

ECCS

Equaljoints PLUS
Sammelbund mit pränormativen
Bemessungsempfehlungen für seismisch
qualifizierte Stahlschlüsse

1. Auflage, 2018

Raffaele Landolfo
Mario D’Aniello
Roberto Tartaglia
Silvia Costanzo
Jean-François Demonceau
Jean-Pierre Jaspert
Aurel Stratan
Dominiq Jaka
Dan Dubina,
Ahmed Elghazouli
Dan Bompa
Laura Bleeck
Hetty Bigelow

ECCS
CECM
E K S



**Sammelbund mit pränormativen
Bemessungsempfehlungen für
seismisch qualifizierte Stahlschlüsse**

N°XXX, 1. Auflage, 2018

Veröffentlicht durch:

ECCS – European Convention for Constructional
Steelwork
publications@steelconstruct.com
www.eccspublications.eu

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne vorherige Genehmigung des Urhebers reproduziert, in einem Abrufsystem gespeichert oder in irgendeiner Form oder mit irgendwelchen Mitteln, elektronisch, mechanisch, fotokopiert, neu aufgezeichnet oder anderweitig übertragen werden.

ECCS übernimmt keine Haftung für die Nutzung der in dieser Veröffentlichung enthaltenen Materialien und Informationen für jegliche Anwendung.

Deutsche Übersetzung:

RWTH Aachen University, Institut für Stahlbau

Copyright © 2008 ECCS – European Convention for
Constructional Steelwork

ISBN: XX-XXXX-XXX-XX

Gedruckt in

Bildnachweis

INHALT

1.	EINLEITUNG	1
2.	TECHNISCHE ANFORDERUNGEN	3
3.	CHARAKTERISIERUNG DER PRÄQUALIFIZIERTEN ANSCHLÜSSE	5
3.1.	ALLGEMEINE LEISTUNGSZIELE.....	5
3.2.	WEITERE ENTWURFSANNAHMEN.....	11
3.2.1.	<i>Aktive Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung</i>	<i>11</i>
3.2.2.	<i>Druckpunkt und Hebelarm.....</i>	<i>11</i>
3.3.	GEVOUTETE TRÄGER-STÜTZEN ANSCHLÜSSE.....	11
3.3.1.	<i>Beschreibung der Anschlusskonfiguration</i>	<i>11</i>
3.3.2.	<i>Liste der Systeme, für die der Anschluss präqualifiziert ist</i>	<i>12</i>
3.3.3.	<i>Liste der Grenzwerte für präqualifizierte Daten</i>	<i>13</i>
3.3.4.	<i>Entwurfsverfahren</i>	<i>15</i>
3.4.	AUSGESTEIFTE TRÄGER-STÜTZEN ANSCHLÜSSE MIT ÜBERSTEHENDEN STIRNBLECHEN	21
3.4.1.	<i>Beschreibung der Anschlusskonfiguration</i>	<i>21</i>
3.4.2.	<i>Liste der Systeme, für die die Verbindung präqualifiziert ist</i>	<i>22</i>
3.4.3.	<i>Liste der Grenzwerte für präqualifizierte Daten</i>	<i>23</i>
3.4.4.	<i>Entwurfsverfahren</i>	<i>24</i>
3.5.	NICHT AUSGESTEIFTE TRÄGER-STÜTZEN ANSCHLÜSSE MIT ÜBERSTEHENDEN STIRNBLECHEN	36
3.5.1.	<i>Beschreibung der Anschlusskonfiguration</i>	<i>36</i>
3.5.2.	<i>Liste der Systeme für die die Verbindung präqualifiziert ist</i>	<i>36</i>
3.5.3.	<i>Liste der Grenzwerte der präqualifizierte Daten.....</i>	<i>37</i>
3.5.4.	<i>Entwurfsverfahren</i>	<i>38</i>
3.6.	DOG-BONE ANSCHLÜSSE	49
	LITERATUR	53

1. Einleitung

Das vorliegende Dokument wurde im Rahmen des europäischen RFCS-Projekts Equaljoints PLUS (754048 - EQUALJOINTS-PLUS - RFCS-2016/RFCS-2016) entwickelt.

Equaljoint-PLUS ist ein 24-monatiges RFCS-Projekt zur Verbreitung der im Rahmen des 36-monatigen RCFS-Projekts EQUALJOINTS erworbenen Kenntnisse.

Im Rahmen des vorangegangenen RFCS-Projekts EQUALJOINTS (RFSR-CT-2013-00021) wurden europäische seismische Präqualifikationskriterien für eine Reihe von Träger-Stützen Anschlüssen aus Stahl entwickelt.

Equaljoint-PLUS zielt auf die Valorisierung, Verbreitung und Erweiterung der entwickelten Präqualifikationskriterien für die praktische Anwendung auf ein breites Publikum (z.B. akademische Einrichtungen, Ingenieure und Architekten, Bauunternehmen, Stahlproduzenten).

Die Hauptziele von Equaljoints PLUS lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Informationsmaterial über die präqualifizierten Anschluss-Typologien zu sammeln und zu organisieren: Informative Dokumente in 12 Sprachen (Englisch, Spanisch, Französisch, Deutsch, Italienisch, Niederländisch, Portugiesisch, Tschechisch, Bulgarisch, Rumänisch, Griechisch und Slowenisch).
- Entwicklung pränormativer Bemessungsempfehlungen für seismisch qualifizierte Verbindungen auf der Grundlage der Ergebnisse des Equaljoints-Projekts in 12 Sprachen.
- Entwicklung von Konstruktionsrichtlinien für die Bemessung von Stahlkonstruktionen unter Berücksichtigung der Art der Verbindungen und ihrer relevanten nichtlinearen Reaktion.
- Entwicklung einer Software und einer App für Handys zur Vorhersage der unelastischen Reaktion von Anschlüssen.
- Organisation von Seminaren und Workshops zur Verbreitung des erworbenen Wissens in der EU und International.
- Eine Website mit freiem Zugang für die Nutzer zu erstellen, um die erzielten Ergebnisse zu bewerben.
- Erstellen eines You-Tube-Kanals, um die Videos der experimentellen Tests und Simulationen zur Verfügung zu stellen, die die Entwicklung des Schadensmusters zeigen.

Das Projekt Equaljoints PLUS wird von der Universität Neapel Federico II koordiniert. Die Arbeitsgemeinschaft besteht aus 15 Partnern, von denen 7 bereits am ehemaligen Equaljoints-Projekt beteiligt waren. Alle beteiligten Partner sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Equaljoints PLUS Arbeitsgemeinschaft

Koordinator	Università degli Studi di Napoli Federico II (UNINA)
	Arcelormittal Belval & Differdange SA (AM)
	Universite de Liege (Ulg)
	Universitatea Politehnica Timisoara (UPT)
	Universidade de Coimbra (UC)
	Convention Europeenne de la Construction Metallique (ECCS)
	Universita degli Studi di Salerno (UNISA)
	Imperial College of Science Technology and Medicine (IC)
Partner	Centre Technique Industriel de la Construction Metallique (CTICM)
	National Technical University of Athens (NTUA)
	Ceske Vysoke Ucení Technické V Praze (CVUT)
	Technische Universiteit Delft (TUD)
	Univerza V Ljubljani (UL)
	Univerzitet Po Arhitektura Stroitelstvo I Geodezija (UASG)
	Universitat Politecnica de Catalunya (UPC)
	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTHA)

Das vorliegende Dokument fasst die Konstruktionsrichtlinien für drei Arten von Schraubenverbindungen zusammen, die im Rahmen des Equaljoints-Projekts präqualifiziert wurden (d.h. (i) gevoutete, (ii) ausgesteifte Träger-Stützen Anschlüsse mit überstehenden Stirnplatten und (iii) nicht ausgesteifte Träger-Stützen Anschlüsse mit überstehenden Stirnplatten) sowie geschweißte Dog-Bone Verbindungen.

Im Einzelnen werden die folgenden Informationen zur Verfügung gestellt:

- Technische Anforderungen
- Beschreibung der Anschlusskonfigurationen;
- Liste der Systeme, für die die Anschlüsse präqualifiziert sind;
- Liste der Grenzwerte für präqualifizierte Daten
- Entwurfsverfahren

2. Technische Anforderungen

Der Bau einer Struktur durchläuft mehrere Etappen, die jeweils gründlich durchdacht werden müssen. In Bauwerken, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ihrer Nutzungsdauer seismischen Einwirkungen ausgesetzt sein können, sind diese Überlegungen von besonderer Bedeutung. Anschlüsse zwischen Stahlelementen in solchen Konstruktionen sollten immer so konstruiert, gefertigt und montiert werden, dass ein sprödes Versagen vermieden wird und duktiler Verhalten beim Versagen maßgeblich wird.

Die Planer müssen fortwährend die Entwurfsanforderungen der einschlägigen Normen berücksichtigen. In Europa ist die EN 1998 für die seismische Bemessung von Bauwerken zu beachten, wobei die EN 1993 für die Bemessung von Stahlbauten und die EN 1993-1-8 insbesondere für die Bemessung von Stahlverbindungen maßgeblich sind.

Die EN 1993-1-8 definiert alle für die Auslegung von Anschlüssen relevanten Parameter hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und Steifigkeit. Die Verbindungen können geschweißt oder geschraubt werden oder es können Kombinationen von Schrauben und Schweißnähten verwendet werden.

Schraubverbindungen müssen nach EN 1993-1-8, Abschnitt 3 ausgeführt werden. Die Tabelle 3.1 der Norm definiert die Schraubenklassen und deren Streckgrenzen und Zugfestigkeiten. In Tabelle 3.3 des gleichen Dokuments sind die minimalen und maximalen Loch- und Randabstände angegeben, um eine ausreichende Tragfähigkeit zu gewährleisten. Die Anschlüsse werden nach der Komponentenmethode ausgeführt. Bei der Berechnung der Tragfähigkeiten der einzelnen Bauteile muss ein duktiler Versagen (z.B. Schrauben auf Lochleibung, mit Lochleibung von Ausbauelementen oder Blechen) das maßgebliche Kriterium sein. Die Entwurfskriterien für Schweißverbindungen sind in EN 1993-1-8, Abschnitt 4 beschrieben. Bei der seismischen Auslegung werden die Schweißnähte in der Regel auf volle Tragfähigkeit ausgelegt, um ein Versagen der Schweißnähte zu vermeiden (Spröder Versagensfall).

Bei der Wahl der Werkstoffe und Abmessungen sollte der Ingenieur immer die standardmäßig verfügbaren Elementabmessungen und Eigenschaften der Grundelemente berücksichtigen. Beispielsweise kann der Hersteller Standardbleche von 10 oder 12 mm Dicke beziehen, Planer sollten somit keine 11 mm dicken Bleche angeben, um unnötigen Produktionsaufwand weitestgehend zu vermeiden.

Die Materialfestigkeit und die Eigenschaften in Dickenrichtung sind in EN 1993-1-10 angegeben. EN 1993-1-10 enthält Entwurfsrichtlinien für die Auswahl von Stahl bezüglich Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung von geschweißten

Elementen, bei denen die Gefahr des Terrassenbruches während der Herstellung besteht, für Konstruktionen, die gemäß EN 1090-2 ausgeführt werden.

Bei der Auswahl des Materials für den Neubau sind die Hinweise in Abschnitt 2 der EN 1993-1-10 zu verwenden. Die Regeln sind zur Auswahl einer geeigneten Stahlsorte aus den in EN 1993-1-1 aufgeführten Europäischen Normen für Stahlerzeugnisse anzuwenden.

Die Wahl der Güteklasse ist aus Tabelle 3.1 EN 1993-1-10 in Abhängigkeit von den Folgen des Terrassenbruches zu treffen.

Abhängig von der aus Tabelle 3.1 ausgewählten Güteklasse sind entweder: die Dickeneigenschaften für den Stahlwerkstoff nach EN 10164 festzulegen, oder es ist eine Nachprüfung durchzuführen, um festzustellen, ob ein Terrassenbruch aufgetreten ist.

Hinweise zur Vermeidung von Terrassenbruch beim Schweißen sind in der EN 1011-2 enthalten. Die nationale Festlegung wird durch die im Vorwort zu EN 1993-1-10 aufgeführten Klauseln ermöglicht.

Planer und Ausführende müssen eng zusammenarbeiten, um die Genauigkeit und Verständlichkeit der Zeichnungen zu gewährleisten. Gelegentlich erkennt der Planer Situationen nicht, in denen das, was gezeichnet wurde, nicht ausgeführt werden kann, z.B. weil der Platz zum Schweißen nicht ausreicht. Häufig sind mehrere Besprechungen erforderlich, bevor beide Parteien einverstanden sind, dass die grafische Darstellung des Entwurfs korrekt ist und hergestellt werden kann.

Die Herstellung der Elemente, einschließlich der Zusammensetzung, des Transports und der Montage vor Ort, muss sorgfältig durchgeführt werden, um die endgültige Qualität der Konstruktion sicherzustellen.

Die Konstruktionen müssen in Übereinstimmung mit den einschlägigen Ausführungsnormen, EN 1090-2 in Europa und AISC 303-10 in den USA, welche die Mindestqualitätsanforderungen festlegen, ausgeführt werden. Aufgrund ihrer Erfahrung können einige Hersteller entscheiden, diese Anforderungen zu überschreiten und so bekannte Probleme zu vermeiden, die häufig bei der Montage vor Ort auftreten.

3. Charakterisierung der präqualifizierten Anschlüsse

3.1. Allgemeine Leistungsziele

Tragfähigkeitskriterium: Nach EC8 basiert die seismische Auslegung von Stahlkonstruktionen auf dem Konzept der dissipativen Strukturen, wobei bestimmte Bereiche der Strukturen in der Lage sein sollten, eine plastische Verformung zu entwickeln, um die seismische Energie abzuführen. Im Gegenteil dazu sollten sich die nicht-dissipativen Bauteile unter seismischer Einwirkung elastisch verhalten, um ein sprödes Versagen zu vermeiden. Grundprinzip ist dabei eine Abstufung der einzelnen Tragfähigkeiten untereinander, wobei nicht-dissipative Bereiche so ausgelegt werden, dass sie den vollen plastischen Tragfähigkeiten der zugehörigen dissipativen Bereiche widerstehen können. Die im Projekt Equaljoints verwendeten Entwurfskriterien zielen darauf ab, die Anforderungen an das Verhältnis zwischen den Tragfähigkeiten der Makrokomponenten (z.B. Stegblech, Verbindung, Träger und Stütze) und deren Unterkomponenten (z.B. Stirnblech, Schrauben, Schweißnähte, etc.) in Einklang zu bringen.

Gemäß dem im Rahmen des Projekts entwickelten Entwurfsverfahren wird die Verbindung als aus drei Makrokomponenten (d.h. dem Stützenfeld, der Anschlusszone und dem Trägerbereich, siehe Abbildung 3-1) bestehend betrachtet; jede Makrokomponente wird individuell nach bestimmten Annahmen entworfen und dann werden einfache Kapazitätsauslegungskriterien angewendet, um unterschiedliche Entwurfsziele zu erreichen.

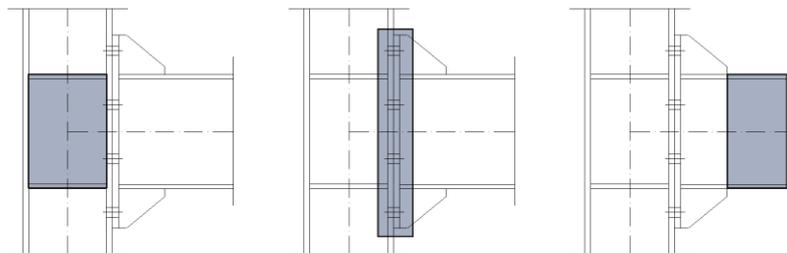


Abbildung 3-1: Plastische Bereiche der überprüften Entwurfsziele: a) Stegblech; b) Verbindung; c) Träger

Die folgenden Entwurfsziele können für die Verbindung verwendet werden:

- Die volltragfähige Verbindung ist so konzipiert, dass sie höherfester ist als andere Makrokomponenten, sodass andere Stellen der Verbindung (Träger oder Stützenstegfeld) zu fließen beginnen.
- Die gleichtragfähige Verbindung ist so ausgelegt, dass sie eine ähnliche Tragfähigkeit wie die des Balkens oder des Stützenblechs oder beides aufweist. Theoretisch sollte in zwei oder in allen drei Makrokomponenten Fließen auftreten.
- Die teiltragfähige Verbindung ist so bemessen, dass sich plastische Verformungen in ihren Komponenten entwickeln.

Für das Stützenstegfeld kann ein zusätzliches Entwurfsziel eingeführt werden:

- Das volltragfähige Stützenstegfeld ist so konzipiert, dass es höherfester ist als andere Makrokomponenten, so dass andere Stellen der Verbindung (Träger- oder Verbindung) zu fließen beginnen.
- Das gleichtragfähige Stützenstegfeld ist so ausgelegt, dass es eine ähnliche Tragfähigkeit wie die der Träger oder die Verbindung oder beides aufweist.
- Das teiltragfähige Stützenstegfeld ist so bemessen, dass sich plastische Verformungen nur in ihm entwickeln.

