

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	71 (1980)
Heft:	5
Artikel:	Elektrophotographische Kopierverfahren
Autor:	Zographos, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-905236

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: 25.01.2026

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

Elektrophotographische Kopierverfahren

Von G. Zographos

1. Einleitung

Zwei physikalische Phänomene machen im wesentlichen die Elektrophotographie möglich, nämlich die Photoleitfähigkeit und die elektrostatischen Kräfte. Die lawinenartige Entwicklung der elektrophotographischen Techniken in den letzten zwanzig Jahren hat zur Entwicklung einer grossen Zahl mehr oder weniger verschiedener Verfahren geführt. Im folgenden sollen einige der wichtigsten erläutert werden, in erster Linie die elektrostatischen Verfahren (darunter die Xerographie, d.h. im weiteren Sinn Kopieren auf normales Papier), die für die Praxis bedeutsam geworden sind.

Fig. 1 zeigt den Zusammenhang zwischen den Druckverfahren im allgemeinen und der Elektro(photo)graphie.

2. Elektrostatische Verfahren

Bei diesen Verfahren kommt eine Photohalbleiterschicht zur Anwendung, die im Dunkeln einen spezifischen elektrischen Widerstand von $10^{13} \dots 10^{15} \Omega \text{cm}$ hat. Dieser nimmt bei Belichtung mit Strahlung hinreichender Energie um einige Zehnerpotenzen ab. Als Photohalbleiter können Selen, ZnO, TiO₂, Polyvinylkarbazol, organische Pigmente usw. verwendet werden.

Die einzelnen Schritte des elektrostatischen Verfahrens sind: Aufladung, Belichtung, Entwicklung und Fixierung (Fig. 2). Dazu kommen, wenn nötig, die Übertragung des Pulver- oder Ladungsbildes und die Reinigung der elektrophotographischen Schicht.

Fig. 2 zeigt das indirekte elektrostatische Verfahren (z.B. Xerographie). Die elektrophotographische Schicht wird im Dunkeln durch eine Coronaentladung auf ein positives oder negatives Potential gebracht (Aufladung). Die Corona wird mit einem System paralleler dünner Drähte erzeugt, an die eine hohe Gleichspannung gelegt wird. Diese Drähte werden äquidistant direkt über die Schicht geführt. Die Polarität der Aufladung hängt von der Natur der Schicht ab: Selenschichten werden in der Praxis positiv aufgeladen, wohingegen eine ZnO-Bindemittelschicht eine negative Polarität erhält. Die

655.1:772.93:778.19

elektrophotographische Schicht ist erst durch die Aufladung photoempfindlich geworden. So kann durch bildkonforme Belichtung ein latentes Ladungsbild mit hoher Auflösung entstehen. Dieses Ladungsbild ist der direkten Messung zugänglich. Seine Eigenschaften können – ohne vorangehende Entwicklung und ohne Beeinflussung des späteren Entwicklungsprozesses – durch geeignete Messeinrichtungen untersucht werden.

Die elektrophotographische Schicht, z.B. ZnO + Bindemittel, ist im sichtbaren Wellenlängengebiet (400...800 nm) nicht photoempfindlich. Die Eigenempfindlichkeit von ZnO-Einkristallen liegt unter 400 nm. Die Energielücke, d.h. der Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband, beträgt für ZnO 3,2 eV, was einer Wellenlänge von 385 nm entspricht. Der Absorptionskoeffizient liegt bei etwa $3 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$. Man muss also die ZnO-Bindemittel-Schicht sensibilisieren, und zwar so, dass sie panchromatisch wird [1; 2]. Die Sensibilisierung erfolgt bei der Präparation des ZnO-Bindemittel-Gemisches durch Zugabe von organischen Farbstoffen im Lösungsmittel. Durch die Farbstoffadsorption wird die elektrophotographische ZnO-Schicht in einem Gebiet sensibilisiert, das vorher keine Photoleitung aufwies. Die Rolle des Farbstoffs besteht darin, eine Schottky-Barriere aufzubauen, so dass Leitungselektronen des ZnO in einem Niveau sehr nahe dem Grundzustand des Farbstoffs eingefangen werden.

Auf die geladene panchromatische Schicht wird das gewünschte Bild projiziert. An Stellen, auf die Licht gefallen ist, nimmt die Leitfähigkeit des Photohalbleiters entsprechend der örtlichen Beleuchtungsstärke zu, und die Oberflächenladung wird entsprechend neutralisiert. Man kann sich dafür folgende vereinfachte Modellvorstellung machen:

Es entstehen bis in einer Tiefe $1/\alpha$ (α Absorptionskoeffizient) Elektronlochpaare. Die Löcher neutralisieren an der Schichtoberfläche die negative Ladung, während die dazugehörigen Elektronen zur Schichtunterseite abfließen (Fig. 3). Auf dem Weg zur Schichtunterseite wird ein Teil der freien Elektronen

