

# Ultrahochleistungsbeton

## Mehr Sicherheit für Bauwerke



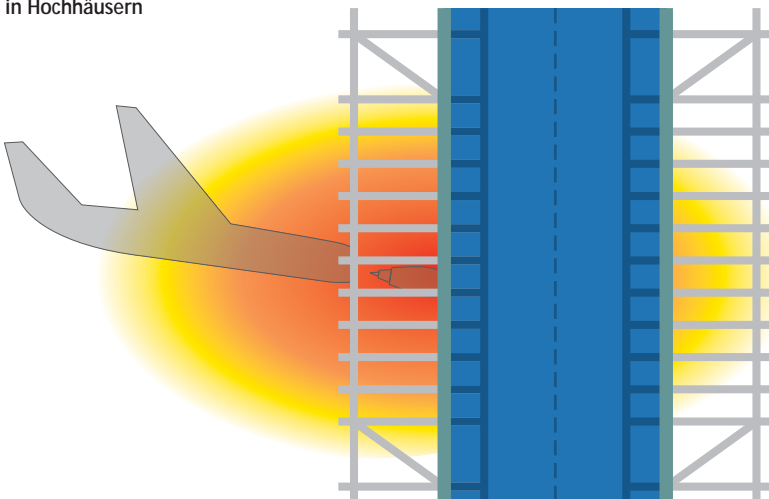
Dipl.-Ing. Markus Nöldgen studierte an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule in Aachen Bauingenieurwesen, Studienschwerpunkt: Konstruktiver Ingenieurbau. Seit 2000 arbeitet er bei Schübler-Plan Düsseldorf im **Bereich Hochbau**.

Die Sicherheitsbetrachtung von Hoch- und Ingenieurbauwerken gegenüber außergewöhnlichen Beanspruchungen beschränkt sich derzeit im Regelfall auf extreme Wind- und Erdbebenbelastungen sowie dynamische Stoßvorgänge bei Fahrzeug- und Schiffsanprall. Die Beurteilung von Terrorgefahren und deren Auswirkungen auf Bauwerke wird oft als abwegiges oder gar physikalisch wie ökonomisch nicht kalkulierbares Szenario angesehen.

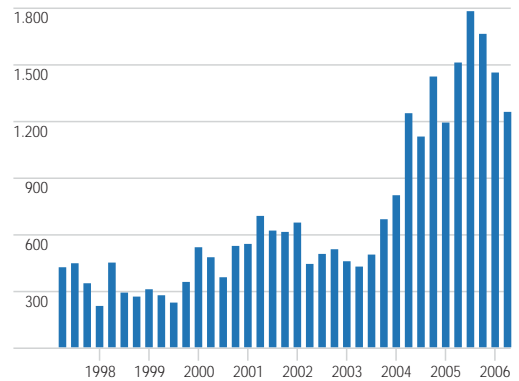
Das Risiko von Terroranschlägen steigt derzeit weltweit auch in den vermeintlich sicheren Industrienationen an (Terror Event Database, EMI). Als kritische Infrastrukturen gelten neben in- und ausländischen Regierungsgebäuden und -einrichtungen zunehmend auch privatwirtschaftliche Bauwerke mit exponierter Bedeutung und Lage sowie hochfrequentierte Verkehrsknotenpunkte. Kontrollen und Überwachungseinrichtungen sind zwar unverzichtbare Bestandteile der Sicherheitsausstattung kritischer Infrastrukturen, bieten allerdings als rein präventive Maßnahmen im konkreten Fall eines Anschlags keinen Schutz für Personen und hochsensible Einrichtungen.

Der bauliche Schutz führt hingegen zu einer systemimmanenten Sicherheit und ist durchaus kalkulierbar und effizient einsetzbar. Neben einer frühzeitigen Erörterung und Einstufung der Gefahrenpotentiale mit dem Bauherren ist vor allem eine adäquate Konstruktion und Materialwahl von zentraler Bedeutung. Weiterhin können durch eine interdisziplinäre Planung Gefahrenpotentiale minimiert oder gar vermieden werden.

Sicherheitskern aus UHPC für Flucht- und Rettungswege in Hochhäusern

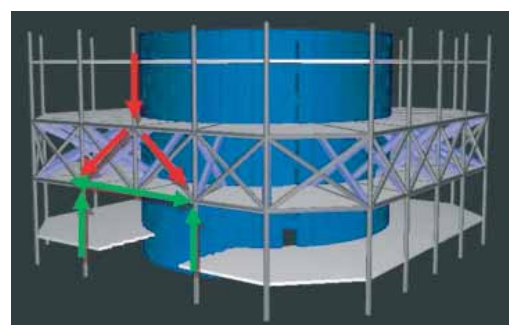


Anzahl von Terroranschlägen weltweit  
Terror Event Database (EMI)



Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik (Ernst-Mach-Institut) in Freiburg und der Universität Kassel betreibt Schübler-Plan seit dem Jahr 2007 ein Forschungsprogramm zu Schutzbauteilen aus Ultrahochleistungsbeton (engl. Ultra High Performance Concrete, UHPC) für Hochhäuser. Dabei stehen die Eigenschaften und Potentiale des Hochleistungswerkstoffes und deren Anwendbarkeit für das Tragwerk und den baulichen Schutz im Vordergrund.

(oben) UHPC Kern als brand-, explosions- und anprallresistente Umschließung von Flucht- und Rettungswegen, (unten) dezentral verteilte Outriggerfachwerke zur Kompensation von Stützenausfall und dynamischen Trümmerlasten



UHPC ist ein Hochleistungsbaustoff, der durch die Reduzierung der Hohlräume in der Matrix ein wesentlich kompakteres Gefüge als herkömmlicher Stahlbeton erreicht. Hierbei werden nanoskalige reaktive Füllstoffe, wie z.B. Silikastaube verwendet.

