# Entwicklungen in der Messtechnik : neue Messgeräte, neue Messverfahren

Autor(en): **Munier, J.-F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905355

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Entwicklungen in der Messtechnik: neue Messgeräte, neue Messverfahren

Von J.-F. Munier

621.347:534.7:53.08;

*Die Messtechnik beschränkt sich heute nicht mehr auf Messungen physikalischer Grössen. Ein Messresultat kann vielmehr aufgrund komplexer mathematischer Verknüpfungen zustande kommen. Dem Techniker erschliessen sich dadurch zahlreiche neue Möglichkeiten.*

*Une mesure, qui au départ se bornait à une quantification de grandeurs physiques simples, se voit complétée par des calculations parfois compliquées avant de donner son résultat. Des systèmes de test, d'analyse ou de diagnostic sont actuellement choses courantes. Cet article essaie de donner un aperçu de l'évolution des moyens mis à la disposition du technicien pour effectuer une mesure simple ou complexe et donne quelques motifs ayant conduit à cette évolution.*

## 1. Einleitung

Zur Lösung von Messaufgaben bieten sich dem Anwender heute sehr verschiedene Techniken an, die zudem in raschem technischem Wandel begriffen sind. Ist dieser Wandel eine Folge neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, von Innovationen in der Halbleitertechnik, oder haben veränderte Forderungen der Anwender dazu geführt? Anhand verschiedener Beispiele wird im folgenden versucht, diese Fragen zu beantworten und aktuelle Entwicklungstendenzen in der Messtechnik aufzuzeigen.

## 2. Messverfahren

Grundlegend neue Messverfahren sind in der messtechnischen Praxis wesentlich weniger häufig, als das Studium wissenschaftlicher Publikationen vorerst vermuten lässt. Häufig ist heute der gemeinsame Trend festzustellen, physikalische Grössen in eine Form umzusetzen, die eine elektronische Verarbeitung ermöglicht. Dank der Entwicklung in der Elektronik haben sich im Verlauf der letzten Jahre Genauigkeit, Auflösung, Reproduzierbarkeit und Geschwindigkeit einer Messung stark verbessert, und die Umformung physikalischer in elektrische Grössen ist daher sinnvoll.

Als Beispiel sei die Temperaturmessung erwähnt. Das «gewöhnliche» Thermometer nimmt eine direkte Messung der Temperatur vor, aber ohne jede weitere Verarbeitung des Messwertes. Um diesen Nachteil zu eliminieren, hat man verschiedene Methoden angewandt. Eine Umformung der Temperatur in eine elektrische Grösse kann zum Beispiel mit Thermoelementen erfolgen, die eine zur Temperatur proportionale Spannung liefern, oder mit Widerstandsthermometern, deren ohmscher Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur variiert. In anderen Fällen benützt man die Strahlung eines Körpers, um dessen Temperatur zu bestimmen.

Auch das altbekannte Ultraschallverfahren für Durchflussmessungen, dessen Einführung in der Industrie durch die sinkenden Kosten integrierter Schaltkreise möglich wurde, lässt sich als Beispiel dafür anführen, dass oft erst lange nach der Entdeckung der physikalischen Grundlage eines Messverfahrens die entsprechenden Aufnehmer geschaffen werden. Dieses Verfahren basiert auf dem Prinzip, dass sich bei strömenden Flüssigkeiten die Schall-Ausbreitungsgeschwindigkeit proportional zur Strömungsgeschwindigkeit ändert. Bei der Ultraschall-Durchflussmessung werden deshalb zwei Elemente, die Sender- und Empfängerfunktion haben, einander schräg gegenüber, auf beiden Seiten des Messrohrs, angebracht. Abwechselnd werden Ultraschallimpulse von einem Element zum anderen und umgekehrt gesendet, die Laufzeiten gemessen und in Frequenzen umgeformt. Die gebildete Frequenzdifferenz ist dem Durchfluss proportional.

