

3. Jahrestagung des DAfStb 12.11.2015 in Stuttgart

Datenbanken zur Querkraftbemessung

Karl-Heinz Reineck

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK),
Universität Stuttgart

Inhaltsübersicht

Einführung und Übersicht

Beispiele für Ergebnisse von Auswertungen

- Bauteile ohne Querkraftbewehrung und ohne Längskraft
- Bauteile ohne Querkraftbewehrung mit Längskraft
- Bauteile mit Querkraftbewehrung ohne Längskraft
- Versuche an Balken ohne Bügel mit auflagnahen Einzellasten
- Versuche an Balken aus Stahlleichtbeton ohne Bügel

Zusammenfassung

Einführung

Zahllose Veröffentlichungen in den letzten Jahrzehnten zu „shear“ mit sich widersprechenden Bemessungsformeln und Modellen enden mit:

„good agreement with test results“.

Häufig werden auch sehr geringe Variationskoeffizienten mitgeteilt.

Dabei hatte jeder Forscher jeweils Datenbanken mit selbst ausgewählten Versuchen verwendet, die sich jeweils in Anzahl und Auswahl der Versuche wesentlich unterschieden.

Beispiel - Bauteile ohne Querkraftbewehrung: Jede der Querkrafttragwirkungen (Querkraft in Druckzone, Dübelwirkung, Rissreibung, Zugspannungen über Riss) wurde alleine oder in Kombination mit einer anderen als maßgebend angesehen und der Nachweis geführt „good agreement with test results“.

Dieses unbefriedigende Vorgehen hält bis heute an.

Dem wurde die Entwicklung von Datenbanken entgegen gestellt:

- 1997-1999 DIBt Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit von Prof. Hegger, Prof. König, Prof. Zilch und Dr. Reineck
- seit 2000 Subcommittee ACI 445-D Shear Databases
- seit 2010 ACI-DAfStb Shear Database Group
- 2004-2009 DAfStb Forschungsvorhaben V423: DAFStb Heft 597
- 2013-2015 Forschungsvorhaben DAfStb V479 sowie der BAST sollen im DAFStb Heft 617 veröffentlicht werden.

Grundsätze:

- Trennung von Datensammlung, Datenkontrolle und Auswertungen.
- Kontrolle der Versuche mit Kriterien (Biegebruch, Endverankerung).
- Klare Kriterien für die Auswahl der Versuche für Auswertungen.

Überblick über die ACI-DAfStb Querkraftdatenbanken

Bauteile ohne Querkraftbewehrung

- Stahlbetonbauteile ohne Längskraft
- Stahlbetonbauteile mit Längskraft
- Spannbetonbauteile

Bauteile mit Querkraftbewehrung

- Stahlbetonbauteile ohne Längskraft
- Stahlbetonbauteile mit Längskraft
- Spannbetonbauteile

Versuche mit auflagernahen Lasten

- Balken ohne Bügel
- Balken mit Bügel

Versuche an Balken aus Stahlleichtbeton

- Balken ohne Bügel
- Balken mit Bügel

Beispiele für Ergebnisse von Auswertungen

Bauteile ohne Querkraftbewehrung und ohne Längskraft

Charakteristischer Wert für Ansatz nach EC2 (in N):

$$V_{Rk,ct} = \left(\alpha_k \cdot \kappa_{size} \cdot (100 \rho_w \cdot f_{ck})^{1/3} \right) \cdot b_w \cdot d$$

