

## **Beitrag von „hochduktilen“ SHCC-Beton zur erdbebensicheren Planung von (Bau-) Strukturen bzw. Ertüchtigung von Bestandsbauwerken- bruchmechanisch bewertet**

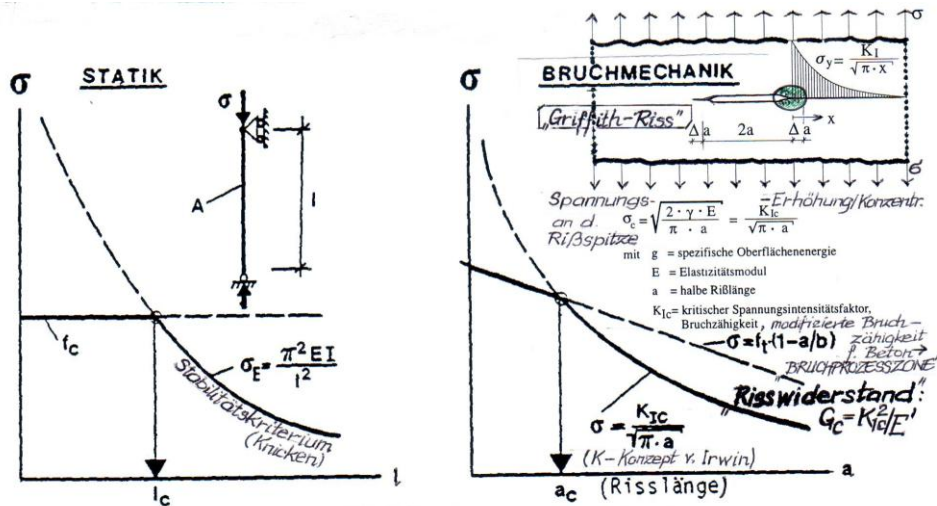
Ao.Univ.Prof. i.R. Baurat h.c. DDr. Elmer Bölcskey  
Univ. Ass. Prof. Ing. Dr. techn. Heinrich Bruckner  
Dipl. Ing. Alexander Prantl

Bei der EUROCODE 8 –konformen statischen Berechnung („Kapazitätsbemessung“) und baulichen Durchbildung erdbebengefährdeter (Hochbau-) Strukturen wird sowohl aus konstruktiven als auch aus wirtschaftlichen Optimierungsüberlegungen prinzipiell angestrebt der (durch Erdbebenbeanspruchung; „AKTION“) eingebrachten „tektonische“ (Bewegungs-)Energie durch plastisch-zäh Bauteilverformungen mit begrenzter Rissbreite (Werkstoff-Widerstand/ „REAKTION“) zuverlässig zu dissipieren (zu zerstreuen) [1], [2].

Diese, für die o.a. Zerlegung/Zerstreuung bzw. „Energiedissipation“ speziell konstruierte (bzw. bei Bestandsbauwerken [8] nachträglich ausgebildete) duktile Tragelemente (z.B. Stützen- bzw. Rahmen-Tragmechanismen mit Bügel- bzw. Faserbeton-Umschnürung...) sollten plastifizierende Fließ (Gelenk)-Verformungen/Deformationen erleiden können, ohne übermäßige seitliche Verschiebungen, welche zu instabilen (Bruch-Bzw. Riss-)Versagen des Bauwerks führen könnten [3].

A. A. Griffith (1893-1963), Begründer bruchmechanischer Denkmodelle in der technischen Mechanik definiert/modellierte in seiner klassischen Arbeit über (Spröd-)Bruchmechanik [4] solche (Bemessungs-)Situationen des Einsetzens eines „instabilen Risswachstums“ von der energetischen Seite bzw. vom Standpunkt der „Energiebilanz“ mit dem Energiekriterium („G-Konzept“, Bruchkriterium:  $G < G_c$ ) in dem er die zugeführte Energie (pro Rissfortschritt  $dW/da$ ) welche (zu Ehren Griffith's) mit  $G$  bezeichnet wird, mit einen kritischen Wert  $G_c$  verglich. Beim Erreichen dieses (Grenz-)Wertes tritt Rissinstabilität auf [9], [10].