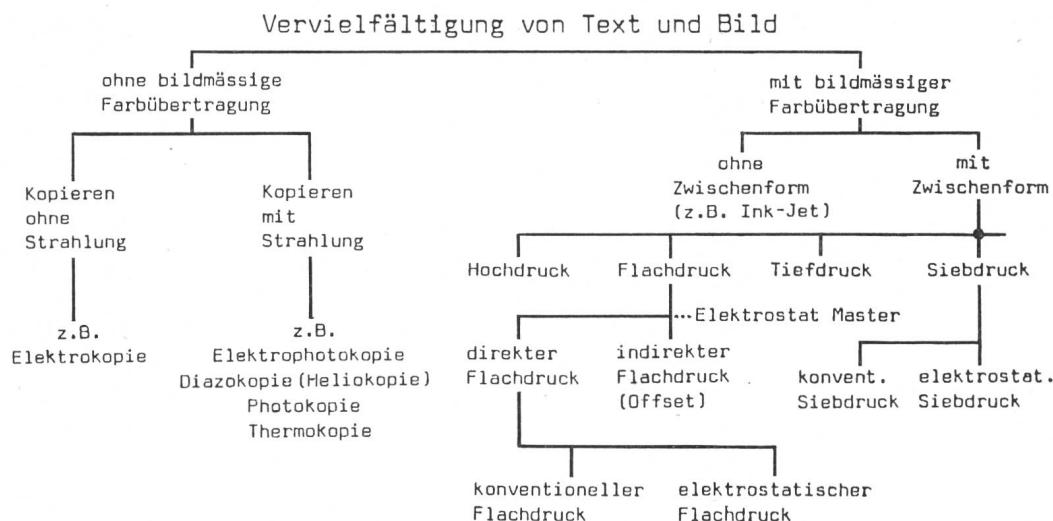


Fig. 1 «Druckverfahren» unter Berücksichtigung der Elektro(photo)graphie

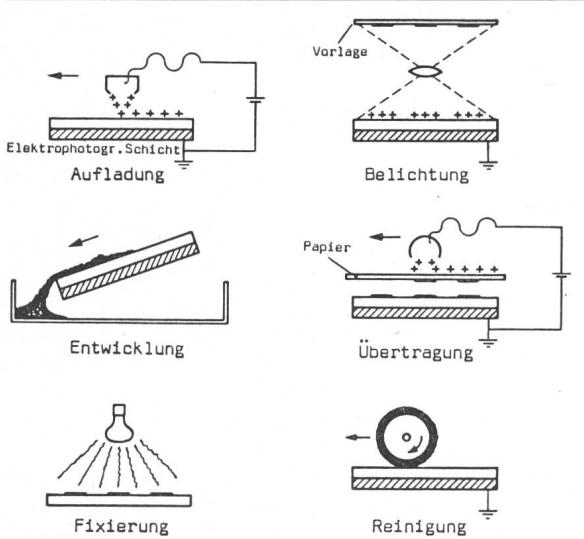


Fig. 2 Xeroxverfahren nach Schaffert [1]

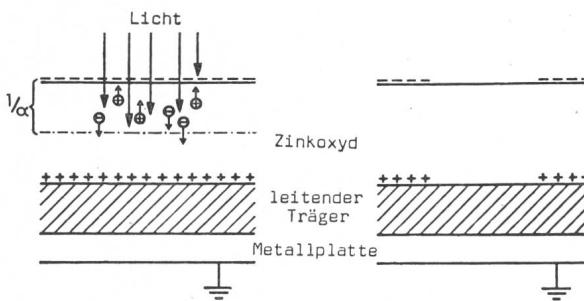


Fig. 3 Modell für die Neutralisierung der Oberflächenladung und Entstehung des latenten Ladungsbildes

durch Elektronenfallen eingefangen. Das hat zur Folge, dass der Photostrom langsam ansteigt, bis die Fallen allmählich mit Elektronen gefüllt sind. Dann erfolgt besonders bei panchromatisch sensibilisierten Schichten ein sehr rascher Photostromanstieg (S-förmige elektrostatische Sensitometerkurve). Den langsamten Teil der Anstiegskurve des Photostroms einer sensibilisierten elektrophotographischen Schicht kann man umgehen, indem man diese Schicht mit sehr hohen Lichtintensitäten bestrahlt.

Die Entwicklung des latenten Ladungsbildes erfolgt im Dunkeln, entweder mit Trocken- oder Nasstechniken. Man bedient sich eines Zweikomponentengemisches von mikroskopischen, triboelektrisch geladenen Partikeln, des Toners. Das Gemisch besteht bei Trockenentwicklung aus einem sehr feinkörnigen Farbpulver, z.B. Russ-Kunstharz-Pulver, und einer Trägersubstanz, die z.B. aus Eisenfeilspänen, Sand oder Glaskugeln besteht. Die Partikel mit der grösseren Dielektrizitätskonstante ϵ werden im allgemeinen positiv, diejenigen mit kleinerem ϵ negativ aufgeladen.

Bei Nassentwicklung, auch elektrophoretische Entwicklung genannt, werden feingemahlene Farbpigmente in einer hochisolierenden organischen Trägerflüssigkeit, z.B. in einer Kohlenwasserstoffverbindung, dispergiert. Auch in diesem Fall erhalten die Farbteilchen je nach der Dielektrizitätskonstante und den Zusätzen eine positive oder negative Polarität, die Trägerflüssigkeit in der unmittelbaren Nähe des Farbteilchens eine entgegengesetzte.

Der ganze Toner ist elektrisch neutral. Die Tonerkomponenten können nur in einem starken elektrischen Feld getrennt werden. Für die Entwicklung des latenten Ladungsbildes ist also die elektrische Feldstärkeverteilung im Entwicklungsraum massgebend. Durch elektrostatische Kräfte werden die Farbpartikel von den Oberflächenladungen des Ladungsbildes angezogen und festgehalten. Ein Überblick über die Entwicklungstechniken ist in der Fig. 4 dargestellt.

Will man die elektrophotographische Photohalbleiterschicht mehrmals verwenden, wie das beim Xeroxverfahren der Fall ist, weil die Herstellungskosten z.B. der Halbleiterschichten-Selentrommel sehr hoch sind, oder will man eine doppelseitig bedruckte Kopie herstellen, so wird das Pulverbild von der Photohalbleiterschicht wiederum mit einem elektrischen Feld auf normales Papier übertragen (Fig. 2).

Beim Xeroxverfahren und allgemein bei Trockenentwicklung erfolgt die Fixierung durch Wärme mit einem Infrarotstrahler. Dadurch wird das die Teilchen umhüllende Kunstharz aufgeschmolzen und bleibt auf dem Papier haften. Die Selentrommel ist nach einer Reinigung für das nächste Bild bereit. Bei der Flüssigentwicklung fixiert – nach der Verdampfung der Trägerflüssigkeit – ein in ihr gelöster Filmbildner die Farbteilchen auf dem Bildträger (z.B. Papier).

