**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 52 (1961)

**Heft:** 26

**Rubrik:** Mitteilungen SEV

**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:** 16.07.2025

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

Rahmen. Demgegenüber betragen die empfohlenen Beleuchtungsstärken der USA ein Mehrfaches dieser Niveaus. Die amerikanischen Angaben beruhen auf dem Prinzip der maximalen Visibilität und erreichen praktisch die an neuzeitlichen Arbeitsplätzen gemessenen Tages-Beleuchtungsstärken.

Dass in den erwähnten neuen Leitsätzen nun auch auf die Qualität der Beleuchtung in bezug auf Behaglichkeit (engl. comfort) ein erhebliches Gewicht gelegt wird, ist zu begrüssen. In den britischen Richtlinien wird darüber hinaus auf die Bedeutung der «Aufmerksamkeitskreise», welche durch die Beleuchtung an den Arbeitsplätzen geschaffen werden sollten, hingewiesen. Danach soll die Leuchtdichte unmittelbar am Arbeitsplatz 100 %, in dessen nächster Umgebung 30 %, und im übrigen Bereich des Blickfeldes 10 % betragen. Der Diskussionsredner ist der Ansicht, dass heute durch Verwendung diffus strahlender Plastik-Fluoreszenzröhrenleuchten in Linienmontage eine zu monotone Beleuchtungsatmosphäre geschaffen wird, welche ein konzentriertes Arbeiten erschwert. Zudem ist die Leuchtdichte solcher Armaturen meist zu hoch. Auch bei reiner Allgemeinbeleuchtung sollte deshalb durch Verwendung vorwiegend direktstrahlender Leuchten, z. B. breiter Rasterleuchten, das Licht deutlicher auf die Arbeitsplätze konzentriert werden, um damit diese Aufmerksamkeitskreise, wie sie *Hopkinson* empfiehlt, weitgehend zu verwirklichen.

## CH. A. DE COULOMB

**1736—1806**

Am 11. Juni 1736 erblickte Charles Augustin de Coulomb in Angoulême in Südfrankreich das Licht der Welt. Er studierte in Paris Mathematik und Naturwissenschaften, schlug alsdann die Offizierslaufbahn ein, die ihn zunächst nach Martinique führte. 1776 kehrte er nach Frankreich zurück. Seine wissenschaftlichen Arbeiten fielen auf, er erhielt einen Preis und 1782 wurde er Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften.

Coulomb stellte die Gesetze der Elektrostatik auf (gleichnamige Ladungen stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an; die zwischen den Ladungen wirkenden Kräfte sind proportional der Ladung und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung). Bei seinen Arbeiten benützte er die von ihm ersonnene Torsionswaage.

Coulomb hat als einer der ersten nicht nur qualitative Versuche durchgeführt, sondern auch quantitative Überlegungen angestellt, und damit den Schritt vom blossen Experiment zur exakten Wissenschaft getan. Dieses grosse Verdienst fand seine Würdigung darin, dass die Einheit der Elektrizitätsmenge, also der Ladung, Coulomb genannt wird. *H. W.*

# Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

## Die Einwirkung des Lichtes auf die Stimmung des Menschen

628.979 : 159.94

[Nach *L. Schneider:* Die Einwirkung des Lichtes auf die Stimmung des Menschen. Lichttechnik 11(1959)5 und 6]

Nach einer Periode intensiver Beschäftigung mit der Physiologie des Sehens gelangte man immer mehr zu der Erkenntnis, dass das Licht nicht nur die Leistungsstärke des arbeitenden Menschen, sondern auch seine Stimmung beeinflusst. Demzufolge beschäftigte man sich auch mit der Erforschung der stimmungsbeeinflussenden Wirkung des Lichtes.

### *Einwirkung der Umgebung auf die Stimmung des Menschen*

Eine Beeinflussung der Stimmung des Menschen durch das Licht stellt die Einwirkung von physikalischen Kräften auf seinen innersten seelischen Bereich dar. Der Mensch als selbständig handelndes und fühlendes Wesen ist mit der ihn umgebenden objektiv vorhandenen physikalischen Umwelt durch seine Sinnesorgane in Verbindung. Die von der Umwelt ausgehenden physikalischen Reize rufen über die Sinneszellen und die Sinnesorgane Empfindungen hervor. Diese Empfindungen erzeugen im zentralen Nervensystem Wahrnehmungen. Aus den Reizen seiner objektiven Umgebung und den durch sie ausgelösten Empfindungen baut sich der Mensch seine subjektive Umwelt auf. Nur diejenigen Reize und Empfindungen, die je nach Interesse und Erfahrungen zu Wahrnehmungen geworden sind, können die Stimmung des Menschen beeinflussen. Eine stimmungsbeeinflussende Wirkung des Lichtes kann daher nicht als einheitliches Gesetz, sondern höchstens als in grossen Zügen gültige Regel gefunden werden.

Die Beeinflussung einer Stimmung wird also über die physikalischen Reize, durch ihre Verstärkung bzw. Abschwächung erfolgen, indem man Reize, die eine bestehende Stimmung fördern, verstärkt andere stimmungsschädigende Reize dagegen abschwächt oder gänzlich fernhält.