mit: $\kappa_{size} = 1 + \sqrt{(200/d)}$

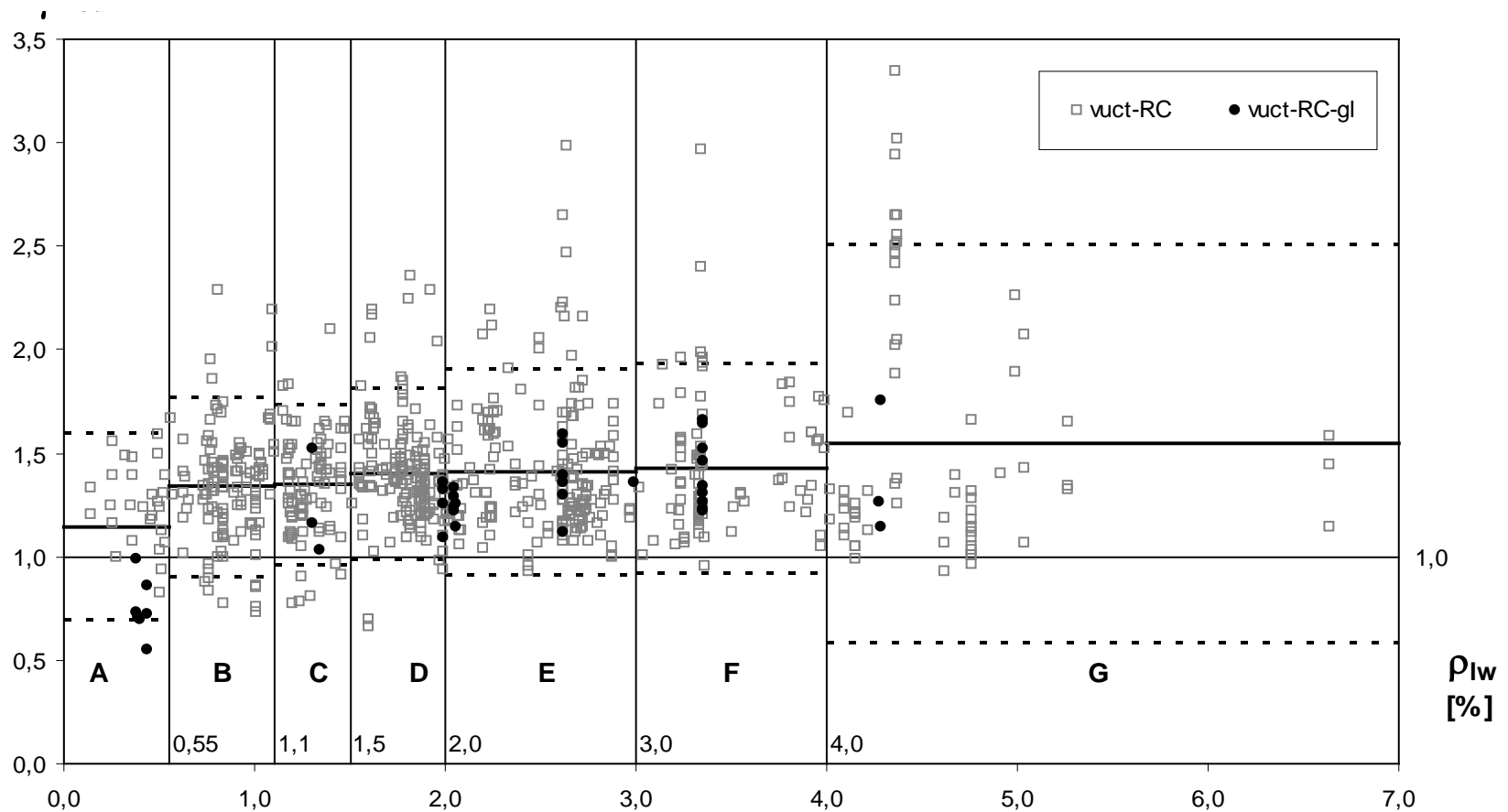
Empfohlener Wert im EC2: $\alpha_k = 0,18$

