

Dr.-Ing. Joachim Kretz

# Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8

## Teil 4: Erweiterung der Komponentenmethode auf 4 Schrauben in einer Reihe

Mit der in DIN EN 1993-1-8 beschriebenen Komponentenmethode steht dem Tragwerksplaner ein allgemeingültiges Bemessungsmodell für die Ermittlung der Tragfähigkeit, der Steifigkeit und der Anschlussverformung von 2-reihigen momententragfähigen Stirnplattenverbindungen zur Verfügung. Ein auf den Grundprinzipien der Komponentenmethode basierendes Bemessungsmodell erweitert die Anwendung auf 4-reihige Anschlusskonfigurationen.



Der EC 3 enthält lediglich Komponenten für Anschlüsse mit zwei Schrauben in einer Reihe. Die Ermittlung der Kenngrößen dieser Komponenten erfolgt nach den Regelungen des EC 3. Auf 4-reihige Anschlusskonfigurationen, wie z. B. die typisierten IH2- und IH4-Anschlüsse, kann die Komponentenmethode nicht direkt übertragen werden. Im Rahmen eines AIF-Forschungsvorhabens [4] wurde ein allgemeingültiges, auf den Grundprinzipien der Komponentenmethode basierendes Bemessungsmodell entwickelt. Mit diesem Bemessungsmodell kann das Trag- und Verformungsverhalten von 4-reihigen Anschlusskonfigurationen realitätsnah erfasst werden. Das der Bemessung zugrundeliegende T-Stummel-Modell, mit dem in der Komponentenmethode biegebe-

anspruchte Bauteile wie Stirnplatten oder Stützenflansche erfasst werden, wurde dabei auf Basis der Versuchsergebnisse von Bauteil- und Komponentenversuchen entwickelt und über numerische Analysen verifiziert.

In dem nachfolgenden Beitrag, dem Teil 4 der Fachartikel zur Komponentenmethode, wird die Erweiterung der Komponentenmethode auf vier Schrauben in einer Reihe vorgestellt. Wegen des großen Umfangs des Themas können im Rahmen dieses Artikels nur die wesentlichen Grundlagen und Berechnungsformeln angegeben und erläutert werden. Zur weiteren Vertiefung wird auf den zugrunde liegenden Teil 1-8 des EC 3 sowie auf die weiterführende Literatur verwiesen.

## 1 Einleitung

### 1.1 Bemessungsmodell nach DIN EN 1993-1-8

Das durch Versuche und numerische Analysen bestätigte allgemeingültige Bemessungsmodell für die Ermittlung der Tragfähigkeit und der Anschlusssteifigkeit ist in der in DIN EN 1993-1-8 vorliegenden Form nur für 2-reihige momenten-tragfähige Stirnplatten- bzw. Träger-Stützen-Verbindungen geregelt. Das Bemessungsmodell ermöglicht für die 2-reihigen Anschlusskonfigurationen realitätsnahe Berechnungen mit einer wirtschaftlichen Auslegung der Anschlüsse. Auf die in Deutschland häufig ausgeführten 4-reihigen Anschlusskonfigurationen kann die Komponentenmethode jedoch nicht direkt übertragen werden. Eine erste Erweiterung der Komponentenmethode von Sedlacek und Weynand auf 4-reihige Anschlüsse, die Grundlage für die „typisierten Anschlüsse im Stahlhochbau – Band 2“ [13] ist, liefert konservative Grenztragfähigkeiten. Zudem erfordert dieses Verfahren bei Träger-Stützen-Verbindungen zwingend die Anordnung stützenseitiger Steifen, damit die dem Modell zugrunde liegenden Randbedingungen eingehalten werden. Für 4-reihige Anschlusskonfigurationen können damit nicht in allen Fällen wirtschaftlich optimierte Verbindungen nachgewiesen werden. Die Komponentenmethode wurde deshalb im Rahmen eines AIF-Forschungsvorhabens auf die wirtschaftliche Auslegung von 4-reihigen Anschlusskonfigurationen erweitert.

### 1.2 Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Das Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines Bemessungsmodells für 4-reihige Anschlüsse, bei dem neben den Anschlusstragfähigkeiten auch die Verteilung der Schraubenkräfte im Anschluss sowie das Last-Verformungsverhalten von besonderem Interesse war. Damit das erweiterte Bemessungsmodell für 4-reihige Anschlüsse in das bereits vorhandene Bemessungsmodell der DIN EN 1993-1-8 integriert werden konnte, wurde auf die Grundlagen des bekannten T-Stummel-Modells zurückgegriffen.

### 1.3 Durchführung des Forschungsvorhabens

Für die Absicherung und die Verifizierung des auf 4 Schrauben in einer Reihe erweiterten Bemessungsmodells wurde nachfolgender Lösungsweg zur Durchführung des Forschungsvorhabens nach [4] gewählt:

- Durchführung von Bauteil- und Komponentenversuche
- Auswertung der Versuchsergebnisse
- Entwicklung des Bemessungsmodells
- Numerische Untersuchungen
- Kontrolle und Verifikation des Bemessungsmodells

Das so entwickelte Bemessungsmodell wurde zum einen an den Versuchsergebnissen kalibriert und zum anderen mit Hilfe der begleitend durchgeführten numerischen Untersuchungen verifiziert.

