

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 26 (1935)
Heft: 12

Artikel: Ueber Strommessungen mit Braunschen Kathodenstrahlröhren
Autor: Holzer, Wolfgang
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060313>

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: 14.01.2026

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

mehr oder weniger auch im Anlauf und bei Belastung. Gleichzeitig werden aber die Wirtschaftlichkeit und zum Teil auch die elektrischen Daten des Motors ungünstig beeinflusst. Zudem kann der Zufall noch etwas mitspielen. Es kann durch irgendeine scheinbar harmlose Oberwelle eine zufällige mechanische Resonanz des Stators, des Rotors oder eines Einzelteiles angeregt werden, so dass trotzdem Schall entsteht.

VI. Wirkung mechanischer Resonanzen.

Bei der Untersuchung der Lautstärke einer grösseren Zahl von Motoren hat sich gezeigt, dass bei Leerlauf der Verlauf der Kurve Lautstärke-Drehzahl (Netzfrequenz) meist keine sehr grossen Unregelmässigkeiten aufweist. Ausnahmen sind aber durchaus möglich. Fig. 17 und 18 zeigen z. B., dass zufällige mechanische Resonanzen der Maschinenteile eine erhebliche Störung in der Lautstärke-Drehzahl-Verlauf bringen können. Gemessen wurde ein 6poliger 5-PS-Drehstromasynchronmotor mit 54 Nuten im Stator. Es wurden in demselben Stator bei den gleichen elektrischen und akustischen Bedingungen zwei gleichgebaute Käfiganker untersucht, ein Rotor mit 33 Nuten (Fig. 17), Nuten geschlossen, ein anderer Rotor mit 32 Nuten (Fig. 18), Nuten offen. Die Bilder zeigen Lautstärke und Schalldrucke der am stärksten störenden Teiltöne des Spektrums bei verschiedenen Drehzahlen (Netz-

frequenzen) im Leerlauf. Die Messungen wurden bei um 30 % erhöhter Netzspannung durchgeführt. Zum Vergleich der Güte der Nutenzahlen 33 und 32 wurden später die Nuten des Rotors 33 geöffnet, wobei die Lautstärke im Durchschnitt um etwa 5 Phon stieg. Messfehler durch die Wirkung stehender Wellen konnten bei diesen Aufnahmen klein gehalten werden.

Die Lautstärkekurve Fig. 17 zeigt, dass ein glücklicher Zufall bei der Normalfrequenz 50 Per./s einen relativ ruhigen Betrieb bringt. Dagegen ergibt die Netzfrequenz 50 beim Motor nach Fig. 18 eine Spitze in der Lautstärkekurve. Für diesen Motor wäre eine Normalfrequenz von 52 oder 42 Per./s. offensichtlich günstiger.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es beim Bau absolut geräuschloser Motoren nicht genügt, nur die stärksten elektrischen Schallursachen zu beseitigen. Man ist gezwungen, entweder die Zufälligkeiten mechanischer Resonanzen zu beseitigen, oder neben den starken elektrischen Schallursachen auch die schwachen, d. h. auch die schwächsten der pulsierenden Parasitärkräfte zu unterdrücken. Der erste Weg scheint nicht gut gangbar zu sein, weil das mechanische Schwingungsgebilde elektrischer Maschinen zu kompliziert ist. Der zweite Weg indessen führt leichter zum Ziel. Im nächsten Abschnitt wird eine Lösung besprochen werden, die auf diesem Weg Geräuschfreiheit bringt.

(Fortsetzung folgt.)

Ueber Strommessung mit Braunschen Kathodenstrahlröhren.

Von Wolfgang Holzer, Wien.

621.317.31:621.317.754

Der Autor empfiehlt zur Messung von zeitlich veränderlichen Strömen die Verwendung von Kathodenstrahlröhren, deren Strahl durch das magnetische Feld des Leiters abgelenkt wird. Die Stromempfindlichkeit des Verfahrens wird angegeben. Es zeigt sich, dass handelsübliche gasgefüllte Kathodenstrahlrohre (abgeschmolzene Glastype) gut geeignet sind. Vorteile des Verfahrens: In die Leitung muss kein Nebenschluss gelegt werden. Das Verfahren ist billig. Während man beim Schleifenoszillographen die Ueberlastungsgefahr oft befürchtet, ist diese hier völlig vermieden.

