



# Zusammenfassung

---

## *Bewertung von neuen Bemessungstabellen für Stützen im Zuge der Novellierung von EN 1992-1-2*

In Eurocode 2 Teil 1-2 sind aktuell drei tabellarische Bemessungsverfahren für die Brandschutzbemessung von Stützen enthalten: Methode A, Methode B und Anhang C. Im Nationalen Anhang des Eurocodes Teil 1-2 wurde für Deutschland nur die Anwendung von Methode A zugelassen, da sowohl Methode B als auch Anhang C auf der unsicheren Seite liegende Werte liefern können. Weiterhin ist im Nationalen Anhang ein Bemessungsverfahren für Kragstützen enthalten.

Das in der CEN/TC 250/SC 2/WG 1/TG 5 vorgestellte vereinfachte Verfahren nach J. Jensen soll alle drei vorgenannten Methoden ersetzen und auch für die brandschutztechnische Bemessung von Kragstützen geeignet sein. Es soll als „universelles Stützenbemessungsverfahren“ in die überarbeitete Version des EC 2-1-2 einfließen. Aufgrund der Komplexität der Stützenbemessung im Brandfall waren jedoch bisher mehrere Bemessungsmethoden in EC 2-1-2 enthalten. Es besteht die Gefahr, dass ein „universelles Stützenbemessungsverfahren“ auf Basis eines vereinfachten Verfahrens in Teilbereichen unsichere Ergebnisse und/oder unwirtschaftliche Ergebnisse liefert.

In diesem Bericht werden die Grundlagen des neuen Verfahrens untersucht und hinsichtlich des vorgesehenen Anwendungsbereiches bewertet. Anhand umfangreicher Vergleichsrechnungen wird ein weites Parameterfeld (Stützenlänge, Schlankheit, Bewehrungsgrad, Lastausnutzung, Ausmitte) untersucht. Zusätzlich sollen die neuen Bemessungstabellen punktuell auf Übereinstimmung mit den bereits eingeführten Möglichkeiten der tabellarischen und vereinfachten Bemessung verglichen werden.

Ziel ist es aufzuzeigen, für welche Fälle das Verfahren systematisch auf der sicheren Seite bzw. auf der unsicheren Seite liegt und in welchen Bereichen das Verfahren wirtschaftlich ist. Damit

kann sichergestellt werden, dass das bisherige Sicherheitsniveau in Deutschland beibehalten wird.

In Kapitel 3 wurde das von Jensen zur Erzeugung seiner Tabellen angewendete vereinfachte Verfahren anhand der wesentlichen Berechnungsschritte erläutert. Der Ansatz zur Berechnung der Querschnittstemperaturen bietet gegenüber den numerischen Lösungsverfahren keinen zeitlichen Vorteil. Die Genauigkeit der Temperaturermittlung entspricht etwa dem händischen Ablesen der Isothermenbilder aus Anhang A, [EC2-1-2], was wiederum deutlich schneller ist als das analytische Verfahren nach Jensen. Abbildung 1 veranschaulicht am Beispiel eines 300 mm x 300 mm (BxH) Querschnitts mit vierseitiger ETK-Beanspruchung den Vergleich zwischen den nach Jensen berechneten und den aus den Bildern des Anhang A, [EC2-1-2] ermittelten Temperaturverlauf zur 90. Minute.

