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: 21

Artikel: Die Elektrizität als Trägerin von Energie und Information : die Gliederung der Elektrotechnik im Lichte der historischen Entwicklung

Autor: Guggenbühl, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905294

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

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

Die Elektrizität als Trägerin von Energie und Information

Die Gliederung der Elektrotechnik im Lichte der historischen Entwicklung

Von W. Guggenbühl

621.3:620.9:621.96;

Anhand einer groben Skizze der historischen Entwicklung wird die Gliederung der Elektrotechnik in die vier an der ETH Zürich gepflegten Fachbereiche Nachrichtentechnik, Elektronik, Automatik und Energietechnik dargestellt.

Partant d'un aperçu du développement historique, l'article montre la subdivision de l'électrotechnique à l'EPF Zürich en quatre domaines – communication, électronique, automatique et énergie.

1. Einleitung

Das mit Elektrotechnik bezeichnete Gebiet der Ingenieurwissenschaften hat zu einem breiten Spektrum von Anwendungen geführt; entsprechend vielfältig sind auch Unterricht und Forschung an der Abteilung IIIB der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, die dieses Jahr ihr 125jähriges Jubiläum feiert. Die fachlichen Schwerpunkte der vier Teilbereiche, in die sich heute die Abteilung gliedert, sollen anhand eines kurzen Rückblicks auf die Entwicklungsgeschichte der Elektrotechnik erläutert werden.

Übliche Geschichtsbetrachtungen beginnen bei den alten Griechen. Aus dem Griechischen stammt, allerdings erst hinterher durch *William Gilbert* (1601) geprägt, der Name «Elektrizität». In der Wissenschaft des Altertums spielte die Elektrizität keine nennenswerte Rolle. Zwar blieben gewisse elektrische Erscheinungen, wie etwa der Blitz, den damaligen Naturforschern zweifellos nicht verborgen; eine Deutung dieser Phänomene war aber in jener Zeit nicht möglich. Auch der Göttervater Zeus kam in diesem Punkt nicht weiter. Eine Sage berichtet [1], dass er einmal plante, das ruchlose Menschengeschlecht durch Ausstreuung von Blitzen über alle Länder zu vertilgen; aber die Angst, der Äther könnte dabei in Flammen aufgehen und die Achse des Weltalls verlodern, hielt ihn davor zurück. Er legte deshalb die Donnerkeile, die ihm die Zyklopen geschmiedet hatten, beiseite und bestrafte die Menschen mit einem konventionellen und überblickbaren Mittel, einem grossen Regen.

Die in dieser Sage zum Ausdruck kommende Unberechenbarkeit elektrischer Phänomene blieb für den Menschen bis tief in die Neuzeit hinein erhalten; erst das ausgehende 18. und das 19. Jahrhundert brachten Klarheit über die wichtigsten physikalischen Gesetzmässigkeiten, die den elektrischen Vorgängen zugrunde liegen. Entsprechend jung ist deshalb auch die Ingenieurdisziplin, die sich mit den technischen Anwendungen der Elektrizität befasst; sie existierte im Gründungsjahr 1855 der ETH noch nicht. Erst in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts gewann die Elektrizität als Trägerin von Energie und Information praktische Bedeutung, um dann allerdings in kurzer Zeit zahlreiche Anwendungsgebiete zu erobern.

2. Starkstromtechnik

Der Energietransport mittels elektrischer Ströme wurde erstmals im Zusammenhang mit dem Aufkommen des elektrischen Lichts in breitem Masse angewendet. Markstein in dieser Entwicklung war die Vorführung der ersten brauchbaren Glühlampe durch *Edison* im Jahre 1879, womit das damals aktuelle Problem der «Teilung des Lichtes» [2] in der heute noch gebräuchlichen Art gelöst wurde. Mit der Glühlampe war das Problem der Verbreitung des elektrischen Lichtes allerdings nur zur Hälfte gelöst; notwendig war ausserdem ein Energieerzeugungs- und Verteilungssystem. Zur Energieerzeugung stand zu jener Zeit bereits die sog. Dynamomaschine zur Verfügung, welcher 1866 *Siemens* in Deutschland und *Wheatstone* in England mit dem Prinzip der Selbsterregung die für den praktischen Einsatz brauchbare Form gegeben hatten. Das einfache Strom-Versorgungsprinzip, bestehend aus Generator, Übertragungsleitung und Verbrauchern, zeigt deutlich den «Träger»-Charakter der Elektrizität. Die Energie, die dem Netz in elektrischer Form entnommen wird, muss ihm im selben Zeitpunkt als mechanische Energie über die drehende Welle des Dynamo zugeführt werden. Quellen mit gespeicherter elektrischer Energie, d.h. Batterien, haben an der heutigen Energieversorgung nur einen verschwindend kleinen Anteil.