## 2 AIF-Modell mit 4 Schrauben pro Reihe

### 2.1 Durchführung des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben wurde gemeinsam von der Technischen Universität Dortmund, der RWTH Aachen und der Fachhochschule Köln durchgeführt. In dem dazu erstellten

Forschungsbericht 3/2009 [4] sind ausführliche Beschreibungen der experimentellen Untersuchungen, des entwickelten analytischen Modells und der numerischen Untersuchungen enthalten. Zur weiteren Vertiefung zu diesem Thema wird auf den Forschungsbericht verwiesen, so dass im Folgenden lediglich die wesentlichen Grundlagen für das erweiterte Bemessungsmodell für 4-reihige Schraubanschlüsse in einer Reihe angegeben werden.

In Bild 1 ist exemplarisch eine Detailaufnahme eines Bauteilversuches nach der Versuchsdurchführung dargestellt. Deutlich sichtbar sind die großen Verformungen der Kopfplatten im Bereich des Zugflansches.



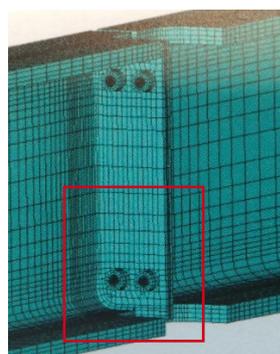
**Bild 1.**  
Detailaufnahme Bauteilversuch nach Versuchsdurchführung aus [4]

Infolge der großen Verformungen der Stirnplatten im Bereich des Plattenüberstandes stellen sich Abstützkräfte ein, wie dies in Bild 1 gut zu erkennen ist.

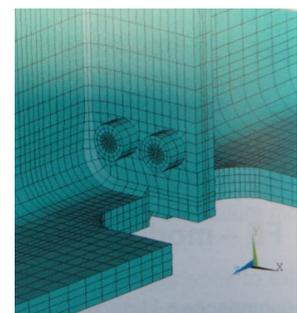
Bei den durchgeführten Versuchen wurde neben der Stirnplattendicke auch die Anschlussbreite des Walzprofils an die Stirnplatten variiert. Diese Abstufung wurde gewählt, um auch Anschlusskonfigurationen zu unterscheiden, bei denen die äußeren Schrauben nicht mehr innerhalb der Trägerkammer liegen.

### Numerische Untersuchungen

Um das anschließend näher beschriebene Bemessungsmodell verifizieren zu können, wurden umfangreiche numerische Untersuchungen durchgeführt. Im Bereich des Anschlusses wurde die Modellierung der Anschlusskonfiguration mit 3D-Volumenelementen durchgeführt (Bild 2). Durch die Verwendung von Kontaktelementen konnte das Tragverhalten realitätsnah simuliert werden.



**Ausschnitt:**



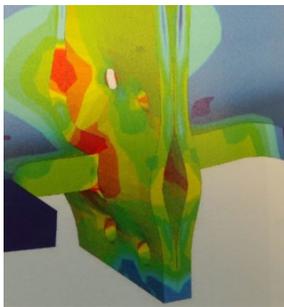
**Bild 2.** FE-Modell eines Versuchsanschlusses aus [4] (hier mit reduzierter Flanschbreite)



Ein besonderes Augenmerk lag auf der Bestimmung der Schraubenkräfte (die in den Versuchen durch Dehnmessstreifen ermittelt wurden).

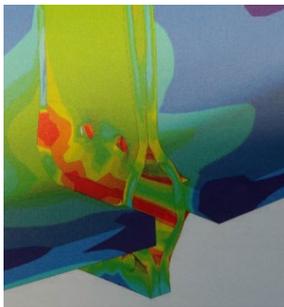
Aus den gemessenen Versuchsdaten und den numerischen Untersuchungen kann eine Umlagerung der Schraubenkräfte hin zu den am Steg liegenden Schrauben bei Reduzierung der Anschlussbreite festgestellt werden.

Die in Bild 3 berechneten Vergleichsspannungen im Vergleich zu den Vergleichsspannungen aus Bild 4 mit größerer Flanschbreite bestätigen dies. Da die Stirnplatten nicht auf voller Breite angeschlossen sind, kann kein direkter Lastabtrag von den außenliegenden Schrauben zum Trägerflansch hin erfolgen. Die Stirnplatten unterliegen dadurch einer zweiaxialen Biegebeanspruchung.



**Bild 3.** Vergleichsspannungen und Anschlussverformungen eines Versuches mit reduzierter Flanschbreite aus [4] im Traglastzustand

Infolge der Reduzierung der Flanschbreite im Anschlussbereich steigen die Dehnungen und damit die Spannungen im Trägerflansch an. Dies wird sowohl durch die numerischen Berechnungen als auch durch die im Versuch gemessenen Dehnungen bestätigt.



**Bild 4.** Vergleichsspannungen und Anschlussverformungen eines Versuches mit großer Flanschbreite aus [4] im Traglastzustand

### 2.2 Fließmuster und effektive Längen

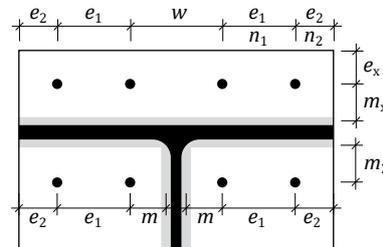
Auch für Anschlüsse mit 4 Schrauben pro Reihe können die in DIN EN 1993-1-8 angegebenen Versagensmodi (Vollständiges Fließen der Flansche, Schraubenversagen mit Fließen der Flansche und reines Schraubenversagen) je nach Anschlussgeometrie beobachtet werden. Das Versagen stellt sich in Abhängigkeit der auftretenden Fließmuster und der damit verbundenen effektiven Längen ein.

