

# 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 Einzellementen 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 Gebäude modelle 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 eingeprägt, 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

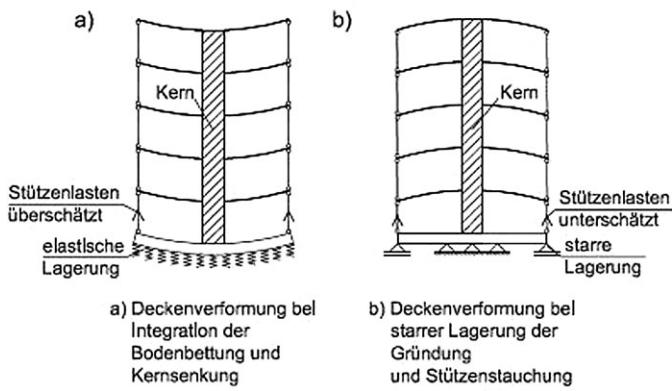


Bild 1. Stützenlasten bei Gesamtmodellen in Abhängigkeit von der Gründungsmodellierung

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 betonierten Deckenplatten baut die aus den Verformungen resultierenden Zwangsschnittgrößen ab. Bei den ganzheitlichen Gebäudemodellen werden die Vertikaltragelemente lediglich elastisch gestaucht, wobei das Maß der Stauchung 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 Lasteinzugsflächen 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 Kellerhäuser 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 Entwurfingenieur eine vorangegangene Lösung des Tragwerkproblems. Ansonsten wer-

# Sie möchten den vollständigen Beitrag lesen?

**Dann fordern Sie Ihre persönliche Ausgabe  
als Probeheft an.** per Fax: +49 (0) 30 47031 240, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.

- Bitte senden Sie als kostenloses Probeheft *Beton- und Stahlbetonbau* Oktober 2009 zu.

- Wir möchten die Zeitschrift *Beton- und Stahlbetonbau* abonnieren.

12 Ausgaben / Jahr	Jahresabonnement	print	399,00 €
		print + online	438,90 €

3 Ausgaben Kurzabonnement print 66,75 € (einmalig)

Bitte liefern Sie ab Ausgabe **Oktober 2009** die Zeitschrift **Beton- und Stahlbetonbau**

- als **Kurzabonnement**, drei Ausgaben als Test. Sollten Sie innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt des dritten Heftes nichts von uns hören, bitten wir um Fortsetzung der Belieferung für ein weiteres Jahr.
- als **Jahresabonnement print**, 12 Ausgaben / Jahr. Die Belieferung kann jederzeit mit einer Frist von drei Monaten zum Ablauf des Bezugszeitraumes schriftlich gestoppt werden. Sollten wir keinen Lieferstopp senden, bitten wir um Fortführung der Belieferung für ein weiteres Jahr.
- als **Jahresabonnement print + online**, 12 Ausgaben / Jahr print inkl. online Zugriff für einen simultanen Nutzer über Wiley InterScience. Die Belieferung kann jederzeit mit einer Frist von drei Monaten zum Ablauf des Bezugszeitraumes schriftlich gestoppt werden. Sollten wir keinen Lieferstopp senden, bitten wir um Fortführung der Belieferung für ein weiteres Jahr. Der Bezugszeitraum der online Version entspricht dem Bezugszeitraum der print Version.

**Bei Bestellung eines print + online-Abonnements werden die früheren Jahrgänge ab Jahrgang 2004 im Online Portal Wiley InterScience kostenfrei freigeschaltet.**



Art des Online-Zugangs  PC-unabhängig  
 IP-Adress-Check (an einem PC / eine PC-Gruppe gebunden)

### Rechnungs- und Lieferanschrift

## privat

## geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner		Telefon	
UST-ID Nr. / VAT-ID No.		Fax	
Straße//Nr.		E-Mail	
Land	-	PLZ	Ort

**Vertrauengarantie:** Dieser Auftrag kann innerhalb zwei Wochen beim Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim, schriftlich widerrufen werden. (Rechtzeitige Absendung genügt.)

4

---

**Datum / Unterschrift**

Alle Preise excl. MwSt. inkl. Versandkosten. Preise gültig bis 31. August 2010. Irrtum und Änderungen vorbehalten.

Stand: Oktober 2009

---

Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG  
Rotherstr. 21, 10245 Berlin, Deutschland  
Tel. +49 (0) 30 47031-200, Fax +49 (0) 30 4731-240, info@ernst-und-sohn.de  
[www.ernst-und-sohn.de](http://www.ernst-und-sohn.de)

**Ernst & Sohn**  
A Wiley Company