Sehr bald rückte auch das Stromtransportproblem über grosse Distanzen in den Brennpunkt des technischen Interesses, da Erzeugungs- und Verbrauchsort der Elektrizität u.U. weit auseinanderliegen. Bei der Diskussion der dabei auftretenden technischen Fragen, wie z.B. des anzuwendenden Stromsystems (Gleichstrom, Wechselstrom, Drehstrom) und der Hochspannungstechnik, spielte die junge schweizerische Elektroindustrie eine wesentliche Rolle.

Die Sauberkeit und Vielseitigkeit erweiterten das Anwendungsgebiet der elektrischen Energie rasch über das Gebiet der Beleuchtung hinaus. Mit dem Dreiphasenstrom und dem ihm angepassten einfachen Asynchronmotor wurden zunehmend mechanische Antriebe der Industrie und des Gewerbes durch Elektromotoren abgelöst.

Die ursprünglich zur Versorgung von Dörfern, Städten und Fabriken entstandenen Elektrizitätswerke waren noch um die Jahrhundertwende isolierte Einzelbetriebe; mit dem Wachstum der zugehörigen Verteilnetze kam der Moment, wo sich ein Zusammenschluss aufdrängte. Dabei ergaben sich zusätzliche Probleme, wie diejenigen der Normung und der Parallelschaltung verschiedener Erzeugermaschinen.

Auch die Idee, Lokomotiven mit elektrischer Energie anzutreiben, liess nicht lange auf sich warten. Die elektrische Lokomotive gehört heute, wie die Glühlampe, zu den hundertjährigen Jubilaren [3]. Die Ablösung der ursprünglichen Dampftraktion durch elektrische Bahnen ging aber bedeutend langsamer vor sich als der Ersatz der Petrol- und Gaslichter durch die elektrische Beleuchtung. Ansporn zur Elektrifikation der Schweizer Bahnen im grösseren Stil gab vor allem die

Nach dem Einführungsvortrag der «Vortragsveranstaltung mit Demonstrationen und Tonbildschauen über den Tätigkeitsbereich verschiedener Institute der Abt. IIIB, Elektrotechnik» vom 13. und 20. September 1980, im Rahmen der öffentlichen Veranstaltungen zum ETH-Jubiläum.

Energieknappheit während des Ersten Weltkrieges. Diskussionen um die Rolle der elektrischen Energie im Rahmen einer Gesamtversorgung sind also nicht erst Themen unserer heutigen Zeit. Der Umfang dieser kurzen Übersicht erlaubt es nicht, die vielen Schritte auf dem Weg zum heutigen internationalen Hochspannungs-Verbundnetz mit seiner hohen Betriebssicherheit einzeln aufzuzählen.

3. Schwachstromtechnik

Auch die zweite Säule der Elektrotechnik, die Nachrichtentechnik, fusst tief im letzten Jahrhundert. Die Übermittlung von Nachrichten über grössere Distanzen mittels elektrischer Ströme fand 1837 mit dem Telegraphen von *Morse* erstmals grössere Verbreitung. Dieser Apparat benützte in seiner einfachsten Form einen mittels Strom ferngesteuerten Elektromagneten zur Bewegung eines Schreibstifts. Auch bei dieser Anwendung wird offensichtlich der Strom als «Träger» für eine Dienstleistung herangezogen; im Gegensatz zur Energieübertragung steht jedoch hier nicht eine Arbeitsleistung am Empfangsort, sondern die übermittelte Nachricht im Vordergrund. Entsprechend verschieden ist auch die Zielsetzung des Ingenieurs bei der Realisierung solcher Systeme. Während bei der Energieübertragung der Wirkungsgrad, d.h. das Verhältnis der am Verbrauchsort angebotenen zur am Erzeugungsort aufgewendeten Energie möglichst gross gemacht werden muss, lässt der Nachrichtentechniker bewusst grosse Übertragungsverluste zu. Er ist lediglich an der sicheren Erkennung seiner Signale am Empfangsort interessiert; zu dieser Detektion reichen geringste Energien aus. Der Energieverbrauch in Nachrichtenverbindungen ist verhältnismässig klein und von sekundärer Bedeutung. Das einfache, von Morse erdachte Verfahren, Buchstaben und Zahlen mittels eines besonderen Zeichenalphabets in zeitliche Folgen von Stromimpulsen aufzulösen, trägt bereits viele Merkmale der modernen Übertragungstechnik. Angesichts der primitiven, zu jener Zeit zur Verfügung stehenden technischen Mittel wählte er intuitiv ein sehr robustes, störunabhängiges Übertragungsprinzip, nämlich das Ein- und Ausschalten eines Stromkreises.

