

Het berekenen van de belasting op bouten door trek, stuw en afschuiving.

Zie tabellen voor gegevens:

Boutklassen	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9	gat diameter	Steel	Spannings	minimum afstand	minimum afstand	minimum afstand	voorkeurs afstand	voorkeurs afstand	voorkeurs afstand	
						$d_0$	doorsnede	doorsnede	$e_1 = e_2$	$p_1$	$p_2$	$e_1$	$e_2$	$p_1 = p_2$	
Vloegrens	240	300	480	640	900	M12	13	113	84,3	20	35	45	30	25	45
Treksterkte	400	500	600	800	1000	M16	18	201	157	25	40	55	40	30	55
Schuifactor	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	M20	22	314	245	30	50	70	45	40	70
						M24	26	452	352	35	60	80	55	50	80
							mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	mm

Plaatdikte t	Aanbevolen boutdiameter	Aanbevolen gatdiameter $d_0$
5 t/m 8	M12	13
9 t/m 12	M16	18
13 t/m 22	M20	22
> 22 mm	M24	26

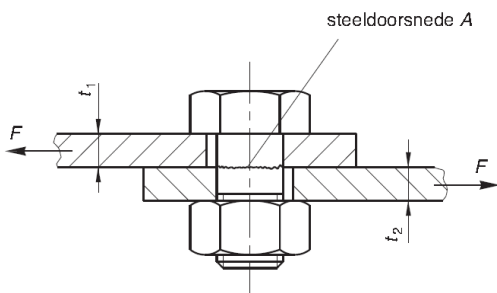
Maximale waarden	Bij corrosie	geen corrosie	onbehandel staal
$e_1$	$\leq 4t + 40$ mm		$\leq 8t$ of $\leq 125$ mm
$e_2$	$\leq 4t + 40$ mm		$\leq 8t$ of $\leq 125$ mm
$p_1$	$\leq 14t$ of $\leq 200$ mm	$\leq 14t$ of $\leq 200$ mm	$\leq 14t$ of $\leq 175$ mm
$p_2$	$\leq 14t$ of $\leq 200$ mm	$\leq 14t$ of $\leq 200$ mm	$\leq 14t$ of $\leq 175$ mm

The diagram shows a rectangular plate with two rows of three bolts each. A horizontal force F is applied to the left edge. The spacing between bolts in each row is  $p_1$ . The spacing between the two rows is  $p_2$ . The distance from the edge of the plate to the first bolt in each row is  $e_1$  and  $e_2$  respectively. To the right of the diagram, the following conditions are listed:

- $e_1 \geq 1,2 d_0$
- $e_2 \geq 1,2 d_0$
- $p_1 \geq 2,2 d_0$
- $p_2 \geq 2,4 d_0$

Belasting op de bout door afschuiving:



$$F_{v,Rd} = \frac{(\alpha_v \cdot f_{u,b} \cdot A)}{\gamma_{M2}}$$

$F_{v,Rd}$  = De maximale toelaatbare schuifkracht

$\alpha_v = 0,6$  → veiligheidsfactor bij afschuiven

$f_{u,b}$  = nominale treksterkte

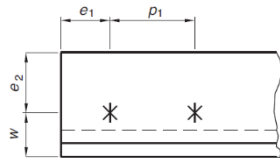
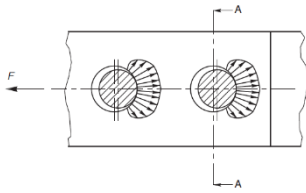
A = spanningsdoorsnede

$\gamma_{M2}$  = veiligheidsfactor partiële = 1,25

Voorbeeld: Bout M12 klasse 4.6 → maximale schuifkracht op de bout =  $(0,6 \cdot 400 \cdot 84,3) / 1,25 \rightarrow 16,19$  kN.

Voorbeeld: Bout M16 klasse 8.8 6 → maximale schuifkracht op de bout =  $(0,6 \cdot 800 \cdot 157) / 1,25 \rightarrow 60,28$  kN.

