

Stufib

Studievereniging *fib*-Nederland



Krachtenverdeling in een kolomvoetplaatverbinding



staalbouwkundig adviesburo
van odenhoven

ADS - ERTNER

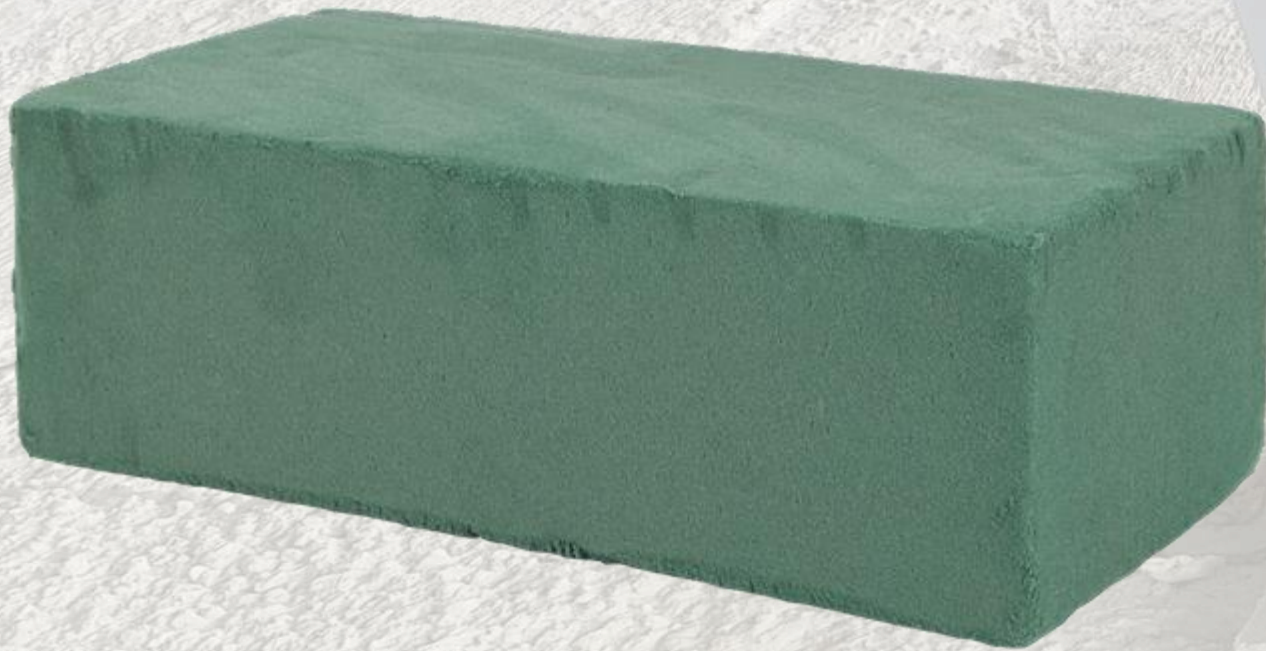
All Design Solutions



Marcel van Odenhoven

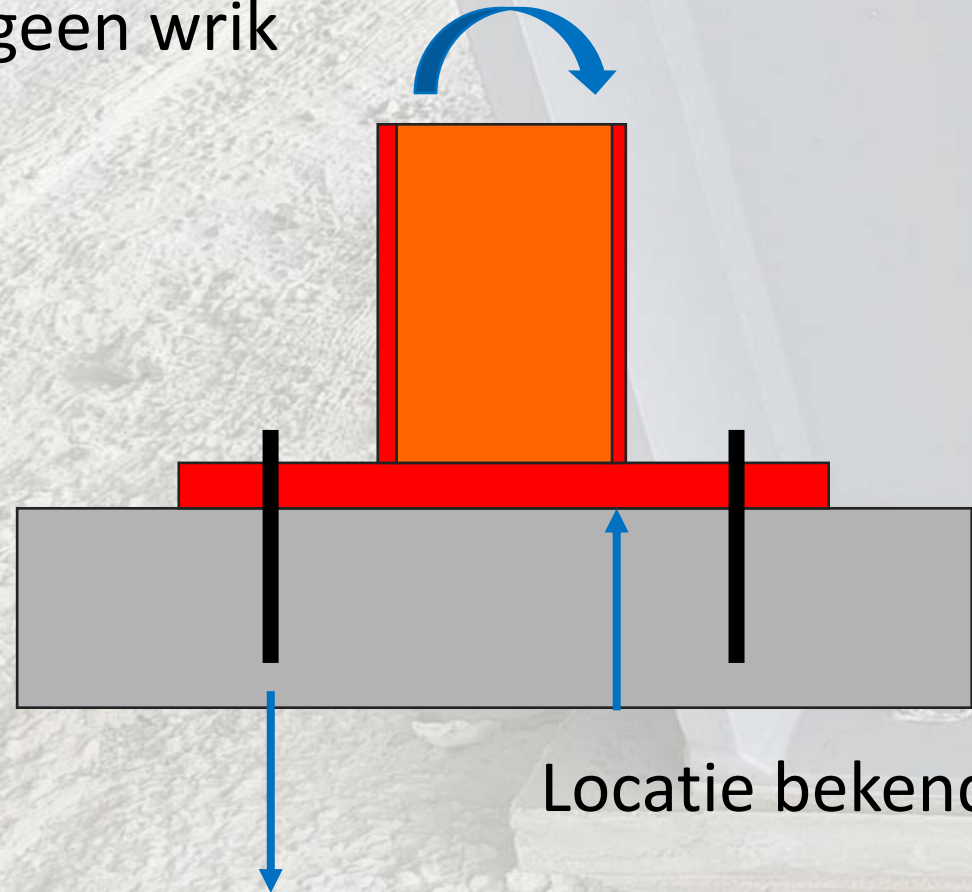
Arco de Gelder

Steekschuim / Oase / Oasis



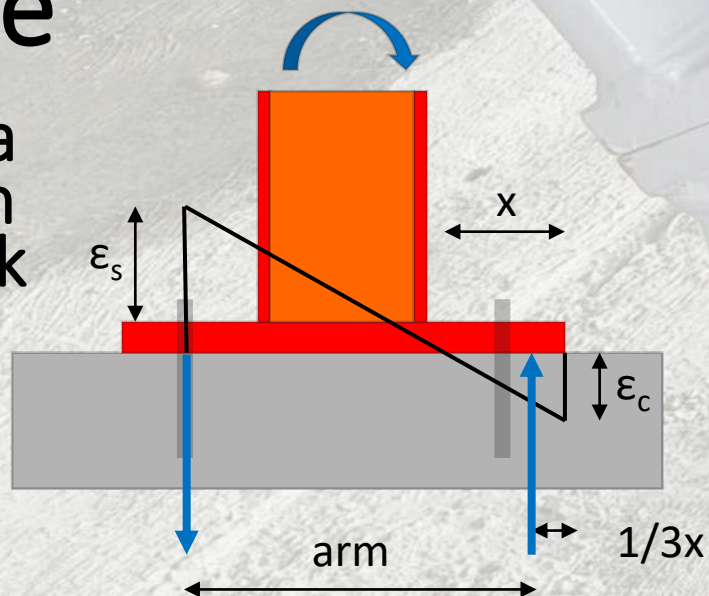
Krachtenverdeling in voetplaten

- Trekzijde - wel of geen wrik
- Drukzijde - locatie

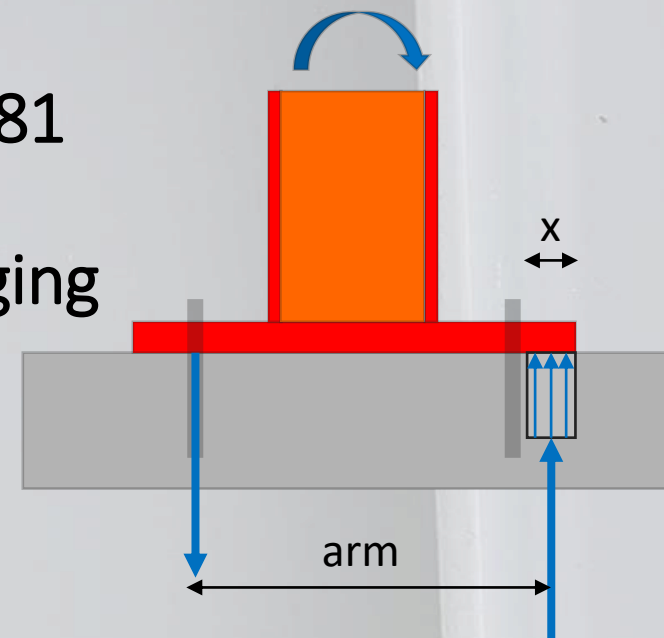


Drukzijde

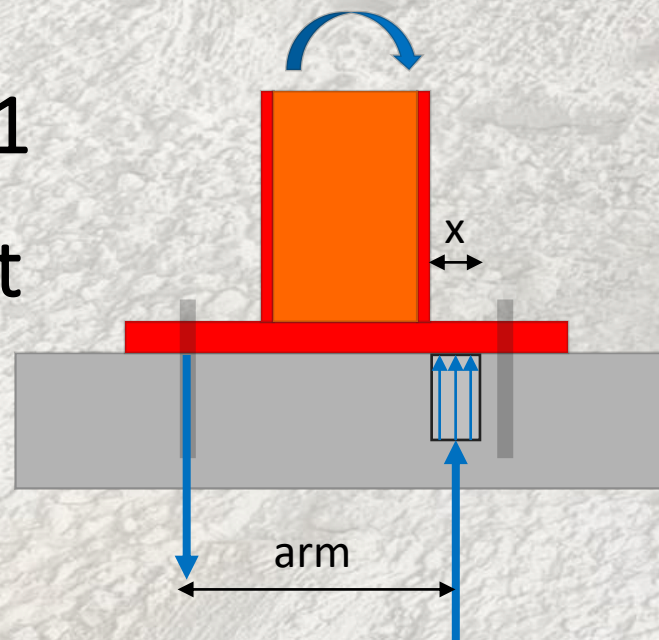
Klas. mechanica
Lineair elastisch