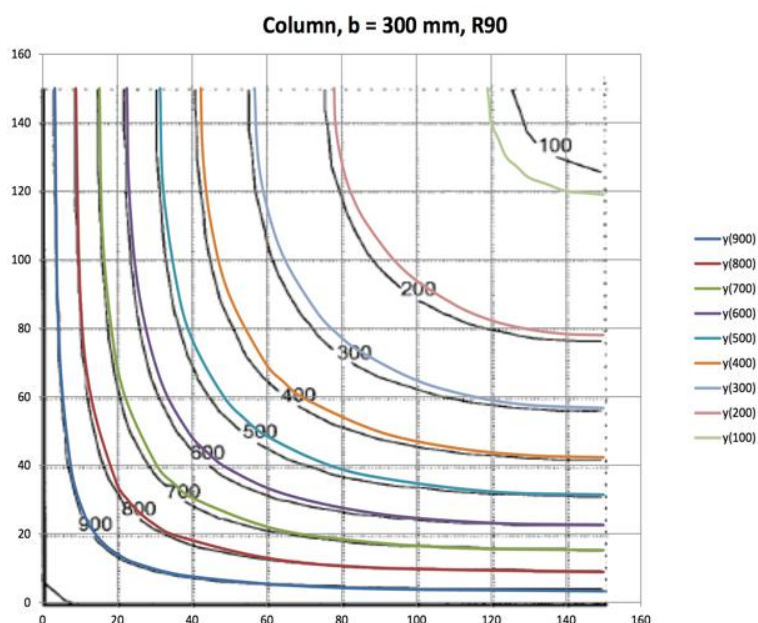


Abbildung 1: Isothermen für eine Beispielstütze nach dem Jensenverfahren im Vergleich mit [EC2-1-2] Anhang A

Die Querschnittsreduktion nach Jensen wird, verglichen mit den Regelungen des [EC2-1-2], für die hier zu betrachtenden Stützen die Tiefe der geschädigten Zone unterschätzt. Ungeachtet weiterer Unterschiede wird hier eine im Vergleich zu den Ansätzen des [EC2-1-2] höherer Querschnittswiderstand im Brandfall ermittelt (siehe Abbildung 2).

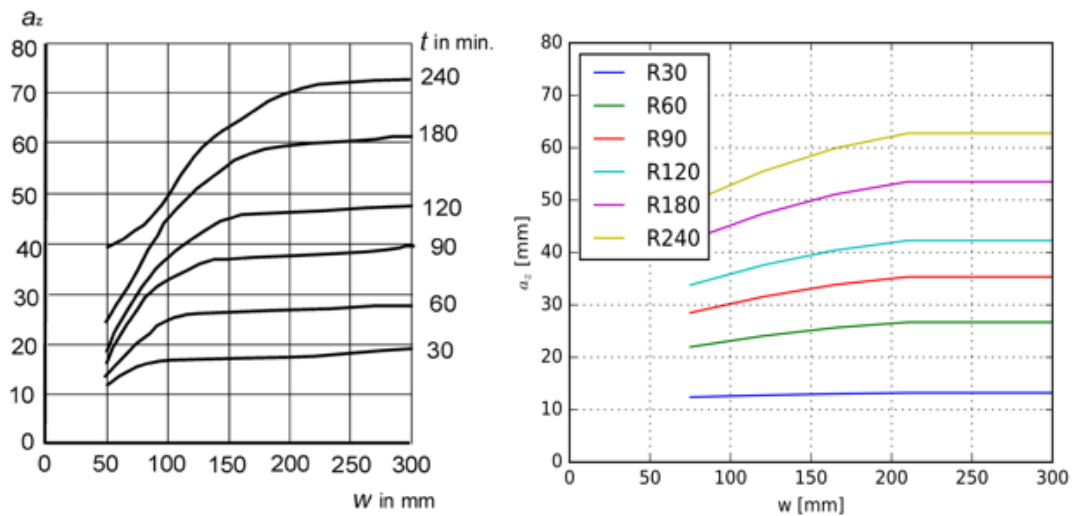


Abbildung 2: Verlauf der Querschnittsreduktion  $a_z$  für eine Stütze oder eine Wand (links) nach [EC2-1-2] und für Stützen nach Jensen (rechts)