Belasting op de bout door stuik:



$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

$k_1$ :

- voor randbouten kleinste waarde van  $2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7$  of  $2,5$ ;
- voor binnenste bouten de kleinste waarde van  $1,4 \cdot p_2/d_0 - 1,7$  of  $2,5$ .

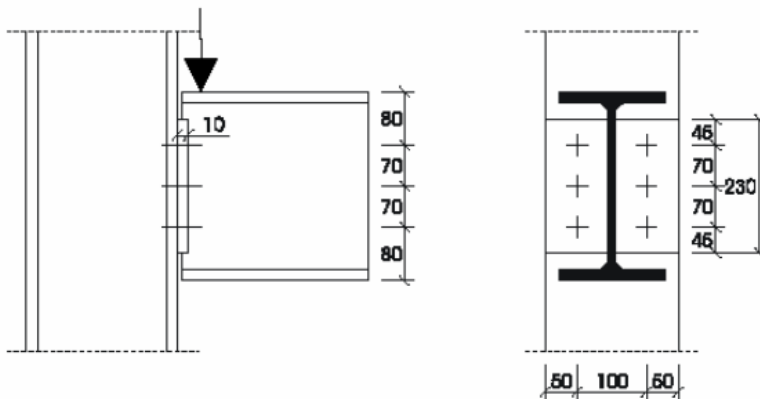
$\alpha_b$ :

- de kleinste waarde van  $\alpha_d$ ;  $f_{ub}/f_u$  of  $1,0$ ;
- voor eindbouten  $\alpha_d = e_1/3d_0$ ; voor binnenste bouten  $\alpha_d = p_1/3d_0 - 0,25$ .

$$f_u = 0,6 \cdot f_{u,b} \text{ (60\% van de treksterkte)} \rightarrow \text{bij materiaal S235 is } f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

Stuik ontstaat als de bout beweegt in de plaat. Er ontstaat dan contactspanning. Hierbij is de boutdiameter van belang en de dikte van de plaat.

Voorbeeld: Een schetsplaat met 6 bouten M20 klasse 8.8 wordt belast met een kracht van 220 kN



Controleer of de 6 bouten bestand zijn tegen de afschuifkracht:

Oplossing:

De toegestane

afschuifkracht per bout is:

$$\frac{0,6 \cdot 800 \cdot 245}{1,25} = 94 \text{ kN.}$$

Voor 6 bouten geldt  $F = 564$  kN. Dus toelaatbaar.

Controleer of de bouten bestand zijn tegen stuik:

Gegevens: M20 klasse 8.8  $\rightarrow f_{u,b} = 800 \text{ N/mm}^2$  en  $f_u = 360 \text{ N/mm}^2 \rightarrow f_{u,b}/f_u = 2,22$

Verder:  $e_2 = 50 \text{ mm}$ ;  $p_2 = 100 \text{ mm}$ ;  $e_1 = 45 \text{ mm}$ ;  $p_1 = 70 \text{ mm}$ ;  $d_0 = 22 \text{ mm}$ ;  $d = 20 \text{ mm}$  en  $t = 10 \text{ mm}$

Voor alle bouten geldt:  $k_1 = (2,8 \cdot e_2/d_0) - 1,7 = (2,8 \cdot 50/22) - 1,7 = 4,66$  mm maar neem  $2,5$  !!

Voor de eindbout geldt:  $\alpha_d = e_1 / 3d_0 = 45 / (3 \cdot 22) = 0,68 \rightarrow$  kleinste waarde !! want  $0,68 < 2,22$  en  $< 1$

Voor de randbouten geldt:  $k_1 = (2,8 \cdot e_2/d_0) - 1,7 = (2,8 \cdot 50/22) - 1,7 = 4,66$  mm maar neem  $2,5$  !!

