

Lumpe, G., Gensichen, V.: Evaluierung der linearen und nichtlinearen Stabstatik in Theorie und Software. Prüfbeispiele, Fehlerursachen, genaue Theorie. Berlin: Ernst & Sohn 2014. 276 S., zahlr. Abb. u. Tab., 17 × 24 cm, Br. ISBN 978-3-433-03053-0; € 55,-



Achtung: Die Lektüre des vorliegenden Buches mag in der Welt des gut mit Software ausgestatteten Statikers ein kleines Erdbeben auslösen! – Aber: Erdbebenerfahrung kann – um im Bilde zu bleiben – auch zu mehr Verständnis und Sorgfalt bei der Berechnung von Tragwerken führen. Genau diesem Anliegen werden die Autoren in nahezu umfassender Weise gerecht.

Als trügerisch erweist sich zunächst die Vorstellung, dass mit einer Theorie I. Ordnung die einfachen Routinefälle, mit einer Theorie II. Ordnung die stabilitätsgefährdeten Fälle und mit einer Theorie III. Ordnung die in irgend einer Form nichtlinearen Fälle bewältigt werden können.

Die Problematik bezieht sich im Wesentlichen auf zwei Bereiche.

Erstens: Die Leistungsfähigkeit von kommerzieller Software ist beschränkt; die Gültigkeitsgrenzen sind nicht pauschal angebbbar, sondern auf spezielle Probleme bzw. Phänomene bezogen, z. B. Stabilitätsgefährdung, nichtlineare geometrische Beziehungen, Erfassung von Torsion (St. Venant-Torsion, Wölbkrafttorsion, Berücksichtigung sekundärer Schubverformungen, nichtlineare Helix-Torsion). Die Kennzeichnung „Theorie II. oder III. Ordnung“ ist unzureichend, da hierfür keine allgemein gültigen Definitionen existieren.

Zweitens: Hersteller und Anwender von Software müssen über Kenntnisse der verwendeten baustatischen Theorie verfügen. In der Praxis stellt sich regelmäßig die Frage nach der Superponierbarkeit von Lastfällen; diese ist z. B. speziell im Rahmen der Theorie II. Ordnung nur dann gegeben, wenn bei ebenen Systemen und ebener Beanspruchung in allen Teillastfällen dieselben (steifigkeitsbeeinflussenden) Stabnormalkräfte angenommen werden.

Aber schon das im Buch genannte Beispiel eines Balkens auf zwei Stützen mit einer horizontalen und vertikalen Einzellast in Stabmitte zeigt den (viele Anwender überraschenden) Effekt, dass eine Überlagerung der beiden Lastfälle unzulässig ist, weil resultierende Last und Verschiebung i. Allg. nicht mehr gleichgerichtet sind und somit zusätzlich Torsion auftritt.

Hinsichtlich der Kenntnisse über Torsion sei aus dem Buch zitiert: „Das Torsionsproblem wird von vielen Anwendern als unbequem empfunden, häufig ausgeblendet und unkritisch der Software überlassen“. Besonders die Wölbkrafttorsion ist in der Praxis wenig beliebt, da wenig anschaulich. Bei der Wölbkrafttorsion für geschlossene Querschnitte müssen stets auch die sekundären Schubverformungen berücksichtigt werden. Andernfalls – wie die Autoren an zwei Beispielen zeigen – liefert ein Standard-Programm für wölbfreie Querschnitte (z. B. quadratisches Hohlprofil bzw. Rohr) Wölbchnittgrößen und -spannungen. Die Klärung dieses paradoxen Sachverhalts erfordert gute Grundlagenkenntnisse – in diesem Fall besonders auf Seiten des Software-Herstellers.