Die Ergänzung und teilweise Ablösung des Telegrafen durch das Telefon (*Bell* 1876) ermöglichte eine viel direktere und benützerfreundlichere Art der Nachrichtenübermittlung. Voraussetzung für deren Realisierung war die Erfindung des Mikrofons, d.h. einer Einrichtung, die Schallwellen in entsprechende Stromschwankungen umsetzt. Die Rückverwandlung in Schallschwingungen am Empfangsort geschah mittels der bereits vom Telegrafen her bekannten elektromagnetischen Kraftwirkung, die nun im Fall des Telefonhörers auf eine federnde Membran angewendet wurde. Auch das Telefon verbreitete sich rasch über die ganze Welt: Bereits 1880 wurde das erste öffentliche Telefonnetz in Zürich installiert; 1892 finden sich in Amerika schon Ansätze für eine automatische Teilnehmerwahl.

Die Erfindung der Hochvakuum-Elektronenröhre im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts, insbesondere die von *de Forest* 1906 erstmals vorgestellte Triode, leitete in der Nachrichtentechnik das Zeitalter der Elektronik ein. Bekanntlich werden in einer Röhre durch Aufheizen eines geeigneten metallischen Leiters (Kathode) Elektronen ins Vakuum emittiert, deren Zahl durch ein elektrisches Feld beinahe trägheitslos beeinflusst werden kann. Auf diese Weise lässt sich der elektrische Strom durch die Röhre ausserordentlich schnell und mit geringem Aufwand an elektrischer Leistung steuern. Damit liessen sich nun elektrische Signale verstärken und die Übertragungsdistanzen der Nachrichtennetze entsprechend ausweiten. Hauptanwendung der neuen Erfindung war aber zunächst nicht diese Verbesserung bestehender Fernmeldenetze, sondern eine ganz neue Art der Nachrichtenübermittlung – die drahtlose Übertragung elektrischer Signale. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts war die Existenz elektromagnetischer Wellen theoretisch und experimentell sichergestellt, d.h. erkannt und nachgewiesen worden, dass sich elektrische Energie nicht nur über Drähte, sondern auch in der Form von Strahlung, ähnlich dem Licht, übertragen lässt. Für die Energieabstrahlung sind allerdings sehr hohe Frequenzen notwendig. Die Elektronenröhre war nun das technische Hilfsmittel zur zuverlässigen Erzeugung solcher hochfrequenter Ströme, womit das Verfahren für die Informationsübertragung in breitem Rahmen eingesetzt werden konnte. Telegrafen und Mikrofone wurden weiterhin als Informationsumsetzer verwendet; die von ihnen ausgehenden Ströme mussten jedoch zunächst in eine für die Anregung entsprechender elektromagnetischer Wellen geeignete Form gebracht, d.h. auf eine sog. Trägerwelle moduliert werden. Es entstand eine neue Disziplin, die elektronische Schaltungstechnik, die sich auch der Konzeption geeigneter Verstärkereinrichtungen für die schwachen Signale am Empfangsort anzunehmen hatte. Der nutzbare Wellenbereich wurde im Laufe der Zeit stetig in Richtung hoher Frequenzen bis in den Bereich der Mikrowellen vergrössert.