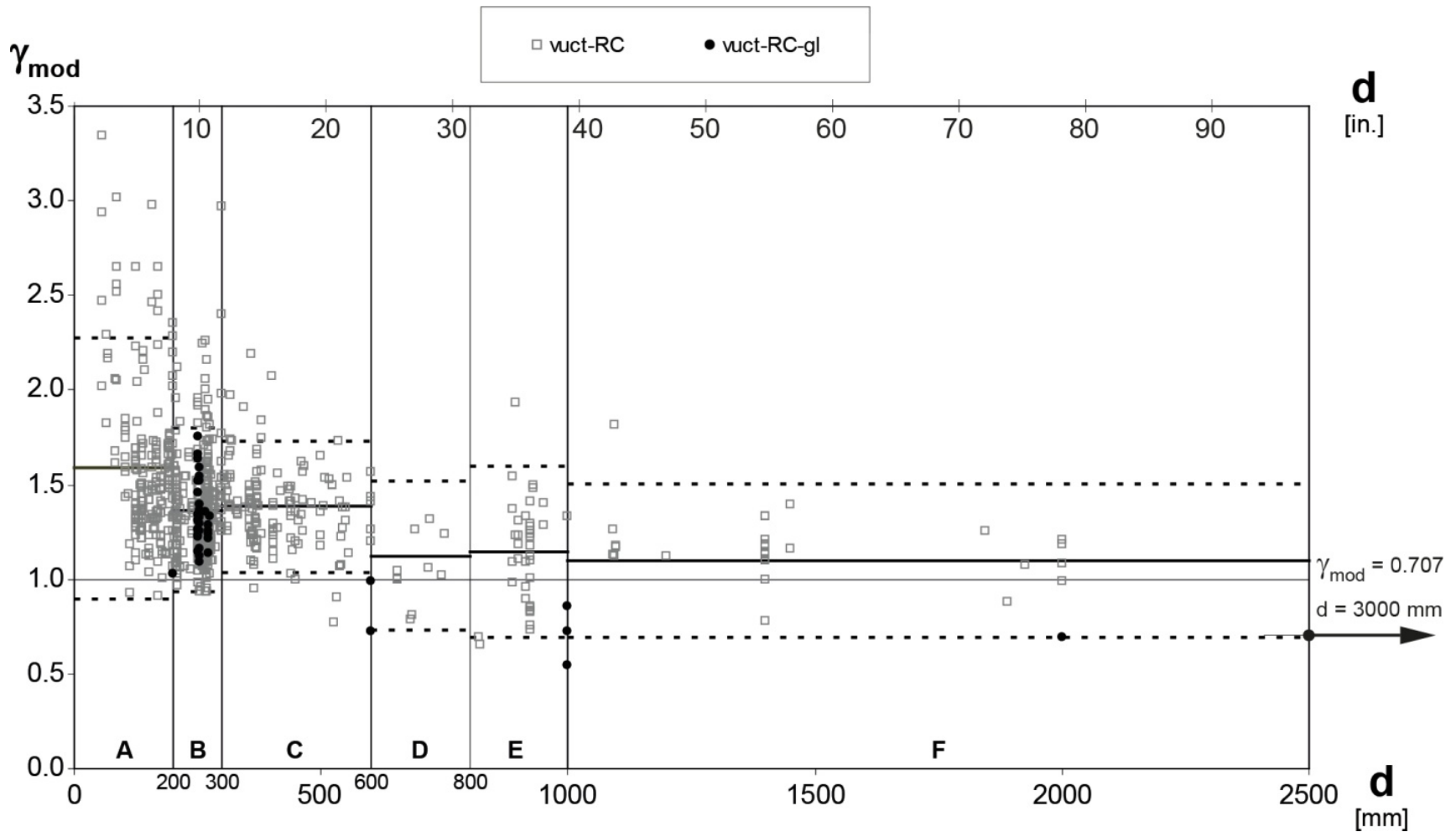
Die Auswertungen der 784 Versuche ergab jedoch $\alpha_k = 0,138$, also einen deutlich geringeren Wert, und damit ist EC2 sehr unsicher. Die direkte Ableitung des Bemessungswertes bestätigte den Wert von $\alpha_{kd} = 0,10$ von DIN 1045-1 bzw. DIN EN 1992-1-1/NA.

Diese statistische Aussage aller Versuche reicht jedoch nicht aus.

Wichtige Erkenntnisse liefern die Verteilungen der Modellsicherheitsbeiwerte

$\gamma_{\text{mod}} = V_{\text{u,test}} / V_{\text{u,cal}}$ gegen die Parameter wie hier gegen ρ_{1w} .



Verteilung der γ_{mod} gegen die Nutzhöhe d .