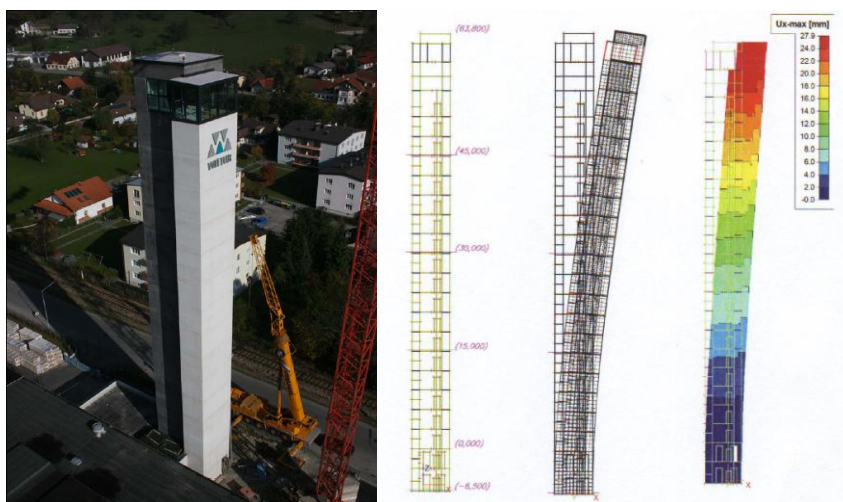
Die wachsende Bedeutung (schadens-)bruchmechanischer Ansätze und Parameter im (Faser-) Beton-, Stahlbeton- und Beton-Verbundbau liegt hauptsächlich in der rechnerischen und experimentellen Untersuchung von „spröden“, schubtragverhaltens- dominierten Versagensarten (z.B. Schub- oder Torsions-Brüche und Rissbildungen, Durchstanzen, Duktilitätsbedarf bei Erdbebenbeanspruchung, usw.) welche neben der Tragwiderstand (gegen horizontalen Kräfte, z. B. Erdbeben) auch die Dauer- Gebrauchstauglichkeit eines Bauteils bzw. Bauwerkes beschränken/verringern könnten (Bild 1) [5]. Die (Maß-)Einheit/Dimension von  $G$  (Energiefreisetzungsrates, also eine Art „spezifische Bruchenergie“) ist  $[Kraft \times Länge/Länge^2]$  und wird z.B. in  $[N/m]$  oder  $[N/mm]$  bzw. „Kraft pro (Einheits-)Dicke“ angegeben und deswegen auch als „Riss-Ausbreitungskraft“ bezeichnet [10].



**Bild 1:** Analogie zwischen den Stabilitätskriterien aus der Baustatik (Knickproblematik des schlanken Druckstabes) und der Bruchmechanik („Griffith-Bedingung“, Problematik des angerissenen Zugstabes, Rissgeometrie/Risslänge :  $a_c$ , LEBM) in Anlehnung an [5] und [7]. Für die Rissbildung/Rissentstehung) gilt ein Spannungskriterium, für die Rissausbreitung/Rissfortflanzung ist jedoch ein Energiekriterium („G-Konzept“ [10]) maßgebend.

Besonders bei der Planung und Realisierung schlanker, faserverstärkter hochfester Betonbauwerke und Bauteile, - bei denen relativ kleine Rissbreiten und großes Energieabsorptions- und Verformungsvermögen/Duktilität angestrebt wird – kann eine praxisorientierte „angewandte“ Bruchmechanik innovative Konzepte liefern, die es ermöglichen das Versagensrisiko zu minimieren, z.B. bei erdbebengerecht- konzeptionellen Entwurf von Hochbauten („Pushover-Analyse“) zur Ermittlung der „Bauwerkskapazität“, üblicherweise mit Fließgelenkmodell – Rechenprogramme [1], [6] (siehe auch Bild 2):