Es sei auch darauf hingewiesen, dass sowohl EC3 als auch EC8 den Fall einer gleichtragfähigen Verbindung, der im Rahmen des Projekts als Zwischenleistungsniveau vorgeschlagen wird, nicht berücksichtigen. Nach der aktuellen Eurocode-Klassifizierung fällt eine gleichtragfähige Verbindung in die Kategorie der teiltragfähigen Verbindungen.

Die Hauptursache für plastische Verformungen in der seismischen Bemessungssituation ist das Trägerende. Abhängig von der Lage des plastischen Gelenkes, dem Grad der Verfestigung und der zu erwartenden Streckgrenze am plastischen Gelenk kann das Bemessungsmoment an der Stirnseite der Stütze wie folgt ermittelt werden:

$$M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot s_h) \quad \text{Gl. (3.1)}$$

Wobei $M_{con,Ed}$ das Bemessungsbiegemoment an der Stirnseite der Stütze ist; α ist abhängig vom Entwurfsziel. Es ist gleich $\gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ für volltragfähige Anschlüsse (wobei γ_{ov} der Überfestigkeitsfaktor aufgrund der Materialstreuung und γ_{sh} der Kaltverfestigungsfaktor entsprechend dem Verhältnis zwischen dem Bruchmoment und dem plastischen Moment des Trägers ist), wobei $\gamma_{sh} = 1$ für gleichtragfähige Anschlüsse und $\gamma_{sh} < 1$ für teiltragfähige Anschlüsse gilt. Um eine zu starke Schadenskonzentration in der Verbindungszone zu vermeiden, wird das Tragfähigkeitsverhältnis für teiltragfähige Anschlüsse mit 0,6 oder 0,8 angenommen. $M_{B,Rd}$ ist die plastische Momententragfähigkeit des verbundenen Trägers; s_h ist der Abstand zwischen der Stirnfläche der Stütze und dem im verbundenen Träger auftretenden plastischen Gelenk (der Abstand zwischen Stützenstirnfläche und der Mitte der Quersteife bei gevouteten und ausgesteiften Kopfplattenanschlüssen, siehe Abbildung 3-2); s_h ist null bei nicht ausgesteiften Stirnblechanschlüssen; $V_{B,Ed}$ ist der Bemessungswert der Schubkraft, korrespondierend mit dem Auftreten des plastischen Gelenkes im verbundenen Träger; und ist gegeben durch:

$$V_{B,Ed} = V_{B,Ed,M} + V_{B,Ed,G} \quad \text{Gl. (3.2)}$$

wobei $V_{B,Ed,M}$ der Bemessungswert der Schubkraft infolge des Auftretens der plastischen Gelenke an beiden Trägerenden, im Abstand der Länge L_h , ist und berechnet wird mit:

$$V_{B,Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{B,Rd}}{L_h} \quad \text{Gl. (3.3)}$$

$V_{B,Ed,G}$ ist der Anteil der Gravitationslast; es ist zu beachten, dass dieser Betrag nicht den Abstand zwischen der Stirnseite der Stütze und dem plastischen Gelenk berücksichtigt; L_h ist der ungefähre Abstand zwischen den plastischen Gelenken. Hinsichtlich der beiden Teilsicherheitsbeiwerte sind weitere Überlegungen notwendig: γ_{ov} wird mit 1,25 angenommen, wie in EC8 empfohlen. Der Kaltverfestigungsfaktor γ_{sh} wird in EN 1993-1-8 und EN 1998-1 unterschiedlich angenommen. Insbesondere empfiehlt die EN 1993-1-8 ein Überfestigkeitsverhältnis von 1,2 für volltragfähige Verbindungen, während die EN 1998-1 widersprüchlich einen Wert von 1,1 annimmt. Mehrere empirische Gleichungen sind in der Literatur verfügbar, um die von Stahlträgern entwickelte Biegeüberfestigkeit γ_{sh} abzuschätzen. Basierend auf den wichtigsten Ergebnissen von Mazzolani und Piluso (1992), D'Aniello et al (2012), Güneyisi et al (2013, 2014) kann argumentiert werden, dass der γ_{sh} -Faktor, für europäische Profile, die üblicherweise für Träger verwendet werden (z.B. IPE), im Bereich von 1,1-1,2 liegt, somit größer als der von EC8 empfohlene Wert, jedoch in Übereinstimmung mit AISC 358-10, wo der folgenden Teilsicherheitsbeiwert angenommen wird:

$$\gamma_{sh,AISC} = \frac{f_y + f_u}{2 \cdot f_y} \leq 1,20 \quad \text{Gl. (3.4)}$$

Daher wird im aktuellen Verfahren γ_{sh} konservativ mit 1,20 angenommen, auch basierend auf der charakteristischen Streckgrenze und Endfestigkeit der europäischen Baustahlgüten.

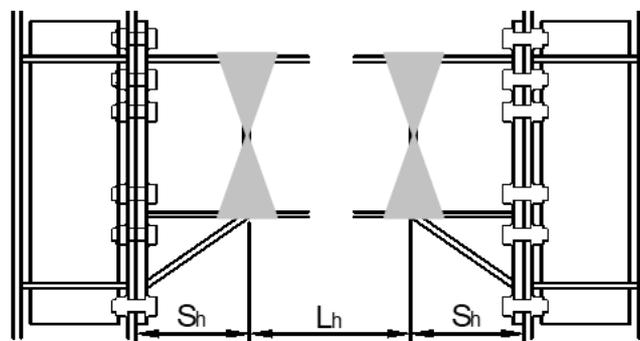


Abbildung 3-2: Lage der plastischen Gelenke in gevouteten Anschlüssen und Anschlüssen mit überstehenden Stirnblechen

Die Schubkraft im Stützenstegfeld kann wie folgt bestimmt werden:

$$V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed} \quad \text{Gl. (3.5)}$$

mit:

$V_{wp,Ed}$	Bemessungsschubkraft im Stützenstegfeld;
$V_{c,Ed}$	Schubkraft in der Stütze;
z	Innerer Hebelarm;
α	abhängig vom Entwurfsziel, und kann sich von dem Wert unterscheiden, der zum Entwurf der Verbindung verwendet wurde.

Abhängig von den erforderlichen Entwurfszielen der Verbindung sind die folgenden Ungleichungen zu prüfen:

$$M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed} \quad \text{Gl. (3.6)}$$

$$V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed} \quad \text{Gl. (3.7)}$$

mit:

$M_{con,Rd}$	Momententragfähigkeit der Verbindung
$V_{wp,Rd}$	Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes.

Duktilitätskriterium: Die Duktilität der Verbindung hängt von der Art des Versagens und der entsprechenden plastischen Verformungsfähigkeit des aktivierten Bauteils ab. Abbildung 3-3 zeigt die Abhängigkeit des Versagensmodus von den geometrischen Eigenschaften und dem Verhältnis von Stirnblech- zu Schraubentragfähigkeit (Jaspart, 1997). Auf der Abszisse wird das Verhältnis β zwischen dem Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit ($M_{pl,Rd}$) der Bleche oder Stützenflansche und dem Bemessungswert der Zugtragfestigkeit einer Schraube ($F_{t,Rd}$) angegeben, während die vertikale Achse das Verhältnis η zwischen der T-Stummel Tragfähigkeit (F) und $F_{t,Rd}$ angibt. Die Tragfähigkeit für Modus 1 bei nicht-kreisförmigem Muster ist abhängig vom Verhältnis $\nu = n/m$, wobei m der Abstand zwischen der Schraubenachse und der zu erwartenden Position des plastischen Gelenkes von Flansch zu Steg ist und n der Mindestabstand zwischen Flanschseite und Schraubenachse oder 1,25 m ist.

Gemäß Abbildung 3-3 können zwei mögliche Duktilitätskriterien angenommen werden, um den Modus 3 zu vermeiden, nämlich:

Level-1: $\beta \leq 1$ Diese Bedingung führt entweder zu Versagensmodus I oder Versagensmodus II (aber sehr nahe an Modus I), welche eine sehr hohe Duktilität bieten.

Level-2: $\beta < 2$ und $\eta \leq 0,95$, diese Bedingung führt zu Versagensmodus II mit begrenzter Duktilität, jedoch ohne sprödes Versagen.

Die zu gewährleistende Duktilität hängt natürlich von den Entwurfszielen ab: Es ist entscheidend, die größere Duktilität bei gleich- oder teiltragfähigen Verbindungen, weniger bei volltragfähigen Verbindungen bereitzustellen.

Gemäß der EN 1993-1-8 sollte die Rotationskapazität der Verbindung überprüft werden, wenn $M_{j,Rd}$ kleiner als $1,2 M_{B,pl,Rd}$ ist und zwei alternative Wege verfolgt werden können: 1) Durchführung experimenteller Tests; 2) Kontrolle der Dicke t entweder des Stirnbleches oder des Stützenflansches, vorausgesetzt, dass der Widerstand des Bemessungsmomentes der Verbindung durch diese Komponenten bestimmt wird, welche die folgende Ungleichung erfüllen sollten:

$$t \leq 0,36 d \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad \text{Gl. (3.8)}$$

wobei d der Nennwert des Schraubendurchmesser ist, f_y ist die Streckgrenze der jeweiligen Basiskomponente und f_{ub} ist die Schraubenzugfestigkeit.

Die Gleichung (3.8) würde theoretisch der in Abbildung 3-3 dargestellten Duktilitätsstufe 1 entsprechen, wenn der Widerstand jeder einzelnen Schraube ($F_{t,Rd}$) größer ist als der Widerstand ($F_{p,Rd}$) der angeschlossenen Bleche (Stirnblech oder Stützenflansch). Im Einzelnen ist der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer Schraube ($F_{t,Rd}$) wie folgt angegeben:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \text{Gl. (3.9)}$$

wobei A_s die Spannungsquerschnittsfläche einer Schraube und γ_M der relevante Teilsicherheitsbeiwert ist (d.h. im EC wird $\gamma_M = 1,25$ empfohlen).

Zusätzlich verwendet Gleichung (3.8) den Bemessungswiderstand ($F_{p,Rd}$), der einem kreisförmigen Mechanismus entspricht, der wie folgt angenommen werden kann:

$$F_{p,Rd} = \frac{\pi t^2 f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Gl. (3.10)}$$

wobei t die Blechdicke und γ_{M0} der relevante Teilsicherheitsbeiwert ist (empfohlen: $\gamma_{M0} = 1,0$).

Es ist zu beachten, dass die Gleichungen (3.9) und (3.10) ein vollkommen plastisches Verhalten von Stahlblechen annehmen. In Anbetracht der zuvor diskutierten Überlegungen sollte jedoch die Duktilitätsstufe 1 (Level-1) für seismisch beständige teiltragfähige Anschlüsse sowohl unter Berücksichtigung der zufälligen Variabilität des Blechmaterials als auch seiner relevanten Verfestigung ausgedrückt werden, so dass die folgende Ungleichung verwendet werden kann:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma \cdot F_{p,Rd} = \gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh} \cdot F_{p,Rd} \quad \text{Gl. (3.11)}$$

Der Teilsicherheitsbeiwert γ in Gleichung (3.11) kann gleich 1,5 angenommen werden, da der empfohlene Eurocode-Wert für γ_{ov} gleich 1,25 ist, der Wert für γ_{sh} ist gleich 1,2 für europäischen Baustahl und der empfohlene Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} ist gleich 1,0. Wenn man also die Ungleichung (3.11) mit Gleichung (3.9) neu anordnet, kann man den Duktilitätszustand unter Berücksichtigung der Kapazitätsbemessungskriterien wie folgt ausdrücken:

$$t \leq \frac{0,42 \cdot d}{\sqrt{\gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh}}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{M0} \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2} \cdot f_y}} \cong 0,30 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad \text{Gl. (3.12)}$$

Bei voll- und gleichtragfähigen Verbindungen ist, auch wenn keine bzw. nur geringe Duktilität ausgenutzt werden soll, ein lokales Abstufungskriterium empfehlenswert, um ein unerwünschtes Versagen der spröden Bauteile aufgrund von Materialstreuung zu vermeiden. Entsprechend der Duktilitätsstufe 2 (Level-2) sollte daher die Festigkeit der Schrauben folgende Ungleichung erfüllen:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma_{ov} \cdot F_{p,Rd} \quad \text{Gl. (3.13)}$$

Gleichung (3.13), kann umgestellt werden und bietet nach einigen algebraischen Kunstgriffen ein ähnliches Kriterium, das durch Gleichung (3.8) gegeben ist. Es ist wichtig zu betonen, dass alle zuvor beschriebenen Kriterien verlangen, dass das Versagen von Schweißnähten aufgrund ihres spröden Versagensmechanismus zweifellos vermieden werden muss.

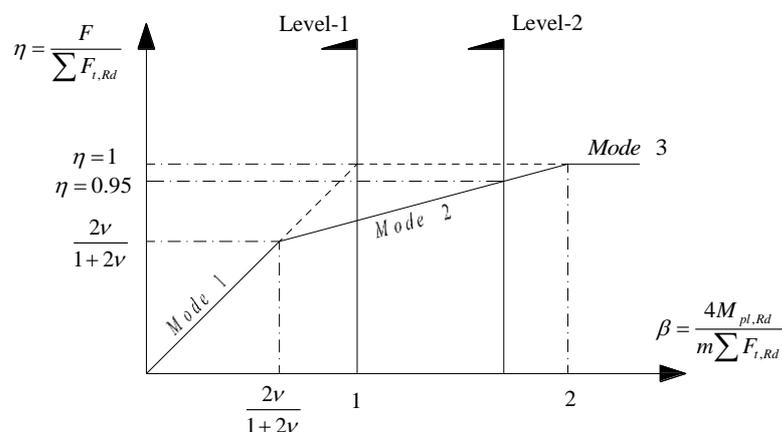


Abbildung 3-3: Duktilitätskriterium: Widerstand des T-Stummels und zugehöriger Versagensmechanismus

3.2. Weitere Entwurfsannahmen

3.2.1. Aktive Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung

Anders als bei der in der EN 1993-1-8 implementierten Komponentenmethode, bei der alle Schraubenreihen unter Zug durch Gleichgewicht der internen Druckresultierenden ermittelt werden, wird die Anzahl der aktiven Schraubenreihen unter Zug zuvor angenommen, da der Beitrag der Schraubenreihen unterhalb der Mittelachse der Verbindung unter reiner Biegung vernachlässigbar gering ausfällt.

3.2.2. Druckpunkt und Hebelarm

Bei Stirnblechverbindungen nach EN 1993-1-8 befindet sich der Druckpunkt in der Mitte der Dicke des Trägerflansches, bei gevouteten Verbindungen an der Spitze der Voute. Experimentelle und numerische Ergebnisse zeigten, dass die Lage des Druckpunktes sowohl vom Anslusstyp als auch vom Rotationsbedarf infolge der Bildung plastischer Moden mit unterschiedlichem Einfluss der einzelnen Anslussteile abhängt. Nach dem vorgeschlagenen Entwurfsverfahren und basierend auf experimentellen und numerischen Ergebnissen aus der Literatur (Lee, 2002; Lee et al, 2005; Abidelah et al, 2012) und innerhalb der Projektbedingungen (Maris et al., 2015, Stratan et al., 2015; D'Aniello et al, 2017; Tartaglia und D'Aniello, 2017), wird die Lage des Druckpunktes wie folgt angenommen: (i) in der Mitte der Dicke des Trägerflansches für nicht ausgesteifte Stirnblechanschlüsse (siehe Abbildung 3-4a); (ii) im Schwerpunkt des durch den Trägerflansch und die Rippensteifen hergestellten Profils für die ausgesteiften Stirnblechverbindungen (siehe Abbildung 3-4b); (iii) bei 0,5 mal der Voutenhöhe h_v , bei gevouteten Anslüssen (siehe Abbildung 3-4c).