Elektrische Strahlungsenergie hat seither weit über das Gebiet der Nachrichtenübertragung hinaus Bedeutung erlangt. Sie bildet heute u.a. auch die Basis für die Flugzeugnavigation. Elektrische Wellen können grundsätzlich sowohl als Träger von Information als auch von Energie dienen. Abgesehen von Mikrowellenöfen und futuristischen Sonnenkraftwerken im Raum ist jedoch das Strahlungsprinzip zur Energieübertragung aus Wirkungsgradgründen wenig zum Einsatz gekommen.

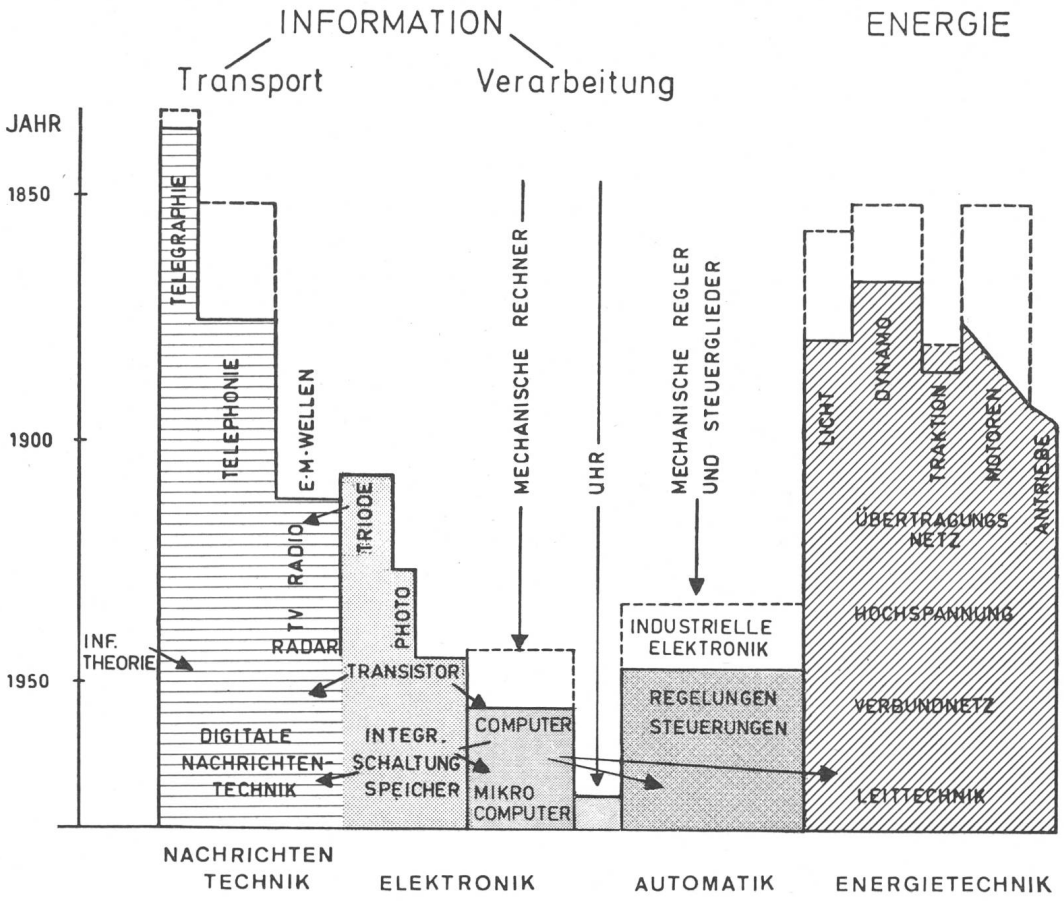
Die Aufteilung der Elektrotechnik nach den beiden grossen Anwendungsgruppen spiegelte sich in den Termen *Starkstromtechnik* als Sammelbegriff für die Probleme rund um die Energie und *Schwachstromtechnik* als Alternativbezeichnung für die Nachrichtentechnik wider. Entsprechend war um die Mitte dieses Jahrhunderts auch das Studium an der ETH organisiert: nach einer gemeinsamen Ausbildung in den Anfangssemestern konnte sich der Student in einer der beiden Hauptrichtungen spezialisieren. Blättert man in den Annalen etwas weiter zurück, so findet man bis 1935 die Elektrotechnik noch als Teilgebiet der Maschineningenieurabteilung III aufgeführt.

