

# Back to the roots:

## Die inhaltlichen Grundlagen der Signalverarbeitung

Mein Studium der Nachrichtentechnik in Berlin liegt schon mehr als 40 Jahre zurück. Die Erinnerung, wie ich dieses Studium erlebt habe, ist jedoch noch sehr wach. Die ersten Semester beschäftigten sich - wie auch unverändert heute - mit den „Grundlagen der Elektrotechnik“. Sie gehören demnach offensichtlich auch zu den Grundlagen der Signalverarbeitung.

Auf den ersten Blick bestanden sie aus 5 Formeln:

- 1. Kirchhoff'sches Gesetz:

$$\sum_n^{k=1} i_k = 0$$

In einem Knotenpunkt ist die Summe aller Ströme gleich Null.

- 2. Kirchhoff'sches Gesetz:

$$\sum_n^{k=1} u_k = 0$$

In einer Masche ist die Summe aller Spannungen gleich Null.

- Ohm'sches Gesetz:

$$u = R \cdot i$$

- Induktionsgesetz:

$$u_L = L \cdot \frac{di}{dt}$$

- Kapazitätsgesetz:

$$i_C = C \cdot \frac{du}{dt}$$

Hierauf aufbauend wurden zunächst Gleichstromschaltungen und -netze, danach Wechselstromschaltungen verschiedenster Art berechnet. Die Krönung war wohl die Leitungstheorie. Im Mittelpunkt standen dabei (lineare) Gleichungssysteme mit mehreren Unbekannten bzw. entsprechende Differentialgleichungen. Überhaupt wurde in den Vorlesungen und den begleitenden Übungen fast nur gerechnet.

Auch nach meinem Studium dachte ich ernsthaft, Elektro- und Nachrichtentechnik sei angewandte Mathematik in dem Sinne, nur hierüber seien diese Techniken überhaupt nur tiefgründig verstehbar.

Kurz nach dem Studium kam ich in eine Ausbildungsabteilung des Fernmeldewesens der Deutschen Bundespost, um - ohne jegliche pädagogische Erfahrung - Fernmeldepraktikanten zu unterrichten. Meine ersten, etwas verzweifelten Versuche, die Grundlagen meines Studienfaches ohne „höhere“ Mathematik allgemeinverständlich zu vermitteln, dürften nicht sehr überzeugend gewesen sein. Auch die zahlreichen von

mir konsultierten, ministeriell abgesegneten Fachbücher des berufsbildenden Schulwesens boten kaum Hilfe und waren voller Widersprüche und Unklarheiten.

Es waren nicht zuletzt die bohrenden Fragen interessierter Praktikanten, die mich schließlich schlussfolgern ließen, nur die Physik könne die in sich widerspruchsfreien, grundlegenden Erklärungsmuster liefern. Eine dieser Fragen ist mir unvergessen und hat meinen späteren beruflichen Werdegang mit geprägt: „Wie kommt eigentlich die Spannung in die Sekundärwicklung eines Ringkerntransformators bzw. -Übertragers, wo doch das magnetische Wechselfeld ausschließlich *im* Ringkern verläuft, und nicht dort, wo die Sekundärwicklung sich befindet“.

Langsam wurde mir selbst erst richtig klar,

- hinter dem 1. Kirchhoff'schen Gesetz lauert nichts anderes als der Ladungserhaltungssatz (Ladungen verduften oder verdampfen nicht; was an Ladung hineinfließt, fließt auch wieder heraus),
- hinter der Maschenregel des 2. Kirchhoff'schen Gesetzes verbirgt sich nichts anderes als der Energieerhaltungssatz (schließlich ist das elektrische Potential definiert als Energie pro Ladungseinheit),
- hinter dem Induktions- und Kapazitätsgesetz verbergen sich einfach nachprüfbar physikalische Eigenschaften: „Je schneller sich der Strom in einer Induktivität *ändert*, desto größer ist die induzierte Spannung“ - und - „Je schneller sich die Kondensatorspannung *ändert*, desto größer ist der Strom, der hinein- bzw. herausfließt“,
- Spannung und Strom sind zwar praktisch messbare Größen, hinter denen sich jedoch die Wirkungen des elektromagnetischen Feldes verbergen,
- Eigenschaften und Wirkungen des elektromagnetischen Feldes werden letztendlich durch die Maxwell'schen Gesetze (und die Lorentz-Kraft) beschrieben.

So entpuppen sich also die Maxwell'schen Gesetze als eine wesentliche Grundlage jeglicher Elektro- und Nachrichtentechnik bzw. Mikroelektronik. Die eigentlichen Grundlagen sind offensichtlich physikalischer Natur.