Pour la mesure des courants d'intensité variable dans le temps, l'auteur recommande d'utiliser des tubes à rayons cathodiques, dont le faisceau est dévié par le champ magnétique du conducteur. L'étude de la sensibilité de cette méthode montre que les tubes courants à remplissage gazeux en vente dans le commerce (tubes en verre fermés) se prêtent très bien à ces mesures. Avantages de cette méthode: aucune dérivation ne doit être insérée dans le conducteur; les frais sont peu élevés; le danger d'une surcharge, que l'on craint avec l'oscillographe à boucle, est complètement banni.

Schon Braun¹⁾ benützte den Kathodenstrahl-
oszillographen als Messgerät für veränderliche
Ströme. Ebert²⁾ ging zur Spannungsmessung über;
seither wurde dieses Verfahren³⁾ fast ausschliess-
lich benutzt. Matthias⁴⁾, Borries und Ruska gaben
eine Strommeßschleife an, welche im Vakuum von
Hochleistungskathodenstrahlloszillographen liegt.
Da nun die Bedienung, der Preis, das Transportge-
wicht und der Raumbedarf bei Hochleistungskatho-
denstrahlloszillographen (Metalltype mit dauernd
laufender Hochvakuumpumpe und hoher Erreger-
spannung) einer verbreiteten Anwendung in Prüf-

feld und Anlage hinderlich sind, schien es von In-
teresse, die Eignung von Braunschen Kathoden-
strahlröhren⁵⁾ (Glastype, abgeschmolzen, niedere
Erregerspannung) für diese Zwecke zu untersuchen.
Durch die Wahl dieser speziellen Oszillographen-
type fallen die oben genannten Hindernisse weg, da
deren Preis, Transportgewicht und Raumbedarf
klein, die Bedienung einfach ist.

Oft hat man in Prüffeld oder bei Netzunter-
suchungen Ströme der Grösse 25 bis 10 000 A zu
oszillographieren. Es wurde versucht, die Ablen-
kung eines Elektronenstrahlers durch das magne-
tische Feld des Leiters für diese Messzwecke auszu-
nutzen⁶⁾. Insbesondere wurde angestrebt, Oszillo-

¹⁾ F. Braun, Wied. Ann. Bd. 60 (1897), S. 552.

²⁾ H. Ebert, Wied. Ann. Bd. 64 (1898), S. 240.

³⁾ E. Alberti, Braunsche Kathodenstrahlröhren. Berlin, Springer, 1932.

⁴⁾ A. Matthias, B. v. Borries u. E. Ruska, Z. Physik, Bd. 85 (1933), S. 336.

⁵⁾ M. v. Ardenne, Die Kathodenstrahlröhre. Berlin, Springer, 1933.

⁶⁾ E. Brüche, Z. techn. Phys. Bd. 12 (1931), S. 94; Z. Astrophysik, Bd. 2 (1931), S. 30.

graphen der abgeschmolzenen Glastype zu verwenden.

Wenn man einen Elektronenstrahl mit der Geschwindigkeit v einer magnetischen Feldstärke H aussetzt, so wird der Strahl eine Kreisbahn beschreiben. Die Ablenkung y beträgt dann:

$$y = \frac{e \cdot H}{m \cdot v} \left(\frac{l^2}{2} + a \cdot l \right) \quad (1)$$

e = Elementarladung = $1,765 \cdot 10^7$ e. m. E.; m = Masse = $9,02 \cdot 10^{-28}$ g; H = Feldstärke in Gauss; v = Geschwindigkeit in cm/s; a = unbeeinflusste Strahlänge ausserhalb des Feldes; l = beeinflusste Strahlänge im Felde in cm.