### *Die Rolle des vegetativen Nervensystems*

Das autonome oder vegetative Nervensystem steuert die Kreislauf- und Verdauungsorgane und andere lebenswichtige Organe des Organismus. Es gibt zwei zentrale Schaltungen des Organismus: eine auf Leistung (ergotrope) und eine gegensätzliche auf Erholung gerichtete (histotrope) Schaltung. Die erste, im wesentlichen ein Werk des Sympathikus, schaltet und

[1]) Gekürzter Vortrag von Prof. *L. Schneider,* München, gehalten an der Diskussionsversammlung des Schweiz. Beleuchtungs-Komitees am 8. Juni 1961 in Bern.

steuert das für die Abgabe äusserer Leistung notwendige physiologische Geschehen im Organismus. Die zweite Schaltung bewirkt durch den Parasympathikus oder Vagus die organischen Vorgänge, die eine entsprechende Erholung und Versorgung der Organe mit sämtlichen erforderlichen Energien zur Folge haben. Im Laufe eines 24-Stunden-Tages schwankt der Organismus zwischen diesen beiden Schaltungszuständen, was sich eindeutig in der «physiologischen Leistungskurve» dokumentiert. Die Leistungsbereitschaft des Menschen ist also nicht konstant, sie hat vielmehr etwa zwischen 10 und 11 Uhr und zwischen 17 und 21 Uhr ein Maximum, in der Mittagspause ein leichtes Minimum; in der Nacht zwischen 1 und 3 Uhr fällt sie auf ein absolutes Minimum ab.

### *Licht, Schaltungszustand und Stimmung*

Zwischen dem 24-Stunden-Rhythmus und dem Wechsel von Tag und Nacht besteht tatsächlich ein Zusammenhang. Nach Untersuchungen von *Becher, Frey, Hollwich* u. a. kann heute eine direkte Verbindung vom Auge zum Zwischenhirn-Hypophysensystem — der zentralen Schaltstelle des vegetativen Nervensystems — als sicher angenommen werden.

*Hollwich* hat bei experimentellen Untersuchungen an Tieren und klinischen Beobachtungen an Menschen (besonders an Früh- und Späterblindeten und wieder sehend Gewordenen) den Einfluss des Lichtreizes über das Auge auf das vegetative Nervensystem nachweisen können, z. B. den Einfluss auf den Wasserhaushalt, den Kohlehydratstoffwechsel, den Blut-Adrenalinogenspiegel, die Schilddrüsenfunktion usw.

Das Zwischenhirn-Hypophysensystem muss aber nach der heutigen Auffassung auch als Ausgangspunkt für die Gemütsbewegungen angesehen werden und als derjenige Abschnitt des zentralen Nervensystems, in dem Gemütsbewegungen in körperliche Zustandsänderungen umgesetzt werden und umgekehrt. Das bedeutet, dass ein enger Zusammenhang zwischen dem Zustand des Organismus und dem seelischen Zustand besteht, dass also die Stimmung des Menschen vom Zustand des Organismus beeinflusst werden kann. Damit ist auch die zweite Einflussmöglichkeit des Lichtes auf die Stimmung des Menschen nachgewiesen.

### *Folgerungen für die Lichttechnik*

Die Änderungen des Schaltungszustandes des Organismus drücken sich auch in Änderungen einzelner Organe usw. aus, wie dies *Graf* am Wechselstromwiderstand der Haut, der Verschmelzungsfrequenz des Auges und der noch wahrnehmbaren Grenzfrequenz des Ohres festgestellt hat. Diese Änderungen erfolgen nicht nur im 24-Stunden-Rhythmus, sondern auch im Jahres-Rhythmus. Die von *Dresler* und anderen gefundene Änderung der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges im Verlauf eines Jahres liesse sich auf diese Weise leicht erklären. Nach *Dresslers* Untersuchungen hat das Verhältnis $V_\lambda = 589$ zu $V_\lambda = 546$ im Juni ein Minimum von 0,815 und im November ein Maximum von 0,86 bei kontinuierlichem Übergang. Das bedeutet, dass im Sommer, wo der Organismus mehr ergotrop geschaltet ist, die längerwellige Strahlung weniger stark bewertet wird als im Winter im mehr histotropen Zustand. Auf den 24-Stunden-Rhythmus übertragen, würde das bedeuten, dass in den mehr histotropen Stunden Rot und Gelb höher bewertet werden, was der Erfahrung über die Bevorzugung der warmen Farbtöne nicht widersprechen würde.

Die Erfahrung, dass die Leistungsbereitschaft des Menschen bei reiner Arbeitsplatzbeleuchtung geringer ist als bei Allgemeinbeleuchtung, lässt sich ebenfalls aus den obigen Erkenntnissen plausibler erklären als bisher. So hat z. B. *Schöne* an Hand von Untersuchungen in Betrieben festgestellt, dass bei Arbeiten an schweren Werkzeugmaschinen, deren eigentliche Arbeitsflächen durch besondere Platzbeleuchtung mit Beleuchtungsstärken von 100...500 lx beleuchtet waren, die Arbeitsleistung um 6...9 % zurückging, wenn die Allgemeinbeleuchtung der Werkstätten, die 32 bzw. 45 lx betrug, auf 1 lx reduziert wurde, also praktisch abgeschaltet worden ist. Der Einfluss des dunklen Umfeldes auf den Rückgang der Leistung wurde meist mit Ermüdung durch Umadaptation beim Aufblicken von der Arbeit erklärt.

