



Dr.-Ing. Joachim Kretz, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Uth

# Zur Bemessung von typisierten, biegesteifen Rahmenecken mit Normalkräften

## Erweiterung der Berechnungsgrundlagen für biegesteife Stirnplattenanschlüsse auf Rahmenecken mit Normalkräften

Eine Standardaufgabe im Stahlhochbau ist die wirtschaftliche Auslegung von Rahmenecken, die fast ausschließlich als biegesteife Anschlüsse ausgeführt werden. Für die in der Praxis häufig verwendeten biegesteifen Stirnplattenanschlüsse mit gewalzten I-Profilen wurden standardisierte Anschlusskonfigurationen (typisierte Verbindungen) in Form von Tabellenwerken (DSTV) erstellt. Deren Anwendungsbereich ist jedoch auf kleine Normalkräfte beschränkt. Die Berücksichtigung von Normalkräften erfordert Zusatznachweise, die in dem Tabellenwerk von Uth / Schlesinger für „Typisierte biegesteife Rahmenecken unter Berücksichtigung von Normalkräften“ eingearbeitet sind und nachfolgend beschrieben werden.

In der täglichen Praxis des Tragwerkplaners und Konstrukteurs werden biegesteife Rahmenecken und Trägerstöße gerne als Typisierte Verbindungen nach Oberegge et al [4] ausgeführt, um den Aufwand für die Bemessung und Konstruktion solcher Verbindungen gering zu halten. Dabei werden jedoch häufig die konstruktiven Einschränkungen, die durch die genannte Arbeitsunterlage vorgegeben sind, nicht beachtet. Bei der baustatische Prüfung statischer Berechnungen zeigt sich zudem, dass die gegebenenfalls erforderlichen zusätzlichen Nachweise für die Stegbleche in Rahmenecken teilweise nicht geführt werden.

Auf der Basis der Berechnungsgrundlagen, die den Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren nach Oberegge [4] zugrunde liegen, werden im Folgenden die zusätzlich zwingend erforderlichen Nachweise für Rahmenecken beschrieben. Darüber hinaus werden die Grenztragfähigkeiten bei gleichzeitig vorhandener Normalkraft (Zug- oder Druckkraft) angegeben und damit der Anwendungsbereich der bisherigen Bemessungshilfen deutlich erweitert. Die Ausführung der Rahmenecken erfolgt als starrer, biegesteifer Schraubanschluss mit Stirnplatten.

### 1. Einführung

Bei starren, biegesteifen Anschlüssen kann das klassische Bemessungskonzept beibehalten werden, bei dem die Anschlüsse bei der Tragwerksberechnung unberücksichtigt bleiben. Dieses Verfahren setzt ausgesteifte Träger-Stützenanschlüsse (Bild 1) und ausreichende Stirnplattendicken voraus. Unter einer Beanspruchung infolge von Biegung, Querkraft und Normalkraft tritt dabei keine bzw. nur eine sehr geringe Rotation auf.

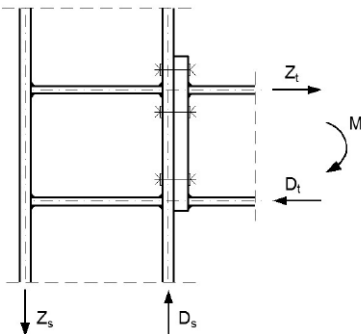
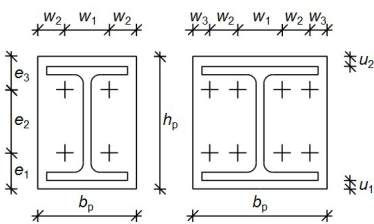


Bild 1. Beispiel eines voll ausgesteiften Träger-Stützenanschlusses

### 2. Typisierte Verbindungen

Mit der Erstaufgabe der „Typisierten Verbindungen im Stahlbau“ [2] wurde 1974 erstmals eine Bemessungshilfe für die Konstruktion und Berechnung starrer, biegesteifer Anschlüsse veröffentlicht. Inhalt dieses Tabellenwerkes sind neben Formeln zur Durchführung der Tragfähigkeitsnachweise die Bemessungstabellen für standardisierte Anschlusstypen, die alle relevanten geometrischen Daten des Anschlusses und dessen Tragfähigkeiten enthalten. Diese standardisierten Anschlusstypen mit den gleichen geometrischen Daten des Anschlusses sind ebenfalls die Grundlage der Bemessungshilfen von Uth et al [6].

Typen IH1 und IH2: (bündige Stirnplatte)



Typen IH3 und IH4: (überstehende Stirnplatte)

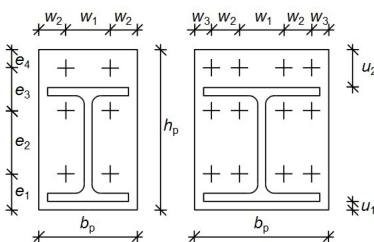


Bild 2. Typen IH1 bis IH4 der Typisierten Anschlüsse

Die typisierten, biegesteifen Stirnplattenanschlüsse werden in vier verschiedene Typenreihen (Bild 2) eingeteilt. Unterschieden wird in Anschlüsse mit zwei bzw. vier Schrauben in einer Reihe und in Anschlüsse mit bündiger und über-

stehender Stirnplatte. Anhand vorgegebener Anschluss-schnittgrößen und der Anschlussquerschnitte kann mit diesen Typisierten Verbindungen der erforderliche Anschlussstyp für Rahmenecken mit Normalkräften bestimmt werden.