4. Heute: Vier Fachbereiche

Die heutige Gliederung der Abteilung für Elektrotechnik in vier Fachbereiche ist auf Grund der Entwicklung in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zu verstehen. Zwei wichtige Errungenschaften der späteren 40er Jahre haben die damalige Schwachstromtechnik wesentlich beeinflusst:

– 1947 entdeckten drei Forscher der Bell-Laboratorien in den USA den Transistoreffekt [4]. Damit wurde die lang gesuchte elektronische Steuerung von Strömen im festen Körper, d.h. ohne Austritt der Ladungsträger ins Vakuum, Realität. Die nun beginnende Ära der Halbleiterelektronik brachte zuverlässigere, leistungsfähigere und vor allem billigere elektronische Bauelemente.

Fig. 1
Gliederung der Elektrotechnik im Licht der historischen Entwicklung



– Mit der von *C. Shannon* 1948 formulierten Informationstheorie [5] wurde die Menge der zu transportierenden Nachrichten, eine bis anhin nur qualitativ beschreibbare Grösse, für den Techniker quantitativ fassbar. Damit war die Grundlage für die Optimierung der Übertragungsverfahren geschaffen.

Sowohl die Transistoren wie auch die mit der Informationstheorie klargelegte Begründung der Überlegenheit digitaler Systeme in vielen Bereichen der elektronischen Systemtechnik förderten den Einzug digitaler Methoden in die Nachrichtentechnik. Damit kehrte man, wenn auch in stark modernisierter Form, zu Übertragungsprinzipien zurück, die sich mit gesteuerten Schaltern aufbauen lassen, d.h. zu einem Konzept, das in seiner einfachen Ausgestaltung in der Form des Morsetelegrafen am Anfang der elektrischen Nachrichtentechnik gestanden hatte.

Die enorme Verbesserung und Verbilligung elektronischer Bauelemente, insbesondere elektronischer Schalter, durch die Halbleitertechnologie ermöglichte nun auch die «Elektrifizierung» von Apparaturen, die bis dahin mechanisch, allenfalls elektromechanisch realisiert worden waren. Dies wurde insbesondere durch die Weiterentwicklung der Transistortechnologie zur integrierten Schaltung ermöglicht, die aus der Elektronik eine Billigsttechnik machte. Das Paradebeispiel der Ablösung mechanischer Geräte durch die Elektronik ist der Computer. Seit langer Zeit als Idee bekannt, zuerst mechanisch und in den 40er Jahren versuchshalber auch mit Elektronenröhren aufgebaut, war das Konzept des Rechenautomaten geradezu dazu prädestiniert, mittels moderner elektronischer Halbleiterbauelemente realisiert zu werden. Man beachte die damit erfolgte Ausweitung des Anwendungsbereiches elektronischer Apparaturen vom Gebiet des Informationstransportes (Nachrichtentechnik) in den Bereich der Informationsverarbeitung. Unter Computern versteht man heute längst nicht mehr ausschliesslich Geräte zur schnellen Zahlenverarbeitung. Der elektronische Prozessor als allgemeiner Sammelbegriff moderner Universalschaltungen für Datenverarbeitungs- und Steuerzwecke wird vielmehr in verschiedenen Bereichen automatisierbarer Vorgänge eingesetzt. Ein für die Schweizer Wirtschaft zunächst schmerzliches aber zukunftweisendes Beispiel dieser Art ist die elektronische Uhr. Auch sie verarbeitet im obigen Sinn Daten, nämlich die Impulse eines hochstabilen Taktgebers. Elektronische Datenverarbeitungsgeräte werden heute zunehmend in den klassischen Gebieten der Elektrotechnik eingesetzt, z.B. zur Regelung der grossen Energienetze und in Telefonzentralen.

Die im Bereich der Nachrichtensignale so erfolgreichen Steuerungsprinzipien der Halbleitertechnik wurden in modifizierter Form nun vermehrt auf die viel grösseren, «energietragenden» Ströme angewendet und gaben der sog. industriellen oder Leistungselektronik, deren Anfänge bereits ins Röhrenzeitalter zurückgehen, starken Auftrieb.

