

**EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS TO DETERMINE
THE KINETIC ULTIMATE BEARING CAPACITY
OF REINFORCED CONCRETE SLABS SUBJECT
TO DEFORMABLE MISSILES**

**(Experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der
kinetischen Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten
unter der Einwirkung deformierbarer Projektilen)**

W. JONAS, R. MESCHKAT, H. RIECH, E. RÜDIGER

*Hochtief AG, Zentrale Abt. Kerntechnischer Ingenieurbau,
Bockenheimer Landstrasse 24, D-6000 Frankfurt 1, Germany*

Summary

Within the scope of Research Program RS 165/149 of the BMFT, an experimental and theoretical contribution covering the determination of the ultimate bearing capacity of reinforced concrete slabs under impact loading shall be submitted.

Based on the requirements of reactor safety and adapted to the realizable technical possibilities of the pilot plant at Meppen, the problem is split up into two subobjectives:

- (1) Investigations to determine the impact load/time characteristics for the impact of strongly deformable missiles onto quasi-rigid reinforced concrete structures;
- (2) Investigations to determine the kinetic ultimate bearing capacity of reinforced concrete slabs affected by impact loading as being specified in (1).

With regard to both problems only part of the scheduled tests has been performed at Meppen up to now.

These tests are described.

Under consideration of the achieved test results, the main intent of the still pending tests is briefly explained.

Reference is given to test series on a smaller scale, by means of which the described tests shall be additionally confirmed.

1. Einführung

Im Rahmen des Forschungsprogrammes des Bundesministers für Forschung und Technologie der Bundesrepublik Deutschland zur Sicherheit von Leichtwasserreaktoren wird in dem Einzelvorhaben mit der Bezeichnung RS 165/149 ein Beitrag zur Untersuchung der Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten unter Einwirkung einer stoßartigen Belastung (Flugzeugabsturz) erbracht.

Die Untersuchungen zum Aufprall von Flugzeugen konzentrieren sich auf den Bereich der unmittelbaren Umgebung der Lasteinleitung am Gebäude. Dabei gilt es, den örtlichen Eindringvorgang und die integrale Biegegrenztragfähigkeit des getroffenen Bauteils in Wechselwirkung mit der Verformung des aufprallenden Flugkörpers zu erfassen.

Übergeordnetes Ziel ist es, eine genauere Kenntnis der in den Bauteilen von Kernkraftwerksgebäuden vorhandenen Sicherheitsreserven zu erhalten.

Wegen der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit ist der Absturz eines Flugzeuges in der Regel als einmaliges Ereignis während der Betriebsdauer eines Kernkraftwerkes aufzufassen. D. h.: es ist nicht erforderlich, alle Bauteile von Kernkraftwerken so zu dimensionieren, daß auch nach Eintritt äußerer Einwirkungen deren Gebrauchsfähigkeit erhalten bleibt. Insbesondere darf die äußere Stahlbetonhülle von Gebäuden, die sicherheitstechnisch relevante Anlagenteile enthalten, bei einem Flugzeugabsturz so weit beansprucht werden, daß lokal irreversible Verformungen auftreten.

Entsprechend den Erfordernissen der Reaktorsicherheitstheorie und angepaßt an die realisierbaren technischen Möglichkeiten der Versuchsanlage in Meppen, wird die Gesamtaufgabe in zwei Teilzielsetzungen aufgespalten:

- (1) Untersuchungen zur Ermittlung von Stoßlast-Zeitverläufen beim Aufprall stark deformierbarer Flugkörper auf quasistarre Stahlbetonbauteile,
- (2) Untersuchungen zur Ermittlung der kinetischen Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten unter der Einwirkung der in (1) näher untersuchten stoßartigen Belastungen.

2. Untersuchungsprogramm

- 2.1 Stoßlast-Zeit-Verläufe beim Aufprall deformierbarer Flugkörper auf quasi-starre Stahlbetonkörper (8 Versuche)
 - 2.1.1 Variation der Aufprallgeschwindigkeit
 - 2.1.2 Variation der Steifigkeitsverteilung in Flugkörperlängsrichtung
- 2.2 Kinetische Grenztragfähigkeit von Stahlbetonplatten beim Aufprall deformierbarer Flugkörper (21 Versuche)
 - 2.2.1 Untersuchung des Einflusses wählbarer Konstruktionsgrößen auf die lokale Bauteilfestigkeit (Durchstanzfestigkeit)
Variation der Betonfestigkeit, Schubbewehrung, Bauteildicke, Biegebewehrung.
 - 2.2.2 Einfluß der Last-Zeit-Funktion;
Variation der Stoßdauer, Lastanstiegszeit, Lastamplitude
 - 2.2.3 Durch eine begrenzte Anzahl von Versuchen sollen die Rechenmodelle zur Erfassung des globalen Bauteilverhaltens (Biegegrenztragfähigkeit) von Stahlbetonplatten überprüft werden.