Jeder Anschlussstyp ist durch eine alphanumerische Code-Nummer eindeutig bezeichnet. Die Typenbezeichnung ist nach folgendem Muster aufgebaut:

		Bauteilgruppe: Momententragfähiger Stirnplattenanschluss für I-Profile		
		Stirnplattenform (1, 2: bündig; 3,4: überstehend)		
		Kennzeichen für Profilreihe des Trägers (Ea: IPEa, E: IPE, Eo: IPEo, Ev: IPEv, AA: HEAA, A: HEA, B: HEB, M: HEM)		
		Trägerprofilnennhöhe in cm		
		Schraubengröße (Gewindeaußendurchmesser in mm)		
IH	1	Ea	##	##
	2	E		
	3	Eo		
	4	Ev		
		AA		
		A		
		B		
		M		

Bild 3. Allgemeine Typenbezeichnung eines biegesteifen Stirnplattenanschlusses für I-Profile nach [4]

#### 2.1 Bemessungsmodell / Bemessungstabellen nach Oberegge für profilorientiertes Konstruieren

Das Bemessungsmodell wurde speziell für die typisierten Verbindungen entwickelt und mit Hilfe von Tragfähigkeitsversuchen kalibriert. Die Beanspruchbarkeiten werden auf der Grundlage der DIN 18800 [5] berechnet.

Für die Anwendung des Berechnungsmodells nach Oberegge [4] gelten folgende Voraussetzungen:

- Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch (E-E) oder Elastisch-Plastisch (E-P)
- Vorwiegend ruhende Belastung
- Geringe Normalkräfte:  $N_d/N_{(pl,Rd)} \leq 0,1$
- Stirnplatten aus S 235
- Walzträger IPE, HEAA, HEA, HEB und HEM aus S 235
- Planmäßig vorgespannte hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 als SL-Verbindung

#### Erläuterungen zum Berechnungsmodell:

Grundlage dieses einfachen Berechnungsmodells für momententragfähige Anschlüsse ist die Aufteilung des Bemessungsmomentes in eine Druck- und eine Zugkomponente mit dem inneren Hebelarm  $h_s$ , der durch die Schwerachsen der Profilgurte gegeben ist (Bild 4). Die Mitwirkung des Steges wird dabei vernachlässigt.

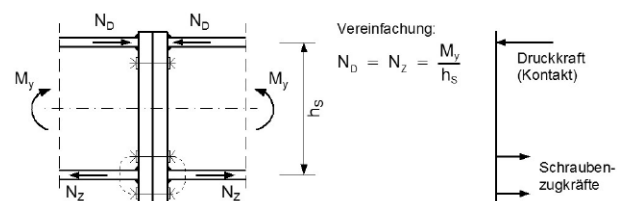


Bild 4. Typischer Stirnplattenanschluss mit überstehender Stirnplatte

Die Schraubenanordnung in den typisierten Verbindungen ist so gewählt, dass die in den Querschnittsteilen vorhandenen Teilschnittgrößen ohne große Umwege übertragen werden. Eine Konzentration der Schrauben im Bereich des Zuggurtes ist daher sinnvoll. Beim Stirnplattenanschluss erfolgt die Druckkraftübertragung über Kontakt zwischen den Stirnplatten, während die Zugkraft über die angeschweißten Stirnplatten in die benachbarten Schraubenreihen übertragen wird. Für die Kraftübertragung sind hochfeste vorgespannte Schrauben vorgeschrieben, um eine Klaffung der Stirnplatte im Gebrauchszustand zu vermeiden.

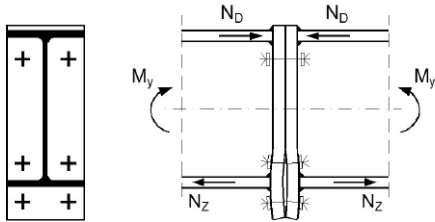


Bild 5. Typischer Stirnplattenanschluss mit überstehender Stirnplatte und Verformung (Klaffung) am Zuggurt

Das Versagen des Anschlusses kann allgemein entweder durch Erreichen der plastischen Biegetragfähigkeit und Scherbruch in den Stirnplatten auftreten oder durch Erreichen der Zugtragfähigkeit der Schrauben. Bei den nach [4] typisierten Anschlüssen ist meist ein Versagen der Schrauben zu erwarten, da die Stirnplatten relativ dick ausgeführt werden.

Für den Versagensmechanismus einer überstehenden Stirnplatte ist das Berechnungsmodell in Bild 6 dargestellt.

