

MATHEMATISCHE METHODEN IN DER MODERNEN ELEKTROTECHNIK

SCHÖPFERISCHES STUDIUM- ABER WIE?

Um die Bedeutung mathematischer Methoden und Begriffe für die Erfolge der Elektrotechnik und das Neue an der gegenwärtigen Situation im Entwicklungsprozeß der Wissenschaften voll erfassen zu können, sei ein

kleiner historischer Rückblick

gestaltet. Fallen auch die ersten elektrischen Experimente bereits in das 17. Jahrhundert, so mußten weitere 200 Jahre vergehen, ehe genügend experimentelle Tatsachen bekannt waren, die dieser nun neben die Newtonsche Mechanik tretenden neuen Disziplin der Physik praktische Nutzenwendungen versprechen.

Ein nicht unwesentlicher Grund für diese - mit heutigen Maßstäben gemessen - relativ langsame Entwicklung ist in dem nur zögernd verlaufenden Prozeß der mathematischen Durchdringung neuerdeckter physikalischer Gesetzmäßigkeiten zu sehen. Nicht wenige entscheidende Entdeckungen des vorigen Jahrhunderts wurden zufällig gemacht, und bei der Mehrzahl der Erfindungen zur praktischen Ausnutzung der gefundenen Naturgesetze spielten wissenschaftliche Methoden eine sehr untergeordnete Rolle. Sogar noch zu Anfang dieses Jahrhunderts blieb es begeisterten Amateuren und nicht Wissenschaftlern überlassen, die ersten Pionierarbeiten auf dem Gebiet der Fernschaltung zu leisten. Als im Jahre 1911, also vor nur etwa 50 Jahren, an der Technischen Universität Dresden die erste Professur für allgemeine Schwachstromtechnik eingerichtet wurde, da war das nach dem Bericht des bedeutendsten Wegbereiters der heutigen Hochfrequenz- und Fernmeldetechnik Barkhausen: „etwas ganz Neues, weil man im allgemeinen glaubte, daß man mit Wissenschaft auf dem Gebiete der Schwachstromtechnik nicht viel anfangen könnte“.

Diese Situation änderte sich aber in den nun folgenden Jahrzehnten mehr und mehr und ist gegenwärtig auf einigen, immer mehr an Bedeutung zunehmenden Teilgebieten der Elektrotechnik eine grundlegend andere. Heute sind die modernen Disziplinen der Elektrotechnik dadurch gekennzeichnet, daß ihre ganze innere physikalisch-technische Problemstellung einen so hohen Grad der Allgemeinheit erreicht hat, daß zu ihrer Lösung anschauliches Vorstellungsvermögen, Phantasie, Geschicklichkeit und - ein bißchen Mathematik allein nicht mehr ausreichen. Dieser Prozeß der Mathematisierung und Abstraktion elektrotechnischer Wissenschaften ist heute teilweise so weit vorgeschritten, daß echte Bereicherungen nur noch von Mathematikern erwartet werden können, sofern sie das nötige Verständnis für die technische Seite der Probleme aufbringen.

Es sind bis heute gut 100 Jahre vergangen, da kein Geringerer als Kirchhoff - im Alter von 21 Jahren erstmals die Gesetze zur Berechnung von Schaltungen aus Ohmschen Widerständen und Gleichspannungsquellen angab. Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die Wechselstromtechnik immer mehr an Bedeutung gewann, mußten die Ingenieure lernen, auch das Verhalten von Schaltungen mit Spulen und Kondensatoren im Voraus zu berechnen. Dazu waren bereits Kenntnisse aus der höheren Mathematik erforderlich. Die Differential- und Integralrechnung und Kenntnisse aus der Theorie der Differentialgleichungen wurden um die Jahrhundertwende zum Reizmittel des wissenschaftlich arbeitenden Ingenieurs. Mit diesen eben genannten wenigen mathematischen Mitteln konnte das elektrische Verhalten vorgegebener Schaltungen ohne ein, möglicherweise kostspieliges, Experimentieren allein durch Rechnung entschieden werden.