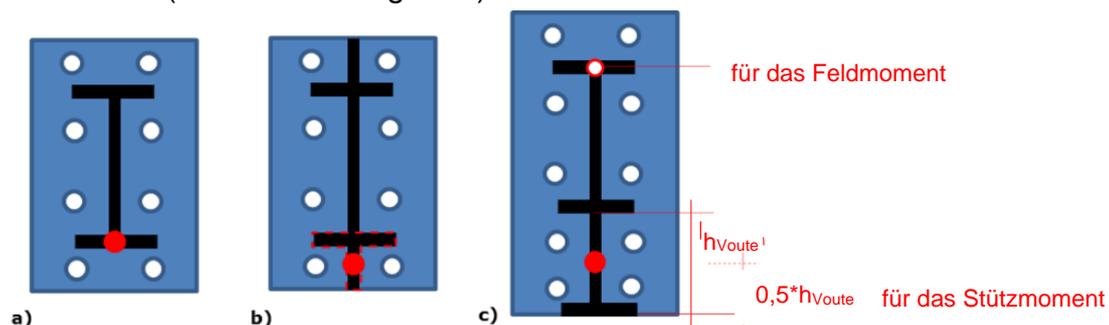


Abbildung 3-4: Lage der Druckmitte (siehe roter Punkt) für verschiedene Anslusstypen: a) nicht ausgesteifter Stirnplattenanschluss; b) ausgesteifter Stirnplattenanschluss; c) gevouteter Anschluss

3.3. Gevoutete Träger-Stützen Anslüsse

3.3.1. Beschreibung der Anschlusskonfiguration

Die gevouteten Träger-Stützen-Anslüsse mit überstehenden Stirnblechen sind für eine volltragfähige und biegesteife Verbindung mit überfestem oder volltragfähigem Stützenstegfeld vorgesehen. Die Konfiguration von gevouteten Träger-Stützen-Anslüssen mit überstehenden Stirnblechen ist in Abbildung 3-5 beschrieben. Die

Verbindung erfolgt über ein verlängertes Stirnblech mit hochfesten Schrauben und wird durch eine Lasche unter dem Untergurt des Trägers verstärkt.

Quer verlaufende Stützen- und Trägersteifen sind obligatorisch. Zusätzliche Stegbleche sind optional und können zur Erhöhung der Steifigkeit und Tragfähigkeit des Stützenstegblechs eingesetzt werden.

Der Winkel zwischen dem unteren Flansch des Trägers und dem Flansch der Voute wird gemessen und kann zwischen 30° und 45° liegen.

Die Art der Schweißnähte, für die die gevouteten Träger-Stützen-Anschlüsse präqualifiziert wurden, ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Alle Schweißnähte sind so ausgelegt, dass die Kräfte entsprechend dem Widerstand der geschweißten Teile übertragen werden können. Dies wird durch die Verwendung von zwei Kehlnähten (beide Seiten der Platte) mit einer minimalen Dicke von 0,55 mal der Dicke des Blechs erreicht. Kritische Schweißnähte (Oberer Trägerflansch, Voutenflansch, zusätzliches Stegblech am Stützenflansch) sind durchgeschweißte Stumpfnähte. Obergurtflansch- und Voutennähte werden zusätzlich mit Kehlnähten verstärkt.

3.3.2. Liste der Systeme, für die der Anschluss präqualifiziert ist

Die in diesem Dokument beschriebenen Träger-Stützen-Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen sind für die folgenden Konstruktionssysteme präqualifiziert:

- Biegesteife Rahmen (engl. *Moment Resisting Frames* MRFs);
- Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und zentrischen Verbänden (engl: *Dual Concentrically Braced Frames*, z.B. MRF+ CBFs);
- Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und exzentrischen Verbänden (z.B. MRF+ EBFs).

Darüber hinaus sollten diese Anschlüsse nur in Rahmen mit senkrechter Träger-Stützen-Achse und regelmäßiger Spannweitenauslegung des seismischen Widerstandssystems verwendet werden, und zwar ohne geneigte Träger.

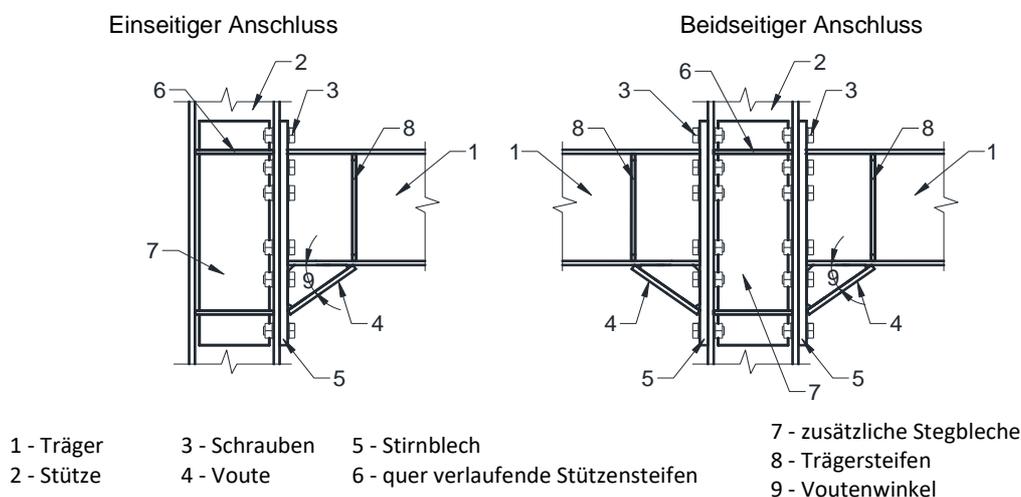
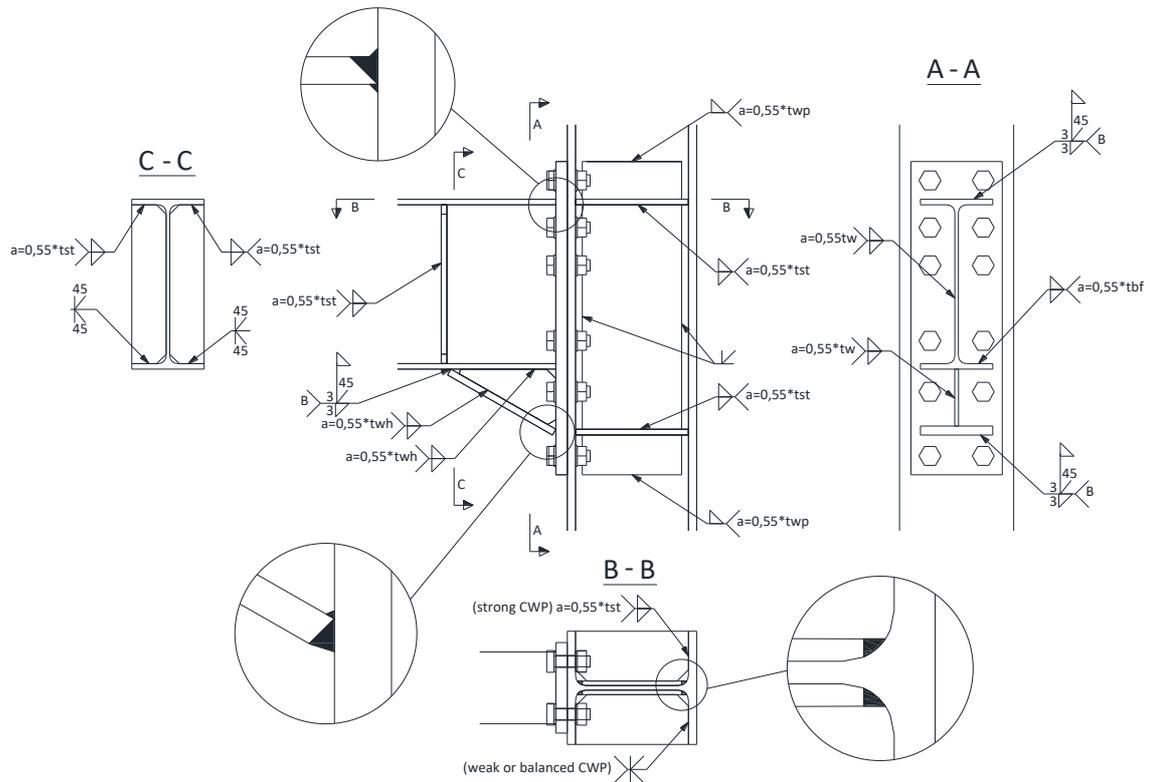


Abbildung 3-5: Beschreibung der gevouteten Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen



NOTE:
 1. All full-penetration welds shall be quality level B acc. EN ISO 5817 and EN 1090-2:2008.
 2. All welds shall be quality level C unless otherwise specified on drawings.

Abbildung 3-6: Schweißdetails für gevoutete Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen

3.3.3. Liste der Grenzwerte für präqualifizierte Daten

Tabelle 3-1: Liste der Grenzwerte für präqualifizierte Daten

Elemente	Anwendungsbereich
Träger	Warmgewalzte Träger von IPE330 bis IPE600. Der Querschnitt muss der Klasse 1 nach EN 1993-1-1 entsprechen. Zusammengesetzte Träger mit gleicher Querschnittsform können verwendet werden, sofern die Schweißnähte zwischen Steg und Flanschen mit Kehlnähten verstärkte durchgeschweißte Stumpfnähte sind.
Tiefe	330 bis 600 mm
Freies Spannweite-Tiefe Verhältnis (zwischen den angenommenen Orten der plastischen Gelenke)	Minimum 7
Flanschdicke	Minimum: 11 mm Maximum: 21 mm* (10% Extrapolation in Bezug auf das getestete Maximum)
Werkstoff	S235 bis S355
Stütze	Warmgewalzte Breitflanschstützen von HEB260/HEM260 bis HEB550/HEM550. Der Querschnitt muss der Klasse 1 nach

	EN 1993-1-1 entsprechen. Zusammengesetzte Träger mit gleicher Querschnittsform können verwendet werden, sofern die Schweißnähte zwischen Steg und Flanschen mit Kehlnähten verstärkte durchgeschweißte Stumpfnähte sind.
Tiefe	260 bis 550 mm
Flanschdicke	Minimum: 17,5 mm Maximum: 40 mm
Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Träger/Stützen Tiefe</i>	0,60-2,00
<i>Stirnblech</i>	20-40
Dicke	Minimum: 20 mm Maximum: 40 mm
Breite	Minimum: Breite des Trägerflansches + 30 mm Maximum: Breite des Stützenflansches
Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Quer verlaufende Stützen- und Trägersteifen</i>	Nach den Anforderungen aus EN 1993-1-8 und EN 1998-1.
Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Zusätzliche Stegbleche</i>	Nach den Anforderungen aus EN 1993-1-8 und EN 1998-1. Bei der Berechnung der zusätzlichen Schubtragfähigkeit des Stützenstegblechs darf die gesamte Fläche der zusätzlichen Stegbleche berücksichtigt werden.
Höhe	Mindestens so hoch wie die Stirnbleche
Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Schrauben</i>	Hochfeste Schraubengruppen zur Vorspannung, gemäß EN 14399-3 (System HR) und EN 14399-4 (System HV). Schrauben sind vollständig vorzuspannen, gemäß EN 1090-2.
Größe	M24 bis M36
Güteklasse	8.8 oder 10.9
Löcher	Gemäß EN 1993-1-8
<i>Voute</i>	
Winkel	Voutenwinkel gemessen zwischen unterem Trägerflansch und dem Flansch der Voute liegt im Bereich von 30° bis 40°
<i>Schweißnähte</i>	Gemäß Abbildung 3-6
Stirnblech zum oberen Trägerflansch und Voutenflansch	Verstärkte durchgeschweißte Stumpfnähte
Anschlussbleche an Stützenflanschen	Durchgeschweißte Stumpfnähte
Zusätzliche Stegbleche an Stützenflanschen	Durchgeschweißte Stumpfnähte
Andere Schweißnähte	Kehlnähte beidseitig mit einer Nahtdicke größer als das 0,55 fache der Dicke der verbundenen Bleche.

Anmerkung: Präqualifikationstests wurden an Trägern von IPE360 bis IPE600 durchgeführt. Die untere Grenze wird auf IPE330 ausgedehnt, da sie weniger als 10% Schwankung der Trägerhöhe darstellt, und kleinere Trägergrößen sich in Requalifizierungsversuchen durch eine größere Duktilität ausgezeichnet haben.

3.3.4. Entwurfsverfahren

3.3.4.1. Entwurfskonzept

Die gevouteten Träger-Stützen-Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen sind für eine volltragfähige und biegesteife Verbindung mit überfestem oder volltragfähigem Stützenstegfeld vorgesehen. Das Bemessungsverfahren basiert auf der in EN 1993-1-8 implementierten Komponentenmethode, mit einigen Anpassungen wie unten beschrieben, und berücksichtigt die Anforderungen in EN 1998-1.

Der Anschluss besteht aus einer Verbindung, einem Stützenstegfeld und dem verbundenen Element (Träger). Der Anschluss ist für das Biegemoment und die Schubkraft an der Stützenfläche entsprechend der Ausbildung der plastischen Gelenke im Träger (in der Nähe der Voute) unter Berücksichtigung von Materialüberfestigkeit und Kaltverfestigung ausgelegt.

Numerische Simulationen im Projekt EQUALJOINTS zeigten, dass sich der Druckpunkt beim positiven Biegemoment in einem Abstand Δ_c über dem Voutenflansch befindet. Basierend auf den bisher vorliegenden Ergebnissen kann davon ausgegangen werden, dass der Druckpunkt um 50% der Voutentiefe nach oben verschoben ist ($\Delta_c = 0.45 h_h$, siehe Abbildung 3-7a). Für negative Momente wird die übliche Annahme des Druckpunktes in der Mitte des Druckflansches übernommen (Abbildung 3-7b). Andererseits entwickeln Schraubenreihen in der Nähe des Druckpunktes aufgrund der Flexibilität des Stirnbleches und der begrenzten Duktilität der Schraubenreihen am Zugflansch vernachlässigbare Zugkräfte.

Daher wurde angenommen, dass nur die Schraubenreihen, die oberhalb der mittleren Tiefe des Trägerquerschnitts (ohne Voute) liegen, unter positivem Moment aktiv sind. Unter negativen Momenten wurden nur die Schraubenreihen, die außerhalb der mittleren Tiefe des Trägerquerschnitts einschließlich der Voute liegen, als aktiv angenommen.

Das Stegblech kann so entworfen werden, dass es entweder die gleichen plastischen Verformungsanforderungen wie der Träger hat oder höherfester als der Träger ist.

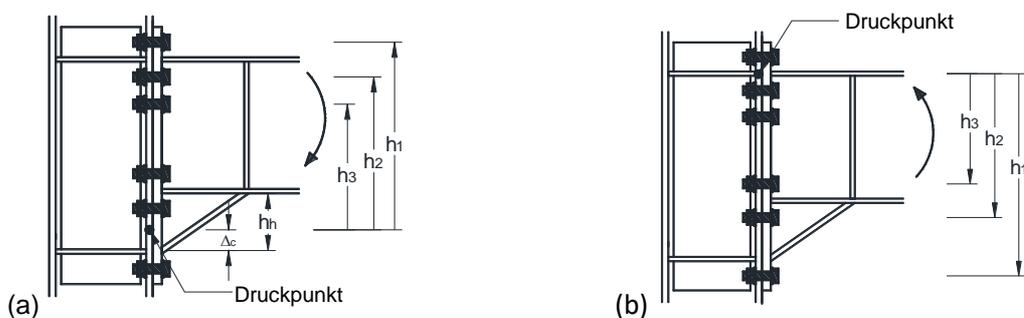


Abbildung 3-7: Druckpunkt und aktive Schraubenreihen für (a) positives Moment und (b) negatives Moment

3.3.4.2. Allgemeines Vorgehen

Schritt 1: Erste Auswahl der Anschlussgeometrien und Werkstoffe

- Schraubenklasse, Schraubengröße und Anzahl der Schraubenreihen
- Dicke und Abmessungen des Stirnblechs
- Dicke und Abmessungen der Voute
- Dicke und Abmessungen der Quersteifen
- Dicke und Abmessungen der zusätzlichen Stegbleche (falls erforderlich)
- Schweißnahtspezifikation

Schritt 2: Bauteilcharakterisierung

- Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Biegebeanspruchung)
- Komponentensteifigkeit (Anschluss mit Biegebeanspruchung)
- Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Schubbeanspruchung)

Schritt 3: Montageverfahren

- Tragfähigkeit der Verbindung bei Biegebeanspruchung
- Tragfähigkeit der Verbindung bei Schubbeanspruchung
- Tragfähigkeit des Stützenstegfeldes
- Steifigkeit der Verbindung bei Biegebeanspruchung

Schritt 4: Anschlussklassifizierung und Überprüfung

3.3.4.3. Vorauswahl für die Verbindung

Die in Tabelle 3-2 aufgeführten Empfehlungen können zur Festlegung der Anschlussgeometrien und Werkstoffe verwendet werden.