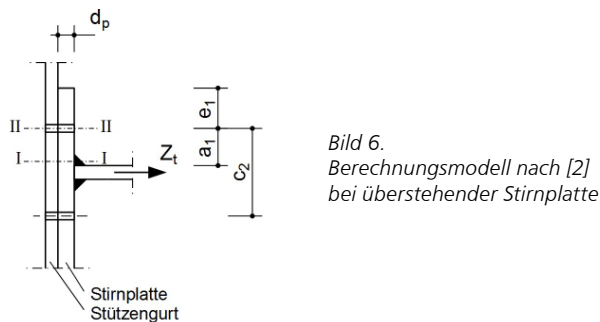
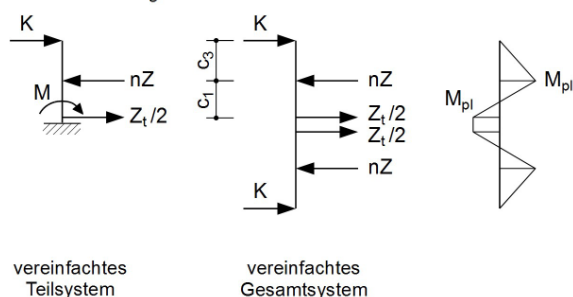


Bild 6. Berechnungsmodell nach [2] bei überstehender Stirnplatte



Unter Zugbeanspruchung entsteht am Stirnplattenrand infolge der eintretenden Verformung der Stirnplatte eine Abstützkraft  $K$ , die mit der Zugkraft  $Z$  der Schraube und der Gurtkraft  $Z_t/2$  im Gleichgewicht steht. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit stellt sich in der Stirnplatte ein kinematischer Tragzustand ein. Dieser kinematische Tragzustand wird durch die Bildung von plastischen Gelenken in den Schnitten I-I und II-II charakterisiert.

Da das zugrundeliegende Berechnungsmodell ausschließlich an durchgeführten Versuchsreihen kalibriert wurde, ist eine Abänderung auf andere Anschlusskonfigurationen nicht möglich. Die in dem vereinfachten Gesamtsystem (Bild 6) angegebenen Hebelarme  $c_1$  und  $c_3$  entsprechen dabei nicht den tatsächlichen Hebelarmen, sondern wurden rechnerisch aus den Versuchsergebnissen ermittelt.

Das erläuterte Bemessungsmodell der Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren [4] deckt den Nachweis eines Träger-Trägeranschlusses im Grenzzustand der Tragfähigkeit vollständig ab. Durch das Bemessungsmodell nicht abgedeckt sind hingegen Träger-Stützenanschlüsse, da bei diesen Verbindungen neben der Beanspruchbarkeit der Stirnplatte weitere Beanspruchbarkeiten im Stützenbereich nachzuweisen sind.

Diese sind:

- Zugtragfähigkeit des Stützensteges im Einleitungsbereich der Zugkraft
- Schubtragfähigkeit des Stützensteges
- Biegetragfähigkeit des Stützengurtes infolge Schraubenzugkraft
- Drucktragfähigkeit des Stützensteges im Einleitungsbereich der Druckkraft

Wegen der in [4] fehlenden Rechenmodelle für Träger-Stützenanschlüsse sind diese Anschlüsse in der Praxis so „mit Steifen“ zu konstruieren, dass der Stützenbereich nicht maßgebend wird.

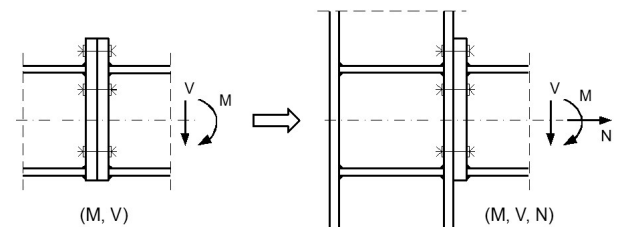


Bild 7. Modellerweiterung: vom biegesteifen Stirnplattenanschluss auf biegesteife Rahmenecke mit Normalkraft

## 2.2 Bemessungsmodell nach Uth [6] für typisierte biegesteife Rahmenecken unter Berücksichtigung der Normalkraft

Die Ausführungen im Kapitel 2.1 zeigen, dass für die biegesteifen Träger-Stützenanschlüsse nach [4] in aller Regel weitere Nachweise zwingend erforderlich sind.

Insgesamt sind für die biegesteife Rahmenecke – unter Berücksichtigung von Normalkräften – als Typisierter Anschluss folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis der Momenten Tragfähigkeit des Anschlusses
- Nachweis der Querkrafttragfähigkeit des Anschlusses
- Nachweis der Schubspannungen im Stützensteg
- Überprüfung der Dicke des Stützenflansches
- Überprüfung der konstruktiven Voraussetzungen
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit



**2.2.1 Momententragfähigkeit des Anschlusses**

**Anschluss-tragfähigkeit**

Die Berechnung der Grenzanschlussmomente erfolgt auf der Grundlage des Bemessungsmodells nach [4]. Dieser Nachweis beschränkt sich zunächst nur auf die Grenztragfähigkeit des Anschlusses, nicht jedoch auf die Grenztragfähigkeit der anschließenden Bauteile.

Das Anschlussmoment wird in ein Kräftepaar aufgeteilt, wobei die am Druckflansch auftretende Druckkraft auf  $N_{pl,d}/2$  begrenzt wird (Bild 8).

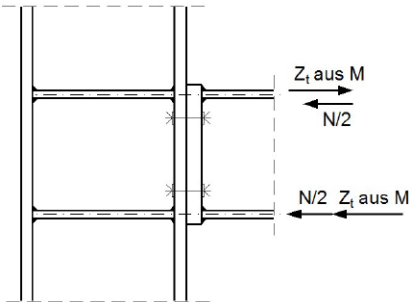


Bild 8. Ansatz der Beanspruchungen

Dieses Modell trifft genau genug nur zu, wenn der Momentenanteil des Steges am Gesamtmoment klein ist. Davon kann ausgegangen werden, wenn gilt:

$$\frac{I_{Steg}}{I_{gesamt}} \leq 0,15$$

$I_{Steg}$  Trägheitsmoment 2. Grades des Steges  
 $I_{gesamt}$  Trägheitsmoment 2. Grades des Gesamtquerschnitts

Diese Forderung ist bei allen Walzträgern eingehalten.