Setzt man nun die folgenden Beziehungen in (1) ein, so vereinfacht sich die Formel wesentlich.

$$v = \frac{2 \cdot e \cdot U}{300 \cdot m} = 0,6 \sqrt{U} \text{ cm/s};$$

U = Beschleunigungsspannung des Kathodenstrahles in V.

$$H = \frac{0,2 \cdot I}{L} \quad \text{Gauss}$$

I = Leiterstrom in A; L = Leiterabstand vom Kathodenstrahl in cm;

$$\frac{l^2}{L} = h = \text{fiktiver Wirkungshebelarm};$$

k = Konstante = $2,94 \cdot 10^{-2}$

$a_m = \frac{y}{I} = \text{Aus Schlag in cm pro A Leiterstrom} = \text{Stromempfindlichkeit};$

$$a_m = 2,94 \cdot 10^{-2} \left(\frac{l^2}{L} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = k \cdot h \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} \text{ cm/A} \quad (2)$$

Hat man z. B. einen Oszillographen mit der Strahlänge $l = 24$ cm und der Beschleunigungsspannung $U = 3000$ Volt in der Entfernung $L = 100$ cm von einem Leiter aufgestellt, so ergibt sich nach (2) eine Stromempfindlichkeit von:

$$a_m = 2,94 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{24^2}{100} \cdot \frac{1}{\sqrt{3000}} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/A}$$

Es wurde nun diese Näherungsformel⁷⁾ hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit für technische Messungen untersucht. In die Entfernung $L = 91$ cm von einem Braunschen Rohr mit der Baulänge $l = 24$ cm, wurde ein blanker Kupferstab von 25 mm \varnothing als Messleiter parallel zur Röhrenachse gelegt. Die Beschleunigungsspannung der Röhre war regulierbar (800 bis 3000 V). Der Leiterstrom wurde von 0 bis 1000 A verändert. Die ausgezogenen Geraden der Fig. 1 entsprechen den berechneten Werten nach (2). Die Übereinstimmung zwischen Theorie

und Messung scheint für technische Zwecke zu genügen.

Vor allem machen sich dadurch Abweichungen bemerkbar, dass es schwer möglich ist, das magnetische Feld eines Leiters allein, ohne die Wirkung des Rückleiters, wirksam zu machen.

Damit scheinen die Voraussetzungen für ein einfaches Hochstrommessverfahren zur Oszillographie gegeben. Die zeitgemäss richtigen Anforderungen bezüglich Preis¹⁰⁾ und Transportgewicht, wie auch Aufstellungsraumbedarf sind weitgehend erfüllt. Technisch dürfte ein besonderer Vorteil des Verfahrens darin liegen, dass es nicht nötig ist, in die Lei-

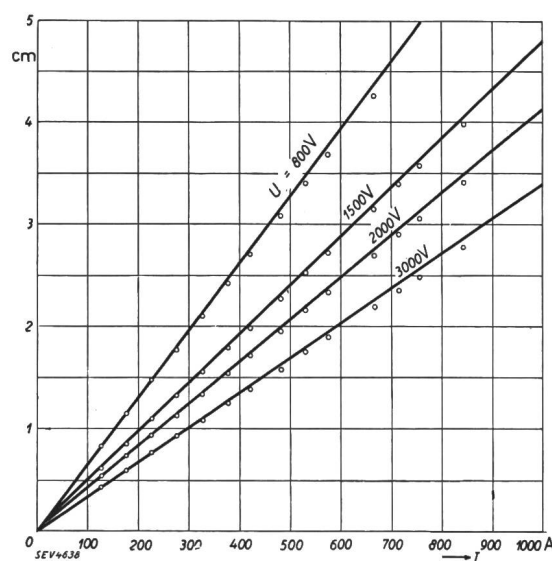


Fig. 1.

Ablenkung von Kathodenstrahlen in einem Braunschen Rohr durch einen stromdurchflossenen Leiter in Abhängigkeit vom Strom I im Leiter und Kathodenspannung U .

