

# Kontinuumsmechanik

Einführung in die materialunabhängigen und materialabhängigen Gleichungen

Bearbeitet von  
Holm Altenbach

1. Auflage 2012. Taschenbuch. xiv, 342 S. Paperback

ISBN 978 3 642 24118 5

Format (B x L): 15,5 x 23,5 cm

Gewicht: 545 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Werkstoffkunde, Mechanische Technologie > Kontinuumsmechanik](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text 'beck-shop.de' in a bold, red, sans-serif font. Above the 'i' in 'shop' are three red dots of increasing size. Below the main text, the words 'DIE FACHBUCHHANDLUNG' are written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# Vorwort

Innovative Projekte der Technik erfordern vielfach solide Kenntnisse in der Kontinuumsmechanik. Die Ursache hierfür liegt in der Komplexität der Aufgabenstellungen, die oftmals nicht mehr im Rahmen klassischer Konzepte der Technischen Mechanik zu lösen sind. Auch verlangt der Übergang von geometrisch linearen zu geometrisch nichtlinearen Modellen nach Alternativen zur klassischen Beschreibung der Verzerrungsgrößen. Gleichzeitig müssen die Spannungstensoren neu definiert werden. Besondere Aufmerksamkeit ist auf die Modellierung komplexen Materialverhaltens zu richten.

In der Kontinuumsmechanik werden die Grundgleichungen in zwei große Gruppen unterteilt – die materialunabhängigen und die materialabhängigen Gleichungen. Diese werden nachfolgend diskutiert, wobei das vorliegende Buch in möglichst einfacher Weise in die Grundlagen dieses theoretisch anspruchsvollen Gebietes einführen will. Der Schwerpunkt liegt bei festen deformierbaren Körpern. Die vorgestellten Konzepte lassen sich aber auch auf Fluide ohne Schwierigkeiten sinngemäß übertragen. Das Buch richtet sich an Studierende des Maschinenbaus und des Bauingenieurwesens, aber auch an die in den Bereichen Konstruktion, Entwicklung und Forschung tätigen Ingenieure.

Vorausgesetzt werden Kenntnisse der Höheren Mathematik, der Physik, der Technischen Mechanik und der Werkstoffkunde, wie sie in Ingenieurstudiengängen zu Beginn der Ausbildung vermittelt werden. Die Kontinuumsmechanik sollte dann gleich im Anschluss folgen, um zur Anwendung der Bilanzgleichungen und der phänomenologischen Materialmodelle im weiteren Studium anzuregen. Gleichzeitig wird dem Studierenden eine ganzheitliche Betrachtung angeboten, die die teilweise nicht mehr überschaubare Aufsplitterung in viele, scheinbar unabhängige technische Teilprobleme vermeidet.

Zur Kontinuumsmechanik gibt es bis heute unterschiedliche Lehrmeinungen, die durch zahlreiche wissenschaftliche Schulen vertreten werden. Mit dem vorliegenden Lehrbuch wird versucht, auch das Lesen von Spezialliteratur zu erleichtern, wobei die axiomatisch orientierten Darstellungen der Grundlagen dominant sind. Zahlreiche Literaturhinweise erleichtern das weiterführende und vertiefende Studium, da

bei den knapp bemessenen Stundentafeln in der Ausbildung nicht mehr auf jedes Problem eingegangen werden kann.

Besonderen Einfluss auf die vorliegende Einführung in die Kontinuumsmechanik haben die Lehrbücher/Monographien von A.I. Lurie<sup>1</sup> [13, 14], E. Krempl<sup>2</sup> [12], P. Haupt<sup>3</sup> [10], P.A. Zhilin<sup>4</sup> [26] und V.A. Palmov<sup>5</sup> [17] gehabt. Die Stoffauswahl und Darstellung wurden vorrangig durch die Zielstellung bestimmt, in möglichst kompakter Form in die Grundlagen der Kontinuumsmechanik einzuführen. Ausgewählte durchgerechnete Beispiele illustrieren anschaulich die theoretischen Zusammenhänge.

Nach einer kurzen Einführung in Aufgaben, Betrachtungsweisen und Modelle der Kontinuumsmechanik werden zunächst die für eine Einführung notwendigen Grundzüge der Tensorrechnung in knapper Form vorangestellt. Dabei werden zwei Darstellungformen genutzt – die invariante und die indizierte. Die Vor- und Nachteile werden hier nicht diskutiert. Im Sinne einer Einführung erfolgt eine Beschränkung auf kartesische Koordinaten. Ergänzungen und Erweiterungen können der Spezialliteratur entnommen werden.