....“ Bei extrem großen, durch aufgezwungenen Verformungen/Deformationen verursachten Belastungen (z. B. Erdbeben- Beanspruchung, Flugzeugaufprall, Katastrophenlasten wie Tsunami, Tornados usw.) ist dieses (zähigkeitsrelevantes) Absorptionsvermögen von (Bruch-) Energie von enormer Wichtigkeit“ und könnte sogar z. B. für die „Bemessungsduktilität“ (als Bestandteil der Gebrauchstauglichkeit), eines (Stahlbeton-)Tragwerks Konstruktionsart- bzw. Baustoffauswahlentscheidend werden.



**Bild 2:** Bei Erdbeben- Gebrauchstauglichkeit-Nachweis schlanker, hochfester Betonbauwerke (z.B. bei der o.a. Erdbebenbemessung eines Prüfturms der Fa. WITTUR in Scheibbs, NÖ: Konstruktionsplanung: Bölskey & Partner, Statische Bearbeitung: Prof. Benko) wird bei relativ kleinen Rissbreiten ein großes Verformungsvermögen/Duktilität angestrebt und bei der Ermittlung der „Bauwerkskapazität“ sogar vorausgesetzt. Zur Erhöhung der Zähigkeit/Duktilität, also zur „Mobilisierung einer „inelastischen Strukturantwort“ infolge erdbebenrelevanten Umlagerungseffekten, z.B. der Bildung von (Quasi-)Fließgelenken sollte eine, nach bruchmechanischen Ansätzen optimierte, Bruchenergie- steigernde Faserzugabe (und die gezielter Anwendung von (hoch-)duktilen SHCC-Betonsorten) überlegt werden [8].

## Literatur

- [1] Meskouris, K.; Hinzen, K.-G.; Butenweg Ch.; Mistler, M.: Bauwerke und Erdbeben Grundlagen- Anwendung- Beispiele 3. Aufl., Vieweg Teubner Verlag/Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011
- [2] Paulay, T., Bachmann, H und Moser, K.: Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten. Basel: Birkhäuser Verlag 1994.
- [3] DIN EN 1998-1; EUROCOD 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben- Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, Deutsche Fassung EN 1998-1: 2004+AC:2009, deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, Dezember 2010.
- [4] Griffith, A. A.: The phenomena of rupture and flow in solids. Philosophical Transactions, Series A, 221: 163-198 (1921).
- [5] Brüchwiler, E.: Bruchmechanik von Staumauerbeton unter quasi-statischer und erdbebedynamischer Belastung. These No. 739, Dissertation an der ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE (EPFZ), Lausanne EPP., 1988
- [6] Wieser, S.: Erdbebenbemessung eines Prüfturms der Fa. Wittur in Scheibbs, Diplomarbeit (im Fach Stahlbetonbau), Studiengang konstruktiver Ingenieurbau der HTWK Leipzig, Dezember 2008
- [7] Grimm, R: Einfluß bruchmechanischer Kenngrößen auf das Biege- und Schubtragverhalten hochfester Betone  
DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON,  
Heft 477 Beuth Verlag GmbH Berlin 1997
- [8] Prantl, A.: Entwicklung eines SHCC-Betons für die Verstärkung von erdbebenbeanspruchten Gründerzeitmauerwerk  
Diplomarbeit/Master Thesis an der TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie, Wien, Mai 2014
- [9] Bölcskey, E., Schneider, U.: Die Zerbrechlichkeit der „Transparenten (Glas-)Architektur“- Bruchmechanisch betrachtet S. 45-86 Beiträge zum Internationalen Symposium vom 18.-9. Okt. 2012 am Institut f. Hochbau und Technologie an der TU Wien und an der NDU St. Pölten
- [10] Gross, D., Seelig, Th.: Bruchmechanik – Mit einer Einführung in die Mikromechanik (4. Auflage), Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York 2007