Die Normalkraft im Riegel (Druck- oder Zugkraft) wird je zur Hälfte den Gurtkräften, die sich aus dem Moment ergeben, zugeschlagen. Mit der resultierenden Zugkraft im Zuggurt wird der Anschluss nach den bekannten Regeln (vgl. Kapitel 2.1) bemessen.

Zusätzlich zur Überprüfung des maßgebenden Versagenszustandes ist die Bedingung einzuhalten, dass das Grenzanschlussmoment kleiner bleibt als das elastische Grenzbiegemoment  $M_{el,d}$  des Riegelquerschnitts. Dabei wird die nach DIN 18800-1 [5] zulässige Erhöhung des Bemessungswertes um 10 % ausgenutzt. Mit der Begrenzung des Grenzanschlussmomentes auf  $M_{el,d}$  ist gewährleistet, dass vor dem Versagen des Anschlusses der Riegelquerschnitt plastiziert.

**Riegeltragfähigkeit**

Die Berechnung der Riegeltragfähigkeit unter Berücksichtigung der Normalkraft erfolgt nach den üblichen Interaktionsbedingungen der DIN 18800-1 [5].

**Stützentragfähigkeit**

Die Berechnung der Stützentragfähigkeit im Anschlussbereich erfolgt nach DIN 18800-1 [5] unter Berücksichtigung der Querkraft, die der Normalkraft des Riegels entspricht.

**2.2.2 Querkrafttragfähigkeit des Anschlusses**

**Querkrafttragfähigkeit der Schraubverbindung**

Die Querkraft wird nur über diejenigen Schrauben übertragen, die nicht durch Zug beansprucht werden. Somit stehen zur Querkraftübertragung bei den Anschlusstypen IH1 und IH3 zwei Schrauben, bei den Anschlusstypen IH2 und IH4 vier Schrauben zur Verfügung. Die Schrauben werden auf Abscheren (DIN 18800-1 Element (804)) und der Stützenflansch auf Lochleibung (DIN 18800-1 Element (805)) nachgewiesen.

Da die zur Querkraftübertragung herangezogenen Schrauben in Krafrichtung nur in Richtung zum benachbarten Schraubenloch versagen können, nicht jedoch zum Rand (dort verhindert durch den Riegelflansch bzw. die Stegsteife), wird für die Bemessung nur der Lochabstand  $e$  nach DIN 18800-1 herangezogen.

**Querkrafttragfähigkeit des Riegels**

Die Berechnung der Querkrafttragfähigkeit des Riegelquerschnitts unter Berücksichtigung von Normalkraft und Moment erfolgt nach den Interaktionsbedingungen der DIN 18800-1.

**Querkrafttragfähigkeit der Stütze**

Die Berechnung der Querkrafttragfähigkeit des Stützenquerschnitts erfolgt analog zum Riegelquerschnitt.

**2.2.3 Schubspannungsnachweis im Stützensteg**

Zur näherungsweise Berechnung der Schubspannungen in Rahmenecken gibt Petersen [11] ein vereinfachtes Verfahren an. Die Modellbildung berücksichtigt dabei neben dem Moment auch die Quer- und Normalkräfte der Verbindung. Die Querkraft kann jedoch als Eingangsparameter leicht eliminiert werden, wenn statt der Systemschnittgrößen  $M_{sys}$ ,  $V_{sys}$  und  $N_{sys}$  die Schnittgrößen direkt im Anschluss ( $M_A$ ,  $N_A$ ) verwendet werden (Bild 9). Die Querkraft an dieser Stelle geht dann nach dem Tragmodell von Petersen nicht ein, da sie direkt durch den der Stirnplatte zugewandten Stützenflansch abgetragen wird, ohne die Spannungen im Stützensteg zu beeinflussen.

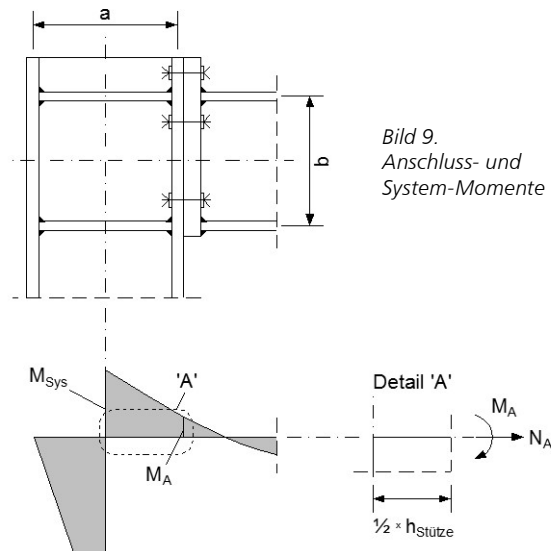


Bild 9. Anschluss- und System-Momente



Zur Berechnung des Schubspannungszustandes im Stützensteg (=Eckblech) wird nach Petersen [11] das Moment in ein Kräftepaar aufgeteilt, das in den Schwerpunkten der Flansche des Riegels angesetzt wird. Die Normalkraft wird je zur Hälfte auf die beiden Riegeflansche (Bild 10) verteilt. Die so ermittelte Kraft im oberen Flansch des Riegels ist nun über Schubspannungen durch das Eckblech zu leiten.