Wagenknecht hat in „Band 3 Komponentenmethode“ [6] seiner Bücher zur Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3 die auf vier Schrauben in einer Reihe erweiterte Komponentenmethode sehr ausführlich dargestellt und erläutert. Im Rahmen dieses kurzen Fachartikels werden Auszüge aus dieser Literaturstelle verwendet.

Für einen Stirnplattenstoß werden im Folgenden die aus dem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse bzgl. der möglichen Fließmuster und der effektiven Längen unter Bezug auf [6] angegeben.

#### 2.2.1 Effektive Längen für die äußere Schraubenreihe

In Bild 5 wird zunächst die Definition der Bezeichnungen für die effektiven Längen dargestellt.

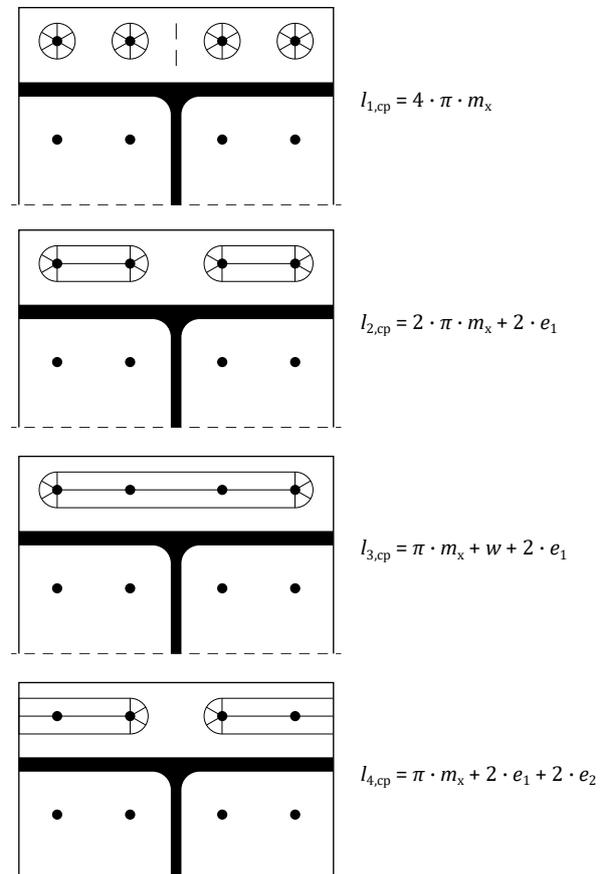


**Bild 5.** Definition der Bezeichnungen der effektiven Längen

Die sich einstellenden Fließmuster werden entsprechend DIN EN 1993-1-8 in kreis- und trapezförmige Fließmuster unterteilt.

#### Kreisförmige Fließmuster für die außen liegende Schraubenreihe

Bei einer außen liegenden Schraubenreihe fehlt im Vergleich zu einer innen liegenden Schraubenreihe der mittlere Steg. Die Schrauben werden zur Bestimmung der effektiven Längen einzeln und als eine horizontale Schraubengruppe betrachtet. Bild 6 zeigt mögliche kreisförmige Fließmuster für die außen liegende Schraubenreihe.



**Bild 6.** Kreisförmige Fließmuster für die außen liegende Schraubenreihe nach [4]

**Trapezförmige Fließmuster für die außen liegende Schraubenreihe**

Auch für die trapezförmigen Fließmuster werden die Schrauben einzeln und als eine horizontale Schraubengruppe betrachtet (Bild 7).