Tabelle 3-2: Vorauswahl der Verbindungsgeometrien und Werkstoffe

Verbindungselemente	Trägergröße		
	klein (\approx IPE360)	mittel (\approx IPE450)	groß (\approx IPE600)
Schraubenfestigkeitsklasse	10.9		
Schraubengröße	M27	M30	M36
Anzahl Schraubenreihen	6	6	6
Stirnblech	<i>Dicke:</i> $t_{ep}=d_b$. <i>Abmessungen:</i> Die Breite sollte größer als die Trägerflanschbreite (um mindestens 30 mm zur Aufnahme der Schweißnaht) und kleiner als der Stützenflansch sein. Der überstehende Teil sollte ausreichen, um eine Schraubenreihe unter Beachtung der Regeln der EN 1993-1-8 (§3.5) zu positionieren.		
Voute	Voutenflanschbreite gleich Trägerflanschbreite Voutenflanschdicke sollte größer sein als γ_{ov} mal Trägerflanschdicke. Dicke des Voutensteges sollte gleich oder größer sein als die des Trägersteges. Voutentiefe: <ul style="list-style-type: none"> • $h_h = 0.4 \cdot h_b$ für Vouten mit Winkel von $30^\circ \leq \alpha < 40^\circ$; 		

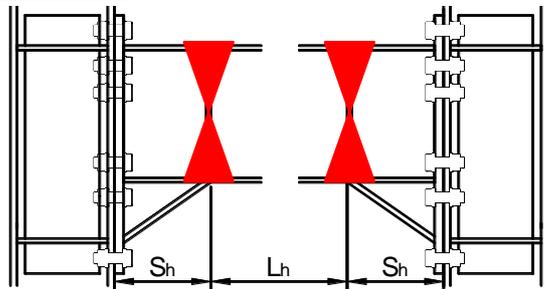
- $h_h = 0.5 \cdot h_b$ für Vouten mit Winkel von $40^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$.

Zusätzliche Stegbleche	Die Dicke und die Abmessungen der zusätzlichen Stegbleche sollten den Vorschriften der EN 1993-1-8 (§ 6.2.6.1) entsprechen, andernfalls sollten Lochschweißungen verwendet werden, um die Stabilität der zusätzlichen Bleche zu gewährleisten.
Querstreifen	Tabelle 3-1
Schweißnahtdetails	
Hinweis: t_{ep} ist die Dicke der Stirnbleche und d_b ist der Nenndurchmesser der Schraube.	

3.3.4.4. Montageverfahren und Überprüfung des Entwurfs

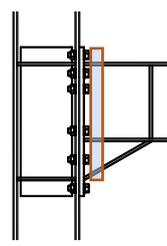
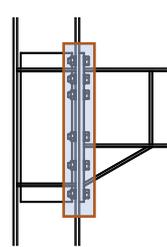
Klassifikationstyp	Kriterium	Quelle							
Tragfähigkeit bei Biegebeanspruchung	Volltragfähige Verbindung: $M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h)$ $\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$	Equaljoints							
Tragfähigkeit bei Schubbeanspruchung	$V_{con,Rd} \geq V_{b,Ed}$	Equaljoints							
Tragfähigkeit des Stützenstegblechs mit Schubbeanspruchung	Überfestes Stegblech: $V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$ mit $V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed}$	Equaljoints							
Steifigkeitsklassifizierung	Klassifizierung	EC3-1-8 5.2.2							
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%; text-align: center;">ausgesteifter Rahmen</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">nicht ausgesteifter Rahmen</td> </tr> <tr> <td>nachgiebig</td> <td style="text-align: center;">$0.5 \leq k_b < 8$</td> <td style="text-align: center;">$0.5 \leq k_b < 25$</td> </tr> <tr> <td>biegesteif</td> <td style="text-align: center;">$k_b \geq 8$</td> <td style="text-align: center;">$k_b \geq 25$</td> </tr> </table>			ausgesteifter Rahmen	nicht ausgesteifter Rahmen	nachgiebig	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$	biegesteif
	ausgesteifter Rahmen	nicht ausgesteifter Rahmen							
nachgiebig	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$							
biegesteif	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$							
$k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$									

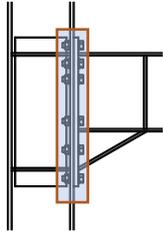
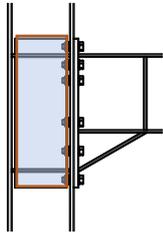
Bestimmung des einwirkenden Biegemomentes an der Stirnseite der Stütze und der zugehörigen Querkraft.



Das einwirkende Biegemoment an der Stirnseite der Stütze bei plastischem Gelenk am Ende der Voute:

$$M_{con,Ed} = M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h$$

<p>Die einwirkende Schubkraft in der Verbindung $V_{con,Ed}$ wird unter der Annahme ermittelt, dass sich an beiden Enden des Trägers vollständig fließende und kaltverfestigte plastische Gelenke bilden:</p> $V_{con,Ed} \cong V_{b,Ed} = V_{Ed,M} + V_{Ed,G}$ <p>wobei:</p> <p>$M_{pl,Rd}^* = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot W_{pl,beam} \cdot f_{y,beam}$ ist das erwartete plastische Moment an der Stelle des plastischen Gelenkes;</p> <p>$W_{pl,beam}$ ist das plastische Widerstandsmoment des Trägers;</p> <p>$f_{y,beam}$ ist die festgelegte minimale Streckgrenze des fließenden Elementes;</p> <p>γ_{sh} ist der Kaltverfestigungsfaktor zur Berücksichtigung der maximalen Verbindungstragfähigkeit</p> <p>γ_{ov} ist der Materialüberfestigkeitsfaktor;</p> <p>$V_{Ed,M}$ ist die Schubkraft infolge plastischer Gelenke;</p> <p>$V_{Ed,G}$ ist die Schubkraft infolge Gravitationslast in der seismischen Entwurfsituation;</p> <p>s_h ist der Abstand von der Stützenfläche bis zum plastischen Gelenk;</p> <p>L_h ist der Abstand zwischen plastischen Gelenken;</p> <p>Hinweis: Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass sich plastische Gelenke in einiger Entfernung vom Voutenende bilden. Zur Vereinfachung kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich das plastische Gelenk am Voutenende befindet. Eine genauere Position kann bei Bedarf verwendet werden.</p>	
<p><u>Prüfen des Trägerendes einschließlich Voute</u></p> <p>Das Trägerende einschließlich der Voute wird nach EN 1993-1-1 auf das zu erwartende einwirkende Biegemoment an der Stützensseite geprüft:</p> $\frac{M_{con,Ed}}{M_{bh,Rd}} \leq 1,0$ <p>wobei:</p> <p>$M_{bh,Rd}$ ist die plastische Momententragfähigkeit des Doppel-T-Profiles bestehend aus oberem Trägerflansch, Voutenflansch und Träger-Voutensteg unter Vernachlässigung des unteren Trägerflansches, siehe Ziffer 6.2.6.7 von EN 1993-1-8;</p> <p>$M_{con,Ed}$ ist das erwartete maximal einwirkende Moment an der Stützenfläche;</p> <p>Um mögliche Materialüberfestigkeiten des Trägers gegenüber der Voute zu berücksichtigen, wird die Voutenflanschdicke um den Faktor γ_{ov} erhöht.</p>	
<p><u>Prüfen der Biegetragfähigkeit der Stirnblechverbindung</u></p> <p>Überprüfen der Tragfähigkeit der Verbindung mit Biegebeanspruchung, sowohl bei positivem, als auch bei negativem Moment:</p> $\frac{M_{con,Ed}}{M_{con,Rd}} \leq 1,0$ <p>wobei $M_{con,Rd}$ die Biegetragfähigkeit der Verbindung ist.</p> <p>Die folgenden Komponenten werden verwendet, um die Momententragfähigkeit der Verbindungen zu erreichen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stützenflansch mit Biegebeanspruchung; • Stirnblech mit Biegebeanspruchung; • Trägersteg mit Querkzugbeanspruchung; • Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung; 	

<ul style="list-style-type: none"> • Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung. <p>$M_{con,Rd}$ wird gemäß EN 1993-1-8 bestimmt, mit den folgenden Änderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unter positivem Biegemoment, werden nur die Schraubenreihen oberhalb der mittleren Tiefe des Trägerquerschnitts (ohne Voute) als aktiv angenommen • Unter negativem Biegemoment, werden nur Schraubenreihen unterhalb der mittleren Tiefe des Trägerquerschnitts einschließlich Voute als aktiv angenommen • Für ein positives Biegemoment wird die Druckpunkt um 50% der Voutentiefe nach oben verschoben ($\Delta c = 0.5 h_n$, siehe Abbildung 3-7a) • Folgende Komponenten werden nicht berücksichtigt: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung, Trägerflansch und Steg (und Voute) unter Druck. 	
<p><u>Prüfen der Schubtragfähigkeit der Verbindung</u></p> $\frac{V_{b,Ed}}{V_{con,Rd}} \leq 1,0$ <p>wobei $V_{con,Rd}$ die Schubtragfähigkeit der Verbindung ist. Die folgenden Komponenten werden verwendet, um die Schubtragfähigkeit der Verbindungen zu erhalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trägersteg mit Schubbeanspruchung; • Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung auf den Stützenflansch; • Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung auf das Stirnblech; • Schrauben mit Abscherbeanspruchung. Es sollten nur die Schrauben berücksichtigt werden, die bei der Berechnung der Biegetragfähigkeit der Verbindung nicht einbezogen wurden. 	
<p><u>Prüfen des Stützenstegfeldes</u></p> <p>Die einwirkende Schubkraft im Stützenstegfeld wird aus den auf die Stegplatte wirkenden Biegemomenten und Querkräften ermittelt.</p> $V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed}$ <p>Wobei: $V_{wp,Ed}$ die einwirkende Schubkraft im Stützenstegfeld ist; $V_{c,Ed}$ die Schubkraft in der Stütze ist; z ist der innere Hebelarm.</p> <p>Für eine <i>überfestes Stützenstegfeld</i> sollte die Bemessungsschubkraft unter Berücksichtigung der Entstehung von voll fließenden und kaltverfestigten plastischen Gelenken im Träger berechnet werden:</p> $\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ <p>Die Tragfähigkeit des Stützenstegfeldes wird wie folgt überprüft:</p> $\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$ <p>$V_{wp,Rd}$ wird gemäß EN 1993-1-8 ermittelt. Es gelten folgende Einschränkungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es ist erlaubt, die gesamte Fläche der zusätzlichen Stegbleche bei der Berechnung der zusätzlichen Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes zu berücksichtigen. • Die zusätzliche Schubtragfähigkeit $V_{wp,add,Rd}$ resultierend aus Stützenflanschen und Quersteifen darf vernachlässigt werden. 	

3.3.4.5. Komponentencharakterisierung

Komponente	Detaillierte Regeln	Quellen
Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8, 6.2.6.1 gelten, mit den folgenden Anmerkungen: <ul style="list-style-type: none"> Bei der Berechnung der zusätzlichen Schubtragfähigkeit der Stegbleche darf die gesamte Fläche der zusätzlichen Stegbleche berücksichtigt werden. Die zusätzliche Schubtragfähigkeit $V_{wp,add,Rd}$ aufgrund von Stützenflanschen und Quersteifen darf vernachlässigt werden 	EN 1993-1-8 6.2.6.1 6.3.2
Stützenflansch mit Biegebeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 6.2.6.4 6.3.2
Stirnblech mit Biegebeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 6.2.6.5 6.3.2
Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 6.2.6.2 6.3.2
Trägersteg mit Querkzugbeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 6.2.6.8 6.3.2
Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 6.2.6.3 6.3.2
Trägersteg mit Schubbeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-1 6.2.6
Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung auf den Stützenflansch	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 3.6.1
Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung auf das Stirnblech	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 3.6.1
Schrauben mit Abscherbeanspruchung	Regeln in EN 1993-1-8 gelten.	EN 1993-1-8 3.6.1

3.3.4.6. Steifigkeitsklassifizierung

Gevoutete Träger-Stützen Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen dürfen als biegesteif angenommen werden, vorausgesetzt:

- die Tragfähigkeit des Stützenstegfeldes wird anhand von Gleichung (6.7) in EN 1993-1-8 ermittelt, unter Vernachlässigung der zusätzlichen Schubtragfähigkeit $V_{wp,add,Rd}$ infolge Stützenflanschen und Quersteifen;
- das Mittellinienmodell wird für die globale Strukturanalyse verwendet;
- die Schrauben sind Kategorie E (vorgespannt) gemäß EN 1993-1-8

- Die Regeln in EN 1993-1-8 können zur Quantifizierung der Steifigkeit der Verbindung und der Stützenstegfelder verwendet werden. Eine komplexere Modellierung von Verbindung und Stützenstegfeld kann bei Bedarf in der globalen Strukturanalyse eingesetzt werden.

3.3.4.7. Duktilitätsklassifizierung

Gevoutete Träger-Stützen Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen, die gemäß den obigen Regelungen entworfen sind, gelten als geeignet für den Einsatz in DCH- und DCM-Strukturen (*DC* für *ductility class* mit *H* für *High* und *M* für *Medium*) (Momententragfähige Rahmen (MRF), Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und zentralen Verbänden (*Dual Centrally Braced Frames* CBF) und Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und exzentrischen Verbänden (*Dual Excentrically Braced Frames* EBF)).

Dies beruht darauf, dass alle getesteten Verbindungen die folgenden Anforderungen erfüllt haben (ANSI/AISC 341-16):

- Die Verbindung war in der Lage, einen Stockwerksverdrehwinkel von mindestens 0,04 rad aufzunehmen
- Der gemessene Biege widerstand der Verbindung, ermittelt an der Stützenfläche, betrug mindestens 0,80 Mp des angeschlossenen Trägers bei einem Stockwerksverdrehwinkel von 0,04 rad.

Der Anwender wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Stockwerksverdrehung, zugehörig zu einem 20% Abfall des maximalen Moments, weniger als 0,04 rad (aber größer als 0,03 rad) für die Vouten betrug.

3.4. Ausgesteifte Träger-Stützen Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen

3.4.1. Beschreibung der Anschlusskonfiguration

Die Anschlusskonfiguration von ausgesteiften Träger-Stützen-Anschlüssen mit überstehenden Stirnblechen ist in Abbildung 3-8 beschrieben. Abhängig von der Trägertiefe und den Entwurfskriterien können 4 oder 6 Schraubenreihen verwendet werden. Zusätzliche Stegbleche sind optional und können bei Bedarf zur Verstärkung des Stützenstegblechs eingesetzt werden. Quer verlaufende Stützen- und Trägersteifen sind hingegen in allen Fällen empfohlen. Schweißnahttypen entsprechend der Entwurfskriterien sind in Tabelle 3-3 aufgelistet.

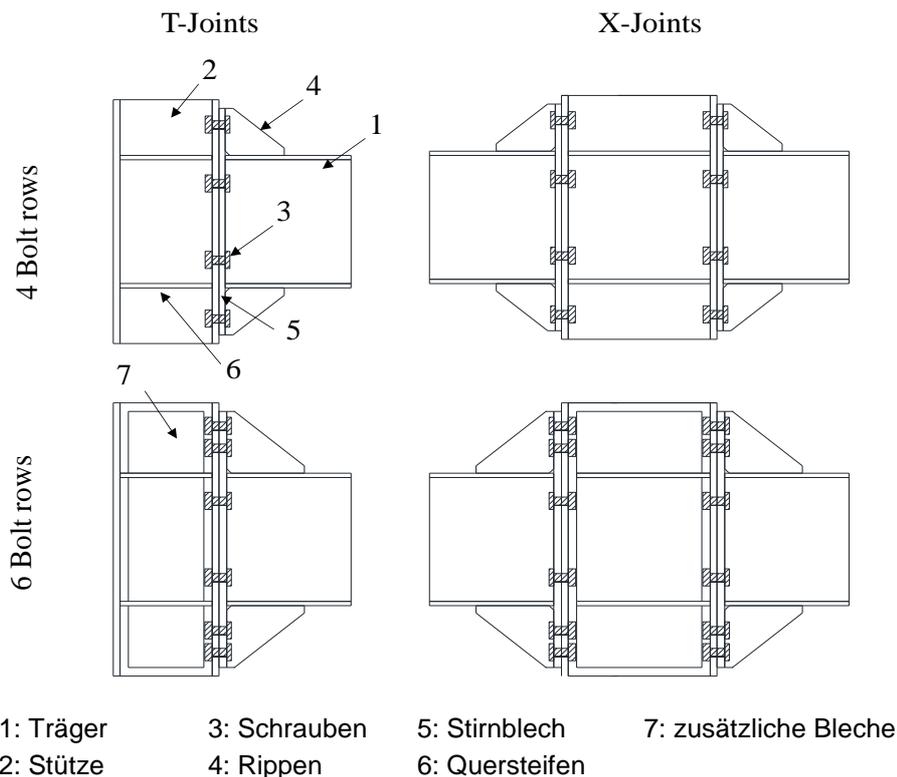


Abbildung 3-8: Beschreibung der ausgesteiften Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen

Tabelle 3-3: Schweißnahttypen in Übereinstimmung mit den Entwurfskriterien

Geschweißte Elemente	Anschlussstragfähigkeit		
	Volltragfähig	Gleichtragfähig	Teiltragfähig
Trägerflansch an Stirnblech (bf-ep)	FPW	FPW	FPW
Trägersteg an Stirnblech (bw-ep)	FPW	FPW	FW
Quersteife an Stütze (cp-c)	FW	FW	FPW
Rippe an Stirnblech (r-ep)	FPW	FPW	FPW
Rippe an Trägerflansch (r-bf)	FPW	FPW	FPW
Zusätzl. Stegplatten an Stütze (Swp-c)	FPW+PW	FPW+PW	FPW+PW

3.4.2. Liste der Systeme, für die die Verbindung präqualifiziert ist

Die in diesem Dokument präqualifizierten, ausgesteiften Schraubverbindungen mit überstehenden Stirnblechen können für die folgenden Konstruktionssysteme verwendet werden:

- Biegesteife Rahmen (MRFs);
- Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und zentrischen Verbänden (d.h. MRF+ CBFs);
- Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und exzentrischen Verbänden (d.h. MRF+ EBFs);

Darüber hinaus sollten diese Anschlüsse nur in Rahmen mit senkrechter Träger-Stützen-Achse und regelmäßiger Spannweitenauslegung des seismischen Widerstandssystems verwendet werden und zwar ohne geneigte Träger.

