
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. *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 den Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften, aus Technik und Naturwissenschaften sowie aus Medizin, Psychologie und Gesundheitsberufen. Von renommierten Autoren aller Springer-Verlagsmarken.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13088>

Tobias Schüttler

Relativistische Effekte bei der Satellitennavigation

Von Einstein zu GPS und Galileo

 Springer Vieweg

Tobias Schüttler
DLR_School_Lab Oberpfaffenhofen
Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt (DLR) e. V.
Weßling, Deutschland

ISSN 2197-6708
essentials

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-22160-7

ISBN 978-3-658-22161-4 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-22161-4>

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

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. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Was Sie in diesem *essential* finden können

- Einen Überblick über das physikalische und mathematische Grundprinzip der Satellitennavigation mit GPS und Galileo
- Grundlegende Gedanken zur Zeit in der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie
- Einfach nachvollziehbare, formelfreie Beschreibung der relativistischen Einflüsse auf die Uhren der Navigationssatelliten
- Verständliche, aufs Wesentliche reduzierte, mathematische Betrachtung der relativistischen Einflüsse auf die Satellitenuhren
- Als Ausblick: Wie ein missglückter Satellitenstart zum Glücksfall für die Erforschung der Relativitätstheorie wurde

Vorwort

Dieser Aufsatz stellt den Versuch dar, zwei im Detail sehr komplexe Bereiche moderner Physik und Technik in möglichst allgemein verständlicher Weise vorzustellen und zu verknüpfen: Einsteins berühmte Relativitätstheorie und die Satellitenortung mit GPS und Galileo. Es leuchtet ein, dass dies nur durch starke Vereinfachung, insbesondere der mathematischen und technischen Hintergründe gelingen kann, weshalb zur Erläuterung der Grundideen in Kap. 1 und Kap. 2 fast vollständig auf Formeln und kompliziertere technische Betrachtungen verzichtet wurde. In Kap. 3 wird der Versuch unternommen, auf Basis von Betrachtungen, welche nicht, oder zumindest nur kaum, über schulmathematisches und -physikalisches Wissen hinausgehen, auch die Berechnungsgrundlagen zur Satellitenortung und den wichtigsten dabei durchgeführten relativistischen Korrekturen darzulegen. Dieses etwas mathematische Kapitel ist zwar für ein grundlegendes Verständnis der Vorgänge nicht zwingend erforderlich, aber dennoch, zumindest für mathematisch interessierte Leser, durchaus bereichernd. Kap. 4 stellt, nun wieder in allgemein verständlicher Sprache, die bei GPS und Galileo vorgenommenen relativistischen Korrekturen vor und widmet sich schließlich der Frage, welche praktische Bedeutung diese für die Ortung und andere Anwendungen haben. Ein aktuelles Forschungsprojekt zur Thematik (Kap. 5) schließt den Aufsatz ab.

Tobias Schüttler

Inhaltsverzeichnis

1	Wie funktioniert Satellitennavigation?	1
1.1	Grundprinzip der Satellitenortung	2
1.2	Satellitenortung etwas genauer betrachtet	5
2	Was hat Einstein mit Satellitennavigation zu tun?	9
2.1	Die relative Zeit	10
2.2	Überlegungen zur speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie (noch) ohne Formeln	13
2.2.1	Bewegte Uhren.	14
2.2.2	„Schwere Uhren“	16
2.3	Satellitennavigation und Relativität.	20
3	Alles etwas genauer betrachtet	23
3.1	Die relativistische Zeit.	23
3.1.1	Einfluss der Bahngeschwindigkeit v	24
3.1.2	Einfluss des Abstands r vom Erdmittelpunkt	25
3.1.3	Einfluss der Bewegung und der Bahnhöhe	26
3.1.4	Zusammenfassung	28
3.2	Empfängerortung durch Laufzeitmessung.	29
4	Relativistische Korrekturen bei GPS und Galileo	31
5	Ausblick: Die Galileo Satelliten Doresa und Milena	35
	Literatur.	39