

Zur sinnvollen Anwendung ganzheitlicher Gebäudemodelle in der Tragwerksplanung von Hochbauten

Herrn Prof. Dr.-Ing. *Wilhelm Buschmeyer* zur Vollendung des 60. Lebensjahres gewidmet

Ausgehend von den kritischen Randbedingungen der Berechnung mit ganzheitlichen Gebäudemodellen werden typische und häufig anzutreffende Konstruktionsfälle diskutiert, bei denen Gesamtmodelle Vorteile für den Entwurf aufzeigen. Hier sind räumliche Tragwirkungen zu nennen, die Erfassung von Zwangsbeanspruchungen bei komplexen Grundrissen mit vielfältigen Festhaltungen sowie die Beanspruchung schlanker Gebäudestrukturen aus Windlasten und seismischen Einwirkungen. Für die genannten sinnvollen Anwendungsfälle werden die notwendigen Randbedingungen diskutiert. Die jeweiligen Anwendungsfälle werden anhand konkreter Gebäudebeispiele vorgestellt.

On the reasonable use of total building models in the design of building structures

Coming from the critical boundary conditions of the calculation with total building models, typical and prevalent constructions, where total models show advantages for the design, will be discussed. Here, spatial load-bearing impact, the registration of unforced interactions of complex ground plans with various supports as well as the stressing of slender building structures resulting from wind loads and seismic impacts have to be mentioned. For the stated reasonable use cases the necessary boundary conditions will be discussed. The respective use cases will be presented by means of concrete building examples.

1 Einleitung

Die Probleme und Risiken ganzheitlicher Gebäudemodelle sind, zu Recht, in jüngster Vergangenheit intensiv diskutiert und mit ausreichend warnenden Hinweisen versehen worden [1], [2]. Neben den Risiken, d.h. unzutreffende oder falsche Einschätzung des Tragverhaltens von Einzel-elementen oder der Gesamtstruktur sind selbstverständlich auch Chancen vorhanden, die in den bereits aufgeführten Quellen nicht vernachlässigt wurden.

Die angesprochenen Chancen wurden und werden z. Z. erheblich intensiver in den Nachbarstaaten zu Deutschland bzw. in anderen Baustoffen (Stahl) oder im Brückenbau bereits intensiv genutzt (z.B. [3]). Hier zeigt sich, dass es für Vorberechnungen oder Berechnungen zur Baugenehmigung vorteilhaft ist, sich eines ganzheitlichen Gebäudemodells zu bedienen, da mit diesem vermeintlich rasch und sicher gezeigt werden kann, dass die Standsicherheit des Bauwerkes oder Bauteiles gewährleistet ist.

Vorteilhaft gestaltet sich insbesondere der Zeitfaktor der technischen Bearbeitung während der ersten Pla-

nungsphasen, in denen dann nicht mehr ein ingenieurmäßiges Aufschneiden des Gesamtbauwerks in übliche Einzelmodelle – Deckenplatten, Unterzüge und Wände sowie Stützen – notwendig wird. Weiterhin ist ein willkommener Nebeneffekt die ganzheitliche Darstellung der Stabilisierung des Gebäudes für Lasten aus Wind als auch aus seismischen Einflüssen. Die Vorteile setzen sich fort im Rahmen der Ausführungsplanung, in der ggf. anstehende Gebäudeveränderungen nunmehr fortgeschrieben werden können.

Die Gesamtheit der Vorteile ganzheitlicher Gebäudemodelle erschließt sich sicherlich nicht im Rahmen routinemäßiger Entwürfe des Hochbaus, sondern sollte durch den erfahrenen Ingenieur bei der Konstruktion von Sonderaufgaben gezielt angewandt werden. Es ergeben sich in diesem Zusammenhang verschiedene Planungen, die sich überhaupt nicht mehr anders als mit Gesamtmodellen bearbeiten lassen.

2 Kritische Randbedingungen der Berechnung 2.1 Berücksichtigung des Bauablaufs

Bei der Errichtung eines Gebäudes erleiden die auf den Gründungselementen aufstehenden Tragwerke Verformungen, die neben den elastischen und viskoelastischen Eigenschaften des Baustoffes auch und in einem zunächst dominierenden Umfang von den elastischen und plastischen Eigenschaften des Baugrundes abhängen. Im Verlauf der Bauzeit wird durch eine entsprechende Bauvermessung diese Bodenverformung geschossweise ausgeglichen bzw. bei Hochhäusern ggf. sogar als Vorverformung eingepreßt, um zum Abschluss der Bauzeit möglichst eine planmäßige Lage aller Deckenplatten zu erzielen. Verbleibende, durch die Bodenverhältnisse bedingte Verformungen, bauen sich in der Regel bei Massivkonstruktionen durch die günstigen Kriecheigenschaften des noch jungen Betons auf vernachlässigbar geringe Größenordnungen ab. Bei den klassischen Berechnungen mit aufgeschnittenen Ersatzsystemen wird demzufolge dieser Effekt, d. h., die bauzeitlichen Verformungen der vertikal tragenden Elemente nicht in das Kalkül mit einbezogen. Anders verhält es sich bei ganzheitlichen Gebäudemodellen, insbesondere mit Plattengründungen. Durch die Berechnung wird bei einer Modellierung der elastischen Bettung der Eindruck erzeugt, als ob das Gebäude sofort in seiner Gesamtheit den Boden belastet und dessen Reaktion auf die

