

---

essentials

Essentials liefern aktuelles Wissen in konzentrierter Form. Die Essenz dessen, worauf es als „State-of-the-Art“ in der gegenwärtigen Fachdiskussion oder in der Praxis ankommt, komplett mit Zusammenfassung und aktuellen Literaturhinweisen. Essentials informieren schnell, unkompliziert und verständlich

- als Einführung in ein aktuelles Thema aus Ihrem Fachgebiet
- als Einstieg in ein für Sie noch unbekanntes Themenfeld
- als Einblick, um zum Thema mitreden zu können.

Die Bücher in elektronischer und gedruckter Form bringen das Expertenwissen von Springer-Fachautoren kompakt zur Darstellung. Sie sind besonders für die Nutzung als eBook auf Tablet-PCs, eBook-Readern und Smartphones geeignet.

Essentials: Wissensbausteine aus Wirtschaft und Gesellschaft, Medizin, Psychologie und Gesundheitsberufen, Technik und Naturwissenschaften. Von renommierten Autoren der Verlagsmarken Springer Gabler, Springer VS, Springer Medizin, Springer Spektrum, Springer Vieweg und Springer Psychologie.

---

Bernd Sonne

# Spezielle Relativitätstheorie für jedermann

Grundlagen, Experimente und  
Anwendungen verständlich  
formuliert



**Springer** Spektrum

Dr. Bernd Sonne  
Hamburg  
Deutschland



ISSN 2197-6708

essentials

ISBN 978-3-658-12776-3

DOI 10.1007/978-3-658-12777-0

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-12777-0 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

---

## Vorwort

Dieses Buch handelt von Einsteins Relativitätstheorie, hier über seine Spezielle Relativitätstheorie (SRT). Über dieses Thema gibt es natürlich schon viele Bücher; Lehrbücher, Sachbücher und auch viele, die für die Allgemeinheit bestimmt und mehr im Erzählstil gehalten sind. Bei dem hier vorliegenden Buch handelt es sich um ein *essential* zu diesem Thema, wie der Verlag seine neue Buchreihe bezeichnet hat. *Essentials* sind ebenfalls für einen großen Leserkreis bestimmt, wobei in übersichtlicher und nicht zu umfangreicher Form das Wesentliche einer Theorie oder eines Sachverhaltes dargestellt wird: ohne Mathematik, abgesehen von wenigen Ergebnisformeln. Natürlich erhebt dieses *essential* keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden sicher viele Fragen auftauchen, die nicht alle beantwortet werden. Dazu wäre aber ein tieferes Einsteigen in die SRT notwendig.

Deshalb richtet sich dieses *essential* nicht so sehr an Fachleute und Spezialisten als vielmehr an alle, die schon mal etwas über die SRT gehört haben: Schüler, Studenten, Ingenieure und interessierte Laien, die gerne wissen wollen, wie es zu der Theorie kam und worum es eigentlich dabei geht.

Die SRT wurde 1905 von Einstein veröffentlicht und ist seitdem nicht mehr aus Forschung und Wissenschaft, ja sogar aus dem heutigen Alltag wegzudenken. Die Grundlagen der SRT, die Ergebnisse von Experimenten und Anwendungen werden ausführlich und nachvollziehbar anhand von Abbildungen erklärt.

Wie bin ich zu Einsteins Relativitätstheorien gekommen? Schon als Schüler hatte mich Einsteins Wirken interessiert, weshalb ich mir Bücher von und über ihn besorgt hatte. Insbesondere hatte mich das Zwillingsparadoxon fasziniert, das man sogar mit Schulmathematik verstehen kann. Später hatte ich in meinem Physikstudium in Hamburg das Glück, bei zwei sehr renommierten Wissenschaftlern, Pascal Jordan und Wolfgang Kundt, Vorlesungen über die SRT und ART zu hören.

Während meines Berufslebens hatte ich jedoch kaum etwas damit zu tun. Erst viele Jahre später kam ich darauf zurück und machte die Relativitätstheorie zu

meinem Hobby, das schließlich zusammen mit einem Co-Autor zu einem Sachbuch führte: Einsteins Theorien – Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie für interessierte Einsteiger und zur Wiederholung – von Bernd Sonne und Reinhard Weiß. Das Buch ist ebenfalls bei Springer Spektrum erschienen.<sup>1</sup> Es enthält viele ausführliche Rechnungen und Erläuterungen, die man auch nachvollziehen kann. Es behandelt auch sehr viele Themen dieses *essential* und kann deshalb bei Bedarf zu Rate gezogen werden.

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes sowie für Hinweise auf Kürzungen oder Ergänzungen danke ich sehr Herrn Reinhard Weiß.

Ich danke dem Verlag Springer-Spektrum, dass er mir die Gelegenheit gegeben hat, dieses *essential* zu schreiben, sowie Frau Maly für die inhaltliche, Frau Villnow und Frau Sanas für die redaktionelle Betreuung.

Einige Abbildungen enthalten Cliparts der Firma Microsoft, deren Verwendung mir bereits für mein vorheriges Buch freundlicherweise erlaubt wurde. Einige Bilder sind auch dem Internet entnommen. Die Quelle ist direkt bei den Bildern angegeben.

Im Februar 2016

Bernd Sonne

---

<sup>1</sup> Über die Allgemeine Relativitätstheorie (ART), die zehn Jahre später als die SRT von Einstein veröffentlicht wurde, gibt es schon ein *essential*, das vom Autor auch bei Springer-Spektrum erschienen ist. Da es über die ART weniger allgemeinverständliche Bücher gibt als bei der SRT, hatte der Verlag der ART zunächst den Vorzug gegeben.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Die Newton'schen Gesetze – die klassische Grundlage der Mechanik</b> ...	3
2.1	Experiment von Fizeau .....	4
2.2	Experiment von Michelson und Morley .....	5
2.3	Lorentz-Transformation .....	7
<b>3</b>	<b>Konsequenzen für Einsteins SRT</b> .....	9
3.1	Gleichzeitigkeit .....	9
3.2	Synchronisation von Uhren .....	10
3.3	Eigenzeit und Koordinatenzeit .....	11
3.4	Raum-Zeit-Koordinatensystem .....	13
<b>4</b>	<b>Prinzipien der Speziellen Relativitätstheorie</b> .....	15
<b>5</b>	<b>Äquivalenz von Masse und Energie</b> .....	17
<b>6</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b> .....	19
6.1	Zerfall von Myonen .....	19
6.2	Kraft durch elektrischen Strom .....	20
6.3	Doppler-Effekt .....	21
6.4	Global Positioning System (GPS) .....	23
6.5	Zusammenstoß zweier Teilchen .....	24
6.6	SRT, Elektromagnetismus und Quantenmechanik .....	26

---

<b>7 Paradoxa</b> .....	29
7.1 Das Stab-Scheune-Problem – ein Paradoxon zur Längenkontraktion .....	29
7.2 Skifahrer-Paradoxon – fällt man eine Gletscherspalte oder nicht? ...	31
7.3 Zwillingsproblem – ein Paradoxon zur Zeitdilatation .....	32
<b>8 Zeitreisen, ein Ding der Unmöglichkeit?</b> .....	37
<b>9 Zusammenfassung der Speziellen Relativitätstheorie</b> .....	41
<b>10 Einsteins Werke</b> .....	43
<b>Anhang</b> .....	47
<b>Literatur</b> .....	53