

ECCS

Equaljoint PLUS

Informatiebrochure met prenormatieve ontwerpaanbevelingen voor op aardbevingen gekwalficeerde staalverbindingen

1st versie, 2018

**Raffaele Landolfo
Mario D'Aniello
Roberto Tartaglia
Silvia Costanzo
Jean-François Demonceau
Jean-Pierre Jaspart
Aurel Stratan
Dominiq Jaka
Dan Dubina,
Ahmed Elghazouli
Dan Bompa**

Vertaling: Roland Abspoel



**Informatiebrochure met prenormatieve
ontwerpaanbevelingen voor op
aardbevingen gekwalificeerde
staalverbindingen
N°XXX, 1st edition, 2018**

Published by:

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

All rights reserved. No parts of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the copyright owner

ECCS assumes no liability regarding the use for any application of the material and information contained in this publication.

Copyright © 2008 ECCS – European Convention for Constructional Steelwork

ISBN: XX-XXXX-XXX-XX

Printed in

Phot cover credits

Inhoudsopgave

INLEIDING		
1.	TECHNISCHE EISEN	1
2.	KENMERKEN VAN GEPREKWALIFICEERDE KNOPEN	3
2.1	Algemene prestatiedoelen	3
2.2	Overige ontwerpaannames	8
2.3	Ligger-kolomverbindingen met een console	9
2.4	Verstijfde ligger-kolomverbindingen met een uitstekende kopplaat	19
2.5	Onverstijfde ligger-kolomverbindingen met een uitstekende kopplaat	33
2.6	Dog-bone verbindingen	46
LITERATUUR		50

1. INLEIDING

Het huidige document is ontwikkeld in het kader van het Europese RFCS-project Equaljoints PLUS (784048 – EQUALJOINT-PLUS-RFCS-2016/RFCS-2016).

Equaljoint-PLUS is een 24 maanden durend RFCS-project gewijd aan de verspreiding van de kennis die is verworven in het kader van het vorige RFCS 36 maanden durende project EQUALJOINTS. Binnen het vorige RFCS-project EQUALJOINTS (RFSR-CT-2013-00021), Europese seismische prekwalificatiecriteria voor een set stalen ligger-kolomverbindingen zijn ontwikkeld. Equaljoint-PLUS richt zich op de valorisatie, de verspreiding en de uitbreiding van de ontwikkeling van prekwalificatiecriteria voor praktische toepassingen aan een breed publiek (d.w.z. academische instellingen, ingenieurs en architecten, bouwkunde, bouwnijverheid ondernemingen, staalproductenten). De belangrijkste doelstellingen van Equaljoints PLUS kunnen als volgt worden samengevat:

- Het verzamelen en organiseren van informatiemateriaal over de voorgeselecteerde verbindingstypen: de informatieve documenten zijn opgesteld in 12 talen (Engels, Spaans, Frans, Duits, Engels, Frans, Italiaans, Nederlands, Portugees, Tsjechisch, Bulgaars, Roemeens, Grieks en Sloveens).
- Het ontwikkelen van prenormatieve ontwerpaanbevelingen van seismisch gekwalificeerde verbindingen op basis van de resultaten van het Equaljoints-project in 12 talen.
- Het ontwikkelen van ontwerprichtlijnen voor het ontwerpen van staalconstructies die rekening houden met het type verbinding en hun relevante niet-lineaire respons.
- Het ontwikkelen van een software en een app voor mobiel om de inelastische respons te voorspellen.
- Het organiseren van seminars en workshops voor het verspreiden van de opgedane kennis binnen de EU en daarbuiten.
- Het opzetten van een webpagina met vrije toegang voor de gebruikers om de verkregen resultaten te promoten.
- Het opzetten van een You-Tube-kanaal om de video's van de laboratoriumproeven en FEM-simulaties beschikbaar te stellen om de schade prolongatie te tonen.

Het Equaljoints PLUS-project wordt door de Universiteit van Napels Federico II gecoördineerd. Het Consortium bestaat uit 15 partners, waarvan er 7 reeds betrokken waren bij het eerdere Equaljoints-project. Alle betrokken partners zijn opgenomen in het volgende overzicht:

Coördinator	Università degli Studi di Napoli Federico II (UNINA)
Partners	Arcelormittal Belval & Differdange SA (AM)
	Universite de Liege (Ulg)
	Universitatea Politehnica Timisoara (UPT)
	Universidade de Coimbra (UC)
	Convention Européenne de la Construction Metallique (ECCS)
	Università degli Studi di Salerno (UNISA)
	Imperial College of Science Technology and Medicine (IC)
	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)

Universitet Po Arhitektura Stroitelstvo I Geodezija (UASG)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTHA)

In dit document wordt een samenvatting gegeven van ontwerpaanbevelingen voor drie soorten boutverbindingen die zijn geprekwalificeerd in het kader van het Equaljoints Project ((i) verbinding met console, (ii) verstijfde ligger-kolomverbinding met uitstekende kopplaat en (iii) onverstijfde ligger-kolomverbinding met uitstekende kopplaat) én van gelaste dog-bone verbindingen.

In detail wordt de volgende informatie verstrekt:

- technische eisen
- beschrijving van de verbindingsconfiguraties;
- lijst van constructiesystemen waarvoor de verbindingen geprekwalificeerd zijn;
- lijst van grenswaarden voor geprekwalificeerde gegevens
- ontwerpprocedure

2. Technische eisen

De bouw van een constructie bestaat uit verschillende fasen, die elk grondig moeten worden doordacht. Deze overwegingen zijn speciaal van belang voor constructies die gedurende hun levensduur op aardbeving worden belast. De verbindingen tussen de stalen elementen in dit soort constructies moeten zodanig worden ontworpen, gefabriceerd en gemonteerd dat bros bezwijken wordt voorkomen en een taai, ductiel, bezwijkmechanisme tot bezwijken leidt.

Ontwerpers moeten rekening houden met de gestelde eisen in de relevante normen. In Europa dient EN1998 te worden beschouwd voor het seismisch ontwerp van constructies, waarin gerefereerd wordt naar EN1993 voor het ontwerp van staalconstructies en EN1993-1-8 in het bijzonder voor het ontwerp van staalverbindingen.

EN1993-1-8 definieert alle parameters die relevant zijn voor het ontwerp van verbindingen met betrekking tot hun sterkte en stijfheid. De verbindingen kunnen worden gelast, gebout of combinaties van bouten en lassen mogen worden gebruikt.

Boutverbindingen moeten ontworpen zijn in overeenstemming met EN1993-1-8, deel 3. Tabel 3.1 van de norm definieert boutklassen en de daarbij behorende nominale vloe- en treksterkten. Tabel 3.3 van hetzelfde document geeft de minimale en maximale waarde voor de boutsteek, de eind- en randafstand om voldoende draagvermogen te garanderen. Verbindingen dienen ontworpen te zijn volgens de componentenmethode. Bij de berekening van de weerstand van elke component dient een taai bezwijkgedrag het maatgevend criterium te zijn (zoals stuiken van de bout of van het moedermateriaal).

De ontwerpcriteria voor gelaste verbindingen worden beschreven in EN1993-1-8, deel 4. In een seismisch ontwerp worden lassen meestal ontworpen op volledige sterkte om lasbreuk te voorkomen (bros bezwijkmechanisme).

Bij het specificeren van de materialen en de afmetingen, dient de ingenieur altijd rekening te houden met beschikbare, karakteristieke materiaaleigenschappen en nominale afmetingen. Bijvoorbeeld, om onnodige bewerkingen te vermijden dient de ontwerper niet te kiezen voor een plaatdikte van 11 mm, maar voor een dikte van 10 of 12 mm hetwelk door fabrikanten in de handel worden gebracht.

Materiaalhardheid en through thickness eigenschappen worden in EN1993-1-10 gegeven. EN-1993-1-10 bevat tevens ontwerprichtlijnen voor de keuze van de staalkwaliteit m.b.t. de breuktaaiheid en voor de through thickness -eigenschappen van gelaste elementen waarbij een aanzienlijk risico op lamellair tearing tijdens de fabricage bestaat voor volgens EN1090-2 uitgevoerde constructies.

De in deel 2 van EN 1993-1-10 gegeven richtlijnen dienen te worden gebruikt voor de selectie van de staalsoort voor nieuwbouw. De regels dienen te worden gebruikt om een geschikte staalsoort voor de in EN1993-1-1 vermelde staalproducten te kiezen.

De keuze van de staalkwaliteit dient te worden gemaakt aan de hand van tabel 3.1 van EN1993-1-10, afhankelijk van de consequenties m.b.t. lamellar tearing.

Afhankelijk van de gekozen staalkwaliteit uit tabel 3.1 moeten de dikte-eigenschappen van het staalmateriaal worden voorgeschreven overeenkomstig EN10164, of moet een inspectie ná de fabricage worden uitgevoerd om vast te stellen of lamellar tearing is opgetreden.

EN1011-2 geeft aanwijzingen ter voorkoming van lamellar tearing bij het lassen. Op grond van de bepalingen in het Voorwoord van EN1993-1-10 kan volgens een NAD een afwijkende materiaalkeuze worden gemaakt.

Ontwerpers en fabrikanten dienen nauw samen te werken om de nauwkeurigheid en duidelijkheid van de tekeningen te waarborgen. Het komt voor dat de ontwerper situaties niet onderkent waardoor het getekende niet daadwerkelijk kan worden uitgevoerd, bijvoorbeeld door gebrek aan voldoende lasruimte. Vaak zijn meerdere besprekingen nodig voordat beide partijen ervan overtuigd zijn dat de grafische weergave van het ontwerp juist is en gefabriceerd kan worden.

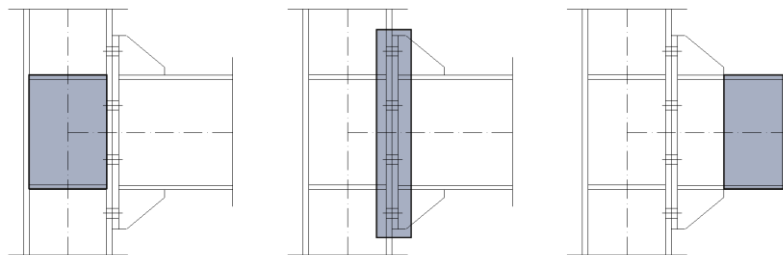
De fabricage van de elementen, met inbegrip van assemblage, transport en montage op de bouwplaats, moet zorgvuldig worden beheerd om de uiteindelijke kwaliteit van de constructie te waarborgen.

De bouwwerken moeten worden uitgevoerd volgens de geldende uitvoeringsnormen, waarin minimumkwaliteitseisen zijn vastgelegd, namelijk EN1090-2 in Europa en AISC 303-10 in de Verenigde Staten. Op basis van ervaring kunnen sommige fabrikanten ervoor kiezen om aan hogere eisen te voldoen om zo bekende, regelmatig voorkomende problemen tijdens montage op de bouwplaats te voorkomen.

3. Kenmerken van geprekwalificeerde knopen

3.1. Algemene prestatiedoelstellingen

Sterkte-eisen: Volgens EN1998 dient het seismisch ontwerp van staalconstructies gebaseerd te zijn op het concept van dissipatieve elementen, waarbij specifieke zones van de constructie plastisch kunnen vervormen en zo seismische energie kunnen dissiperen. Daartegenover staat dat de niet-dissipatieve elementen alleen elastisch mogen vervormen, zodat brosse breuk wordt voorkomen. De hiërarchie van weerstanden is een fundamenteel principe die dit concept toelaat door de niet-dissipatieve zones zo te dimensioneren dat deze de volledige plastische sterkte kan weerstaan van de dissipatieve elementen. De ontwerpeisen die gebruikt worden in het “Equaljoints Project” richten zich op het harmoniseren van de hiërarchie-eisen voor de macro-componenten (het afschuifpaneel, de ligger-kolomverbinding, de ligger en de kolom, zie Figuur 3.1), en ook de sub-componenten (kopplaat, bouten, lassen, etc.).



Figuur 3.1 Plastische zones voor de getoetste prestatiedoelstellingen: a) afschuifpaneel, b) verbinding en c) ligger.

Voor de verbinding kunnen de volgende ontwerpdoelstellingen worden overgenomen:

- Volledig sterk afschuifpaneel is dusdanig ontworpen dat vloeien in andere delen van de verbinding optreedt (ligger of verbinding).
- Gelijke sterkte afschuifpaneel is dusdanig ontworpen dat de sterkte min of meer gelijk is aan de sterkte van de ligger of de verbinding, of aan de sterkte van beide.
- Onvolledig sterk afschuifpaneel is dusdanig ontworpen dat plastische vervormingen exclusief door het afschuifpaneel ontstaan.

Er moet worden opgemerkt dat zowel in EN1993 als in EN1998 de verbinding met een afschuifpaneel met gelijke sterkte, zoals binnen het project wordt voorgesteld, niet is opgenomen. Volgens de huidige Eurocode valt een dergelijke verbinding in de categorie van onvolledig sterke verbindingen.

Het liggereind levert in het seismisch ontwerp voornamelijk de plastische vervormingen. Afhankelijk van de plek waar het plastische scharnier ontstaat, de mate van vervorming en de verwachte vloeisterkte bij het plastische scharnier,

dient het moment t.p.v. de voorzijde van de kolomflens als volgt te worden bepaald:

$$M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot s_h)$$

Verg. (3.1)

Met $M_{con,Ed}$ het moment t.p.v. de voorzijde van de kolomflens; α afhankelijk is van de rekenwaarde van het optredend moment. Deze is gelijk aan $\gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ voor volledig sterke verbindingen (zijnde γ_{ov} de oversterktefactor als gevolg van spreiding van de vloeisterkte van het materiaal en γ_{sh} de verstevigingsfactor, overeenkomend met de verhouding tussen de uiterste – en plastische momentweerstand), terwijl deze gelijk is aan 1 bij verbindingen met volledige sterkte en kleiner is dan 1 voor verbindingen met onvolledige sterkte. Om te voorkomen dat er grote schades t.p.v. het aangesloten gebied ontstaan, wordt de sterkteverhouding voor onvolledig sterke verbindingen gelijk gesteld aan 0.6 of 0.8. $M_{B,Rd}$ is de plastische momentweerstand van de ligger; s_h de afstand tussen de voorzijde van de kolomflens en het optredend plastisch scharnier in de verbonden ligger (de afstand tussen de voorzijde van de kolomflens en de tip van de verstijver voor een ligger-kolomverbinding met een console en verstijfde kopplaatverbindingen (zie), het is gelijk aan nul voor onverstijfde kopplaatverbindingen); $V_{B,Ed}$ de dwarskracht corresponderend aan het plastisch moment in de aangesloten ligger; gegeven door:

$$V_{B,Ed} = V_{B,Ed,M} + V_{B,Ed,G}$$

Verg. (3.2)

Met $V_{B,Ed,M}$ de dwarskracht overeenkomend met het bezwijkmechanisme, de formatie van plastische scharnieren in beide liggereinden, met een afstand L_h er tussen en bepaald met:

$$V_{B,Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{B,Rd}}{L_h}$$

Verg. (3.3)

$V_{B,Ed,G}$ de bijdrage door de permanente belastingen;

Opgemerkt moet worden dat in deze berekening geen rekening is gehouden met de afstand tussen de voorzijde van de kolomflens en de locatie van het plastische scharnier; L_h is de geschatte afstand tussen de plastische scharnieren.