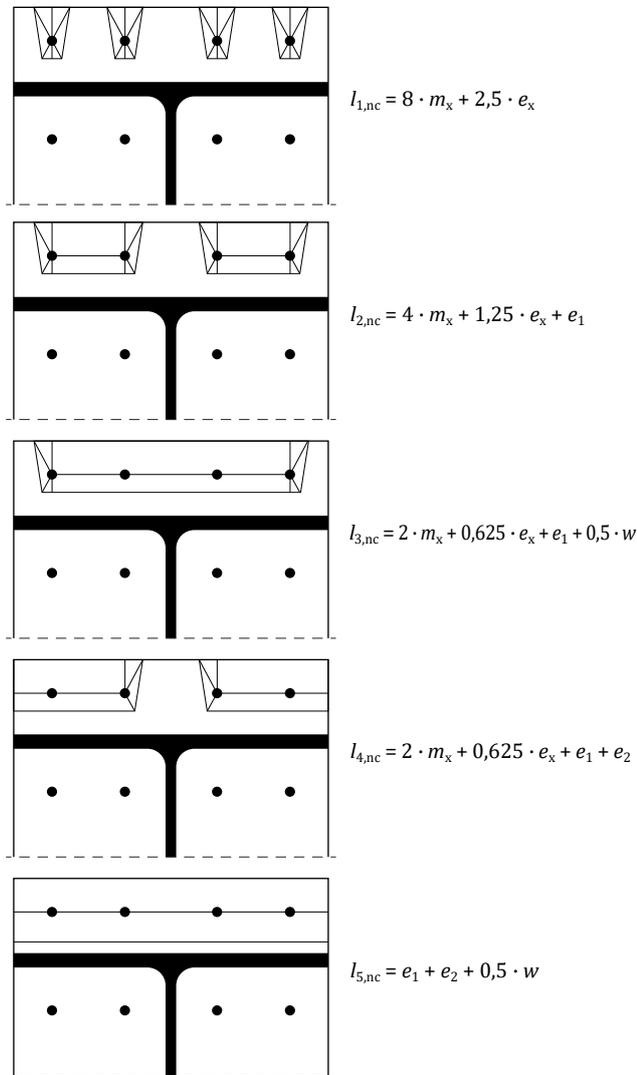


Bild 7. Trapezförmige Fließmuster für die außen liegende Schraubenreihe nach [4]

**2.2.2 T-Stummel für die äußere Schraubenreihe**

Grundlage der Berechnung ist das T-Stummel-Modell des EC 3. Dabei ist für die effektive Länge  $l_{eff,cp}$  der kleinste Wert der Länge nach Bild 6 zu verwenden. Als maßgebender Wert für die effektive Länge  $l_{eff,nc}$  ist der kleinste Wert nach Bild 7 anzusetzen.

Für ein Versagen nach Modus 1 „Vollständiges Fließen des Flansches“ gilt:

**Modus 1:**  
 $l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$

Für ein Versagen nach Modus 2 „Versagen der Schrauben mit Fließen der Flansche“ gilt:

**Modus 2:**  
 $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$

Die plastischen Momente  $M_{pl,1,Rd}$  und  $M_{pl,2,Rd}$ , die sich in den Kopfplatten einstellen, sowie die Tragfähigkeiten  $F_{T,i,Rd}$ , die sich nach dem erweiterten Bemessungsmodell ergeben, werden nachfolgend aufgelistet. Über die Berechnung der Grenztragfähigkeiten wird berücksichtigt, ob Abstützkräfte auftreten. Der Wert der kleinsten Grenztragfähigkeit wird für die Anschlusstragfähigkeit maßgebend.

**Tragfähigkeiten:**

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot 4 \cdot F_{t,Rd}}{m}$$

$$F_{T,3,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd}$$

$$F_{T,4,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$

**2.2.3 Effektive Längen für die innere Schraubenreihe**

Auch für die innere Schraubenreihe erfolgt zunächst mit Bild 8 eine Definition der Bezeichnungen für die effektiven Längen.

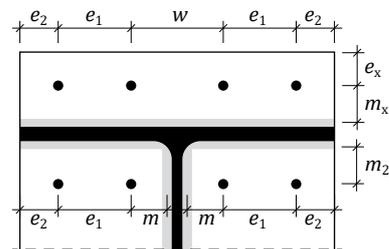


Bild 8. Definition der Bezeichnungen der effektiven Längen

Wie bei der äußeren Schraubenreihe wird auch hier zwischen kreis- und trapezförmigen Fließmustern unterschieden.

**Kreisförmige Fließmuster für die innen liegende Schraubenreihe**

Werden die Schrauben einzeln betrachtet, stellen sich die kreisförmigen Fließmuster nach Bild 9 ein.

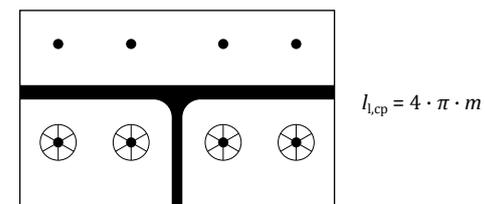


Bild 9. Kreisförmige Fließmuster für einzelne Schrauben der innen liegenden Schraubenreihe nach [4]

Neben den Fließmustern für einzelne Schrauben sind auch die Fließmuster für Schraubengruppen zu untersuchen. Die zusätzliche Betrachtung der Fließmuster als Gruppe ist nach den Untersuchungen von B. Schmidt [9] in Bild 10 dargestellt.

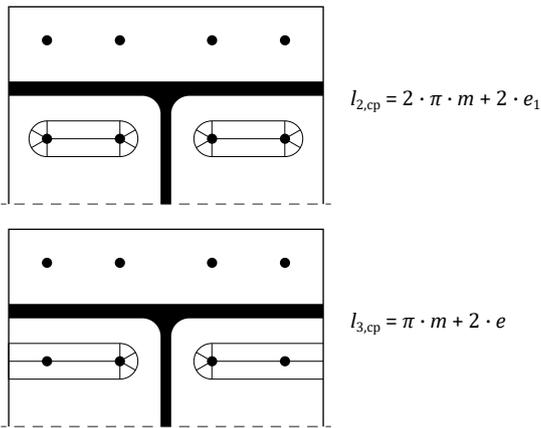


Bild 10. Kreisförmige Fließmuster für die Schraubengruppen der innen liegenden Schraubenreihe nach [4]

**Trapezförmige Fließmuster für die innen liegende Schraubenreihe**

Diese Betrachtung geht von einer horizontalen Schraubengruppe entsprechend Bild 11 aus.