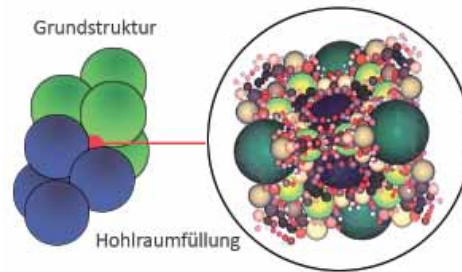
Mit sogenannten „Superverflüssigern“ kann ein konventionell einsetzbarer fließfähiger Beton mit extrem niedrigem W/Z-Wert von  $\sim 0,20$  hergestellt werden. Die Optimierung der Kornformen und die Verwendung von hochfesten Zuschlägen (Basalt, Granit) führen schließlich zu einer

- sehr hohen Druckfestigkeit von 150–230 MN/m<sup>2</sup>
- sehr hohen Gefüge- und Diffusionsdichtheit

Der relativ spröde Baustoff wird durch die Zugabe von Stahlfasern duktil und erhält ein prognostizierbares Versagensverhalten und damit einhergehend eine sichere Dimensionierbarkeit. Der Baustoff ist mit der Zugabe von Polypropylenfasern zudem brandwiderstandsfähig.

Die günstige Kombination von hoher Druckfestigkeit, Zugfestigkeit und Duktilität im Zusammenspiel mit den Stahlfasern und der Bewehrung bildet die Grundlage für eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Schockwellen, die durch Explosionen und Stöße ausgelöst werden und gleichzeitig das Potential einer hohen Energiedissipationsfähigkeit und der damit verbundenen Minimierung der Materialschädigung. Die Aufgabenstellungen der Forschungsarbeit reichen von der Materialcharakterisierung des UHPC bei hohen Dehnraten mittels versuchstechnisch gewonnener Materialdaten am Hopkinson-Bar, bis hin zur Berechnung kompletter Bauteile mit expliziten finiten Differenzenverfahren.

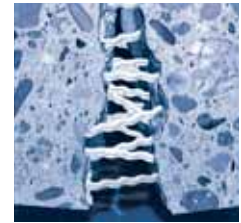
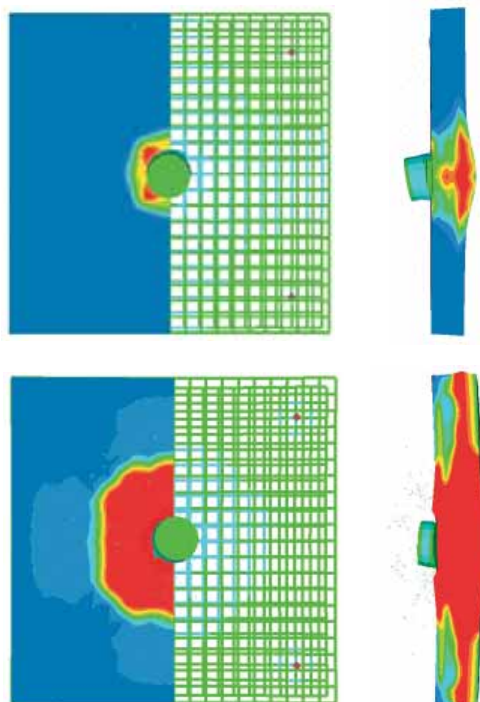
Die numerische Abbildung des nichtlinearen Materialverhaltens, der Schockwellenausbreitung im Bauteil und die Berechnung der Schädigung erfolgt mit Hilfe von Hydrocodes. Neben der Massen-, Impuls- und Energiebilanz werden zur Bestimmung der gesuchten Variablen hierbei die thermodynamische Zustandsgleichung und die nichtlineare Festigkeitsbeschreibung formuliert. Das Herzstück der Untersuchungen bildet die numerische Berechnung und experimentelle Untersuchung der Tragfähigkeit des Sicherheitskerns bei Triebwerksanprall. Die numerischen Untersuchungen zeigen bereits deutlich erkennbare Verbesserungen der Widerstandsfähigkeit von UHPC gegenüber Stahlbeton. Zusammen mit der extrem hohen Druckfestig-



**Gefügekompaktierung durch Hohlräumfüllung mit Feinststoffen (Silikastaub, Quarzmehl)**

keit des UHPC ( $\sim 160$  MN/m<sup>2</sup>; zum Vergleich Normalbeton  $\sim 35$  MN/m<sup>2</sup>) und der Brandwiderstandsfähigkeit ist ein neues Trag- und Sicherheitskonzept für große Hochhauskonstruktionen potentiell realisierbar.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik und der Universität Kassel bietet ein spannendes und fruchtbares Umfeld für Neu- und Weiterentwicklungen innovativer Ideen und Konzepte und neue Lösungsansätze für Anwendungen in der Praxis. Wir freuen uns auf die weitere Entwicklung dieses Forschungsvorhabens und auf die Kooperationsprojekte, die aus der bisherigen Zusammenarbeit bereits entstanden sind. 🏠



**Faserwirkung im Riss**

**Dynamische Materialcharakterisierung: Hopkinson-Bar-Versuche**



**Hydrocode-Simulation eines Triebwerksimpakts (Schädigungsvisualisierung) auf eine UHPC-Schutzwand (oben) und eine herkömmliche Stahlbetonwand (unten)**