Analog ermöglichen Dehnungsmeßstreifen, deren ohmscher Widerstand sich proportional zur ausgeübten Kraft ändert, als Aufnehmer die Weiterverarbeitung der Messgrössen von Kräften, Drücken und Beschleunigungen. Ein grosser Teil der nichtelektrischen Grössen lässt sich, wie die erwähnten, umformen und gestatten dann eine elektrische Weiterverarbeitung der Messung.

Die Interpretation einer Messung und das Veranlassen der richtigen Massnahmen blieben noch lange Zeit ausschliesslich Sache des Menschen. Mit dem gegenwärtigen Stand der Elektronik werden nun Messung und Weitergabe entsprechender Befehle an Geräte, die komplexe Systeme überwachen und regeln, in einem Gerät möglich.

## 3. Einflüsse der digitalen Technik

Grosse Bedeutung hat die Einführung digitaler Elektronik in der Messtechnik. Einfachheit der Messwertdarstellung, fehlerfreie Weiterverarbeitung und unmittelbare Kopplung zur Datentechnik begründen ihren raschen Erfolg.

In der Energietechnik macht sich der Einfluss der digitalen Technik zum Beispiel bei der Berechnung des Energieverbrauchs bemerkbar. Allmählich treten an die Stelle elektromechanischer elektronische Zähler, weil sie neben dem Zählen eine Weiterverarbeitung gestatten. Die gegenwärtig noch höheren Preise der digitalen Geräte halten den Austausch allerdings in Grenzen.

Vermehrt werden auch reine Leistungsmessungen digital ausgeführt. Die Funktion «Messen und Multiplizieren von zwei elektrischen Grössen» ist an sich nichts Neues; mit Hilfe von elektrodynamischen Messwerken konnte man dies für Leistungsmessungen schon seit langem realisieren (Fig. 1). Durch Digitaltechnik wird die Messung aber einfacher, das Resultat genauer und die Bandbreite grösser. Die Messung kann beispielsweise nach dem «Time-Division-Verfahren» erfolgen. Die stromproportionale Spannung wird dabei einem Multiplizierer zur Impulsbreitensteuerung zugeführt. Die der Eingangsspannung proportionale Spannung beeinflusst die Impulshöhe. Die Fläche des Ausgangsimpulses entspricht dann dem Produkt $U \times I \times \cos\varphi$, welches, für sinusförmige Kurven, mit der Wirkleistung $P$, identisch ist. Eine Umformung dieser Impulse zuerst in Gleichspannung und später in eine digitale Form, etwa nach dem Ladungs-Kompensations-Verfahren, ermöglicht die weitere Verarbeitung der Daten. In verschiedenen anderen Geräten übernehmen mehr und mehr Mikroprozessoren die Steuerungsaufgaben sowie die Berechnung des Effektivwertes oder des arithmetischen Mittelwertes von Strom, Spannung oder Wirkleistung (Fig. 2).

Ein bedeutender Vorteil der digitalen Messtechnik ist es

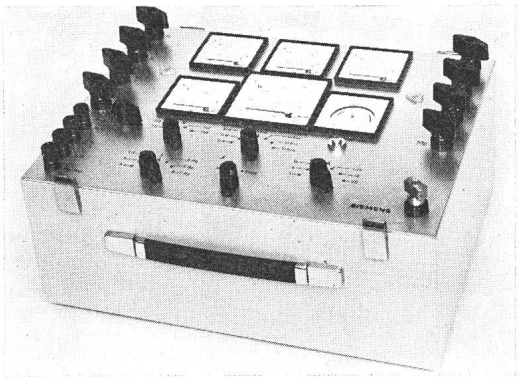

**Fig. 1 Leistungsmesskoffer**
Leistungsmesskoffer der alten Generation mit eingebautem Wattmeter und elektrodynamischem Messwerk