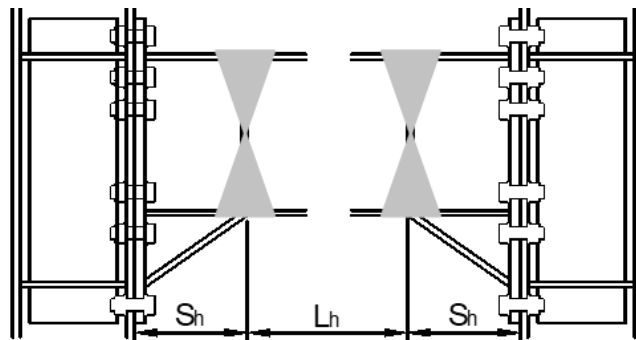
Beide oversterktefactoren beschouwend, is verder onderzoek noodzakelijk: γ_{ov} wordt gelijk genomen aan 1.25, zoals aanbevolen door EN1998. De verstevigingsfactor γ_{sh} wordt op een andere wijze bepaald dan in EN1993-1-8 en EN1998-1. EN1993-1-8 beveelt in het bijzonder aan deze verhouding gelijk aan 1.2

te nemen voor volledig sterke verbindingen, terwijl EN1998-1 een waarde van 1.1 aanbeveelt. In de literatuur zijn verscheidene empirische vergelijkingen beschikbaar om de door de liggers ontwikkelde oversterkte te bepalen. Gebaseerd op Mazzolani en Piluso (1992), D'Aniello et al (2012), Güneyisi et al (2013, 2014) kan worden beargumenteerd dat deze factor γ_{sh} in de range 1.1-1.2 ligt voor standaard Europese walsprofielen, zoals toegepast als ligger (IPE), dus groter dan de door EN1998-1 aanbevolen waarde, maar in lijn met AISC358-10 die de volgende factor voor de oversterkte aanneemt:

$$\gamma_{sh,AISC} = \frac{f_y + f_u}{2 \cdot f_y} \leq 1.20$$

Verg. (3.4)

Om deze rede wordt in de huidige procedure γ_{sh} conservatief gelijkgesteld aan 1.20, mede op basis van karakteristieke waarden van de vloe- en treksterkte van Europese koolstof staalsoorten.



Figuur 3.2 Positie plastische scharnieren in een verbinding met console en verstijfde kopplaatverbindingen met uitstekende kopplaat.

De dwarskracht in het afschuifpaneel wordt als volgt berekend:

$$V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot S_h) / z - V_{c,Ed}$$

Verg. (3.5)

Met:

$V_{wp,Ed}$ de rekenwaarde van de dwarskracht in het afschuifpaneel;

$V_{c,Ed}$ de rekenwaarde van de dwarskracht in de kolom

z de interne hefboomarm

α afhankelijk van het ontwerp prestatieniveau en kan afwijken t.o.v. de waarde die gebruikt wordt bij het ontwerp van de verbinding.

Afhankelijk van de vereiste ontwerpdoelen van de verbinding, moet aan de volgende eisen worden voldaan:

$$M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed}$$

Verg. (3.6)

$$V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$$

Verg. (3.7)

Met:

$M_{con,Rd}$ de rekenwaarde van de momentweerstand van de verbinding;

$V_{wp,Rd}$ de rekenwaarde van de afschuifweerstand van het afschuifpaneel.

Ductiliteitseisen: de ductiliteit van de knoop is afhankelijk van het bezwijkmechanisme en de corresponderende plastische vervormingscapaciteit van de betreffende component. Figuur 7.10 toont nadrukkelijk de afhankelijkheid van het bezwijkmechanisme van de afmetingen en van de verhouding tussen de sterkte van de kopplaat en sterkte van de bout (Jaspart,1997). Op de x-as is de ratio β weergegeven, de verhouding tussen de rekenwaarde van de momentweerstand ($M_{pl,Rd}$) van de platen of de kolomflenzen, en de rekenwaarde van de treksterkte van de bouten ($F_{t,Rd}$). Op de y-as is verhouding η weergegeven, de verhouding tussen de sterkte van het T-stuk (F) en de rekenwaarde van de treksterkte van de bout $F_{t,Rd}$. De sterkte voor bezwijkmechanisme 1 bij een niet-cirkelvormig bezwijkpatroon is afhankelijk van de verhouding $v = n/m$. Hierin is m de afstand tussen de boutas en de verwachte locatie van het plastische scharnier t.o.v. de aansluiting van flens en lijf. Voor n wordt de kleinste waarde aangenomen, de minimum afstand van de randen van de flens tot de as van de bouten of 1,25m. Zoals in Figuur 7.10 is weergegeven zijn er twee mogelijke ductiliteitseisen die toegepast kunnen worden om bezwijkmechnisme 3 te voorkomen, namelijk:

Niveau-1: $\beta \leq 1$, deze voorwaarde zorgt dat bezwijkmechanisme 1 of 2 (maar, een waarde dicht bij die van bezwijkmechanisme 1) optreedt, hetgeen leidt tot een hoge ductiliteit.

Niveau-2: $\beta \leq 2$ en $\eta \leq 0.95$, deze voorwaarden zorgen voor bezwijkmechanisme 2 met een gelimiteerde ductiliteit, maar voorkomt dat de verbinding bros bezwijkt.

Het te garanderen niveau van de ductiliteit is overduidelijk afhankelijk van de ontwerpuitgangspunten; het is cruciaal om een grotere taaheid te bewerkstelligen voor verbindingen met gelijke sterkte of onvolledig-sterkte en een lagere taaheid voor volledig sterke verbindingen.

Volgens EN1993-1-8 moet de rotatiecapaciteit van de verbinding gecontroleerd worden indien M_{jRd} kleiner is dan $1,2 M_{B,pl,Rd}$. Dit kan op twee manieren worden gecontroleerd, namelijk:

- 1) door laboratoriumproeven;
- 2) de controle van de dikte t van de kopplaat ofwel de kolomflens, ervan uitgaande dat deze componenten maatgevend zijn voor de momentweerstand van de verbinding, waarbij aan de volgende eis dient te worden voldaan:

$$t \leq 0.36d \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}}$$

Verg. (3.8)

Met d de nominale boutdiameter, f_y de karakteristieke waarde van de vloeigrens van de relevante component en f_{ub} de karakteristieke waarde van de treksterkte van de bout. Verg. (3.8) zou theoretisch gezien moeten voldoen aan ductiliteitsniveau-1, zie figuur 3.3, ervan uitgaande dat de rekenweerstand van elke individuele bout ($F_{t,Rd}$), groter is dan de rekenweerstand ($F_{p,Rd}$) van de verbonden platen (kopplaat of kolomflens).

De rekenwaarde van de trekweerstand van de bout ($F_{t,Rd}$) is als volgt gedefinieerd:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Verg. (3.9)

Met A_s het spanningsoppervlak van de bout en γ_{M2} de betreffende partiële veiligheidsfactor (aanbevolen waarde is 1,25 volgens de Eurocode).

In Verg. (3.8) wordt de rekenwaarde van de weerstand ($F_{p,Rd}$) gebruikt, overeenkomend met een cirkelvormig bezwijkmechanisme, als volgt te bepalen:

$$F_{p,Rd} = \frac{\pi t^2 f_y}{\gamma_{M0}}$$

Verg. (3.10)

Met t de plaatdikte en γ_{M0} de betreffende partiële veiligheidsfactor (een waarde van 1,0 wordt aanbevolen).

Opgemerkt dient te worden dat in vergelijkingen (Verg. 3.9 en Verg.3.10) wordt uitgegaan van volledig plastisch gedrag in de stalen platen. Echter, met het oog op wat er eerder is besproken in dit document, zou de ductiliteit van verbindingen van Niveau-1 berekend moeten worden met in acht name van de materiaalvariaties en van de betreffende materiaalversteviging. Hiervoor dient te worden voldaan aan de volgende eis:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma \cdot F_{p,Rd} = \gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh} \cdot F_{p,Rd}$$

Verg. (3.11)

De oversterktefactor in Verg. 3.11 is hierin 1,5. In de Eurocode wordt voor γ_{ov} een waarde 1,25 aanbevolen en voor γ_{sh} een waarde 1,2 voor Europees laagkoolstofstaal. De aanbevolen waarde voor de partiële veiligheidsfactor γ_{M0} is 1,0. Door substitutie van deze waarden van Eq 3.11 in Eq 3.8 volgt een vergelijking voor de vereiste taaheid:

$$t \leq \frac{0.42 \cdot d}{\sqrt{\gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh}}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{M0} \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2} \cdot f_y}} \cong 0.30 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}}$$

Verg. (3.12)

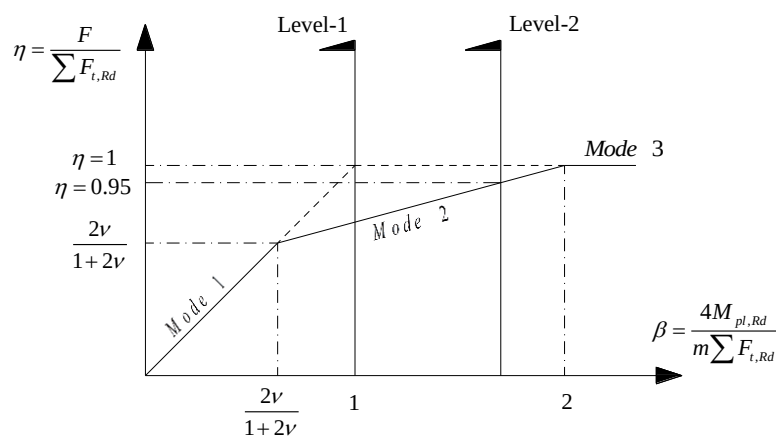
Betreffende volledige sterke knopen en knopen met gelijke sterkte, zelfs wanneer er geen of beperkte ductiliteit aanwezig is, wordt een lokale hiërarchie criteria aanbevolen, deze moet rekening houden met ongewenste faalmechanismes in de brosse componenten, veroorzaakt door variaties in materiaalsterkte. Daarom, in lijn met ductiliteitsniveau-2, moet de sterkte van de bouten aan de volgende eis voldoen:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma_{ov} \cdot F_{p,Rd}$$

Verg. (3.13)

Verg. 3.13 kan na enkele algebraïsche manipulaties worden omgeschreven, hetgeen leidt tot een vergelijkbare criterium als Verg. 3.8.

Het is van belang om te benadrukken, dat alle bovenstaande criteria zijn om lasbreuk te voorkomen vanwege het brosse karakter van dit bezwijkmechanisme.



Figuur 3.3 ductiliteitscriteria: T-stuk weerstand en het bijbehorende faalmechanisme

3.2. Overige ontwerpaannames

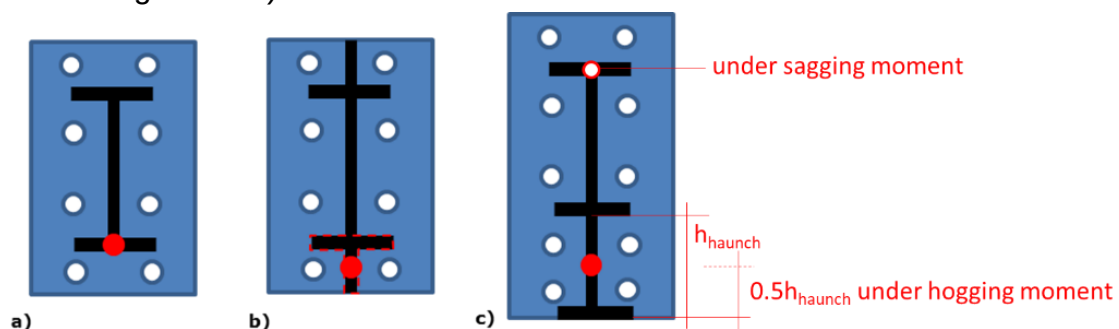
3.2.1. Actieve boutenrijen op trek

Anders dan de in EN1993-1-8 geïmplementeerde componentenmethode, waar álle boutenrijen op trek zondermeer worden beschouwd om het evenwicht te bepalen met de interne drukresultante, wordt het aantal actieve boutenrijen op trek a-priori aangenomen zoals hieronder weergegeven. Hierbij wordt verondersteld dat de bijdrage van de boutenrijen ónder de centrale as van de verbinding redelijkerwijs verwaarloosbaar zijn onder zuivere buiging.

3.2.2. Locatie drukresultante en hefboom

Voor kopplaatverbindingen geeft EN1993-1-8 aan dat de drukresultante in het midden van de liggerflens aangrijpt of op de uiterste punt van de console in het geval van verbindingen met een console. Experimentele en numerieke resultaten laten zien dat de locatie van de drukresultante afhankelijk is van zowel het verbindingstype als van de benodigde rotatiecapaciteit om bezwijkmechanismes te vormen met wisselende bijdrage van elke component van de verbinding. Volgens de voorgestelde ontwerpprocedure en gebaseerd op zowel experimentele als numerieke resultaten uit de literatuur (Lee, 2002; Lee et al, 2005; Abidelah et al, 2012), en als resultaat van het project (Maris et al., 2015, Stratan et al., 2016, D'Aniello et al, 2017; Tartaglia and D'Aniello, 2017, Tartaglia et al. 2018), kan de locatie van de drukresultante als volgt worden bepaald:

- (i) In het midden van de liggerflens bij onverstijfde kopplaatverbindingen (zie figuur 3.4a);
- (ii) In het zwaartepunt van de onderflens van de ligger en de verstijvers, bij verstijfde kopplaatverbindingen (zie figuur 3.4b);
- (iii) Op 0,5 keer de consolehoogte h_h bij verbindingen met een console (zie figuur 3.4c).



Figuur 3.4 locatie van drukresultante voor verschillende verbindingen: (a) onverstijfde kopplaatverbinding (b) verstijfde kopplaatverbinding (c) verbindingen met console.

