

# }essentials{

Meike List · Claus Lämmerzahl

# Das Äquivalenzprinzip

Grundlagen, Tests und neueste  
Messungen



Springer Spektrum

---

**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>

---

Meike List · Claus Lämmerzahl

# Das Äquivalenzprinzip

Grundlagen, Tests und neueste  
Messungen

 Springer Spektrum

Meike List  
Institut für Satellitengeodäsie und  
Inertialsensorik, Abteilung für  
Relativistische Modellierung  
Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt (DLR)  
Bremen, Deutschland

Claus Lämmerzahl  
Zentrum für angewandte  
Raumfahrttechnologie und  
Mikrogravitation (ZARM)  
Universität Bremen  
Bremen, Deutschland

ISSN 2197-6708  
essentials

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-32532-9

ISBN 978-3-658-32533-6 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-32533-6>

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

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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.

Planung/Lektorat: Margit Maly

Springer Spektrum 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

- anschauliche theoretische und operationale Definition dessen, was unter dem Äquivalenzprinzip zu verstehen ist
- Bedeutung des Äquivalenzprinzips
- Überblick über verschiedene experimentelle Methoden zum Test des Äquivalenzprinzips
- ausführliche Darstellung des momentan besten Test des Äquivalenzprinzips

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführende Bemerkungen</b> . . . . .	1
1.1	Grundlagenphysik . . . . .	1
1.2	Die praktische Bedeutung der Grundlagenphysik . . . . .	3
1.3	Danksagung . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Kleine Historie und wichtige Begriffe</b> . . . . .	7
2.1	Alle Teilchen fallen gleich schnell . . . . .	7
2.2	Die Masse . . . . .	8
2.2.1	Die träge Masse . . . . .	8
2.2.2	Die schwere Masse . . . . .	10
2.2.3	Die gravitierende Masse . . . . .	11
2.3	Das Äquivalenzprinzip: Gleichheit von träger und schwerer Masse . . . . .	12
2.4	Das starke Äquivalenzprinzip . . . . .	14
2.5	Ein weiteres Äquivalenzprinzip: Die Gleichheit von gravitierender und schwerer Masse . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Was bedeutet das Äquivalenzprinzip</b> . . . . .	17
3.1	Die Geometrisierung der Gravitation . . . . .	17
3.2	Der Einsteinsche Aufzug . . . . .	19
3.3	Folgerungen aus der Geometrisierung der Gravitation . . . . .	19
3.4	Scheinbare Verletzungen des Äquivalenzprinzips . . . . .	21
3.5	Fundamentale Verletzungen des Äquivalenzprinzips . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Wie testet man das Äquivalenzprinzip?</b> . . . . .	25
4.1	Freier Fall . . . . .	25
4.2	Pendel . . . . .	28
4.3	Torsionspendel . . . . .	31