

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 116 (1998)
Heft: 26

Artikel: Aus Fehlern lernen: der John Hancock Tower in Boston
Autor: Ortega, Ilías
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79530>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ílías Ortega, St. Gallen

Aus Fehlern lernen

Der John Hancock Tower in Boston

Der vorliegende Bericht über den John Hancock Tower in Boston zeigt beispielhaft auf, welche Rolle einzelne Schadenfälle bei der Entwicklung der Bauwissenschaft und der Baureglemente spielen. Detaillierte Fallstudien einzelner Bauschäden zeigen den entwerfenden Architekten und Ingenieuren auf, welche Fehler zu vermeiden sind, und tragen dazu bei, die Sicherheit von zukünftigen Bauten zu erhöhen. Einzelne Schadenfälle weisen ausserdem auf Lücken in Theorie und Praxis hin und regen damit Innovationen an, die den technischen Fortschritt vorantreiben.

Der sechzig Stockwerke hohe John Hancock Tower in Boston, der im Jahr 1971 fertiggestellt wurde, ist eines der bekanntesten Hochhäuser der 70er Jahre. Dieses Gebäude, das mit dem John Hancock Center in Chicago nicht zu verwechseln ist, gehört zu den bedeutendsten Sehenswürdigkeiten der Stadt Boston und ist mittlerweile ein Meilenstein der modernen Hochhausarchitektur geworden. Zum Zeitpunkt seiner Erstellung war es das zehnthöchste Gebäude der Welt, heutzutage belegt es den 67. Rang. Der Wolkenkratzer wurde vom American Institute of Architecture und der Boston Society of Architects preisgekrönt. Die erheblichen Probleme, die das Gebäude jahrelang nach seiner Entstehung geplagt haben, dürften heute, beinahe dreissig Jahre später, den jüngeren Architekten und Ingenieuren wenig bekannt sein. Die Lösung dieser Probleme ist von besonderem Interesse, weil sie beispielhaft aufzeigt, wie sich Bauwissenschaft und -reglemente entwickeln.

Pathologie

Obwohl der Hancock Tower von erfahrenen Architekten und Ingenieuren entworfen wurde, ist die Liste seiner Mängel lang. Die Pathologie des Gebäudes umfasst vier Bereiche:

- Fundationsprobleme (grosse Verformungen der Wände der Baugrube),
- starke Verformungen und Beschleunigungen des Gebäudes (infolge Windlasten),

- Materialprobleme (gebrochene Scheiben der Glasfassade) und
- Stabilitätsprobleme (Einsturzgefahr des Gebäudes).

Wie Campbell [1] betont, haben die verschiedenen Probleme des Hancock Tower nichts miteinander zu tun, d.h., keines der erwähnten Probleme hat ein anderes ausgelöst.

Leider ist es ausserordentlich schwierig, zuverlässige Angaben über die Schäden dieses Gebäudes zu erhalten. 1981 kam eine gerichtliche Vereinbarung zwischen der John Hancock Company und den mit der Untersuchung der Schäden Beauftragten zustande. Darin verpflichteten sie sich, die Ergebnisse ihrer Untersuchungen «auf Lebenszeit» geheimzuhalten. Alle technischen Berichte, die im Laufe der langjährigen Untersuchungen entstanden waren, wurden versiegelt. Als Quellen für diesen Artikel dienten Campbell [1], Feld/Carper [2] und Levy/Salvadori [3].

Mit dem architektonischen Entwurf des Hochhauses, das die Niederlassung der John Hancock Mutual Life Insurance Company beherbergen sollte, wurde der Architekt Henry N. Cobb des renommierten Architekturbüros I.M. Pei & Partner beauftragt. Für die Ingenieurplanung war das Büro von James Rudermann verantwortlich. Der ursprüngliche Entwurf wurde vom bekannten Ingenieur William J. LeMessurier begutachtet. Insbesondere hatte er zu überprüfen, ob das Gebäude die Anforderungen der damals gültigen Baureglemente erfüllte. Die Struktur des Hancock Tower besteht aus einem herkömmlichen Stahlskelett mit einer aufgehängten Glasfassade.