3.3. Ligger-kolomverbindingen met console

3.3.1. Beschrijving van de knoopgeometrie

Ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaat en console zijn bedoeld om een volledig sterke en stijve verbinding te realiseren, met een sterk of symmetrisch belast afschuifpaneel. De geometrie van ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaat en console wordt weergegeven in Figuur 3.5. In de verbinding is een uitstekende kopplaat en hoge sterkte bouten gebruikt en het is versterkt met een console onder de onderflens van de ligger. Horizontale en verticale verstijvingsplaten in respectievelijk de kolom en de ligger zijn vereist. Opdikplaten, lijfplaten, op het kolomlijf zijn optioneel, maar kunnen toegepast worden om de stijfheid en sterkte van het afschuifpaneel te vergroten. De hoek waaronder de console staat wordt gemeten tussen de onderflens van de ligger en de consoleflens en varieert tussen de 30° en 45° graden. De verschillende typen lassen, geprekwalificeerd voor de ligger-kolomverbindingen met console, worden weergegeven in Figuur 3.6. Alle lassen hebben een zodanige afmeting dat zij de elementen vol aansluiten, d.w.z. sterker zijn dan de aan te sluiten delen. Dit wordt bereikt door twee hoeklassen (één aan elke kant van de plaat) te gebruiken met een minimum dikte van 0,55 keer de dikte van de aan te sluiten plaat. Kritieke laspunten (bovenflens van de ligger, consoleflens, lijfplaten), moeten “full-penetration” spleetlassen zijn, een las over de gehele dikte van de plaat van de aan te sluiten delen. De spleetlassen van de bovenflens van de ligger en de consoleflens worden versterkt met extra hoeklassen.

3.3.2. Lijst van systemen waarvoor de verbinding is geprekwalificeerd

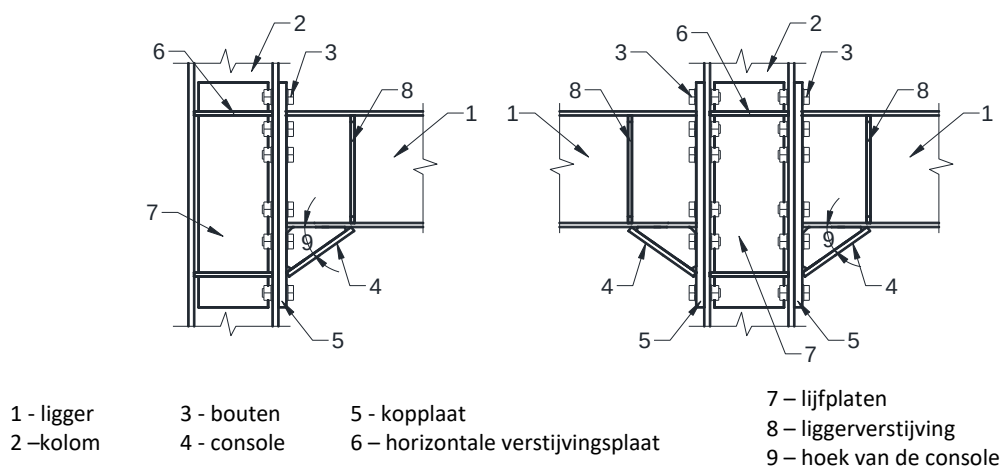
Ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaat en console, zoals beschreven in dit document, zijn geprekwalificeerd voor de volgende constructiesystemen:

- Momentoverdragende raamwerken (MRFs);
- Centrisch geschoorde raamwerken (bv. MRF + CBFs);
- Excentrisch geschoorde raamwerken (bv. MRF + EBFs);

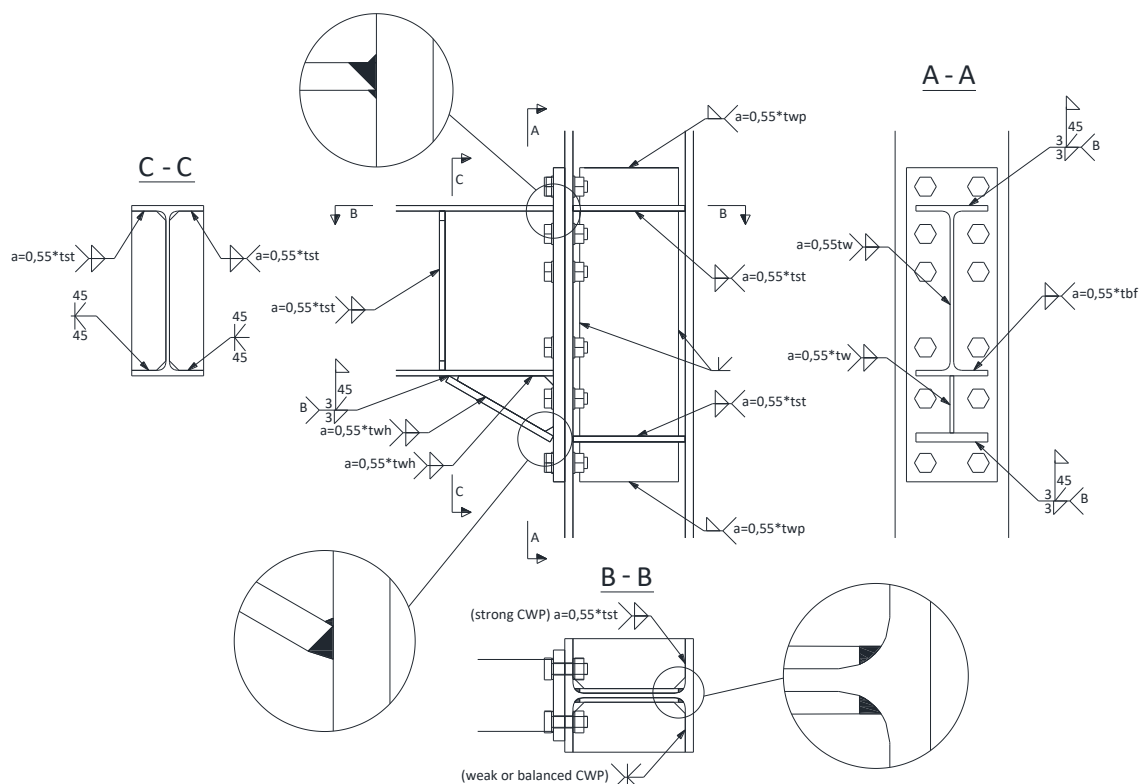
Aanvullend hierop, kunnen deze verbindingen alleen worden gebruikt in raamwerken waarbij de hartlijn van de ligger loodrecht aansluit op de hartlijn van de kolom. De constructie die seismische belasting dient op te nemen bestaat uit een gangbaar plattegrond en er mogen geen liggers onder een hoek worden geplaatst.

Eenzijdige verbinding

Tweezijdige verbinding



Figuur 3.5 Verbinding met uitstekende kopplaat en console, inclusief verstijvers



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.

Figuur 3.6 Lasdetails voor een verbinding met uitstekende kopplaat en console

3.3.3. Lijst met limietwaarden voor de geprekwalificeerde data

Tabel 3.1 Lijst met limietwaardes voor de geprekwalificeerd data

Elementen	Toepassingsgebied
Ligger	Warm gewalste breedflensliggers van IPE330 t/m IPE600, doorsnede klasse 1 volgens EN1993-1-1.

	Samengestelde liggers met vergelijkbare doorsnedes mogen worden gebruikt, onder voorwaarde dat de lassen tussen het lijf en de flenzen “full-penetration” spleetlassen zijn, versterkt met hoeklassen.
Hoogte	330 tot 600 mm
Lengte- dikteverhouding (tussen de aangenomen locatie van de plastische scharnieren)	Minimaal 7
Flensdikte	Minimum: 11 mm Maximum: 21 mm* (10% extrapolatie t.o.v. het beproefd maximum)
Materiaal	S235 tot S355
<i>Kolom</i>	Warm gewalste breedflens kolommen tussen HEB260/HEM260 tot en met HEB550/HEM550, doorsnedeklasse 1 volgens EN1993-1-1. Samengestelde kolommen met vergelijkbare doorsnedes mogen gebruikt worden, met de voorwaarde dat de lassen tussen het lijf en de flenzen “full-penetration” spleetlassen zijn, versterkt met hoeklassen.
Hoogte	260 tot 550 mm
Flensdikte	Minimum: 17.5 mm Maximum: 40 mm
Materiaal	S235 tot S355
<i>Ligger/kolomhoogte</i>	0.60-2.00
<i>Kopplaat</i>	20-40 mm
Dikte	Minimum: 20 mm Maximum: 40 mm
Breedte	Minimum: liggerflensbreedte +30 mm Maximum: kolomflensbreedte
Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Dwarsverstijver kolom en ligger</i>	Volgens EN1993-1-8 en EN1998-1
Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Lijfplaten</i>	Volgens EN1993-1-8 en EN1998-1. Het is toegestaan om het volledige oppervlak van de opdiklijfplaten te gebruiken in de berekening van de aanvullende dwarskrachtensterkte van het afschuifpaneel.
Hoogte	Minimaal gelijk aan de hoogte van de kopplaat
Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Bouten</i>	Hoge sterkte constructie assemblages voor voorgespannen bouten, volgens EN14499-3 (systeem HR) en EN 14399-4 (systeem HV). Bouten moeten volledig voorgespannen zijn, volgens EN1090-2.
afmetingen	M24 tot M36
Klasse	8.8 of 10.9
Gaten	Volgens EN 1993-1-8

<i>console</i>	
Hoek	De hoek van de console wordt gemeten tussen de onderste flens van de ligger en de flens van de console, deze mag variëren tussen 30° en 45°.
Las	Volgens Figuur 3.6
Kopplaat aan bovenflens ligger en aan consoleflens	Versterkte “full-penetration” spleetlassen
Horizontale verstijvingsplaten bij de kolomflenzen	“Full-penetration” spleetlassen
Opdikplaten	“Full-penetration” spleetlassen
Overige lassen	Hoeklassen aan beide zijden met een keeldikte groter dan 0,55 keer de dikte van de te verbinden platen.

Opmerking: geprekwalificeerde testen zijn uitgevoerd op liggers van IPE360 tot IPE600. De ondergrens is verlegd naar IPE330, aangezien het een 10% lagere variatie is van de liggerhoogte en omdat er uit onderzoek naar voren kwam dat kleinere liggers een grotere rotatiecapaciteit hebben in extra kwalificatie testen.

3.3.4. Ontwerpprocedure

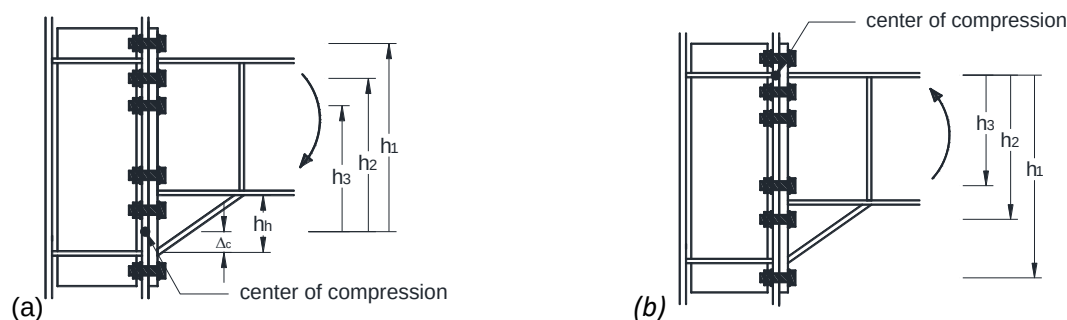
3.3.4.1. Ontwerpconcept

Ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaat en console zijn bedoeld om een volledig sterke en stijve verbinding te realiseren, met een sterk afschuifpaneel, symmetrisch belast. De ontwerpprocedure is gebaseerd op de componentenmethode zoals geïmplementeerd in EN1993-1-8 met een aantal aanpassingen, zoals hieronder toegelicht, en aanvullende eisen zoals geïmplementeerd in EN1998-1. De knoop bestaat uit een verbinding, een afschuifpaneel en het te verbinden element (de ligger). De verbinding is ontworpen op het optredende moment en dwarskracht t.p.v. de kolomflens die corresponderen met vorming van plastische scharnieren behorende bij het maatgevende bezwijkmechanisme (vlakbij de console), rekening houdend met oversterkte en versteviging van het materiaal.

Binnen het “EQUALJOINTS” project uitgevoerde numerieke simulaties tonen aan dat voor het negatieve moment de locatie van de drukresultante op een afstand Δ_c boven de consoleflens ligt. Gebaseerd op de beschikbare resultaten, mag worden aangenomen dat het deze locatie 50% hoger ligt ten opzichte van de consolehoogte ($\Delta_c = 0.45 h_h$, zie Figuur 3.7a). Voor een positief moment wordt de gebruikelijke locatie voor de drukresultante aangenomen, namelijk in het hart van de gedrukte bovenflens (Figuur 3.7b). Anderzijds nemen de boutenrijen, gelegen dicht bij de drukresultante, verwaarloosbare trekkrachten op vanwege de flexibiliteit van de kopplaat en de beperkte ductiliteit van de boutenrijen bij de getrokken flens. Dit resulteert in de aanname dat enkel boutenrijen boven het midden van de liggerdoorsnede bijdragen bij een optredende negatief moment. Bij een positief

moment wordt verondersteld dat alleen de boutenrijen onder het midden van liggerdoorsnede, inclusief die in de console, bijdragen.

Het afschuifpaneel kan worden ontworpen op de optredende krachten in de ligger, met voldoende rotatiecapaciteit om het maatgevende bezwijkmechanisme te laten ontstaan óf zodanig dat het paneel sterker is dan de ligger.



Figuur 3.7 Locatie van de drukresultante en van de actieve boutrijen onder een negatief (a) en een positief (b) moment.

3.3.4.2. Algemene procedure

Stap 1: Initiële keuze voor het materiaal en de afmetingen van de verbinding

- Boutklasse, bout afmetingen en aantal boutrijen
- Dikte en afmetingen van de kopplaat
- Dikte en afmetingen van de console
- Dikte en afmetingen van de transversale verstijving
- Dikte en afmetingen van de aanvullende lijfplaten (indien nodig)
- Laswerk specificaties

Stap 2: component karakteristieken

- Componentenweerstand (knoop onder buiging)
- Componentenstijfheid (knoop onder buiging)
- Componentenweerstand (knoop op dwarskracht)

Stap 3: Montageprocedures

- Weerstand van de verbinding onder buiging
- Weerstand van de verbinding op dwarskracht
- Weerstand van het afschuifpaneel
- Knoopstijfheid onder buiging

Stap 4: Classificatie van de verbinding en controle

3.3.4.3. Initiële keuze van de verbinding

De aanbevelingen, zie onderstaande tabel, kunnen worden gebruikt voor een eerste schatting van de afmetingen en materiaalkeuze van de verbinding.