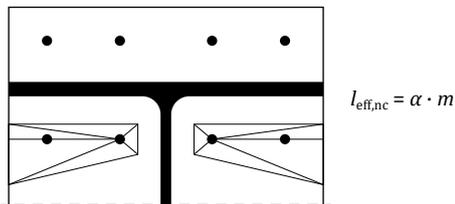


Bild 11. Trapezförmige Fließmuster für die innen liegende Schraubenreihe nach [4]

Zur Bestimmung der effektiven Länge  $I_{eff,nc}$  ist der Beiwert  $\alpha$  aus dem Diagramm des Bildes 12 zu bestimmen. Als maßgebende effektive Länge ist wiederum der kleinste Wert der effektiven Länge infolge der verschiedenen Fließmuster zu verwenden.

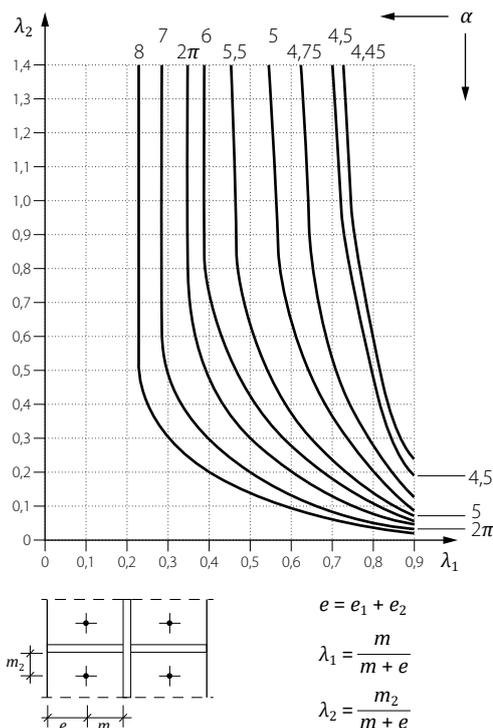


Bild 12.  $\alpha$ -Werte für ausgesteifte T-Stummel

**2.2.4 T-Stummel für die innere Schraubenreihe**

Auf der Grundlage des T-Stummel-Modells nach dem AIF-Modell ergeben sich nachfolgende Tragfähigkeiten:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t,Rd} \cdot \left(1 + \frac{n_2}{n} + \frac{n_1 \cdot n_2}{n^2}\right)}{m + n}$$

$$F_{T,3,Rd} = 3.6 \cdot F_{t,Rd}$$

$$F_{T,4,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot F_{t,Rd} \cdot n_1 \cdot n}{m + n_1}$$

Auch für die innere Schraubenreihe wird der Wert der kleinsten Grenztragfähigkeit für die Anschlusstragfähigkeit maßgebend.

**2.2.5 Versagens-Modi nach dem AIF-Bemessungsmodell**  
Mögliche Versagensarten bei T-Stummeln mit vier Schrauben:

**Versagensart 1:**

**(Modus 1) Vollständiges Fließen der Flansche**

Das Versagen ist wie bei den 2-reihigen Anschlusskonfigurationen gekennzeichnet durch ein vollständiges Fließen der Flansche. Dieses Versagen tritt bei dünnen Platten auf. Durch die Biegeverformung des Flansches entstehen Abstützkräfte  $Q$ .

Die Versagensart 1 ist in Bild 13 prinzipiell dargestellt.

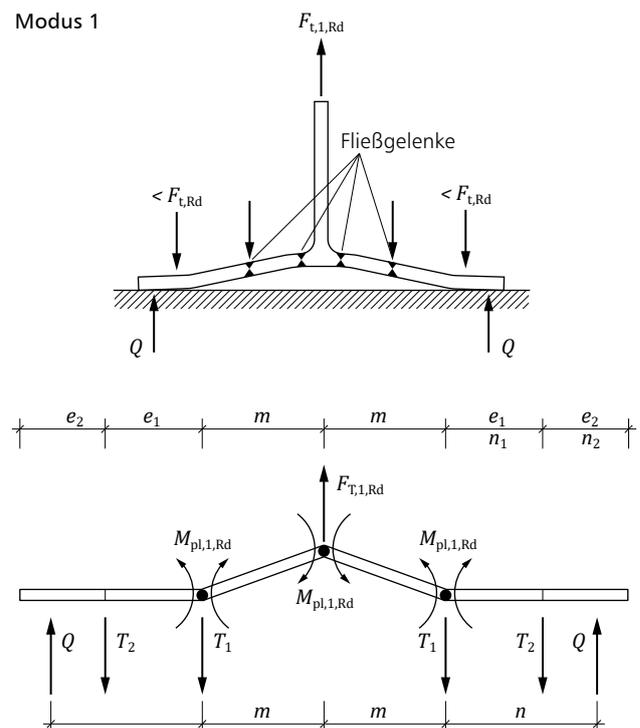


Bild 13. Modus 1 und Bezeichnungen für die Berechnung nach [4, 6]



Bildet man die Summe der Momente am rechten Teil, so ergeben sich die Gleichungen:

$$M_{pl,1,Rd} + M_{pl,1,Rd} - \frac{F_{T,1,Rd}}{2} \cdot m = 0$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$

