

---

## Vorwort

Die Elektrodynamik stellt für viele Physikstudenten sicher die erste große Hürde in der theoretischen Physik dar. Im Gegensatz zur Mechanik, die direkt an den Schulstoff anschließt und zumindest zu Beginn kaum mehr mathematische Kenntnisse als das Ableiten und Integrieren von Funktionen einer Variable voraussetzt, braucht man in der Elektrodynamik von Anfang an die Vektoranalysis. Außerdem kommen recht schnell weitere mathematische Verfahren wie beispielsweise die Delta-Distribution und die Green'schen Funktionen hinzu. Für den Dozenten sind all diese Konzepte oft selbstverständlich, und ihm ist gar nicht klar, dass viele Studenten damit Probleme haben könnten. Dieses Buch richtet sich an genau diese Studenten.

Im Gegensatz zu den allermeisten anderen Lehrbuchautoren bin ich kein Professor für theoretische Physik an irgendeiner Uni. Ich habe zwar vor langen Jahren in theoretischer Physik promoviert, aber inzwischen arbeite ich als Lehrer für Mathe und Physik an einer Fachoberschule. Während meiner Promotion habe ich viele Übungsgruppen betreut und einmal auch die Übungsaufgaben zur theoretischen Elektrodynamik selbst entworfen. Beides gibt mir einen ganz anderen Einblick in die typischen Probleme, die Studenten mit der Elektrodynamik haben, als ihn andere Dozenten oder Lehrbuchautoren besitzen.

Manche Lehrbücher beginnen mit dem allgemeinsten Formalismus und spezialisieren sich erst im zweiten oder dritten Kapitel dann auf die einfachen Fälle. So etwas will ich hier vermeiden: Am Anfang stehen wirklich die einfachen Themen, und schrittweise wird's dann komplizierter. Dank der Erfahrungen mit meinen Kommilitonen, von denen viele später in die experimentelle oder angewandte Physik gingen, habe ich auch versucht, zunächst die Themen zu besprechen, die wirklich so ziemlich jeder Physiker mal brauchen kann oder zumindest gesehen haben sollte. So beschäftigt sich dieser Band 1 fast ausschließlich mit rein statischen Problemen und reicht auch nur bis zu dem technisch wichtigen Thema der Stromkreise.

In Band 2 (der voraussichtlich Mitte 2017 erscheinen wird) steht dann die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ohne Rückgriffe auf die Relativitätstheorie am Anfang, und auf wichtige optische Phänomene wie Polarisierung, Brechung und Beugung wird ausführlich eingegangen. Erst danach werden Anwendungen der

kompletten Maxwell'schen Gleichungen wie Erhaltungssätze und die Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen diskutiert. Abschließend findet sich die Spezielle Relativitätstheorie und die kovariante Formulierung der Elektrodynamik. Die nötige Mathematik wird jeweils kurz zusammengefasst; wer an einer tieferen Diskussion interessiert ist, sei auf das Tutorium *Mathematische Methoden* (welches nach Band 2 erscheinen wird) verwiesen.

Auch habe ich immer wieder versucht, Lösungen erst mal anschaulich zu motivieren, bevor der mathematische Formalismus in völliger Allgemeinheit präsentiert wird. In anderen Büchern fragt man sich öfters: „Wie kommt man darauf?“ oder „Wieso macht man das so?“ – solche Fragen sollten bei diesem Buch möglichst selten aufkommen. Vom bekannten Physiker Richard Feynman gibt es da ein schönes passendes Zitat: „There are very beautiful and elegant ways of getting these things these days; but suppose that you were inventing it, what would you do to find an invariant form? You fiddle around. All the elegant stuff is found later; the way to learn is not to learn elegant things, it's to fiddle around blind and stupid.“ ([2]) Was er hier mit „invariant form“ meint, kann uns egal sein – wichtig ist, dass man neue Erkenntnisse oft im Wesentlichen durch „wildes Rumprobieren“ findet – etwas gezielt sollte es natürlich trotzdem noch sein! Das ist in der gesamten theoretischen Physik so, aber auch in der Mathematik und sicher auch in vielen anderen Bereichen. In diesem Buch soll diese Vorgehensweise ein wenig vorgeführt werden.

Auf die Einstein'sche Summenkonvention verzichte ich größtenteils – erst in Band 2, bei der Speziellen Relativitätstheorie, werde ich damit anfangen. Allgemein bevorzuge ich oft die Schreibweise mit „kompletten“ Vektoren und Matrizen, statt die Rechnungen, wie in anderen Büchern oft üblich, in Komponenten durchzuführen. Ich finde viele Rechnungen auf diese Weise übersichtlicher und einsichtiger. Trotzdem gebe ich die meisten Standardrechnungen zusätzlich auch in Komponenten an.

Zu den Voraussetzungen: Im Gegensatz zu vielen anderen Büchern, die mit einer Herleitung der Maxwell-Gleichungen aus den Beobachtungen beginnen, setze ich diese Gleichungen hier als bekannt voraus. Die Herleitung aus den Beobachtungen sieht man ja normalerweise in Experimentalphysik-Vorlesungen oder -Büchern; in diesem Buch möchte ich mich darauf konzentrieren, darzulegen, was in den Gleichungen alles drinsteckt und wie man sie in konkreten Situationen sinnvoll löst. Gleich zu Beginn des Buches werden die Gleichungen daher übersichtlich zusammengestellt. Da aber wohl nicht jeder Leser die entsprechende Experimentalphysik-Vorlesung vorher gehört hat, findet sich in Kap. 9 einiges dazu.

