

---

# Vorwort

*Wer Fortschritt will, muss auf Bewährtes verzichten. Immer.*

Viele Ingenieure denken mit sehr gemischten Gefühlen an die Maxwell'schen Gleichungen. Dass nur vier Gleichungen die gesamte theoretische Grundlage der Elektrotechnik bilden weckt Bewunderung. Dass ihr Verständnis viel Mathematik erfordert, flößt Respekt ein. Aber dann ist da noch eine starke Verunsicherung, die sich in der Rückschau in einem „Ein Glück, dass ich damals die Klausur in Theoretischer Elektrotechnik doch noch irgendwie bestanden habe!“ manifestiert.

## *Warum die Maxwell'schen Gleichungen oft verunsichern*

Die Maxwell'sche Theorie mag an sich schon anspruchsvoll sein, verunsichernd wird sie jedoch erst durch die Tatsache, dass sie nicht so recht zu dem zu passen scheint, was vorher selbstverständlich erschien. In den meisten Grundlagenvorlesungen wird vor der Diskussion dynamischer Vorgänge die Gleichstromtechnik gelehrt. In diesem Rahmen werden in einiger Ausführlichkeit dort geltende Symmetrien diskutiert. Und da dies in frühen Semestern geschieht, wächst bei vielen Studenten daraus oft ein fester Glaube an ihre universelle Gültigkeit. Nicht wenige erhalten sich diesen Glauben bis ans Ende ihres Berufslebens.

Nach der Maxwell'schen Theorie werden die Symmetrien der Gleichstromtechnik jedoch im dynamischen Fall gebrochen und durch andere Beziehungen ersetzt: Die Entsprechung  $\mathbf{E} \leftrightarrow \mathbf{H}$  verschwindet, und die unauflösliche Verbindung von  $\mathbf{E}$  und  $\mathbf{B}$  tritt im Rahmen der elektrodynamischen Kraft in Erscheinung. So bleibt ein scheinbarer Widerspruch zwischen den Erkenntnissen der frühen und späten Semester, welche -verständlicherweise, aber völlig zu Unrecht- der Komplexität der späteren Erkenntnisse angelastet werden.

### *Woher die Missverständnisse kommen*

Die Probleme sind historischen Ursprungs. Denn viele heute übliche Begriffe stammen aus dem späten 19. Jahrhundert, einer Zeit, in der Motoren und Generatoren fast für die Gesamtheit der Elektrotechnik standen. Es war eine Zeit ohne Hochfrequenzantennen, ohne optoelektronische Bauelemente und ohne Gigahertz-getaktete Prozessoren, eine Zeit also, in der ein  $\partial \mathbf{E} / \partial t$  Term kaum Auswirkungen auf irgendein technisches Gerät hatte. Es gab damals keinen praktischen Grund, das Ampèresche Gesetz zu modifizieren. Und noch heute sprechen einige Ingenieure gerne von der *Maxwellschen Korrektur* im Sinne von „interessiert nur die Theoretiker“.

In der Kaiserzeit war es eine naheliegende Idee, den Entsprechungen innerhalb der statischen Gesetze Entsprechungen der Nomenklatur folgen zu lassen. So wurde als Pendant zur (Ladungs-) Stromdichte die magnetische Feldgröße  $\mathbf{B}$  magnetische Flussdichte genannt und als Pendant zur elektrischen Feldstärke  $|\mathbf{E}|$  die magnetische Feldstärke  $|\mathbf{H}|$  eingeführt. Es ist jedoch genau diese Begriffswelt, welche ein Verständnis der Maxwell'schen Theorie heute so sehr erschwert. Denn die Begriffe suggerieren gerade diejenigen Symmetrien, welche durch die Maxwell'sche Theorie gebrochen werden. Und der Term  $\partial \mathbf{E} / \partial t$  ist kein gerne zu vernachlässigender Korrekturfaktor mehr, sondern ursächlich für die gesamte Nachrichten- und Informationstechnik.

### *Warum Maxwell, Lorentz und Einstein zusammengehören*

Was heute als Maxwell'sche Theorie bezeichnet wird, ist ohne die Arbeiten von Hendrik Lorentz und Albert Einstein unvollständig. Denn erst Einstein fand heraus, unter welchen Bedingungen die Maxwell'schen Gleichungen für alle bewegten Bezugssysteme konsistente Ergebnisse liefern. Die erste Bedingung lautet: Beim Umrechnen von einem Bezugssystem in ein anderes sind die Lorentz-Transformationen zu verwenden. Die zweite Bedingung ist weniger bekannt, aber für das Verständnis der Maxwell'schen Gleichungen von zentraler Bedeutung: Im Allgemeinen reicht weder die Lorentz-Kraft noch die Coulomb-Kraft aus, um die Bewegungsänderung eines geladenen Körpers zu beschreiben. Vielmehr liefert nur die Summe aus beiden Kräften,

$$\mathbf{F} = Q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

also die *elektrodynamische Kraft* zusammen mit den Transformationen von Raum, Zeit, Impuls und Energie für alle Bezugssysteme konsistente Ergebnisse. Dabei variieren die magnetischen und elektrischen Anteile von System zu System.

Der in der elektrodynamischen Kraft begründeten Verbindung dieser Größen soll der Sprachgebrauch in diesem Buch Rechnung tragen. In Anlehnung an Maxwells Hauptwerk „On the Physical Lines of Force“ wird **E** *elektrisches Kraftfeld* und **B** *magnetisches Kraftfeld* genannt werden. Diese Begriffe werden zur Zeit auch in der Deutschen Kommission Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik im DIN und VDE (DKE) diskutiert. Den Mitgliedern der DKE Kommission GK 112 sei in diesem Zusammenhang ganz herzlich für den konstruktiven Gedankenaustausch gedankt.

Die Maxwell'sche Theorie  
Für Ingenieure und Master-Studenten  
Poppe, M.  
2015, XIII, 29 S. 12 Abb., Softcover  
ISBN: 978-3-662-45592-0