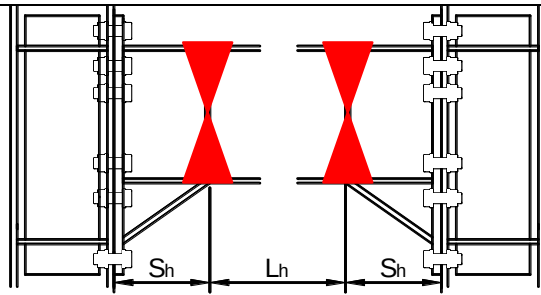
Verbonden elementen	Ligger afmetingen		
	Klein ($\approx$ IPE360)	Middel ($\approx$ IPE450)	Hoog ($\approx$ IPE600)
Boutklasse	10.9		
Bout afmetingen	M27	M30	M36

Aantal boutrijen	6	6
Kopplaat	<i>Dikte:</i> $t_{ep}=d_b$. <i>Afmetingen:</i> De breedte dient groter zijn dan de flensbreedte van de ligger (met tenminste 30 mm zodat er ruimte is voor het laswerk) en kleiner dan de kolomflens. Het uitstekende deel moet groot genoeg om één boutrij te plaatsen, in overeenstemming met de voorschriften gegeven in EN1993-1-8 (§3.5).	
Console	Consoleflensbreedte dient gelijk te zijn aan de liggerflensbreedte. De consoleflensdikte dient γ_{ov} keer groter te zijn dan de liggerflensdikte. Consolelijfdikte dient gelijk of groter te zijn dan de liggerlijfdikte. Consolehoogte: $h_h = 0.4 \cdot h_b$ voor consolehoek van $30^\circ \leq \alpha < 40^\circ$; $h_h = 0.5 \cdot h_b$ voor consolehoek van $40^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$.	
Lijf(opdik)platen	De dikte en de afmetingen van de lijfplaten dienen in overeenstemming te zijn met de EN1993-1-8 (§ 6.2.6.1), anders moeten er proplassen te worden gebruikt, om de sterkte van de lijfplaten te garanderen en plooi van deze platen te voorkomen.	
Dwarsverstijving		
Las details	Tabel 3.1	
Notitie: t_{ep} is de kopplaatdikte en d_b is de nominale boutdiameter		

3.3.4.4. Montageprocedures en weerstandsberekeningen

Classificatie type	Criterion			References
Weerstand verbinding op buiging	Volledig sterke verbinding: $M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h)$ $\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$			Equaljoints
Weerstand verbinding op dwarskracht	$V_{con,Rd} \geq V_{b,Ed}$			Equaljoints
Weerstand verbinding op dwarskracht	Sterk afschuifpaneel: $V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$ met $V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed}$			Equaljoints
Stijfheidsklasse	Classificatie	Geschoorde raamwerken	Ongeschoorde raamwerken	EC3-1-8 5.2.2
	Semi-stijve verbindingen	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$	
	Stijve verbindingen	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$	
$k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$				

Bepalen van de rekenwaarde van de momentweerstand t.p.v. de kolomflens en de bijbehorende dwarskracht.



De rekenwaarde van de momentenweerstand t.p.v. de kolomflens, overeenkomend met vloeien en volledige versteviging in het plastische scharnier van de console, wordt als volgt berekend:

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

De rekenwaarde van de dwarskrachtweerstand van de verbinding $V_{con,Ed}$ wordt, op basis van de aanname dat er volledig vloeien en versteviging optreedt in de plastische scharnieren aan beide einden van de ligger, als volgt berekend:

$$V_{con,Ed} \cong V_{b,Ed} = V_{Ed,M} + V_{Ed,G}$$

Met:

$M_{pl,Rd}^* = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot W_{pl,beam} \cdot f_{y,beam}$ het verwachte plastische moment in het plastische scharnier;

$W_{pl,beam}$ het plastisch weerstandsmoment van de ligger;

$f_{y,beam}$ de gespecificeerde minimum vloeigrens van het vloeiende element;

γ_{sh} de verstevigingsfactor die rekening houdt met de maximale sterkte in een verbinding;

γ_{ov} de factor voor de materiaaloversterkte;

$V_{Ed,M}$ de dwarskracht door de plastische scharnieren;

$V_{Ed,G}$ de dwarskracht door de permanente belastingen onder seismische ontwerp situaties;

s_h de afstand tussen de kolomflens en het plastische scharnier;

L_h de afstand tussen de plastische scharnieren.

Notitie: Proefresultaten laten zien dat plastische scharnieren zich ontwikkelen op een afstand van het einde van de console. Echter, ter vereenvoudiging, wordt er aangenomen dat het plastische scharnier optreedt aan het einde van de console. Een exactere locatie mag gebruikt worden wanneer noodzakelijk.

Controle van het liggereinde inclusief de console

Het liggereinde, inclusief de console, wordt gecontroleerd volgens EN1993-1-1, het verwachte rekenwaarde van het moment t.p.v. de kolomflens dient te voldoen aan:

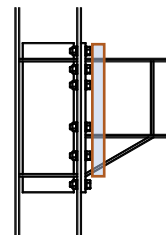
$$\frac{M_{con,Ed}}{M_{bh,Rd}} \leq 1,0$$

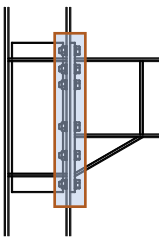
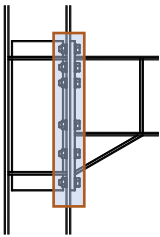
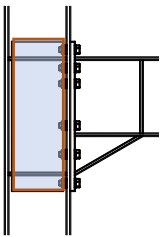
Met:

$M_{bh,Rd}$ de plastische momentenweerstand van het dubbele T-stuk bestaande uit de bovenflens van de ligger, de consoleflens, het lijf van de ligger en de console. De onderflens van de ligger wordt verwaarloosd, zie artikel 6.2.6.7 van EN1993-1-8;

$M_{con,Ed}$ het verwachte maximum moment bij de verbinding.

Om rekening te kunnen houden met de mogelijke oversterkte van het materiaal in de ligger in verhouding tot die in de console, wordt de consoleflensdikte



vergroot met een factor γ_{ov}. <u>Controle van de momentweerstand van de kopplaatverbinding.</u> Controle van de momentweerstand bij zowel positief als negatief moment: $\frac{M_{con,Ed}}{M_{con,Rd}} \leq 1,0$ Waarin $M_{con,Rd}$ de momentweerstand is van de verbinding. De volgende componenten worden gebruikt voor de bepaling van de momentweerstand van de verbinding: • kolomflens op buiging; • kopplaat op buiging; • liggerlijf op trek; • kolomlijf op trek; • kolomlijf op druk; $M_{con,Rd}$ wordt bepaald volgens EN1993-1-8 met de volgende aanpassingen: • Onder een negatief moment, worden alleen de boutrijen boven het midden van liggerdoorsnede, zonder console, als actief beschouwd. • Onder een positief moment, worden alleen de boutrijen onder het midden van de liggerdoorsnede, inclusief console, als actief beschouwd. • Voor het negatief buigend moment wordt de locatie van de drukresultante 50% omhoog verplaatst, ten opzichte van de hoogte van de console ($\Delta_c = 0.5 h_h$, zie Figuur 3.7a); De volgende componenten worden niet beschouwd: het afschuifpaneel op dwarskracht, de liggerflens en -lijf op druk, inclusief de console.	
<u>Controle van de schuifweerstand van de verbinding</u> $\frac{V_{b,Ed}}{V_{con,Rd}} \leq 1,0$ Waarin $V_{con,Rd}$ de schuifweerstand is van de verbinding. De volgende componenten worden gebruikt bij de bepaling van de schuifweerstand van de verbindingen: • Liggerlijf op dwarskracht • Bouten op stuiken kolomflens; • Bouten op stuiken kopplaat; • Bouten op dwarskracht. Alleen de bouten, die niet gebruikt worden in de momentweerstand, mogen hier berekend worden.	
<u>Controle van het afschuifpaneel</u> De rekenwaarde van de schuifweerstand van het afschuifpaneel wordt, op basis van optredende momenten en dwarskrachten, als volgt bepaald: $V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed}$ Met: $V_{wp,Ed}$ de rekenwaarde van de dwarskracht in het afschuifpaneel; $V_{c,Ed}$ de rekenwaarde van de dwarskracht in de kolom; z de interne hefboom arm; Voor een sterk afschuifpaneel moet de rekenwaarde van de dwarskracht berekend worden door rekening te houden met het ontwikkelen van volledig vloeien en versteviging in de plastische scharnieren van de ligger.	

$\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ De weerstand van het afschuifpaneel kan als volgt worden gecontroleerd: $\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$ $V_{wp,Rd}$ wordt bepaald volgens EN1993-1-8. De volgende limieten zijn van toepassing: - Het is toegestaan om het volledige oppervlak mee te nemen van de aanvullende lijfplaten in de berekening van de dwarskrachtweerstand van het afschuifpaneel. - De extra dwarskrachtenweerstand $V_{wp,add,Rd}$ ten gevolge van de kolomflensen en dwarsverstijvers, mogen worden verwaarloosd.	
---	--

3.3.4.5. Kenmerken componenten

Componenten	Detaileringsregels	Referenties
Afschuifpaneel op dwarskracht	Regels in EN1993-1-8, 6.2.6.1 zijn van toepassing, met de volgende observaties: - Het is toegestaan om het volledige oppervlak van de aanvullende lijfplaten mee te nemen in de berekening voor de dwarskrachtenweerstand van het afschuifpaneel. - De bijkomende dwarskrachtenweerstand ten gevolge van de kolomflensen en transversale verstijving mogen worden verwaarloosd	EN1993-1-8 6.2.6.1 6.3.2
Kolomflens op buiging	Regels in EN 1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 6.2.6.4 6.3.2
Kopplaat op buiging	Regels in EN1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 6.2.6.5 6.3.2
kolomlijf op druk	Regels in EN1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 6.2.6.2 6.3.2
Liggerlijf op druk	Regels in EN1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 6.2.6.8 6.3.2
Kolomlijf op trek	Regels in EN1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 6.2.6.3 6.3.2
Liggerlijf op dwarskracht	Regels in EN1993-1-1 zijn van toepassing.	EN1993-1-1 6.2.6
Bouten op stuijk kolomflens	Regels in EN1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 3.6.1
Bouten op stuijk kopplaten	Regels in EN1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 3.6.1
Bouten op dwarskracht	Regels in EN1993-1-8 zijn van toepassing.	EN1993-1-8 3.6.1

3.3.4.6. Stijfheidsclassificatie

Ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaten en een console mogen als stijf worden beschouwd, gegeven dat deze voldoen aan de volgende eisen:

- Weerstand van het afschuifpaneel wordt verkregen met vergelijking (6.7), uit EN1993-1-8, waarin de bijkomende dwarskrachtweerstand, ten gevolge van de kolomflenzen en de dwarsverstijvers, wordt genegeerd;
- De hartlijnen worden gebruikt voor de globale constructieanalyse;
- Bouten zijn van categorie E (volledig voorgespannen), volgens EN1993-1-8.

3.3.4.7. Ductiliteitsclassificatie

Ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaat en een console ontworpen in overeenstemming met bovenstaande eisen zijn bedoeld voor de toepassing in DCH en DCM constructiesystemen (momentoverdragende raamwerken, centrisch geschoorde raamwerken en excentrisch geschoorde raamwerken).

Dit is gebaseerd op het feit dat alle geteste verbindingen voldoen aan de volgende eisen (ANSI/AISC 341-16):

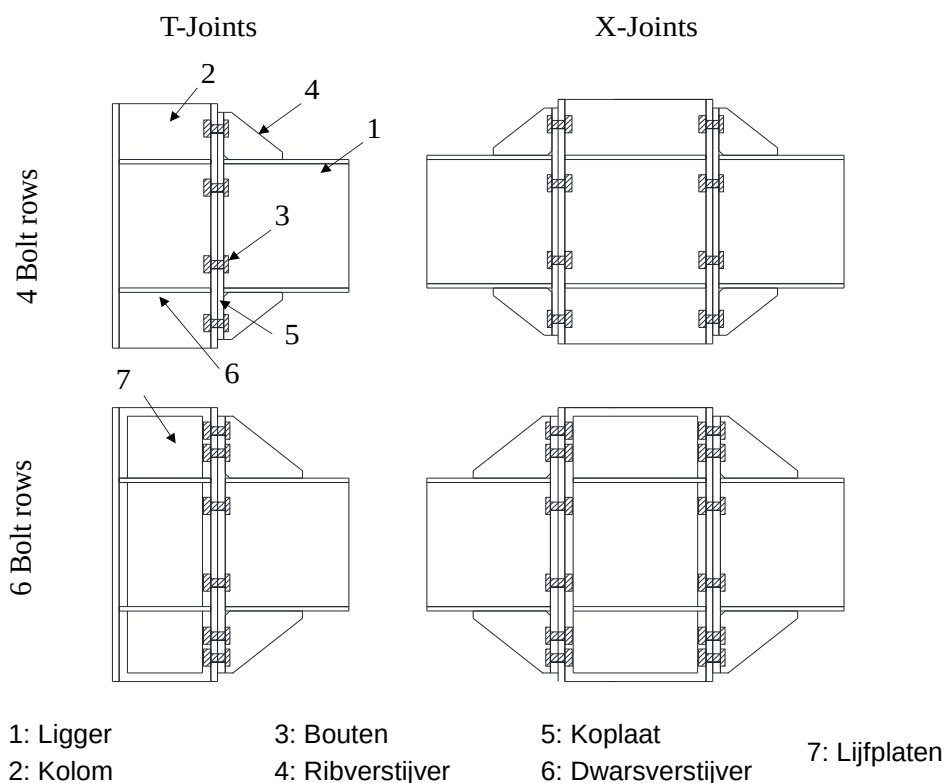
- De verbinding is in staat om een storey drift van 0,04 rad op te nemen.
- De gemeten momentweerstand van de verbinding t.p.v. de kolomflens, is minimaal gelijk aan 0,80 Mp van de verbonden ligger bij een storey drift van 0,04 rad.

De gebruiker wordt gewaarschuwd, dat hoewel de storey drift gelijk is aan een 20% daling van het maximum moment, kleiner is dan 0,04 rad (maar groter dan 0,03 rad) voor de console.

3.4. Verstijfde ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaat

3.4.1. Beschrijving van de verbindingsconfiguratie

De configuratie van de verbinding wordt beschreven in Figuur 3.8, het betreft onverstijfde en uitstekende kopplaatverbindingen. Afhankelijk van de liggerhoogte en de ontwerpcriteria, kunnen er 4 of 6 boutrijen gebruikt worden. Het gebruik van lijfplaten is een optie om, indien dat nodig is, het kolomlijf te versterken, terwijl het gebruik van dwarsverstijvers (kolomverstijving) wordt aanbevolen, ongeacht de uitvoering. Voorgeschreven lastypen, in overeenstemming met de ontwerpcriteria zijn gegeven in Tabel 3.2.



