

# Vorwort

Die Relativitätstheorie gehört zu den bekanntesten Theorien der Physik. Auch wenn die unmittelbaren Auswirkungen der Relativitätstheorie auf unser tägliches Leben – im Gegensatz zu anderen bedeutenden Theorien wie der Quantentheorie – praktisch vernachlässigbar sind, geht von ihr dennoch eine Faszination aus, der man sich nur schwer entziehen kann. Ein Grund dafür ist, dass die Aussagen der Relativitätstheorie unserem vertrauten Weltbild widersprechen, und dass sie sicher geglaubten Grundlagen unseres Denkens, wie der Absolutheit von Raum und Zeit, den Boden entzieht. Bedauerlicherweise führt der Weg zur Relativitätstheorie jedoch über die höhere Mathematik, wie beispielsweise die Tensorrechnung, und bleibt daher vielen Interessierten aufgrund fehlender Vorkenntnisse verwehrt.

## **Ziel des Buches**

Das vorliegende Buch hat den Anspruch, physikalisch interessierten Leserinnen und Lesern mit grundlegenden Kenntnissen der höheren Mathematik einen anschaulichen und nachvollziehbaren Weg zum Verständnis der Relativitätstheorie zu bahnen. Nach Lektüre des Buches sollte die Leserin oder der Leser dann nicht nur mit der Einstein'schen Feldgleichung vertraut sein, sondern auch interessante Anwendungen, wie z.B. die Ablenkung von Licht unter dem Einfluss von Masse, nachvollziehen können. Ebenso sollte sich nach dem Studium dieses Buches das Lesen weiterführender Literatur deutlich einfacher gestalten.

## **Voraussetzungen zum Arbeiten mit dem Buch**

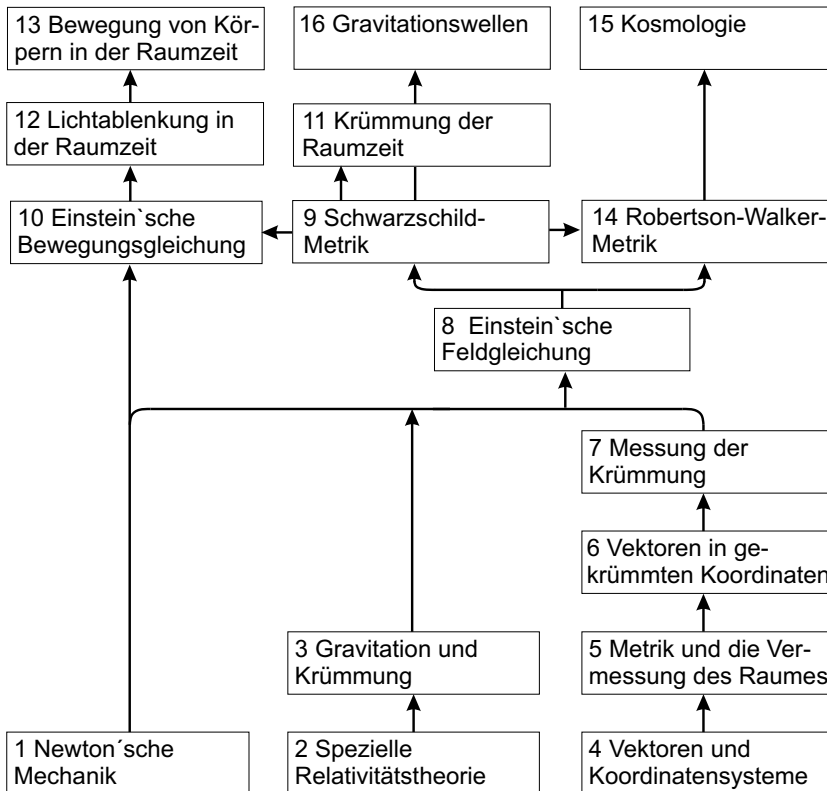
Die zum Arbeiten mit dem Buch nötigen Kenntnisse sind vergleichsweise gering. Erwartet werden

- Beherrschung der Differentialrechnung (gewöhnliche Ableitung, partielle Ableitung, Taylor-Reihen, Lösung einfacher Differentialgleichungen)
- Integralrechnung
- Vektorrechnung (Vektoren im Raum, Basen, Basisvektoren)
- Grundlagen der Newton'schen Mechanik (Kraftgleichung, Potential)

Kenntnisse der Differentialgeometrie (Divergenz, Gradient) sowie der Poisson-Gleichung sind hilfreich, diese werden aber fast nur im Zusammenhang mit der Newton'schen Mechanik benötigt.