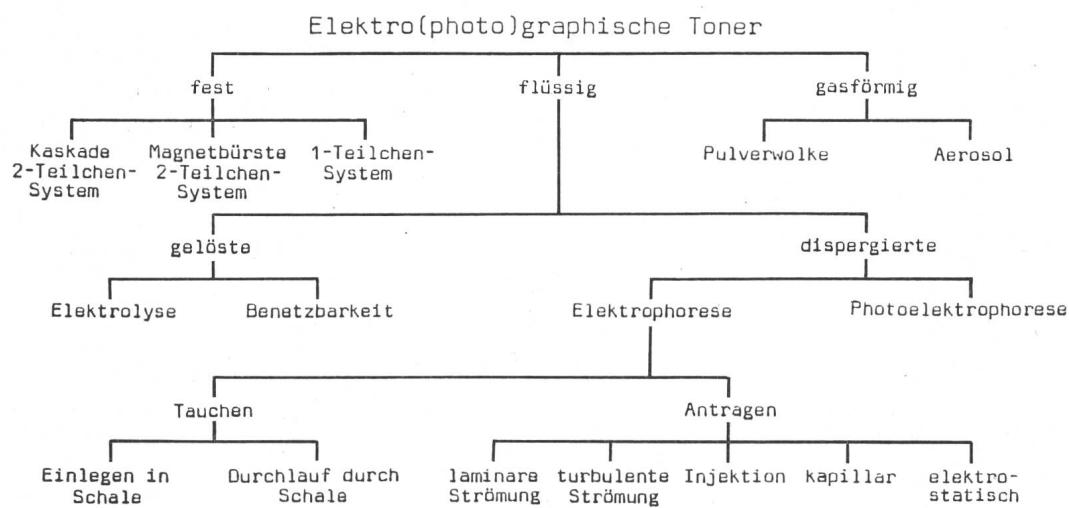


Fig. 4 Elektro(photo)graphische Entwicklungstechniken

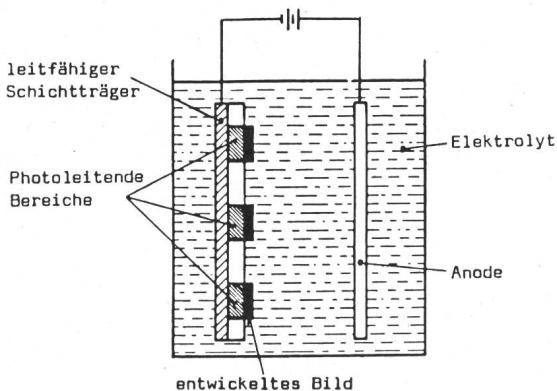


Fig. 5 Photoleitfähigkeitsverfahren oder Elektrolytverfahren

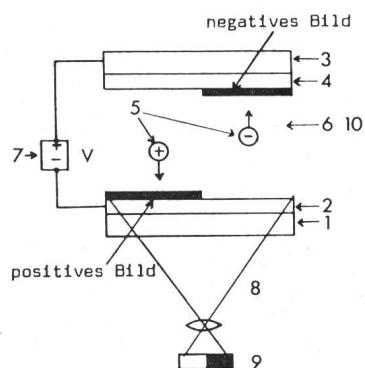


Fig. 7 Grundsätzliche Anordnung des Photoelektrophorese-Verfahrens

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1 NESA-Platte | 5 Photoleitende Teilchen |
| 2 Leitende Schicht | 6 Isolierende Flüssigkeit |
| der NESA-Platte | 7 Hochspannungsquelle |
| 3 Obere leitende Schicht | 8 Abbildungsoptik |
| 4 Obere Isolatorschicht | 9 Original |

3. Persistente interne Leitfähigkeit

Die Verfahren der persistenten internen Leitfähigkeit (PIC, Fig. 5) nützen die während der Belichtungsdauer bildkonforme Photoleitfähigkeit einer Photohalbleiterschicht aus, die als Sperrkathode wirkt, um an den photoleitenden Stellen Farbstoff abzuscheiden. Zu diesen gehören die elektrolytische Photographie, 3M-Filmec [3], Electrocolor. Das latente Bild, das hier ein Leitfähigkeitsbild ist, wird durch elektrolytische Abscheidung entwickelt [4; 5].

4. Persistente interne Polarisation

Die Verfahren mittels persistenter interner Polarisation (PIP, Fig. 6) beruhen auf den Photoelektretten [6; 7; 8]. Das Bild kann auf zwei Arten zustande kommen: Entweder erzeugt man im Dunkeln durch ein starkes elektrisches Feld eine homogene permanente innere Polarisation der photoleitenden Schicht und depolarisiert dann durch bildkonforme Belichtung (Fig. 6a). Oder man wendet gleichzeitig ein starkes elektrisches Feld und bildkonforme Belichtung an, wobei an den belichteten Stellen nach Abschalten des elektrischen Feldes und der Belichtung ein Photoelektret zurückbleibt (Fig. 6b). Die Entwicklung des latenten Bildes kann dann wie beim elektrostatischen Verfahren erfolgen.

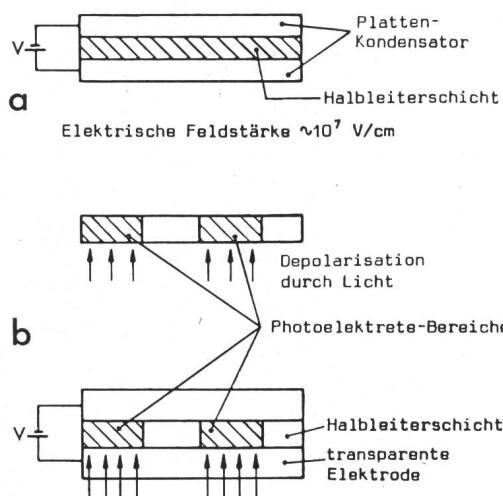


Fig. 6 Zwei Varianten des Elektretverfahrens

5. Photoelektrophorese-Verfahren

Das Photoelektrophorese-Verfahren [9...12] beruht auf der Freisetzung von elektrischen Ladungen durch Licht in für Photoleitung geeigneten Pigmentteilchen, die in einer hochisolierenden Flüssigkeit suspendiert sind und dabei umgeladen werden. Wird die Suspension in ein elektrisches Feld gebracht und auf ihrer Oberfläche ein Bild konform projiziert, dann «wandern» die belichteten und unbelichteten Pigmentteilchen in entgegengesetzten Richtungen, so dass auf den gegenüberliegenden Elektrodenoberflächen positive bzw. negative Kopien des Originals erscheinen. Der Vorgang ist in Fig. 7 dargestellt. Eine hochisolierende Flüssigkeit 6, z.B. gewisse Kohlenwasserstoffe, in welcher die photoempfindlichen Pigmentteilchen 5 (Toner) fein verteilt sind, liegt zwischen den zwei Schichten 2 und 4. Die Schicht 2 muss leitend und lichtdurchlässig oder halbdurchlässig sein (z.B. eine NESA-Schicht), während die Schicht 4 der Bildträger ist. Zwischen die leitenden Schichten 2 und 3 wird eine Hochspannungsquelle angeschlossen, deren Polarität sich nach dem verwendeten Gemisch aus isolierender Flüssigkeit und Pigmenten richtet.