Mit diesem rechnerischen „Probierverfahren“ sind in den letzten Jahrzehnten fast alle speziellen Grundschaltungen der Schwachstromtechnik entstanden. Soweit keine außergewöhnlichen Forderungen gestellt wurden, war diese Methode der wiederholten Schaltungsanalyse auch völlig ausreichend und wirtschaftlich. Man mußte jedoch bald Methoden finden, die das ganze Problem umzukehren gestatteten. War bisher die Schaltung das Vorgegebene und die elektrische Eigenschaft das daraus Abgeleitete, so war nun umgekehrt die elektrische Eigenschaft das Vorgegebene und die Schaltung das daraus Abgeleitete. Die Lösung dieser umgekehrten Aufgabe, die Synthese elektrischer Schaltungen, erforderte abermals ein Mehr an Mathematik.

Bei der Schaltungssynthese hat man es bereits mit der Theorie der Funktionen einer komplexen Veränderlichen zu tun. Die Grundprobleme, die hier zu lösen sind, haben bereits so stark ihren ursprünglichen physikalischen Inhalt verloren, daß es der wissenschaftlich arbeitende Ingenieur im wesentlichen nur noch mit funktionentheoretischen Problemen zu tun hat. Es liegt in der Natur der Sache, daß dieses heute nun schon wieder 25 Jahre alte Tätigkeitsfeld des Elektrotechnikers zunächst relativ wenig Beachtung gefunden hat. Noch heute gilt manchmal das Wort, Zielsetzung und Stoff der Schaltungssynthese sei für Mathematiker zu technisch und für Techniker zu mathematisch. Hieran ist sicherlich - und man muß sagen leider - viel Wahres, ja es kennzeichnet im gewissen Sinne die gegenwärtige Situation in allen modernen Ingenieurwissenschaften.

Die ständig wachsende Zahl der benötigten Nachrichtenverbindungen zwang zu einer immer zweckmäßigeren und intensiveren Ausnutzung der vorhandenen Übertragungskapazitäten. Gleichzeitig wuchsen die Anforderungen an die Übertragungsqualität. Das führte schließlich zu einer kritischen Besinnung auf die Grundfragen der Nachrichtenübertragung und auf das Wesen der Nachricht überhaupt. Es zeigte sich, daß die Entstehung von Nachrichten als ein zufälliger Prozeß angesehen werden muß, dessen mathematische Erfassung nur mit den Begriffsbildungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung gelingt.

Damit ist abermals ein weiteres Tätigkeitsfeld des menschlichen Geistes, das bisher - und noch nicht einmal so sehr lange - ausschließlich dem Mathematiker vorbehalten war, in das Blickfeld des Elektrotechnikers gerückt.

Man kann den am Beispiel der Schaltungstheorie flüchtig dargelegten Entwicklungs- und Verknüpfungsprozeß technischer und mathematischer Wissenschaften nicht abschließen, ohne auf die von den hervorragenden Mathematikern v. Neumann und Wiener eingeleiteten jüngsten Entwicklungen hinzuweisen, die man unter der - leider durch phantastische Spekulationen Unberufener etwas in Mitleidenschaft geratene - Bezeichnung „Kybernetik“ zusammenfaßt. Wir stehen hier noch ganz am Anfang, aber eines ist wohl sicher: die klassischen Methoden der Analysis werden nicht das zentrale mathematische Fundament dieser neuen Wissenschaft, die sich das Studium der Denkprozesse und ihre Modellierung durch Maschinen (im allgemeinsten Sinne) zur Aufgabe gemacht hat, sein können. Schon heute zeichnet sich ab, daß neben der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Algebra und insbesondere die mathematische Logik einen immer größeren Raum in den allgemeinen Grundlagen der technischen Wissenschaften einnehmen werden. Alles deutet darauf hin, daß die letzten und tiefsten Grundlagen der Mathematik auch zu den Grundlagen der technischen Wissenschaften der Zukunft gehören werden. Trotzdem werden die bisher gelehrt und benötigten Teile der Analysis, wenn überhaupt, nur wenig an Bedeutung verlieren, so daß alles auf eine Erweiterung der mathematischen Ausbildung unserer studierenden Jugend drängt.