Figuur 3.8 Beschrijving van verstijfde en uitstekende kopplaatverbindingen

Tabel 3.2 Lastypes in overeenstemming met de ontwerpcriteria

Gelaste elementen	Verbinding sterkte		
	Volledig	Gelijke	Partiële
Liggerflens aan kopplaat (bf-ep)	FPW	FPW	FPW
Liggerlijf aan kopplaat (bw-ep)	FPW	FPW	FW
Dwarsverstijvers aan kolom (cp-c)	FW	FW	FPW
Ribverstijver aan kopplaat (r-ep)	FPW	FPW	FPW
Ribverstijver aan ligger (r-bf)	FPW	FPW	FPW
Aanvullende lijf platen bij de kolom (Swp-c)	FPW+P	FPW+P	FPW+P
	W	W	W

3.4.2. Lijst van systemen waarvan de verbindingen geprekwalificeerd zijn

Geboute, verstijfde verbindingen met uitstekende kopplaat, voorgekwalificeerd, kunnen gebruikt worden voor de volgende constructiesystemen:

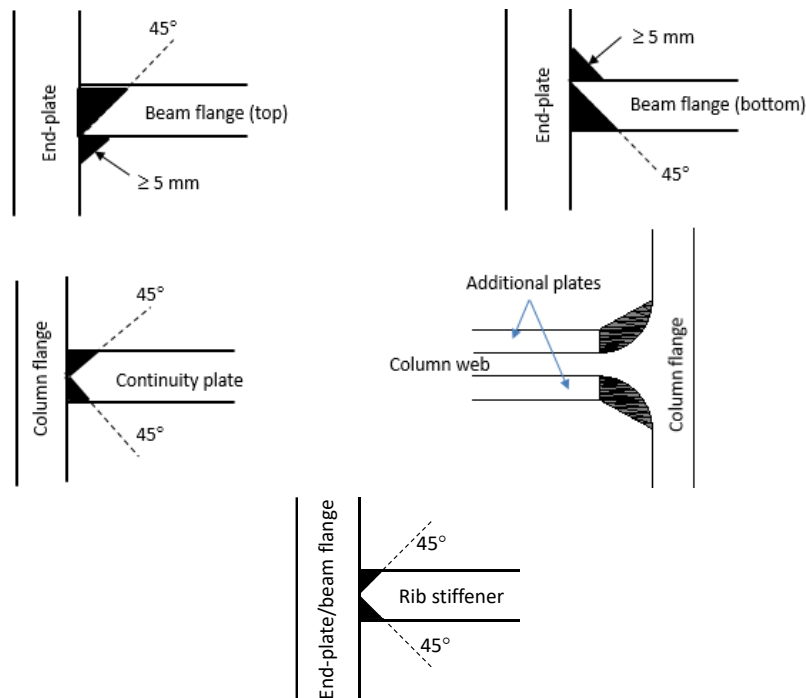
- Momentoverdragende, ongeschoorde, raamwerken (MRFs);
- Centrisch geschoorde raamwerken (i.e. MRF+CBFs);
- Excentrisch geschoorde raamwerken (i.e. MRF+ EBFs);

In aanvulling hierop, mogen de verbindingen alleen gebruikt worden in raamwerken met loodrechte ligger-kolomassen en een reguliere spanwijdte indeling hebben voor het seismische weerstandssysteem, geen liggers een helling.

3.4.3. List met limietwaarden voor geprekwalificeerde data

Tabel 3.3 lijst met limiet waardes voor gekwalificeerde data

Elementen	Toepassingsgebied	
Ligger		
	Hoogte	Maximum=600mm
	Lengte-hoogteverhouding	Maximum=23, Minimum=10
	Flens dikte	Maximum=19mm
	Materiaalsoort	Van S235 tot S355
Kolom		
	Hoogte	Maximum=550mm
	Flens dikte	Maximum=29mm
	Materiaalsoort	Van S235 tot S355
Ligger/kolom hoogte		0.65-2.15
Kopplaat		18-30mm
	Dikte	Tabel 3.4
	Materiaalsoort	Van S235 tot S355
Dwarsschotten		
	Dikte	Minimaal gelijk aan liggerflensdikte
	Materiaalsoort	Van S235 tot S355
Lijfplaat (opdikplaat)		
	Dikte	Tabel 3.4
	Materiaalsoort	Van S235 tot S355
Bouten		
	Grootte	Tabel 3.4
	Klasse	HV10.9
	Aantal boutrijen	Tabel 3.4
	Sluitring	Volgens EN 14399-4
	Gaten	Volgens EN1993:1-8
Lassen		
	Koplaaat aan liggerflens	Full penetration, spleetlas+ hoeklas (Figuur 3.9)
	Dwarsverstijvers aan kolomflens	Full penetration spleetlassen (Figuur 3.9)
	Lijfplaten aan kolomflens	Full penetration spleetlassen (Figuur 3.9)
	Andere lassen	Hoeklassen: Keel dient minimaal 0,55 keer dikte van het aan te sluiten element te zijn.



Figuur 3.9 Details van full penetration spleetlassen

3.4.4. Ontwerpprocedure

Aansluitend op de gemaakte keuzes m.b.t. afmetingen en materialen moeten er drie ontwerpstappen te worden vastgelegd:

- Karakteriseren van de componenten
- Montageprocedure
- Knoopclassificatie en controles

3.4.4.1. Algemene Procedure

Stap 1: Initiële keuze voor de afmetingen en materiaalsoorten van de verbinding

- Boutklasse, boutgrootte en aantal boutrijen
- Dikte en afmetingen van de kopplaat
- Dikte en afmetingen van de dwarsschotten
- Dikte en afmetingen van de lijfplaten
- Specificatie van de lassen

Stap 2: Karakterisering van de componenten

- Weerstand van de component (knoop onder buiging)
- Stijfheid van de component (knoop onder buiging)
- Weerstand van de component (knoop op dwarskracht)

Stap 3: Montageprocedures

- Weerstand knoop op buiging
- Stijfheid knoop op buiging
- Dwarskrachtweerstand

- Ductiliteitsklasse van de verbinding

Stap 4: Knoopclassificatie en ontwerp controle

- Weerstand op buiging
- Stijfheid op buiging
- Weerstand op dwarskracht
- Ductiliteit
- Controle

3.4.4.2. Initiële keuze van de verbinding

De aanbevolen keuzes worden gegeven in Tabel 3.4, deze kunnen gebruikt worden voor de keuze in materiaal en afmetingen.

Tabel 3.4 Initiële keuze voor de afmetingen en materialen van de verbinding

Verbonden elementen	Ligger afmetingen		
	Klein ($\approx$ IPE360)	Middel ($\approx$ IPE450)	Groot ($\approx$ IPE600)
Boutklasse	HV 10.9		
Boutgrootte	M27	M30	M36
Aantal boutrijen	4/6	4/6	6
Kopplaat	<i>Dikte:</i> $t_{ep}=(2/3 \div 5/6) d_b$ voor volledige knopen kan het iets groter zijn dan de kolomflenzen; $t_{ep}=(2/3 \div 5/6)d_b$ voor gelijke knopen; maar moet kleiner zijn dan de dikte van de kolomflenzen. <i>afmetingen:</i> de breedte moet gelijk of kleiner zijn dan de kolomflens. Het verlengde deel moet groot genoeg zijn om een of twee boutrijen te plaatsen, in overeenstemming met de voorschriften uit EN1993-1-8 (§3.5).		
Lijfplaten	De dikte en de afmetingen van de aanvullende platen moeten in overeenstemming zijn met de voorschriften van EN1993-1-8 (§ 6.2.6.1), anders moeten er vullassen gebruikt worden om de stabiliteit te garanderen van de aanvullende platen.		
Doorlopende platen	Tabel 3.3		
Laswerk detaillering			
Notitie: t_{ep} de kopplaatdikte en d_b is de nominale boutdiameter.			

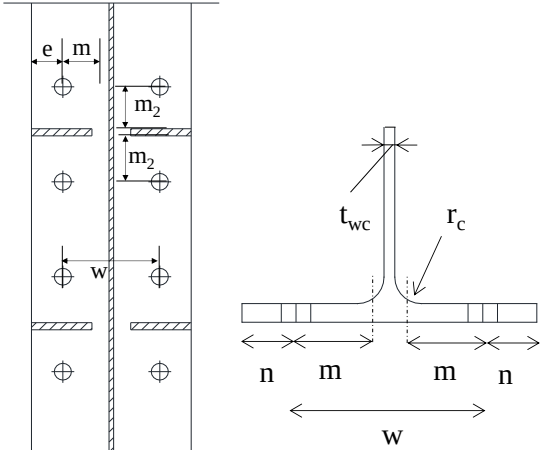
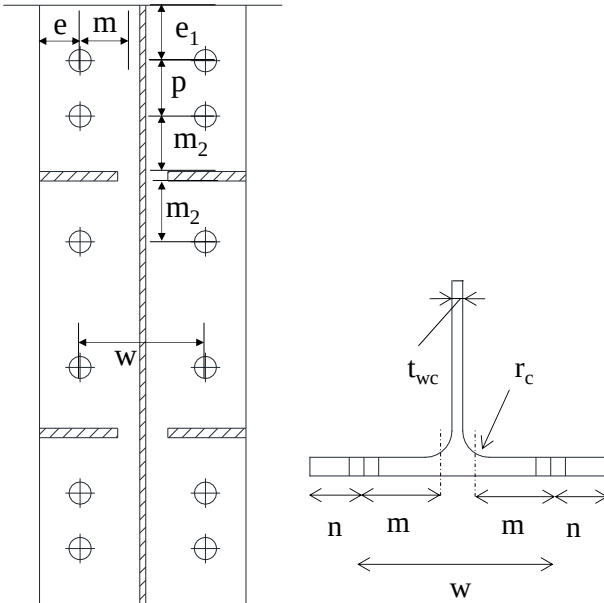
3.4.4.3. Montageprocedure en controle weerstanden

Classificatie type	Criteria	Referentie
Buigweerstand	$M_{con,Rd} \approx M_{Ed}$: gelijke verbinding $M_{con,Rd} > M_{Ed}$: volledige sterke verbinding $V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: sterk afschuifpaneel Met: $F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ ($i = 1$ tot 5 voor knopen met 6 boutrijen en $i = 1$ tot 3 voor knopen met 4 boutrijen), is de dwarskracht in de verbinding ten gevolge van de bouten op trek.	Equaljoints

	$F_{bc,Rd}$ de weerstand, van de flenzen en het lijf van de ligger op druk.			
Classificatie stijfheid	Classificatie	Geschoorde raamwerken	Ongeschoorde raamwerken	EC3-1-8 5.2.2
	Semi-stijve knopen	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 25$	
	Stijve knopen	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$	
	$k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$			
Dwarskracht weerstand	$V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$: Gelijke weerstand belast op dwarskracht			
	$V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$: Volledige weerstand belast op dwarskracht			
Classificatie ductiliteit (rotatiecapaciteit)	$\beta_{max} \leq 1.0$: ductiliteitsgraad 1 $\beta_{max} > 1.0$ and $\eta_{max} \leq 0.95$: ductiliteitsgraad 2 Met: $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$			Equaljoints

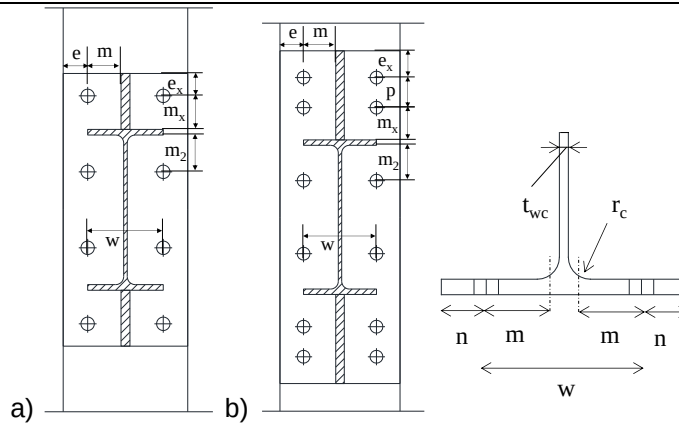
3.4.4.4. Karakterisering componenten

Component weerstand (op buiging)

Component	Detaileringsregels	Referenties
Kolomflens op buiging	In het geval van 4 boutrijen  Bij toepassing van 6 boutrijen  Voor elke boutrij of groep van boutrijen, moet de weerstand bepaald worden met de volgende formule:	EC3-1-8 6.2.6.4

Component	Detaileringsregels	Referenties
	Voor elke boutrij of groep van boutrijen, moet de weerstand bepaald worden met de volgende formule: $F_{c/b,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}] * \text{ of }$ $F_{c/b,Rd} = \min[F_{T,1-2,Rd}; F_{T,3,Rd}] **$ Met: • $F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$ • $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$ • $F_{T,3,Rd} = \sum \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ • $F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$ Waarin: $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,1} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,2} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $m = (w / 2 - t_{wc} / 2 - 0.8 r_c)$ $n = \min[e, 1.25m] \text{ , voor cirkelvormige vloeipatronen kan } n=\infty \text{ gebruikt worden.}$ $e_w = d_w / 4$ d_w is de diameter van de sluitring, of de breedte van punten bij de boutkop of moer. *Als wrikkrachten ontwikkelen **Als er geen wrikkrachten ontwikkelen NB EC1993-1-8 staat toe voor het overwegen van wrikkrachten, in alle gevallen van boutverbindingen. Met het oog op de resultaten beschreven binnen het EQUALJOINTS project, is dit statement niet conservatief genoeg en moet het ontstaan van wrikkrachten per geval bekeken worden.	

Component	Detaileringsregels	Referenties
	Effectieve lengte ❖ <i>Verbinding met 4 boutrijen</i> <u>Boutrij 1:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <u>Boutrij 2:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ α is gegeven in figuur 6.11 van EC3-1-8, afhankelijk van: $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ N.B. Tussen de eerste en tweede boutrij lijn, kan er geen groep geactiveerd worden indien dwarsschotten zijn toegepast. ❖ <i>Verbinding 6 boutrijen</i> <u>Boutrij 1:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m; 4m + 1.25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1.25e$ <i>Eerste rij van de groep 1+2</i> $l_{eff,1} = \min[2p; p]$ $l_{eff,nc} = p$ <u>Boutrij 2:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <i>Tweede rij van de groep 1+2</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,1} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <u>Boutrij 3:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ α is gegeven in Figuur 6.11 van EC3-1-8, afhankelijk van: $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ N.B. Tussen de eerste en de tweede boutrij kan het groep effect van invloed zijn op de weerstand; daartegenover staat dat er geen groep effect kan zijn bij de derde boutrij indien een dwarsschot is toegepast.	Tabel 6.5 (EN1993-1-8)



Bij toepassing van 4 boutrijen (a) en bij 6 boutrijen (b)

Voor elke boutrij of een groep van boutrijen, kan de weerstand bepaald worden met de volgende formule:

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

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

met:

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

waarin:

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

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

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

$n = \min[e, 1.25m]$, voor cirkelvormige patronen kan $n=\infty$ gebruikt worden.

$$e_w = d_w / 4$$

d_w de diameter van de volgving, of de breedte tussen punten van de boutkop of de moer.

* als er wrikkrachten ontstaan

** als er geen wrikkrachten ontstaan

Component	Detaileringsregels	Referenties
	Effectieve lengte ❖ <i>Verbinding met 4 boutrijen</i> <u>Boutrij 1:</u> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ <u>Boutrij 2:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ α is gegeven in figuur 6.11 van EC1993-1-8, afhankelijk van: $\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$ ❖ <i>Verbinding met 6 boutrijen</i> <u>Boutrij 1:</u> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ <i>Eerste rij van de groep 1+2</i> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} \pi m + p \\ 2e_x + p \\ 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ <u>Boutrij 2:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <i>Tweede rij van de groep 1+2</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,2} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <u>Boutrij 3:</u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ α is gegeven in figuur 6.11 van EC3-1-8.	