3.4.3. Liste der Grenzwerte für präqualifizierte Daten

Tabelle 3-4: Liste der Grenzwerte für präqualifizierte Daten

Elemente	Anwendungsbereich	
<i>Träger</i>		
	Tiefe	Maximum=600mm
	Spannweite-Tiefe Verhältnis	Maximum=23, Minimum=10
	Flanschdicke	Maximum=19mm
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Stütze</i>		
	Tiefe	Maximum=550mm
	Flanschdicke	Maximum=29mm
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Träger/Stützen Tiefe</i>		0.65-2.15
<i>Stirnblech</i>		18-30mm
	Dicke	Tabelle 3-5
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Quersteifen</i>		
	Dicke	Gleich oder größer als die Dicke des angeschlossenen Trägerflansches
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Zusätzliche Bleche</i>		
	Dicke	Tabelle 3-5
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Schrauben</i>		
		HV oder HR
	Größe	Tabelle 3-5
	Klasse	10.9
	Anzahl Schraubenreihen	Tabelle 3-5
	Unterlegscheiben	Gemäß EN 14399-4
	Löcher	Gemäß EN 1993-1-8
<i>Schweißnähte</i>		
Stirnblech an Trägerflansch		Verstärkte durchgeschweißte Stumpfnähte (Abbildung 3-9)
Quersteifen an Stützenflansch		Durchgeschweißte Stumpfnähte (Abbildung 3-9)
Zusätzliche Platten an Stützenflansch		Durchgeschweißte Stumpfnähte (Abbildung 3-9)
Andere Schweißnähte		Kehlnähte: Nahtdicke größer als das 0.55-fache der Dicke der angeschlossenen Bleche

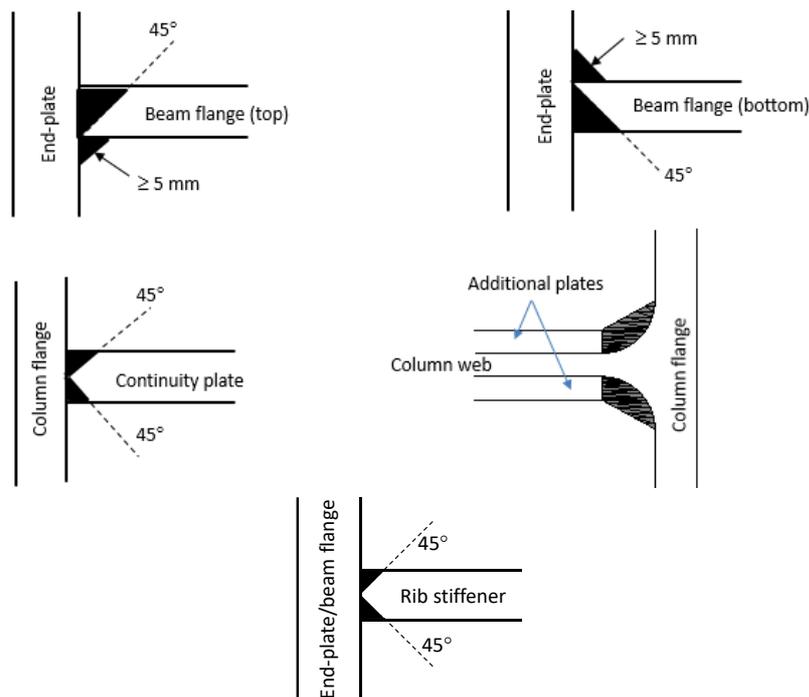


Abbildung 3-9: Anschlussdetails der durchgeschweißten Stumpfnahte

3.4.4. Entwurfsverfahren

Neben der Auswahl von Anschlussgeometrien und Werkstoffen werden die drei wesentlichen Konstruktionsschritte des Bauteilverfahrens sukzessive angegangen:

- Komponentencharakterisierung
- Montagevorgang
- Anschlussklassifikation und Entwurfsüberprüfung

3.4.4.1. Allgemeines Vorgehen

Schritt 1: Erste Auswahl der Anschlussgeometrien und Werkstoffe

- Schraubenklasse, Schraubengröße und Anzahl der Schraubenreihen
- Dicke und Abmessungen des Stirnblechs
- Dicke und Abmessungen der Quersteifen
- Dicke und Abmessungen der zusätzlichen Stegbleche (falls erforderlich)
- Schweißnahtspezifikation

Schritt 2: Bauteilcharakterisierung

- Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Biegebeanspruchung)
- Komponentensteifigkeit (Anschluss mit Biegebeanspruchung)
- Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Schubbeanspruchung)

Schritt 3: Montageverfahren

- Tragfähigkeit des Anschlusses bei Biegebeanspruchung
- Biegesteifigkeit des Anschlusses bei Biegebeanspruchung
- Tragfähigkeit der Verbindung bei Schubbeanspruchung
- Duktilitätsklasse der Verbindung

Schritt 4: Anschlussklassifizierung und Überprüfung des Entwurfs

- Tragfähigkeit bei Biegebeanspruchung
- Steifigkeit bei Biegebeanspruchung
- Tragfähigkeit bei Schubbeanspruchung
- Duktilität
- Nachweis/Überprüfung

3.4.4.2. Vorauswahl für die Verbindung

Die in Tabelle 3-5 aufgeführten Empfehlungen können zur Festlegung der Anschlussgeometrien und Werkstoffe verwendet werden.

Tabelle 3-5: Vorauswahl der Verbindungsgeometrien und Werkstoffe

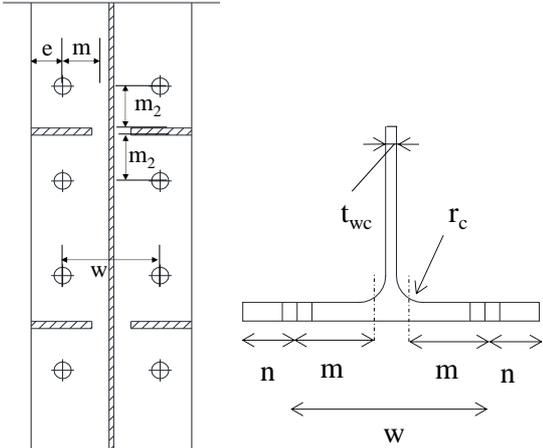
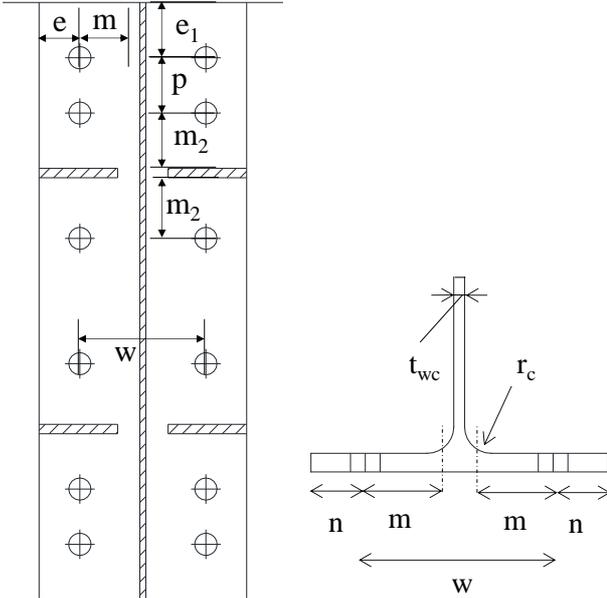
Verbindungs- elemente	Trägergröße		
	Klein (\approx IPE360)	Mittel (\approx IPE450)	Groß (\approx IPE600)
Schraubenfestigkeit	10.9		
Schraubengröße	M27	M30	M36
Anzahl Schraubenreihen	4/6	4/6	6
Stirnblech	<i>Dicke:</i> $t_{ep}=(2/3\div 5/6) d_b$ bei volltragfähigen Verbindungen kann sie etwas größer sein als die Stützenflansche; $t_{ep}=(2/3\div 5/6)d_b$ für gleichtragfähige Verbindungen; sollte aber kleiner als die Dicke der Stützenflansche sein. <i>Abmessungen:</i> Die Breite sollte gleich oder kleiner als die des Stützenflansches sein. Der verlängerte Teil sollte ausreichen, um eine oder zwei Schraubenreihen unter Beachtung der in EC3-1-8 (§3.5) angegebenen Regeln zu positionieren.		
Zusätzliche Bleche	Die Dicke und die Abmessungen der Zusatzbleche sollten den Vorschriften in EC3-1.8 (§ 6.2.6.1) entsprechen, andernfalls sollten Lochschweißnähte verwendet werden, um die Stabilität der Zusatzbleche zu gewährleisten.		
Querstreifen	Tabelle 3-4		
Schweißdetails			
Anmerkung: t_{ep} ist die Dicke der Stirnbleche; d_b ist der Nenndurchmesser der Schrauben.			

3.4.4.3. Montageverfahren und Überprüfung des Entwurfs

Klassifikationstyp	Kriterium	Quelle												
Tragfähigkeit bei Biegebeanspruchung	$M_{con,Rd} \approx M_{Ed}$: gleichtragfähige Verbindung $M_{con,Rd} > M_{Ed}$: volltragfähige Verbindung $V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: überfestes Stützenstegfeld mit: $F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ (l = 1 bis 5 für Anschlüsse mit 6 Schraubenreihen und i= 1 bis 3 für Anschlüsse mit 4 Schraubenreihen), ist die Querschubkraft in der Verbindung infolge der Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung $F_{fbc,Rd}$ ist die Tragfähigkeit der Trägerflansche und des Steges bei Druckbeanspruchung	Equaljoints												
Steifigkeitsklassifikation	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 35%; text-align: center;">ausgesteifter Rahmen</td> <td style="width: 35%; text-align: center;">nicht ausgesteifter Rahmen</td> </tr> <tr> <td>nachgiebig</td> <td style="text-align: center;">$0.5 \leq k_b < 8$</td> <td style="text-align: center;">$0.5 \leq k_b < 25$</td> </tr> <tr> <td>biegesteif</td> <td style="text-align: center;">$k_b \geq 8$</td> <td style="text-align: center;">$k_b \geq 25$</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; border-top: 1px solid black;">$k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$</td> </tr> </table>		ausgesteifter Rahmen	nicht ausgesteifter Rahmen	nachgiebig	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$	biegesteif	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$	$k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$			EC3-1-8 5.2.2
	ausgesteifter Rahmen	nicht ausgesteifter Rahmen												
nachgiebig	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$												
biegesteif	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$												
$k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$														
Tragfähigkeit bei Schubbeanspruchung	$V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$: gleichtragfähig bei Schubbeanspruchung $V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$: volltragfähig bei Schubbeanspruchung													
Duktilitätsklassifikation	$\beta_{max} \leq 1.0$: Duktilitätsstufe 1 $\beta_{max} > 1.0$ and $\eta_{max} \leq 0.95$: Duktilitätsstufe 2 mit: $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$	Equaljoints												

3.4.4.4. Komponentencharakterisierung

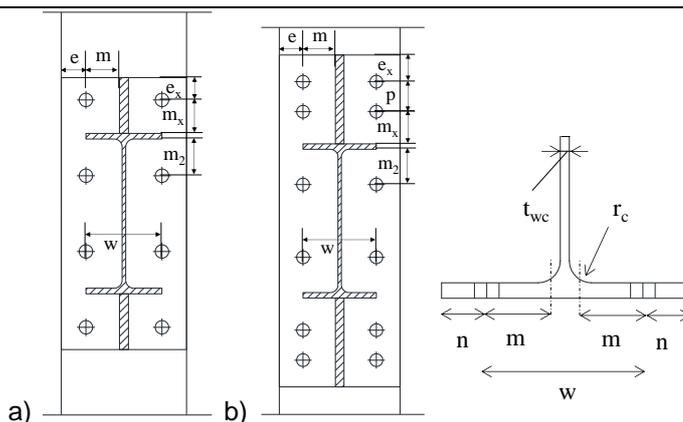
Komponententragfähigkeit (bei Biegebeanspruchung)

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Stützenflansch mit Biegebeanspruchung	<p style="text-align: center;">Fälle mit 4 Schraubenreihen</p>  <p style="text-align: center;">Fälle mit 6 Schraubenreihen</p> 	EC3-1-8 6.2.6.4

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Stützenflansch mit Biegebeanspruchung (Fortsetzung)	<p>Für jede Schraubenreihe oder für eine Gruppe von Schraubenreihen ergibt sich die Tragfähigkeit nach folgender Formel:</p> $F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}] * \text{ oder}$ $F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1-2,Rd}; F_{T,3,Rd}] **$ <p>mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$ • $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$ • $F_{T,3,Rd} = \sum \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ • $F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$ <p>wobei:</p> $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $m = (w / 2 - t_{wc} / 2 - 0,8 r_c)$ $n = \min[e, 1,25m] , \text{ bei kreisförmigem Muster kann } n=\infty \text{ benutzt werden.}$ $e_w = d_w / 4$ <p>d_w ist der Durchmesser der Unterlegscheibe, oder die Breite des Schraubenkopfes oder der Mutter</p> <p>*wenn sich Hebelkräfte entwickeln **wenn sich keine Hebelkräfte entwickeln</p> <p>EC1993-1-8 erlaubt die Berücksichtigung von Hebelkräften in jeglichem Fall für geschraubte Verbindungen. Angesichts der im Rahmen des EQUALJOINTS-Projekts beschriebenen Ergebnisse ist diese Aussage nicht konservativ und die Aktivierung der Hebelkraft sollte von Fall zu Fall überprüft werden.</p>	

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Stützenflansch mit Biegebeanspruchung (Fortsetzung)	<p>Effektive Längen</p> <p>❖ <i>Verbindung mit 4 Schraubenreihen</i></p> <p><u>Schraubenreihe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><u>Schraubenreihe 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α ist in Bild 6.11 in EC3-1-8 gegeben, abhängig von:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>Zwischen der ersten und der zweiten Schraubenreihe kann keine Schraubengruppe aktiviert werden, da eine durchgängige Steife eingeführt wird.</p> <p>❖ <i>Verbindung mit 6 Schraubenreihen</i></p> <p><u>Schraubenreihe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m; 4m + 1.25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1.25e$ <p><i>Erste Reihe der Gruppe 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min[2p; p]$ $l_{eff,nc} = p$ <p><u>Schraubenreihe 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><i>Zweite Reihe der Gruppe 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,2} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <p><u>Schraubenreihe 3:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α ist in Bild 6.11 in EC3-1-8 gegeben, abhängig von:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p><i>Anm.:</i> Zwischen der ersten und der zweiten Schraubenreihe kann der Gruppeneffekt den Widerstand der Schraubenreihe beeinflussen; umgekehrt kann kein Gruppeneffekt mit der dritten Schraubenreihe aktiviert werden, da eine durchgängige Steife eingeführt wird.</p>	Tabelle 6.5 (EC3-1-8)

EC3-1-8
 6.2.6.5



Fälle mit a) 4 Schraubenreihen und b) 6 Schraubenreihen

Stirnblech mit Biegebeanspruchung

Für jede Schraubenreihe oder für eine Gruppe von Schraubenreihen kann die Tragfähigkeit mit den folgenden Formeln berechnet werden:

$$F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}]^* \text{ oder}$$

$$F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1-2,Rd}; F_{T,3,Rd}]^{**}$$

mit:

- $F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$
- $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$
- $F_{T,3,Rd} = \sum \frac{0.9f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}}$
- $F_{T,1,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$

wobei:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25\Sigma\ell_{eff,1}t_{fc}^2f_{y,fc} / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25\Sigma\ell_{eff,2}t_{fc}^2f_{y,fc} / \gamma_{M0}$$

$$m = (w / 2 - t_{wc} / 2 - 0.8r_c)$$

$$n = \min[e, 1.25m] \text{ , bei kreisförmigem Muster kann } n=\infty \text{ benutzt werden.}$$

$$e_w = d_w / 4$$

d_w ist der Durchmesser der Unterlegscheibe, oder die Breite des Schraubenkopfes oder der Mutter