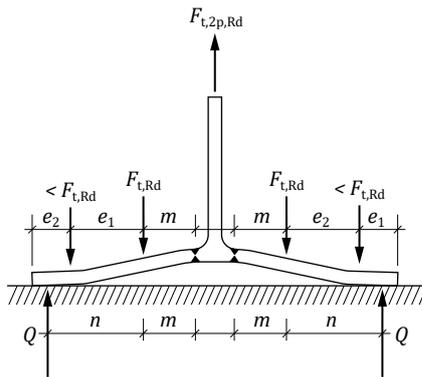
**Versagensart 2:**

**(Modus 2) Schraubenversagen mit Fließen der Flansche**

Hierbei handelt es sich um ein gemischtes Versagen durch Ausbildung von Fließlinien in den Flanschen ohne Erreichen des vollständigen plastischen Versagens und Erreichen der Zugbeanspruchbarkeit der Schrauben infolge  $F_{t,Rd}$  und der Abstützkräfte  $Q$ . Dieses Versagen tritt bei mitteldicken Platten auf. Für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 liegt das Verhältnis der Plattendicke zu dem Schraubendurchmesser näherungsweise bei  $0.75 < t/d < 1.25$ .

Die Darstellung der Versagensart 2 und die Bezeichnungen für die Berechnung von Modus 2 sind Bild 14 zu entnehmen.

**Modus 2 – mit Abstützkräften**



**Modus 2 – ohne Abstützkräfte**

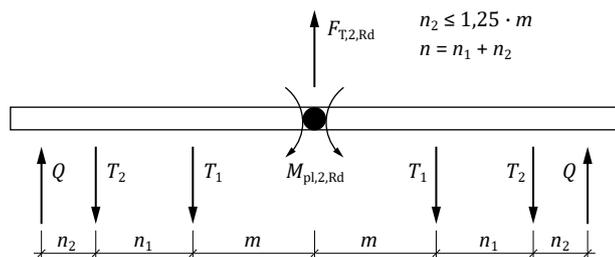
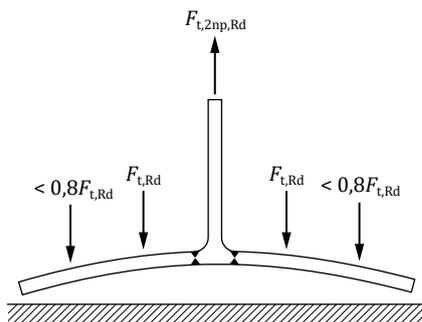


Bild 14. Modus 2 mit und ohne Abstützkräfte  $Q$  sowie Bezeichnungen für die Berechnung nach [4, 6]

Aus der Summe der vertikalen Kräfte ergibt sich die Gleichung:

$$F_{T,2,Rd} + 2 \cdot Q - 2 \cdot T_1 - 2 \cdot T_2 = 0$$

Die weitere Momentenbetrachtung um das Fließgelenk liefert die Gleichung:

$$M_{pl,2,Rd} + Q \cdot (m + n) - T_1 \cdot m - T_2 \cdot (m + n_1) = 0$$

Die innere Schraube  $T_1$  erreicht im Grenzzustand die Grenztragfähigkeit  $T_1 = F_{t,Rd}$ .

Auch für die äußere Schraube muss eine Annahme getroffen werden, damit das Gleichungssystem gelöst werden kann. Auf der Grundlage der Untersuchungen im Rahmen seiner Dissertation wird von Schmidt [9] die nachfolgende Annahme getroffen.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{n_2}{n} \text{ und } T_2 = \frac{n_2}{n} \cdot F_{t,Rd}$$

Sowohl beim Modus 2 ohne Abstützkräfte als auch beim Modus 3 wird in dem erweiterten T-Stummel-Modell eine Beschränkung der Zugkräfte in der äußeren Schraube auf 80% von  $F_{t,Rd}$  vorgenommen.

Nach Einsetzen dieser Werte in die Ausgangsgleichungen für die vertikale Grenztragfähigkeit sowie das Grenzmoment ergibt sich die Abstützkraft  $Q$  zu:

$$Q = F_{t,Rd} \cdot \left(1 + \frac{n_2}{n}\right) - \frac{F_{T,2,Rd}}{2}$$

Die Grenztragfähigkeit  $F_{T,2,Rd}$  gilt jedoch nur, wenn die Abstützkraft  $Q$  eine Druckkraft ist. Dies führt zu der Bedingung:

$$F_{T,2,Rd} \leq 2 \cdot F_{t,Rd} \cdot \left(1 + \frac{n_2}{n}\right)$$

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen und nach einigen Umformungen führt dies zu der Grenztragfähigkeit:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot 2 \cdot F_{t,Rd} \cdot \left(1 + \frac{n_2}{n} - \frac{n_1 \cdot n_2}{n^2}\right)}{m + n}$$

**Versagensart 3:**

**(Modus 3) Schraubenversagen**

Die Beanspruchbarkeit des T-Stummels wird allein durch die Grenztragfähigkeit der Schrauben bestimmt. Infolge der großen Biegesteifigkeit der Flansche entstehen keine Abstützkräfte.

Dieses Versagen tritt bei dicken Platten auf. Für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 liegt das Verhältnis der Plattendicke zu dem Schraubendurchmesser bei  $t/d > 1.25$ . Auch hier wird – wie beim Modus 2 ohne Abstützkräfte – die Annahme getroffen, dass die äußere Schraube den Wert  $0.8 \cdot F_{t,Rd}$  erreicht, wenn die innere Schraube mit  $F_{t,Rd}$  die Grenztragfähigkeit erreicht.