Für den reduzierten Bauteilquerschnitt und der mittleren Bewehrungs- und Betontemperatur wird die M-N-Interaktionskurve durch Variation der Betonstauchung auf der Druckseite  $\varepsilon_0$  bzw. der Stahldehnung auf der Zugseite  $\varepsilon_{st}$  berechnet. Die thermischen Dehnungen werden nicht nach den Regelungen des [EC2-1-2] berechnet. Stattdessen werden sie vereinfacht und unabhängig von der Temperatur mit  $1,1 \cdot 10^{-5}$  für den Beton angesetzt. Im Vergleich zu den Regelungen des [EC2-1-2] führt dieser Ansatz ab Temperaturen von  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  zu einer Unterschätzung der thermischen Dehnungen, besonders für Beton mit quarzhaltiger Gesteinskörnung. Jensen nimmt an, dass beim Beton die thermische Dehnung durch die transiente Dehnung kompensiert wird (Abbildung 3).

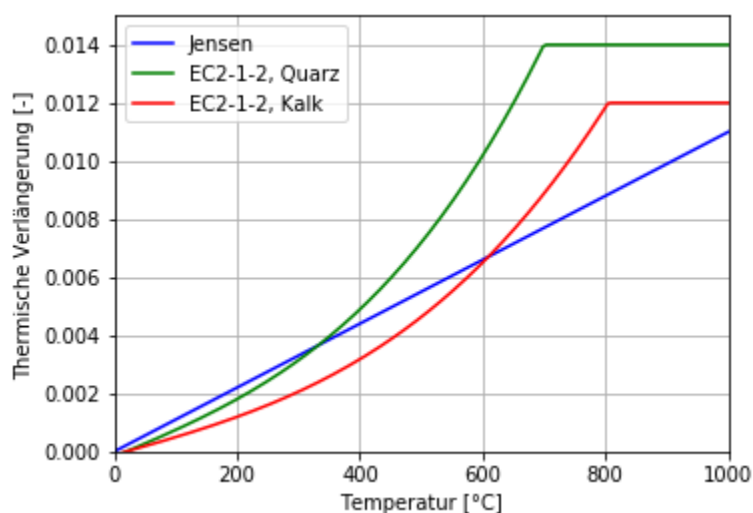


Abbildung 3: Verlauf der thermischen Verlängerung für Temperaturen von  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  nach [EC2-1-2] für quarz- und kalksteinhaltigen Beton sowie nach Ansatz von Jensen

Mit den Vergleichsrechnungen im Kapitel 4 konnte gezeigt werden, dass bei der Bemessung von Stützen im Brandfall nach den Tabellen von J. Jensen ein mögliches Stabilitätsversagen der Bauteile nur vereinfacht berücksichtigt wird. Vor allem bei schlanken Stützen führt der reduzierte Ansatz zur Berücksichtigung der Theorie II. Ordnung zu einer Überschätzung der Stützentragfähigkeit. In der Folge kann das nach dem Allgemeinen Rechenverfahren berechnete  $N_{Rd}$  ggf. unter dem aus den Tabellen ermittelten  $N_{ed,fi}$  liegen. Die Abbildung 4 (oben) zeigt eine schlanke Stütze (mit  $\lambda_{fi,max} = 63$ ) und Abbildung 4 (unten) eine eher gedrungener Stütze (mit  $\lambda_{fi,max} = 30$ ).