Der Hancock Tower war von Anfang an ein kontroverses Gebäude. Kritiker bemängelten vor allem seine Abmessungen: Mit seinen 240 Metern Höhe dominiert er die Silhouette der Stadt Boston mit ihren niedrigen Mauerwerkgebäuden. Um diesen Effekt zu mindern, wurde die reflektierende Glasfassade vorgesehen. Aus Rücksicht auf die Umgebung des Gebäudes wurde ein schlanker, asymmetrischer, rhomboidförmiger Grundriss von rund 31 mal 90 m gewählt (Bild 1).

Neue Technologien zur Erhöhung des Brandschutzes, wie z.B. Feuermelder, erlaubten es zum ersten Mal, eine durchgehende Glasfassade zu erstellen. Die doppelt verglasten Scheiben hatten Abmes-

Die Publikation dieses Artikels wurde von der Forschungskommission der Universität St. Gallen gefördert.

sungen von $1,35 \times 3,45$ m und wogen rund 220 kg. Beide Gläser einer Scheibe wurden durch Trennelemente aus Blei auseinandergelassen. Die äussere Glasscheibe wurde auf der Innenseite mit einer reflektierenden Silberschicht überzogen. Doppelt verglaste Scheiben wurden schon seit langem für Gebäudefassaden verwendet, und reflektierende Gläser waren im Hochhausbau seit etwa zehn Jahren bekannt. Die Kombination der beiden bekannten Technologien, Doppelverglasung und Beschichtung mit reflektierenden Materialien, war hingegen etwas Neues.

Fundation

Die Probleme des Hancock Tower begannen bald nach dem Baubeginn (1968) beim Aushub der Fundation. Starke Verformungen der Baugrubenwände führten zu Setzungen von bis zu 90 cm und zu Schäden der Kanalisation in den benachbarten Strassen. Dabei wurde vor allem die angrenzende Trinity-Kirche beschädigt. Die John Hancock Company war während 17 Jahren in Gerichtsverhandlungen mit der Trinity-Kirche verwickelt. Schliesslich musste sie letztere mit einem siebenstelligen Dollarbetrag entschädigen. Die Auseinandersetzungen wegen der Schäden am Copley Plaza Hotel «löste» die John Hancock Company mit dem Kauf des Hotels.

Glasfassade: Problem

Ende 1972 und Anfang 1973, ein Jahr nach der Erstellung des Gebäudes, begannen einzelne Glasscheiben zu brechen und auf die Strasse zu fallen. Ungefähr ein Drittel der 10 344 Glasscheiben wurden vorsichtshalber durch Sperrholzplatten ersetzt (Bild 2). Das Gebäude wurde durch die angebrachten Holzplatten derart verunstaltet, dass es spöttisch der «Sperrholzpalast» und das «höchste Holzgebäude der

1
Schematische Abbildung des Grundrisses des Hancock Towers (in Anlehnung an Levy/Salvadori, Why buildings fall down, W.W. Norton & Company, New York 1994, S. 200)



Welt» genannt wurde. Um die Probleme der Gebäudefassade zu durchleuchten, führte die Firma Hanson, Holley & Biggs der gleichnamigen MIT-Professoren eine Studie durch.

Schwingungen

Um das Verformungsverhalten des Gebäudes zu untersuchen, wurde es mit Messinstrumenten versehen. Die gemessenen Verformungen und Beschleunigungen des Gebäudes waren, wie befürchtet, gross, bedeuteten jedoch für das Gebäude selbst keine Gefahr. Die Verformungen und vor allem Beschleunigungen des Gebäudes wurden für die zukünftigen Benutzer als unangenehm eingestuft. Schon bei gewöhnlichen Windgeschwindigkeiten begann sich das Gebäude nicht nur nach vorne und nach hinten zu bewegen, sondern vollzog torsionsbedingte Drehungen. Weil die Resonanzfrequenzen für Biegung und Torsion des Gebäudes so nah beieinander lagen, schaukelten sich beide Effekte gegenseitig auf. Das Dämpfungsverhalten der Gebäudestruktur erwies sich als ungenügend.