Voor de binnenste bouten geldt:  $k_1 = (1,4 \cdot p_2/d_0) - 1,7 = (1,4 \cdot 100/22) - 1,7 = 4,67 \rightarrow$  neem  $2,5$

Voor de binnenste bouten geldt:  $\alpha_d = (p_1 / 3d_0) - 0,25 = (70 / 3 \cdot 22) - 0,25 = 0,81$  maar  $0,81 > 0,68$

Dus  $\alpha_b =$  de kleinste waarde van  $\alpha_d$  of  $f_{u,b}/f_u$  of  $1,0$  dus  $\alpha_b = \alpha_d = 0,68$

De maximale stuikkracht per bout =  $\frac{2,5 \cdot 0,68 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10}{1,25} = 97920 \text{ N} \rightarrow$  neem  $98 \text{ kN}$  per bout.

Bij 6 bouten =  $588 \text{ kN} > 220 \text{ kN}$  Dus in orde.

Belasting van de bout op trekspanning:

De maximale trekkracht op een bout bereken je met:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

- $k_2$  = voor bouten met een verzonken kop  $k_2=0,63$ , anders  $k_2=0,9$ ;
- $f_{ub}$  = nominale treksterkte van de bout N/mm<sup>2</sup>;
- $A_s$  = spanningsdoorsnede van de bout in mm<sup>2</sup>;
- $\gamma_{M2}$  = partiële veiligheidsfactor (= 1,25).

Voorbeeld: Bout M16 klasse 5.6  $F_{t,Rd} = (0,9 \cdot 500 \cdot 157) / 1,25 = 56,52$  kN.

Om te voorkomen dat een plaat scheurt berekenen we de ponsweerstand. Dit is de maximale trekkracht op de plaat bij de kleinste doorsnede. Deze bereken je met:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

- $d_m$  = kleinste waarde van het gemiddelde van sleutelwijdte en afstand tussen de hoeken van de boutkop of moer in mm;
- $t_p$  = kleinste plaatdikte van de te verbinden delen in mm;
- $f_u$  = treksterkte van onderdelen in N/mm<sup>2</sup>.

Gecombineerde belastingen:

Als er zowel sprake is van afschuiving en trek dan worden de bouten dubbel belast. Dit komt vaak voor bij buigende momenten in combinatie met een roterende beweging.

Voor de krachten op een bout geldt dan:

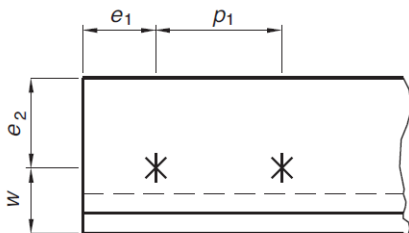
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Waarin:

- $F_{v,Ed}$  = afschuifkracht per bout in N;
- $F_{v,Rd}$  = afschuifweerstand van de bout in N/mm<sup>2</sup>;
- $F_{t,Ed}$  = trekkracht per bout in N;
- $F_{t,Rd}$  = trekweerstand van de bout in N/mm<sup>2</sup>.

Bij boutverbindingen is het raadzaam meerdere bouten te gebruiken.

Vooral bij schetsplaatverbindingen met hoekstaven is het aantal bouten belangrijk. De steek (afstand tussen de bouten) en de randafstanden zijn belangrijk.



De belasting op de hoekstaaf is nu afhankelijk van de grenskracht.

De grenskracht is afhankelijk van het aantal bouten, dikte van de plaat, treksterkte van de plaat, gatdiameter en een aantal factoren.

## Berekening van de grenskracht bij een hoekstaaf:

Met één bout:

$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5 d_0) t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

De reductiefactor is afhankelijk van de steek.