Auf einen weiteren diffizilen Sachverhalt bei der Wölbkrafttorsion wird hingewiesen: Es existieren zwar für offene und geschlossene Querschnitte gemeinsam gültige genaue Formeln, obwohl das Tragverhalten völlig unterschiedlich ist (z. B. sehr unterschiedliche Torsionsträgheitsmomente I_T). Für geschlossene Querschnitte sind diese Formeln trotzdem nicht geeignet, da sie durch Differenzbildung sehr großer Zahlen (also numerisch bedingt) ungenaue oder unbrauchbare Resultate liefern. In diesem Fall können aber alle Zustandsgrößen sehr einfach mittels Abklingfunktionen beschrieben werden.

Zum Inhalt des Buches:

In Teil 1 werden zehn einfache Prüfbeispiele angegeben, mit denen die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit der verwendeten Software überprüft werden kann, ohne auf die baustatischen Grundlagen genauer einzugehen.

Teil 2 beleuchtet die theoretischen Hintergründe genauer und bietet weitere ausführlich kommentierte Beispiele; dabei werden solide Grundlagenkenntnisse der Stabstatik vorausgesetzt.

Im Wesentlichen werden folgende Themen angesprochen:
Klassifizierung der verschiedenen Theorien II. Ordnung, denen zwei Merkmale gemeinsam sind: Formulierung des Gleichgewichts am verformten System und lineare kinematische Beziehungen, d. h., Betrachtung kleiner Verformungen.

Je nachdem, ob Biegeknicken, Drillknicken oder Biegedrillknicken einerseits und Wölbkrafttorsion ohne oder mit sekundären Schubverformungen andererseits einbezogen sind, werden insgesamt fünf Klassen der Theorie II. Ordnung definiert.

Schließlich wird mit Theorie III. Ordnung eine Theorie bezeichnet, die eine genauere Kinematik mit entsprechend nichtlinearen geometrischen Beziehungen berücksichtigt, ohne dass es hierfür allgemein verbindliche Regeln gibt. Zusätzlich sollte die ebenfalls nichtlineare Helix-Torsion („Schraubenlinien-Effekt“) einbezogen werden.

Das letzte, anspruchsvolle Kapitel 5 in Teil 2 (für sehr fortgeschrittene Statiker) beinhaltet die Herleitung einer exakten Stabtheorie großer Verformungen, aber immer noch kleiner Dehnungen, wie sie praktisch ausschließlich vorkommen. Mit dieser Theorie, die sowohl die genauen nichtlinearen geometrischen Beziehungen als auch die Helix-Torsion berücksichtigt, ist es möglich, den räumlichen Spannungs- und Verformungszustand eines allgemeinen Stabwerks wirklichkeitsnah zu erfassen. Die Beschreibung der beliebig großen Verschiebungen erfolgt durch Aufteilung in einen großen Starrkörperanteil mit nichtlinearer Kinematik und einen kleinen relativen Verformungsanteil, für den wieder lineare kinematische Beziehungen gelten. Dabei werden die Querschnittsrotationen durch Verschiebungen dreier im Querschnitt definierter Punkte ersetzt, wodurch die Problematik der Superposition von Drehungen vollständig umgangen wird. Die Umsetzung dieser Theorie erfolgt in dem Finite-Element-Programm „S3D“. In der beschriebenen Form beschränkt sich dieses Programm auf die Elastizitätstheorie und auf Stäbe mit abschnittsweise konstantem Querschnitt unter Vernachlässigung von Querkraftverformungen.

Insgesamt leistet das Buch einen wertvollen, aber auch notwendigen Beitrag zum kritischen Umgang mit Statik-Software. Anhand von einfachen bis eher schwierigen Beispielen werden die Anwendungsgrenzen von Programmen und baustatischen Theorien ausgelotet und mögliche Defizite benannt.

Vom Studierenden bis zum wissenschaftlich tätigen Bauingenieur liefert das Buch (bei mit der Seitenzahl wachsendem Schwierigkeitsgrad) wertvolle Erkenntnisse und Hinweise zum Verständnis der vielfach komplexen Zusammenhänge. Möge das Buch eine weite Verbreitung finden und so auch den Autoren ein wenig Lohn und Anerkennung für ihre äußerst umfangreichen und detaillierten Untersuchungen sein.

Helmut Rubin, Wien