Um die Resonanzgefahr abzuwehren, bestanden zwei Möglichkeiten: Das Gebäude durch konstruktive Massnahmen auszusteifen oder Dämpfer einzubauen. Der Ingenieur LeMessurier schlug ein innovatives Dämpfungssystem («dynamic tuned mass damper») vor. Das von ihm entworfene, drei Millionen Dollar teure System besteht aus zwei 300 t schweren Bleimassen, die sich am 58. Stockwerk des Gebäudes befinden (Bild 3). Beide Massen können unabhängig voneinander auf geschmierten Stahlschienen gleiten. Die Massen sind durch Federn und Stossdämpfer mit den Gebäudewänden verbunden. Gleichgerichtetes Bewegen der Massen hilft die Biegungsschwingungen zu absorbieren; durch entgegengesetztes Verschieben der Bleimassen ist es möglich, die Torsionsschwingungen zu dämpfen.

Ein ähnliches Dämpfungssystem befindet sich auf dem Citicorp Center in New York. Dieses System wurde ebenfalls von LeMessurier nachträglich in das Gebäude eingebaut, um es gegen Windlasten auszusteifen [4]. Die Sicherheit und Wirksamkeit von «dynamic tuned mass damper»-Systemen ist unter Fachleuten jedoch umstritten. Einzelne Experten bevorzugen konstruktive Massnahmen wie z.B. Aussteifungen durch Stahlfachwerke.

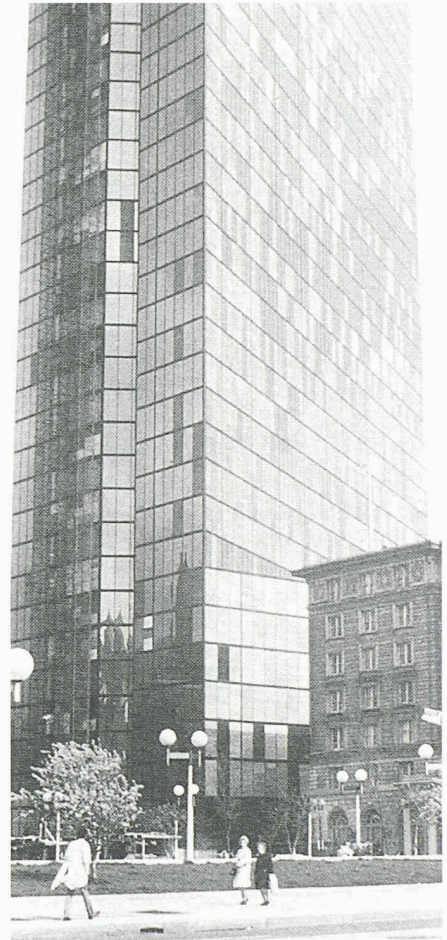
Glasfassade: Lösung

Nach einer Vielzahl von Versuchen an einzelnen Glasscheiben war es möglich, die Ursache für das Brechen der Glasscheiben zu ermitteln. Die Versuche umfassten neben Untersuchungen am Ge-

bäude selbst Simulationen im Labor und Experimente im Windkanal. Es stellte sich heraus, dass die Verbindung zwischen der auf das Glas aufgetragenen Silberschicht und den angelöteten Trennungselementen aus Blei beinahe starr war (Bild 4). Die Verformung der Glasscheiben infolge Temperaturschwankungen und Windlasten förderte das Wachstum von Mikrorissen auf den Lötstellen (Windkräfte auf Fassaden von Hochhäusern bewirken Tausende von Zyklen pro Tag). Von dort aus wurden dann die Risse auf das benachbarte Glas übertragen, was zum Bruch der Scheiben führte. Mit einem Aufwand von etwa sieben Millionen Dollar wurden sämtliche Glasscheiben des Hancock Tower ersetzt; die Kosten wurden vom Glashersteller übernommen. Die neuen Glasscheiben bestanden nicht mehr aus zwei, sondern nur aus einer Glasplatte. Später stellte sich heraus, dass doppelt verglaste Scheiben desselben Herstellers bei anderen, weniger bedeutenden Gebäuden ähnliche Mängel aufwiesen.