Man weiss aus der Erfahrung, dass Wohnräume, die mit etwa 50 lx beleuchtet sind, abends hell erscheinen, während dieselbe Beleuchtungsstärke bei der Arbeit als ungenügend empfunden wird. Bei der Beleuchtung von Wohnräumen bevorzugt man auch gelblich-rötliche Farben des Lichtes, während bei der Arbeitsbeleuchtung weisses Licht hoher Beleuchtungsstärke als günstiger empfunden wird. Es ist auch Ende der 30er Jahre festgestellt worden, dass beim Übergang einer Arbeitsgruppe von Tagschicht auf Nachtschicht die Leistungsminderung bei Beginn der Nachtschicht und die Übergangsschwierigkeiten allgemein viel geringer waren, wenn hohe Beleuchtungsstärken mit dem damals zur Verfügung stehenden Quecksilberdampf-Mischlicht (also tageslichtähnlichem Licht) erzeugt wurden. Diese Erfahrungen lassen den Schluss zu, dass der Mensch im ergotropen Zustand weisses Licht hoher Beleuchtungsstärke, im histotropen Zustand warmes, also geblich-rötliches Licht geringerer Beleuchtungsstärke bevorzugt. Diese Feststellung passt mit dem über die Änderung der spektralen Hellempfindlichkeit Gesagten gut zusammen. Die sowohl durch die Erfahrung wie durch die neueren physiologischen Forschungen angebotenen Erkenntnisse geben damit eine Bestätigung dafür, dass z. B. durch entsprechende Farbe des Lichtes und Stärke der Beleuchtung der Schaltungszustand des Organismus (mehr oder weniger ergotrop bzw. weniger oder mehr histotrop) beeinflusst werden kann. Da dieser Einflussweg über die Peripherie der Netzhaut zum Zwischenhirn-Hypophysensystem führt, dem Verknüpfungspunkt zwischen seelischem und körperlichem Bereich, ist eine recht zwingende Begründung für die Beeinflussbarkeit der Stimmung des Menschen durch das Licht gegeben und damit die Bestätigung für eine vielseitige Erfahrung. Es darf angenommen werden, dass zwischen dem rein ergotropen und dem rein histotropen Zustand viele Zwischenzustände bestehen.

### *Behaglichkeit oder Annehmlichkeit der Beleuchtung?*

Aus dem Vorangegangenen geht hervor, dass man für die Arbeit keine behagliche Stimmung mit Hilfe der Beleuchtung erzeugen soll, da der Begriff «Behaglichkeit» offenbar mit dem Zustand der Entspannung und Erholung verbunden ist. Bei der Arbeit soll vielmehr die Arbeitsfreude gefördert, also eine aktive Stimmung hervorgerufen werden. Auch kann man offensichtlich eine festlich-freudige Stimmung, wie sie etwa beim Festefeiern oder beim Tanzen aufkommen soll, nicht unter dem Begriff der Behaglichkeit einordnen, vielmehr ist das Feiern eine mehr ergotrope als histotrope Angelegenheit. Man darf also nicht von Annehmlichkeit oder Behaglichkeit der Beleuchtung schlechthin sprechen, sondern man muss versuchen, die verschiedenartigen Stimmungen zu beschreiben. Die einzelnen Aufgaben können etwa folgendermassen formuliert werden:

Die Beleuchtung soll mithelfen:

bei der Arbeit die Arbeitsfreude zu fördern (rein ergotrop),
bei der Erholung zur Entspannung beizutragen (rein histotrop),
bei Festen eine festliche Stimmung hervorzurufen (vorwiegend ergotrop),
bei Feiern eine feierliche Stimmung zu erzeugen (ergotrop bis histotrop),
in Kultstätten die Andacht zu fördern (vorwiegend histotrop),
im Wohnraum im grossen Kreis eine gemütliche bis festliche (rein histotrop bis vorwiegend ergotrop),
im kleinen Kreis eine behagliche Stimmung zu erzeugen (rein histotrop).

### *Der Raum als Stimmungsfaktor*

Da der moderne Mensch den grössten Teil seiner Zeit sich in mehr oder weniger geschlossenen Räumen befindet, ist es nun wichtig, die Aufgaben des geschlossenen Raumes in all seinen Einzelheiten als stimmungsbeeinflussenden Faktor zu untersuchen.