Op basis van rek



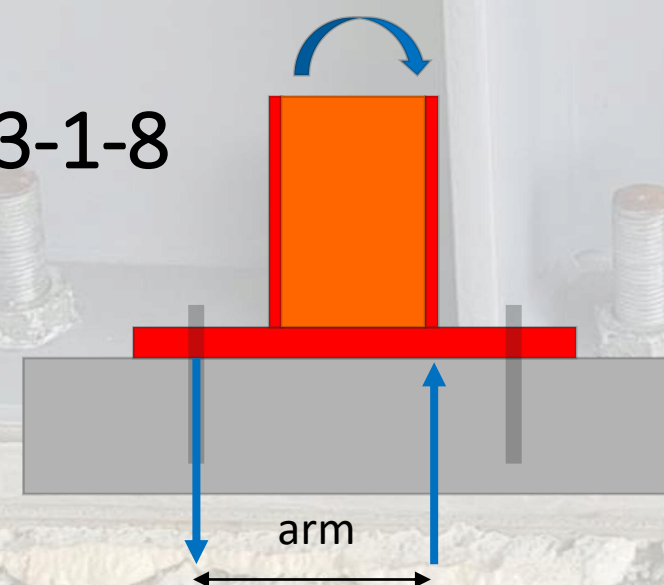
CEN/TR 17081
Elastisch
Vereenvoudiging



CEN/TR 17081
Plastisch
Mpl voetplaat

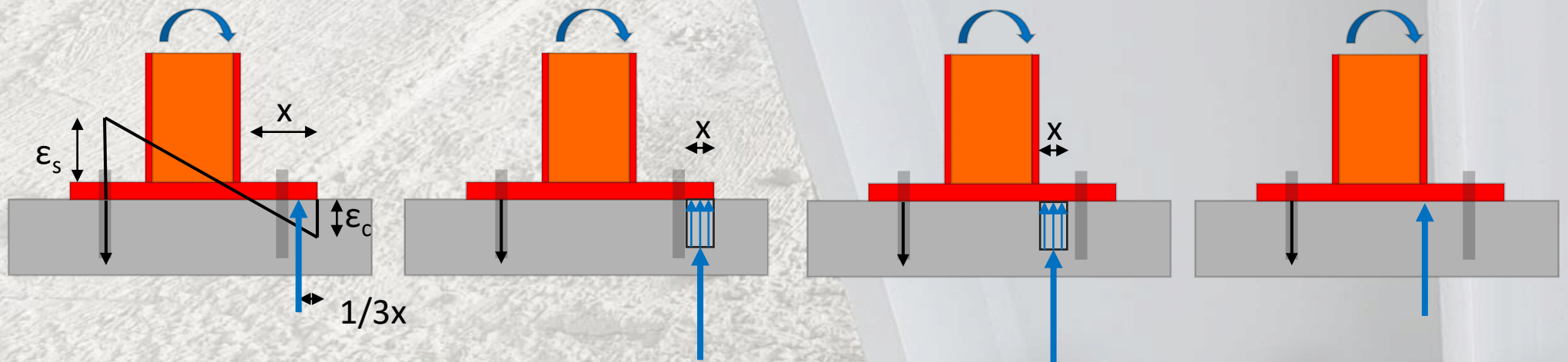


NEN-EN 1993-1-8



Verschillen

- In arm, dus in trek- en drukkracht en benodigde voetplaat dikte



	Klas. mech.	CEN/TR Elast.	CEN/TR plas.	NEN-EN 1993-1-8	
arm	290	310	248	230	mm
$C_{Ed} = T_{Ed}$	172	162	202	217	kN
Druk t_{ben}	28,4	32,0	12,0	5,0	mm
Trek t_{ben}	25,6	24,8	22,6	23,5	mm

Locatie drukpunt

Elas

- Do
- Ge
- Oc
- Bij

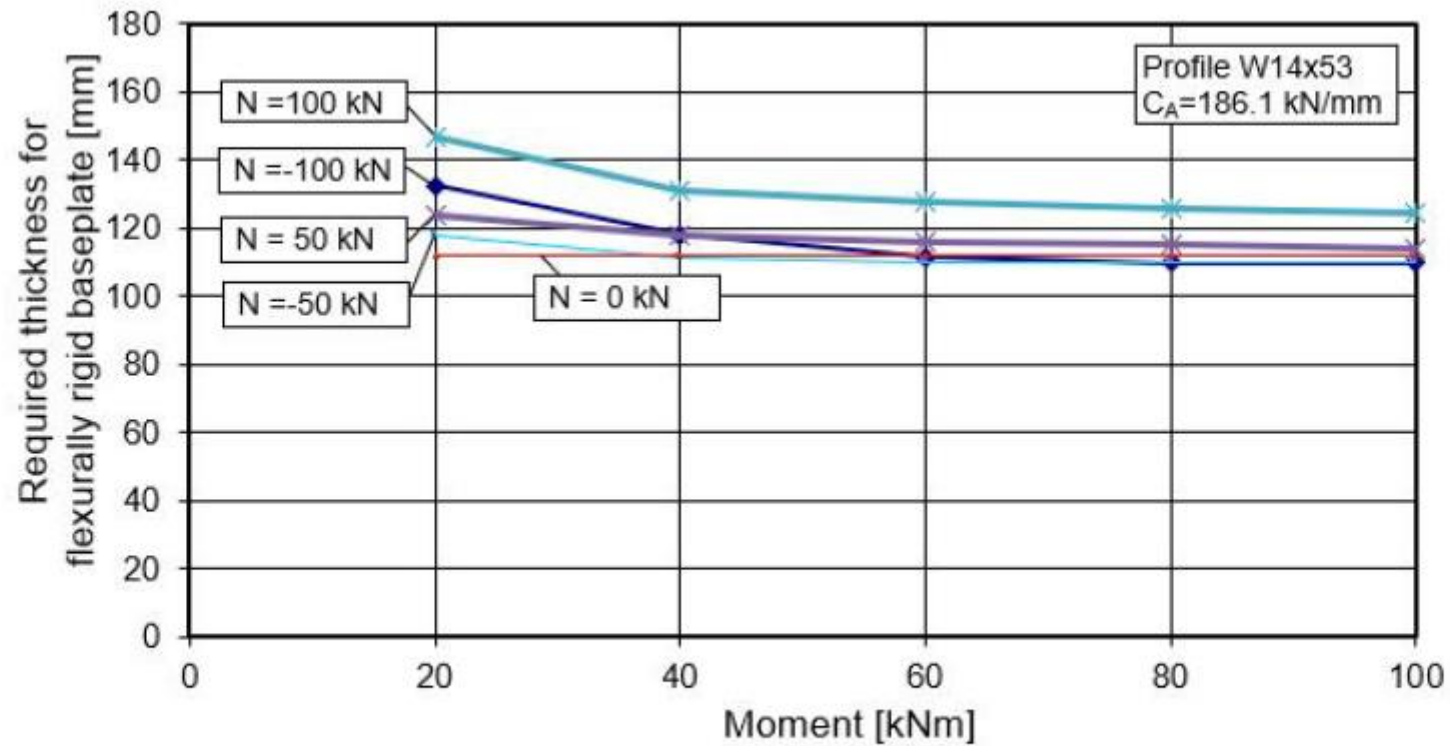
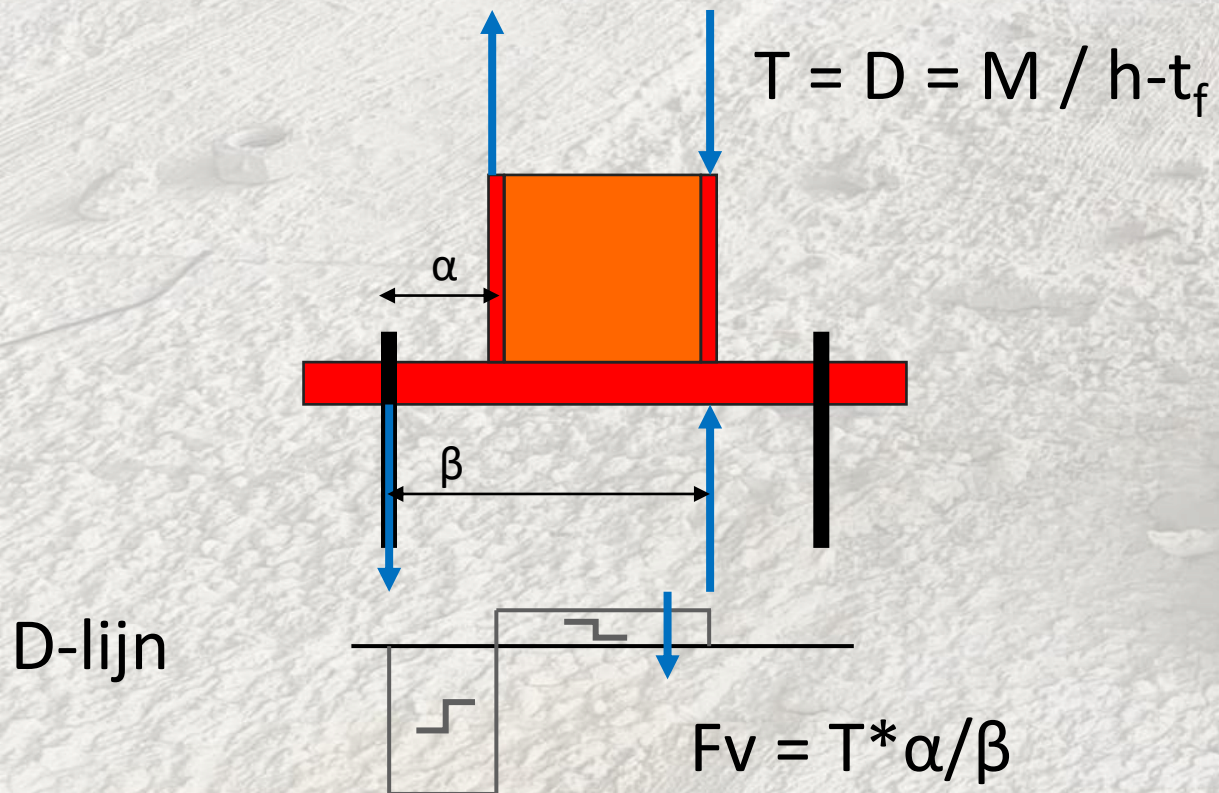