Component	Detaileringsregels	Referenties
Flens en lijf van de ligger op drukkracht	$F_{fbc,Rd} = M_{c,Rd} f_{y,b} / (h + \xi b - 0.5 t_{fb})$ • h de liggerhoogte; • $M_{c,Rd}$ de rekenwaarde van de momentweerstand van de ligger inclusief de doorsnede van de ribben, indien nodig gereduceerd vanwege de dwarskracht, zie EN 1993-1-1. • t_{fb} de flensdikte van de aangesloten ligger; • ξ_b de positie van de drukresultante; • b de ribhoogte.	EC3-1-8 6.2.6.7
kolom lijf en doorlopende platen op drukkrachten	De weerstand van het kolomlijf en de dwarsschotten kan als volgt berekend worden: $F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ Met: $b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$ A_{cp} het oppervlak van de dwarsschotten (beide kanten); De reductiefactor k_{wc} neemt de normaalspanningen mee in het kolomlijf, gegeven volgens 6.2.6.2(2) van EN1993-1-8. De reductiefactor ω is gegeven in Tabel 6.3 van EN1993-1-8; NB: wanneer dwarsschotten worden gebruikt, kan de reductie voor knik van het kolomlijf onder transversale compressie verwaarloosd worden.	EC3-1-8 6.2.6.2
Ligger lijf op trek	$F_{wbt,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ De effectieve breedte $b_{eff,t,wb}$ van het liggerlijf op trek, moet gelijk worden genomen aan de effectieve lengte van de equivalente T-stuk, dit moet de kopplaat representeren op buiging voor een individuele boutrij of boutengroep.	EC3-1-8 6.2.6.8
kolomlijf op trek	$F_{wct,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ De effectieve breedte $b_{eff,t,wc}$ van de kolomflens op trek, moet gelijk worden genomen aan de effectieve lengte van de equivalente T-stuk, dit moet de kopplaat representeren op buiging voor een individuele boutrij of boutengroep. De reductiefactor ω is gegeven in Tabel 6.3 van EC3-1-8.	EC3-1-8 6.2.6.3

Component	Detaileringsregels	Referenties
Bouten op trek	De weerstand van een boutrij (twee bouten) op trek, wordt als volgt berekend: $F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ Met: • f_{ub} de treksterkte van de bout; • A_s het spanningsoppervlak van de bout.	EC3-1-8 3.6.1

3.4.4.5. Stijfheid van de component (verbinding op buiging)

Component	Detaileringsregels	Referenties
Af-schuifpaneel op dwarskracht	Voor de verstijfde knoop is de bijdrage k_1 gelijk aan oneindig en indien het om een onverstijfde knoop gaat, geldt: $k_1 = \frac{0.38 \cdot A_{VC}}{\beta z}$ Met: β de transformatieparameter, gedefinieerd volgens EN1993-1-8 pr. 5.3(7) z de interne arm.	EC3-1-8 6.3.2
Kolomflens op buiging	Voor een enkele boutrij op trek: $k_4 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{fc}^2}{m^3}$ De effectieve breedte b_{eff} is de kleinste effectieve lengte van de boutrij (individueel of als onderdeel van een groep boutrijen)	EC3-1-8 6.3.2
Kopplaat op buiging	Voor een enkele boutrij op trek: $k_5 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^2}{m^3}$ De effectieve breedte b_{eff} is de kleinste effectieve lengte van de boutrij (individueel of als onderdeel van een groep boutrijen)	EC3-1-8 6.3.2
Kolomlijf op trek	Voor de verstijfde en gelaste verbinding is k_3 gelijk aan oneindig en voor een onverstijfde knoop geldt: $k_3 = \frac{0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$ De effectieve breedte b_{eff} is de kleinste effectieve lengte van de boutrij (individueel of als onderdeel van een groep boutrijen), van de component kolomflens op buiging.	EC3-1-8 6.3.2
Bouten op trek	Voor een enkele boutrij op trek: $k_{10} = \frac{1.6 \cdot A_s}{L_b}$	EC3-1-8 6.3.2
Ribben aan de drukkant	$k_{RIB} = \frac{A_{eq}}{L_{Strut}} \cdot \cos(\alpha)$ Met (zoals gedefinieerd door Lee): $A_e = \frac{\eta(ab - c^2)}{\sqrt{(a-c)^2 + (b-c)^2}}$ $L_e = (0.6)\sqrt{a^2 + b^2}$ α de hoek van de rib	Equaljoints

3.4.4.6. Weerstand van de component knoop op dwarskracht

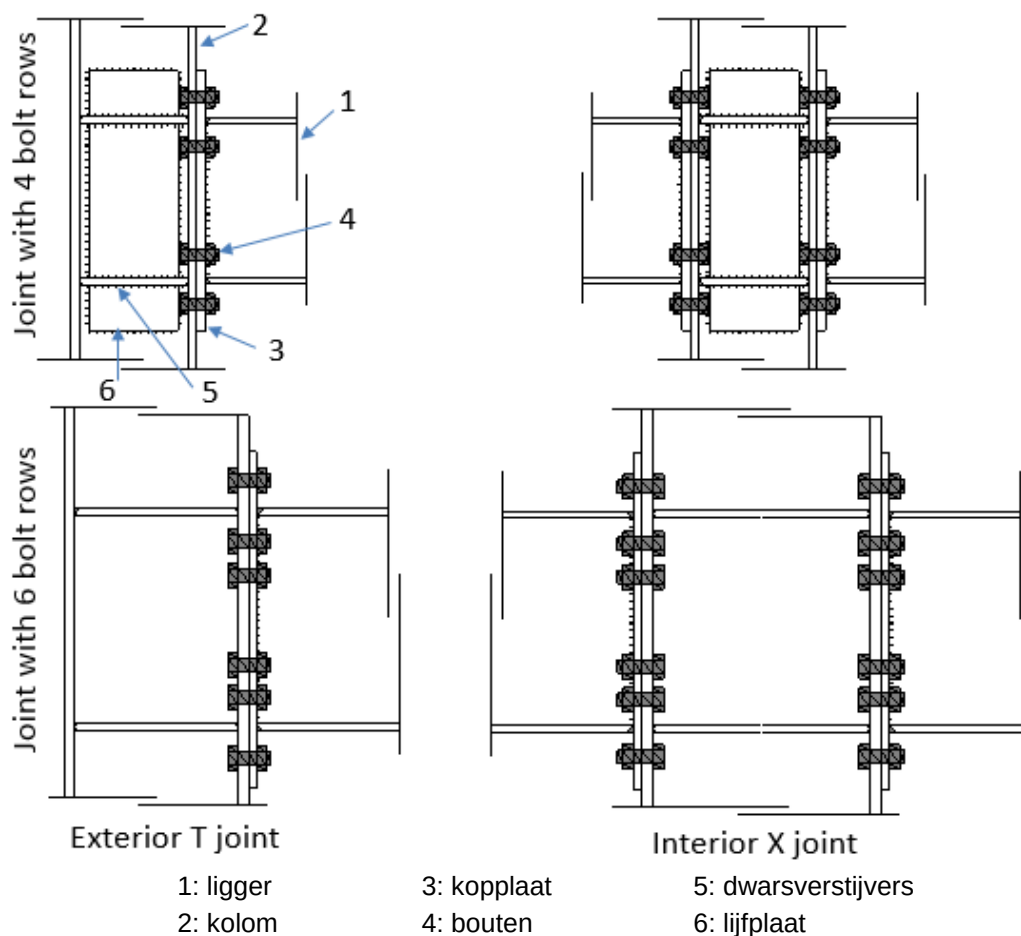
Component	Detaileringsregels	Referenties																				
Liggerlijf op dwarskracht	$V_{b,RD} = \chi_w A_{vb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ waarin: $A_{vb} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ als } \bar{\lambda}_w \geq 0.83 ;$ $\chi_w = 1.0 \text{ als } \bar{\lambda}_w < 0.83$ Met $\bar{\lambda}_w = 0.3467(h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}$	EC3-1-5 5.3																				
Kolomflens op stuik	Voor enkele boutrij (twee bouten) op dwarskracht: $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ met: Voor randbouten: $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, \quad 2.5]$ Voor binnenste bouten: $k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, \quad 2.5]$ α_b afhankelijk van de dwarskrachtrichting en de positie van de boutrijen: Verbinding met 4 boutrijen <table><tr><td>Dwarskracht <i>gaat omlaag</i></td><td>Dwarskracht <i>gaat omhoog</i></td></tr><tr><td>Boutrijen 1, 3 en 4:</td><td>Boutrijen 1, 2 en 4:</td></tr><tr><td>$\alpha_b = 1.0$</td><td>$\alpha_b = 1.0$</td></tr><tr><td>Boutrij 2:</td><td>Boutrij 3:</td></tr><tr><td>$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$</td><td>$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$</td></tr></table> Verbinding met 6 boutrijen <table><tr><td>Dwarskracht <i>gaat omlaag</i></td><td>Dwarskracht <i>gaat omhoog</i></td></tr><tr><td>Boutrijen 1, 3 en 5:</td><td>Boutrijen 1, 3 en 5:</td></tr><tr><td>$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$</td><td>$\alpha_b = 1.0$</td></tr><tr><td>Boutrijen 2, 4 en 6:</td><td>Bout 2, 4 en 6:</td></tr><tr><td>$\alpha_b = 1.0$</td><td>$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$</td></tr></table>	Dwarskracht <i>gaat omlaag</i>	Dwarskracht <i>gaat omhoog</i>	Boutrijen 1, 3 en 4:	Boutrijen 1, 2 en 4:	$\alpha_b = 1.0$	$\alpha_b = 1.0$	Boutrij 2:	Boutrij 3:	$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$	$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$	Dwarskracht <i>gaat omlaag</i>	Dwarskracht <i>gaat omhoog</i>	Boutrijen 1, 3 en 5:	Boutrijen 1, 3 en 5:	$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$	$\alpha_b = 1.0$	Boutrijen 2, 4 en 6:	Bout 2, 4 en 6:	$\alpha_b = 1.0$	$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$	EC3-1-8 3.6.1
Dwarskracht <i>gaat omlaag</i>	Dwarskracht <i>gaat omhoog</i>																					
Boutrijen 1, 3 en 4:	Boutrijen 1, 2 en 4:																					
$\alpha_b = 1.0$	$\alpha_b = 1.0$																					
Boutrij 2:	Boutrij 3:																					
$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$	$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$																					
Dwarskracht <i>gaat omlaag</i>	Dwarskracht <i>gaat omhoog</i>																					
Boutrijen 1, 3 en 5:	Boutrijen 1, 3 en 5:																					
$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$	$\alpha_b = 1.0$																					
Boutrijen 2, 4 en 6:	Bout 2, 4 en 6:																					
$\alpha_b = 1.0$	$\alpha_b = \min[1.0, \quad p / 3d_0 - 0.25]$																					
Kopplaat op stuik	Voor eenvoudige boutrij (twee bouten) op dwarskracht: $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ Voor randbouten: $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, \quad 2.5]$ Voor binnenste bouten: $k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, \quad 2.5]$ α_b afhankelijk van de dwarskrachtenrichting en de positie van de boutrijen Verbinding met 4 boutrijen	EC3-1-8 3.6.1																				

	Dwarskracht <i>gaat omlaag</i> Boutrij 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ Boutrij 2 en 4: $\alpha_b = 1.0$ Boutrij 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ Verbinding met 6 boutrijen Dwarskracht <i>gaat omlaag</i> Boutrij 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ Boutrij 2, 4 en 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ Boutrij 3 en 5: $\alpha_b = 1.0$	Dwarskracht <i>gaat omhoog</i> Boutrij 1 en 3: $\alpha_b = 1.0$ Boutrij 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ Boutrij 4: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ Dwarskracht <i>gaat omhoog</i> Boutrij 1, 3 en 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ Boutrij 2 en 4: $\alpha_b = 1.0$ Boutrij 6: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$	
Bouten op dwarskrachten	Voor enkele boutrij (twee bouten) op dwarskracht: $F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ $\alpha_v = 0.5$ voor 10.9 bouten.		EC3-1-8 3.6.1

3.5. Onverstijfde ligger-kolomverbindingen met uitstekende kopplaat

3.5.1. Beschrijving van de verbindingsgemetrie

De geometrie van de verbinding wordt beschreven in Figuur 3.10, dit komt overeen met een onverstijfde verbinding met uitstekende kopplaat. Afhankelijk van de liggerhoogte, kunnen er 4 of 6 boutrijen geplaatst worden. Het gebruik van lijfplaten is een optie om het kolomlijf, indien nodig, te versterken. Daarnaast kunnen er dwarsschotten (kolomverstijving) gebruikt worden bij alle uitvoeringen.



Figuur 3.10 Beschrijving van onverstijfde verbinding met uitstekende kopplaat

3.5.2. Lijst van systemen waarvoor de verbinding is geprekwalificeerd

Onverstijfde verbindingen met uitstekende kopplaat geprekwalificeerd volgens dit document, kunnen worden gebruikt in de volgende constructiesystemen:

- Centrisch geschoorde raamwerken (i.e. MRF + CBFs)
- Excentrisch geschoorde raamwerken (i.e. MRF + EBFs)

Een aanvullende eis is dat de ligger-kolom loodrecht op elkaar aansluiten en dat een gangbare overspanningen worden toegepast voor het systeem dat aan de seismische belasting weerstand biedt. Dit betekent, geen ligger onder een helling toepassen.

3.5.3. Lijst met limietwaarden voor geprekwalificeerde data

Tabel 3.5 vat de limietwaarde samen van de geprekwalificeerde data. Deze tabel zal aan het einde van het project compleet worden gemaakt.

Tabel 3.5 Limietwaarden van de geprekwalificeerde data

Elementen	Parameters	Applicatie domein
<i>Ligger</i>	Hoogte	Maximum = 600mm
	Lengte/hoogte ratio	Maximum = 23, Minimum = 10
	Flens dikte	Maximum = 19mm
	Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Kolom</i>	Hoogte	Maximum = 550mm
	Flens dikte	Maximum = 31mm
	Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Ligger/kolom hoogte</i>		
<i>Kopplaat</i>	Dikte	18-25mm
	Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Doorlopende platen</i>	Dikte	Gelijk of groter dan de dikte van de verbonden liggerflens.
	Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Aanvullende platen</i>	Dikte	Tabel 3.6
	Materiaal	Van S235 tot S355
<i>Bouten</i>		HV of HR
	Grootte	Tabel 3.6
	Klasse	10.9
	Aantal boutrijen	Tabel 3.6
	Sluitring	
	Gaten	
<i>Lassen</i>	Kopplaat – liggerflenzen	Full penetration spleetlas versterkt met hoeklas (Figuur 3.9)
	Dwarsschotten–kolomflenzen	Full penetration spleetlassen (Figuur 3.9)
	Lijfplaten –kolomflenzen	Full penetration spleetlassen ((Figuur 3.9)
	Andere lassen	Hoeklassen: Dikte dient groter dan 0,55 keer de dikte van de te verbinden plaat te zijn.