Bauteile ohne Querkraftbewehrung mit Längskraft

Ansatz für Spannbetonbalken nach den Auswertungen von Dunkelberg:

$$V_{\text{Rd,ct}} = \frac{1}{\gamma_c} \left(0,1379 \cdot \kappa_{\text{size}} \cdot (100 \rho_w \cdot f_{\text{ck}})^{1/3} - 0,2541 \cdot \sigma_{\text{cN}} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Dieser Ansatz war für 28 Versuche mit Längszug zwar sicher, aber der Einfluss der Längskraft traf nicht zu.

Von den 14 Versuchen mit Längsdruck waren 4 unsicher, so dass der Vorfaktor von 0,254 reduziert werden muss. Somit sind Stahlbetonbauteile mit Längsdruckkraft anders zu behandeln als Spannbetonbauteile.

Insgesamt zeigt dies, dass die Addition eines Bruchteils der Längsspannung zum Grundwert der Querkrafttragfähigkeit kein zutreffender Ansatz für den Einfluss von Längskräften ist.

Bauteile mit Querkraftbewehrung ohne Längskraft

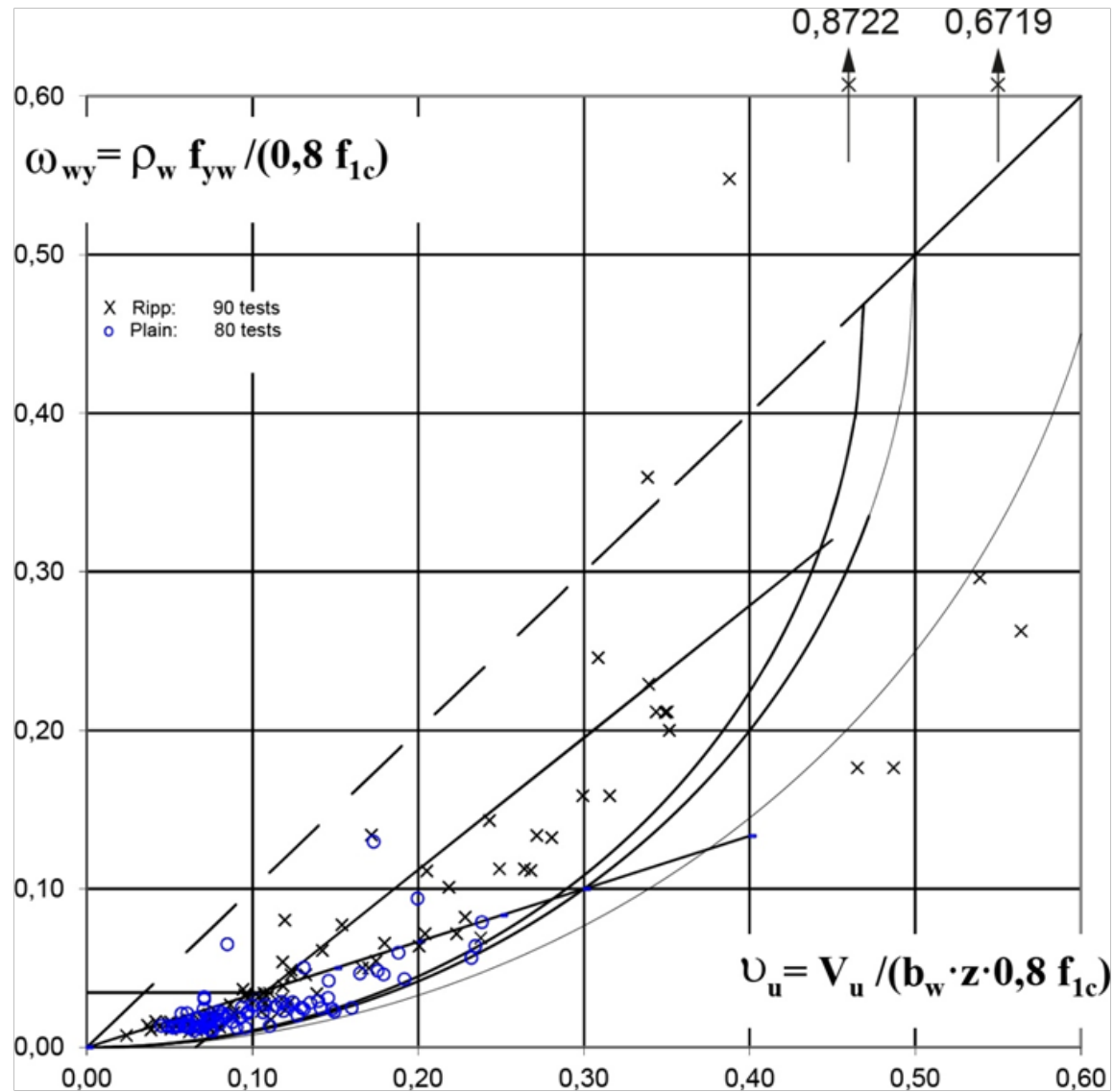
Von den 856 gesammelten Versuchen verblieben für die Kontrolle 510 Versuche an schlanken Balken mit $a/d > 2,4$.