Dort wird auch einiges zum Thema Einheitensysteme diskutiert. Die meisten Leser werden (aus Experimentalphysik-Vorlesungen bzw. schon aus der Schule) das SI-System gewohnt sein. Ich verwende hier dagegen – wie die meisten Bücher zur theoretischen Elektrodynamik – das Gauß-System. Das ist sicher ungewohnt, und am Anfang wird man vielleicht darüber fluchen (das habe ich als Student auch gemacht) – aber wenn ihr euch daran gewöhnt habt, werdet ihr sehen, dass es viel sinnvoller, „natürlicher“ und letztlich schlicht schöner ist als das SI-System.

An Mathematik setze ich das voraus, was man normalerweise in einer Vorlesung zur theoretischen Mechanik lernt. Insbesondere sollte man sich mit der Differenzial-

und Integralrechnung für eine Variable und mit komplexen Zahlen auskennen und einige Ahnung von der Vektoranalysis haben. (Ein großer Teil der theoretischen Elektrodynamik besteht letztlich darin, geschickt mit Vektordifferenzialoperatoren zu hantieren und mehrdimensionale Integrale auszurechnen!). Auch hier gilt aber: Da vielleicht nicht alle Leser diese Vorkenntnisse mitbringen, findet sich am Anfang des Buches eine kurze Übersicht mit den wichtigsten Formeln und Konzepten; wer's genauer wissen will, sollte wiederum zum Tutorium *Mathematische Methoden* greifen.

Kurz noch zu den Notationen: Das Skalarprodukt zwischen (dreidimensionalen) Vektoren wird als  $\circ$  geschrieben, das Vektorprodukt wie üblich als  $\times$ . Energien werden, um Verwechslungen mit der elektrischen Feldstärke zu vermeiden, mit  $W$  bezeichnet; Kräfte, um Verwechslungen mit Flächen zu vermeiden, mit  $\mathbf{K}$  (man könnte für Flächen natürlich auch  $\mathbf{A}$  verwenden – aber das ist die übliche Bezeichnung für das Vektorpotenzial, vgl. Kap. 3); Drehmomente, um Verwechslungen mit der Magnetisierung zu  $\mathbf{M}$  vermeiden (s. Kap. 4) mit  $\mathbf{N}$ . Auch andere Größen werden oft mit jeweils demselben (griechischen Klein-)Buchstaben bezeichnet; zum Glück gibt es dafür aber oft verschiedene Schreibweisen:  $\phi$  ist das Potenzial,  $\varphi$  dagegen der Azimuthalwinkel in Zylinder- und Kugelkoordinaten;  $\rho$  ist die Ladungsdichte,  $q$  dagegen der Abstand zur  $z$ -Achse in Zylinderkoordinaten;  $\vartheta$  ist der Polarwinkel in Kugelkoordinaten,  $\theta$  dagegen wird (selten) für beliebige andere Winkel verwendet. Die natürlichen Zahlen einschließlich der Null werden mit  $\mathbb{N}$  bezeichnet, die ohne Null mit  $\mathbb{N}^*$ .

Die Abbildungen im Buch sind nur schwarzweiß; einige der Abbildungen, bei denen die Farbgebung wesentlich ist, sind deshalb zusätzlich hinten im Buch nochmals bzw. nur als Farbtafeln dargestellt.

Abschließend noch einige Literaturempfehlungen für Leser, die sich weiter informieren möchten. Die „Bibel“ der Elektrodynamik ist immer noch [5] – darin findet sich so gut wie alles, was man jemals über das Thema wissen muss, und zahlreiche noch weitergehende Literaturverweise. Allerdings ist das Buch auf einem relativ hohen Niveau geschrieben und daher für Anfänger nicht gerade geeignet. Ganz gut zu lesen, aber für meinen Geschmack an vielen wichtigen Stellen zu knapp, ist [3]. Außerdem hat mir im Studium noch [4] gut gefallen. Und wer die gesamte theoretische Physik gerne auf einmal hat, kann [1] zur Hand nehmen – wozu ich auch einige Kapitel zur Elektrodynamik beigetragen habe; dort ist die Darstellung allerdings oft deutlich knapper.

### Danksagung

Zunächst möchte ich Vera Spillner danken, die mich vor ihrem Weggang vom Springer-Verlag dazu angeregt hat, dieses Tutorium zu schreiben. Besonderer Dank gebührt auch Lisa Edelhäuser, die das Lektorat dieses Buches von Frau Spillner übernommen und alles gut zum Abschluss gebracht hat, ebenso wie Stefanie Adam für die Betreuung des Projekts und die schnelle Beantwortung meiner vielen organisatorischen Fragen.

Wolfgang Zettlmeier und Kristin Riebe danke ich für die Erstellung der Abbildungen, Jan Schwindt und Tatjana Strasser für das sorgfältige Korrekturlesen und für die vielen Anregungen dazu, wie man manches noch klarer formulieren kann.

Auch meiner ehemaligen Lerngruppe im Studium möchte ich danken: Hannes Klehr, Wouter Kornelis, Max Urban und Alexander Winger. Sie haben mich damals überhaupt erst auf die Idee gebracht, den Stoff der Elektrodynamik mal ordentlich und klar zusammenzuschreiben – auch wenn das damals eigentlich nur für unseren privaten Gebrauch gedacht war . . .

Und schließlich geht noch Dank an meine Familie und an Julia Rosenbaum für die moralische Unterstützung während der Arbeit an diesem Buch.

Tutorium Elektrodynamik

Elektro- und Magnetostatik - endlich ausführlich erklärt

Feuerbacher, B.

2016, XVIII, 375 S. 45 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-49028-0