

Michael Brand

Grundlagen FEM mit SolidWorks 2010

Michael Brand

# Grundlagen FEM mit SolidWorks 2010

Berechnungen verstehen und effektiv anwenden

Mit 343 Abbildungen

STUDIUM



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

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

**Michael Brand** ist Maschinenbauingenieur und hat Industrieerfahrung in Anlagenengineering und Konstruktion. Er unterrichtet am ZbW (Zentrum für berufliche Weiterbildung) in St.Gallen die angehenden Techniker in den Fächern Mechanik, Festigkeitslehre, Maschinenelemente und CAD (SolidWorks) und ist selbstständig als Berechnungsingenieur.

SolidWorks® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Dassault Systèmes SolidWorks Corp.

Der Verfasser hat alle Texte, Formeln und Abbildungen mit größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Deshalb übernehmen weder der Verfasser noch der Verlag irgendwelche Garantien für die in diesem Buch abgedruckten Informationen. In keinem Fall haften Verfasser und Verlag für irgendwelche direkten oder indirekten Schäden, die aus der Anwendung dieser Informationen folgen.

1. Auflage 2011

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011

Lektorat: Thomas Zipsner | Ellen Klabunde

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

[www.viewegteubner.de](http://www.viewegteubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, 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.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Satz: Stefan Kreickenbaum, Wiesbaden

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1306-0

## Vorwort

Die Bedeutung von Simulationsprogrammen in der Produktentwicklung nimmt ständig zu. Das hat einerseits mit den auf dem Markt erhältlichen, immer preisgünstigeren Simulationsprogrammen und andererseits mit der vereinfachten Handhabung solcher Programme zu tun. Die einfache Handhabung gibt dem Bediener das Gefühl, Berechnungen mit FEM seien kinderleicht. Dieser Umstand ist natürlich sehr problematisch – vor allem, wenn man den Resultaten einer FEM – Analyse ohne kritisches Hinterfragen vertraut.

Dieses Buch soll dem Studenten (z. B. Höhere Fachschule, Fachhochschule) und auch dem Praktiker anhand von diversen Beispielen zeigen, wie man **SolidWorks Simulation** gewinnbringend im Berechnungs- und Produktentwicklungsprozess einsetzen kann. Die Beispiele sind bewusst so gestaltet, dass jede FEM-Analyse mittels einer analytischen „Handrechnung“ überprüft werden kann. Die Leser sollen auch dafür sensibilisiert werden, wie groß die Fehler werden, wenn man etwas falsch macht. Das Problem sind neben der richtigen Vernetzung oftmals die Randbedingungen (Lagerungen und Lasten). Es werden nur statisch-lineare Analysen durchgeführt. Bei statischen Analysen ist die Belastung jeweils konstant. Lineare Analyse heißt unter anderem, dass die Belastung zur Verformung proportional ist (nur elastische und nicht plastische Verformung des Materials).

Im ersten Kapitel des Buches werden die Grundlagen der FEM-Analyse, die Benutzung von SolidWorks Simulation, die Vernetzungsarten, die Von-Mises-Vergleichsspannung und die Spannungssingularitäten erklärt. Im zweiten Kapitel werden Beispiele zu den Grundbeanspruchungsarten berechnet und simuliert. Im dritten Kapitel wird anhand von Beispielen mit zusammengesetzter Beanspruchung aufgezeigt, wie berechnete und simulierte Werte übereinstimmen. Auch Fachwerke können mit SolidWorks Simulation berechnet werden, was im vierten Kapitel gezeigt wird. Um die Kerbwirkung an Bauteilen geht es dann im fünften Kapitel. Wie man ganze Baugruppen mit **SolidWorks Simulation** simuliert, erfährt man im sechsten Kapitel. Es folgen dann zwei Projekte (Hebelpresse und Schweißkonstruktion), bei denen diverse Berechnungen und Simulationen durchgeführt werden.