Weisen die photoleitenden Pigmentteilchen 5 eine positive Polarität auf, dann werden sie unter den in Fig. 7 angegebenen Bedingungen gegen die untere Elektrode gezogen und dort festgehalten, sofern kein Licht auffällt. Trifft jedoch Licht auf die Pigmentteilchen, dann werden diese photoleitend, und es entstehen Elektronenlochpaare, welche unter gewissen Bedingungen die Gesamtpolarität des Pigmentteilchens umkehren können. Als Folge davon migrieren die belichteten Pigmentteilchen gemäß Fig. 7 nach oben. Dann entsteht auf der unteren Platte 2 ein positives und auf der oberen 4 ein negatives Bild des Originals.

Diese Überlegungen gelten auch für ein Gemisch von Farbpigmenten, die verschiedene Farbnuancen aufweisen. Setzt sich die Suspension zusammen aus der Isolierflüssigkeit und aus einem Gemisch von Farbpigmentteilchen der Farbnuancen Cyan (Blaugrün), Magenta (Purpur) und Yellow (Gelb), dann wandern diese selektiv nach oben (Fig. 8), je nachdem, ob sie mit rotem, grünem oder blauem Licht bestrahlt werden.

Dabei sollen die Farbpigmente nur jeweils in einem der Wellenlängenbereiche photoempfindlich (photoleitend) sein,

die physiologisch als rot, oder grün oder blau interpretiert werden. Die Fig. 8 gibt eine schematische Darstellung dieses Vorganges. Die Rotlichtkomponenten z.B. polen nur die Cyan Teilchen um. Diese verlassen die untere Elektrode, wandern zur oberen und werden dort festgehalten. Die unten zurückbleibenden Magenta- und Yellow Teilchen geben als Mischung die rote Farbe wieder. Dies entspricht genau dem Vorgang, welchem das «subtraktive» Farbbild zugrunde liegt.

Das photoelektrophoretische System hat den bestechenden Vorteil simultaner Arbeitsweise, d.h., es verhält sich genau so wie ein herkömmliches photographisches Farbmateriel, nur dass beim photoelektrophoretischen Verfahren in einem Schritt alle drei Farben simultan belichtet und alle drei Farbschichten simultan entwickelt werden. Dem verblüffend einfachen Prinzip stehen allerdings grosse technische Schwierigkeiten entgegen.

6. Migrationsverfahren

In den sog. Teilchenwanderungs- oder Migrationsverfahren [13] sind die elektrisch photoempfindlichen Teilchen in einer festen, aber erweichbaren oder löslichen Matrix fein verteilt. Um die bildmässige Wanderung der Teilchen zu ermöglichen, wird die Substanz vor, während oder nach der Belichtung durch Wärme, Einwirkung von Lösungsmitteln in flüssiger oder dampfförmiger Form, durch Kombination dieser Mittel oder sonstwie erweicht oder gelöst.

7. Ink-Jet-Verfahren

Die Besonderheit bei einigen Ink-Jet-Verfahren [14; 15], von denen es eine ganze Reihe gibt, ist es, dass man jedes einzelne Teilchen im Moment seiner Erzeugung programmieren kann, ob es drucken oder nicht drucken soll. Das ist nichts anderes als ein Ja-Nein-Verfahren, ein binäres Verfahren. Das Tröpfchen wird im Augenblick seiner Erzeugung entweder elektrisch aufgeladen oder nicht, und das heißt wiederum drucken oder nicht drucken.

Der Weg von der Vorlage zur Kopie geht im wesentlichen über vier Stufen: Scannen, optoelektrische Wandlung, Verstärkung, Schreiben. Da das Bild während der Prozedur als elektrisches Signal vorliegt, folgen einige interessante Möglichkeiten der Bildverarbeitung: Übertragung über beliebige Entfernung, Gradationsänderungen, Farbkorrektur durch Mischen von Farbauszugssignalen, Maßstabänderungen, Bildumkehrung, elektronische Rasterung.

8. Anwendungen

8.1 Bürokopien

Die erste Anwendung der Elektrophotographie wurde in der Schwarzweiss-Reproduktionstechnik verwirklicht, und zwar in Bürokopiergeräten. Die umweltfreundlich und technisch elegant, billig und rasch arbeitenden, elektrostatischen Kopiergeräte haben nach kurzer Zeit den Markt im Bürosektor beherrscht. In den USA schätzt man heute, dass der Reproduktionsmarkt zu 97 % an die elektrostatischen Kopiergeräte fällt, deren Jahresumsatz ca. 4,8 Mia Dollar beträgt. Den grössten Marktanteil hat die Xerographie (indirekte Elektrophotographie). Ein Ziel bei der Weiterentwicklung dieser Geräte, für die ihr grosses Volumen charakteristisch ist, war die Erhöhung der Kopiergeschwindigkeit. Es gibt heute Kopierer, die eine Rate von ein und mehr Kopien pro Sekunde erreichen. Das hat die Einrichtung von Kopierzentralen für grosse Firmen rationell gemacht.

Bei den elektrostatischen Geräten mit ZnO-Papier (direkte Elektrophotographie) besteht die Tendenz zur Verkleinerung der Kopierer bei gleichzeitiger Steigerung der Zuverlässigkeit und der Reproduktionsqualität. Das lässt eine gegenläufige Dezentralisierung zu und macht die Anschaffung eines solchen Gerätes auch für kleine Firmen wirtschaftlich.

Beschichtete elektro(photo)graphische Papiere sind teurer als normalbezeichnete Papiere, dagegen sind die Geräte und Unterhaltskosten der auf Normalpapier arbeitenden Verfahren höher als die mit beschichtetem Papier.

8.2 Büro-Offsetdrucker und Druckplatten

Die schnellen elektrostatischen Kopiergeräte, die eine Kopierkapazität von 5000...10000 Kopien/h aufweisen, gehören marktmässig eher in den Bereich der Büro-Offsetdrucker. Es gibt deren heute eine ganze Anzahl.