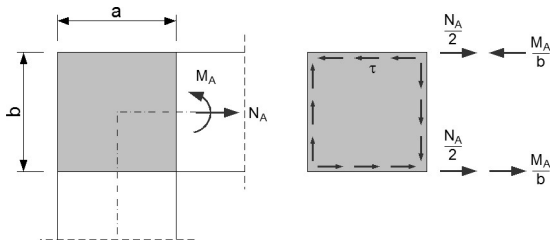


Bild 10. Schubspannungen im Stützensteg (=Eckblech)

Die Schubspannung im Eckblech wird damit eine Funktion, der von den verwendeten Profilen abhängigen und damit bekannten Größen  $a$  und  $b$ . Sie lässt sich wie folgt berechnen:

$$\tau = \frac{M_A}{a \cdot b \cdot t_s} - \frac{N_A}{2 \cdot a \cdot t_s} \quad (1)$$

mit  $t_s$  Stegdicke der Stütze

Die Auflösung nach  $M_A$  liefert in Abhängigkeit von der vorhandenen Normalkraft das aufnehmbare Anschlussmoment bezüglich der Schubspannungen im Stützensteg:

$$\text{grenz } M_A = \left( \tau_{R,d} + \frac{N_A}{2 \cdot a \cdot t_s} \right) \cdot a \cdot b \cdot t_s \quad (2)$$

mit  $\tau_{(R,d)} = 12,6 \text{ kN/cm}^2$  für S235

Die Schnittgrößen sind vorzeichengerecht (Druck negativ, Zug positiv) einzusetzen. Druckkräfte im Riegel wirken sich dabei günstig aus.

Sofern das vorhandene Bemessungsmoment größer als das ermittelte Grenzmoment ist, muss der Steg verstärkt werden. Dies kann z.B. durch ein- oder beidseitige Stegverstärkungen erfolgen. Die rechnerisch erforderliche Stegblechdicke bei gegebenem Anschlussmoment  $M_A$  lässt sich durch Auflösung der Gleichung (1) nach  $t_s$  und mit  $\tau = \tau_{(R,d)}$  wie folgt berechnen:

$$\text{erf. } t_s = \left| \frac{2 \cdot M_A - N_A \cdot b}{2 \cdot a \cdot b \cdot \tau_{R,d}} \right| \quad (3)$$

### 2.2.4 Beulnachweis für den Stützensteg

Für den Beulnachweis in der Rahmenecke wird angenommen, dass außer den Schubspannungen keine weiteren Beanspruchungen zu berücksichtigen sind. Dies führt zu einem einfachen Beulnachweis, der zwar einerseits etwas auf der unsicheren Seite liegt, andererseits wird zur Ermittlung der bekannten Beulwerte eine gelenkige Lagerung aller Plattenränder angenommen. Tatsächlich liegt jedoch eine teilweise Einspannung der Ränder durch die angrenzenden Stützenflansche und Stegsteifen vor. Somit wird die zuvor unsichere Annahme in ihren Folgen sicherlich teilweise oder gänzlich aufgehoben.

Der so geführte Beulnachweis wird bei den verwendeten Walzprofilen in keinem Fall maßgebend. Der bezogene Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_p$  bleibt immer unter 0.84, so dass der Abminderungsfaktor  $\kappa$  immer 1 ist. Die Beulnachweise können daher für die typisierten Verbindungen unberücksichtigt bleiben.

### 2.2.5 Dicke der Stützenflansche

Der mit der Stirnplatte verschraubte Stützenflansch wird durch die Schraubenzugkräfte auf Biegung beansprucht. Die daraus resultierenden Verformungen sind möglichst klein zu halten. Dies wird durch die Beachtung von Minstdicken der Stützenflansche erreicht.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind diese Minstdicken in Abhängigkeit der Nenndurchmesser der zu verwendenden Schrauben angegeben.

Form der Stirnplatte	Minstdicke $t$ des Stützenflansches $\phi$ = Nenndurchmesser der Schraube	
	2 senkrechte Schraubenreihen	4 senkrechte Schraubenreihen
überstehend (IH3; IH4)	$0,80 \cdot \phi$	$1,00 \cdot \phi$
bündig (IH1; IH2)	$1,00 \cdot \phi$	$1,25 \cdot \phi$

Tabelle 1: Minstdicken der Stützenflansche

Die Einhaltung der konstruktiven Voraussetzungen, wonach die Stützenflanschdicke größer gleich der halben erforderlichen Stirnplattendicke sein muss, ist unabhängig von den angegebenen Minstdicken zu überprüfen.

In Fällen, in denen der Stützenflansch kleiner als die erforderliche Minstdicke ist, sind Verstärkungsbleche (Unterlegbleche) anzuordnen. Die Verstärkungsbleche sind unter Berücksichtigung von  $a_s$  und  $a_f$  so groß wie möglich zu wählen.