In der SolidWorks Premium-Lizenz ist ein FEM-Modul für statisch-lineare Analysen enthalten. Dieses Modul, **SolidWorks Simulation**, wurde speziell auf die Bedürfnisse von Konstrukteuren und Ingenieuren abgestimmt, die keine Spezialisten in der Konstruktionsprüfung sind.

Die CAD-Modelle aller Beispiele können im Internet vom Vieweg+Teubner-Server für SW2009 und SW2010 heruntergeladen werden. Die Modelle und Analysen wurden mit der SolidWorks-Lehredition 2009/2010 erstellt. Alle Übungen können auch mit der SolidWorks Student Edition 2009/2010 nachvollzogen werden.

Die Berechnung von Maschinenelementen basiert auf den Formeln von Roloff/Matek. Auf die Grundlagen der Festigkeitslehre wird hier nicht eingegangen. Es wird vorausgesetzt, dass der Leser Grundkenntnisse bei der Bedienung von SolidWorks hat. Für Neueinsteiger wurde ein Crash-Kurs für SolidWorks erstellt, der ebenfalls vom Vieweg+Teubner-Server heruntergeladen werden kann.

Gerne möchte ich mich bei Herrn Thomas Zipsner vom Vieweg+Teubner Verlag für seine freundliche Unterstützung bei der Entstehung dieses Buches bedanken. Dank gebührt auch Herrn Haberberger, dem technischen Manager der Simulationsprodukte von SolidWorks Deutschland, der mich bei kniffligen Fragestellungen stets geduldig unterstützte.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung in die Finite-Elemente-Methode (FEM)</b>	1
1.1	Grundlagen der FEM-Theorie	3
1.2	Simulation mit SolidWorks Simulation	7
1.3	Vernetzung	12
1.4	Vergleichsspannung	19
1.5	Spannungssingularitäten	21
1.6	Verständnisfragen	27
<b>2</b>	<b>Beispiele zu den Grundbeanspruchungsarten</b>	28
2.1	Einseitig eingespannter Biegebalken mit Einzellast	29
2.2	Einseitig eingespannter Biegebalken mit Streckenlast	32
2.3	Vollwelle mit Torsionsmoment	35
2.4	Stützträger mit Einzellast	38
2.5	Stützträger mit Streckenlast	49
2.6	Stützträger mit Mischlast	54
2.7	Übungen	61
<b>3</b>	<b>Beispiele zur zusammengesetzten Beanspruchung</b>	62
3.1	Träger mit Biegung und Zug	62
3.2	Welle mit Biegung und Torsion	65
3.3	Flachstahl mit Biegung und Biegung	66
3.4	Kurbelwange mit Biegung, Druck, Abscheren und Torsion	69
3.5	Übungen	74
<b>4</b>	<b>Fachwerke</b>	76
4.1	Beispiel Fachwerkberechnung	76
4.2	Übung	84
<b>5</b>	<b>Beispiele zur Kerbwirkung</b>	85
5.1	Flachstahl mit symmetrischer Rundkerbe	85
5.2	Symmetrisch abgesetzter Flachstab	89
5.3	Übung	94
<b>6</b>	<b>Simulationen mit Baugruppen</b>	95
6.1	Globaler Kontakt	96
6.2	Komponentenkontakt	98
6.3	Lokaler Kontakt	98
6.4	Verbindungsglieder	100
6.5	Projekt Klemmvorrichtung	102
<b>7</b>	<b>Projekt Hebelpresse</b>	117
7.1	Berechnungen	119
7.2	Zeichnungen (Geometrische Abmessungen für Berechnungen)	139
7.3	Simulation Hebelpresse als Baugruppe	143

---

<b>8</b>	<b>Berechnung einer Schweißkonstruktion .....</b>	<b>149</b>
<b>9</b>	<b>Zuverlässigkeit von FEM-Analysen .....</b>	<b>172</b>
<b>10</b>	<b>Lösungen .....</b>	<b>175</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>177</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>178</b>