Sowohl die direkten als auch die indirekten Kopierverfahren lassen sich zur Erstellung von Druckplatten für den Offsetdruck verwenden [16; 17]. Druckplatten für niedrige Auflagen (100...5000 Kopien), die für Kleinoffsetmaschinen geeignet sind, können mit ZnO-Papier leicht hergestellt werden. Für höhere Auflagen ($\sim 10^5$) benutzt man organische Photohalbleiterschichten auf Aluminiumfolien (z.B. Elfasolplatten von Kalle). Präparierte Folien für den Offsetdruck lassen sich mit den indirekten Kopierverfahren zu Offsetdruckformen leicht verarbeiten. Auf dem Markt existieren Offsetdruckmaschinen, die mit einem elektrostatischen Kopier-

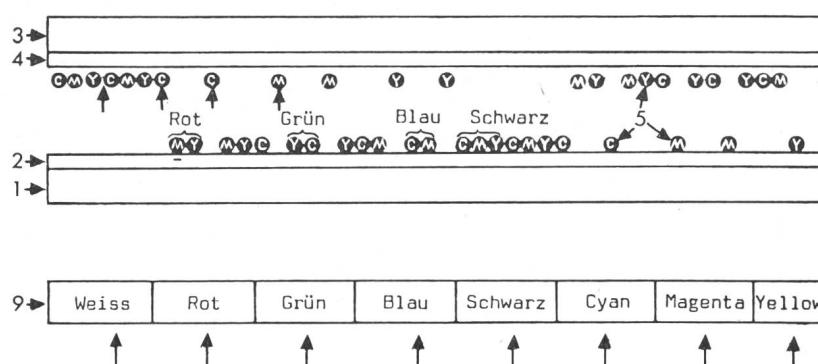


Fig. 8 Photoelektrophoretisches subtraktives Farbbild
(C = Cyan, M = Magenta, Y = Yellow)

gerät kombiniert sind und vollautomatisch arbeiten. Wenige Kopien eines Originals stellen sie elektrostatisch her, für mehr als zehn wird elektrostatisch nur eine Kopie gemacht, die dann an den Offsetdrucker weitergegeben wird. Dieser benutzt die elektrostatische Kopie als Druckvorlage und fertigt die gewünschte Anzahl Kopien an.

8.3 Farbbilder

Naheliegend ist der Gedanke, Farbelektrophotographien herzustellen durch sukzessive Belichtung von Farbauszügen auf einer elektrophotographischen Platte und anschliessende sukzessive Entwicklung mit dem entsprechenden Farbtoner. Ein auf diesem Prinzip arbeitendes Gerät ist in den USA für militärische Kartographie von Harris Intertype Corp. entwickelt worden. Es handelt sich dabei um eine vollautomatische 5-Farben-Kopiermaschine mit einer Kapazität von mehr als 3000 Kopien/h von 70×70 cm.

Auf demselben Prinzip beruht auch das Remak-Farbkopierverfahren. Dabei handelt es sich um ein Farbanddruck-Prüfverfahren für das graphische Gewerbe. Die Qualität ist zwar gut, der Herstellungsprozeß dauert jedoch für einen Vierfarbendruck mehr als eine halbe Stunde; ein Problem ist ferner die Reproduzierbarkeit.

Eine andere Möglichkeit, Farbphotographien elektrophotographisch herzustellen, zeigt Fig. 9. Ein farbiges Dia-positiv wird zunächst durch einen Rotfilter auf der Photohalbleiterschicht abgebildet und dann mit Cyan-Toner entwickelt. Anschliessend wird nach Belichtung durch einen Grünfilter mit Magenta und nach Belichtung durch einen Blaufilter mit Gelb entwickelt.

Die Opto/Graphics Inc. USA bietet seit einigen Jahren in den USA ein System zur Herstellung von Halbtonbildern an, das nach dem Prinzip von Fig. 9 arbeitet. Dieses System umfasst als technischen Kern eine elektrostatische Einheit, dazu Entwicklungsschalen, ZnO-Papier und elektrostatische Nass-Toner für vier verschiedene Farben. Das System ist für den Amateurphotographen gedacht, zur Anfertigung von Positiv-Positiv-Vergrößerungen. Aus einem Farbdia kann man sequentiell innerhalb weniger Minuten ein Farbbild erhalten.

Nach dem Prinzip der Fig. 10 arbeitet die Xerox 6500. Auch mit diesem Gerät können Dias – mit Hilfe eines Dia-Zusatzgerätes – auf gewöhnliches Papier farbkopiert werden [18].

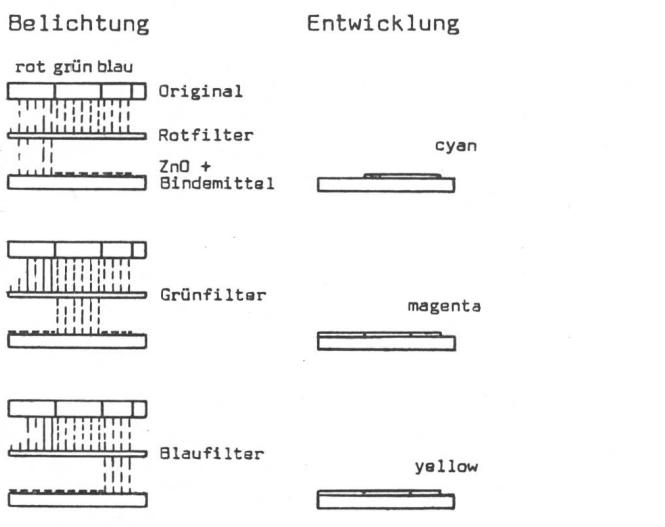


Fig. 9 Phasen der Elektrophotographie

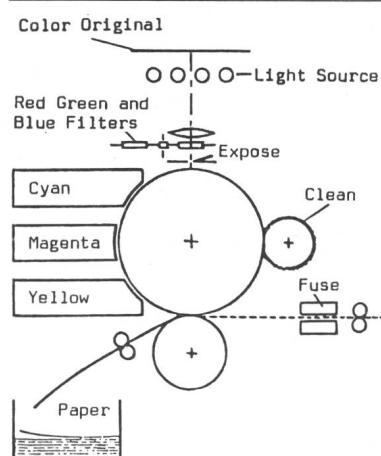


Fig. 10 Color-Xerographie

Die Qualität entspricht nicht der von Farbphotos oder Farbdrucken, genügt aber für Arbeitsunterlagen sowie Besprechungs- und Werbezwecke.

Das sog. Color-in-Color-Farbphotokopiergerät der 3M-Company wird seit 1969 in den USA vertrieben. Dieses Bürogerät arbeitet sequentiell und besitzt Standard-Lochkarten, womit man 54 verschiedene Farbkombinationen herstellen kann. Eine A4-Farbkopie erhält man in ungefähr 30 s. Neuerdings kann man mit einem Zusatzgerät auch Kopien von Dias erhalten. Der Preis für eine Farbkopie beläuft sich bei Papierkopien pro Stück auf \$ 0.60, bei Transparenten für Hellraumprojektion auf \$ 1.75.