Zie de tabel:

Met twee bouten:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Steek $p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$3 d_0$	$3,5 d_0$	$4,0 d_0$	$4,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 bouten $\beta_2$	0,20	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70
3 bouten $\beta_3$	0,5	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70

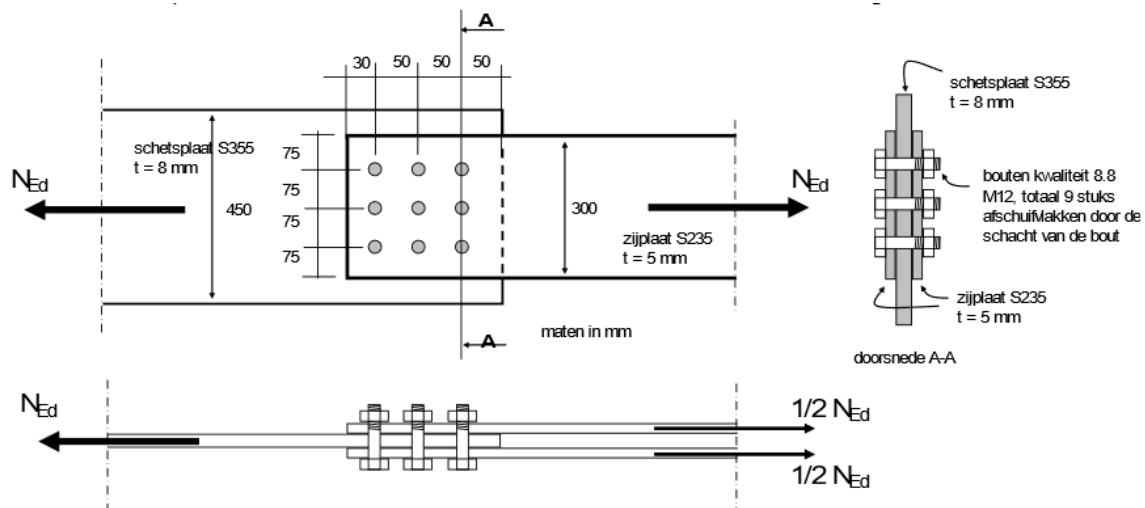
Met drie bouten:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

- $N_{u,Rd}$  = grenskracht in hoeklijnverbinding in N;
- $t$  = dikte van de hoeklijn in mm;
- $d_0$  = gatdiameter voor bout in mm;
- $f_u$  = treksterkte hoekstaaf in N/mm<sup>2</sup>;
- $\beta_{2 \text{ of } 3}$  = reductiefactor afhankelijk van steek  $p$ ;
- $\gamma_{M2}$  = partiële veiligheidsfactor (= 1,25).

Een voorbeeld berekening Zie tekeningen:



Een schetsplaat wordt met bouten verbonden aan 2 zijplaten. Zie beide aanzichten.

Er is gekozen voor 9 bouten klasse 8.8 , M12.

De verbinding wordt belast door een trekkracht  $N_{ed} = 569$  kN.

Situatiebeschrijving:

De trekkracht op de verbinding wordt overgedragen van de schetsplaat naar de zijplaten door afschuifkrachten op de bouten. Om de capaciteit (weerstand, sterkte) van de bouten te bepalen moeten we de afschuifsterkte van de bouten én de stuksterkte van de bouten in de schetsplaat en de zijplaten berekenen.

Vraag 1 De afschuifsterkte van een bout?

Antwoord: M12 klasse 8.8 → Treksterkte 800 N/mm<sup>2</sup> , doorsnede steel 113 mm<sup>2</sup> (bij de steeldoorsnede zit geen schroefdraad)

$$F_{v,Rd} = \frac{(\alpha_v \cdot f_{u,b} \cdot A)}{\gamma_{M2}} = (0,6 \cdot 800 \cdot 113) / 1,25 = 43,5 \text{ kN per afschuifvlak. Elke bout heeft 2 afschuifvlakken dus totaal 18 afschuifvlakken. Dus toelaatbaar.}$$

Vraag 2 De stuikweerstand van de bouten in de staalplaten.