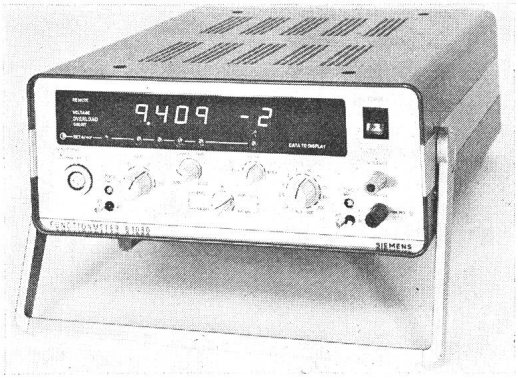


**Fig. 2 Functionmeter B1080**
Digitale Leistungsmesser der neuen Generation ermöglichen eine genaue und von der Kurvenform unabhängige Messung. Im abgebildeten Gerät übernimmt ein Mikroprozessor die Kalkulation der Leistung, die Messdatenausgabe und die Fernsteuerung des Gerätes

gerade, dass sie sich nicht auf das Messen und einfache Auswerten physikalischer Grössen beschränkt; sie ermöglicht, wie im Falle der Leistungsmessung, auch Berechnungen und weitere Verarbeitungen.

Der Mikroprozessor mit Halbleiterspeicher hat diese Aussichten, die derzeit schon in relativ vielen Geräten auch verwirklicht sind, eröffnet. Die Anregungen reichen von der Korrektur nichtlinearer Kennlinien von Messaufnehmern bis hin zur automatischen Kalibrierung; auch werden Verarbeitungsprozeduren für Messwerte vorgeschlagen. Der Mikroprozessor erweitert somit die Messgeräte im Funktionsumfang, er kann ihre Bedienung vereinfachen und das Leistungsangebot erhöhen. Dem Verhältnis von Leistungsfähigkeit zu Kosten kommt zugute, dass der Mikroprozessor Steuerungsaufgaben mit erledigen kann, die bei quasi- oder diskontinuierlichen Messungen anfallen.

Eine Verknüpfung mehrerer verschiedener Messgeräte gemäss internationaler Normierung der Schnittstellen (z. B. IEC-Bus, IEEE 488-Bus) gibt dem Techniker die Möglichkeit, ein ganzes Meßsystem aufzubauen. Der Mikroprozessor übernimmt dann in jedem Gerät die Steuerungs- sowie Datenaustauschaufgaben.

Signalanalyse ist schon seit einiger Zeit in der Messtechnik üblich. In Telefonie und Audiotechnik hat man, um die Frequenzlinearität von z. B. Verstärkern zu prüfen, eine Analyse der Signale bei jeder Frequenz durchgeführt. Solche Analysen lassen sich jetzt durch mikroprozessorgesteuerte Messplätze automatisch durchführen [1].

Die Applikation der mathematischen Grundlagen in der Analyse nichtperiodischer Signale ist dagegen erst seit kurzem in der Messtechnik aufgetaucht. Die in der Praxis auftretenden Signalformen können in drei Hauptklassen unterschieden werden: die periodischen, die deterministischen und die stochastischen Signale. Signale dieser zwei letzten Klassen können, unter der Bedingung, dass sie «stationär» sind, mittels stochastisch-ergodischer Messgeräte (SEM) gemessen und analysiert werden [3]. Der SEM-Korrelator (Fig. 3) gehört zu dieser neuen Kategorie von Messgeräten.

Die Applikationen eines derartigen Gerätes sind sehr vielseitig, z. B. Geräuschlokalisation in Hochspannungstransformatoren (Isolationsfehler), Bestimmung der Übertragungswege von Störungen (z. B. vom Motor zum Autoradio), Turbulenz- und Geschwindigkeitsmessungen in der Hydrodynamik, Messung von Leistungsgrössen in der Reaktortechnik nach dem *Campbellschen* Theorem usw.