3. Versuchseinrichtung

Für den experimentellen Teil des Forschungsvorhabens wurde in Meppen eine Versuchsanlage errichtet, in der flächenhafte Bauelemente (z. B. Platten oder Schalenausschnitte aus Stahlbeton) unter der Einwirkung von kurzzeitigen hohen Belastungsintensitäten untersucht werden können.

Die Versuchsanlage und die eingesetzten Meßeinrichtungen werden ausführlich in den SMIRT-Vorträgen J 8/2 und J 8/3 beschrieben.

4. Versuchsvorbereitung und -durchführung

Durch die Entscheidung, die Versuche in einem möglichst großen Maßstab durchzuführen, wurde einerseits zwar eine Reihe von Nachteilen und Schwierigkeiten ausgeschaltet, die Versuche im Labormaßstab mit sich bringen; andererseits ergaben sich aber auch zahlreiche neue Probleme durch die gewählte Größe der Versuchskörper.

Die Problematik der großmaßstäbigen Versuche zeigt sich insbesondere auf folgenden Gebieten:

- Die Versuchszahl ist durch die hohen Kosten je Versuch auf eine geringe Anzahl beschränkt, die es nicht erlaubt, ausreichende Parametervariationen durchzuführen. Großversuche müssen daher ergänzt werden durch Kleinversuche, in denen Einzelaspekte experimentell verdeutlicht werden und deren Ergebnisse dann lediglich in einzelnen Großversuchen bestätigt werden (Hinweis auf kleinmaßstäbige Versuche in England und Deutschland).
- Bei der Handhabung der Versuchskörper werden die Grenzen der praktischen Realisierbarkeit erreicht, wodurch Kompromisse bei der Versuchsplanung unvermeidlich werden (Beschränkung des Verhältnisses Spannweite zu Plattendicke, Maximalgewicht der Versuchskörper, Auflagerbedingungen).
- Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Herstellung der Versuchsplatten, um nicht durch Zufälligkeiten der konstruktiven Ausführung die Vergleichbarkeit und Interpretierbarkeit der Versuche einzuschränken.

5. Gegenüberstellung der Rechengrößen der begleitenden Theorie und der Meßgrößen in den Versuchen

5.1 Hinzuweisen ist insbesondere darauf, daß bei den bisherigen Versuchen zur Ermittlung des Stoßlast-Zeit-Verlaufes stark deformierbarer Flugkörper (Versuchsreihe I) auf die direkte Kraftmessung an der Aufprallstelle des Projektils verzichtet werden mußte.

Zur Überprüfung der theoretischen Rechenmodelle und Eingrenzung des Wertebereiches offener Parameter muß bei einem Teil der Versuche auf Hilfsgrößen, wie Beschleunigung des Projektilhecks, Auflagerkraftmessung am Zielkörper, zurückgegriffen werden. Für eine Reihe ergänzender Versuche ist geplant, eine Meßeinrichtung zur Aufzeichnung des Stoßlast-Zeit-Verlaufes unmittelbar an der Aufprallstelle des Projektils einzusetzen.

5.2 Bei den Untersuchungen zur Ermittlung der kinetischen Grenztragfähigkeit der Stahlbetonplatten unter stoßartiger Belastung (Versuchsreihe II) besteht eine gute Übereinstimmung

zwischen Meß- und Rechengrößen.

6. Stand der Versuchsdurchführung

Zu beiden Untersuchungszielen (s. 1.) des Vorhabens wurde bisher nur ein Teil der vorgesehenen Versuche in Meppen ausgeführt.

Die Einzelziele dieser Versuche, die konstruktive Gestaltung der Versuchskörper (Projektile und Versuchsplatten) und die Versuchsergebnisse werden beschrieben. (s. Tabelle: Versuchsdaten)

7. Auswertung, begleitende Theorie und erste Ergebnisse

7.1 Zur rechnerischen Ermittlung von Stoßlast-Zeit-Verläufen wurde ein den Stoß- und Berstvorgang des aufprallenden Flugkörpers idealisierendes Rechenmodell entwickelt. Für dieses Rechenmodell kann aufgrund früherer amerikanischer Untersuchungen gesagt werden, daß es den physikalischen Vorgang eines Flugzeugaufpralls qualitativ realitätsnah beschreibt. Für eine quantitative Anwendung ist jedoch die denkbare Bandbreite der in dem Rechenmodell enthaltenen Parameter durch Versuche und Vergleichsrechnungen einzuschränken.

Für die dynamische Berechnung von Stahlbetonplatten wurde ein Programmsystem unter Verwendung der Finite-Element-Methode konzipiert.