○ Berechnete Werte.
— Messwerte.

tung einen Zusatzapparat, z. B. einen Nebenschluss oder einen Stromwandler einzubauen. Es ist meist nur nötig, die zu untersuchende Leitung an einer Stelle zu unterbrechen und ein Leitungsstück einzufügen, welches derart zu einer Schleife ausgelegt wird, dass einerseits die Wirkung anderer Stromkreise gering wird, andererseits die Wirkung auf den Kathodenstrahl genügend gross ist, was nach (2) leicht numerisch nachgerechnet werden kann. Da der Oszillograph bis 10^8 Per./s frequenzunabhängig ist, hat man nur darauf zu achten, dass im magnetischen Kreise keine Frequenzabhängigkeit entsteht. Diese Abhängigkeit kann weitgehend durch Verwendung eines dünnwandigen Rohres als Leiter-

⁸⁾ Die ersten orientierenden Versuche wurden im Hochspannungsinstitut der T. H. Berlin-Charlottenburg unter der Leitung von Prof. A. Matthias gemeinsam mit Herrn H. Baatz 1931 ausgeführt.

⁹⁾ Die hier verwendeten Braunschen Rohre entstammen dem Versuchslaboratorium M. v. Ardenne, Berlin-Lichterfelde.

¹⁰⁾ Die Strommessenrichtung mit Braunschem Rohr kostet nur zirka 10 % eines Hochleistungs-Kathodenstrahloszillographen. Ähnliche Preisverhältnisse liegen beim Schleifenoszillographen vor.

⁷⁾ G. Lubszynski, ETZ Bd. 52 (1931), S. 312.

schleife und durch die Vermeidung jeglichen magnetischen Materials im Aufbau von Rohr und Schaltung vermieden werden. Die Zusatzapparate des Braunschen Rohres müssen natürlich derart geschirmt sein, dass eine Wirkung des Schwundfeldes nur auf den Strahl selbst möglich ist. Die magnetische Ablenkung ist frei von Rückwirkungen auf den Stromkreis und von Verzeichnungsfehlern. Zu diesen Vorteilen kommt noch der Umstand, dass das Verfahren ein Aussensteuerverfahren ist, so dass es leicht möglich ist, eine Lagenjustierung des Strahles vorzunehmen. Da ferner die magnetische Ablenkung nur umgekehrt proportional der Elektronengeschwindigkeit ist, während die elektrostatische Ablenkung sich mit dem Quadrat ändert, ist das Verfahren auch hinsichtlich der Anodenspannungsschwankungen unabhängiger als andere Verfahren.

Die Leistungsfähigkeit des Verfahrens ist hinsichtlich der Frequenzabhängigkeit für technische Zwecke praktisch unbegrenzt. Die Stromempfindlichkeit des Verfahrens weist einen Messbereich von einigen Ampère aufwärts bis zu praktisch unbegrenzten Stromstärken auf. Lediglich die ange deuteten Nachteile bei der eindeutigen Definition des wirksamen Feldes beschränken in manchen Fällen, besonders bei geringem Raumbedarf, die Messgenauigkeit. Empfindlich begrenzt wird jedoch das Verfahren hinsichtlich der Aufzeichnung schnellverlaufender Vorgänge durch die optische Grenzleistung der Oszillographentype. Für einmalige Vorgänge dürfte heute die Aufzeichnungsmöglichkeit bei abgeschmolzenen Oszillographen mit der Grenzfrequenz von $3 \cdot 10^4$ Per./s begrenzt sein. Vorgänge jedoch, welche man reproduzieren kann, können noch im Intervall von 10^{-6} s auch mit diesen Oszillographen aufgelöst werden. Wenn damit die für Prüffeld und Netzbetrieb wichtigen Vorteile genannt sind, soll nicht verschwiegen werden, dass ein besonderer Nachteil, den jedoch das Verfahren mit fast allen Elektronenstrahlaufnahmeverfahren¹¹⁾ teilt, darin besteht, dass die Gewinnung von Mehrphasenoszillogrammen hier schwieriger ist als mit Schleifenoszillographen. Man wird also in solchen Fällen, wo mehrphasige Oszillogramme nötig sind, doch zu Schleifenoszillographen greifen müssen und hat es mit dem Stromablenkverfahren in der Hand, Vorgänge in einzelnen Phasen messtechnisch exakter, vor allem verzerrungsfreier, einzeln nachzuprüfen.