Fig. 10 Influence of bending moment and tension load on the required thickness of equivalent rigid baseplate

Longfei Li - Baseplate Rigidity and Anchorage Design

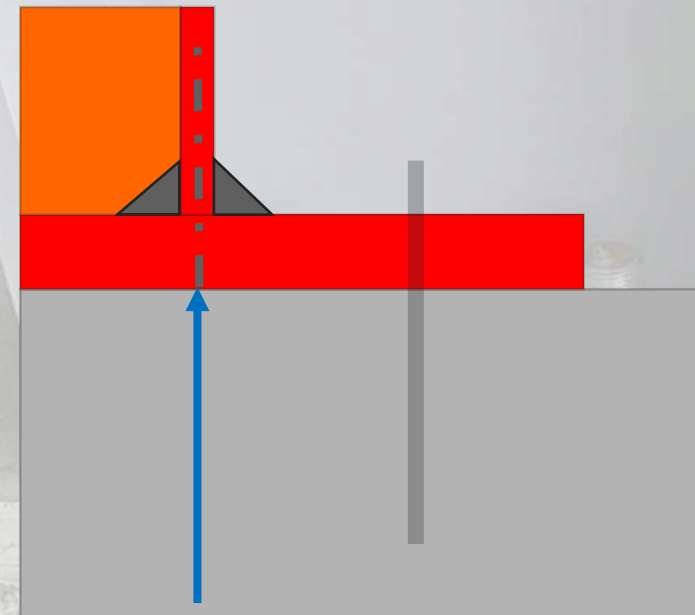
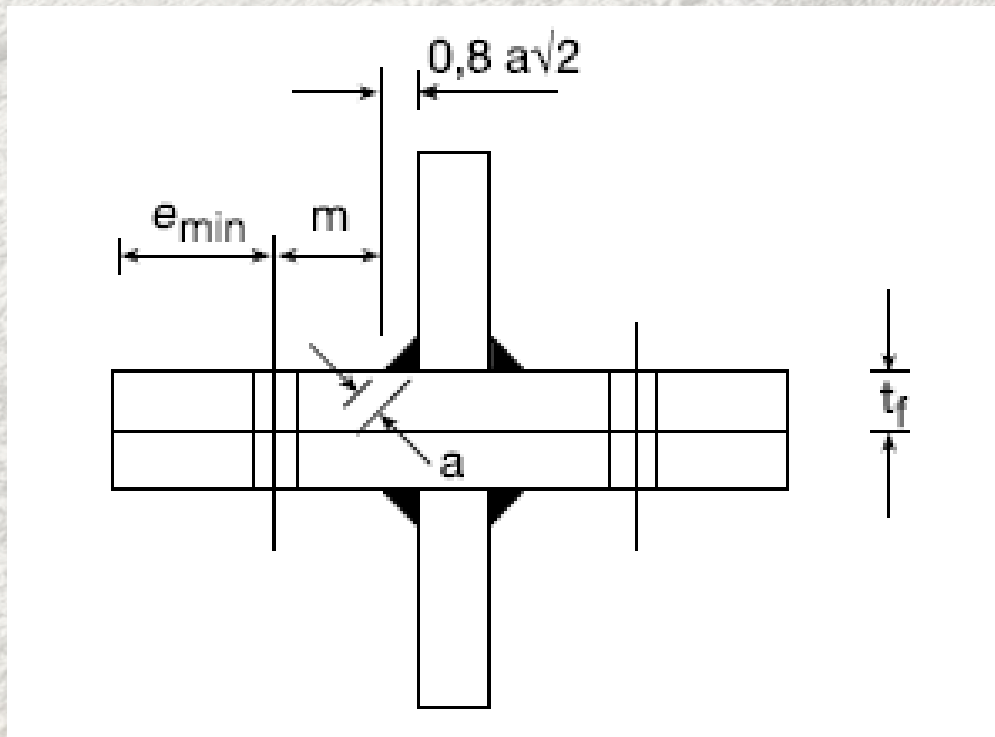
Locatie drukpunt

- Drukpunt direct onder flens niet mogelijk
- Links van de flens zit dwarskracht door trek



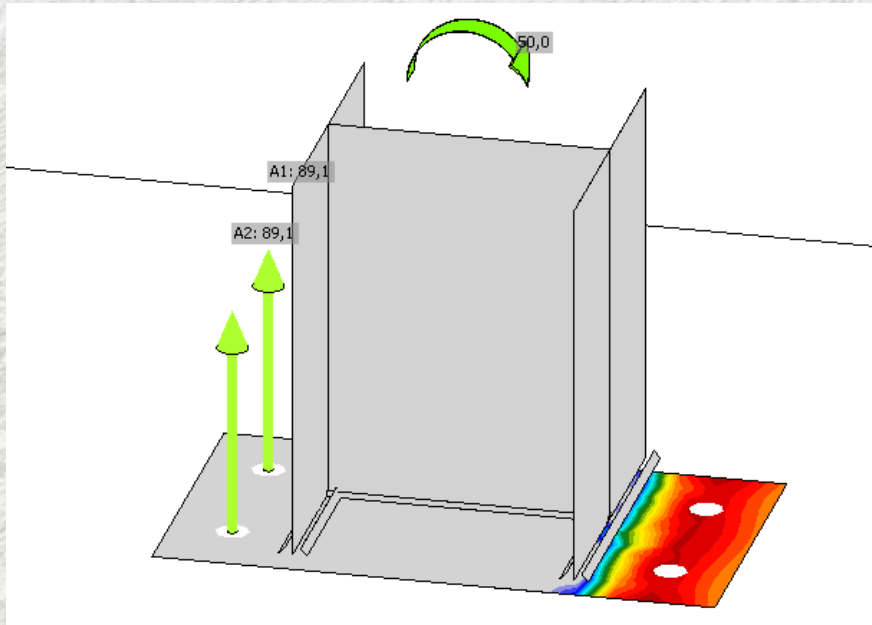
Locatie drukpunt

- Buiging direct naast flens wordt verhinderd door las
- Las zelf geeft lokaal een verhoogde doorsnede van de voetplaat.
- Buigpunt in lijn met trekzijde NEN-EN 1993-1-8