Modus 3

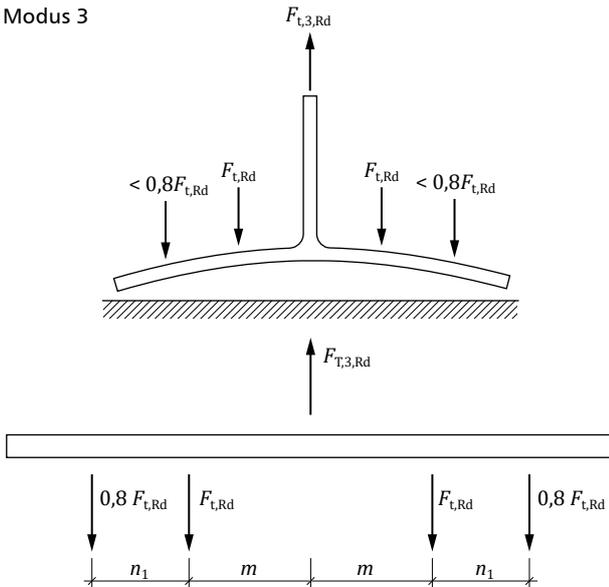


Bild 15. Modus 3 und Bezeichnungen für die Berechnung nach [4, 6]

Mit dieser Annahme ergibt sich die Tragfähigkeit zu:

$$F_{T,3,Rd} = 3.6 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} + 2 \cdot 0.8 \cdot F_{t,Rd}$$

Wagenknecht gibt in [6] noch einen weiteren Versagensmodus an, den Modus 4, der das Versagen der Platte ohne Abstützkräfte beschreibt. Dieses Versagen wird der Vollständigkeit halber hier mit angegeben.

Versagensart 4:

(Modus 4) Versagen der Platte – ohne Abstützkräfte

Die Bezeichnungen für diese Versagensart sind Bild 16 zu entnehmen.

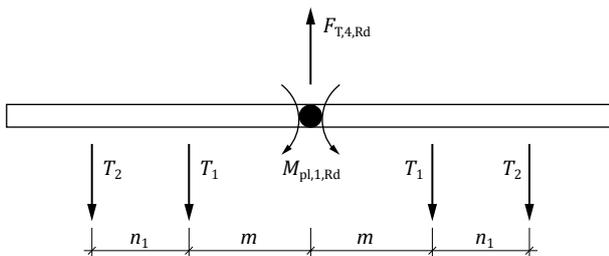


Bild 16. Bezeichnungen für die Berechnung nach [6]

Bildet man die Summe der vertikalen Kräfte und die Summe der Momente um das Fließgelenk, so ergeben sich nachfolgende Gleichungen:

$$F_{T,4,Rd} - 2 \cdot T_1 - 2 \cdot T_2 = 0$$

$$M_{pl,1,Rd} - T_1 \cdot m - T_2 \cdot (m + n_1) = 0$$

Erreicht die innere Schraube die Grenztragfähigkeit, gilt:

$$T_1 = F_{t,Rd}$$

Mit diesen Grundlagen ermittelt sich die Grenztragfähigkeit  $F_{T,4,Rd}$  zu:

$$F_{T,4,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot F_{t,Rd} \cdot n_1}{m + n_1}$$

Für Stirnplattenstöße mit vier Schrauben in einer Reihe sind damit alle Grundlagen zur Erweiterung des T-Stummel-Modells angegeben. Die Berechnung der weiteren Grundkomponenten eines Anschlusses kann in Analogie zu dem Bemessungsmodell der DIN EN 1993-1-8 für zwei Schrauben in einer Reihe bestimmt werden.

Die Kenngrößen eines Anschlusses (Momententragfähigkeit, Rotationssteifigkeit, Rotationskapazität) sind mit der Erweiterung des T-Stummel-Modells auf 4-reihige Schraubverbindungen nun auch für die häufig ausgeführten Anschlüsse mit vier Schrauben pro Reihe wirtschaftlich zu berechnen.

Die Träger-Stützen-Anschlüsse mit 4 Schrauben in einer Reihe sind in Analogie zu den Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben pro Reihe nachzuweisen. Hierzu sind die kreisförmigen und trapezförmigen Fließmuster und die zugehörigen effektiven Längen zu bestimmen. Da die möglichen Fließmuster und die daraus abgeleiteten effektiven Längen ausführlich von Wagenknecht in [6] angegeben sind, wird an dieser Stelle auf die Angabe dieser Werte verzichtet.

### 3 4-reihiger momententragfähiger Anschluss

Mit dem auf 4 Schrauben in einer Reihe erweiterten T-Stummel-Modell kann das Trag- und Verformungsverhalten auch komplexerer Stützen-Träger-Anschluss-Konfigurationen nachgewiesen werden. Als Beispiel wird eine gevoutete Rahmenecke eines Stützen-Riegel-Anschlusses dargestellt (Bild 17).