Die folgenden Kapitel behandeln systematisch die materialunabhängigen Aussagen der Kontinuumsmechanik, d. h. die Kinematik, die Kinetik und die Bilanzen. Die Erhaltungssätze werden als Sonderfälle der Bilanzaussagen formuliert. Es folgen die materialabhängigen Aussagen. Ausgehend von den allgemeinen Grundsätzen der Materialtheorie werden für Festkörper und Fluide exemplarisch Konstitutivgleichungen auf deduktivem und auf induktivem Wege formuliert sowie die Methode der rheologischen Modellierung erläutert. In den abschließenden Kapiteln wird wiederum exemplarisch an den für technische Anwendungen besonders wichtigen Teilgebieten der Kontinuumsmechanik, der geometrisch-linearen Theorie der Elastizität und der Thermoelastizität sowie der linear-viskosen Fluide gezeigt, wie die materialunabhängigen und die materialabhängigen Gleichungen zusammengefasst und für die genannten Gebiete die Anfangs-Randwertaufgaben formuliert werden können. Alle Aussagen beziehen sich auf die klassische Kontinuumsmechanik thermomechanischer Felder. Andere physikalische Felder, mehrphasige Systeme und verallgemeinerte Kontinuumsmodelle bleiben ausgeschlossen. Entsprechende weiterführende Literaturhinweise sind angegeben.

---

<sup>1</sup> Anatoly Isakovich Lurie (1901–1980), Professor für Mechanik am Leningrader Polytechnischen Institut (heute St. Petersburger Staatliche Polytechnische Universität), grundlegende Beiträge zur Mechanik und Regelungstechnik

<sup>2</sup> Erhard Krempl (1934–2010), Professor am Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, Werkstoffmodellierung

<sup>3</sup> Peter Haupt (geb. 1938), Professor für Technische Mechanik/Kontinuumsmechanik an der Universität Kassel, Beiträge zur Materialtheorie

<sup>4</sup> Pavel Andreevich Zhilin (1942–2005), Professor für Rationale Mechanik an der St. Petersburger Staatlichen Polytechnischen Universität, Beiträge zu verschiedenen Teildisziplinen der Kontinuumsmechanik

<sup>5</sup> Vladimir Alexandrovich Palmov (geb. 1934), Professor für Mechanik an der St. Petersburger Staatlichen Polytechnischen Universität, Beiträge zur nichtlinearen Kontinuumsmechanik und Rheologie

Das Buch basiert auf dem Konzept des Lehrbuchs „Einführung in die Kontinuumsmechanik“ [1], an dem der Autor mitwirkte. Dieses war der Nachfolger des Lehrbuchs von Becker und Bürger [3], welches stärker auf fluidmechanische Aspekte orientiert war. Auf Grund der zahlreichen positiven Leserbewertungen des Lehrbuchs wurde das Grundkonzept weitgehend beibehalten. Es wurde mehrfach an deutschen und ausländischen Hochschulen erprobt und entspricht in seinem Umfang einer einsemestrigen Vorlesung mit vier Wochenstunden Vorlesungen und zwei Wochenstunden Übungen. Da im Zusammenhang mit der Umstellung auf Bachelor- und Masterstudiengänge vielfach nur Module mit insgesamt drei Stunden angeboten werden können, wurde der Stoff so aufbereitet, dass man das Buch auch zum Selbststudium einsetzen kann.

Der Autor bedankt sich bei seiner Universität für die Genehmigung eines Forschungsfreisemesters, welches der Autor zu großen Teilen in Nagoya (Japan) und Lublin (Polen) verbrachte, und bei der Japan Society for the Promotion of Science (ID No. RC 21115001), die den Aufenthalt an der Nagoya Daigaku (Universität Nagoya) unterstützte, sowie der Europäischen Union, die innerhalb des 7. Rahmenprogramms (CEMCAST – Centre of Excellence for Modern Composites Applied in Aerospace and Surface Transport Infrastructure FP7-245479) den Aufenthalt an der Politechnika Lubelska ermöglichte. Dem Springer-Verlag sei für die hervorragende Zusammenarbeit gedankt, insbesondere Frau Hestermann-Beyerle, Frau Kollmar-Thoni und Herrn Holzwarth (LATEX-Unterstützung). Abschließend sei meinen aktuellen und ehemaligen Mitarbeitern Victor Eremeyev, Anna Girchenko, Carsten Kröner und Barbara Renner gedankt. Ihre kritische Durchsicht des Manuskripts, die Unterstützung bei der grafischen Gestaltung sowie die Erstellung von Beispielaufgaben hat zu weiteren Verbesserungen geführt, die hoffentlich auch vom Leser so akzeptiert werden. Nicht vergessen möchte ich an dieser Stelle meine Frau, die wie schon oft mich bezüglich der Literatur, der Quellen und der biographischen Angaben beriet.