$$\text{Met de formule } F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Om de stuikweerstand  $F_{b,Rd}$  per bout in de schetsplaat en de zijplaten te bepalen moeten we eerst vaststellen welke status een bout in beide platen heeft. Op basis van de status van een bout kunnen de correctiefactoren  $k_1$  en  $\alpha_b$  worden bepaald waarmee de rekenwaarde van de lokale stuiksterkte van het plaatmateriaal wordt berekend. Voor de berekening van de rekenwaarde van de stuikweerstand  $F_{b,Rd}$  van een bout in een plaat zijn de overige parameters in het model: de dikte van het plaatmateriaal:  $t$ ; de diameter van de bout:  $d$ .

Gegevens over het plaatmateriaal: Schetsplaat S 355 en  $t = 8$  mm en een zijplaat S 235 en  $t = 5$  mm.

Zie tabel:

Zijplaten	S235	360	5	12
Schetsplaat	S355	510	8	12
	Staalsoort	$F_u$ in N/mm <sup>2</sup>	T in mm	D in mm

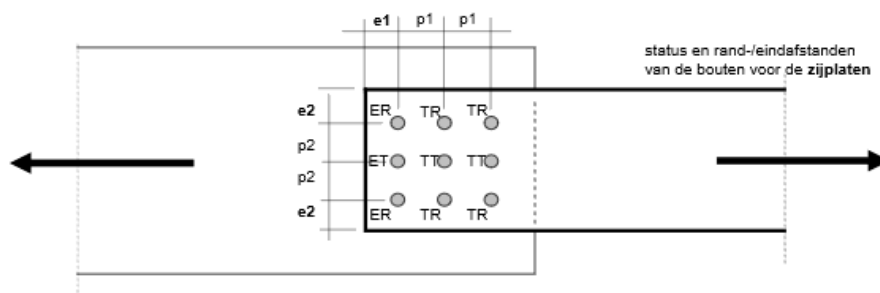
De grootte van de factoren  $k_1$  en  $\alpha_b$  worden bepaald door de eind- / rand- en/of tussen- afstanden van de verschillende boutgaten, in combinatie met de diameter van het boutgat ( $d_o$ ).

Gegeven is dat de gatdiameter  $d_o$  in beide platen 14 mm is. De eind- /-rand en onderlinge afstanden ( $e_1, e_2, p_1, p_2$ ) van de verschillende boutgaten kunnen worden afgelezen uit de tekening van de verbinding.

Let op dat de status van een bout verschillend kan zijn voor de berekening van de stuikweerstand in de schetsplaat en de berekening van de stuikweerstand in de zijplaten. Bijvoorbeeld: de status van de bouten op doorsnede A-A in de tekening is voor de schetsplaat 'eindbout' terwijl deze bouten voor de zijplaten de status 'tussenbout' hebben. Als de richting van  $N_{Ed}$  zou omkeren (en de boutgroep dus een drukkracht zou overdragen) zou dit net omgekeerd zijn.

### **Berekening stuik bij de zijplaten:**

Voor de berekening van de stuiksterkte van de zijplaten hebben de verschillende bouten, bij de gegeven richting van de kracht  $N_{Ed}$ , de status zoals aangegeven in de tekening en tabel. De betekenis van de aanduidingen in tekeningen en tabellen is: ER: eindbout (voor factor  $\alpha_b$  en randbout (voor factor  $k_1$ ), ET: eind- en tussenbout, TR: tussen- en randbout, TT: tussen- en tussenbout ( de begrippen 'tussenbout' en 'binnenste bout' zijn synoniem).