Einsturzgefahr: Problem

Um sicherzustellen, dass die strukturelle Integrität des Hancock Tower keineswegs gefährdet ist, beauftragte H.N. Cobb Prof. Bruno Thürlimann von der ETH Zürich mit einer unabhängigen Begutachtung des Gebäudes hinsichtlich seines Trag- und Bruchverhaltens. Prof. A. Davenport von der University of Western Ontario untersuchte im Auftrag von Thürlimann die massgebenden Windkräfte. Thürlimann stellte fest, dass die Verformung des Gebäudes in Querrichtung für die strukturelle Integrität des Gebäudes unbedenklich war. Aus Gründen der Vollständigkeit entschloss er sich, das Gebäudeverhalten in Längsrichtung zu untersuchen. Seine Analyse ergab ein überraschendes Ergebnis: Bei Berücksichtigung der Einflüsse zweiter Ordnung wies die Gebäudestruktur einen ungenügenden Widerstand (d.h. ungenügende Stabilität) aus. Das bedeutet, dass das Gebäude in Längs- statt in Querrichtung hätte einstürzen können. Analysen zweiter Ordnung untersuchen den Widerstand von Strukturen unter Berücksichtigung der tatsächlich auftretenden Verformungen (Bild 5). Dabei wird vorausgesetzt, dass die Verformung eines Stabs nicht mehr als 1% seiner Länge beträgt. Thürlimann fand heraus, dass beim Entwurf des Hancock Tower zwei grundlegende Fehler gemacht worden waren: Erstens wurde für die Untersuchung der Gebäudestruktur ein falsches statisches Modell benutzt, und zweitens wurden keine Analysen zweiter Ordnung durchgeführt. Nachträgliche Analysen zweiter Ordnung mit einem korrekten Ge-

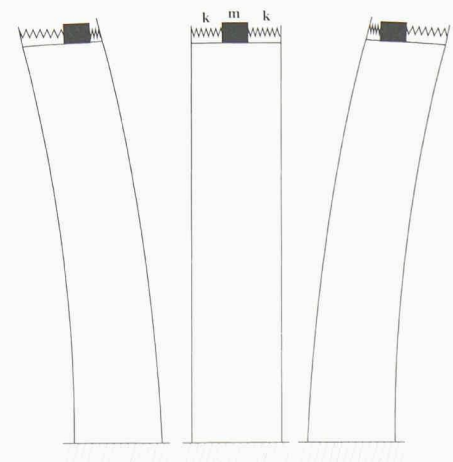


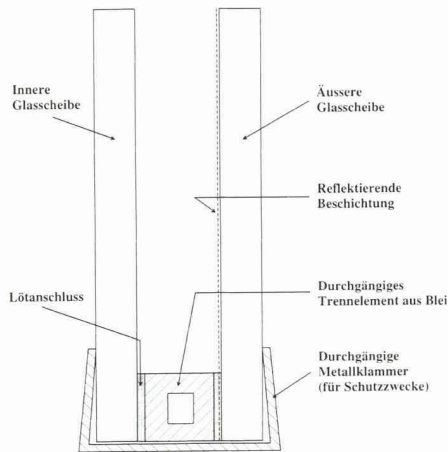
2

Beschädigte Fassade des Hancock Tower. Zerbrochene Glasscheiben wurden durch Sperrholzplatten ersetzt (entnommen aus «Construction Failure», J. Feld/K.L. Carper, Copyright © 1997 John Wiley & Sons, Inc. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags John Wiley & Sons, Inc. Alle Rechte vorbehalten)