Zur gegenwärtigen Situation

Wir sehen uns heute aber nicht nur einer Welt ständig wachsender Abstraktionen, sondern auch einer Welt der additiv rapide zunehmenden Wissensvermehrung gegenüber.

„Früher war es ganz gut möglich“, so sagt der bekannte englische Physiker und Wissenschaftshistoriker Bernal, „Menschen für Situationen auszubilden zu lassen, die ihre Lehrer auch kannten. Aber schon ist erkennbar und wird mit der Zeit immer offensichtlicher, daß dies nicht mehr der Fall ist, daß die Welt, in die der Student eintreten wird - und ich meine mehr die Studenten der Naturwissenschaften und Technik als die der Geisteswissenschaften -, sich wesentlich von der unterscheiden wird, in der ausgebildet wurde. Es ist nicht nur ein, sondern ein sehr großer, nicht vorausberechenbarer Unterschied, und dies wird zu einem der wichtigsten Faktoren bei der Planung der Ausbildung selbst.“

Die Lehrpläne der Technischen Hochschulen und Universitäten trugen dieser Entwicklung im wesentlichen dadurch Rechnung, daß sie ihre Vorlesungszeiten ständig additiv vermehrte. Das führte u. a. nicht nur zu einer immer mehr anwachsenden Wochenstundenzahl und damit größeren Belastung der Studenten, sondern auch zu einer wachsenden Inhomogenität der Gesamtausbildung, die sich auf der einen Seite in Überschneidungen; auf der anderen Seite aber auch in schwerwiegende Lücken in der Ausbildung und in einem ungünstigen Verhältnis zwischen Grund- und Spezialausbildung äußert.

Diese Mängel im Lehrplan sind sicherlich nicht ungewöhnlich und neu. Auch vor 30 oder 50 Jahren wird es Überschneidungen und Lücken in den Vorlesungsprogrammen gegeben haben. Trotzdem sind hervorragende Wissenschaftler und Ingenieure aus den Hochschulen hervorgegangen und man könnte einwenden, was daran denn nun plötzlich so tragisch sein soll.

Die mehrfache Erarbeitung und das wiederholte Einprägen derselben Lehrräte hatten zur Folge, daß (wenn auch von verschiedenen Seiten her und in unterschiedlicher Gestalt) zwar die Kenntnisse des Studenten vertieft und verbessert, das Lernen aber wesentlich erschwert wurde. Aber die wiederholte Aufnahme des gleichen Lehrstoffes trägt nicht nur unnötige Schwierigkeiten in die Ausbildung hinein, sie bedeutet zugleich auch einen erheblichen Zeitverlust. Die schwerwiegendste Folge ist aber die, daß dabei eine Beschränkung des Gesichtsfeldes eintritt, und daß der Student das Interesse an diesem oder jenem Unterrichtsfach verlieren kann.

Ein sehr ernstes Problem müssen wir heute in der Tatsache sehen, daß ein erschreckend großer Teil der Studentenschaft sich den in den Vorlesungen gebotenen Wissensstoff entweder völlig unzureichend oder nur oberflächlich aneignet oder aneignet kann. Ich glaube, daß folgenden Änderungen wenigstens ein gewisser Erfolg beschieden sein wird.

● Herabsetzung der Zahl der Prüfungen, Belege, Konstruktionen und Protokolle auf ein unbedingtes Minimum.