8.4 Datenverarbeitung, Daten- und Bildübertragung, Fernkopierer

Computerdaten können elektrostatisch bzw. elektrophotographisch ausgeschrieben werden. Die Photohalbleiterschicht wird normalerweise durch eine Isolatorschicht (dielektrisches Papier) ersetzt, auf die mit Metallspitzen «geschrieben» wird. Die Schreibgeschwindigkeit beläuft sich auf mehr als 500 Zeilen/s [19].

Man kann fixe und variable Daten durch Überlagerung zweier Informationsbilder kombinieren. D.h., die veränderliche Information A wird von einer Kathodenstrahlröhre geliefert, während die fixe Information B von einem Mikrofilm stammt [20].

Fig. 11 zeigt das Prinzip des Drucksystems IBM 3800. Hierbei wird als Lichtquelle ein Laser verwendet. Die Kopierleistung beträgt 8580 Seiten/h bzw. 75500 Zeilen/h, verglichen mit rund 120000 Zeilen/h bei entsprechenden konventionellen Druckern. Der Laser-Drucker von Siemens arbeitet ähnlich.

Auch im Bereich der Bild- und Datenübertragung über alle Entfernung wird die Elektrophotographie angewendet. Erinnert sei an die spektakuläre «Heimzustellung» der Tageszeitung «Mainichi Shimbun» während der Olympischen Spiele in Japan 1964 («Faksimile-Heimausgabe»)¹⁾ [21]. Die Über-

¹⁾ Faksimileprinzip: Das Verfahren unterscheidet sich morphologisch vom Fernsehen nur durch die Art der Aufzeichnung, welche eben permanent auf einer Blattunterlage erfolgt. Massgebend dabei ist, dass Lesung und Aufzeichnung synchron erfolgen. Beziiglich Information liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Fernsehen. Bei monochromen Bildern ist die Information dreidimensional (zwei Raumkoordinaten und eine Helligkeitskoordinate), bei Farbbildern ist sie fünfdimensional (zwei Raum-, eine Helligkeits-, zwei Farbkoordinaten).

tragung einer ganzen Zeitungsseite direkt zum Kunden erfolgte in ungefähr 96 s. Heute sind in verschiedenen Ländern derartige Versuche im Gang. Bohrinseln und Schiffe empfangen schon seit längerer Zeit die Wetterkarten oder auch Tageszeitungen auf diese Weise.

Eindrucksvoll ist auch die Abwicklung der Korrespondenz eines amerikanischen Dokumentationsnetzes. Der Dokumenteninhalt, der von mikroverfilmten Dokumenten auf Tonband umgesetzt ist, wird über Draht oder drahtlos zum Empfänger übertragen und dann elektrophotographisch ausgedruckt [19; 22].

Mit dem LDX-System (Long Distance Xerography) sendet ein amerikanischer Eisenbahnkonzern Frachtbriefe. Das Leistungsvermögen liegt bei 100000 Frachtbriefen pro Tag. In diesem LDX-System kann ein übertragenes Dokument digital kodiert, gespeichert oder mit anderen Informationen kombiniert werden.

Man kann heute telefonisch die Kopie eines Dokumentes aus einem entfernten Archiv, z.B. Mikrofilmzentrale, anfordern und bekommt sie über Fernkopierer direkt ausgeliefert. Es gibt Fernkopierer, die für eine A4-Seite nur 35 s brauchen. Der Normalbetrieb liegt bei 100 s.

Als letztes Beispiel noch das Kopieren vom Bildschirm: Hierbei braucht man ein Zusatzgerät zum Bildschirmgerät. Die Firma Matsushita stellte vor einigen Jahren ein Versuchs-Farbfernsehgerät mit farbiger Faksimileausgabe her. Die Übertragung erfolgt innerhalb des von den Fernsehsignalen eingenommenen Kanals. Eine farbige A4-Seite lässt sich in 2 min übertragen. Die Farbkopie entsteht nach den Ink-Jet-Verfahren (4 Farbdüsen). Die Auflösung beträgt 6 Linien/mm. Die optische Dichte wird über Piezoelemente proportional zur gewünschten Druckdichte gesteuert.

Wenn es gelingt, eine schnelle Faksimileübertragung kostengünstig zu erreichen, dann ist in naher Zukunft eine weitere Verbreitung der Faksimiletechnik sowie die Anwendung in neuen Festbild-Kommunikationsdiensten zu erwarten.

8.5 Mikrofilm und Rückvergrößerungsgeräte

An der Entwicklung eines elektrophotographischen Mikrofilms wird an mehreren Orten gearbeitet. Ein technisch allerdings noch unausgereiftes Verfahren wurde schon vor etwa 15 Jahren vorgeschlagen [23]. Die Empfindlichkeit und das Auflösungsvermögen des Films wären interessant, aber sein schwerwiegender Fehler liegt in der Empfindlichkeit für Kratzer. Seit ein paar Jahren testet Xerox den Xerox-Dry-

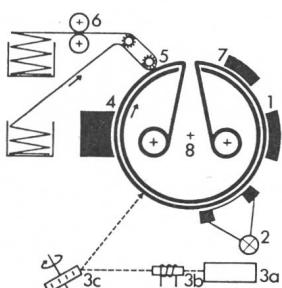


Fig. 11 IBM 3800

- | | |
|-------------------|--------------|
| 1 Aufsicht | 4 Toner |
| 2 Vordruckstation | 5 Übertragen |
| 3a Laser-Station | 6 Einbrennen |
| 3b Modulator | 7 Reinigen |
| 3c Spiegel | 8 Trommel |

Mikrofilm, der nach dem Migrationsverfahren arbeitet. Dieser Mikrofilm ist lichtunempfindlich, denn erst durch die elektrostatische Aufladung wird er lichtempfindlich und kann bei Tageslicht aufbewahrt werden. Die Auflösung des Films wird mit mehr als 200 Linienpaaren/mm angegeben.