3

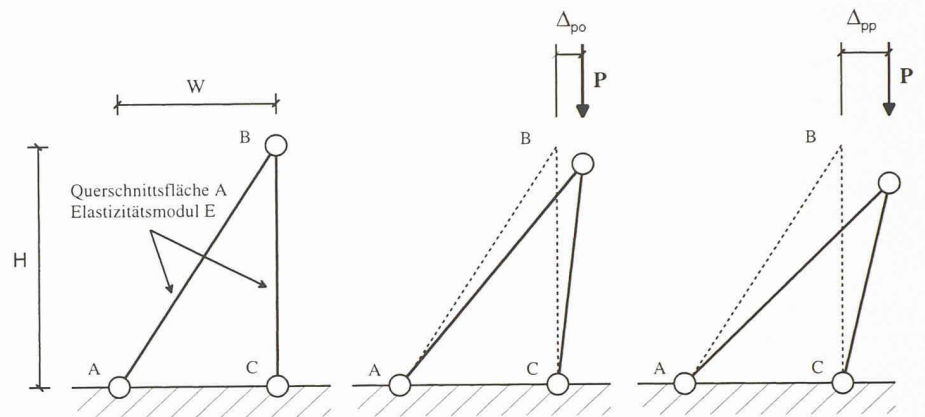
Schematische Abbildung der Funktionsweise eines Gebäudes mit einem «dynamisch gestimmten Massendämpfer» der Masse m mit zwei Federn der Federkonstante k (in Anlehnung an Levy/Salvadori, Why buildings fall down, W.W. Norton & Company, New York 1994, S. 273)





4

Vermuteter Aufbau einer doppelt verglasten Scheibe (In Anlehnung an: Learning from the Hancock, [1])



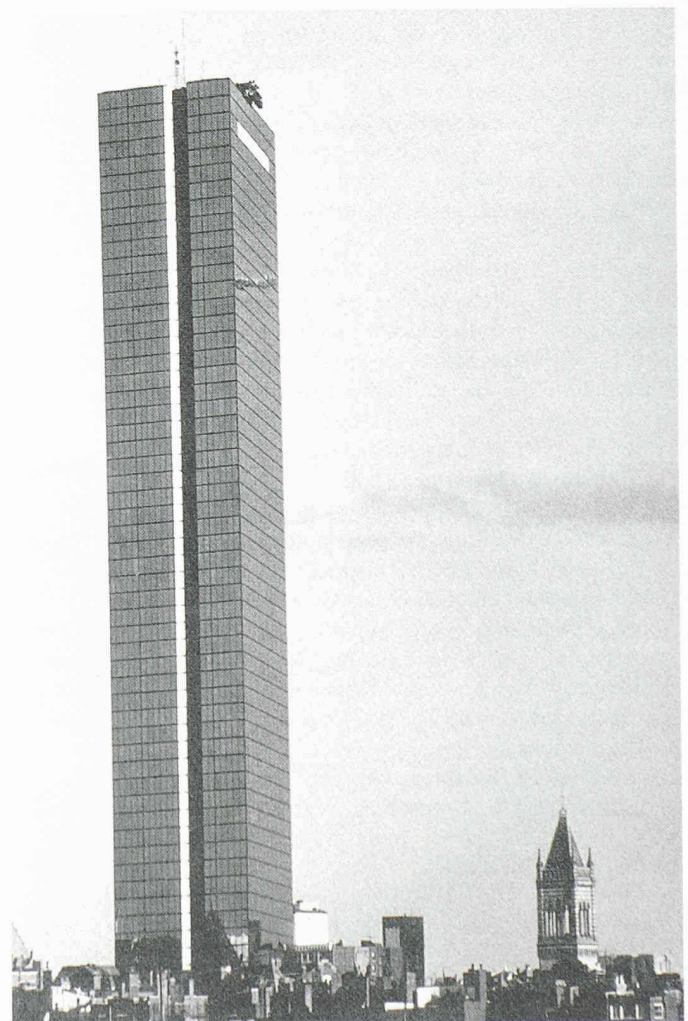
5

Effekte zweiter Ordnung an einer einfachen, mit der Kraft P belasteten Stahlstruktur ABC. Infolge Verkürzung des Stabs BC ergeben bereits Berechnungen erster Ordnung eine seitliche Verschiebung von B um $\Delta_{po} = PH^2/WAE$ (In bewusster Anlehnung an: A practical method of second order analysis, Part 1 - Pin jointed systems, [5])

bäudemodell ergaben einen ungenügenden Widerstand in Längsrichtung.

