

Baupraktische Robustheitsuntersuchungen für die Tragwerksplanung auf Basis von Risikoanalysen (BAU-Robust)

1. Ausgangssituation

Ausgelöst durch folgenschwere Einstürze von zivilen Bauwerken infolge von Terroranschlägen, Naturkatastrophen oder Fehlern in Planung und Ausführung ist in der breiteren wie auch in der Fach-Öffentlichkeit eine Diskussion um die Robustheit von Tragwerken entstanden. Als Konsequenz haben Robustheitsuntersuchungen und Qualitätssicherung als ergänzendes Element der Tragwerksplanung an Bedeutung gewonnen; durch die bauaufsichtliche Einführung der DIN EN 1991-1-7 zum 01.07.2012 wird der Nachweis einer ausreichenden Robustheit von Gebäuden für außergewöhnliche Bemessungssituationen verbindlich. Ein expliziter Robustheitsnachweis ist für Bauwerke der Versagensfolgeklassen 2b und 3 zu führen, wozu Bauwerke mit einer Höhe größer als 22 m, Verkaufsstätten mit Flächen größer 2000 m², öffentlich zugängliche Gebäude mit großen Menschenansammlungen sowie Gebäude zur Lagerung von explosiven Stoffen gehören. Auf der anderen Seite hat die Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Sicherheit von Bauwerken auch für einen bedeutenden Stimulus im Bereich der Robustheitsforschung gesorgt. Wesentliche Fortschritte wurden hierbei im Bereich der Qualitätssicherung [1], der Methode der alternativen Lastpfade [2] und die Berücksichtigung der Resttragfähigkeit beschädigter Bauteile erreicht [3], [4]. Der Transfer dieser neuen Erkenntnisse zur Lösung der neuen Herausforderungen in der Praxis ist bisher jedoch nur sehr eingeschränkt erfolgt und auf Einzelbauteile beschränkt [5], [6], so dass Tragwerksplanern bisher keine geeigneten Werkzeuge für systematische, fundierte und wirtschaftliche Robustheitsuntersuchungen zur Verfügung stehen. Somit besteht dringender Handlungsbedarf, um eine Umsetzung der DIN EN 1991-1-7 in der Praxis sicherzustellen und damit die angestrebten Schutzziele von Seiten des Staates unter Berücksichtigung des vorhandenen Risikos zu erreichen.

2. Zielsetzung

Ziel dieses Forschungsprojektes ist die Entwicklung und Erprobung eines Softwarewerkzeuges, welches systematisch und wirtschaftlich Robustheitsuntersuchungen von Bauwerken ermöglicht. Hierzu werden innovative Methoden aus der Qualitätssicherung zur Risikoanalyse, der Robustheitsuntersuchung und der Resttragfähigkeitsbeurteilungen von geschädigten Bauteilen kombiniert. Die Software ist als an kommerzielle Finite-Elemente-Programme adaptierbares Modul geplant, welches durch standardisierte Schnittstellen für alle Anbieter offen ist. Die Anwendung des Softwarewerkzeuges wird exemplarisch an praxisnahen Beispielprojekten erprobt und durch fundierte Vergleichsberechnungen anhand von Schadensfällen validiert.

3. Umsetzung

In dem Software-Modul sollen folgende Methoden aufbereitet und somit der Praxis für Robustheitsuntersuchungen zugänglich gemacht werden: (i) Risikoanalysen mittels FMEA und FTA/ETA, (ii) Bereitstellung alternativer Lastpfade und (iii) die Ausnutzung von Resttragfähigkeit.

(i) Die FMEA sowie FTA sind weitverbreitete Methoden der präventiven risikobezogenen Qualitätssicherung aus dem Maschinenbau. In [1] wurde dieses Konzept für die spezifischen Anforderungen im Bauwesen weiterentwickelt und in eine computerunterstützte Arbeitsumgebung für Planer zur Durchführung einer Tragwerk-FMEA umgesetzt. Die Tragwerk-FMEA erlaubt dem Planer, Versagensfolgen von lokalen Bauteilschwächungen über Einflussfunktionen abzuschätzen und das Risiko dieser qualitativ zu bewerten. Sie ist zugeschnitten auf die Anwendung in den frühen Planungsphasen, da hier die wesentlichen Entscheidungen über das Tragwerk hinsichtlich seiner

Robustheit getroffen werden. Die Fehlerbaumanalyse bzw. Ereignisbaumanalyse (FTA/ETA) kann dann im Anschluss angewandt werden, um Versagenswahrscheinlichkeiten in Folge einer Bauwerksschwächung zu quantifizieren.

