vermag. Es hat sich auch gezeigt, dass der Flimmereffekt der Leuchtstoffröhren geringer ist als derjenige der reinen Gasentladungslampen infolge der Trägheit der Fluoreszenzschicht.

Barrage provisoire pour surélever le niveau d'une rivière

Par M. Pedrazzini, Locarno

627.82

Le Bulletin ASE No. 22 du 3 novembre 1943 (page 685) reproduit un bref article paru dans la Bauzeitung sous le titre «Provisorische Stauabschlüsse zur Steigerung der Energiegewinnung», article dû à la plume de M. G. Gruner.

Les méthodes adoptées pour surélever les bassins d'alimentation et par conséquent augmenter les réserves d'eau, ou même la chute, sont de grand intérêt pour les chefs d'exploitation. Tout compte actuellement et rien doit être négligé de ce qui peut contribuer à augmenter le débit d'eau, ou la hauteur de chute et, enfin, la production d'énergie électrique.

Je me suis dit qu'il serait peut-être intéressant de faire connaître une solution analogue, appliquée à une usine au fil de l'eau d'importance moyenne, pour assurer, même pendant les périodes de basses eaux, une alimentation suffisante du canal d'aménée. Il s'agit de l'usine de Pontebrolla sur la Maggia.

La Maggia a un caractère torrentiel; son débit (bassin de réception au point d'utilisation km² 587)

varie en effet entre un minimum de 3 m³/s, lors des hivers rigoureux et secs, et des maxima pouvant atteindre et même dépasser 1000 m³/s. Lors de la crue mémorable du 24 septembre 1924 (catastrophe de Someo) la hauteur d'eau atteignit, à la prise de Pontebrolla, 8 m et la vitesse du courant dépassa 5 m/s.

On comprend dès lors les difficultés que présente une installation de retenue, qui doit être simple, facile à monter et d'un coût (montage et matériel) très réduit. Il faut en effet prévoir qu'à chaque crue rapide et importante l'installation de retenue sera dans sa grande partie emportée par les flots, car pour de nombreux motifs on ne peut penser à une installation fixe.

Afin de parer au danger de la formation d'un creux dans le matériel alluvional qui forme le lit de la rivière, entre une parois très raide de rochers et la campagne d'Avegno, on a construit pendant l'hiver 1924/25 un solide barrage en béton armé (fig. 1). Cette digue a une largeur de 5 m et une