Von diesen verblieben nach allen Kontrollen für die Auswertung nur 170 Versuche in der „large database“! Dies belegt die Bedeutung klar definierter Kontrollen und Auswahlkriterien.

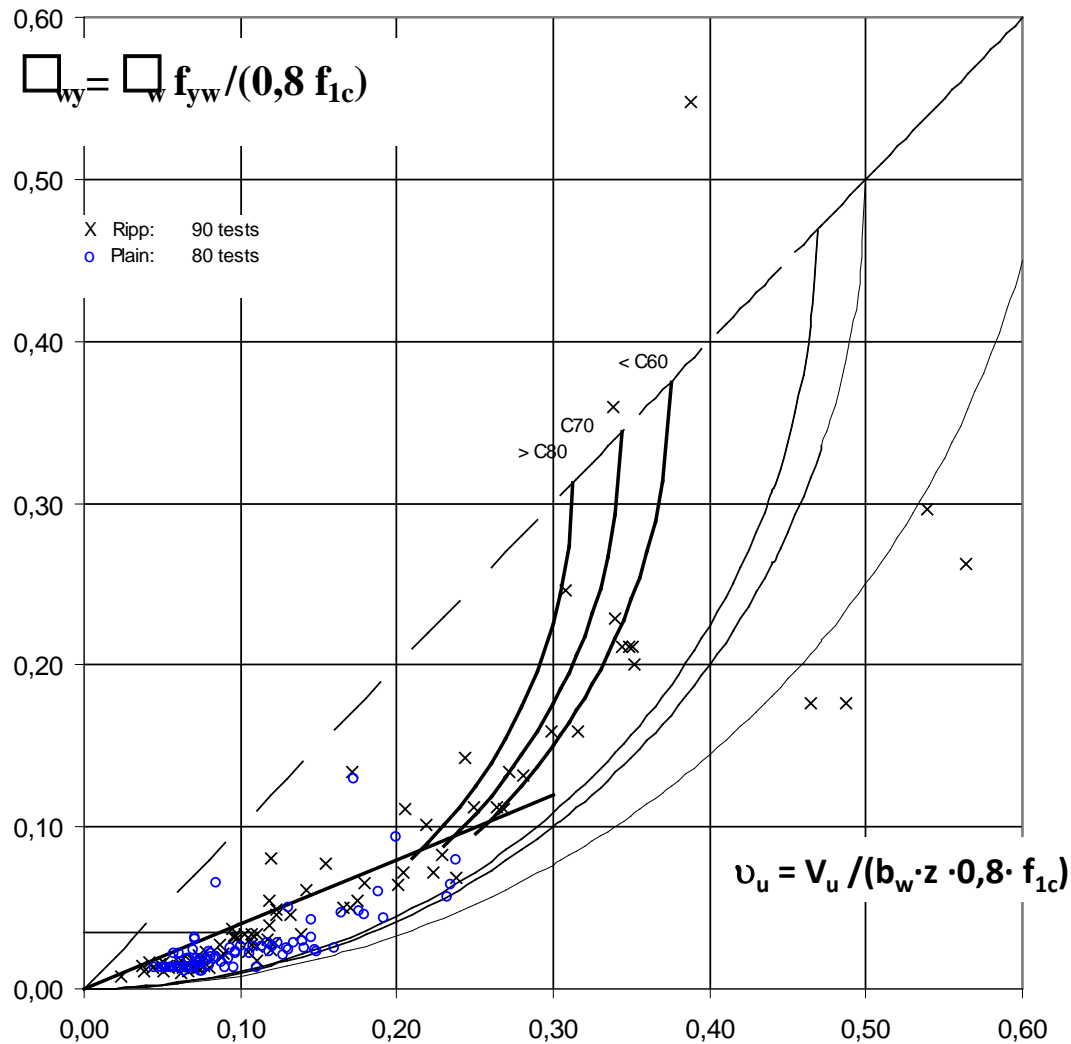
Das folgende dimensionsfreie $\omega_{wy} - v_u$ – Diagramm zeigt diese Versuche im Vergleich zum vereinfachten Ansatz nach DIN EN 1992-1-1/NA.