Die stimmungsbeeinflussenden Funktionen des Raumes bestehen einmal in der Verminderung oder Fernhaltung von störenden und in der Schaffung oder Vermehrung von fördernden Reizen. Zur ersten Aufgabengruppe gehört der Schutz des Menschen vor den Unbilden der Witterung. Fernhaltung

störender Reize von Wärme oder Kälte, Feuchtigkeit und Wind, störenden Geräuschen, unerwünschten Gerüchen usw. Der Raum soll dem zeitweiligen Bedürfnis des Menschen nach Einsamkeit entgegenkommen, soll ihn also, besonders im Zustand der Erholung, von dem Geschehen der Aussenwelt und der grossen Menge der Mitmenschen abschliessen helfen. Zur zweiten Aufgabengruppe gehören Schaffung erwünschter Wärme- und Luftbedingungen, richtige Wahl der Raumgrösse, richtige Abstimmung der Raumabmessungen (Länge : Breite : Höhe), richtige Abstimmung der Farbe und des Materials der Raumausstattung sowie der Einrichtungsgegenstände und nicht zuletzt die der erwünschten Stimmung des Menschen angepasste Stärke und Verteilung der Beleuchtung im Raum. Es ist dabei zu beachten, dass der Raum nur als Raum erlebt werden kann, wenn seine Begrenzungsflächen sichtbar sind. Nur so kann er seine schirmende und bergende Funktion erfüllen.

Wenn auch das Licht einer der wichtigsten Faktoren der Stimmungsbeeinflussung ist, so dürfen alle übrigen Faktoren nicht vernachlässigt werden. Nur die Harmonie aller Faktoren bringt die gewünschte Stimmung des Menschen.

### *Beleuchtung des Arbeitsraumes*

Bei der Arbeit soll der Mensch ergotrop geschaltet sein. Wenn dies nicht der Fall sein sollte, ist es vor allen Dingen Aufgabe der künstlichen Beleuchtung, die Umschaltung auf den ergotropen Zustand herbeizuführen. Im ergotropen Zustand hat der Mensch im allgemeinen nicht das Bedürfnis, sich von seiner Umgebung abzuschliessen. Eine Ausnahme bilden die Arbeiten, bei denen eine starke geistige Konzentration, Ruhe usw. erforderlich sind.

Vor allem erscheint kein optischer Abschluss nach aussen erforderlich zu sein. Arbeitsräume ohne Fenster rufen selbst bei guter und starker künstlicher Allgemeinbeleuchtung und guter Klimatisierung bei vielen Menschen das Gefühl des Eingeschlossenseins hervor. Dies kann zu einer Minderung der Leistungsbereitschaft führen. Kleine Fenster, die an sich zur Beleuchtung des Raumes mit Tageslicht kaum etwas beitragen, können hier Abhilfe schaffen. Der Mensch, der seine Arbeit gerne verrichtet, hat zwar normalerweise gar keine Zeit und keine Lust, «spazieren zu sehen». Das Bewusstsein jedoch, keinen Blick ins Freie tun zu können, ruft ein Gefühl des Eingeschlossenseins hervor. Dieselbe Wirkung kann auch in Arbeitsräumen mit grossen Fenstern auftreten, die zum Schutz gegen starke Sonneneinstrahlung mit lichtstreuenden und wärmeabsorbierenden Glasflächen versehen sind. Kleine Fensterflächen aus klarem Glas geben auch hier das Gefühl der Freiheit.

Die künstliche Beleuchtung der Arbeitsräume erfordert ganz allgemein eine starke Allgemeinbeleuchtung mit weissem Licht. Eine gleichmässige Ausleuchtung des Arbeitsraumes im Gegensatz zur reinen Arbeitsplatzbeleuchtung ist in den allermeisten Fällen unbedingt erforderlich. Alle Anforderungen an die Güte einer Beleuchtung sind zu berücksichtigen, worauf hier nicht eingegangen zu werden braucht.

Beim Übergang von Tagschicht auf Nachtschicht entstehen Übergangsschwierigkeiten, die darauf zurückzuführen sind, dass der Organismus, der sich infolge des gewohnten Tag- und Nachtrhythmus am Abend und in der Nacht im histotropen Zustand befindet, auf den ergotropen Zustand umgeschaltet werden muss. Dies ist nach den Erfahrungen leichter möglich, wenn die Arbeitsräume mit weissem Licht und starker künstlicher Allgemeinbeleuchtung versehen werden.

Es gibt Menschen, insbesondere Geistesarbeiter, die nachts mit Vorliebe bei reiner Arbeitsplatzbeleuchtung arbeiten. Diese Vorliebe ist einmal darauf zurückzuführen, dass bei einem gewissen Mangel an Konzentrationsfähigkeit, besonders auch bei einer schon eingetretenen Ermüdung, die starke Platzbeleuchtung die Umgebung ausschaltet und damit konzentrationsstörende optische Reize fernhält. Weiterhin spielt für die Bevorzugung der Nachtarbeit sicherlich die Tatsache eine Rolle, dass im allgemeinen in den Nachtstunden störende Reize durch Geräusche geringer sind als bei Tag. Es ist anzunehmen, dass in diesem Falle die Leistungsbereitschaft und damit also der ergotrope Zustand durch das Wegfallen der störenden akustischen Reize mehr gefördert wird als durch eine stärkere Allgemeinbeleuchtung.