Eine durch ständige Examinensangst verursachte, hastige Lernerei und die ermüdende Anfertigung endloser Protokolle, Belege usw. sind nicht dazu angetan, Begeisterung und Hingabe für die Wissenschaft und das Studium zu wecken. Natürlich; so wie die Dinge heute liegen, lassen sich Zwischenprüfungen nicht wieder abschaffen. Aber man sollte doch ernsthafter prüfen, ob sie in dem derzeitigen Umfang (vor allem in der Oberstufe) wirklich nötig sind. Ein Student, dem man unaufhörlich vorschreibt, was er zu tun und zu lassen hat, was er wissen muß und wann er es wissen muß, lebt natürlich nicht in einer Atmosphäre, die das Entfalten geistiger Selbständigkeit begünstigt. Das sollte man hierbei auch einmal bedenken.

● Reduzierung der obligatorischen Spezialfächer zugunsten einer größeren Zahl wahlobligatorischer Fächer für Studenten mit guten Leistungen.

Man sollte wenigstens den erfolgreicheren Studenten die Möglichkeit geben, auch einmal ihren persönlichen Neigungen und Interessen nachzugehen. Das hebt natürlich wesentlich die Freude am Studium und gibt - zumindest einen Teil der Durchschnittsstudenten - einen Anreiz zu aktiverer Studienarbeit; denn - so hoffe ich - der größte Teil der Studenten wird bestrebt sein, in den Genuß dieser Freizeitzugänge zu kommen.

Die Doppelaufgabe der Technischen Universität und Hochschulen besteht nun einerseits in der Ausbildung guter Routineingenieure und andererseits in der Heranbildung künftiger Forscher, Wissenschaftler und Lehrer. Diese Ausbildung der künftigen Wissenschaftler kann nicht weiterhin dem Selbstlauf überlassen bleiben.

Hierzu gehört auch die heute überall in der Welt geforderte Einbeziehung der qualifizierten Studenten in die Forschungsarbeit. Mit dem Aufkommen immer neuer Spezialfächer ist es im Laufe der Jahre zu einem immer auffälligeren Mißverhältnis zwischen Grund- und Spezialausbildung gekommen.

Leider haben die wichtigsten Grundlagenfächer - Mathematik und Physik - anteilmäßig keine entsprechende Entwicklung genommen, und das ist aus zwei Gründen bedauerlich: Im besonderen, weil dadurch eine Reihe wichtiger Oberstufenvorlesungen ohne entsprechende Grundlage auskommen müssen, und im allgemeinen, weil gerade eine umfassende Grundlagenausbildung den wichtigsten Teil in der Gesamtausbildung darstellen sollte. Die allgemeinen Grundlagen bilden - wenn ich das so ausdrücken darf - im Sturm der Entwicklung den einzig „ruhenden Pol in der Ercheinungen Flucht“ noch das Sicherste und Nützlichste von dem Wenigen, was wir dem Studenten auf seinem Weg ins spätere Berufsleben mit seinen künftig immer schwerer vorhersehbaren Anforderungen mitgeben können. Das wird heute im Prinzip von allen Hochschullehrern anerkannt.

Einen besonders wichtigen Platz in der Grundausbildung nimmt in immer wachsendem Maße die Mathematik ein.

Hinsichtlich des zunehmenden Abstraktionsprozesses in den technischen Wissenschaften seien hierzu noch ein paar nähere Bemerkungen gestattet:

Wir sehen: In immer kürzer werdenden Zeitintervallen treten neue Wissenschaftszweige zu den alten hinzu, und vornehmlich diese neuen Zweige zeichnen sich dadurch aus, daß sie immer unsanschaulicher werden und von dem Lernenden immer mehr Übung im logisch-deduktiven Denken, ein Denken, rein nach den Spielregeln mathematischer Axiome verlangen. Von diesem Prozeß der Entwicklung zu immer abstrakteren Begriffsbildungen bleiben und bleiben keine Wissenschaftszweige verschont. Er führte in der Mathematik zur Mengenlehre, Maßtheorie, Algebra, in der Physik zur Quanten- und Gravitationstheorie und schließlich in den elektronischen Wissenschaften zur Netzwerk- und Systemtheorie, zur Informationstheorie und zur Theorie der Automaten, um nur einige zu nennen.