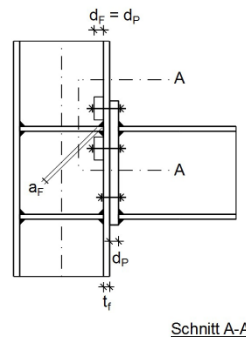
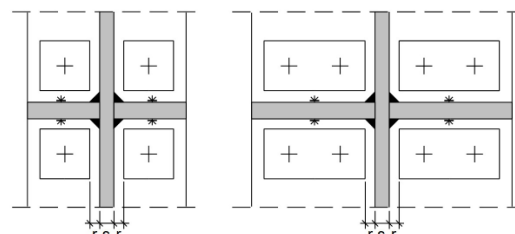


Bild 11. Anordnung von Verstärkungsblechen bei dünnen Stützenflanschen



2.2.6 Konstruktive Voraussetzungen

Überprüfung der konstruktiven Voraussetzungen:

Stützenflanschdicken, die kleiner als die Hälfte der erforderlichen Stirnplattendicken sind, sind nicht zulässig.

$$t_f \geq 0.5 \cdot d_p$$

Konstruktiv nicht ausführbar sind Verbindungen, die die Forderungen nach Bild 12 nicht erfüllen:

$$c \geq 2 \cdot r + s_s$$

$$c \geq 2 \cdot a_s \cdot \sqrt{2} + s_R$$

mit

- $t_f$  Flanschdicke der Stütze
- $d_p$  Blechdicke der Stirnplatte
- $r$  Ausrundungsradius
- $s_s$  Stegdicke der Stütze
- $s_R$  Stegdicke des Riegels
- $a_s$  Dicke der Stegnaht

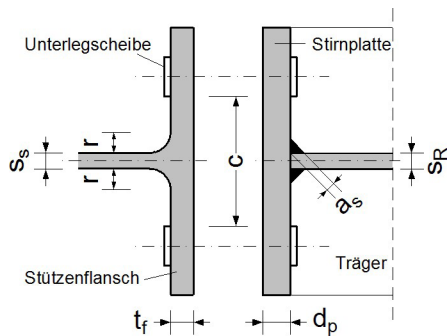


Bild 12. Konstruktive Voraussetzungen

Zu überprüfen ist weiterhin, ob die Randabstände der Schrauben auch hinsichtlich der Stützenabmessungen eingehalten werden. Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass die Schrauben mit ihrem Unterlegscheiben glatt aufliegen können und nicht in den Ausrundungsbereich zum Stützensteg hineinreichen. Dies ist für die an der Stirnplatte angeschweißten (Riegel-)Profile bei Verwendung der Typisierten Verbindungen gewährleistet, muss jedoch für die anzuschließenden (Stützen-)Profile noch überprüft werden. In [6] ist diese Überprüfung enthalten.

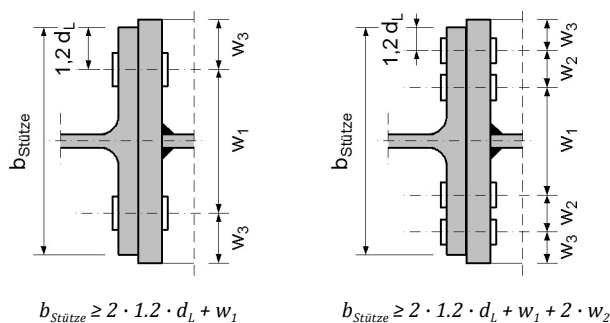


Bild 13. Konstruktiv erforderliche Flanschbreite der Stütze

2.2.7 Gebrauchstauglichkeit

Zusätzlich zum Nachweis des Anschlusses im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (keine klaffende Fuge) zu führen.

Unter Berücksichtigung der vorhandenen charakteristischen Normalkraft  $N_k$  im Riegel, ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für die typisierten Anschlüsse IH1 bis IH4 wie folgt zu führen:

Typ IH1:  $M_{y1,k} \leq (h - a_2 - t/2) \cdot (2 \cdot 0.8 \cdot F_v - N_k / 2)$

Typ IH2:  $M_{y1,k} \leq (h - a_2 - t/2) \cdot (3.6 \cdot 0.8 \cdot F_v - N_k / 2)$

Typ IH3:  $M_{y1,k} \leq (h - t) \cdot (4 \cdot 0.8 \cdot F_v - N_k / 2)$

Typ IH4:  $M_{y1,k} \leq (h - t) \cdot (7.2 \cdot 0.8 \cdot F_v - N_k / 2)$

mit

- $h$  Profilhöhe des Riegels
- $a_2$  Abstand der auf Zug beanspruchten Schrauben vom Zugrand des Riegels
- $t$  Flanschdicke des Riegels
- $F_v$  Vorspannkraft der Schraube nach DIN 18800-7
- $N_k$  charakteristische Normalkraft im Riegel

Der erste Klammerausdruck beinhaltet die Größe des inneren Hebelarms zwischen der resultierenden Schraubenzugkraft und der resultierenden Druckkraft im gegenüberliegenden Druckflansch. Der zweite Klammerausdruck gibt die aufnehmbare Zugkraft der vorgespannten Schrauben an, abgemindert um die je zur Hälfte auf das Zug-/Druckkräftepaar verteilte Normalkraft aus äußerer Beanspruchung.  $N_k$  ist vorzeichengerecht einzusetzen.