Hier muss unterstrichen werden, dass der Hancock Tower sämtliche damals gültigen und für das Gebäude relevanten Baureglements erfüllte. Die damaligen Baureglements berücksichtigten jedoch die Effekte zweiter Ordnung bei komplexen Tragssystemen ungenügend. Aus diesem Grund bestand unter der Einwirkung von bestimmten Windlasten Einsturzgefahr. Die Wirkung der Effekte zweiter Ordnung wurde durch die ungewöhnliche Länge des Gebäudes verstärkt (der asymmetrische Grundriss des Gebäudes hatte keinen Einfluss darauf). Als Folge der Wirkung des Massstabs nehmen die Effekte zweiter Ordnung mit wachsender Gebäudelänge geometrisch überproportional zu [5]. Als Beispiel für die Wirkung des Massstabs hat D'Arcy Wentworth Thompson darauf aufmerksam gemacht, dass von zwei geometrisch ähnlichen Brücken die grössere die Schwächere ist, und zwar im Verhältnis ihrer linearen Dimensionen [6]. Fritz Stüssi hat die Wirkung des Massstabs im Ingenieurwesen folgendermassen zum Ausdruck gebracht: «Für jede Tragwerksform existiert bei gegebener Baustoffart eine bestimmte Grenze der Spannweite, bei der das Tragwerk unter Einhaltung der zulässigen Beanspruchungen gerade noch sein eigenes Gewicht zu tragen vermag.» [7]

Das Beispiel des Hancock Tower weist darauf hin, dass bei aussergewöhnlichen Bauwerken neue Arten des Versagens, die bei herkömmlichen Bauwerken nicht massgebend sind, auftreten können. Entwürfe, deren geometrische Dimensionen oder andere Eigenschaften sich ausserhalb des Bereichs des Herkömmlichen befinden, können sich unerwartet verhalten



6

Der Hancock Tower im heutigen Zustand: Ein klares, minimalistisches und skulpturales Gebäude (entnommen aus «Construction Failure», J. Feld/K.L. Carper, Copyright © 1997 John Wiley & Sons, Inc. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags John Wiley & Sons, Inc. Alle Rechte vorbehalten)

Schaden	Ursache	Lösung	Auswirkung auf Bauwissenschaft	Auswirkung auf Baureglemente
Grosse Setzungen der benachbarten Gebäude	Grosse Verformungen der Baugrubenwände	An dieser Stelle nicht näher behandelt	-	-
Gebrochene Glasscheiben	Produktfehler: Ermüdungsbruch	Ersatz aller doppelverglaste durch einfach verglaste Scheiben	Verbesserte Verfahren zur Untersuchung von Kräften auf Gebäudefassaden	-
Grosse Verformungen und Beschleunigungen des Gebäudes in Querrichtung (für zukünftige Benutzer unangenehm)	Unterschätzte Windbelastungen, ungenügende Steifigkeit des Gebäudes in Querrichtung Resonanzfrequenzen von Biegung und Torsion nahe beieinander	Dynamisch gestimmter Massendämpfer	Verbesserte Verfahren zur theoretischen und experimentellen Untersuchung von Windkräften	Erhöhung der Windbelastungen
Einsturzgefahr in Längsrichtung	Vernachlässigung der Effekte zweiter Ordnung	Konstruktive Aussteifung des Gebäudes in Längsrichtung	Verfeinerte Berechnungsverfahren zur Analyse von Hochbauten	Berücksichtigung der Effekte zweiter Ordnung, Erhöhung der Windbelastungen

7

Pathologie des Hancock Tower: Art der Schäden, Ursache, Lösung und Auswirkung auf Bauwissenschaft und -reglemente



8

Onterie Center, Chicago (Ingenieur: F. Khan, Architekt: B. Graham, 58 Stockwerke). Die Herausforderung, das Gebäude gegen Windlasten auszusteifen, wurde hier mit innovativen Fachwerkdiazagonalen gelöst. Solche Fachwerkdiazagonalen sind nicht nur wirtschaftlich, sondern bilden auch die Grundlage für ein neues architektonisches Vokabular (Bild: I. Ortega)

und neue oder überraschende Versagensmechanismen aufzeigen.