Diesen Anwendungen digitaler Messtechnik ist gemeinsam, dass sie sich nicht auf physikalische Grundlagen allein abstützen, sondern vermehrt mathematische Begriffe einsetzen. Dem Techniker eröffnen sich dadurch eine Fülle von neuen Möglichkeiten zur Prüfung und Fehlerbehebung in Systemen. Moderne Messgeräte kontrollieren zudem ihre eigene Funktionstüchtigkeit und melden Unklarheiten in ihrer Bedienung. Überwachungsanlagen z. B. können auf eine unzulässige Veränderung eines Objektes reagieren und dank Speicherung der Messdaten ohne Zutun des Menschen Fehler registrieren. Ein typisches Beispiel dafür sind Netzüberwachungsanlagen (Fig. 4), welche alle Störungen registrieren, die in einem Spannungsversorgungsnetz auftreten können. Dazu werden die am System anliegenden elektrischen Grössen in eine digitale Form umgesetzt. In dieser Form durchlaufen sie eine Verzögerungseinheit (Schieberegister). Gleichzeitig überprüfen Selektoren die Form der Kurven. Liegt eine Kurve ausserhalb bestimmter Toleranzen, startet der Selektor die Steuerung der Registrierung vor dem Auftauchen der fehlerhaften Kurve am Ausgang des Schieberegisters. Dieses System ermöglicht die Aufnahme eines Diagramms der Störung mitsamt ihrer Vorgeschichte.

Die Fehlerbehebung bleibt auch heute noch dem Techniker überlassen; zur schnelleren Lokalisation kann er sich aber jetzt auf Messgeräte wie Logikanalysatoren oder Kompara-

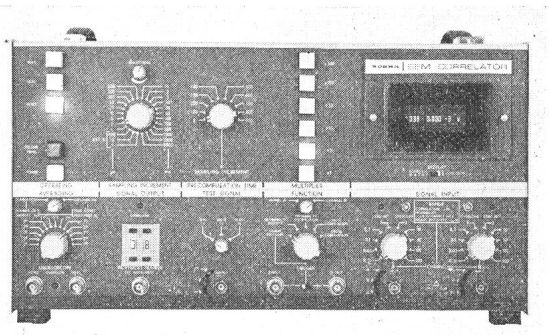


**Fig. 3 SEM-Correlator**
Stochastisch-ergodisches Korrelationsmessgerät zur Messung und Analyse von nichtperiodischen sowie stark gestörten Signalen

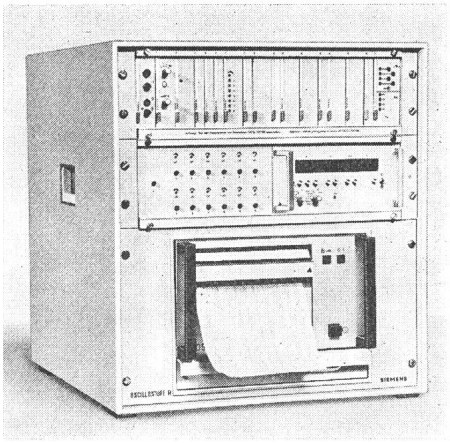

**Fig. 4**
**Netzüberwachungsanlage OSCILLOSTORE R**
Sie ermöglicht die dauernde automatische Überwachung eines Elektrizitätsversorgungsnetzes. Auf dem Papierstreifen wird ein Diagramm der auftretenden Störung mit deren Vorgeschichte aufgezeichnet