Folgende Feststellungen können getroffen werden:

- 90 Versuche mit gerippten Bügeln, 80 mit glatten Bügeln.
- 144 Versuche (85%) wiesen sehr geringe Bügelbewehrungsgrade von $\omega_{wy} < 0,10$ auf, und davon 126 (74%) sogar nur Werten $\omega_{wy} < 0,05$. Diese Versuche müssen durch den Ansatz $\cot\theta \leq 3,0$ abgedeckt werden.
- nur wenige Versuche für den Vergleich mit der Begrenzung für θ .



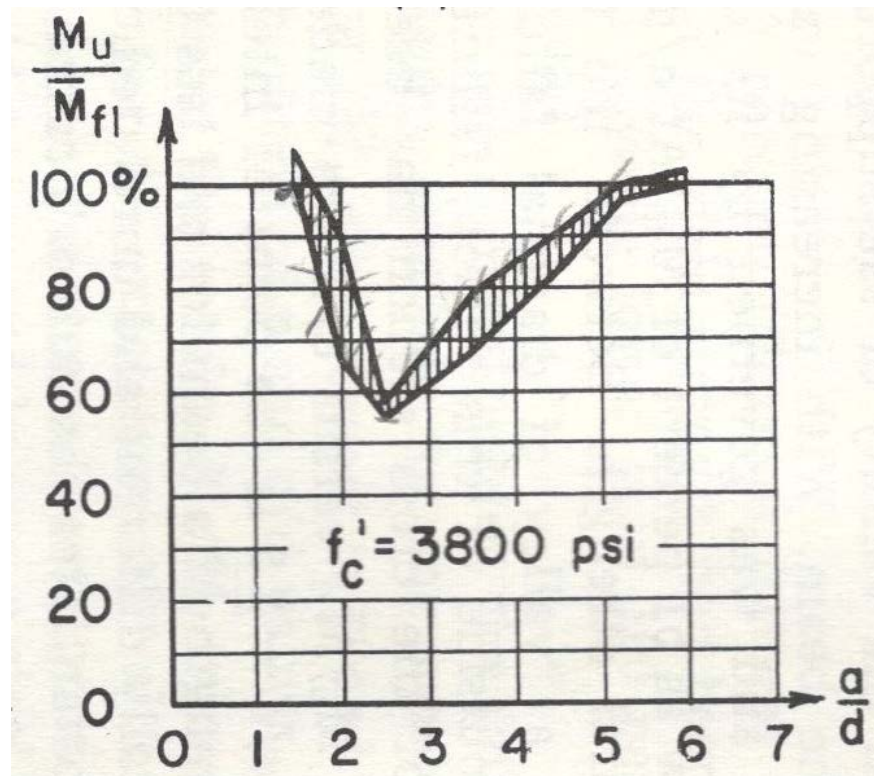
Der Vergleich mit EC2 zeigt viele unsichere Versuche für mittlere v_u .