## Aufbau des Buches

Das Buch ist inhaltlich so aufgebaut, dass es nach einer kurzen Wiederholung der Newton'schen Mechanik (Kapitel 1) zunächst kurz in die spezielle Relativitätstheorie einführt (Kapitel 2) und dann das Konzept der allgemeinen Relativitätstheorie beschreibt (Kapitel 3). Nach diesen physikalischen Grundlagen werden wichtige mathematische Begriffe wie die Metrik und die Krümmung erläutert (Kapitel 4 bis 7). Dabei werden alle Gleichungen schrittweise abgeleitet und die Zusammenhänge – soweit möglich – durch Grafiken veranschaulicht.



Es wird dann schließlich die Einstein'sche Feldgleichung aufgestellt (Kapitel 8) und deren wichtigste Lösung, die Schwarzschild-Metrik (Kapitel 9) beschrieben. Danach erfolgt die Aufstellung der Einstein'schen Bewegungsgleichung (Kapitel 10). Der grafischen Darstellung der Schwarzschild-Metrik – und damit der Krümmung der Raumzeit – ist ein eigenes Kapitel (Kapitel 11) gewidmet. In den daran anschließenden Kapiteln werden Standardbeispiele der Relativitätstheorie, die Lichtablenkung an einer Masse (Kapitel 12) und die Periheldrehung (Kapitel 13) durchgerechnet. Danach wird eine weitere Lösung der Einstein'schen Feldgleichung, die Robertson-Walker-Metrik beschrieben (Kapitel 14), die in dem nachfolgenden Kapitel (Kapitel 15) verwendet wird, in dem die

kosmologischen Aspekte der Relativitätstheorie behandelt werden. Das letzte Kapitel (Kapitel 16) behandelt schließlich das Thema Gravitationswellen.

### Hinweise zum Arbeiten mit dem Buch

Um das Lesen zu vereinfachen, wurde der Text mit verschiedenen Mitteln strukturiert. So sind alle wesentlichen Gleichungen grau hinterlegt und – soweit es hilfreich erschien – mit erklärenden Hinweisen versehen. Beispiele oder Ergänzungen, die nicht unmittelbar in den Text gehören, sind in abgesetzten Textteilen, sog. *Boxen* untergebracht. Zentrale, zusammenfassende Kernaussagen von einzelnen Textabschnitten stehen als sog. *Sätze* in grau hinterlegten Kästen, die am Rand mit einem Ausrufezeichen markiert sind. Abschnitte, die den Stoff ergänzen oder vertiefen, für das Verstehen der nachfolgenden Kapitel jedoch nicht notwendig sind, sind durch einen Doktorhut am Rand des Textes gekennzeichnet. Diese können beim ersten Lesen übersprungen werden. Ableitungen, die für das Verständnis notwendig sind, deren Kenntnis aber nicht in allen Fällen vorausgesetzt werden kann, befinden sich in dem Anhang. Hier befindet sich auch ein Glossar mit den wichtigsten Begriffen.



Grundsätzlich orientiert sich die im vorliegenden Buch verwendete Schreibweise an der in der modernen Standardliteratur verwendeten. Eine Ausnahme stellt allerdings die Verwendung des Begriffes Tensor dar. Obwohl die Mathematik der Relativitätstheorie im Wesentlichen Tensorrechnung ist, taucht der Begriff Tensor in dem Buch nur am Rande auf. Der Grund dafür ist, dass die Tensorrechnung sicherlich die kritischste Stelle für den Zugang zur Relativitätstheorie ist. Das Buch geht daher den Weg von der Vektorrechnung zur Rechnung mit allgemeinen indizierten Größen und führt die Tensoren quasi unbemerkt ein. Der Preis dafür ist, dass wesentliche Eigenschaften von Tensoren, insbesondere deren Transformationseigenschaften, sich beim Lesen des Buches nicht offenbaren. Dies scheint aber im Hinblick darauf, die Relativitätstheorie einem wesentlich größeren Kreis von Leserinnen und Lesern zugänglich zu machen, mehr als gerechtfertigt.

### Dank

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Leserinnen und Lesern der vorhergehenden Auflagen, die mit Lob, Kritik und wertvollen Hinweisen zum Entstehen des vorliegenden Buches beigetragen haben.

Hamburg, im Sommer 2023

Holger Göbel