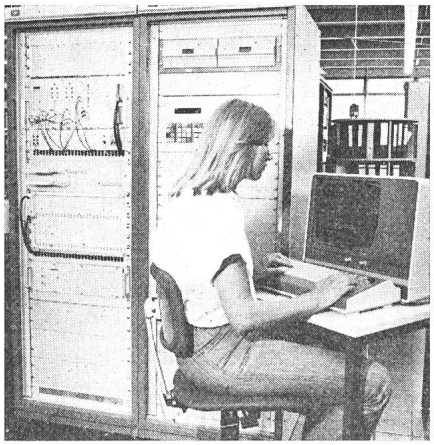

**Fig. 5**
**Prüfsystem für bestückte Leiterplatten SPS**
Dieses Prüfsystem ermöglicht eine Kontrolle der Funktionen einer bestückten Leiterplatte

toren und Generatoren zur Prüfung der Arbeitstoleranzen digitaler Systeme abstützen. So werden in der Telefonie heute digitale Übertragungssysteme eingesetzt, um eine wirtschaftlichere Nutzung der Kabelleitungen zu erreichen. PCM-Systeme (PCM = *P*ulse *C*ode *M*odulation) ermöglichen die Übertragung von mehreren Gesprächen quasisimultan auf denselben Verbindungsleitungen. Mit einem PCM-Analysator kann die Übertragungsqualität der Verbindung in diesem System geprüft werden.

Auch die Optoelektronik gewinnt in der Messtechnik zunehmend an Bedeutung, vor allem weil sie eine einfache Potentialtrennung zwischen zwei Elementen (z. B. zwischen Messgerät und Verarbeitungsanlage) ermöglicht. Optokoppler verfügen über eine Leuchtdiode, deren Lichtstärke dem Eingangssignal proportional ist und eine Fotodiode (oder Transistor bzw. Darlington), welche eine Spannung oder einen Strom proportional der Lichtstärke liefert. In der Übertragungstechnik kommt Optoelektronik vermehrt zum Einsatz, weil Lichtleiter unempfindlich gegen Störsignale und -felder sind.

### 4. Auswertung und Weiterverarbeitung

Zur Auswertung von Messdaten und Meßsignalen sowie zur Weiterverarbeitung von Messergebnissen hat sich der freiprogrammierbare Digitalrechner durchgesetzt. Überall wo die erforderliche Kapazität nicht mit Mikroprozessoren erreichbar ist, wird man solche Rechner verwenden. Sowohl Hersteller als auch Anwender haben für diese Rechner Software erarbeitet, deren Kosten oft diejenigen des Rechners erreichen oder gar übersteigen. Daher werden auch künftig die anspruchsvolleren Auswerte- und Weiterverarbeitungsprogramme der Messtechnik auf diesen Rechnern laufen und sich deren eigenen Innovationsprozess zunutze machen.

### 5. Einsatz der Messtechnik in der Fertigung von Messgeräten

Bereits während der Fertigung hochentwickelter moderner Messgeräte stellen Sondermessgeräte den späteren störfreien Einsatz beim Benützer sicher. Dazu dienen Prüfungen vor, während und nach der Fertigung. Ein Test berücksichtigt beispielsweise die späteren Umgebungskonditionen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Störfelder oder Erschütterungen.

Durch eine systematische Eingangskontrolle der verschiedenen integrierten Schaltkreise sowie Speicher und passiven Komponenten erreicht man, dass eine Leiterplatte nur mit funktionstüchtigen Elementen bestückt wird. Prüfgeräte und Systeme für diese Komponenten sind in der elektronischen Geräteindustrie seit einiger Zeit in Betrieb.

Weiter werden die Leiterplatten und bei grösseren Systemen auch die Verdrahtung heute durch Prüfautomaten kontrolliert. Diese Testsysteme ermöglichen Isolations-, Durchgangs- sowie Widerstandsmessungen. Nach dem Bestücken einer Baugruppe wird meist mittels eines grösseren Prüfsystems eine Zwischenkontrolle durchgeführt (Fig. 5). Geprüft wird die richtige Arbeitsweise verschiedener Funktionen (analog, digital oder hybrid).

Vor der Auslieferung durchläuft ein fertiges Gerät dann noch zusätzliche Dauerprüfungen. Alle diese Qualitätsmassnahmen vermindern das Ausfallrisiko sehr stark, ganz eliminieren können sie es nicht.