3.5.4. Ontwerpprocedure

Aanvullend op de gemaakte keuzes m.b.t. knoopafmetingen en materialen, dienen de volgende 3 ontwerpstappen van de componentenmethode te worden beschreven:

- Karakterisering van de componenten
- Montageprocedure
- Knoopclassificatie en ontwerpcontroles

3.5.4.1. Algemene procedure

Stap 1: Initiële keuze van de knoopafmetingen en materialen

- Boutklasse, boutafmetingen en aantal boutrijen
- Dikte en afmetingen van de kopplaat
- Dikte en afmetingen van de dwarsschoten
- Dikte en afmetingen van de lijfplaten (indien aanwezig)
- Lasspecificaties.

Stap 2: Karakterisering van de componenten

- Weerstand componenten (knoop onder buiging)
- Stijfheid componenten (knoop onder buiging)
- Weerstand componenten (knoop op dwarskracht)

Stap 3: Montageprocedures

- Weerstand verbinding op buiging
- Stijfheid knoop op buiging
- Weerstand verbinding op dwarskracht
- Ductiliteitsgraad van de verbinding

Stap 4: Knoopclassificatie en ontwerpcontroles

- Weerstand op buiging
- Stijfheid op buiging
- Weerstand op dwarskracht
- Ductiliteit
- Controles

3.5.4.2. Initiële keuze van de knoopafmetingen en materialen

De aanbevelingen worden gegeven in Tabel 3.6, deze kunnen gebruikt worden als eerste schatting voor de afmetingen en materiaalkeuze van de verbinding.

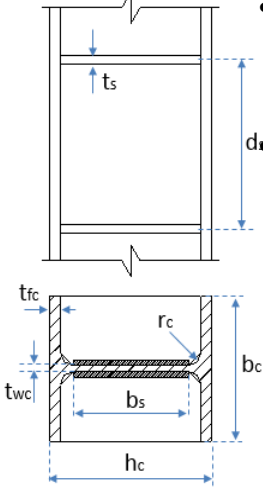
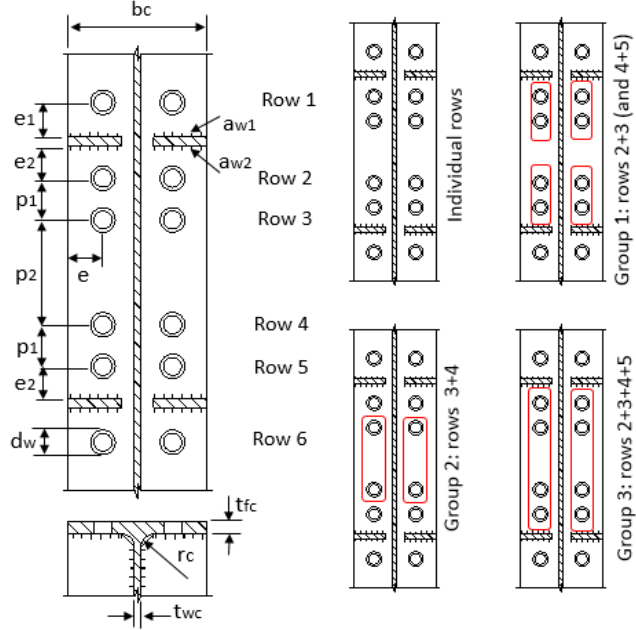
Tabel 3.6 **Initiële keuze van de knoop afmetingen en materialen**

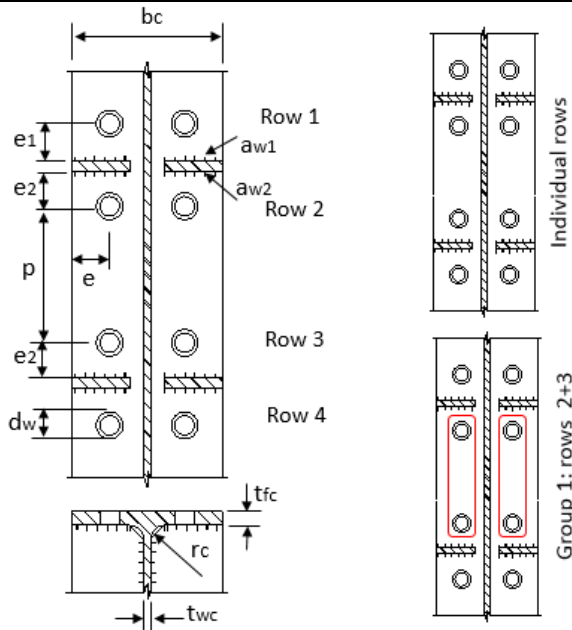
Verbinding elementen	Ligger afmetingen		
	Klein ($\approx$ IPE360)	Middel ($\approx$ IPE450)	Groot ($\approx$ IPE600)
Boutklasse	10.9		

Boutgrootte	M27	M30	M36
Aantal boutrijen	4	4	6
Kopplaat	Dikte $t_{ep}=(1/2÷2/3)d_b$ voor partiële knopen; $t_{ep}=(2/3÷5/6)d_b$ voor gelijke knopen; maar moet kleiner zijn dan de dikte van de kolomflensen. Afmetingen: de breedte moet gelijk zijn aan die van de kolomflens. Het verlengde deel moet groot genoeg zijn voor een boutrij, in overeenstemming met de voorschriften van EC3-1-8(§3.5).		
Aanvullende platen	Met HEB kolommen en IPE liggers, worden alleen aanvullende platen overwogen wanneer er een sterk afschuifpaneel vereist wordt. De dikte en de dimensies van de aanvullende platen moeten in overeenstemming zijn met de voorschriften uit EC3-1.8 (§ 6.2.6.1).		
Dwarsschotten	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.		
Lasdetails			
Notitie: t_{ep} is de kopplaatdikte en d_b is de nominale boutdiameter.			

3.5.4.3. Montageprocedures en ontwerpcontroles

Classificatie type	Criteria			Referenties
Weerstand in buiging	$M_{con,Rd} < M_{con,Ed}$: Onvolledig sterke verbinding $M_{con,Rd} \approx M_{con,Ed}$: Gelijke sterkte verbinding $M_{con,Rd} > M_{con,Ed}$: Volledige sterke verbinding $V_{wp,Rd} < \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: zwak afschuifpaneel $V_{wp,Rd} \approx \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: Afschuifpaneel symmetrische belast $V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: Sterk afschuifpaneel Met: $F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ (I = 1 tot 5 voor knopen met 6 boutrijen en i= 1 tot 3 voor knopen met 4 boutrijen), Is de transversale dwarskracht in de verbinding, ten gevolge van de boutrijen die op trek belast zijn. $F_{fbc,Rd}$: De weerstand van de liggerflenzen en het lijf op druk.			Equaljoints
Starheid classificatie	<i>Classificatie</i> Semi-stijve knopen Stijve knopen	<i>Geschoorde raamwerken</i> $0.5 \leq k_b < 8$ $k_b \geq 8$	<i>Ongeschoorde raamwerken</i> $0.5 \leq k_b < 25$ $k_b \geq 25$	EC3-1-8 5.2.2
	$k_b = S_j / (EI_b / L_b)$			
Weerstand dwarskracht	$V_{con,Rd} < V_{b,Rd}$: Onvolledige weerstand op dwarskracht. $V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$: Gelijke weerstand op dwarskracht. $V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$: Volledige weerstand op dwarskracht.			
Ductiliteit classificatie	$\beta_{max} \leq 1.0$: Ductiliteitsgraad 1 $\beta_{max} > 1.0$ and $\eta_{max} \leq 0.95$: ductiliteitsgraad 2 Met $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$			Equaljoints

Component	Detaileringsregels	Referenties
Afschuifpaneel op dwarskracht	$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} + \frac{4 (0.25 t_s^2 f_{y,s}) (b_c - t_{wc} - 2r_c)}{d_s}$  - Afschuifpaneel op dwarskracht met dwarsschotten in het lijf zonder lijfplaat: $A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc}$ - Column web panel in shear with transverse web stiffeners and additional plate: Afschuifpaneel op dwarskracht met dwarsschotten en met een lijfplaat: $A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc} + t_{wc} b_s$	EC3-1-8 6.2.6.1
Liggerdoorsnede op buiging	$M_{b,Rd} = W_{b,p} f_{y,b}$ $W_{b,p}$ het plastisch weerstandsmoment van de ligger. $f_{y,b}$ is de vloeisterkte van de ligger.	
Kolomflens op buiging	 Uitvoeringen met 6 boutrijen	EC3-1-8 6.2.6.4



Uitvoeringen met 4 boutrijen

Voor elke boutrij of groep van boutrijen, wordt de weerstand bepaald met de volgende formule:

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

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

Met:

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

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

$$m = 0.5(b_c - 2e - t_{wc} - 1.6r_c)$$

$n = \min[e, 1.25m]$, voor cirkelpatronen kan $n=\infty$ gebruikt worden.

$e_w = 0.25d_w$ (waarin d_w de diameter is van de volgving)

Effectieve lengtes

❖ Verbinding met 6 boutrijen

Boutrij 1:

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

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

Boutrij 2 (of rij 5):

Individuele rij:

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

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

Eerste rij van groep 1 of groep 3

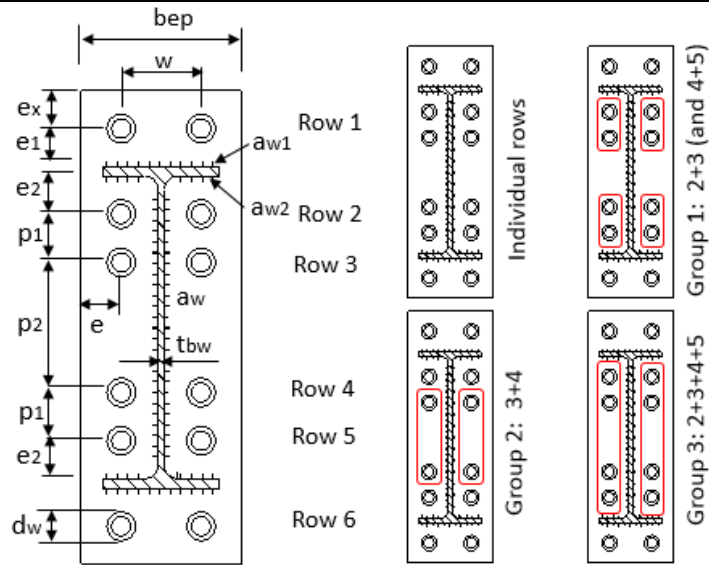
$$\ell_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 0.5p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)]$$

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

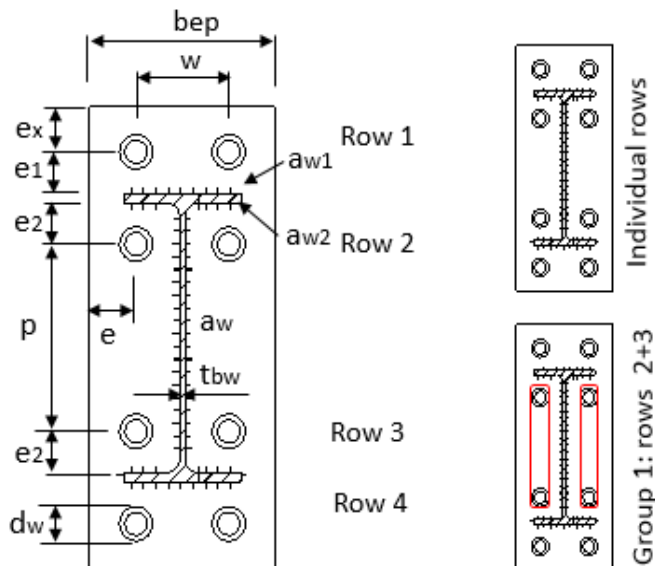
Boutrij 3 (of rij 4):

	<i>Individueel:</i> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \quad 4m + 1,25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1,25e$ <i>Laatste rij van groep 1:</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, \quad 2m + 0.625e + 0.5p_1]$ $l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_1$ <i>Één rij van groep 2:</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, \quad 0.5p_2 + 0.5\alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5p_2 + 0.5\alpha m$ <i>Tussenrij van groep 3:</i> $l_{eff,1} = p_1 + p_2$ $l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)$ α gegeven door Figuur 6.11 in EC3-1-8, afhankelijk van: $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ met: $m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 2 of 5}$ ❖ Verbinding met 4 boutrijen <u><i>Boutrij 1:</i></u> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \quad \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <u><i>Boutrij 2:</i></u> <i>Individueel:</i> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \quad \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <i>Een rij van groep 2+3</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p, \quad 0.5p + 0.5\alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5p + 0.5\alpha m$ <u><i>Boutrij 3: gelijk aan boutrij 2</i></u> α gegeven door Figuur 6.11 in EN-1993-1-8, afhankelijk van: $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ met: $m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 2 of 3}$	
--	---	--

Kopplaat
op buiging



Uitvoeringen met 6 boutrijen



Uitvoeringen met 4 boutrijen

Voor elke boutrij of groep van boutrijen, moet de weerstand worden berekend met de volgende formules:

$$F_{pb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}] \text{ met}$$

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

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

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

$$\begin{cases} m = 0.5(b_{ep} - 2e - t_{bw} - 1.6a_w \sqrt{2}) \\ n = \min[e, 1.25m] \end{cases} \text{ Voor boutrijen tussen de liggerflenzen.}$$

EC3-1-8
6.2.6.5

$\begin{cases} m = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \\ n = \min[e_x, 1.25m] \end{cases}$ voor boutrijen buiten de liggerflenzen. (Voor de cirkelvormige vloeipatronen kan $n=\infty$ gebruikt worden). $e_w = 0.25d_w$ Effectieve lengte ❖ <i>Verbinding met 6 boutrijen</i> <u>Boutrij 1:</u> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e \\ 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min[4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x]$ <u>Boutrij 2 (of rij 5):</u> <i>Individuele rij:</i> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <i>Eerste rij van een groep 1 (rij 2+3 of 4+5)</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 0.5p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,2} = 0.5p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <u>Boutrij 3 (of rij 4):</u> <i>Individuele rij:</i> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, 4m + 1.25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1.25e$ <i>Laatste rij van groep 1 (rij 2+3 of 4+5):</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 2m + 0.625e + 0.5p_1]$ $l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_1$ <i>Eerste rij (of laatste rij) van groep 2 (rij 3+4):</i> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, 2m + 0.625e + 0.5p_2]$ $l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_2$ <i>Tussen gelegen rij van een groep 3 (rij 2+3+4+5):</i> $l_{eff,1} = p_1 + p_2$ $l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)$ α gegeven in Figuur 6.11 van EN-1993-1-8, afhankelijk van: $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ met: $m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 2 of 5}$ ❖ <i>Verbinding met 4 boutrijen</i> <u>Boutrij 1:</u> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e \\ 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min[4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x]$ <u>Boutrij 2:</u> <i>Individuele rij:</i>	
--	--