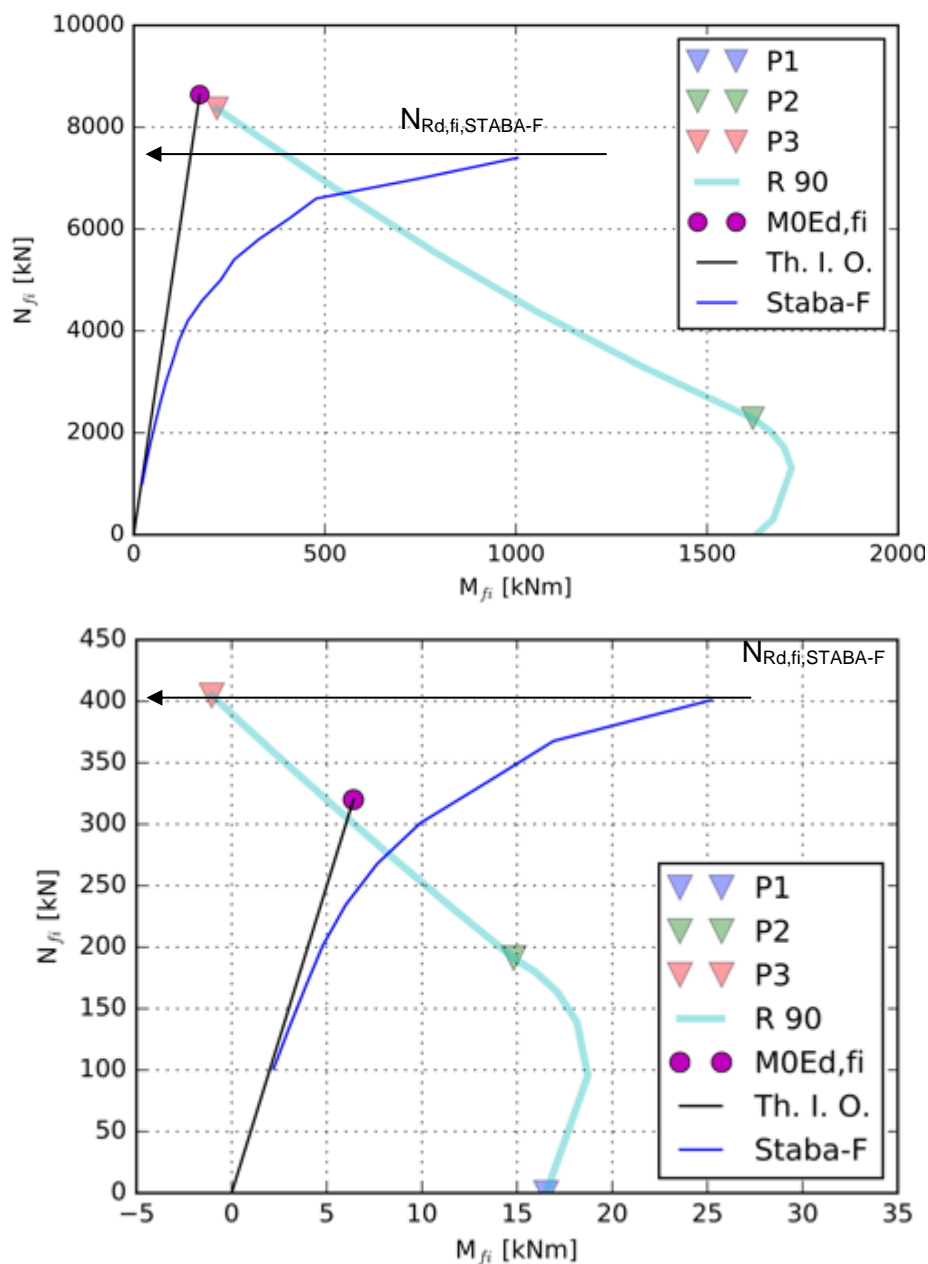


Abbildung 4: Ermittlung der Stützentragfähigkeit im Brandfall mit Hilfe der Zonenmethode nach Jensen für die Beispiele SE4a (oben) und SE21a (unten)

Jedoch ist im Ergebnis (Abschnitt 5.1) festzuhalten, dass die für eine maximale Schlankheit von 55 begrenzten Jensen-Tabellen für Stützen, die im Brandfall nach Eulerfall 3 oder 4 gelagert sind, Werte auf der sicheren Seite liefern und z. T. erhebliche Sicherheitsreserven aufweisen und somit auch zu einer unwirtschaftlichen Bemessung führen können. Für die Eulerfälle 1 und 2 werden im Mittel ebenfalls Werte der sicheren Seite geliefert, ca. 50% der Werte liegen auf der unsicheren Seite (Abbildung 5). Dies ist in etwa vergleichbar dem Sicherheitsniveau des Stützenbemessungsverfahrens der Methode A Gl. 5.7 in EC 2-1-2, welches an Brandversuchen kalibriert wurde (Abbildung 6).