In diesen Rechenprogrammen sind Annahmen über das Materialverhalten des heterogenen Werkstoffes Stahlbeton getroffen worden, die durch Vergleich von Versuch und Rechnung verbessert werden sollen. Da die bisher verwendeten Materialgesetze auf der Basis von statischen Versuchen ermittelt wurden, gilt der Frage besonderes Interesse, wie die bei stoßartigen Belastungsvorgängen maßgebenden Materialkennwerte gegenüber den bei statischen Belastungsversuchen gewonnenen Größen zu modifizieren sind.

7.2 Der Stand der Versuchsdurchführung und der Auswertung der Messungen der ersten Versuche erlaubt noch keine endgültigen Schlußfolgerungen.

Lediglich folgende Aussagen sind gegenwärtig schon möglich:

- Das für die Beschreibung des Aufprallvorganges deformierbarer Projektile entwickelte idealisierende Rechenmodell ist durch die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse qualitativ bestätigt worden. Zur quantitativen Untermauerung der Ergebnisse sind jedoch noch weitere Versuche abzuwarten.
- Bereits die ersten Tastversuche zum Tragverhalten von Stahlbetonplatten unter stoßartiger Belastung zeigen, daß die bisher für die Ermittlung der Schnittlasten infolge dieser Belastung angewandten Berechnungsmethoden und die geltenden Bemessungsregeln als konservativ anzusehen sind, jedoch gewisse Versagensformen der Klärung durch weitere Untersuchungen bedürfen.

8. Schwerpunkte der noch ausstehenden Untersuchungen

Das Untersuchungsprogramm wird ständig angepaßt an den jeweiligen Erkenntnisstand der bereits durchgeführten Versuche. Die Schwerpunkte der Versuchsplanung zum Zeitpunkt der Berichterstattung werden beschrieben.

RS 165/149

- "Kinetische Grenztragfähigkeit" -

Versuchsdaten der Meppener Versuche Nr. II/1 bis II/10 (zu Untersuchungsprogramm-Punkt 2.2.1)

Versuch	Plattenabmessungen		Biegebewehrung (1)		Schubbewehrung (1)		Projektill-Typ (Gewicht)	Aufprall-geschw. (m/s)	Zerstörungsbild Eindringtiefe (e) vorn Bleibende Verformung (d) hinten
	Breite x Höhe x Dicke (Stützweite) (m)	N/mm ²	Vorder-seite Rück-seite [cm ² /m ²] [cm ² /m ²]	Rück-seite [cm ² /m ²]	Bügel [cm ² /m ²]	cm ² m ²			
II/1	5,50 x 6,00 x 0,70 (5,40 x 5,40)	21,1	# 50,2	# 88,6	16 Ø 14	24,6	11 (1014 kg)	247,6	Rückseite: Abplatzungen e ≈ 25 cm / d ≈ 30 cm
II/2	"	(4) 34,4	# 27,3	# 53,6	16 Ø 14	24,6	11 (1016 kg)	172,2	Rückseite: keine Risse erkennbar e* = 2 cm / d = 0,1 cm
II/3	"	zweiter Schuß auf Platte II/2							
II/4	"	(2) 37,3	# 27,3	# 53,6	16 Ø 20	50,2	11 (1016 kg)	247,7	Rückseite: netzförmige Risse e = 5 cm / d = 6 cm
II/5	"	(3) 39,7	# 27,3	# 53,6	4 Ø 20 (6)	12,6	11 (974 kg)	234,8	Perforation
II/6	"	(3) 35,0	# 27,3	# 53,6	16 Ø 20	50,2	11 (956 kg)	257,6	Rückseite: Abplatzungen e = 14 cm / d = 13 cm
II/7	"	(3) 35,5	# 27,3	# 53,6	16 Ø 14	24,6	11 (940 kg)	225,3	Rückseite: netzförmige Risse e = 13 cm / d = 6 cm
II/8	"	(3) 40,6	# 27,3	# 53,6	14,8Ø18	37,7	11 (990 kg)	235,9	Rückseite: netzförmige Risse e = 7 cm / d = 2 cm
II/9	"		# 27,3	# 53,6	16 Ø 20 (5)	50,2	11		
II/10	6,50 x 6,00 x 0,90 (5,40 x 5,40)	(3) 43,1	# 27,3	# 53,6	4 Ø 20 (6)	12,6	11 (965 kg)	245,6	Rückseite: keine Risse erkennbar e* = 4 cm / d ≈ 0 cm

(1) Biege-, Schubbewehrung : BSt 420/500;

(2) Bohrkern Ø 15 x 15 cm;

(3) Bohrkern Ø 10 x 10 cm;

(4) Zylinder-Probe Ø 15 x 30 cm (Normlagerung);

(5) geänderte Bügelform;

(6) Abstandhalter