In den letzten Jahren erschienen zahlreiche Lehrbücher bzw. Monografien zur Kontinuumsmechanik. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, seien hier einige erwähnt. Unter den deutschsprachigen Büchern sind insbesondere die von Betten [5] (mit zahlreichen Beispielen zu Problemen der Plastizitätstheorie und Kriechmechanik), Giesekus [8] (Rheologie), Greve [9] (klassische Feldtheorie deformierbarer Körper), Krawietz [11] (mit den Schwerpunkten Rheologie und rheologische Modelle), Müller [15] (Einbeziehung von nicht-thermomechanischen Problemen), Parisch [21] (Lösungen mit Finiten Elemente) und Willner [24] (Anwendungen in der Kontaktmechanik) zu erwähnen. Unter den englischsprachigen Werken seien hier die Bücher von Bařar & Weichert [2] (Schwerpunkt bei nichtlinearen Effekten bei elastischen Materialien), Bertram [4] (unter spezieller Beachtung der Besonderheiten der Plastizität), Eringen [6, 7] (nichtklassische Kontinua), Haupt [10] (mit dem Schwerpunkt Materialtheorie), Nemat-Nasser [16] (finite Deformationen heterogener inelastischer Materialien), Palmov [17] (rheologische Modelle), řilhavý [22] (Rationale Thermodynamik), Tanner [23] (Rheologie) und Wu [25] (Plastizität) aufgezählt. Auch wenn für viele nicht erschließbar, da in Russisch abgefasst, sollen auch die Bücher von Palmov [18–20] und Zhilin [27] angege-

ben werden. Diese gehören zu den besten russischsprachigen Lehrbüchern auf dem Gebiet der Kontinuumsmechanik bzw. behandeln Aspekte dieses Buches. Sie unterscheiden sich deutlich von den anderen sowjetischen/russischen Mechanikschulen in ihrer Darstellungsart.

Nagoya, Magdeburg, Lublin  
2011

*Holm Altenbach*

## Literaturverzeichnis

1. Altenbach J, Altenbach H (1994) Einführung in die Kontinuumsmechanik. Teubner, Stuttgart
2. Başar Y, Weichert D (2000) Nonlinear Continuum Mechanics of Solids. Springer, Berlin
3. Becker E, Bürger W (1975) Kontinuumsmechanik. Teubner, Stuttgart
4. Bertram A (2012) Elasticity and Plasticity of Large Deformations. An Introduction, 3. Aufl. Springer, Berlin
5. Betten J (2001) Kontinuumsmechanik: Elastisches und inelastisches Verhalten isotroper und anisotroper Stoffe, 2. Aufl. Springer, Berlin
6. Eringen AC (1999) Microcontinuum Field Theory, Bd. I. Foundations and Solids. Springer, New York
7. Eringen AC (1999) Microcontinuum Field Theory, Bd. II. Fluent Media. Springer, New York
8. Giesekus H (1994) Phänomenologische Rheologie: eine Einführung. Springer, Berlin
9. Greve R (2003) Kontinuumsmechanik: Ein Grundkurs. Springer, Berlin
10. Haupt P (2002) Continuum Mechanics and Theory of Materials, 2. Aufl. Springer, Berlin
11. Krawietz A (1986) Materialtheorie. Springer, Berlin
12. Lai WM, Rubin D, Krempl E (2010) Introduction to Continuum Mechanics, 4. Aufl. Butterworth-Heinemann, Amsterdam
13. Lurie AI (1990) Nonlinear Theory of Elasticity. North-Holland, Amsterdam
14. Lurie AI (2005) Theory of Elasticity. Foundations of Engineering Mechanics, Springer, Berlin
15. Müller WH (2011) Streifzüge durch die Kontinuumsmechanik. Springer
16. Nemat-Nasser S (2004) Plasticity – A Treatise on Finite Deformation of Heterogeneous Inelastic Materials. Cambridge University Press, Cambridge
17. Palmov VA (1998) Vibrations of Elasto-plastic Bodies. Foundations of Engineering Mechanics, Springer, Berlin
18. Palmov VA (2008) Grundgesetze der Natur (in Russ.). Verlag der Polytechnischen Universität, St. Petersburg
19. Palmov VA (2008) Konstitutivgleichungen thermoelastischer, thermoviskoser und thermoplastischer Materialien (in Russ.). Verlag der Polytechnischen Universität, St. Petersburg
20. Palmov VA (2008) Theorie der Konstitutivgleichungen in der nichtlinearen Thermomechanik deformierbarer Körper (in Russ.). Verlag der Polytechnischen Universität, St. Petersburg
21. Parisch H (2003) Festkörper-Kontinuumsmechanik: Von den Grundgleichungen zur Lösung mit Finiten Elementen. Teubner, Stuttgart
22. Šilhavý M (1997) The Mechanics and Thermodynamics of Continuous Media. Springer, Heidelberg
23. Tanner RI (1985) Engineering Rheology. Clarendon, Oxford
24. Willner K (2003) Kontinuums- und Kontaktmechanik: Synthetische und analytische Darstellung. Springer, Berlin
25. Wu HC (2000) Continuum Mechanics and Plasticity. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton
26. Zhilin PA (2001) Vektoren und Tensoren 2. Stufe im dreidimensionalen Raum (in Russ.). Nestror, St. Petersburg
27. Zhilin PA (2012) Rationale Kontinuumsmechanik (in Russ.). Verlag der Polytechnischen Universität, St. Petersburg