	$l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ Een rij van groep 2+3 $l_{eff,1} = \min[\pi m + p, 0.5p + 0.5\alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5p + 0.5\alpha m$ <u>Boutrij 3: gelijk aan die van boutrij 2:</u> α gegeven volgens figuur 6.11 in EC3-1-8, afhankelijk van: $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ $m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ voor boutrij 2 of 3}$	
Liggerflenz en en lijf op druk	$F_{fbc,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb})$ Met: • h de liggerhoogte; • $M_{c,Rd}$ de rekenwaarde van de momentweerstand van de ligger, indien nodig gereduceerd i.v.m. de dwarskracht, zie EN 1993-1-1 • t_{fb} de flensdikte van de ligger	EC3-1-8 6.2.6.7
Kolomlijf en dwarsschotten op druk	De weerstand van het kolomlijf en de dwarsschotten kunnen als volgt worden berekend: $F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ Met: $b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$ A_{cp} het oppervlak van de dwarsschotten (beide zijden); de reductiefactor k_{wc} neemt de normaalspanning in het kolomlijf mee, gegeven volgens 6.2.6.2(2) van EC3-1-8; De reductiefactor ω is gegeven in Tabel 6.3 van EC3-1-8; <u>Notitie:</u> De reductie ten gevolge van knikken van het kolomlijf en de dwarsschotten onder transversale compressie zijn verwaarloosd. De afmetingen (de slankheid) van de dwarsschotten om aan deze voorwaarde te voldoen wordend in Tabel 4.3.1. getoond.	EC3-1-8 6.2.6.2
Liggerlijf op trek	$F_{wbt,Rd} = b_{eff,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ De effectieve breedte $b_{eff,t,wb}$ van het liggerlijf op trek moet gelijk zijn aan de effectieve lengte van het equivalente T-stuk, wat de kopplaat op buiging representeert voor een individuele boutrij of boutgroep.	EC3-1-8 6.2.6.8
Kolomlijf op trek	$F_{wcr,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ De effectieve breedte $b_{eff,t,wc}$ van de kolomflens op trek dient gelijk zijn aan de effectieve lengte van het equivalente T-stuk dat de kolomflens op buiging representeert voor een individuele boutrij of boutgroep. De reductiefactor ω is gegeven in Tabel 6.3 van EC3-1-8.	EC3-1-8 6.2.6.3
Bouten op trek	De weerstand van een boutrij (twee bouten) op trek wordt als volgt gegeven:	EC3-1-8 3.6.1

	$F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ Met: f_{ub} de treksterkte van de bout; A_s het spanningsdoorsnede van de bout;	
--	--	--

Stijfheid componenten (knoop onder buiging)

Component	Detaileringsregels	Referenties
Afschuifpaneel op dwarskracht	$k_1 = \frac{0.38A_{vc}}{\beta z}$ De transformatieparameter is gegeven in Tabel 5.4 van EC3-1-8. De interne arm z, van de verbinding, is gegeven volgens EC3-1-8, 6.3.3.1.	EC3-1-8 6.3.2
Kolomflens in buiging	Voor een enkele boutrij op buiging: $k_4 = \frac{0.9b_{eff,cf}t_{fc}^3}{m^3}$ De effectieve breedte b_{eff} is de kleinste effectieve lengte van de boutrij (individueel of als onderdeel van een groep van boutrijen).	EC3-1-8 6.3.2
Kopplaat in buiging	Voor een enkele boutrij op trek: $k_5 = \frac{0.9b_{eff,ep}t_{ep}^3}{m^3}$ De effectieve breedte b_{eff} is de kleinste effectieve lengte van de boutrij (individueel of als onderdeel van een groep van boutrijen).	EC3-1-8 6.3.2
Kolomlijf op trek	Voor een enkele boutrij op trek: $k_3 = \frac{0.7b_{eff,wc}t_{wc}}{d_c}$ De effectieve breedte b_{eff} is de kleinste effectieve lengte van de boutrij (individueel of als onderdeel van een groep van boutrijen) van de kolomflens op buiging.	EC3-1-8 6.3.2
Bouten op trekspanning	Voor een enkele boutrij op trek: $k_{10} = 1.6A_s / L_b$	EC3-1-8 6.3.2

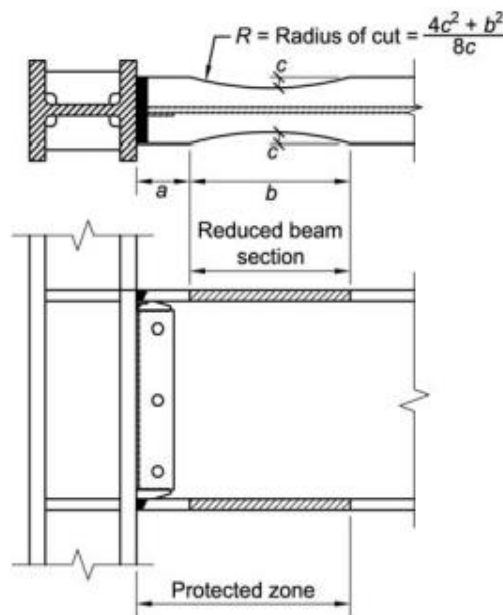
Weerstand componenten (knoop op dwarskracht)

Component	Detaileringsregels	Referenties				
Liggerlijf op dwarskracht	$V_{b,RD} = \chi_w A_{vb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ Met: $A_{vb} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ als } \bar{\lambda}_w \geq 0.83 ;$ $\chi_w = 1.0 \text{ als } \bar{\lambda}_w < 0.83$ Met $\bar{\lambda}_w = 0.3467(h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}$	EC3-1-5 5.3				
Kolomflens op stuik	Voor een enkele boutrij (twee bouten) op dwarskracht: $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ Met: $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, \quad 2.5]$ α_b afhankelijk van de dwarskrachtrichting en de boutrijpositie: <table><tr><td>Dwarskracht <i>gaat omlaag</i></td><td>Dwarskracht <i>gaat omhoog</i></td></tr><tr><td>Boutrijen 1, 5 en 6 (of (*) rij 1, 3 en</td><td>Boutrijen 1, 2 en 6 (of(*) rijen 1,</td></tr></table>	Dwarskracht <i>gaat omlaag</i>	Dwarskracht <i>gaat omhoog</i>	Boutrijen 1, 5 en 6 (of (*) rij 1, 3 en	Boutrijen 1, 2 en 6 (of(*) rijen 1,	EC3-1-8 3.6.1
Dwarskracht <i>gaat omlaag</i>	Dwarskracht <i>gaat omhoog</i>					
Boutrijen 1, 5 en 6 (of (*) rij 1, 3 en	Boutrijen 1, 2 en 6 (of(*) rijen 1,					

	4): $\alpha_b = 1.0$ Boutrijen 2 en 4 (of^(*): rij 2): $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_1 / 3d_0 - 0.25]$ Boutrij 3: $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_2 / 3d_0 - 0.25]$ (^(*)): gebruikt voor een knoop met 4 boutrijen (p₁ moet vervangen worden door p)	en 4) $\alpha_b = 1.0$ Boutrijen 3 en 5 (of^(*): rij 3) $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_1 / 3d_0 - 0.25]$ Boutrij 4: $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_2 / 3d_0 - 0.25]$	
Kopplaat op stuik	Voor een enkele boutrij (twee bouten) op dwarskracht: $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, \quad 2.5]$ Dwarskracht <i>gaat omlaag</i> Boutrijen 2 en 6 (of^(*): rijen 2 en 4): $\alpha_b = 1.0$ Boutrij 1 (of^(*): rij 1): $\alpha_b = \min[1.0, \quad e_x / 3d_0]$ Boutrijen 3 en 5 (of^(*): rij 3): $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_1 / 3d_0 - 0.25]$ Boutrij 4: $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_2 / 3d_0 - 0.25]$ (^(*)): gebruikt voor knopen met 4 boutrijen (p₁ moet vervangen worden door p)	dwarskracht <i>gaat omhoog</i> Boutrijen 1 en 5 (of^(*): rijen 1 en 3): $\alpha_b = 1.0$ Boutrij 6 (of^(*): rij 4): $\alpha_b = \min[1.0, \quad e_x / 3d_0]$ Boutrijen 2 en 4 (of^(*): rij 2): $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_1 / 3d_0 - 0.25]$ Boutrij 3: $\alpha_b = \min[1.0, \quad p_2 / 3d_0 - 0.25]$	EC3-1-8 3.6.1
Bouten op dwarskracht	Voor een enkele boutrij (twee bouten) op dwarskracht: $F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ $\alpha_v = 0.6$ voor 8.8 bouten en $\alpha_v = 0.5$ voor 10.9 bouten.		EC3-1-8 3.6.1

3.6. Dog-bone verbindingen

De dog-bone verbindingen ofwel de gereduceerde liggersectie (reduced beam section, dit wordt aangegeven als RBS), werden beschouwd in het EqualJoints project als onderdeel van het te bestuderen gebruik van Europees staal voor grote ligger-kolomsamenstellingen. Dit gaat specifiek om het type verbindingen die vergelijkbaar zijn met dissipatieve verbindingen die ook in de Verenigde Staten voor constructies worden gebruikt. Daarop aansluitend vormen zij een speciale groep die niet direct gerelateerd aan de eerder besproken verbindingconfiguraties (met een console, verstijfd en uitstekende kopplaat, onverstijfd en uitstekend kopplaat). Het ontwerp in dit geval volgt daarom voornamelijk de AISC-voorschriften (zie de kenmerkende configuratie in Figuur 2.11). Sommige aspecten zoals voor het ontwerp van het afschuifpaneel kunnen echter direct worden overgenomen uit de eerder gegeven aanbevelingen voor volledige sterke verbindingen, dus in vorige configuraties t.b.v. ontwerpen in de Europese bouwpraktijk.



Figuur 3.11 Configuratie en afmetingen van verbindingen met een gereduceerde liggerdoorsnede (RBS) (ANSI/AISC 358)

Op basis hiervan moet het ontwerp aan de volgende eisen voldoen: AISC 341 (seismische voorzieningen voor stalen gebouwen), AISC 358-16 (geprekwalificeerde verbindingen voor seismische toepassingen) en AISC 360 (specificaties voor stalen gebouwen). Op basis van bovengenoemde normen volgt het ontwerp de volgende procedure:

1. Controleer de liggerslankheid m.b.t. lokale plooi bij seismische toepassing.

$$b_{bf}/(2t_{fb}) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{E/f_y}$$

2. Controleer de kolomslankheid m.b.t. knik bij seismische toepassing.

$$b_{cf}/(2t_{fc}) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{E/f_y}$$

3. Controleer de limieten van de liggerafmetingen conform AISC 358 artikel 5.3.1.

Merk echter op dat op basis van binnen het EqualJoints project uitgevoerde proeven, de liggerhoogte verhoogd kan worden van W36 naar W44. Het gedrag van dit laatste profiel voldoet aan de geprekwalificeerde eisen.

4. Controleer limieten van de kolomafmetingen conform AISC 358 artikel 5.3.2
Merk echter op dat op basis van binnen het EqualJoints project uitgevoerd proeven, de kolomafmetingen verhoogd kan worden van W36 naar W40. Het gedrag van dit laatste profiel voldoet aan de geprekwalificeerde eisen.
5. Bepaal het plastisch weerstandsmoment in het midden van de gereduceerde liggerdoorsnede (AISC 358 artikel 5.8, Stap 2).

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

Met:

Z_{RBS} het plastisch weerstandsmoment in het midden van de gereduceerde liggerdoorsnede.

$Z_{pl,x}$ het plastisch weerstandsmoment om de y-as voor de volledige liggerdoorsnede.

t_{fb} de flensdikte van de ligger.

h_b de liggerhoogte.

c de diepte van flensreductie bij de gereduceerde liggerdoorsnede.

6. Bepaal het mogelijke maximumale moment in de gereduceerde liggersdoorsnede (AISC 358 artikel 5.8 Stap 3).

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

Met:

C_{pr} factor die rekening houdt met de sterkte van de verbinding waarbij versteviging mee wordt genomen, lokale weerstand, extra versterking door verstijvers en andere verbindingcondities, als volgt berekend: =

$$\frac{f_y + f_u}{2 f_y} \leq 1.2$$

R_y Verhouding tussen de verwachte vloeigrens en de gespecificeerde minimum vloeigrens f_y .

7. Bereken de dwarskracht in het midden van de RBS (AISC 358 artikel 5.8 Stap 4).

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

8. Bereken de bijbehorende dwarskracht in de kolom.

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

9. Bereken het waarschijnlijke maximum moment t.p.v. de kolomflens (AISC 358 artikel 5.8 Stap 5)

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

Met:

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

10. Bereken het verwachte plastisch moment van de ligger (AISC 358 artikel 5.8 Stap 6)

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

11. Controleer of de buigweerstand kleiner is dan $\Phi_d M_{pe}$ (AISC 358 artikel 5.8 Stap 7)

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

12. Bereken en controleer de geconcentreerde kracht in de kolom.

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

Met:

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

13. Controleer de momentverhouding kolom-ligger (AISC 341 artikel 9.6)

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

Met:

ΣM_{pc}^* de som van de momenten in de kolom boven en onder de verbinding op het snijvlak ligger- en kolomhartlijn.

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

ΣM_{pb}^* de som van de momenten, in de ligger, t.p.v. het snijvlak ligger- en kolomhartlijn.

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

ΣM_v het extra moment t.g.v. wijziging van het aangrijpingspunt van de dwarskracht van het plastisch scharnier naar de kolomhartlijn.

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

14. Controleer het afschuifpaneel op dwarskrachtenweerstand (AISC341 artikel 9.3)

$$0.75 P_c > P_r$$

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

15. Bereken de benodigde dikte van de lijfplaten.

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

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

16. Controleer de vereiste dikte van het kolomlijf en lijfplaten, indien aanwezig.

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

17. Controleer of dwarsschotten nodig zijn (AISC 358 Step 10)

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

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

18. Bereken de vereiste dikte van de dwarsschotten.

Check 1: $t_s \geq 0.5 t_{bf}$

Check 2: $P_b \leq \phi R_{ncol} + \phi R_{ncp}$

$$t_s \geq (P_b - \phi R_{ncol}) / (0.9 f_y b_{bf})$$

Zoals eerder aangegeven, volgen deze stappen de berekeningen volgens de AISC341 (Seismische Voorschriften voor stalen gebouwen), AISC358-16 (Voorgekwalificeerde Verbindingen voor Seismische toepassingen in gebouwen) en AISC360 (specificaties voor Stalen gebouwen). Dit is consistent met het doel van de binnen het project uitgevoerde proeven welke niet de Europese manier van ontwerpen of Europese doorsnedes afdekken, maar in plaats daarvan zich concentreerde op het valideren van het gebruik van Europees staal dat is vervaardigd volgens de voorschriften uit de Verenigde Staten en ook is gebruikt in de Verenigde Staten voor constructies.

Literatuur

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 and 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 and 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 and 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., and 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.

Brandonisio 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 and retrofitting of buildings*. European Standard EN 1998-3:2005, Brussels.

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

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

Tartaglia R, D'Aniello M, Rassati GA, Swanson JA, Landolfo 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