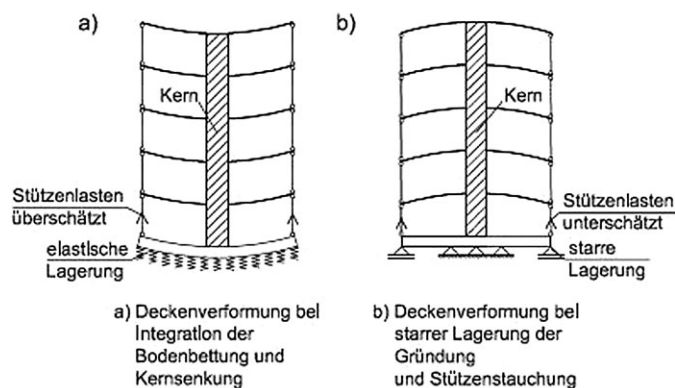


Bild 1. Stützenlasten bei Gesamtmodellen in Abhängigkeit von der Gründungsmodellierung

Fig. 1. Column loads for total models depending on the foundation Modelling

entsprechenden Tragelemente einwirkt. Das führt gemäß der Darstellung von Bild 1a zu einer Mitwirkung aller Deckenplatten am Lastabtrag der Bodenplatte, die in der geschilderten Form bei einem realen Bauwerk nicht auftritt. Völlig falsch werden durch das ganzheitliche Gebäudemodell mit integrierter Bodenplatte die Stützenlasten eingeschätzt, deren Größe in einigen Fällen über 40% über der tatsächlichen Beanspruchung liegen kann und im gleichen Umfang die Belastungen der Gebäudekerne unterschätzt.

2.2 Verformungen der Vertikalelemente

Auch bei Fragestellung der richtigen Einschätzung der Auswirkungen der Verformungen der Vertikalelemente eines Gebäudes – Stützen und Wände – auch bei starrer Lagerung in der Gründungsebene können nicht unerhebliche Fehleinschätzungen in den Berechnungsergebnissen zu Tage treten. In einem realen Bauwerk werden die Verformungen der Stützen geschossweise kompensiert und das bereits geschilderte Kriechvermögen der frisch betonierte Deckenplatten baut die aus den Verformungen resultierenden Zwangsschnittgrößen ab. Bei den ganzheitlichen Gebäudemodellen werden die Vertikaltragelemente lediglich elastisch gestaucht, wobei das Maß der Stauung allein von der Vertikalbelastung abhängt. Hierbei erhalten Kernwände bedingt durch Einflussfläche und Abmessungen in der Regel deutlich geringere Druckspannungen als dies bei den Stützen üblich ist. Folglich werden sich die Stützen erheblich stärker stauchen, als dies bei den Wänden der Fall ist. Eine gleichmäßige Vertikalverformung von beiden Elementtypen ist nur in äußerst seltenen Fällen anzunehmen. Die Verformungen rufen Zwangsbeanspruchungen der angeschlossenen Deckenplatten hervor, die eine Lastumlagerung von den Stützen zu den Wänden bewirken (vgl. Bild 1b). Durch das so modellierte ganzheitliche Gebäudemodell werden dementsprechend die tatsächlichen Stützenlasten deutlich unterschätzt, was bei entsprechend steifen Deckenplatten bis zu 20% der tatsächlichen Beanspruchungen ausmachen kann.

2.3 Beurteilung der kritischen Randbedingungen

Sowohl die Integration der Bauwerksgründung als auch die elastischen Stützenverformungen können bei entsprechender Modellierung neben den in [1] und [2] aufgezeigten Problemen zu einer standsicherheitsgefährdenden Fehleinschätzung des tatsächlichen Gebäudeverhaltens führen. Dieser Tatbestand trifft insbesondere bei vielgeschossigen Hochbauten zu, wobei nach vorliegenden Erfahrungen bereits fünf bis sechs aufliegende Deckenplatten zu signifikanten Abweichungen von den wahrscheinlichen Lastgrößen aus frei geschnittenen Ersatzmodellen führen. Zutreffende Ergebnisse der Berechnungen werden erst dann erzielt, wenn durch sorgfältige Vergleichsbetrachtungen, z. B. über Lastenzugsflächen an mehreren Lastpunkten – deutlich wird, dass die beschriebenen unzutreffenden Randbedingungen nicht wirksam sind. Die Integration des elastischen Verhaltens von Bodenplatten sollte nur in enger Abstimmung mit der Geotechnik und bei Vorliegen ausreichend steifer Kellerkästen verfolgt werden. Ansonsten ist eine starre Lagerung des Gebäudes mit anschließender gesonderter Berechnung der Gründung die sichere Variante.