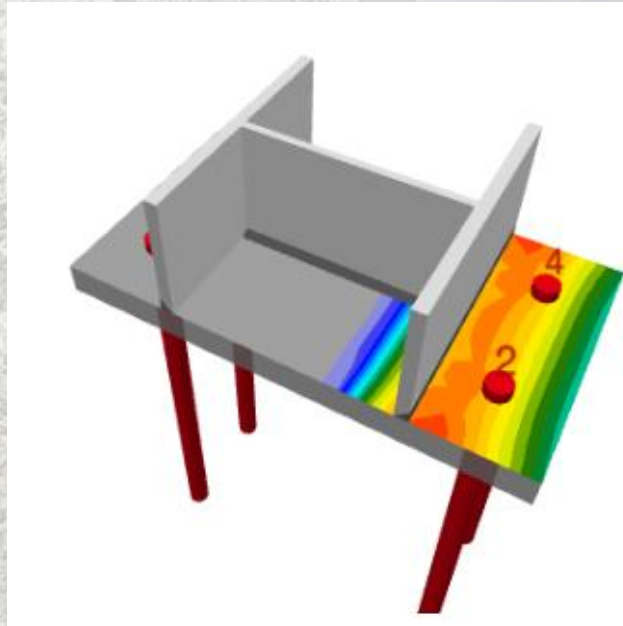


Drukpunt

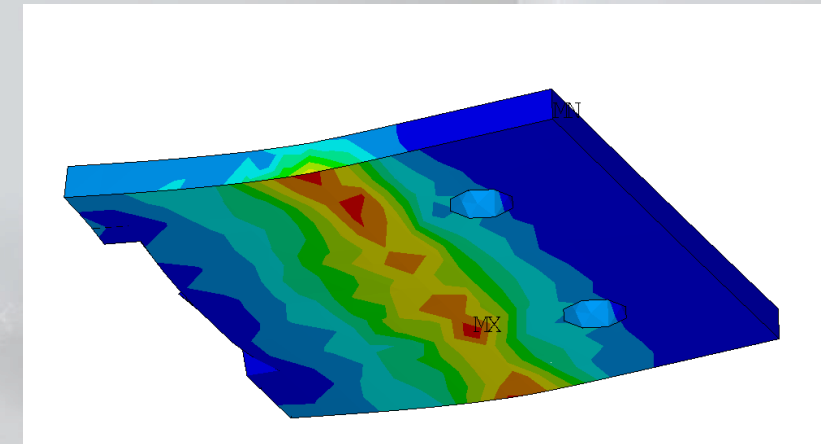
- Uit EEM-modellen (IDEA Statica, Hilti Profis en Ansys) ligt drukpunt een x maat vanaf de flens in lijn met CEN/TR Plastisch



Spanning in beton



Spanning in beton



Spanning in staal

Voorstel Drukpunt

Drukpunt

- gebaseerd op CEN/TR plastisch
- inzichten van NEN-EN 1993-1-8

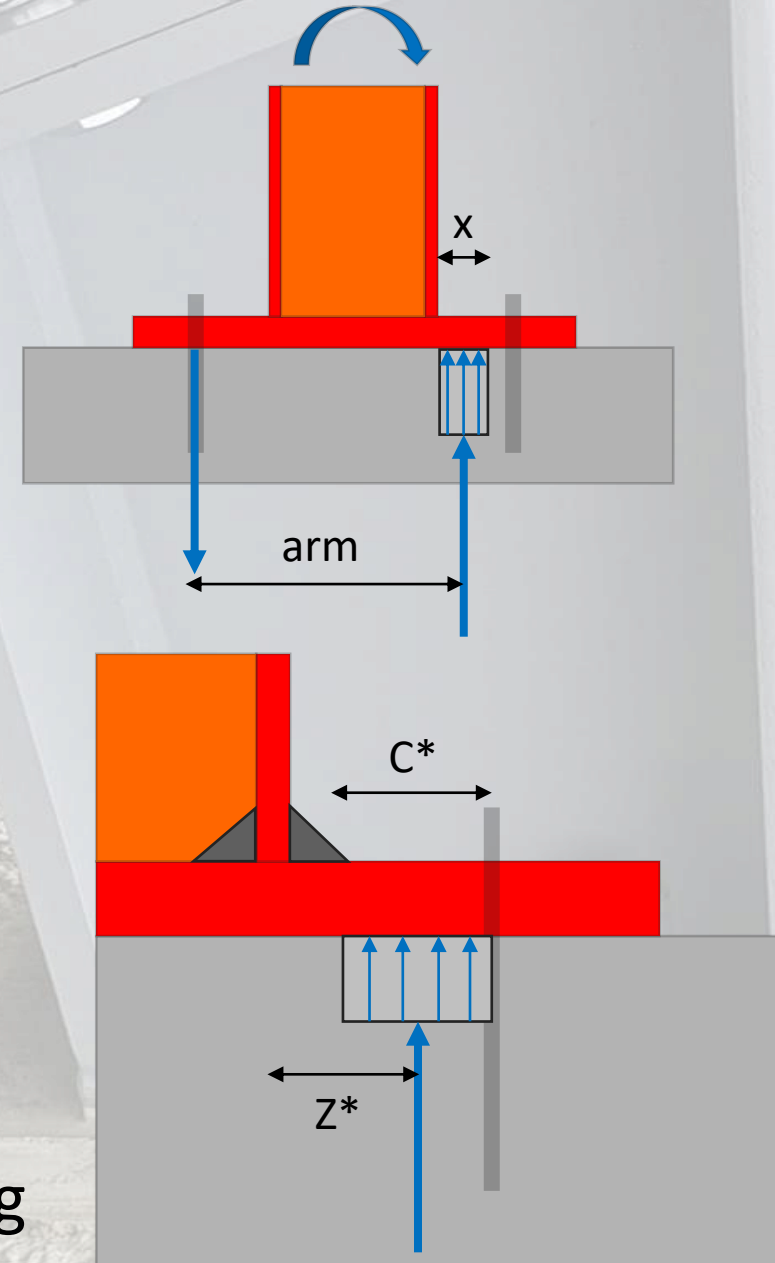
$$Z^* = 1/2t_f + 0,8 a \sqrt{2} + 1/2C^*$$

$$C^* = t * \sqrt{f_{yd} / 2 * f_{jd}}$$

Buiging voetplaat plastisch

CUR10 niet, maar CENTR wel!

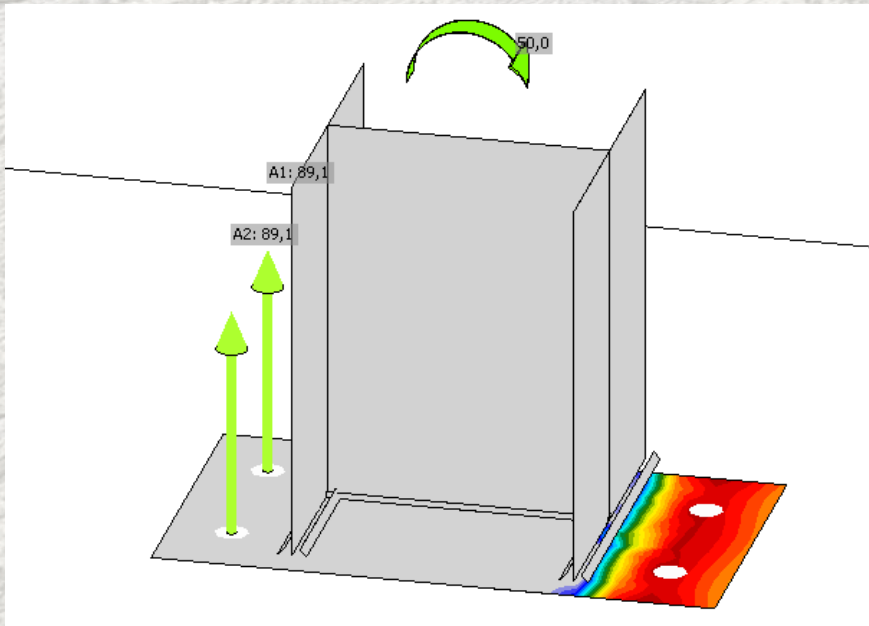
$$f_{jd} = 3 * \beta * f_{ck} / \gamma_c, \text{ lokale betonspanning}$$