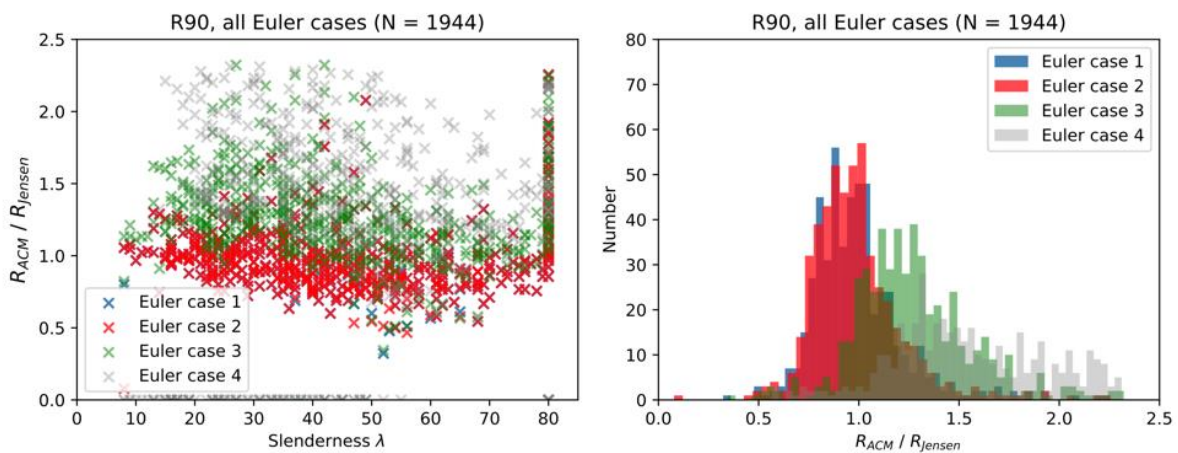


Abbildung 5 Zusammenfassung der untersuchten Stützen in Abhängigkeit der Schlankheit (links) und der Verteilung in Abhängigkeit des  $\frac{R_{ACM}}{R_{Jensen}}$ -Verhältnisses (rechts) für den Eulerfall 1 bis 4, R 90

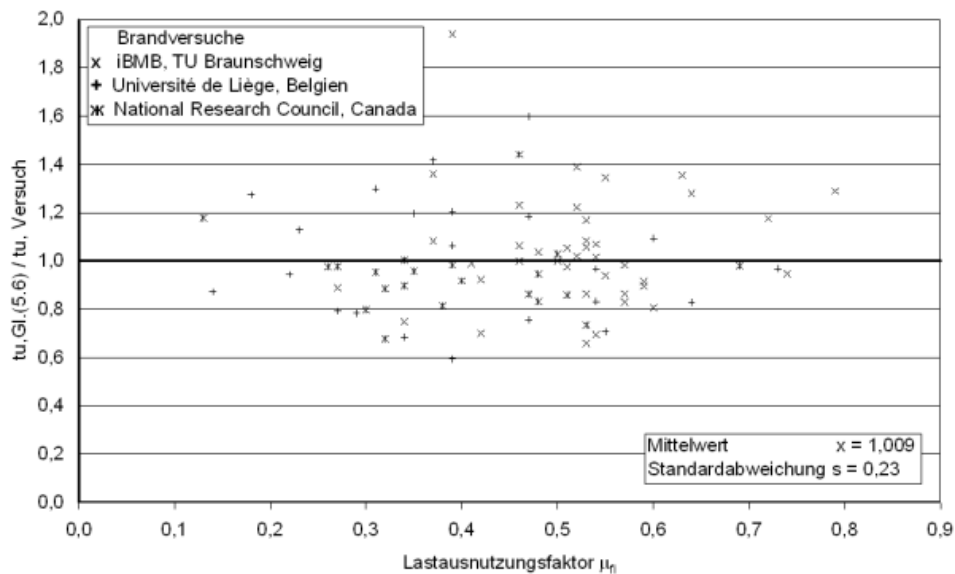


Abbildung 6 Vergleich der nach Methode A Gl. 5.7 berechneten Feuerwiderstandsdauern mit Brandversuchen