Einsturzgefahr: Lösung

Thürlimann erarbeitete ein Konzept, um das einsturzgefährdete Gebäude zu verstärken. Er entwarf eine 1500 t schwere, aus Stahlfachwerken bestehende Struktur, die glücklicherweise ohne grosse Behinderungen in den Liftschächten montiert werden konnte. Die Verstärkung, welche die Steifigkeit in Längsrichtung verdoppelte, kostete rund fünf Millionen Dollar. Es ist zu befürchten, dass weitere Gebäude, die vor dem Hancock Tower gebaut wurden, durch Effekte zweiter Ordnung gefährdet sind. Wären die Scheiben des John Hancock Tower nicht gebrochen, hätte man womöglich die weiteren, viel gravierenderen Probleme der Tragstruktur dieses Gebäudes erst zu spät festgestellt.

Die Reparaturarbeiten haben die Baukosten des Hancock Tower in die Höhe von etwa 150 Millionen Dollar getrieben. Dies ist das Doppelte der 1968 bei Baubeginn geplanten Kosten. Nach einer Verzögerung von fünf Jahren zogen endlich die Mieter in das Gebäude ein (Bild 6).

Lehren

Das Ingenieurbüro von Ruderman spielte eine geringe Rolle bei der Lösung der Probleme des Hancock Tower. Einige Jahre nach den Schwierigkeiten des Hancock Tower ging das Ingenieurbüro, das bereits eine grosse Anzahl Wolkenkratzer entworfen hatte, unter H.N. Cobb wurde für seine späteren Entwürfe weltweit anerkannt und Leiter der Architekturabteilung der Harvard Universität. 1990 erhielt er den Ehrendokortitel der ETH Zürich. LeMessurier hat die Krise des Hancock Tower ebenfalls schadlos überstanden und hat trotz der Schwierigkeiten des Citicorp Centers (in New York) weitere bedeutende Bauwerke entworfen.

Die Kosten, welche die Probleme des Hancock Tower verursachten, waren enorm. Die Lehren, die daraus gezogen wurden, sind dagegen unbezahlbar. Während der Untersuchungen am Hancock Tower stellte sich heraus, dass die Windlasten des Baureglements von Boston rund halb so hoch waren wie die von New York, was zu einer Anpassung der entsprechenden Baureglemente führte. Im Gegensatz zu den älteren Baureglementen berücksichtigen die heutigen ungleichmässige, schwankende Windkräfte. Die Schäden des Hancock Tower gaben den Anstoss für Verfeinerungen bei der Simulation von Windlasten in Windkanalversuchen. Unter anderem konnte gezeigt wer-

den, dass die grösste Windkraft auf Strassenniveau und nicht im höchsten Gebäudeteil auftreten kann. Nach dem Gutachten von Thürlimann fanden später die Effekte zweiter Ordnung Eingang in die amerikanischen Baureglemente.

Bild 7 zeigt die Schäden des Hancock Tower und ihre Auswirkungen auf Bauwissenschaft und Baureglemente.

Schlussfolgerungen

Systematische Methoden zum Vermeiden von Fehlern, vom Entwurf bis zur Ausführung, sind heute bereits vorhanden [8]. Ein Beispiel dazu ist der Einbau von Kontrollpunkten während des Entwurfsprozesses [9]. Sie sollen dazu dienen, die Plausibilität der benutzten Daten zu gewährleisten.

Die wissenschaftliche Untersuchung von Bauschäden wird am besten von unabhängigen, staatlichen Einrichtungen wie Hochschulen und Materialprüfungsanstalten durchgeführt. Die Verbreitung der aus solchen Untersuchungen gezogenen Lehren sollte möglichst schnell geschehen. Die Daten aus Bauschäden sind idealerweise in elektronischen Datenbanken systematisch zu organisieren und allen Interessierten für Analysen zur Verfügung zu stellen. Das Ziel, in der Schweiz eine solche Datenbank einzurichten, wurde jedoch noch nicht erreicht.