### 6. Check-out und Diagnose

Check-out am Flugzeug und Fahrzeugdiagnose (Fig. 6) sind messtechnische Aufgaben bei der Wartung. Je vollkommener sie gelöst werden, desto höher ist die Verfügbarkeit des technischen Systems. Ziel ist es, die Funktionstüchtigkeit rechtzeitig sicherzustellen; das setzt die Früherkennung von Funktionsmängeln voraus. Analoges gilt auch für andere komplexe Systeme, wie z. B. Kernkraftwerke, welche sehr hohen Sicherheitsansprüchen genügen müssen.

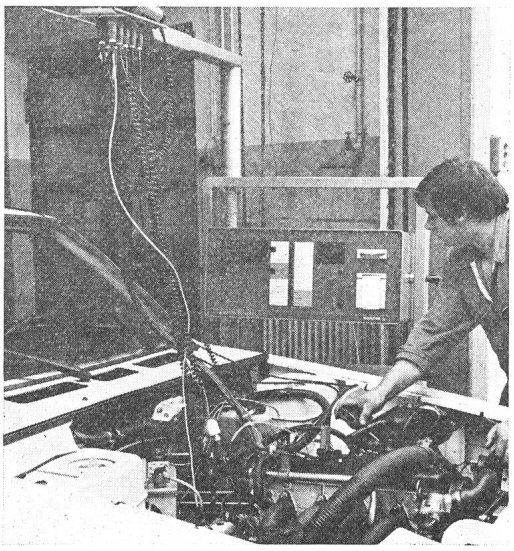

**Fig. 6 Motortester 631**
Er ermöglicht eine Überprüfung der wichtigsten Funktionen eines Automotors mit gleichzeitiger Diagnose

Eine wesentliche Voraussetzung ist die Prüfbarkeit eines Prüflings. Je fortgeschrittener die Technik, desto gründlicher wird bereits bei der Konstruktion eines Systems auf die Diagnose Rücksicht genommen. Die Idealvorstellung ist der Diagnosestecker für alle Funktionen. Ist er nicht vorhanden, so muss oft viel Ingenieurarbeit investiert werden, nur um zu ergründen, welches nun die relevanten Meßsignale sind und wie man sie eingeben bzw. erfassen kann.

Das Ermitteln relevanter Messwerte und das Aufzeichnen von Störwerten ist die Ausgangsbasis der Diagnose. Die Kennzeichen von Störungen müssen zuerst festgestellt werden. Das Erkennen innerer Zustände setzt den Vergleich mit charakteristischen Werten oder Signalen voraus. Diese können aus einem Modell kommen, wie im Fall der Prüfautomaten, wo sie sogar durch «Vorschrift» beschreibbar sind. Auch Rechenmodelle werden eingesetzt, wie im Fall der Simulation von logischen Schaltungen. Zur Fehlerdiagnose in der Wartung grösserer Systeme bleibt jedoch oft nur die empirische Methode des Sammelns eines Diagnosekatalogs, wie sie zum Beispiel aus der Elektrokardiographie bekannt ist.

Für die technische Diagnose bieten heute Störwertaufzeichnung und Signalanalyse in Verbindung mit den Mitteln der Datenverarbeitung einen gangbaren Lösungsweg.

## 7. Konsequenzen für den Techniker

Die neue Generation von Messgeräten kann dem Techniker die Arbeit wesentlich erleichtern, allerdings nur wenn er die Vorteile der hochentwickelten Systeme auch zu nutzen weiss.

Im allgemeinen sind dazu breitere Kenntnisse von Mathematik, Physik und Datentechnik von Vorteil; sie erlauben es dem Messtechniker, sich innert relativ kurzer Zeit in seinem Bereich zu spezialisieren. Die Bedienerfreundlichkeit der modernen Geräte und der Einsatz leicht zu lernender Sprachen auf der Rechnerseite verkürzen dabei die Ausbildungszeit.

**Literatur**


[1] Tendenzen in der Automatisierungstechnik. München, Siemens AG, 1977.