Um endlich einmal seriös hinter die Kulissen dieser Wissenschaft blicken zu können, studierte ich nach vielen Jahren Ingenieurstätigkeit schließlich Physik und Mathematik in Köln. Ich erinnere mich noch genau an die vielen „Aha“-Erlebnisse während des Studiums. Einfachste physikalische Prinzipien lieferten mir nachträglich Erklärungen z.B. über die Wirkungsweise komplexer Messverfahren an Fernmeldekabeln, die ich seinerzeit lediglich schematisch „nach Handbuch“ durchgeführt hatte. Im Lichte soliden Hintergrundwissens fühlte ich mich auch in meinem neuen Lehrerberuf wesentlich wohler als vorher.

Dieses Hintergrundwissen und damit die vom Üblichen abweichende Darstellung des Unterrichtsstoffes fand übrigens nur schwerlich Akzeptanz in Kollegenkreisen. An meiner Schule sickerte durch, ich würde bereits in der Unterstufe die Maxwell'schen Gesetze behandeln (was der Wahrheit entsprach). Ein altgedienter, erfahrener Kollege sprach mich daraufhin an und machte mir indirekt heftige Vorwürfe: Er selbst sei während seines Studiums an der Mathematik der Maxwell'schen Gleichung schier verzweifelt, ob ich denn bei Sinnen wäre, diese nun diesen Schülern vermitteln zu wollen!? Meine Antwort, ich würde lediglich die *Inhalte* dieser Gleichungen

vermitteln, weil ich sonst nicht einmal die Wirkungsweise eines Trafos richtig erklären und generell auch alle anderen elektromagnetischen Anwendungen nicht einordnen könne, erntete ungläubiges Staunen.

Falls auch Sie dieser Kollegenmeinung sind, nachfolgend in Kurzform diese „Axiome“ des Elektromagnetismus:

- Jede Ladung erzeugt ein elektrisches Quellenfeld
- Es gibt kein magnetisches Quellenfeld
- Ein magnetisches Wirbelfeld kann auf zwei Arten entstehen:  
Durch bewegte Ladungen sowie durch ein elektrisches Wechselfeld.  
Je schneller sich das elektrische Wechselfeld ändert, desto stärker das magnetische (Wechsel-) Wirbelfeld.
- Jedes magnetische (Wechsel-) Wirbelfeld erzeugt ein elektrisches (Wechsel-) Wirbelfeld.  
Je schneller sich das magnetische Wechselfeld ändert, desto stärker das elektrische (Wechsel-) Wirbelfeld.

Weshalb diese Inhalte auch für die Mikroelektronik bzw. für die Signalverarbeitung so wichtig sind (Mikroelektronik macht nichts anderes als Signalverarbeitung!), soll kurz am Beispiel elektronischer Schaltungen erläutert werden. Herkömmliche Platinen machen umso mehr Probleme, je höher die (Takt-) Frequenz des signalverarbeitenden Systems ist. Jede Leiterbahn ist von einem elektromagnetischen Feld umgeben, welches (Stör-) Spannungen in benachbarte Leiterbahnen induziert. Scharfe Krümmungen der Leiterbahnen müssen vermieden werden, da Leiterbahnenenden und -krümmungen wie Antennen wirken und abstrahlen. Der Signalfluss findet ja generell nicht *innerhalb* der Leiterbahnen, sondern außerhalb im umgebenden *nichtleitenden* Dielektrikum statt. Elektromagnetische Energie kann sich nur in nichtleitenden Medien ausbreiten! Der Leiter dient lediglich zur Führung des elektromagnetischen Feldes bzw. der elektromagnetischen Welle! Ganz deutlich wird dies beim Koaxialkabel: die elektromagnetische Welle breitet sich ausschließlich im Isolator zwischen Innen- und dem coaxialen Außenleiter aus, die Ausbreitungsgeschwindigkeit hängt ausschließlich von den elektrischen (und magnetischen) Eigenschaften dieses Isolators ab. Die gesamte analoge und digitale Übertragungstechnik findet hier ihre Rahmenbedingungen.

Fazit: In der Technik ist generell nur möglich, was nicht den Naturgesetzen widerspricht. Die Rahmenbedingungen der Technik sind also hierdurch definiert. Die grundlegenden Erklärungsmuster müssen deshalb physikalischer Natur sein!

Dies gilt natürlich auch für die heute dominierende digitale Signalverarbeitung analoger Quellensignale. Viele Leute glauben, im Vordergrund stünden hierbei die verwendeten Algorithmen der Signalprozesse; es handele sich um reine Rechenarbeit des Prozessors. Dass dies ein tiefgreifender Irrtum ist und welche physikalischen Rahmenbedingungen für Signal und Information gelten, soll in den nachfolgenden Kolumnen behandelt werden.