### *Beleuchtung von Gaststätten*

Es gibt zwei Arten von Gaststätten: dem Tempo unserer Zeit entsprechend Schnell-Gaststätten, Automatenrestaurants, Gross-Gaststätten usw. Hier kann die zur Entspannung und Erholung erforderliche gemütliche Stimmung nicht aufkommen, daher ist eine hohe und gleichmässige Allgemeinbeleuchtung erforderlich. Es gibt aber eine andere Gruppe von Gaststätten, meist Wein- oder Bierstuben, gemütliche Speiserestaurants, die eine anheimelnde Stimmung vermitteln und zur Entspannung beitragen. Die Beleuchtung soll hier den histotropen Zustand fördern. Deshalb ist keine hohe Beleuchtungsstärke erforderlich. Die Lichtfarbe soll warm sein.

### *Beleuchtung des Wohnraumes*

Die Beleuchtung der einzelnen Räume einer Wohnung muss sich entsprechend ihren verschiedenen Aufgaben anpassen. Arbeitsräume verlangen eine starke Allgemeinbeleuchtung mit weissem Licht.

Zur Entspannung und Erholung genügt eine geringere Beleuchtung; die Lichtfarbe soll als warm empfunden werden, also rötlich-gelb sein. Um den verschiedensten Ansprüchen zu genügen und um die jeweils gewünschte Stimmung zu unterstützen, soll die Wohnraumbeleuchtung hinsichtlich ihrer Stärke und Gleichmässigkeit veränderlich sein. Um das zur Förderung des histotropen Zustandes notwendige Gefühl des Abgeschlossenseins aufkommen zu lassen, soll die Beleuchtung die Raumbegrenzungsflächen noch erkennen lassen. Ein Abschluss der Fenster am Abend schafft im Raum erst das Gefühl der Geborgenheit.

### *Ist Messung der Stimmung möglich?*

Diese Frage ist, im ganzen gesehen, nur mit «Nein» zu beantworten. Die Arbeiten von *Graf* ermutigen zu hoffen, dass es möglich wird, den Schaltungszustand des Organismus messend zu erfassen. Dadurch können dann wahrscheinlich Schlüsse auf ein gewisses Stimmungsniveau gezogen werden. Wie sind aber alle übrigen, die Stimmung beeinflussenden Faktoren zu erfassen? Die heute gebräuchlichen Methoden der Befragung von Versuchspersonen geben recht unsichere Ergebnisse. Wie soll z. B. das Gefühl der Behaglichkeit, der Annehmlichkeit, der Festlichkeit, der Arbeitsfreude usw. beschrieben werden, so, dass alle Versuchspersonen dies gleichermassen empfinden? Weiterhin besteht die Gefahr, dass das Bemühen, festzustellen, ob eine behagliche Stimmung vorhanden ist, das Behagen stört, d. h. dass der eindeutig histotrope Zustand etwas nach dem ergotropen hin verschoben wird. Bei sämtlichen Untersuchungen dieser Art sollte man daher streng darauf achten, dass sie im jeweils vorherrschenden Schaltungszustand des Organismus gemacht werden, sowie diesen nicht beeinträchtigen. Es ist nicht zu erwarten, dass man nach Erweiterung und Verbesserung derartiger Untersuchungsmethoden des künstlerisch empfindenden Innenraumgestalters, der dank seiner intuitiv schöpferischen Begabung sich in den gewünschten Stimmungszustand einfühlen und dafür die räumliche, farbliche und lichttechnische Gestaltung angeben kann, in Zukunft entraten kann.

Die Fähigkeit, Gefühle in Licht, Raum und Farbe umsetzen zu können, kann sich nicht im rein Technischen und Physikalischen erschöpfen, sondern muss alle Bereiche des menschlichen Schaffens und Fühlens umfassen. *B. Steck*

---

## Analytische Darstellung der Kennlinien nichtlinearer Zweipole

621.372.44.012

[Nach *W. Böning:* Analytische Darstellung der Kennlinien nichtlinearer Zweipole Arch. Elektrotechn. 45(1960)4, S. 265...278]

### *1. Aufgabenstellung*

Ein grosser Teil der in der Elektrotechnik verwendeten nichtlinearen Schaltelemente besitzt eine Kennlinie der Form, wie sie

in Fig. 1 gezeigt ist. Im betrachteten Quadranten ist ihre erste Ableitung durchwegs positiv, die zweite negativ. In vielen Fällen nähert sich die Kurve für grosse $x$ einer Asymptote. Beispiele für Kurven solcher Art sind Transistor- oder Pentodenkennlinien, Hysteresekurven magnetischer Elemente, Kennlinien nichtlinearer Widerstände.

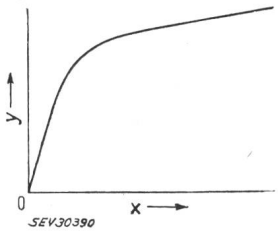



Fig. 1

**Kennlinie der wichtigsten nichtlinearen Zweipole**

Gesucht werden mathematisch möglichst einfache Ersatzfunktionen, die geeignet sind, die gegebene Kurve mit guter Annäherung zu beschreiben und auch die Lösung der das System bestimmenden nichtlinearen Differentialgleichung zu ermöglichen. Als Ersatzfunktion wählt man algebraische oder transzendente Ansätze.