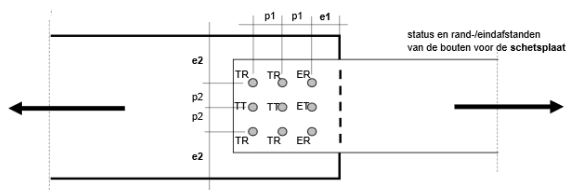


Zie tabel:

Aanduiding in tekening	Bepaling factor $\alpha_b$ voor afstanden evenwijdig aan de krachtrichting	$\alpha_b$	Bepaling factor $k_1$ voor afstanden loodrecht op de krachtrichting	$K_1$	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{y_{M2}}$ in kN
ER	Eindbout e1 = 30 mm	0,71	Randbout e2 = 75 mm	2,5	31
ET	Eindbout e1 = 30 mm	0,71	Tussenbout (binnenste bout) p2 = 75 mm	2,5	31
TR	Tussenbout (binnenste bout) p1 = 50 mm	0,94	Randbout e2 = 75 mm	2,5	41
TT	Tussenbout (binnenste bout) p1 = 50 mm	0,94	Tussenbout (binnenste bout) p2 = 75 mm	2,5	41
Berekening bouten op stuikbelasting bij de zijplaten					

### Berekening stuik bij de schetsplaat (middelste plaat):

Voor de bouten in de schetsplaat geldt bij gegeven krachtrichting wat de status is. Zie ook de tabel:



Aanduiding in tekening	Bepaling factor $\alpha_b$ voor afstanden evenwijdig aan de krachtrichting	$\alpha_b$	Bepaling factor $k_1$ voor afstanden loodrecht op de krachtrichting	$K_1$	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{y_{M2}}$ in kN
ER	Eindbout e1 = 50 mm	1	Randbout e2 = 150 mm	2,5	98
ET	Eindbout e1 = 50 mm	1	Tussenbout (binnenste bout) p2 = 75 mm	2,5	98
TR	Tussenbout (binnenste bout) p1 = 50 mm	0,94	Randbout e2 = 150 mm	2,5	92
TT	Tussenbout (binnenste bout) p1 = 50 mm	0,94	Tussenbout (binnenste bout) p2 = 75 mm	2,5	92
Berekening bouten op stuikbelasting bij schetsplaat (middelste plaat)					

Conclusie:

Op basis van het voorafgaande kunnen we de volgende conclusies trekken: voor alle bouten is de stuikweerstand in de zijplaten maatgevend ten opzichte van de stuikweerstand in de schetsplaat.

De afschuifsterkte van alle bouten in de verbinding is groter dan de stuikweerstand in de zijplaten (immers:  $43.5 > 41$ ). Voor de berekening van de rekenwaarde van de sterkte (weerstand) van de boutgroep mogen dus de stuikweerstand van de individuele bouten bij elkaar worden opgeteld.

Per zijplaat kan de boutgroep de volgende krachten overdragen:

$$2 * 31 + 31 + 2 * 41 + 4 * 41 = 339 \text{ kN.}$$

Er zijn 2 zijplaten dus de verbinding kan 678 kN aan.

$$\text{Of te wel : } 569/678 < 1$$

Controle op treksterkte:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

- $k_2$  = voor bouten met een verzonken kop  $k_2=0,63$ , anders  $k_2=0,9$ ;
- $f_{ub}$  = nominale treksterkte van de bout N/mm<sup>2</sup>;
- $A_s$  = spanningsdoorsnede van de bout in mm<sup>2</sup>;
- $\gamma_{M2}$  = partiële veiligheidsfactor (= 1,25).

De platen moeten worden gecontroleerd op treksterkte. De oppervlakte van de doorsnede van de schetsplaat is  $450 * 8 = 3600 \text{ mm}^2 - 13 * 8 \text{ mm}^2$  (doorsnede boutgat) =  $3496 \text{ mm}^2$

Voor de schetsplaat geldt  $F_{t,Rd} = (0,9 * 510 * 3496) / 1,25 = 1283 \text{ kN}$ . → voldoet

Voor een zijplaat geldt  $F_{t,Rd} = (0,9 * 360 * 1435) / 1,25 = 372 \text{ kN}$ . → Er zijn 2 zijplaten dus voldoet.