Alle diese neueren Disziplinen der Naturwissenschaft und der Elektrotechnik sind in ihrem Kern axiomatisch - deduktiv - ganz nach dem Muster mathematischer Disziplinen - aufgebaut. Um hier erfolgreich zu sein, genügt es

Über den Verknüpfungsprozeß mathematischer und elektrotechnischer Wissenschaften von Dr.-Ing. habil. G. WUNSCH, Dozent für Theoretische Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden

nicht mehr, mathematische Formeln und Sätze formal zu beinahe und anzuwenden, man muß sie aktiv und schöpferisch beherrschen, daß heißt, über eine echte mathematische Bildung verfügen. Dabei kommt es mehr auf die Tiefe als auf den Umfang an.

Prof. Wenskow sagte auf dem Moskauer Symposium hinzu: „Die mathematischen Berechnungsmethoden haben sich ebenfalls gewandelt; Früher waren sie Beiwerk, heute sind sie das Wesentliche.“ Und er fuhr fort: „Im Zusammenhang mit den allgemeinen Bestrebungen und den bereits eingetretenen Veränderungen ist die Mathematik jetzt dabei, ihre Bedeutung für die gesamte Technik grundlegend zu wandeln. Für einen beträchtlichen Teil der Ingenieure wird sie in absehbarer Zeit zu einer unabdingbaren Voraussetzung für ein erfolgreiches Schaffen geworden sein.“

Alle Bemühungen um eine zeitgemäßere Ausbildung darf an der Tatsache nicht vorbeigehen, daß eine die Einzelheiten der technischen Entwicklung durch Vermehrung von Vorlesungsstunden berücksichtigende Ausbildung künftig nicht mehr möglich sein kann, und daß ein tieferes Eindringen und ein echtes Verständnis modernerer Ingenieurwissenschaften ohne ein engeres Verhältnis zur Mathematik immer schwieriger, wenn nicht unmöglich wird. Weniger Einigkeit besteht darüber, welche Schlussfolgerungen hieraus in einzelnen und speziell für die künftige Ausbildung des Studenten der Elektrotechnik gezogen werden sollten.

Speziell

zur mathematischen Ausbildung des Elektrotechnikers

seien noch ein paar über allgemeine Konzeptionen hinausgehende Gedanken entwickelt.

Die mathematische Ausbildung sollte sich bei wesentlicher Erweiterung der Studentenzahlen über das ganze Studium, wenigstens aber über sechs Semester erstrecken, wobei natürlich weiterhin die Hauptstundenzahlen in den ersten vier Semestern liegen müssen.

Der gesamte Stoff sollte zweckmäßig in drei Gruppen aufgeteilt werden, wobei für jede Gruppe bei verschiedener Zielsetzung eine andere Form der Übermittlung gewählt werden kann und soll.

● In der ersten Gruppe sind alle die grundlegenden mathematischen Disziplinen zusammengefaßt, die für alle elektrotechnischen Fachrichtungen verbindlich sind. Welche Teilgebiete hier aufzunehmen sind und in welchem Umfang, sollte mit den Vertretern der technischen Disziplinen genau abgesehen und festgelegt werden. In dieser ersten Ausbildungsphase mit einer möglichst hohen Wochenstundenzahl kann der Student mit der Mathematik in relativ „reiner“ Form bekannt gemacht werden. Er muß sich üben in mathematischem Denken und Schließen, und das Bemühen um das Erfassen der Grundbegriffe und des Prinzipiellen muß überall im Vordergrund stehen.