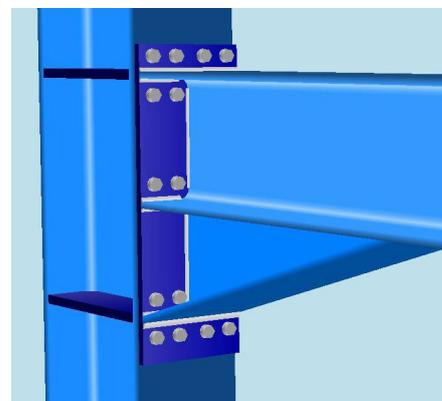


Bild 17. Momententragfähige gevoutete Rahmenecke mit 4 Schrauben in einer Reihe

**Klassifizierung:**

Unter Anwendung des erweiterten Bemessungsmodells für 4-reihige Schraubenanordnungen erfolgt die Klassifizierung des Anschlusses:

Tragfähigkeit: volltragfähig  
Steifigkeit: starr

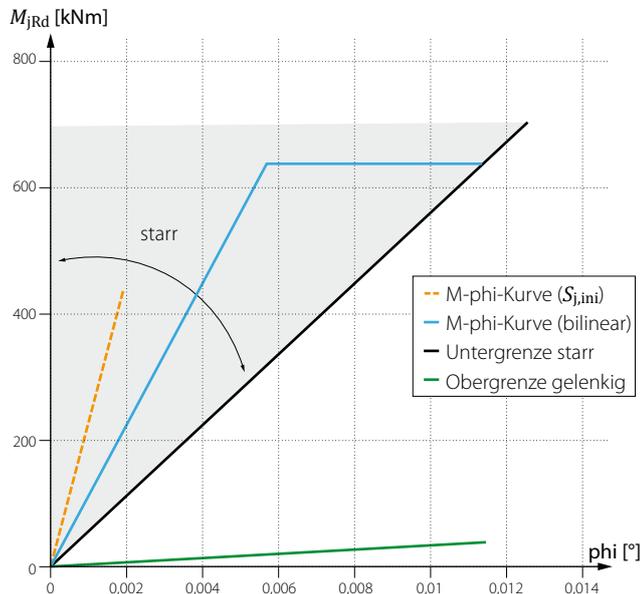


Bild 18. Momenten-Rotations-Charakteristik

## 4 Zusammenfassung

Im vierten Teil des Artikels zur Berechnung von momententragfähigen Anschlüssen nach DIN EN 1993-1-8 wurde die Erweiterung der Komponentenmethode für geschraubte, momententragfähige Stützen-Riegel-Anschlüsse auf 4 Schrauben in einer Reihe angegeben. Mit dem erweiterten Bemessungsmodell für 4-reihige Anschlusskonfigurationen können auf Basis der Komponentenmethode nach DIN EN 1993-1-8 sowohl die Anschlussfähigkeit als auch die Anschlusssteifigkeit realitätsnah und damit wirtschaftlich, abgebildet werden. Das entwickelte Bemessungsmodell wurde zum einen an den Versuchsergebnissen kalibriert und zum anderen mit Hilfe der begleitend durchgeführten numerischen Untersuchungen verifiziert.

Dr.-Ing. Joachim Kretz  
mb AEC Software GmbH  
mb-news@mbaec.de

## Normen und Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-8:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Stahlbauten. Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009.
- [2] DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter. Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen.
- [3] Ungermann, D.; Puthli, R.; Ummenhofer, T.; Weynand, K.: Eurocode 3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Band 2: Anschlüsse; DIN EN 1993-1-8 mit Nationalem Anhang Kommentar und Beispiele. Bauforumstahl e. V., Düsseldorf, August 2015.
- [4] AiF: Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momententragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf Grundlage der prEN 1993-1-8:2003. Bericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 15059, 2010.
- [5] Ungermann, D.; Schneider, S.: Momententragfähige Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8 (EC3-1-3). In „Dresdener Stahlbaufachtagung, März 2014.
- [6] Wagenknecht, G.: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3 Komponentenmethode, 2. akt. Auflage, Beuth Verlag GmbH, März 2017.
- [7] Ungermann, D.; Weynand, K.; Jaspert, J.-P.; Schmidt, B.: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen. In „Stahlbau Kalender 2005“, Ernst & Sohn, Berlin 2005.
- [8] Schwarzlos, A.: Erweiterung der Komponentenmethode nach EC 3-1-8 um die Interaktion der Schnittgrößen Biegemoment und Normalkraft. Dissertation TU Cottbus, 2005.
- [9] Schmidt, B.: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe. Dissertation, TU Dortmund 2008.
- [10] Kretz, J.: Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8. Teil 1: Allgemeine Grundlagen zur Anschlussbemessung / Komponentenmethode. In mb-news 4/2017.
- [11] Kretz, J.: Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8. Teil 2: Allgemeine Grundlagen zur Anschlussbemessung / Komponentenmethode. In mb-news 5/2017.
- [12] Kretz, J.: Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8. Teil 3: Allgemeine Grundlagen zur Anschlussbemessung / Komponentenmethode. In mb-news 3/2018.
- [13] Sedlacek, G.; Weynand, K.; Klinkhammer, R.: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Stahlbau-Verlags GmbH, Düsseldorf 2. Auflage 2002.
- [14] Weynand, K.; Oeder, R.: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8. Gesamtausgabe 2013. Stahlbau Verlags- und Service GmbH Düsseldorf 2013.