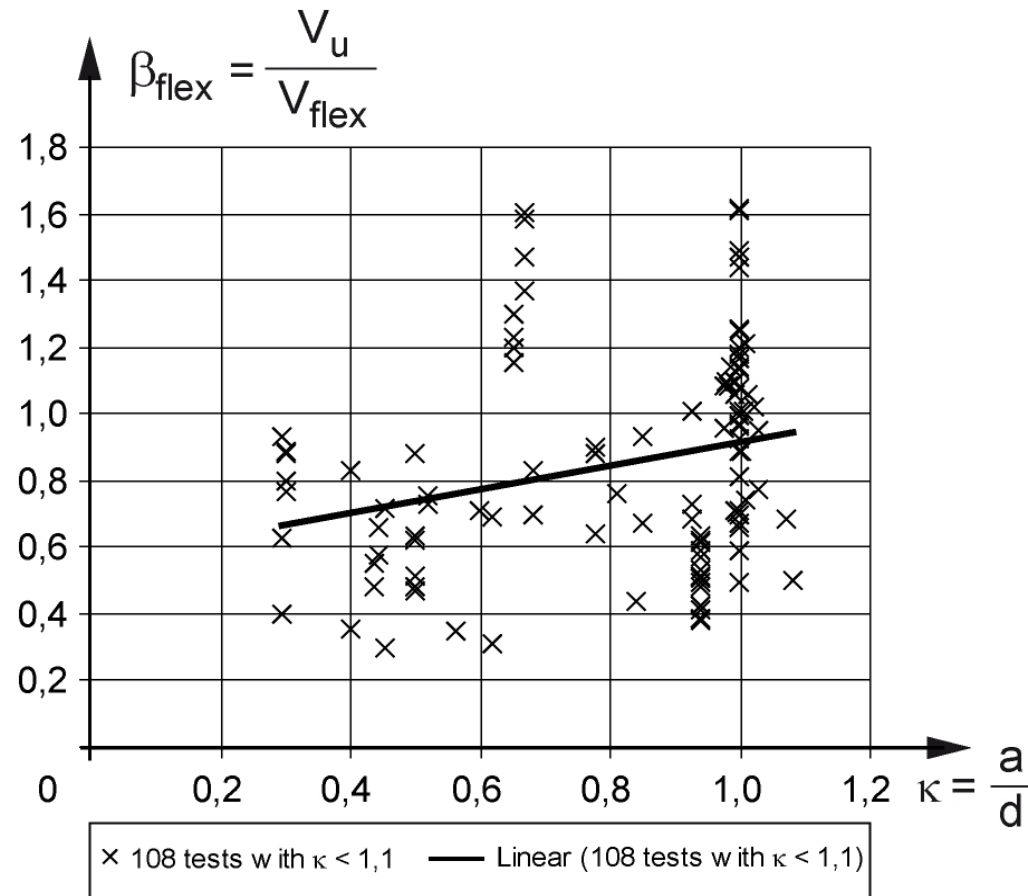
Versuche an Balken ohne Bügel mit auflagnahen Einzellasten

Nach den Kontrollen verblieben von 338 Versuchen mit Schubslankheiten $a/d < 2,4$ nur 222 für Auswertungen.

Diese Versuche wurden zunächst mit dem Schubtal von Kani verglichen.