*wenn sich Hebelkräfte entwickeln

**wenn sich keine Hebelkräfte entwickeln

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
	<p>Effektive Längen</p> <p>❖ <i>Verbindung mit 4 Schraubenreihen</i></p> <p><u>Schraubenreihe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ <p><u>Schraubenreihe 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α ist in Bild 6.11 in EC1993-1-8 gegeben, abhängig von:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$ <p>❖ <i>Verbindung mit 6 Schraubenreihen</i></p> <p><u>Schraubenreihe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ <p><i>Erste Reihe der Gruppe 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} \pi m + p \\ 2e_x + p \\ 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ <p><u>Schraubenreihe 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><i>Zweite Reihe der Gruppe 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,2} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <p><u>Schraubenreihe 3:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α ist in Bild 6.11 in EC1993-1-8 gegeben.</p>	

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Trägerflansche und Steg mit Druckbeanspruchung	$F_{fbc,Rd} = M_{c,Rd} f_{y,b} / (h + \xi b - 0.5 t_{fb})$ <ul style="list-style-type: none"> • h ist die Tiefe des angeschlossenen Trägers • $M_{c,Rd}$ ist die Momenten Tragfähigkeit des Trägers plus Rippenquerschnitt, wenn nötig reduziert um Schub zuzulassen, siehe EN 1993-1-1 • t_{fb} ist die Flanschdicke des angeschlossenen Trägers • ξ_b ist die Position des Druckpunktes • b ist die Rippenhöhe 	EC3-1-8 6.2.6.7
Stützensteg und quer verlaufende Stützensteifen mit Druckbeanspruchung	<p>Die Tragfähigkeit des Stützensteges und der quer verlaufenden Stützensteifen darf berechnet werden mit:</p> $F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ <p>wobei:</p> $b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$ <p>A_{cp} ist die Fläche der quer verlaufenden Stützensteifen (beide Seiten) Der Reduktionsfaktor k_{wc} dient zur Berücksichtigung der Axialspannung im Stützensteg, gegeben in 6.2.6.2(2) von EC3-1-8. Der Reduktionsfaktor ω ist in Tabelle 6.3 in EC3-1-8 gegeben; Anm.: wenn durchgängige Steifen verwendet werden, kann die Abminderung infolge Beulen des Stützensteges bei Querdruckbeanspruchung vernachlässigt werden.</p>	EC3-1-8 6.2.6.2
Trägersteg mit Zugbeanspruchung	$F_{wbt,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ <p>Die effektive Breite $b_{eff,t,wb}$ des Trägersteges bei Zugbeanspruchung sollte gleich der effektiven Länge des äquivalenten T-Stummels, welcher das Stirnblech mit Biegebeanspruchung für eine individuelle Schraubenreihe oder Schraubengruppe darstellt, angenommen werden.</p>	EC3-1-8 6.2.6.8
Stützensteg mit Querzugbeanspruchung	$F_{wct,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ <p>Die effektive Breite $b_{eff,t,wc}$ des Stützensteges bei Zugbeanspruchung sollte gleich der effektiven Länge des äquivalenten T-Stummels, welcher das Stirnblech mit Biegebeanspruchung für eine individuelle Schraubenreihe oder Schraubengruppe darstellt, angenommen werden. Der Reduktionsfaktor ω ist in Tabelle 6.3 in EC3-1-8 gegeben.</p>	EC3-1-8 6.2.6.3
Schrauben mit Zugbeanspruchung	<p>Die Tragfähigkeit einer Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Zugbeanspruchung ist gegeben mit:</p> $F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>wobei:</p> <ul style="list-style-type: none"> • f_{ub} die Zugfestigkeit der Schraube ist • A_s die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube ist 	EC3-1-8 3.6.1

3.4.4.5. Komponentensteifigkeiten (Anschluss mit Biegebeanspruchung)

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung	<p>Für den ausgesteiften Anschluss ist der Beitrag von k_1 gleich unendlich, wo hingegen k_1 beim nicht ausgesteiften Anschluss berechnet wird durch:</p> $k_1 = \frac{0.38 \cdot A_{VC}}{\beta z}$ <p>wobei: β der Transformationsparameter, definiert durch EN 1993-1-8 pr. 5.3(7), ist und z ist der Hebelarm.</p>	EC3-1-8 6.3.2
Stützenflansch mit Biegebeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung:</p> $k_4 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{fc}^2}{m^3}$ <p>Die effektive Breite b_{eff} ist die kleinste effektive Länge der Schraubenreihe (einzeln oder als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen)</p>	EC3-1-8 6.3.2
Stirnblech mit Biegebeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung:</p> $k_5 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^2}{m^3}$ <p>Die effektive Breite b_{eff} ist die kleinste effektive Länge der Schraubenreihe (einzeln oder als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen).</p>	EC3-1-8 6.3.2
Stützensteg mit Querzugbeanspruchung	<p>Für ausgesteifte geschweißte Verbindungen ist der Beitrag von k_3 gleich unendlich, wo hingegen k_3 beim nicht ausgesteiften Anschluss berechnet wird durch:</p> $k_3 = \frac{0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$ <p>Die effektive Breite b_{eff} ist die kleinste effektive Länge der Schraubenreihe (einzeln oder als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen) der Komponente des Stützenflansches mit Biegebeanspruchung.</p>	EC3-1-8 6.3.2
Schrauben mit Zugbeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung:</p> $k_{10} = \frac{1.6 \cdot A_s}{L_b}$	EC3-1-8 6.3.2
Rippe auf der Druckseite	$k_{RIB} = \frac{A_{eq}}{L_{Strut}} \cdot \cos(\alpha)$ <p>wobei (wie durch Lee definiert):</p> $A_e = \frac{\eta(ab - c^2)}{\sqrt{(a-c)^2 + (b-c)^2}}$ $L_e = (0.6) \sqrt{(a^2 + b^2)}$ <p>α ist die Neigung der Rippenstrebe.</p>	Equaljoints

3.4.4.6. Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Schubbeanspruchung)

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle				
Trägersteg mit Schubbeanspruchung	$V_{b, RD} = \chi_w A_{vb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ <p>wobei:</p> $A_{vb} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ if } \bar{\lambda}_w \geq 0.83;$ $\chi_w = 1.0 \text{ if } \bar{\lambda}_w < 0.83$ <p>mit $\bar{\lambda}_w = 0.3467 (h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}$</p>	EC3-1-5 5.3				
Stützenflansch mit Lochleibungsbeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Schubbeanspruchung:</p> $F_{b, Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>wobei:</p> <p>Für außenliegende Schrauben: $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p> <p>Für innenliegende Schrauben: $k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p> <p>$\alpha_b$ abhängig von der Richtung der Schubkraft und der Position der Schraubenreihe:</p> <p>Verbindung mit 4 Schraubenreihen</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihe 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihe 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> </td> </tr> </table> <p>Verbindung mit 6 Schraubenreihen</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = 1.0$</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> </td> </tr> </table>	<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihe 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihe 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = 1.0$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	EC3-1-8 3.6.1
<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihe 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihe 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>					
<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = 1.0$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>					

Stirblech mit Lochleibungsbeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Schubbeanspruchung:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>Für außenliegende Schrauben: $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p> <p>Für innenliegende Schrauben: $k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p> <p>$\alpha_b$ abhängig von der Richtung der Schubkraft und der Position der Schraubenreihe:</p> <p style="text-align: center;">Verbindung mit 4 Schraubenreihen</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Schraubenreihen 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1 und 3: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 4: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Verbindung mit 6 Schraubenreihen</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 3 und 5: $\alpha_b = 1.0$</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 6: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> </td> </tr> </table>	<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Schraubenreihen 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1 und 3: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 4: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>	<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 3 und 5: $\alpha_b = 1.0$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 6: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>	EC3-1-8 3.6.1
<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Schraubenreihen 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1 und 3: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 4: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>					
<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Schraubenreihen 2, 4 und 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 3 und 5: $\alpha_b = 1.0$</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i></p> <p>Schraubenreihen 1, 3 und 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Schraubenreihen 2 und 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Schraubenreihen 6: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>					
Schrauben mit Abscherbeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Schubbeanspruchung:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>$\alpha_v = 0.5$ für 10.9 Schrauben.</p>	EC3-1-8 3.6.1				

3.5. Nicht ausgesteifte Träger-Stützen Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen

3.5.1. Beschreibung der Anschlusskonfiguration

Die Anschlusskonfiguration ist in Abbildung 3-10 beschrieben, sie entspricht den nicht ausgesteiften Stirnblechanschlüssen. Je nach Trägertiefe können 4 oder 6 Schraubenreihen eingesetzt werden. Die Verwendung zusätzlicher Bleche ist eine Option zur Verstärkung des Stützensteiges, wenn nötig, während die Verwendung durchgängiger Bleche (quer verlaufende Stützensteifen) in allen Fällen empfohlen wird.

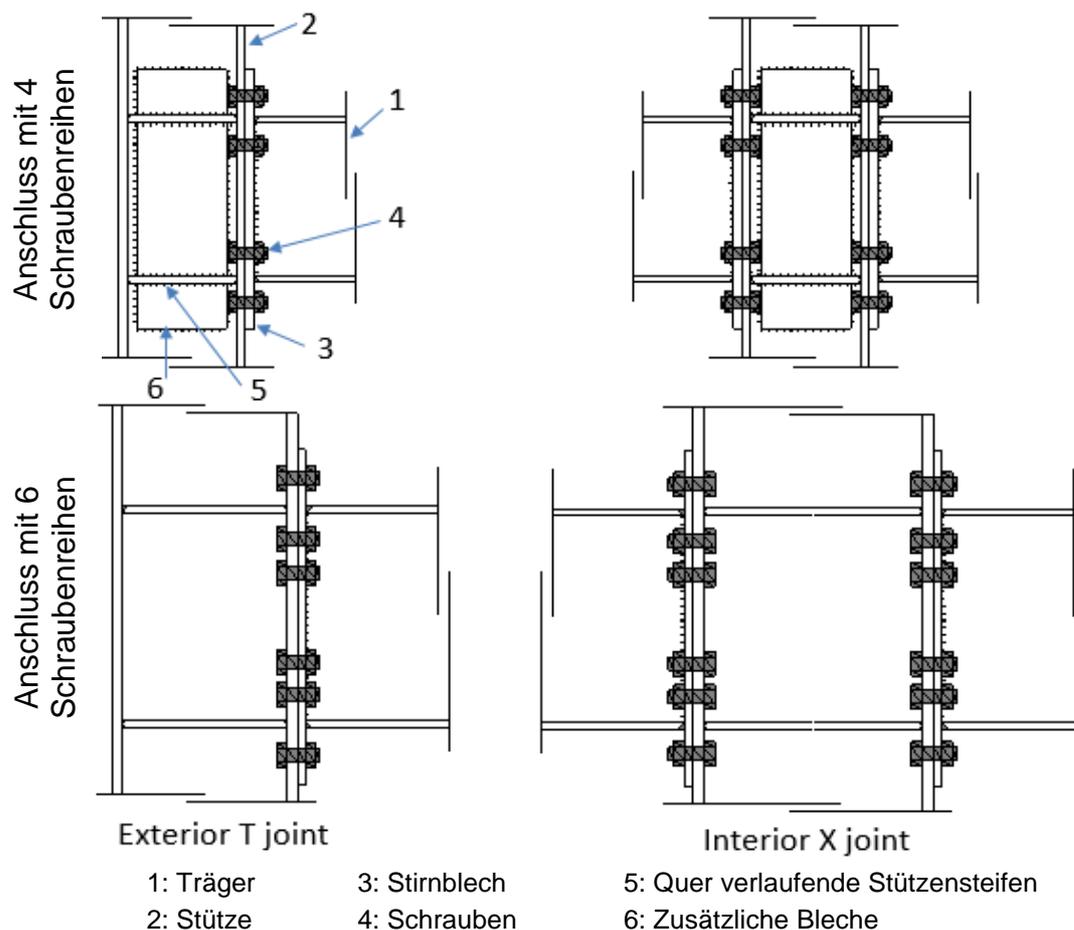


Abbildung 3-10: Beschreibung der nicht ausgesteiften Anschlüsse mit überstehenden Stirnblechen

3.5.2. Liste der Systeme für die die Verbindung präqualifiziert ist

Nicht ausgesteifte Schraubverbindungen mit überstehenden Stirnblechen, die in diesem Dokument präqualifiziert wurden, können für die folgenden strukturellen Systeme verwendet werden:

- Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und zentrischen Verbänden (engl: *Dual Concentrically Braced Frames*, z.B. MRF+ CBFs);
- Dualsysteme aus biegesteifen Rahmen und exzentrischen Verbänden (z.B. MRF+ EBFs).

Darüber hinaus sollten diese Verbindungen nur in Rahmen mit senkrechter Träger-Stützen-Achse und regelmäßiger Spannweitenauslegung des seismischen Widerstandssystems verwendet werden, und zwar ohne geneigte Träger.

3.5.3. Liste der Grenzwerte der präqualifizierte Daten

Tabelle 3-6 fasst die Grenzwerte für die präqualifizierte Daten zusammen. Diese Tabelle wird bis zum Ende des Projektes vervollständigt werden.

Tabelle 3-6: Grenzwerte der präqualifizierte Daten

Elemente	Parameter	Anwendungsbereich
<i>Träger</i>	Tiefe	Maximum = 600mm
	Verhältnis Spannweite zu Tiefe	Maximum = 23, Minimum = 10
	Flanschdicke	Maximum = 19mm
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Stütze</i>	Tiefe	Maximum = 550mm
	Flanschdicke	Maximum = 31mm
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Träger/Stütze Tiefe</i>		
<i>Stirnblech</i>	Dicke	18-25mm
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>quer verlaufende Stützensteifen</i>	Dicke	Gleich oder größer als die Dicke der angeschlossenen Trägerflansche
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Zusätzliche Bleche</i>	Dicke	Tabelle 3-7
	Werkstoff	Von S235 bis S355
<i>Schrauben</i>		HV oder HR
	Größe	Tabelle 3-7
	Klasse	10.9
	Anzahl Schraubenreihen	Tabelle 3-7
	Unterlegscheiben Löcher	
<i>Schweißnähte</i>	Stirnblech zu Trägerflansch	Verstärkte durchgeschweißte Stumpfnähte (Abbildung 3-9)
	Durchgangsplatte zu Stützenflansch	Durchgeschweißte Stumpfnähte (Abbildung 3-9)

Zusätzliche Platten zu Stützenflansch	Durchgeschweißte Stumpfnähte (Erre. L'origine riferimento non è stata trovata.)
Andere Schweißnähte	Kehlnähte: Nahtdicke größer als das 0,55 fache der Dicke der verbundenen Bleche.

3.5.4. Entwurfsverfahren

Neben der Auswahl von Anschlussgeometrien und Werkstoffen werden die drei wesentlichen Konstruktionsschritte des Bauteilverfahrens sukzessive angegangen:

- Komponentencharakterisierung
- Montagevorgang
- Anschlussklassifikation und Entwurfsprüfung

3.5.4.1. Allgemeines Vorgehen

Schritt 1: Erstauswahl der Anschlussgeometrien und Werkstoffe

- Schraubenfestigkeitsklasse, Schraubengröße und Anzahl Schraubenreihen
- Dicke und Abmessungen des Stirnbleches
- Dicke und Abmessungen der Stützensteifen
- Dicke und Abmessungen der zusätzlichen Bleche (wenn vorhanden)
- Schweißnahtspezifikation

Schritt 2: Komponentencharakterisierung

- Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Biegebeanspruchung)
- Komponentensteifigkeit (Anschluss mit Biegebeanspruchung)
- Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Schubbeanspruchung)

Schritt 3: Montagevorgang

- Anschlussstragfähigkeit bei Biegebeanspruchung
- Anschlusssteifigkeit bei Biegebeanspruchung
- Verbindungstragfähigkeit bei Schubbeanspruchung
- Duktilitätsklasse der Verbindung

Schritt 4: Anschlussklassifikation und Entwurfsprüfung

- Tragfähigkeit bei Biegebeanspruchung
- Steifigkeit bei Biegebeanspruchung
- Tragfähigkeit bei Schubbeanspruchung
- Duktilität
- Überprüfung

3.5.4.2. Erstauswahl der Anschlussgeometrien und Werkstoffe

Die Empfehlungen in Tabelle 3-7 können als „gute Schätzung“ für die Festlegung der Verbindungsgeometrien und Werkstoffe verwendet werden.

Tabelle 3-7: Erstauswahl der Anschlussgeometrien und Werkstoffe

Verbindungselemente	Trägergrößen		
	Klein (\approx IPE360)	Mittel (\approx IPE450)	Groß (\approx IPE600)
Schraubenfestigkeitsklasse	HV 10.9		
Schraubengröße	M27	M30	M36
Anzahl Schraubenreihen	4	4	6
Stirnblech	<p><i>Dicke:</i> $t_{ep}=(1/2\div 2/3)d_b$ für teiltragfähige Anschlüsse; $t_{ep}=(2/3\div 5/6)d_b$ für gleichtragfähige Anschlüsse; aber sollte kleiner sein als die Dicke des Stützenflansches.</p> <p><i>Abmessungen:</i> Die Breite sollte der des Stützenflansches entsprechen. Der überstehende Teil sollte groß genug sein, eine Schraubenreihe, unter Beachtung der Regeln in EC3-1-8 (§3.5), platzieren zu können.</p>		
Zusätzliche Platten	Bei HEB Stützen und IPE Trägern sollten die zusätzlichen Platten nur dann berücksichtigt werden, wenn ein starkes Stegblech erforderlich ist. Die Dicke und die Dimensionen der zusätzlichen Platten sind zu beachten, weshalb die Regeln in EC3-1.8 (§ 6.2.6.1) einzuhalten sind.		
Stützensteifen	Tabelle 3-6		
Schweißnahtdetails			
Anmerkung: t_{ep} ist die Dicke des Stirnblechs und d_b ist der Nenndurchmesser der Schraube.			