Für Rückvergrößerungen von Mikrofilmen andererseits existieren mehrere marktgängige elektrostatische Kopiergeräte. Sie arbeiten sowohl positiv-positiv als auch negativ-positiv. Ricoh Comp. Ltd. hat einen automatischen elektrostatischen Reader-Printer für Mikrofilme an der Photokina 1972 ausgestellt, der mit 16-mm-Negativ- und Positiv-Rollfilmen arbeiten kann. Die Belichtungsdauer wird entsprechend dem Mikrofilm automatisch gesteuert.

8.6 Elektrostatischer Sieb- und Tiefdruck

Diese Verfahren sind in Amerika für Spezialanwendungen üblich. So hat die Electrostatic Printing Corp. den elektrostatischen Schablonen-Siebdruck [24] entwickelt und die Sun Chemical Corp. den photoelektrostatischen Siebdruck.

Als Beispiel sei die bekannte Coca-Cola-Flasche genannt. Während früher die Cola-Flaschen *nach* dem Hartwerden und Abkühlen beschriftet wurden und die Schrift in einem zweiten Arbeitsgang zur Fixierung eingearbeitet wurde, gestattet das elektrostatische Siebdruckverfahren, die Schrift schon *vor* der ersten Abkühlung anzubringen, so dass der zweite Arbeitsgang eingespart wird.

Auf dem Gebiet des elektrostatischen Tiefdruckes ist das Gravure Research Institute erfolgreich tätig, aber auch japanische Firmen. Letztere versuchen das klassische Ätzverfahren zur Bearbeitung des Druckzylinders durch das Aufkleben einer Folie zu ersetzen, in der die Bildinformationen nach dem PIP-Verfahren gespeichert sind.

8.7 Anwendungsbeispiele des Ink-Jet-Verfahrens

Die Ink-Jet-Verfahren finden hauptsächlich dort Verwendung, wo andere Verfahren wegen mangelnder Anpassungsfähigkeit oder Geschwindigkeit versagen. Einige typische Beispiele:

- Mit dem Ink-Jet-Rotationsverfahren können heute etwa 15...20 untereinander verschiedene Briefe im A4-Format pro Sekunde gedruckt werden. (Daten der Ink-Jet-Rotationsmaschine von Mead-Dijit: 2 × 1000 Düsen/25 cm; 1 Düse erzeugt rund 10^5 Tröpfchen/s.)

- Persönliche Bücher (vor allem persönliche Kinderbücher sind in den USA üblich).

- Drucken von Adressen in bereits fertige Druckerzeugnisse: In den USA sind die variablen Daten nach dem Ink-Jet-Rotationsverfahren in Millionen von Steuerformularen eingedruckt worden, d.h. Name, Adresse und Steuernummer der Steuerzahler.

- Das Bedrucken von Säcken, Eiern und Bierdosen wird in den USA seit längerem praktiziert.

- Herstellung von Grossbildern 2 × 6 m für Film- und Bühnenkulissen.

- Ink-Jet-«Schreibmaschinen» (Transdata, Hermes HR 3).

- Ink-Jet-Systemdrucker (IBM 6640).

- An der Funkausstellung 1979 in Berlin wurden Hardcopydrucker für die farbige Wiedergabe ab Bildschirm nach dem Ink-Jet-Verfahren von zwei verschiedenen Firmen (National Panasonic und Siemens) ausgestellt.

8.8 Elektroradiographie

Von der Möglichkeit, die Elektrophotographie auch in der Radiographie zu verwenden, machte Xerox mit ihrem Xeroradiographiesystem (Rank-Xerox-System 125) im Jahre 1971 Gebrauch und bot damit eine vielversprechende Alternative zu dem rund 80 Jahre alten konventionellen System [25]. Es ist heute bekannt, dass für spezielle Gebiete der medizinischen Diagnostik das Xeroradiographie-Verfahren die Herstellung von Radiographien ermöglicht, die bezüglich Detailerkennbarkeit, dem Patienten zugeführter Strahlenbelastung, Schnelligkeit und technologischer Eleganz sowie dem dafür erforderlichen finanziellen Aufwand den auf Silberhalogenid basierenden Röntgenbildern weit überlegen sind.

Literatur

- [1] *R.M. Schaffert*: Electrophotography. Second edition. London/New York, Focal Press, 1975.
- [2] *J.H. Dessauer und H.E. Clark*: Xerography and related processes. London/New York, Focal Press, 1965.
- [3] *E.G. Johnson und B.W. Neher*: Electrolytic electrophotography. US Patent Nr. 3010883, 1961.
- [4] *E. Inoue und T. Yamaguchi*: Study of superconductivity of zinc oxide by the method of electrodeposition. *Kogyo Kagaku Zasshi (Journal of the Chemical Society of Japan: Industrial Chemistry Section)* 68(1965)12, p. 2301...2310.
- [5] *R.L. Carlson*: Electrolytic photography: Mechanism of plating of nickel on zinc oxide films. *Photographic Science and Engineering* 8(1964)3, p. 167...171.
- [6] *V.M. Frindkin*: The Physics of the electrophotographic process. London/New York, Focal Press, 1972.
- [7] *J. Van Calker*: Elektrete und ihre physikalischen Eigenschaften. Internationales Kolloquium über wissenschaftliche Photographie, 11.-15. 9. 1961, Zürich. Sektion 4, Bericht 9.
- [8] First international conference on electrophotography, Rochester/New York, 4.-6. september 1968. *Applied Optics. Supplement* 3, 1969.
- [9] *V. Tulagin*: Imaging method based in photoelectrophoresis. *Journal of the Optical Society of America* 59(1969)3, p. 328...331.
- [10] *G. Zographos*: Photoelektrophorese, ein neues Verfahren der Elektrophotographie. *Rdsch. Bern.* 65(1973)44, S. 45...49.
- [11] *V. Tulagin*: Polychromatic photoelectrophoretic imaging composition. US Patent Nr. 3384488, 1967.
- [12] *V. Tulagin a.o.*: Process of electrophoretic color imaging. US Patent Nr. 3384565, 1968.
- [13] *A. Kapler und J. Epperlein*: Elektrofotografische Verfahren. II: Migrationsverfahren. *Bild und Ton* 28(1975)5, S. 135...160.
- [14] *G. Zographos*: Les procédés d'impression inkjet. *Semestre Esig (Ecole Suisse d'Ingenieurs Graphiques, Lausanne)* -(1977)5, p. 5...7.
- [15] Ink jet printing. *IBM Journal of Research and Development* 21(1977)1, p. 1...96.
- [16] *M. Berti*: Direkverfahren in der Kleinoffset-Druckformen-Herstellung. *Semesterarbeit Esig (Ecole Suisse d'Ingenieurs Graphiques Lausanne)*, 1979.
- [17] *M. Staub*: Die Offsetplattenherstellung mittels Laser. Wie weit sind wir? Welchen Weg gehen wir? *Semesterarbeit Esig (Ecole Suisse d'Ingenieurs Graphiques, Lausanne)*, 1979.
- [18] *L.D. Mailloux und J.E. Bollmann*: Xerox 6500, slide printer. *Journal of Applied Photographic Engineering* 3(1977)4, p. 230...234.
- [19a] *O. Helwisch*: Reprographie: Bericht über den 1. internationalen Kongress für Reprographie, Köln 14.-19. Oktober 1963. Darmstadt/Wien, Othmar Helwisch Verlag, 1964.
- [19b] *O. Helwisch*: Reprographie II. Bericht über den II. internationalen Kongress für Reprographie, Köln 25.-31. Oktober 1967. Darmstadt/Wien, Othmar Helwisch Verlag, 1969.
- [20] *H. Dagnall*: Xeronic: Computer output printer. *Penrose Annual* 56(1962), p. 125...132.
- [21] *J.M. Fairfield*: A Japanese newspaper tries to catch up with television. *British Printer* 78(1965)5, p. 128...129.
- [22] *R.C. Campbell*: Miracode microfilm retrieval and communication system. *The National Micro-News* 84(1966), p. 52.
- [23] *W.A. Sullivan und J.J. Kneiser*: Tone-reproduction by frost images. *Photographic Science and Engineering* 8(1964)4, p. 206...211.
- [24] Electrostatic printing systems. US-Patent Nr. 3081698.
- [25] *O.K. Kolb*: Elektrophotographie. III: Xeroradiographie. *Umschau* 62(1962)16, S. 492...494.