### *2. Ersatz durch zweigliedriges Polynom*

Einfache ungerade Ersatzfunktionen sind die zweigliedrigen Polynome

$$\frac{x}{x_b} = \frac{y}{y_b} + \left(\frac{y}{y_b}\right)^{2n+1} \qquad (1)$$

mit $n = 1$ (kubisches Polynom) oder $n = 2$ (Polynom fünften Grades). Die Konstanten $x_b$ und $y_b$ (eigentlich Masstabsfaktoren) werden aus den folgenden zwei Bedingungen bestimmt:

1. Die Steigung der Ersatzfunktion soll im Nullpunkt mit der Steigung $m_0$ der gegebenen Kennlinie übereinstimmen.

2. Neben dem Ursprung decke sich ein weiterer Punkt der Ersatzfunktion mit einem gegebenen Punkt der Kennlinie [Deckpunkt $(x_1, y_1)$].

Als Beispiel sei die in Fig. 2 dargestellte Kennlinie gezeigt ($m_0 = 250$ kΩ, Deckpunkt $i_1 = 3$ mA, $u_1 = 44$ V). Fig. 2 erlaubt den Vergleich der Ersatzfunktionen für $n = 1$ und $n = 2$ mit der gegebenen Kennlinie.

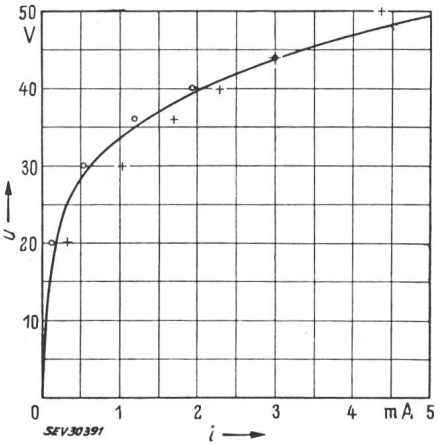



Fig. 2

**Kennlinie eines nichtlinearen Widerstandes**

Die eingetragenen Kreuze sind Punkte der kubischen Parabel, die kleinen Kreise Punkte des Polynoms fünften Grades

Bei stärker gekrümmten Kennlinien erreicht man oft durch Wahl eines grösseren Anfangsanstieges auch mit der einfacheren kubischen Parabel eine genügende Approximation (bessere Verteilung der Abweichungen).

Die betrachteten Polynome sind ungerade Funktionen, sie lassen sich daher in der Gleich- und Wechselstromtechnik anwenden.

### *3. Ersatz durch eine Hyperbelfunktion*

Als weitere Näherungsfunktion eignet sich die Hyperbel mit dem analytischen Ansatz

$$y = \frac{a\,x}{b + x} + c\,x \qquad (2)$$

Da diese Funktion nicht ungerade ist, liefert sie nur die Näherung im ersten Quadranten; für Aussteuerungen beidseits des Nullpunktes (Wechselstromtechnik) lässt sie sich bei festen Konstanten nicht verwenden. Die drei Werte $a$, $b$, $c$ werden berechnet, indem man Übereinstimmung mit der gegebenen Kennlinie in drei von Null verschiedenen Punkten fordert. Die Approximation ist in vielen Fällen sehr gut.

### *4. Ersatz durch eine Potenzfunktion mit gebrochenem Exponenten*

Der Ansatz

$$y = k\,x^{\beta} \qquad (\beta > 0) \qquad (3)$$

ergibt ebenfalls eine Näherung, die nur im ersten Quadranten gültig ist; $k$ und $\beta$ werden aus der Forderung nach zwei Deckpunkten bestimmt. Die Potenzfunktion approximiert sehr gut die Kennlinien von Halbleiterwiderständen mit $\beta < 1$, während die Näherung für Röhrenkennlinien (Pentoden) weniger geeignet ist ($\beta > 1$).

### *5. Ersatz durch transzendente Funktionen*

$$\text{a)}\ \frac{y}{y_b} = \ln\left(1 + \frac{x}{x_b}\right) \qquad \text{b)}\ \frac{y}{y_b} = \operatorname{arsinh}\frac{x}{x_b} \qquad \text{c)}\ \frac{y}{y_b} = \operatorname{arctg}\frac{x}{x_b} \qquad (4)$$

In allen diesen drei Fällen werden die Masstabsfaktoren $x_b$ und $y_b$ aus zwei gegebenen Deckpunkten bestimmt. Ihre Berechnung erfolgt mit Hilfe von Nomogrammen.

a) Die logarithmische Funktion liefert — ähnlich wie die kubische Parabel — nur für verhältnismässig schwach gekrümmte Kennlinien eine befriedigende Approximation. Sie ist analytisch sehr einfach, aber für feste Werte der Konstanten nur im ersten Quadranten brauchbar.

b) Die Funktion Areasinushyperbolicus eignet sich im Gegensatz zur logarithmischen Funktion zur Aussteuerung beidseits des Nullpunktes. Sie ist in manchen nichtlinearen Differentialgleichungen von bemerkenswerter mathematischer Kraft.

c) Die Arcustangens-Funktion erweist sich zur Approximation der betrachteten Kennlinie als ausserordentlich günstig, da sie ungerade ist und für grosse $x$ asymptotisch einem Sättigungswert zustrebt.