3.5.4.3. Montageverfahren und Überprüfung des Entwurfs

Klassifikationstyp	Kriterium	Quelle												
Tragfähigkeit bei Biegebeanspruchung	<p>$M_{con,Rd} < M_{con,Ed}$: teiltragfähige Verbindung</p> <p>$M_{con,Rd} \approx M_{con,Ed}$: gleichtragfähige Verbindung</p> <p>$M_{con,Rd} > M_{con,Ed}$: volltragfähige Verbindung</p> <p>$V_{wp,Rd} < \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: überfestes Stegblech</p> <p>$V_{wp,Rd} \approx \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: volltragfähiges Stegblech</p> <p>$V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: überfestes Stegblech</p> <p>mit:</p> <p>$F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ ($i = 1$ to 5 für Anschlüsse mit 6 Schraubenreihen und $i = 1$ bis 3 für Anschlüsse mit 4 Schraubenreihen), ist die Querschubkraft in der Verbindung infolge der Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung.</p> <p>$F_{fbc,Rd}$ ist die Tragfähigkeit des Trägerflansches und des Steges bei Druckbeanspruchung</p>	Equaljoints												
Steifigkeitsklassifikation	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><i>Klassifikation</i></td> <td style="width: 30%;">ausgesteifte Rahmen</td> <td style="width: 30%;">nicht ausgesteifte Rahmen</td> </tr> <tr> <td>nachgiebig</td> <td style="text-align: center;">$0.5 \leq k_b < 8$</td> <td style="text-align: center;">$0.5 \leq k_b < 25$</td> </tr> <tr> <td>biegesteif</td> <td style="text-align: center;">$k_b \geq 8$</td> <td style="text-align: center;">$k_b \geq 25$</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">$k_b = S_j / (EI_b / L_b)$</td> </tr> </table>	<i>Klassifikation</i>	ausgesteifte Rahmen	nicht ausgesteifte Rahmen	nachgiebig	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$	biegesteif	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$	$k_b = S_j / (EI_b / L_b)$			EC3-1-8 5.2.2
<i>Klassifikation</i>	ausgesteifte Rahmen	nicht ausgesteifte Rahmen												
nachgiebig	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$												
biegesteif	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$												
$k_b = S_j / (EI_b / L_b)$														

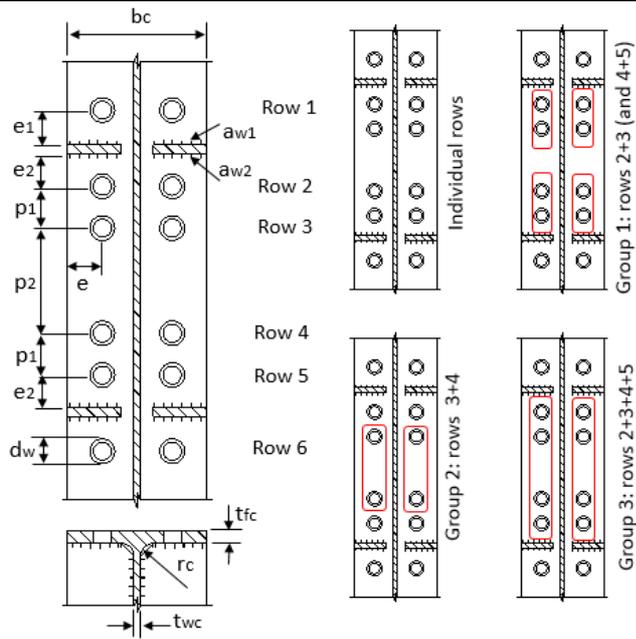
Tragfähigkeit bei Schubbeanspruchung	$V_{con,Rd} < V_{b,Rd}$: teiltragfähig bei Schubbeanspruchung $V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$: gleichtragfähig bei Schubbeanspruchung $V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$: volltragfähig bei Schubbeanspruchung	
Duktilitätsklassifikation	$\beta_{max} \leq 1.0$: Duktilitätsklasse 1 $\beta_{max} > 1.0$ and $\eta_{max} \leq 0.95$: Duktilitätsklasse 2 mit: $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$	Equaljoints

3.5.4.4. Komponentencharakterisierung

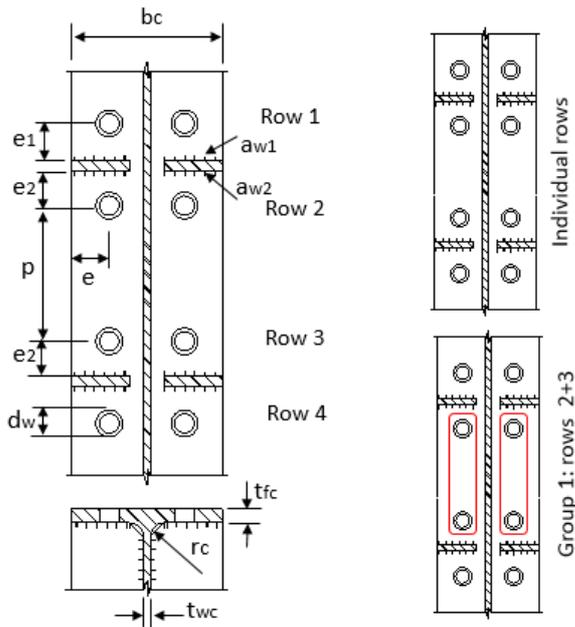
Komponententragfähigkeit (bei Biegebeanspruchung)

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung	$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} + \frac{4 (0.25 t_s^2 f_{y,s}) (b_c - t_{wc} - 2r_c)}{d_s}$ <ul style="list-style-type: none"> Stützenstegblech mit Schubbeanspruchung mit Quersteifen und ohne zusätzliche Bleche: $A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc}$ Stützenstegblech mit Schubbeanspruchung mit Quersteifen und ohne zusätzliche Bleche: $A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc} + t_{wc} b_s$ 	EC3-1-8 6.2.6.1
Trägerquerschnitt mit Biegebeanspruchung	$M_{b,Rd} = W_{b,p} f_{y,b}$ <ul style="list-style-type: none"> $W_{b,p}$ ist das plastische Widerstandsmoment des Trägerabschnitts bei Biegebeanspruchung $f_{y,b}$ ist die Streckgrenze des Trägermaterials 	

Stützenflansch mit Biegebeanspruchung



Fall mit 6 Schraubenreihen



Fall mit 4 Schraubenreihen

Für jede Schraubenreihe oder jede Gruppe von Schraubenreihen, wird die Tragfähigkeit mit der folgenden Formel ermittelt:

$$F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}]$$

mit:

- $$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$$
- $$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{T,1,Rd}}{m+n}$$

wobei:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$$

EC3-1-8
6.2.6.4

	<p> $m = 0.5(b_c - 2e - t_{wc} - 1.6r_c)$ $n = \min[e, 1.25m]$, bei kreisförmigem Muster kann $n=\infty$ benutzt werden. $e_w = 0.25d_w$ (mit d_w als dem Durchmesser der Unterlegscheiben) </p> <p>Effektive Längen</p> <p>❖ Verbindung mit 6 Schraubenreihen</p> <p><u>Schraubenreihe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><u>Schraubenreihe 2 (or Reihe 5):</u></p> <p><u>Einzelne Reihe:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><u>Erste Reihe der Gruppe 1 oder Gruppe 3</u></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 0.5 p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,2} = 0.5 p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <p><u>Schraubenreihe 3 (oder Reihe 4):</u></p> <p><u>Einzelne:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, 4m + 1, 25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1, 25e$ <p><u>Letzte Reihe der Gruppe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 2m + 0.625e + 0.5 p_1]$ $l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5 p_1$ <p><u>Eine Reihe der Gruppe 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, 0.5 p_2 + 0.5 \alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5 p_2 + 0.5 \alpha m$ <p><u>mittlere Reihe der Gruppe 3:</u></p> $l_{eff,1} = p_1 + p_2$ $l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)$ <p>α ist in Bild 6.11 in EC3-1-8 gegeben, abhängig von:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>mit</p> $m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ für Schraubenreihe 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ für Schraubenreihe 2 oder 5}$ <p>❖ Verbindung mit 4 Schraubenreihen</p> <p><u>Schraubenreihe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><u>Schraubenreihe 2:</u></p> <p><u>Einzelne:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><u>Eine Reihe der Gruppe 2+3</u></p>	
--	--	--

	$l_{eff,1} = \min[\pi m + p, \quad 0.5p + 0.5\alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5p + 0.5\alpha m$ <p>Schraubenreihe 3: analog zu Schraubenreihe 2 α ist in Bild 6.11 in EC3-1-8 gegeben, abhängig von:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>mit:</p> $m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ für Schraubenreihe 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ für Schraubenreihe 2 oder 3}$	
Stirnblech mit Biegebeanspruchung	<div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">Fall mit 6 Schraubenreihen</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;">Fall mit 4 Schraubenreihen</p> </div> <p>Für jede Schraubenreihe oder Gruppe von Schraubenreihen, wird die Tragfähigkeit mit der folgenden Formel ermittelt:</p> $F_{pb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}] \text{ mit}$ <ul style="list-style-type: none"> • $F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$ 	EC3-1-8 6.2.6.5

$$\bullet \quad F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$$

Wobei: $M_{pl,1,Rd} = 0,25\Sigma \ell_{eff,1} t_{ep}^2 f_{y,ep} / \gamma_{M0}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25\Sigma \ell_{eff,2} t_{ep}^2 f_{y,ep} / \gamma_{M0}$$

$$\begin{cases} m = 0.5(b_{ep} - 2e - t_{bw} - 1.6a_w \sqrt{2}) \\ n = \min[e, 1.25m] \end{cases} \quad \text{für Schraubenreihen in den}$$

Trägerflanschen

$$\begin{cases} m = e_1 - 0.8a_{w1} \sqrt{2} \\ n = \min[e_x, 1.25m] \end{cases} \quad \text{für Schraubenreihen außerhalb der}$$

Trägerflansche

(bei kreisförmigem Muster kann $n=\infty$ benutzt werden).

$$e_w = 0.25d_w$$

Effektive Längen

❖ *Verbindung mit 6 Schraubenreihen*

Schraubenreihe 1:

$$l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e \\ 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \end{cases}$$

$$l_{eff,2} = \min[4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x]$$

Schraubenreihe 2 (oder Reihe 5):

Einzelne Reihe:

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$$

$$l_{eff,2} = \alpha m$$

Erste Reihe der Gruppe 1 (Reihen 2+3 oder 4+5)

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 0.5p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)]$$

$$l_{eff,2} = 0.5p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)$$

Schraubenreihe 3 (oder Reihe 4):

Einzelne Reihe:

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, 4m + 1.25e]$$

$$l_{eff,2} = 4m + 1.25e$$

Letzte Reihe der Gruppe 1 (Reihen 2+3 oder 4+5):

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 2m + 0.625e + 0.5p_1]$$

$$l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_1$$

Erste Reihe (oder letzte Reihe) der Gruppe 2 (Reihen 3+4):

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, 2m + 0.625e + 0.5p_2]$$

$$l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_2$$

Mittlere Reihe der Gruppe 3 (Reihen 2+3+4+5):

$$l_{eff,1} = p_1 + p_2$$

$$l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)$$

α ist in Bild 6.11 in EC3-1-8 gegeben, abhängig von:

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$

mit:

$$m_2 = e_1 - 0.8a_{w1} \sqrt{2} \quad \text{für Schraubenreihe 1}$$

	<p>$m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2}$ für Schraubenreihe 2 oder 5</p> <p>❖ <i>Verbindung mit 4 Schraubenreihen</i></p> <p><u>Schraubenreihe 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e \\ 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \end{array} \right.$ $l_{eff,2} = \min[4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x]$ <p><u>Schraubenreihe 2:</u></p> <p><i>Einzelne Reihe:</i></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><i>Eine Reihe der Gruppe 2+3</i></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p, 0.5p + 0.5\alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5p + 0.5\alpha m$ <p><u>Schraubenreihe 3: analog zu Schraubenreihe 2:</u></p> <p>α ist in Bild 6.11 in EC3-1-8 gegeben, abhängig von:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>$m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2}$ für Schraubenreihe 1</p> <p>$m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2}$ für Schraubenreihe 2 oder 3</p>	
<p>Trägerflansch und Steg mit Druckbeanspruchung</p>	<p>$F_{fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb})$</p> <p>wobei:</p> <ul style="list-style-type: none"> • h die Tiefe des angeschlossenen Trägers ist; • $M_{c,Rd}$ die Momenten Tragfähigkeit des Trägerquerschnitts ist, bei Bedarf reduziert um Schub zuzulassen, siehe EN 1993-1-1 • t_{fb} die Flanschdicke des angeschlossenen Trägers ist. 	<p>EC3-1-8 6.2.6.7</p>
<p>Stützensteg und Durchgangsplatten mit Druckbeanspruchung</p>	<p>Die Tragfähigkeit des Stützenstegs und der Durchgangsplatten darf berechnet werden mit:</p> $F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ <p>wobei:</p> $b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$ <p>A_{cp} ist die Fläche der Stützensteifen (beide Seiten);</p> <p>Der Reduktionsfaktor k_{wc} zur Berücksichtigung der Axialspannung im Stützensteg, ist gegeben in 6.2.6.2(2) von EC3-1-8;</p> <p>Der Reduktionsfaktor ω ist gegeben in Tabelle 6.3 in EC3-1-8;</p> <p>Anmerkung: Eine Abminderung infolge Beulen des Stützensteges und der Stützensteifen bei Querdruckbeanspruchung wird vernachlässigt. Die Geometrien (Die Schlankheit) der Durchgangsplatten, die zur Erfüllung der Bedingungen erforderlich sind, werden in Tabelle 4.3.1 gezeigt.</p>	<p>EC3-1-8 6.2.6.2</p>
<p>Trägersteg mit Zugbeanspruchung</p>	<p>$F_{wbt,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$</p> <p>Die effektive Breite $b_{eff,t,wb}$ des Trägersteges mit Zugbeanspruchung sollte gleich der effektiven Länge des äquivalenten T-Stummels, welcher das Stirnblech mit Biegebeanspruchung für eine einzelne</p>	<p>EC3-1-8 6.2.6.8</p>

	Schraubenreihe oder eine Schraubengruppe widerspiegelt, angenommen werden.	
Stützensteg mit Querszugbeanspruchung	$F_{wct,Rd} = \frac{\omega b_{eff,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ <p>Die effektive Breite $b_{eff,t,wc}$ des Trägersteges mit Zugbeanspruchung sollte gleich der effektiven Länge des äquivalenten T-Stummels, welcher das Stirnblech mit Biegebeanspruchung für eine einzelne Schraubenreihe oder eine Schraubengruppe widerspiegelt, angenommen werden. Der Reduktionsfaktor ω ist in Tabelle 6.3 in EC3-1-8 angegeben.</p>	EC3-1-8 6.2.6.3
Schrauben mit Zugbeanspruchung	<p>Die Tragfähigkeit einer Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Zugbeanspruchung ist gegeben durch:</p> $F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>wobei:</p> <ul style="list-style-type: none"> • f_{ub} die Schraubenzugfestigkeit ist; • A_s Spannungsquerschnittsfläche der Schraube ist. 	EC3-1-8 3.6.1

3.5.4.5. Komponentensteifigkeit (Anschluss mit Biegebeanspruchung)

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung	$k_1 = \frac{0.38A_{vc}}{\beta z}$ <p>Der Transformationsparameter β ist in Tabelle 5.4 des EC3-1-8 angegeben. Der Hebelarm, z, der Verbindung ist in EC-1-8, 6.3.3.1 angegeben.</p>	EC3-1-8 6.3.2
Stützenflansch mit Biegebeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung:</p> $k_4 = \frac{0.9b_{eff,cf} t_{fc}^3}{m^3}$ <p>Die effektive Breite b_{eff} ist die kleinste effektive Länge der Schraubenreihe (einzeln oder als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen).</p>	EC3-1-8 6.3.2
Stirnblech mit Biegebeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung:</p> $k_5 = \frac{0.9b_{eff,ep} t_{ep}^3}{m^3}$ <p>Die effektive Breite b_{eff} ist die kleinste effektive Länge der Schraubenreihe (einzeln oder als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen).</p>	EC3-1-8 6.3.2
Stützensteg mit Querzugbeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung:</p> $k_3 = \frac{0.7b_{eff,wc} t_{wc}}{d_c}$ <p>Die effektive Breite b_{eff} ist die kleinste effektive Länge der Schraubenreihe (einzeln oder als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen) der Komponente Stützenflansch mit Biegebeanspruchung.</p>	EC3-1-8 6.3.2
Schrauben mit Zugbeanspruchung	<p>Für eine einfache Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung:</p> $k_{10} = 1.6A_s / L_b$	EC3-1-8 6.3.2