Analytisch advies in relatie tot EEM

- Drukzijde

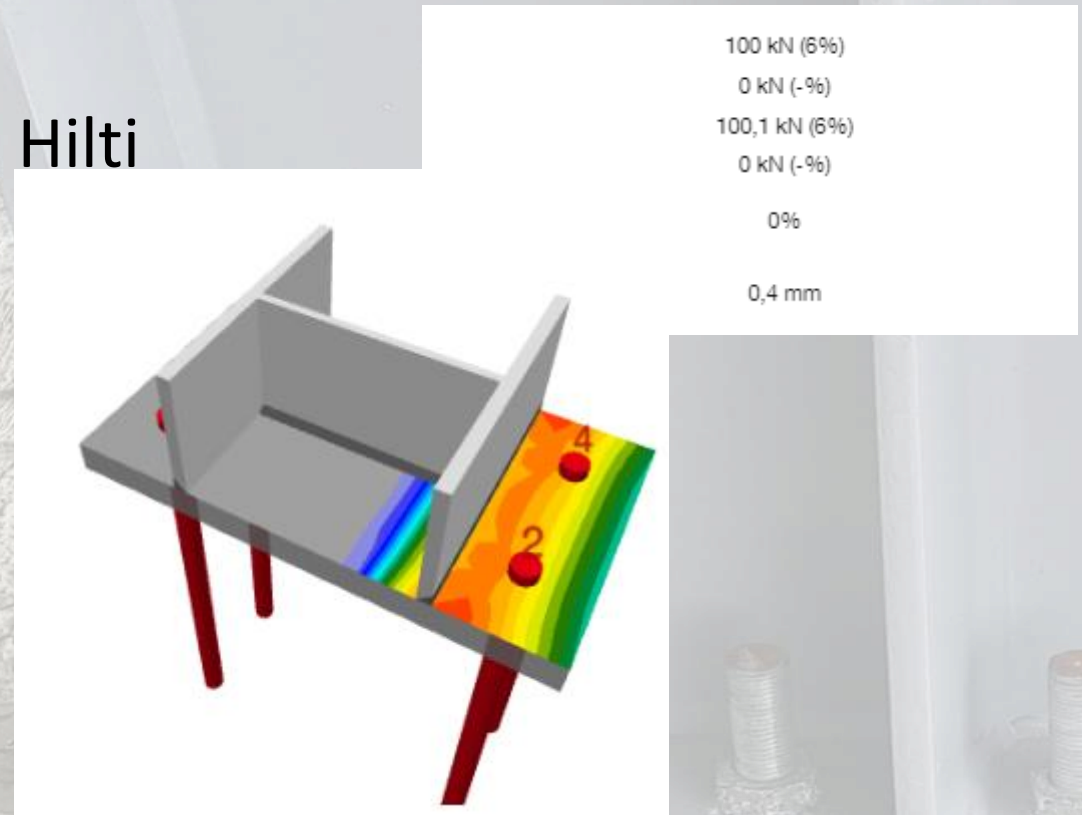
IDEA-Statica



Trek zonder wrik = $89,1 \cdot 2 = 178,2$ kN

Arm = $50 \cdot 1000 / 178,2 = 280,5$ mm

Hilti



Trek zonder wrik = $100 \cdot 2 = 200$ kN

Arm = $50 \cdot 1000 / 200 = 250$ mm

Analytisch advies in relatie tot EEM

- Drukzijde

	Voorstel	IDEA Statica	Hilti-Profis	
arm	254	280,5	250	mm
$C_{Ed} = T_{Ed}$	197	178,2	200	kN

- Afwijking met Hilti-Profis van 1,5%
- Geen hoeklas in Hilti-profis $\rightarrow 0,8 a \sqrt{2} = 0,8 * 6 * \sqrt{2} = 6,8\text{mm}$

Trekzijde

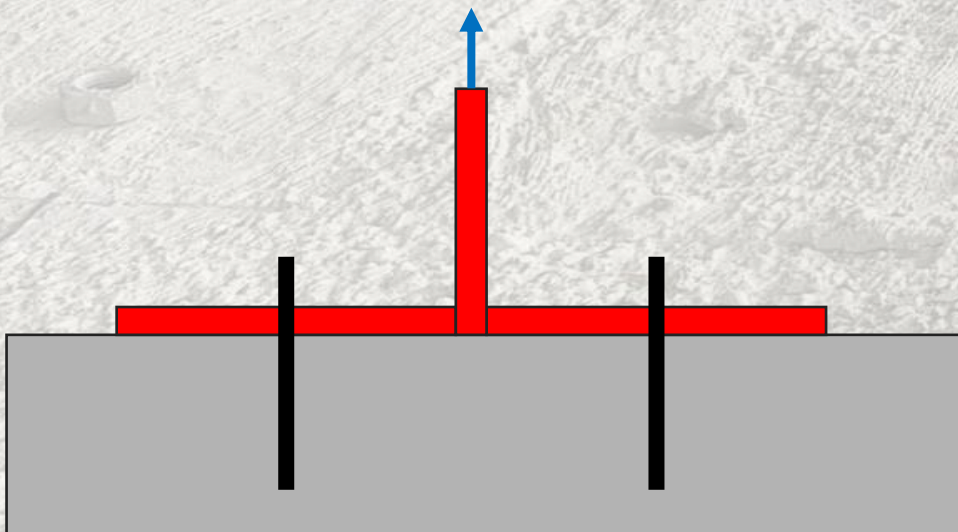
- Wel of geen wrik
- Afhankelijk afmetingen voetplaat en rek in ankers
- De (nieuw) norm zegt het volgende

(2) In the case of column base plates with anchor bolts, prying forces can develop or not and specific failure modes should be considered accordingly (see Table 8.2). In the case of column base plates with fasteners between steel and concrete, the appropriate failure mode according to Table 8.2 should be considered.

- Rekening houden dus met wel en geen wrik
- Zowel bij ankers als bij ‘korte bevestigingsmiddelen’?
 - Ankers volgens de specifiek bezwijkvorm.
 - Bevestigingsmiddelen volgens de passende bezwijkvorm.

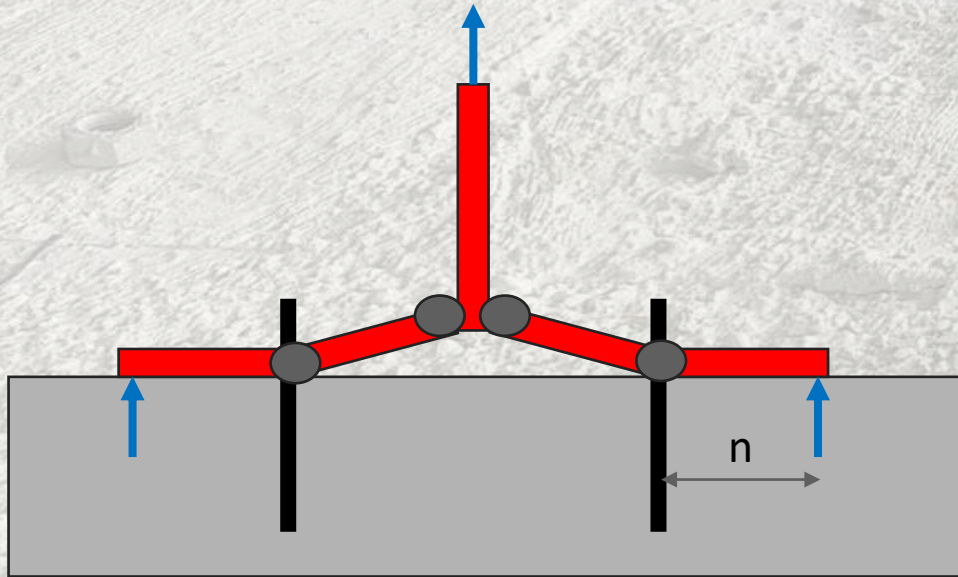
Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 1 – bezwijken van plaat, ankers stijf



Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 1 – bezwijken van plaat, ankers stijf



Capaciteit:

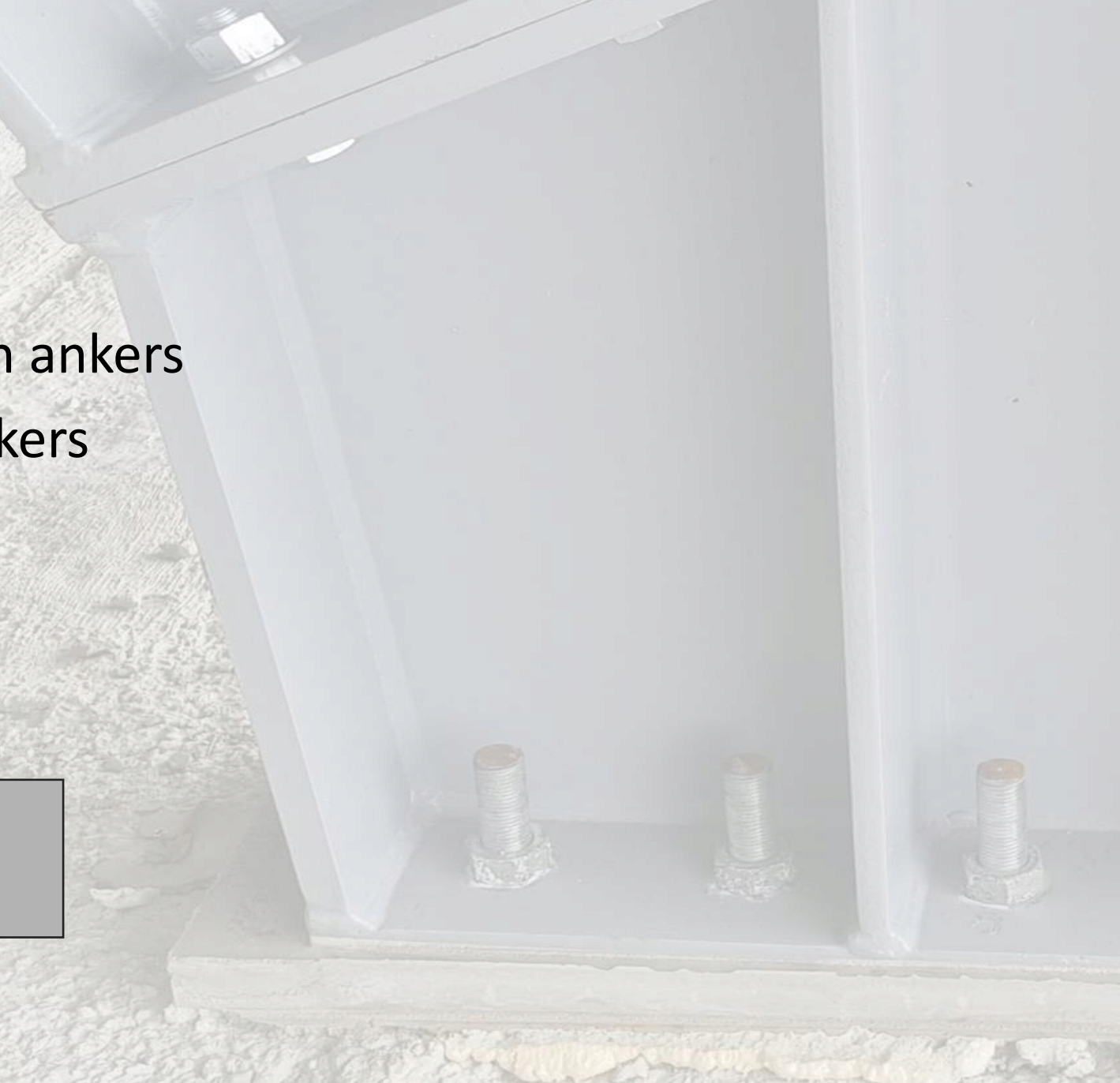
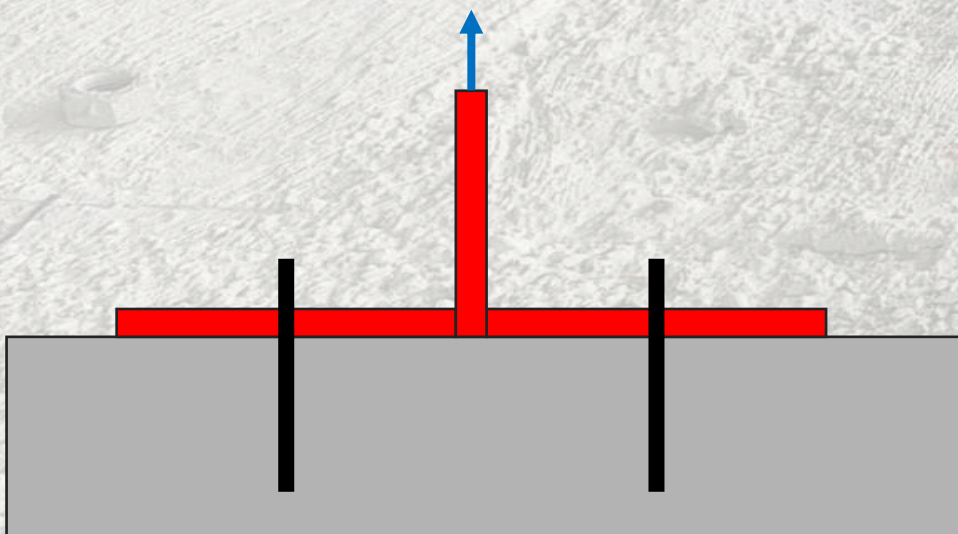
- 4 plastische scharnieren

Let op:

- Verhoogde trek anker,
- door wrik over afstand n

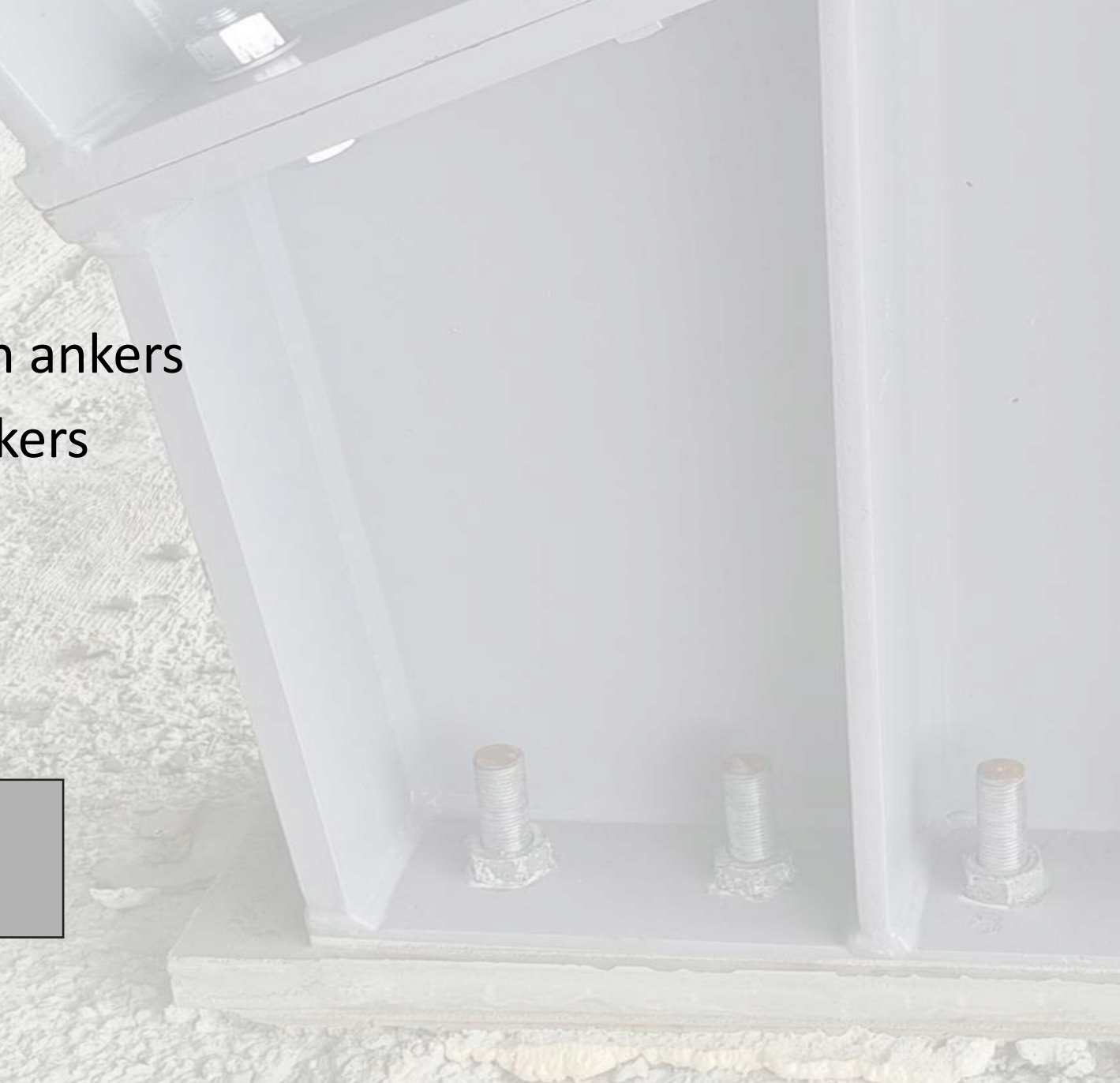
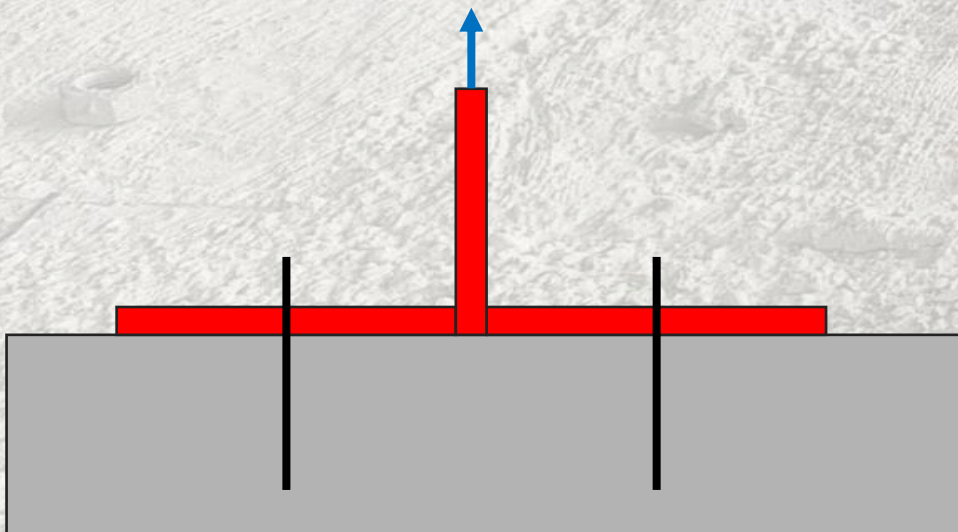
Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 2 – bezwijken van plaat en ankers