Adresse des Autors

Georg Zographos, Gretag AG, Althardstrasse 70, 8105 Regensdorf.

Literatur – Bibliographie

DK: 621.3

SEV-Nr. A 630/I

Introduction à l'électrotechnique. Par *Frédéric de Coulon* et *Marcel Jufer*. Traité d'électricité de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne publié sous la direction de Jacques Neirynck, Vol I. St. Saphorin, Georgi Editions, 1978; rel. 8°, XVIII/350 p., Fig., tab.

Das vorliegende Werk bildet den ersten von insgesamt zwanzig Bänden der Buchreihe *Traité d'Electricité* der ETH-Lausanne. Es soll, wie die Verfasser einleitend bemerken, eine allgemeine Einführung in das weite Gebiet der technischen Anwendungen der Elektrizität geben und Gelegenheit bieten, sich mit der Sprache und gewissen Rechenmethoden der Elektroingenieure vertraut zu machen. Dieser Zielsetzung entspricht ein ausserordentlich breites Stoffangebot.

Nach einer kurzen Darstellung der Symbole für Grössen und Einheiten und deren Normung und Bedeutung in der Elektrotechnik folgt eine gedrängt gestaltete Übersicht über die grundlegenden Gesetze der Elektrizitätslehre.

Im Kapitel 3 wird ein Einblick in Erzeugung, Übertragung und Verbrauch elektrischer Energie geboten, wobei auf die Bedeutung des sinusförmigen Wechselstromes und des Dreiphasensystems hingewiesen wird. Eine Einführung in Erzeugung, Übertragung und Verarbeitung von Information durch elektrische Signale folgt in Kapitel 4 mit einem Überblick über Methoden, Systeme und Komponenten.

Die Kapitel 5 bis 9 vermitteln die Grundlagen zur Berechnung von Schaltungen nach dem Kirchhoffschen Modell mit elementaren mathematischen Hilfsmitteln: Ohmscher Widerstand, Kapazität, Induktivität und ideale Quellen werden als Schaltelemente definiert und charakterisiert und einfachste Schaltkreise bei Gleich- und Wechselstrom behandelt. Sorgfältig ausgewählte Aufgaben regen zur Übung an.

Wieder mehr der Praxis zugewandt ist der Inhalt der Kapitel 10 und 11. Nach einer kurzen Einführung in Ziel und Methoden des Messens physikalischer Grössen werden Eigenschaften und

Aufbau der wichtigsten Messinstrumente für elektrische Grössen vorgestellt. Kapitel 11 ist der Technologie elektrischer Komponenten wie Widerstände, Kondensatoren, Spulen gewidmet.

Die letzten drei Kapitel des Buches enthalten: – Definition und Rechenregeln der komplexen Zahlen – eine Liste der wichtigsten Entdeckungen auf den Gebieten der Elektrizität und des Magnetismus – eine Liste der wichtigsten Konstanten usw.

Das Buch lässt sich wohl am besten mit «Faktenschleuder» charakterisieren. Die präzise, aber mit minimalem Aufwand beschriebenen Tatsachen motivieren den Leser, die dargebotenen Kenntnisse zu vertiefen und zu verbreitern.

H. Baggenstos

Fehlerortsmesstechnik an Kabeln. Haus der Technik e. V., Essen, Vortragsveröffentlichungen 423. Tagung vom 7. Dezember 1978.

Im Fernmeldenetz der Deutschen Post, das eine Länge von ungefähr 500 000 km aufweist, traten 1977 etwa 180 000 Fehler auf. Der sicheren und schnellen Fehlererkennung und -ortung kommt offensichtlich eine grosse Bedeutung zu. Je nach Fehlerart und Kabeltypen führen verschiedene Messmethoden am raschesten zum Ziel. Die neueren beschriebenen Messgeräte sind einfacher zu bedienen als die alten und sollen auch von nicht vollamtlichen Fehlersuchingenieuren mit Erfolg verwendet werden können. Besondere Bedeutung wird heute der Impulsemethode zur Vorortung zugemessen. Diese wird auch bei Energiekabeln angewendet. Ein speziell für Fehlerortungen eingerichteter Messwagen mit den verschiedenen Möglichkeiten wird im Detail beschrieben. In einem besonderen Artikel werden Störungen bei Höchstspannungsanlagen (in Deutschland rund 3200 km verlegt) behandelt. Elektrische Fehler treten bei diesen Kabeln kaum auf, wohl aber mechanische im hydraulischen System. Auch für Öl- und Gasleckstellenortungen sind eine Reihe verschiedenere Methoden und neuere elektronische Messgeräte bekannt.

B. Weber