In elektronischen Steuer- und Regelgeräten sind heute häufig beide klassischen Stammgebiete der Elektrotechnik vereint, indem informationsverarbeitende und -transportierende Konzepte zur Steuerung energietechnischer Prozesse eingesetzt werden. Bei solchen Anwendungen – oft mit dem Begriff Automatik bezeichnet – werden häufig die Grenzen unseres engeren Fachgebiets überschritten; aus der Elektrotechnik stammten auch in diesen Fällen ein grosser Teil der

Ideen und Modellvorstellungen zur theoretischen Behandlung der entsprechenden Systeme. Elektroingenieure werden deshalb bevorzugt in vielen «branchenfremden» Bereichen auf dem Gebiet der Messtechnik und Prozessautomatisierung eingesetzt. An der ETHZ ist, als Beispiel eines solchen Anwenders, das Institut für Biomedizinische Technik mit der Abteilung eng assoziiert und betreut jedes Jahr zahlreiche interdisziplinäre Studentenarbeiten.

In Fig. 1 ist die skizzierte Entwicklung grafisch dargestellt. Flankiert von den beiden historischen Stammgebieten der Nachrichten- und Energietechnik finden sich in der Mitte, entsprechend der heutigen Gruppierung der Abteilung für Elektrotechnik, die beiden jüngeren Bereiche Elektronik und Automatik. Ausserdem ist in der Figur die Stimulation der gesamten Elektrotechnik durch die modernen Entwicklungen der Elektroniktechnologie mittels Pfeilen angedeutet.

Jede Einordnung von Wissensgebieten in Teilbereiche erweckt den Eindruck starrer Abgrenzungen; solche sind an der Abteilung IIIB keineswegs vorhanden. Die Fachbereiche Nachrichtentechnik, Elektronik, Automatik und Energietechnik sind vielmehr als Schwerpunkte der betreffenden Institutsaktivitäten zu verstehen. So kann man Elektronik, hier definiert als Technik der Bauelemente und der schaltungstechnischen Realisierung von Geräten, nicht ohne Kenntnis der mit diesen Mitteln zu realisierenden Übertragungssysteme betreiben; ebenso kann man solche Systeme auch nicht ohne Kenntnis der durch die Elektronik gegebenen Randbedingungen bezüglich Realisierbarkeit entwerfen. Die Grenzen der genannten Teilgebiete sind dementsprechend fliessend; sie sind nicht zuletzt auch durch die historische Entwicklung der verschiedenen Institute und die fachlichen Schwerpunkte der Lehrstuhlinhaber gegeben.

Die geschilderte Gliederung der Elektrotechnik in vier Fachbereiche bringt einige wichtige an der Abteilung behandelte Themenkreise nicht zur Darstellung, insbesondere die für alle Anwendungsgebiete wichtige Theorie der Elektrizität, sowie die Vorlesungen über die gestalterischen Aspekte elektrischer Apparaturen und das systematische Vorgehen bei der Realisierung technischer Objekte.

Elektrotechnik wird an der ETH nicht ohne Bezug zu den verschiedenen Aspekten der Umwelt gelehrt. Eine ganze Gruppe von Vorlesungen behandelt nichttechnische Fragen, wie Ökologie, Arbeitsphysiologie, Arbeitspsychologie, Soziologie, Recht usw., mit denen der angehende Ingenieur später in Berührung kommt.

Literatur

[1] *G. Schwab:* Die schönsten Sagen des klassischen Altertums. München/Zürich, Droemersche Verlagsanstalt, 1980.

[2] *H. Wüger:* Forscher und Erfinder des 19. Jahrhunderts als Wegbereiter der Lichttechnik und der Elektrizitätsversorgung. Bull. SEV/VSE 71(1980)6, S. 279...284.

[3] *A. Ernst:* Hundert Jahre elektrische Eisenbahn: Rückblick aus schweizerischer Sicht auf die Entwicklung der elektrischen Eisenbahn. Bull. SEV/VSE 70(1979)9, S. 423...431.

[4] *J. Bardeen* and *W. H. Brattain:* The transistor, a semi-conductor triode. Physical Review 74(1948)7, p. 230...231.

[5] *C. E. Shannon:* A mathematical theory of communication. Bell Syst. Techn. J. 27(1948)–, p. 379...423.

Adresse des Autors

Prof. Dr. *W. Guggenbühl,* Institut für Elektronik der ETHZ, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.