2.3 Bemessungstabellen nach Uth / Schlesinger [6] für typisierte biegesteife Rahmenecken unter Berücksichtigung der Normalkraft

In den Bemessungstabellen von Uth / Schlesinger [6] sind die in den Kapiteln 2.1 und 2.2 aufgeführten Nachweise eingearbeitet. Es werden die Grenztragfähigkeiten bei gleichzeitig vorhandener Normalkraft (Zug- oder Druckkraft) angegeben. Damit wird der Anwendungsbereich im Vergleich zu den Bemessungstabellen nach [4] deutlich erweitert.

Die Tabellen für die Anschlussstypen IH1 bis IH4 sind unter folgenden Voraussetzungen anwendbar:

- vorwiegend ruhende Belastung
- nur rippenversteifte Anschlüsse
- Stirnplatten aus S 235 JRG2 bzw. S 235 JO
- Walzträger IPE, HEAA, HEA, HEB und HEM aus S 235 JRG2 oder S 235 JO
- planmäßig vorgespannte hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 als SL-Verbindung
- der Schaft der Schrauben liegt in der Scherfuge

Die detaillierte Beschreibung zum Gebrauch der Bemessungstabellen ist in [6] enthalten, weshalb an dieser Stelle nur auf diese Literaturstelle verwiesen wird.

**Angaben zum Aufbau der Bemessungstafeln:**

Die Bemessungstafeln sind in Spalten von  $N_d/N_{pl,d} = -0,30$  bis  $N_d/N_{pl,d} = +0,30$  eingeteilt. Diese Begrenzung wird als ausreichend betrachtet, da größere Normalkräfte im Riegel in der Praxis selten zu erwarten sind.

Die Bemessungstafeln sind in Doppelzeilen unterteilt. In der jeweiligen oberen Zeile werden die aufnehmbaren Grenzmomente der Verbindung angegeben. Der angegebene Index gibt an, welcher Teil der Verbindung maßgebend für das rechnerische Versagen ist. In der unteren Zeile werden die aufnehmbaren Grenzkraftkräfte angegeben. Auch hier weist der Index auf die Versagensursache hin.

Bei den Anschlussstypen IH3 und IH4 werden unterhalb der Tafel in einer zusätzlichen Zeile die Umkehrmomente des Anschlusses (positive Momente) angegeben.

In der letzten Spalte der Bemessungstafeln ist mit  $N_d/N_{pl,d}$  die Grenznormalkraft (im Riegel) angegeben, bei der ein zusätzliches Moment des Anschlusses nicht mehr aufnehmbar ist oder die Grenzkraftkraft des Stützenprofils erreicht ist. Die obere Zeile gibt das maximale Verhältnis für Zug-, die untere für Drucknormalkräfte im Riegel an.

Die auszugsweise Darstellung einer Bemessungstafel zeigt den prinzipiellen Aufbau des Tabellenwerkes mit den aufnehmbaren Grenzschnittgrößen (Moment und Querkraft bei zugehöriger Normalkraft) und der maßgebenden Versagensursache.

**Riegel: HEA 400      IH 3A 40**

Schrauben: M20-10.9

Konstruktionsmaße [mm]:  $e_1 = 30, e_2 = 100, h_0 = 480, W_1 = 75, e_3 = 270, b_p = 300, a_1 = 6, u = 20, dp = 20, a_2 = 3, c = 113, a_{1v} = -, a_{2v} = 40, a_{3v} = 60$

Grenzschnittmoment im Gebrauchszustand [kNm]:  $M_{1,Rd} = N_d \cdot 0,1855 - 189,95, M_{2,Rd} = N_d \cdot -0,1603 + 82,05$  (neg.  $N_d =$  Druckkraft)

$N_{d,Rd} = 3.466,6$  kN

	$N_d/N_{pl,d}$										max $N_d/N_{pl,d}$				
	-1040,6	-693,7	-420,3	-346,9	-173,4	-34,7	0,0	34,7	173,4	346,9	520,3	693,7	1040,6	di	Druck
Stütze	-0,30	-0,20	-0,15	-0,10	-0,05	-0,01	0,00	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	mm	Zug
IPE 550	s	-332,7	-347,2	-315	-282,9	-257,1	-250,7	-244,3	-218,5	-186,3	-154,2	-122	ss		0,189
		314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2		-0,215
IPE 600	s	-332,7	-347,2	-315	-282,9	-257,1	-250,7	-244,3	-218,5	-186,3	-154,2	-122	ss		0,189
		314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2		-0,253
HEA 220	s	s	s	s	-92,4	-128,1	-128,1	-128,1	-92,4	s	s	s	ss	20	0,051
					153	140,8	140,8	140,8	153						-0,051
HEA 240	s	s	s	s	-131,4	-167,9	-167,9	-167,9	-131,4	s	s	s	ss	20	0,059
					180,3	167,7	167,7	167,7	180,3						-0,059
HEA 260	s	s	s	s	-168,9	-208,1	-208,1	-208,1	-168,9	s	s	s	ss	20	0,065
					203,9	189,7	189,7	189,7	203,9						-0,065
HEA 280	s	s	s	s	-215,3	-251,9	-251,9	-251,9	-215,3	s	s	s	ss	20	0,075
					227,7	214,4	214,4	214,4	227,7						-0,075
HEA 300	s	s	s	s	-278,7	-257,1	-257,1	-257,1	-244,3	-218,5	s	s	ss	20	0,085
					281,1	314,2	314,2	314,2	314,2						-0,085
HEA 320	s	s	s	s	-282,9	-257,1	-257,1	-257,1	-244,3	-218,5	s	s	ss	20	0,096
					314,2	314,2	314,2	314,2	314,2						-0,096
HEA 340	s	s	s	s	-312,1	-282,9	-257,1	-257,1	-244,3	-218,5	s	s	ss		0,108
					314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2			-0,108
HEA 360	s	s	s	s	-315,1	-282,9	-257,1	-257,1	-244,3	-218,5	s	s	ss		0,121
					314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2			-0,121
HEA 400	s	s	s	s	-315,1	-282,9	-257,1	-257,1	-244,3	-218,5	s	s	ss		0,148
					314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2			-0,148
HEA 450	s	s	s	s	-347,2	-282,9	-257,1	-257,1	-244,3	-218,5	s	s	ss		0,175
					314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2			-0,175
HEB 340	s	s	s	s	-315,1	-282,9	-257,1	-257,1	-244,3	-218,5	s	s	ss		0,159
					314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2	314,2			-0,159