3.5.4.6. Komponententragfähigkeit (Anschluss mit Schubbeanspruchung)

Komponente	Detaillierte Regeln	Quelle
Trägersteg mit Schubbeanspruchung	$V_{b,RD} = \chi_w A_{vb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ <p>wobei:</p> $A_{vb} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ if } \bar{\lambda}_w \geq 0.83;$ $\chi_w = 1.0 \text{ if } \bar{\lambda}_w < 0.83$ <p>mit $\bar{\lambda}_w = 0.3467(h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}$</p>	EC3-1-5 5.3

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Stützenflansch mit Lochleibungsbeanspruchung</p>	<p>Für eine einfache Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Schubbeanspruchung:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>wobei:</p> $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$ <p>α_b abhängig von der Richtung der Schubkraft und der Position der Schraubenreihe:</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 5 und 6 (oder^(*) Reihen 1, 3 und 4):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihen 2 und 4 (oder^(*) Reihe 2):</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ <p>^(*): verwendet für einen Anschluss mit 4 Schraubenreihen (p_1 sollte durch p ersetzt werden)</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 2 und 6 (oder^(*) Reihen 1, 2 und 4)</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihen 3 und 5 (oder^(*) Reihe 3)</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 4:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ </td> </tr> </table>	<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 5 und 6 (oder^(*) Reihen 1, 3 und 4):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihen 2 und 4 (oder^(*) Reihe 2):</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ <p>^(*): verwendet für einen Anschluss mit 4 Schraubenreihen (p_1 sollte durch p ersetzt werden)</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 2 und 6 (oder^(*) Reihen 1, 2 und 4)</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihen 3 und 5 (oder^(*) Reihe 3)</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 4:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$	<p>EC3-1-8 3.6.1</p>
<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 5 und 6 (oder^(*) Reihen 1, 3 und 4):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihen 2 und 4 (oder^(*) Reihe 2):</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ <p>^(*): verwendet für einen Anschluss mit 4 Schraubenreihen (p_1 sollte durch p ersetzt werden)</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft</i> Schraubenreihen 1, 2 und 6 (oder^(*) Reihen 1, 2 und 4)</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihen 3 und 5 (oder^(*) Reihe 3)</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 4:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$			
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Stirnblech mit Lochleibungsbeanspruchung</p>	<p>Für eine einfache Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Schubbeanspruchung:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$ <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft:</i> Schraubenreihen 2 und 6 (oder^(*) Reihen 2 und 4):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihe 1 (oder^(*) Reihe 1):</p> $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ <p>Schraubenreihen 3 und 5 (oder^(*) Reihe 3):</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 4:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ <p>^(*): verwendet für einen Anschluss mit 4 Schraubenreihen (p_1 sollte durch p ersetzt werden)</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft:</i> Schraubenreihen 1 und 5 (oder^(*) Reihen 1 und 3):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihe 6 (oder^(*) Reihe 4):</p> $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ <p>Schraubenreihen 2 und 4 (oder^(*) Reihe 2)</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ </td> </tr> </table>	<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft:</i> Schraubenreihen 2 und 6 (oder^(*) Reihen 2 und 4):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihe 1 (oder^(*) Reihe 1):</p> $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ <p>Schraubenreihen 3 und 5 (oder^(*) Reihe 3):</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 4:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ <p>^(*): verwendet für einen Anschluss mit 4 Schraubenreihen (p_1 sollte durch p ersetzt werden)</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft:</i> Schraubenreihen 1 und 5 (oder^(*) Reihen 1 und 3):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihe 6 (oder^(*) Reihe 4):</p> $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ <p>Schraubenreihen 2 und 4 (oder^(*) Reihe 2)</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$	<p>EC3-1-8 3.6.1</p>
<p><i>Abwärts gerichtete Schubkraft:</i> Schraubenreihen 2 und 6 (oder^(*) Reihen 2 und 4):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihe 1 (oder^(*) Reihe 1):</p> $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ <p>Schraubenreihen 3 und 5 (oder^(*) Reihe 3):</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 4:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$ <p>^(*): verwendet für einen Anschluss mit 4 Schraubenreihen (p_1 sollte durch p ersetzt werden)</p>	<p><i>Aufwärts gerichtete Schubkraft:</i> Schraubenreihen 1 und 5 (oder^(*) Reihen 1 und 3):</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Schraubenreihe 6 (oder^(*) Reihe 4):</p> $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ <p>Schraubenreihen 2 und 4 (oder^(*) Reihe 2)</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$ <p>Schraubenreihe 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$			
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Schrauben mit Abscherbeanspruchung</p>	<p>Für eine einfache Schraubenreihe (zwei Schrauben) mit Schubbeanspruchung:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>$\alpha_v = 0.6$ für 8.8 Schrauben und $\alpha_v = 0.5$ für 10.9 Schrauben.</p>	<p>EC3-1-8 3.6.1</p>		

3.6. Dog-Bone Anschlüsse

Die Dog-Bone oder RBS (reduced beam section) Anschlüsse wurden im Rahmen des Projektes EqualJoints als Teil der Untersuchung zur Verwendung europäischer Stähle für große Träger-Stützen-Baugruppen untersucht, da diese Art der dissipativen Verbindung im US-Bauwesen verwendet wird. Dementsprechend stellen sie einen Sonderfall dar, der nicht in direktem Zusammenhang mit den anderen oben genannten Anschlusskonfigurationen steht (d.h. gevoutet, ausgesteift mit überstehenden Stirnblechen und nicht ausgesteift mit überstehenden Stirnblechen). Der Entwurf folgt daher in diesem Fall hauptsächlich den AISC-Bestimmungen (siehe typische Konfiguration in Abbildung 3-11), obwohl einige Aspekte, wie z.B. die des Designs des Stegblechs, direkt durch Empfehlungen ersetzt werden können, die oben für volltragfähige Anschlüsse in anderen vorherigen Konfigurationen für den Entwurf in der europäischen Praxis gemacht wurden.

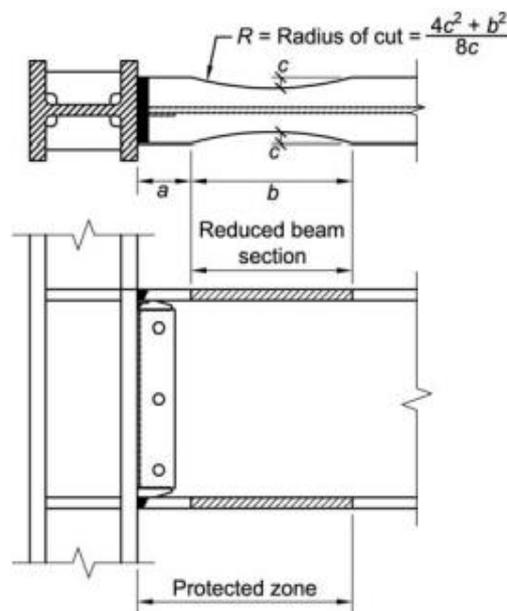


Abbildung 3-11: Konfiguration und Dimensionen der *Reduced Beam Section* Verbindungen (ANSI/AISC 358)

Auf dieser Basis sind die Anforderungen von AISC 341 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings), AISC 358-16 (Prequalified Connections for Seismic Applications) und AISC 360 (Specification for Structural Steel Buildings) zu erfüllen. Basierend auf dem Obengenannten folgt der Entwurf dem folgenden Verfahren:

1. Prüfen des lokalen Beulens des Trägers unter Erdbebenbeanspruchung
$$b_{bf}/(2t_b) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{(E/f_y)}$$
2. Prüfen lokalen Beulens der Stütze unter Erdbebenbeanspruchung
$$b_{cf}/(2t_c) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{(E/f_y)}$$
3. Prüfen der Grenzwerte für Träger von AISC 358 Sect 5.3.1

Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass auf der Grundlage der im Projekt EqualJoints durchgeführten Tests die Trägergrößen von der Tiefe W36 auf W44 erweitert werden können, welche ein angemessenes Verhalten unter den Präqualifikationsanforderungen gezeigt haben.

4. Prüfen der Grenzwerte für Träger von AISC 358 Sect 5.3.2

Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass auf der Grundlage der im Projekt EqualJoints durchgeführten Tests die Trägergrößen von der Tiefe W36 auf W40 erweitert werden können, welche ein angemessenes Verhalten unter den Präqualifikationsanforderungen gezeigt haben.

5. Ermittlung des plastischen Widerstandsmoments in der Mitte der RBS (AISC 358 Sect 5.8, Step 2)

$$Z_{RBS} = Z_x - 2 c t_{fb} (h_b - t_{fb})$$

mit:

Z_{RBS} plastisches Widerstandsmoment in der Mitte der RBS

$Z_{pl,x}$ plastisches Widerstandsmoment in x-Richtung für den vollen Trägerquerschnitt

t_{fb} Dicke des Trägerflansches

h_b Tiefe des Trägers

c Tiefe des Einschnitts in der Mitte der RBS

6. Bestimmung des mutmaßlichen maximalen Momentes in der RBS (AISC 358 Sect 5.8 Step 3)

$$M_{pr} = M_{RBS} = C_{pr} R_y f_y Z_e$$

mit:

C_{pr} ist ein Faktor zur Berücksichtigung der Spitzentragfähigkeit der Verbindung, inklusive Kaltverfestigung, lokalem Zwang, zusätzlicher Verstärkung und anderen Verbindungsbedingungen, berechnet durch:

$$C_{pr} = \frac{f_y + f_u}{2f_y} \leq 1.2$$

R_y Verhältnis der erwarteten Streckgrenze zur angegebenen Mindeststreckgrenze, f_y

7. Berechnen der Schubkraft in der Mitte der RBS (AISC 358 Sect 5.8 Step 4)

$$V_p = V_{RBS} = 2 M_{pr} / L_h + V_g$$

8. Berechnen der zugehörigen Schubkraft in der Stütze

$$V_c = N_b V_e L_b / (N_c h_c)$$

9. Berechnen des mutmaßlichen maximalen Momentes an der Fläche der Stütze (AISC 358 Sect 5.8 Step 5)

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h + M_g$$

mit:

$$M_g = \frac{1}{2} W_{ub} S_h^2$$

10. Berechnen des voraussichtlichen plastischen Momentes des Trägers (AISC 358 Sect 5.8 Step 6)

$$M_{pe} = R_y f_y Z_{bx}$$

11. Überprüfen, ob die Biegefestigkeit $\Phi_d M_{pe}$ nicht übersteigt (AISC 358 Sect 5.8 Step 7)

$$M_f < \Phi_d M_{pe}$$

12. Berechnen und Überprüfen der in der Stütze resultierenden Kraft

$$\begin{aligned} P_b &\leq \Phi f_y w_{tw} (5k + l_b) \\ &\leq \Phi 0.8 t_w^2 [1 + 3 (l_b / d) (t_w / t_f)^{1.5}] (E f_{yw} t_f / t_w)^{1/2} \\ &\leq \Phi 6.25 f_{yf} t_f^2 \end{aligned}$$

mit:

$$P_b = M_f b_{fb} t_{fb} / Z_x$$

13. Überprüfen des Verhältnisses von Stützen- zu Trägermoment (AISC 341 Sect. 9.6)

$$\Sigma M_{pc}^* / \Sigma M_{pb}^* > 1.0$$

mit:

ΣM_{pc}^* ist die Summe der Momente in der Stütze über und unter dem Anschluss am Schnittpunkt von Träger- und Stützenmittellinien

$$= \Sigma [Z_c (f_{yc} - P_{uc} / A_g) + V_c d_b / 2]$$

ΣM_{pb}^* ist die Summe der Momente im Träger am Schnittpunkt der Träger- und Stützenmittellinien

$$= N_b M_{RBS} + \Sigma M_v$$

ΣM_v ist das zusätzliche Moment infolge der Schubkraftherhöhung durch die Lage des plastischen Gelenkes zur Stützenmittellinie

$$= (V_{RBS} + V_{RBS}) (a + b / 2 + d_c / 2)$$

14. Überprüfen der Schubtragfähigkeit des Stützenschubfeldes (AISC 341 Sect 9.3)

$$0.75 P_c > P_r$$

$$\varphi_v R_n > \Sigma M_f / (d_b - t_{fb}) - V_c$$

15. Berechnen der erforderlichen Dicke des Doppelblechs

$$R_u \leq \varphi R_{ncol} + \varphi R_{ndp}$$

$$t_{dp} \geq (R_u - \varphi R_{ncol}) / (0.6 f_y d_c)$$

16. Überprüfen der erforderlichen Dicke des Stützensteges und des Doppelblechs (wenn vorhanden)

$$t \geq (d_z + w_z) / 90$$

17. Überprüfen, ob quer verlaufende Stützensteifen erforderlich sind (AISC 358 Step 10)

$$t_{fc} \geq 0.4 [1.8 b_b f_t b_f (F_{yb} R_{yb}) / (F_{yc} R_{yc})] 0.5$$

$$t_{fc} \geq b_{fb} / 6 \text{ oder } 12$$

18. Berechnen der erforderlichen Dicke der quer verlaufende Stützensteifen

Überprüfung 1: $t_s \geq 0.5 t_{bf}$

$$\begin{array}{l} \text{Überprüfung 2:} \\ f_s \end{array} \quad \begin{array}{l} P_b \leq \varphi R_{ncol} + \varphi R_{ncp} \\ \geq (P_b - \varphi R_{ncol}) / (0.9 f_y b_{bf}) \end{array}$$

Wie oben erwähnt, folgt der Entwurf den Anforderungen von AISC 341 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings), AISC 358-16 (Prequalified Connections for Seismic Applications) und AISC 360 (Specification for Structural Steel Buildings). Dies steht im Einklang mit dem Zweck der im Rahmen des Projekts durchgeführten Tests, die nicht das europäische Design oder europäische Querschnitte untersuchten, sondern sich auf die Validierung der Verwendung großer europäischer Stähle konzentrierten, die nach US-amerikanischen Vorschriften entworfen und in die amerikanische Baupraxis übernommen wurden.

Literatur

American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 341-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010

American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 360-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010

American Society for Testing und Materials (ASTM) (2011). "Standard Practices for Cycle-Counting in Fatigue Analysis." ASTM Standard E1049-85, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

ANSI/AISC 358-10 (2010). *Prequalified Connections for Special und Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.

ANSI/ASIC 341-16 (2016): *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction

Arce G. *Impact of higher strength steels on local buckling und overstrength of links in eccentrically braced frames*. MS thesis, Univ.of Texas at Austin, Austin, Tex. (advisor: M.D. Engelhardt).

ASTM E606 / E606M-12 (2012) *Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

Bjorhovde R, Colson A. (1991) *Economy of semi-rigid frame design*, in *Connections in Steel Structures II: Behaviour, Strength and Design*, Bjorhovde, R., Haaijer, G., und Stark, J.W.B (eds.), American Institute of Steel Construction, 418–430.

Haaijer G, and Stark JWB (eds.), American Institute of Steel Construction, 418–430.

Brundoniso G, De Luca A., Mele E. (2012). *Shear strength of panel zone in beam-to-column connections*. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 129–142.

CEN (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints*. European Committee for Standardization (CEN), 2005.

CEN (2005). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment und retrofitting of buildings*. European Standard EN 1998-3:2005, Brussels.

D'Aniello M, Lundolfo R, Piluso V, Rizzano G. (2012). *Ultimate Behaviour of Steel Beams under Non-Uniform Bending*. *Journal of Constructional Steel Research*, 78, 144–158.

Güneyisi EM, D'Aniello M, Lundolfo R, Mermerdaş K. (2013). *A novel formulation of the flexural overstrength factor for steel beams*. *Journal of Constructional Steel Research*, 90, 60-71

Güneyisi EM, D'Aniello M, Lundolfo R, Mermerdaş K. (2014). *Prediction of the flexural overstrength factor for steel beams using artificial neural network*. *Steel und Composite Structures, An International Journal*, 17(3), 215-236.

Mazzolani FM, Piluso V. (1992). *Member behavioural classes of steel beams und beam-columns*. *Proc. of First State of the ArtWorkshop, COSTI, Strasbourg*, 517-29.

Tartaglia R, D'Aniello M, Rassati GA, Swanson JA, Lundolfo R. (2018). *Full strength extended stiffened end-plate joints: AISC vs recent European design criteria*. *Engineering Structures*, Volume 159, 15 March 2018, Pages 155–171