Aus den Untersuchungen der Parametereinflüsse (Abs. 5.2) konnte keine wesentlich neue Tendenz hinsichtlich einer Verbesserung der Tragfähigkeit aufgrund weiterer Eingrenzungen von Randbedingungen bzw. Parameter ermittelt werden. Grundsätzlich gilt, dass für höhere Schlankheiten Ergebnisse tendenziell stärker auf der unsicheren Seite erzielt werden. Exemplarisch zeigt Abbildung 7 einen Auszug an Stichproben mit unterschiedlichen Belastungsgraden  $\eta_{fi}$ . Ein geringer Belastungsgrad liegt tendenziell im Bereich hoher Schlankheiten, da diese aufgrund der geringeren Momentenbelastung ermöglicht werden.

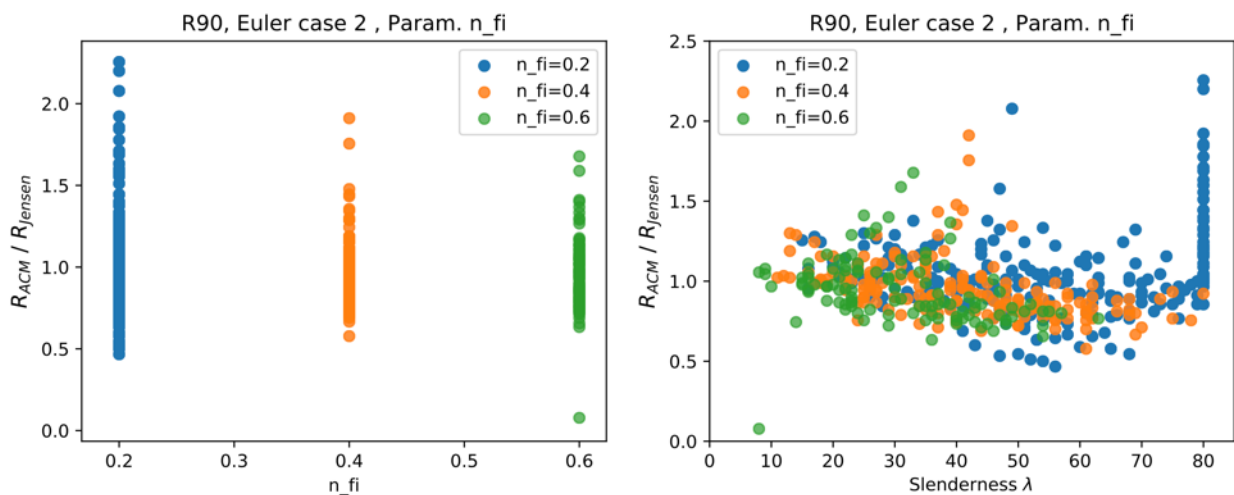


Abbildung 7: Detaillierte Untersuchung der Lastausnutzung  $\eta_{fi}$  für Stützen im Eulerfall 2 in der Feuerwiderstandsklasse R 90

Grundsätzlich wird bei Anwendung der Jensen-Tabellen für die Brandschutzbemessung von Stützen das bisherige Sicherheitsniveau in Deutschland eingehalten. Es wird empfohlen die Anwendung auf eine maximale Schlankheit im Brandfall von 55 zu begrenzen. Weiterhin wird empfohlen die Methode A in der Novellierung des Eurocodes 2-1-2 beizubehalten und nicht vollständig durch die Jensen-Tabellen zu ersetzen.