Weil die unbekanntesten Versagensmechanismen vieler neuartiger Konstruktionen nicht von Computern simuliert werden können, sind in einigen Fällen Modellversuche angezeigt. Die staatliche Förderung von experimenteller Forschung bei Hochschulen und Materialprüfungsan-

stalten kann deshalb wesentlich dazu beitragen, die Innovationsfähigkeit im Ingenieurwesen zu fördern und die Sicherheit der bestehenden und zukünftigen baulichen Infrastruktur zu erhöhen.

Die Wirkung des Massstabs, die ein Teil der Probleme des Hancock Tower verursacht, kann zum Entwurf innovativer Bauwerke herangezogen werden. Der Ingenieur Fazlur Khan erarbeitete das Konzept des Denkens in Gesamtsystemen für den Entwurf [10]. Gemäss dieser Entwurfsphilosophie existiert für jede Gebäudehöhe ein optimales strukturelles System. Massgebend für den Entwurf ist dabei die Auswahl des Systems und nicht die Optimierung der Untersysteme oder Elemente desselben (Bild 7).

Anliegen dieses Beitrags war es, an einem konkreten Beispiel aufzuzeigen, wie Bauschäden den wissenschaftlichen Fortschritt vorantreiben. Wie hier dargelegt wurde, regt die wissenschaftliche Auswertung von Bauschäden Innovationen an und leistet einen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit von bestehenden und zukünftigen Entwürfen. Das Beispiel des Hancock Tower hat auch gezeigt, wie ein einziger Schadensfall einen Paradigmenwechsel im Ingenieurwesen auslösen kann: die Berücksichtigung von Effekten zweiter Ordnung in den amerikanischen Baureglementen. Technischer Fortschritt entsteht nicht, wie oft vermutet wird, kontinuierlich, sondern in Form von Innovationsschüben, die in einigen Fällen durch Rückschläge ausgelöst werden.

Adresse des Verfassers:

Iliás Ortega, dipl. Bauing. ETH, lic. oec. HSG, Institut für Technologiemanagement, Abteilung für Innovation, Universität St.Gallen, Unterstrasse 22, 9000 St. Gallen, ilias.ortega@unisg.ch

Literatur

- [1] *Campbell R.*: Learning from the Hancock. In «Architecture», official magazine of the American Institute of Architects. März 1988, S. 68-75
 «The Boston Globe»: It was a tower of tribulation: how a Swiss engineer may have saved the Hancock building from toppling, 9.4.1988
 «The Boston Globe»: A true tall tale about the Hancock tower: builder faced bigger crisis than falling windows, 3.3.1995
- [2] *Feld J., Carper K.*: Construction Failure. John Wiley & Sons: New York 1997, S. 386
- [3] *Levy M., Salvadori M.*: Why Buildings Fall Down. W.W. Norton & Company: New York 1992, S. 197-205
- [4] *Morgenstern J.*: The fifty-nine story crisis. «The New Yorker», 29.5.1995, S. 45-53
- [5] *LeMessurier W.J.*: A practical method of second order analysis, Part 2 - Rigid frames. «Engineering Journal / American Institute of Steel Construction», second quarter 1977, S. 65. Siehe auch: *LeMessurier, W.J.*: A practical method of second order analysis, Part 1 - Pin jointed systems. «Engineering Journal / American Institute of Steel Construction», fourth quarter 1976, S. 89-96
- [6] *Wentworth Thompson D.*: On Growth and Form. Cambridge University Press, Cambridge 1995, S. 18
- [7] *Stüssi E., Dubas P.*: Grundlagen des Stahlbaus. Springer, Berlin 1971, S. 1
- [8] *Matousek M.*: Massnahmen gegen Fehler im Bauprozess. IBK-Bericht 124, Birkhäuser, Basel 1982
- [9] *Matousek M., Schneider J.*: Gewährleistung der Sicherheit von Bauwerken - Ein alle Bereiche des Bauprozesses erfassendes Konzept. IBK-Bericht 140, Birkhäuser, Basel 1983, S. 44-46
- [10] *Iyengar H.*: Structural and Steel Systems. «Technique and Aesthetics in the Design of Tall Buildings»: Fazlur Khan Memorial Session. Institute for the Study of the High-Rise Habitat, Lehigh University, Bethlehem, PA. 1986, S. 57