[2] *M. Bidlingsmaier, A. Haag* und *K. Kühnemann:* Einheiten, Grundbegriffe, Messverfahren der Nachrichten-Übertragungstechnik. München, Siemens AG, 1973.

[3] *W. Wehrmann:* Korrelationstechnik, ein neuer Zweig der Betriebsmesstechnik. Grafenau, Lexika Verlag, 1977.


**Adresse des Autors**


*J.-F. Munier,* Ing. ETS, Siemens-Albis AG, Freilagerstrasse 28, 8047 Zürich.


# Literatur – Bibliographie

DK: 538.566 SEV-Nr. A 728

**Ondes électromagnétiques. I. Propagation libre.** Par *Marc Jouguet.* Paris, Dunod, 1978; bro. 8°, X/182 p., fig., tab.

L'auteur a consacré cet ouvrage de physique à l'étude théorique des ondes électromagnétiques qu'il traite avec rigueur et précision; il a renoncé à toutes considérations d'ordre technologique ou expérimental. De plus il ne se borne pas à l'analyse exclusive de phénomènes sinusoïdaux, mais présente aussi quelques développements relatifs aux paquets d'ondes.

Bien que le but de cet ouvrage soit d'étudier la propagation des ondes électriques à hautes et à basses fréquences, on y considère également de façon assez étendue les ondes lumineuses; une bonne connaissance des propriétés optiques des milieux anisotropes facilite par exemple la compréhension des phénomènes de réfraction des ondes hertziennes dans l'ionosphère.

Chaque chapitre est divisé en deux parties: dans la première on y trouve l'exposé des notions fondamentales et des principaux résultats, dans la seconde, les resultats moins importants ainsi que les principales applications. Le fascicule contient les chapitres suivants: ondes planes dans le vide; rayonnement et ondes sphériques dans le vide; ondes planes dans les milieux isotropes; ondes dans les milieux anisotropes; double réfraction.

En conclusion on notera encore que l'auteur suppose connu les équations de Maxwell et les notions mathématiques nécessaires à leur développement. *P. A. Favre*

DK: 030.8 : 621.39 SEV-Nr. A 532

**Fachwörterbuch des Nachrichtenwesens.** Herausgegeben von *Heinz Pooch.* Berlin, Fachverlag Schiele & Schön GmbH, 1976; 8°, 278 S., Fig., Tab. Preis: bro. DM 28.–.

Das vorliegende von Fachingenieuren des deutschen Fernmeldewesens verfasste Fachwörterbuch enthält ein breites Spektrum von wichtigen und zum Teil auch neuen Fachbegriffen aus der Nachrichtentechnik im Sinne eines Lexikons bekannter Art. Die angebotenen alphabetisch aufgelisteten Informationen stellen einen wertvollen Beitrag zur Normung dar. Sie umfassen neben klassischen Fernmeldebegriffen auch solche der EDV, der Fernwirktechnik, der Elektronik wie auch der Funktechnik.

Sehr wertvoll dürften dem Ingenieur die jeweils entsprechenden Abkürzungen oder englischen Bezeichnungen (Übersetzungen) sein, kann er doch damit Englisch-Texte noch besser verstehen oder verfassen. Die zusätzlichen Kurzerklärungen dienen der Präzisierung der Ausdrücke und sollten in dieser korrekten Art auch weiter vermittelt werden, beispielsweise in Schulen und technischen Aufsätzen.

Durch die wesentlichen Beiträge von Mitarbeitern des Fernmeldetechnischen Zentralamtes ist dieses Buch auf die deutsche Fernmeldetechnik zugeschnitten, kann jedoch aufgrund des breiten Spektrums auch für schweizerische Anwender sehr empfohlen werden. Das Buch ist sehr informativ und sollte deshalb in keiner technischen Bibliothek der Fernmeldeausbildung und der beteiligten Industrie fehlen. *W. Linggi*