● In einer zweiten Gruppe könnten alle diejenigen mathematischen Disziplinen zusammengefaßt werden, die speziell für eine ganze Fachrichtung oder eine Gruppe von Fachrichtungen zusätzlich benötigt werden. Hier wird man sich bei der Stoffauswahl nach den (ständig sich ändernden) Bedürfnissen der Anwendung richten. Die ganze Darlegung geschieht jetzt nicht mehr in „reiner“ Form, sondern sie hat ständig die Art und Weise der Anwendung im Auge. Die Abbildung des physikalisch-technischen Problems auf ein mathematisches und seine zweckmäßigste, das heißt der physikalischen Problemstellung „auf den Leib geschnittene“ Lösungsmethode steht im Vordergrund, Existenz- und Konvergenzfragen treten zurück, Beweise werden nur soweit angedeutet oder skizziert, daß der Student (nach Bedarf) diese „Lücken“ selbst schließen kann. Während die Disziplinen der ersten Gruppe natürlich von einem Fachmathematiker gelesen werden, sollten die Probleme der zweiten Gruppe von einem Vertreter der Anwendung behandelt werden, da nur dieser die wirklichen Bedürfnisse erkennen und die zweckmäßigsten Methoden auswählen kann.

● Die letzte und dritte Gruppe mathematischer Methoden, mit denen der Student vertraut werden muß, sind ganz spezieller Art und werden unmittelbar mit der speziellen technischen Problemstellung und aus dieser heraus von dem für das technische Sonderfach zuständigen Dozenten entwickelt. Hier handelt es sich um solche mathematische Methoden, die nur in einer ganz speziellen technischen Disziplin von Interesse sind und sonst nirgends weiter benötigt werden.

Diese Dreiteilung hat sich unter dem Druck der Notwendigkeit teilweise bereits an den Hochschulen eingebürgert. Was aber vor allem noch hinzu kommen muß, ist eine klare Abgrenzung, Neuordnung und inhaltliche Erweiterung und Vertiefung des Stoffes. Ich denke dabei an die Einbeziehung der Elemente der Mengenlehre, Grundbegriffe der Algebra, insbesondere der linearen Algebra, an die Wahrscheinlichkeitsrechnung und anderes mehr.

Bei einer solchen kritischen Überprüfung wird sich aber auch manches als überflüssig oder überbetont erweisen, nämlich solche Stoffpartien, die noch aus einer Zeit stammen, als Mathematik für Maschinenbau und Elektrotechnik gemeinsam gelesen wurde.

Natürlich bliebe eine Reform der mathematischen Ausbildung Stückwerk, wenn nicht gleichzeitig eine Umgestaltung der physikalischen und elektrotechnischen Ausbildung einherginge und nicht alles wieder harmonisch zu einem Ganzen zusammengefügt würde.

Dabei wird man sich in allen Fächern immer auf das Wesentliche, auf die Darlegung der leitenden Grundgedanken beschränken, dafür aber vom Studenten eine größere und selbständige Mitarbeit erwarten müssen. Die traditionellen Formen der Ausbildung werden sich inhaltlich verändern. Mit Einzelheiten überladene Studienprogramme und durch ständige Examinensangst verursachte hastige Lernerei sind nicht dazu angetan, Begeisterung und Hingabe für die Wissenschaft zu wecken. Wo aber Begeisterung fehlt und die nötige Muße, damit diese Begeisterung auch Früchte tragen kann, fehlen die Grundelemente schöpferischer Arbeit. Nichts ist so wissenschaftsfeindlich, wie hektische Betriebsamkeit. Die großen, leitenden Gedanken unserer Wissenschaften kann man nicht erlernen, man muß sie in gewissem Sinne erleben. Wo dieses Erlebnis fehlt, ist wohl das Wichtigste veräußert worden.

Der bekannte englische Physiker und Wissenschaftshistoriker John Bernal äußerte:

„Worüber wir uns vielleicht nicht klar sind, ist, daß wir in einem Stadium leben, in dem ebensosehr eine Umwandlung der Wissenschaft vor sich geht wie eine weit tiefere Umgestaltung der Gesellschaft. In der Wissenschaft wie in der Gesellschaft dürften alle Bemühungen, die Situation durch Modifizieren, Ergänzungen und Aufmöbeln der alten Formen zu retten, fruchtlos sein. Wir werden im Lichte der Erfahrungen und Kontroversen die Grundlagen der Wissenschaft selbst zu überdenken haben.“