(ii) Ein allgemein in der Fachwelt anerkanntes Konzept zur Untersuchung und Sicherstellung der Robustheit von Tragwerken ist die Methode der alternativen Lastpfade. Die Methode geht vom Ausfall einzelner Bauteile unter der außergewöhnlichen Last aus, wobei nachzuweisen ist, dass die vorhandenen statischen Lasten auf die umliegende unbeschädigte Tragstruktur umgelagert werden können und es dabei nicht zu einem Gesamt- oder Teilversagen des Gebäudes kommt. Die plötzliche Lastumlagerung wird durch einen dynamischen Lastfaktor in der statischen Berechnung berücksichtigt. Dieses Vorgehen kann entweder systematisch für jedes Bauteil unabhängig vom auslösenden Ereignis erfolgen oder gezielt für ein identifiziertes Gefährdungsszenario durchgeführt werden.

(iii) Bauteile, die einer außergewöhnlichen Last ausgesetzt waren, können trotz starker plastischer Verformung eine erhebliche Resttragfähigkeit besitzen. Dies kann in Robustheitsuntersuchungen ausgenutzt werden, in dem das geschädigte Bauteil - gegebenenfalls mit einer reduzierten Steifigkeit und Tragfähigkeit - in der globalen Standsicherheitsuntersuchung des Gebäudes berücksichtigt wird, um somit realistischere und wirtschaftlichere Ergebnisse zu erreichen. Hierzu sind die Lasten für spezifische relevante Gefährdungsszenarien zu bestimmen, die Schädigung des Bauteils infolge der Einwirkung zu ermitteln und daraus die Resttragfähigkeit des Bauteils abzuleiten. Ist die Schädigung des Bauteils so stark, dass es keine Last mehr aufnehmen kann, muss der Nachweis mit der Methode der alternativen Lastpfade erfolgen.

In dem Softwarewerkzeug sollen die Risikoanalyse und die beiden Nachweiskonzepte integriert werden. Hierzu ist zum einen ein Katalog von Gefährdungsszenarien und Fehlermöglichkeiten mit ihren Wahrscheinlichkeiten und zum anderen eine Modellbibliothek mit Verhaltensmodellen von elementaren Teilen des Tragwerks zu erstellen. Die Schädigung einzelner Bauteile wird separat auf Basis eines nichtlinearen Einmassenschwingers berechnet. Hieraus wird ein Verhaltensmodell des Gesamtsystems für verschiedene Szenarien automatisch generiert und analysiert.

4. Partner

Forschung und Entwicklung:

Prof. Dr.-Ing. M. Feldmann, Institut für Stahlbau, RWTH Aachen
Prof. Dr. P. Struss, Computer Science Department IX, TU München
Dr.-Ing. M. Eisfeld, Eisfeld Ingenieure Kassel

Beteiligte Büros:

WTM Engineers Hamburg
Werner Sobek Frankfurt
EHS-Ingenieure Lohfelden

Beteiligte Softwarefirmen:

SOFISTiK Oberschleißheim
Dlubal Tiefenbach
Frilo Stuttgart

5. Projektumfang

74 Mannmonate bei einer Laufzeit von 26 Monaten

Anvisierter Beginn 01.01.2012

6. Referenzen

- [1] www.tragwerk-fmea.de
- [2] ROBUSTNESS - Robust Structures by Joint Ductility, RFCS-Projekt, 2004-2007
- [3] COSIMB – Composite structures against impact and blast loads, RFCS-Projekt, 2004-2007
- [4] ADBLAST – Advanced design methods for steel structures against blast loads, RFCS-Projekt, 2010-2013
- [5] UFC 3-340-02, Structures to resist the effects of accidental explosions, 2008
- [6] PDC TR-06-01, Methodology for the single degree of freedom blast effects design, spreadsheets, US Army, 2008