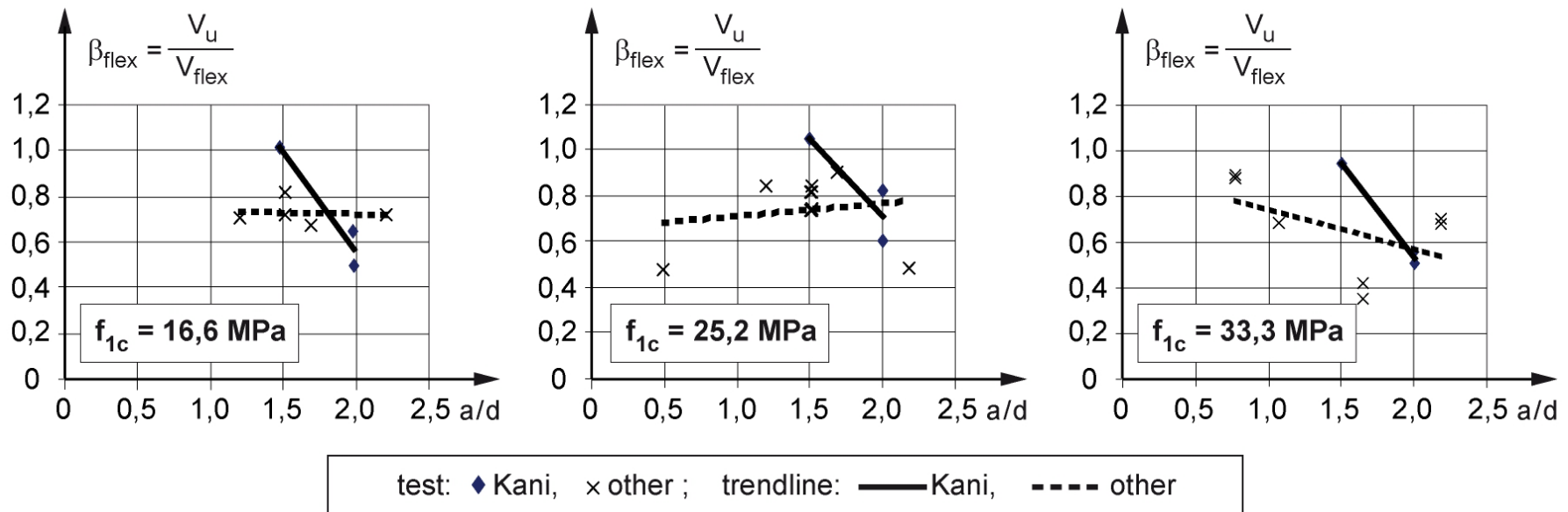


Im Bereich der linken Talflanke mit Lasten im Abstand $a < d$ treten nach Kani Biegebrüche auf. Dies konnte jedoch nicht bestätigt werden, und zwar sogar auch nicht für Versuche an Balken mit Bügeln.



Das folgende Bild zeigt den Vergleich einiger Versuchsserien von Kani mit Versuchen aus der Datenbank mit vergleichbaren Bewehrungsgraden und Betondruckfestigkeiten.

Auch dieser Vergleich bestätigt nicht den von Kani festgestellten Anstieg der Tragfähigkeit von ca. $a/d = 2,0$ bis $a/d = 1,0$. Im Bereich $a/d < 1,0$ war bei den Versuchen aus der Datenbank die Querkrafttragfähigkeit maßgebend und die Biegetragfähigkeit wurde nicht erreicht.



Versuche an Balken aus Stahlleichtbeton ohne Bügel

Von 126 Versuchen an schlanken Balken ohne Bügel mit Einzellasten verblieben nach den Kontrollen 74 Versuche für Auswertungen.

Die Rohdichten wiesen Werte von 1360 bis 2000 kg/m³ auf.

Ansatz nach DIN EN 1992-1-1/NA:

$$V_{Rk,ct} = \left(\alpha_k \cdot \eta_1 \cdot \kappa_{size} \cdot (100 \rho_w \cdot f_{ck})^{1/3} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Die Auswertungen für den zeigten, dass die Funktion

$\eta_1 = (0,40 + 0,60 \cdot \rho_{LC}/2200) \leq 1,0$ im Bemessungswert für die Querkraft nicht gut zutrifft:

- die Abhängigkeit von der Rohdichte wird nicht gut wiedergegeben.
- η_1 sollte um ca. 9% reduziert werden.

Allerdings ist die Anzahl der Versuche nicht sehr hoch, und der Variationskoeffizient ist mit $v = 0,348$ deutlich höher als der Wert $v = 0,230$ für Stahlbetonbalken.

Zusammenfassung

In den vergangenen fast 20 Jahren wurden mit Forschungsmitteln des DAfStb, DIBt und BAST Datenbanken für Querkraftversuche an Balken ohne und mit Bügel erstellt.

Die Kollegen im ACI waren zur Mitarbeit bereit und brachten auch ihre Datenbanken ein. Somit stehen jetzt international den Forschern und Normenmachern die ACI-DAfStb Datenbanken zur Verfügung, die im DAfStb Heft 617 veröffentlicht werden.

Der Wert und die Bedeutung solcher Datenbanken wurde an einigen Ergebnissen von Auswertungen aufgezeigt.

Die Grundsätze der international abgestimmten Datenbanken sind:

- Trennung von Datensammlung, Datenkontrolle und Auswertungen.
- Einheitliche Kriterien zur Kontrolle der Versuche.
- Klare Kriterien für die Auswahl der Versuche für Auswertungen.