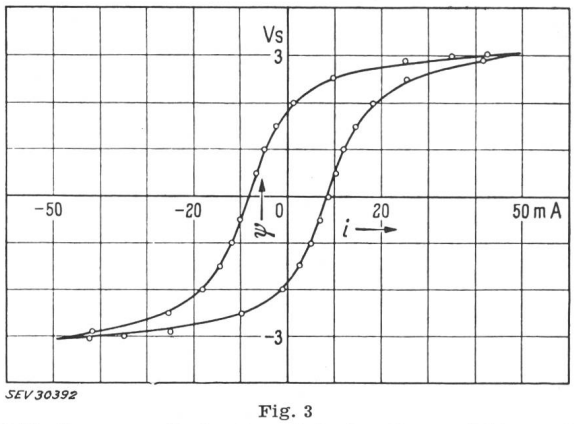



Fig. 3

**Vollständige magnetische Kennlinie der Steuerwicklung eines Magnetverstärkers**

Die Kreise sind Punkte der arc-tg-Ersatzfunktion mit $i_k = \pm 8{,}5$ mA, $i_b = 7{,}07$ mA, $\psi_b = 2{,}13$ Vs

### *6. Berücksichtigung der Hysterese*

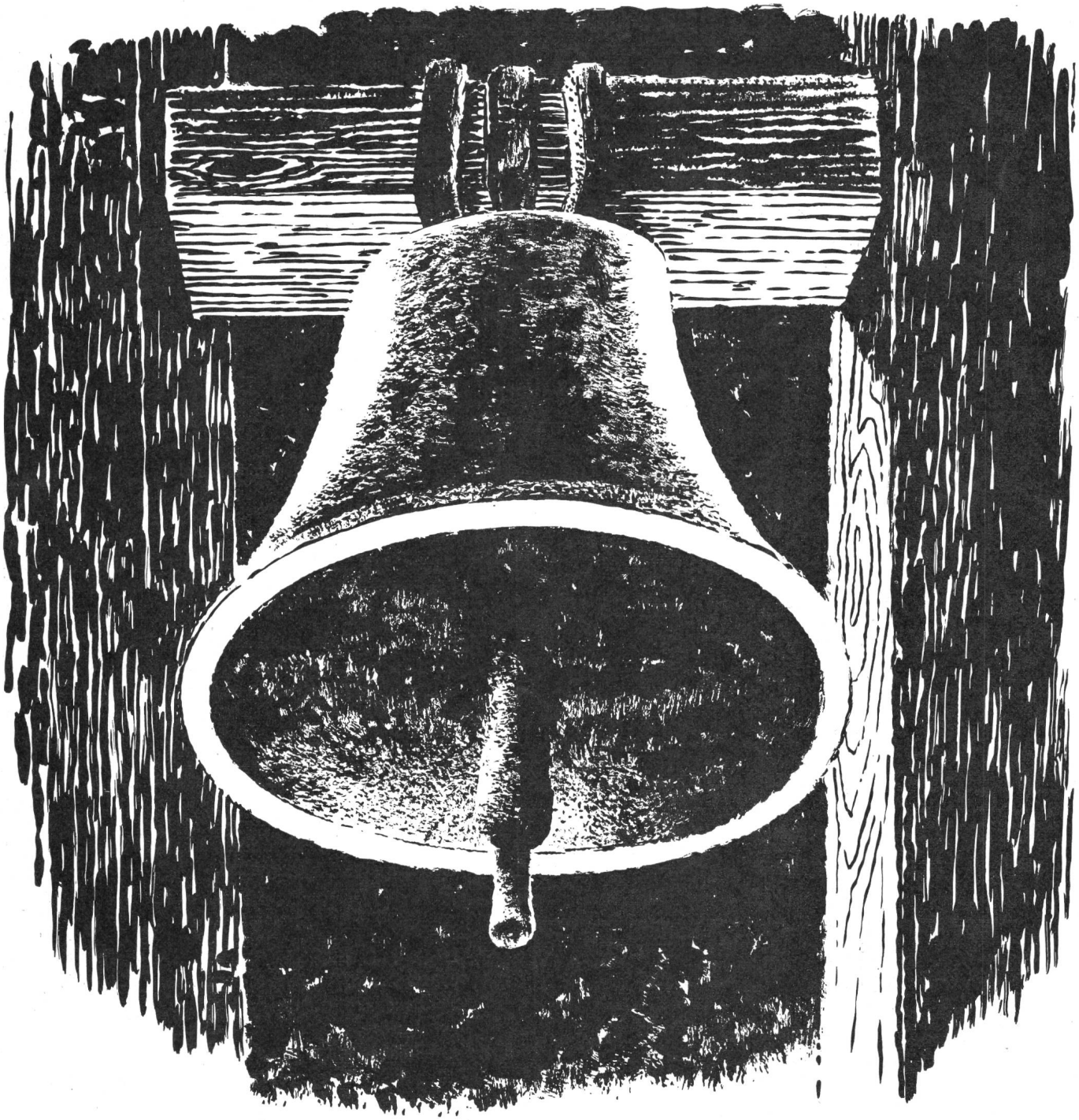
Durch Parallelverschiebung von Arcustangens-Funktionen lässt sich die Hysterese magnetischer Schaltelemente berücksichtigen. Als Beispiel sei die Funktion (Fig. 3)

$$\frac{\psi}{\psi_b} = \operatorname{arctg}\frac{i - i\,k}{i_b}$$

gegeben. Man beachte die gute Übereinstimmung über den ganzen Verlauf der Kennlinie.