Das Verfahren hat sich im praktischen Netzbetrieb durchaus bewährt¹²⁾. So lag z. B. das Pro-

blem vor, in einem grossen Beleuchtungsnetz, welches durch zwei Sechssphasengleichrichter von 200 bis 360 V, je 250 A über besondere Schützen gespeist wurde, den Verlauf des Einschaltstosses bei kalten Glühlampen und den Ablauf der Relaisautomatik zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurde ein 2 m langes Stück der Leitung in die Entfernung $L = 120$ cm von einem Oszillographen gelegt. Diesem wurde eine Drehtrommel¹³⁾ von 1 m Umfang gegenübergestellt, auf welche Normalfilm aufgezogen war. Die Optik war eine Ardenne-Astro-Optik von $F/D = 1,50$ mm \varnothing .

Das Oszillogramm Fig. 2 zeigt den Stromverlauf. Bei A wurde ein Ruhestrom von 55 A in der Leitung belassen, um ohne Nachrechnung eine Eichung auf dem Oszillogramm zur Verfügung zu haben. Man sieht den Anstieg bis zur ersten Spitze B, dann das Absinken des Stromes durch die Widerstandszunahme des Glühlampennetzes; bei C wurde automatisch der zweite Netzteil zugeschaltet und schliesslich fällt der Strom bei E auf den Nennstrom der Anlage von 420 A.

Selbstverständlich finden bei der Anwendung dieses Verfahrens sämtliche bisher angewendeten Verfahren der Synchronisierung von Messvorgang und Zeitablenkung sinngemäss Anwendung. Die Bestätigung der theoretischen Voraussetzungen wie

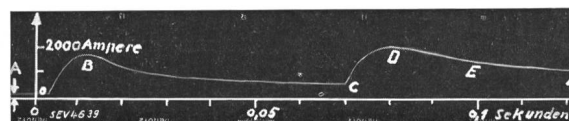


Fig. 2.

Oszillogramm der Einschaltung eines kalten Glühlampennetzes in zwei Schaltetappen (Stromablenkungsverfahren).

die praktische und erfolgreiche Erprobung lassen es erwarten, dass sich das Verfahren in vielen Strommessproblemen in Prüffeld und Netzversuch erfolgreich anwenden lässt. Die oszillographische Untersuchung extrem schnell veränderlicher Ströme, wie z. B. Wanderwellenvorgänge, wird natürlich auf das dort wesentlich leistungsfähigere Verfahren der Strommessspule im Vakuum unter Verwendung von Hochleistungskathodenstrahloszillographen zurückkommen. Die grosse Zahl von Strommessfragen, welche sich mit dem einfachen Ablenkverfahren bewältigen lassen, eröffnen ein Gebiet breiterer Anwendung von Braunschen Kathodenstrahlröhren in der Messtechnik. Dadurch aber wird auch der Entwicklung dieses Gebietes gedient, da mit zunehmender Verwendung auch die in stetiger Entwicklung begriffene Leistungsfähigkeitssteigerung¹⁴⁾ solcher Rohre vorteilhaft beeinflusst wird.

¹¹⁾ Mit Ausnahme des Kathodenstrahloszillographen mit Vielfachstrahlsystem. M. Knoll, ETZ Bd. 53 (1932), S. 111.

¹²⁾ Die Versuche wurden in dankenswerter und exakter Weise durch Herrn Ing. K. Thiel ausgeführt. Die Fa. Elin, Wien, und das physiologische Institut der Universität Wien stellten die Apparaturen zur Verfügung.

¹³⁾ Ueber diese Spezialkonstruktion des Verfassers wird an anderer Stelle eingehend berichtet. Hersteller: Fa. Castagna, Wien IX.

¹⁴⁾ W. Rogowski, E. u. M. Bd. 51 (1933), S. 249.