Umkehrmoment  $M_{1,Rd}$  des Anschlusses:

314,7	250,3	218,1	186,0	153,8	128,1	121,8	115,2	89,5	57,3	25,1	0,0	0,0
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	-----	-----

b = die Stütze ist zu schmal    c = die Bedingung  $e_2 + e_3$  ist nicht erfüllt  
s = Stütze ist maßgebend    a = Anschluss ist maßgebend    r = Riegel ist maßgebend    - = der Stützenszug muss verstärkt werden  
 $0a$  = vorh. Zugkraft ist so groß, dass kein neg. Moment aufgenommen werden kann.  
 $0a$  = vorh. Zugkraft ist so groß, dass kein neg. Moment aufgenommen werden kann und die Stütze kann die vorh. Querkraft nicht aufnehmen.

Tabelle 2: Bemessungstabelle (auszugsweise) für den Anschlussstyp IH 3A 40 nach [6]

**2.4 Zusammenfassung**

Die Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren (Bemessungstafeln nach Oberegge [4]) enthalten die Beanspruchbarkeiten nach DIN 18800, wobei die Schrauben für die Bemessung planmäßig vorzuspannen sind. Das verwendete Modell deckt den Nachweis eines Träger-Trägeranschlusses im Grenzzustand der Tragfähigkeit vollständig ab. Durch das Bemessungsmodell nicht abgedeckt sind hingegen Träger-Stützenanschlüsse, da bei diesen Verbindungen neben der Beanspruchbarkeit der Stirnplatte weitere Beanspruchbarkeiten im Stützenbereich nachzuweisen sind. Weiterhin ist bei der Anwendung des Bemessungsmodells gemäß der Ergänzung zum Prüfbescheid (II B 3 – 543 – 384) vom Juni 1998 noch ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis zu führen, der oft maßgebend wird.

Im Tabellenwerk nach Uth / Schlesinger [6] „Typisierte biegesteife Rahmenecken unter Berücksichtigung von Normalkräften“ werden die Grenztragfähigkeiten der Typisierten Anschlüsse bei gleichzeitig vorhandener Normalkraft (Zug- oder Druckkraft) angegeben. Damit wird der Anwendungsbereich des zuvor genannten Tabellenwerkes deutlich erweitert. Im Vergleich zu [4] beinhalten die Bemessungshilfen auch die zusätzlichen Nachweise für Träger-Stützenanschlüsse.

Dr.-Ing. Joachim Kretz      Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Uth  
mb AEC Software GmbH    Fachhochschule Lübeck  
mb-news@mbaec.de      Prüflingenieur

**Literatur**

- [1] Sedlacek, G.; Weynand, K.; Klinkhammer, R.; Hüller, V.: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, 2. Auflage, Band 2. Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Deutscher Stahlbau-Verband DSTV, Düsseldorf, 2002.
- [2] Typisierte Verbindungen im Stahlbau. 1. Auflage. Stahlbau Verlagsgesellschaft mbH, Köln 1974.
- [3] Oberegge, O.; Hockelmann, H.-P.; Russnak, T.: Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren. Stahlbau Verlagsgesellschaft mbH, Köln, 1986.
- [4] Oberegge, O.; Hockelmann, H.-P.; Dorsch, L.: Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren. Stahlbau Verlagsgesellschaft mbH, Köln, 1997.
- [5] DIN 18800-1: Stahlbauten Bemessung und Konstruktion, Ausgabe Nov. 2008. Beuth Verlag.
- [6] Uth, H.-J.; Schlesinger, F.: Typisierte biegesteife Rahmenecken unter Berücksichtigung von Normalkräften. Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2006.
- [7] Kretz, J.: Zur Bemessung von typisierten, momententragfähigen Stirnplattenanschlüssen. mb-news 2/2010.
- [8] Uth, H.-J.: Zusätzliche Bemessungshilfen für biegesteife Rahmenecken. In: Festschrift H. Bode. ibidem Verlag, Stuttgart 2000.
- [9] DIN 18800-3: Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Plattenbeulen. Ausgabe Nov. 2008. Beuth Verlag.
- [10] DIN 18800-7: Stahlbauten; Ausführung und Herstellerqualifikation, Ausgabe Sept. 2002. Beuth Verlag.
- [11] Petersen, C.: Stahlbau, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage 1993, korrigierter Nachdruck 1994. Vieweg Verlag, Wiesbaden 1993.