Die Verformungen der Vertikalelemente sollten durch die Anordnung fiktiver E-Module so gesteuert werden, dass keine signifikanten Relativverschiebungen zu verzeichnen sind. Auf die steifigkeitsbedingte Zu- oder Abnahme von Deckeneinspannungen sei gesondert hingewiesen.

3 Anwendungsempfehlungen

3.1 Allgemeines

Zunächst ist anzuführen, dass es zweckmäßig ist, die Berechnungen mit linear elastischen Stoffgesetzmäßigkeiten durchzuführen, ansonsten wären die Kontrollparameter einer Ergebnisüberprüfung im Vier-Augen-Konzept überhaupt nicht mehr anwendbar. Für sehr komplexe Aufgabenstellungen des Industriebaus sind in den Nachbarländern in jüngster Zeit nichtlineare Stoffgesetze in Gesamtmodellen verwandt worden, wobei man dort auf zertifizierte Programmsysteme zurückgreift, um eine Plausibilitätskontrolle zu kompensieren. Das Elementnetz wird bei den für Gesamtmodelle in Frage kommenden Programmsystemen weitgehend automatisiert generiert. Hierbei wird der erfahrene Ingenieur die Bereiche mit Diskontinuitäten hinsichtlich einer ausreichenden Auflösung überprüfen. Die angesprochenen Programmsysteme verfügen mittlerweile über entsprechende Warnroutinen, so dass der Anwender vor einer ersten Berechnung in der Regel zu ausreichenden Kontrollen angehalten wird. Gesamtmodelle führen dann zu erweiterten Erkenntnissen über das Verhalten komplexer Tragstrukturen, wenn alle Tragelemente so in die Berechnung eingeführt werden, wie es ihre tatsächliche konstruktive Gestaltung vorgibt: Deckenplatten werden biegesteif mit Kernen verbunden, Stützen biegesteif mit Decken und Unterzügen und Stahlkonstruktionen entsprechend der konstruktiven Ausbildung. Insbesondere dieser Aspekt der Modellierung der Verbindung unterschiedlicher Konstruktionselemente miteinander verlangt vom Entwurfsingenieur eine vorangehende Lösung des Tragwerkproblems. Ansonsten wer-

Would you like to read the full version of the article?

If so, please order your trial issue now.

via fax: +49 (0) 30 47031 240, Ernst & Sohn, Berlin.

☐ Please send as a free sample *Stahlbau*, issue October 2009.

☐ We would like to order *Stahlbau*.

Volume 78, 2009.	Editor in Chief: Dr.-Ing. Karl-Eugen Kurrer	Published in German with abstracts in English.
12 issues / year	annual subscription	print 399.00 € print + online 438.90 €
3 issues	short subscription	print 66.75 € (nonrecurring charge)

Please send the journal *Stahlbau*, effective from issue October 2009

☐ as short subscription, 3 trial issues. If we do not cancel within 10 days after receiving the third issue, please deliver for one additional year, twelve issues.

☐ as annual subscription print, 12 issues per year. The subscription can be stopped three month before the reference period ends. If we do not cancel our subscription, please deliver for one additional year.

☐ as annual subscription print + online, 12 print issues per year including online access for simultaneous usage via Wiley InterScience. The subscription can be cancelled three months before the subscription period ends. If we do not cancel our subscription, please deliver for one additional year. Also deliver the online version for one single-licence user (for simultaneous use of online + printed versions)..The subscription period for the online version is equal to the subscription period of the printed version.

When ordering an print + online subscription the previous volumes (from 2004 to the present) will be activated free of charge on our online platform Wiley InterScience.




Type of access ☐ Stand-alone PC ☐ IP address check (linked to one PC or a group of PC's)

Delivery and invoice address: ☐ Home address ☐ Business address

Company			
Contact			Phone
VAT No.			Fax
Street / No.			email
Country	-	Zip/Postal code	City

We guarantee you the right to cancel this order within two weeks. Please mail cancellation to Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim. (In order to comply with these terms, the date on your mailed cancellation must fall within the two week period.



Date / Signature

Prices are net-prices exclusive of VAT but inclusive postage and handling charges. Prices valid until August 31, 2010. Prices are subject to alterations. October 2009