*F. Eggimann*

**Fortsetzung auf Seite 1075**



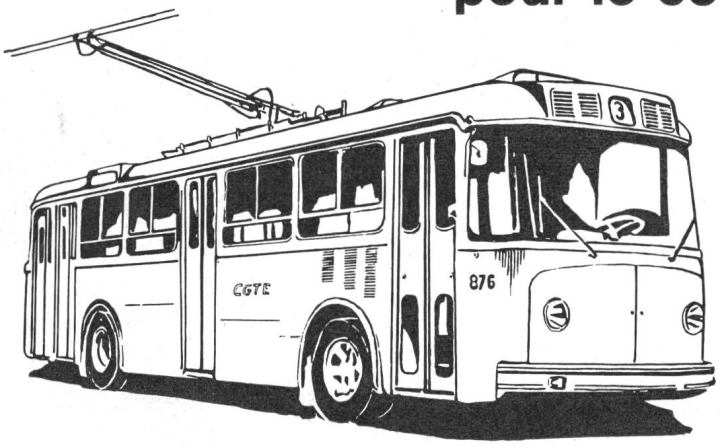

# Unseren Geschäftsfreunden

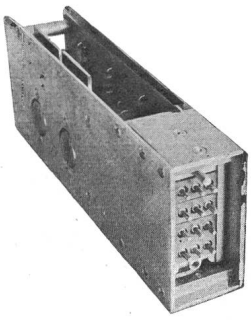
wünschen wir ein glückliches und erfolgreiches

# Neues Jahr

AG. BROWN, BOVERI & CIE., BADEN

# Dispositif à transistors pour le contrôle de l'accélération



Un élément fonctionnel

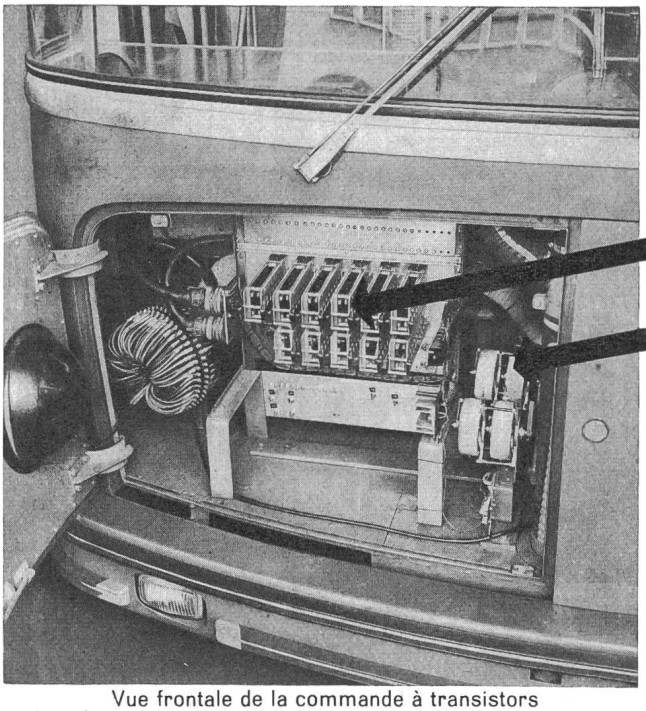
## Application pour trolleybus

**Démarrage à accélération constante**
**Freinage à décélération constante**

**Davantage de confort pour les passagers.**
**Plus de facilité de conduite pour le conducteur du véhicule.**
**Conduite plus rationnelle, le courant de démarrage étant adapté automatiquement à la charge du véhicule et à la rampe parcourue.**

**Utilisation d'éléments statiques**

**Pas d'usure.**
**Pas d'entretien.**
**Insensibilité aux vibrations, à la poussière, à la chaleur et à l'humidité.**



Vue frontale de la commande à transistors

Le dispositif automatique à transistors, développé par Sécheron, remplace le combinateur de commande classique, ainsi que son appareillage électromécanique qui n'assure, au mieux, qu'un démarrage automatique à courant constant. Les contacts mécaniques des circuits de commande sont remplacés par des **éléments fonctionnels,** donc suppression de l'usure et du contrôle périodique. Les pédales de marche et de freinage entraînent chacune **deux potentiomètres** permettant au conducteur du véhicule de choisir la valeur d'accélération et le cran de marche désirés. En fin de course, les deux pédales commandent les valeurs d'accélération et de décélération maxima, compatibles avec le confort des voyageurs. Les valeurs maxima de l'accélération et de la décélération peuvent être différentes et ajustées indépendamment en tout temps.
Ce dispositif est protégé par un brevet.

**Société Anonyme des Ateliers de Sécheron** **sécheron-Genève 21**

L 1141