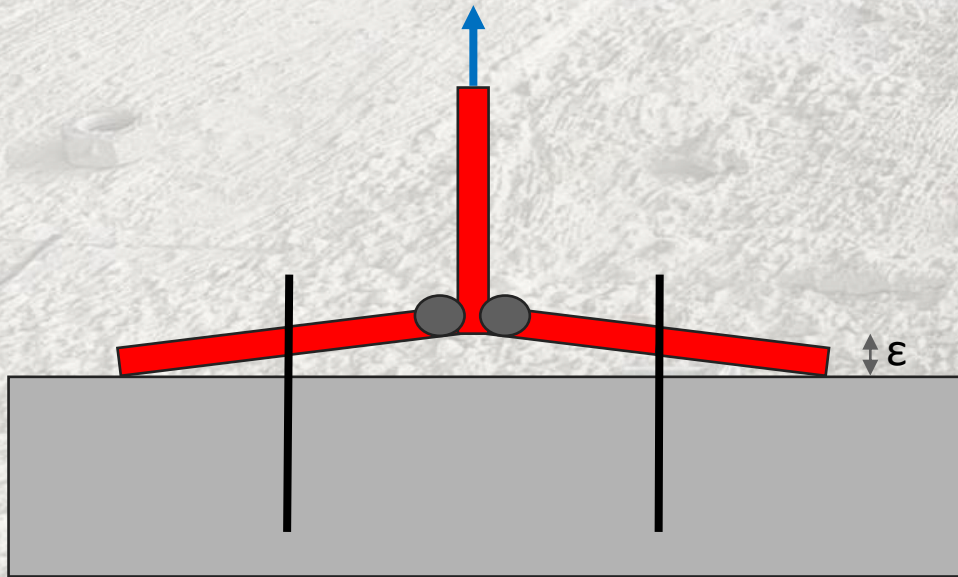
Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 2 – bezwijken van plaat en ankers



Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 2 – bezwijken van plaat en ankers

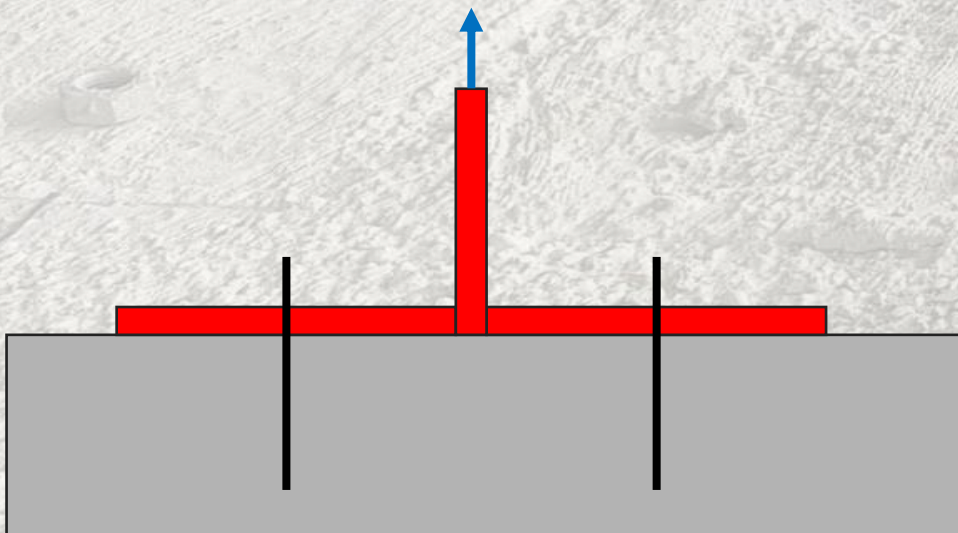


Capaciteit

- 2 plastische scharnieren
- +
- Maximale anker capaciteit
- Wrik zit in bezwijkvorm verwerkt

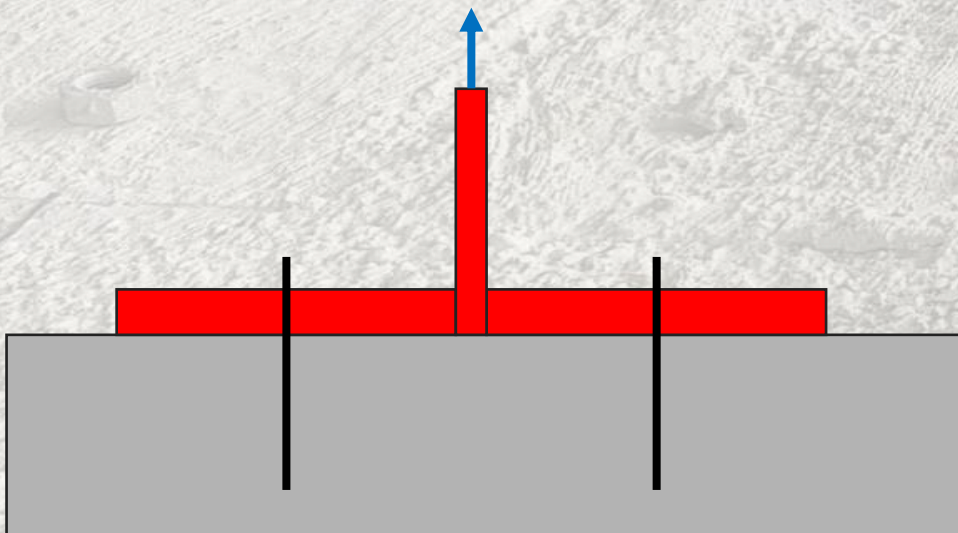
Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 3 – bezwijken van ankers



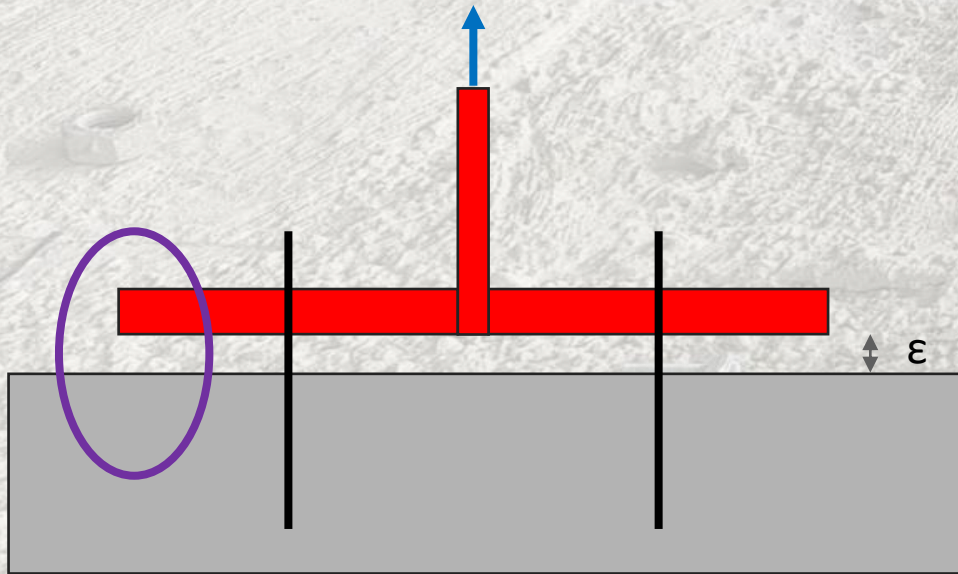
Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 3 – bezwijken van ankers



Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 3 – bezwijken van ankers

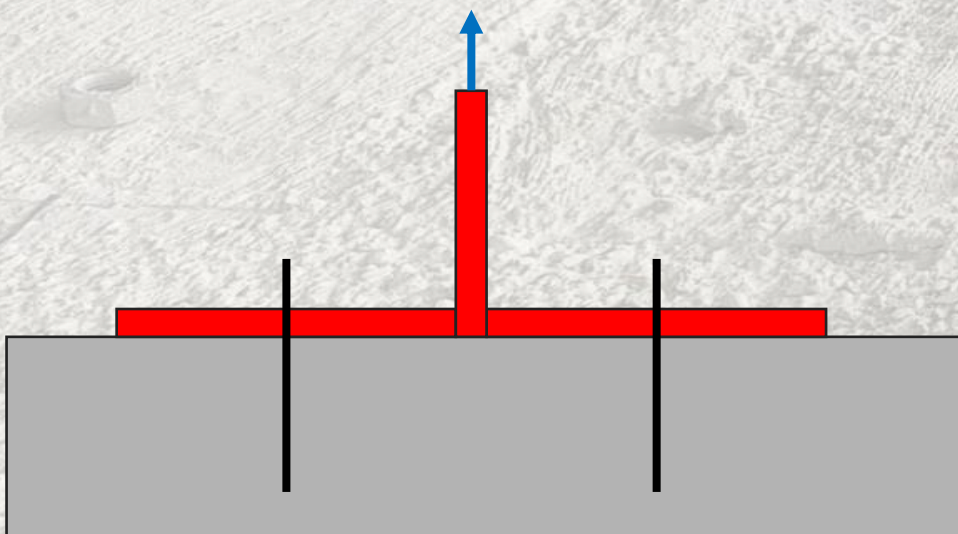


Capaciteit

- Alleen ankers
- Er ontstaan geen wrikkrachten

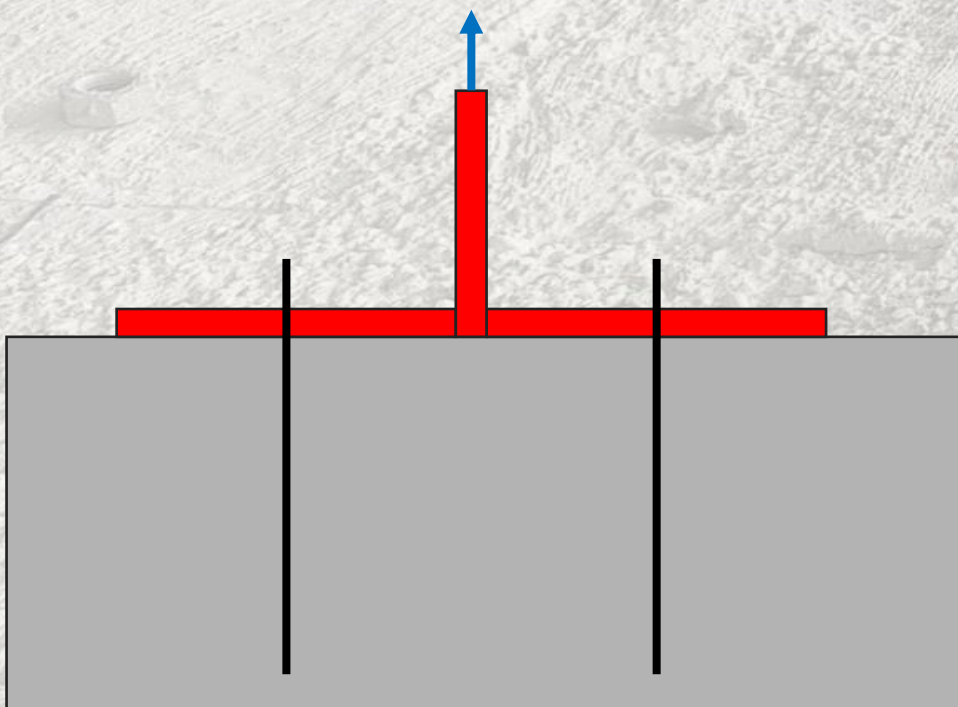
Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 1* of '1-2' – bezwijken van plaat, ankers niet stijf



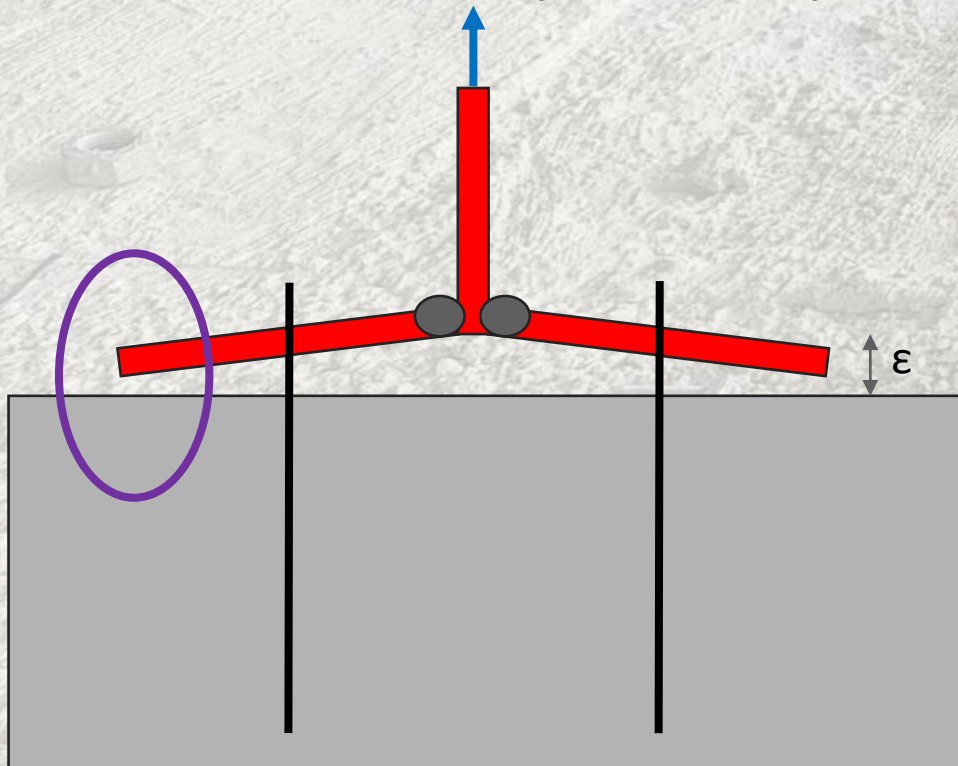
Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 1* of '1-2' – bezwijken van plaat, ankers niet stijf



Trekzijde

- Wel of geen wrik
- Afhankelijk voetplaat en rek in ankers
- 1* of '1-2' – bezwijken van plaat, ankers niet stijf en lange rek lengte

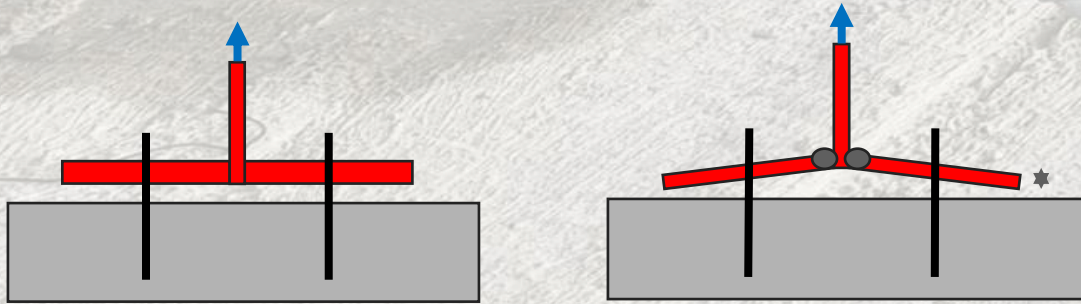


Capaciteit

- 2 plastische scharnieren
- Er ontstaan geen wrikkrachten

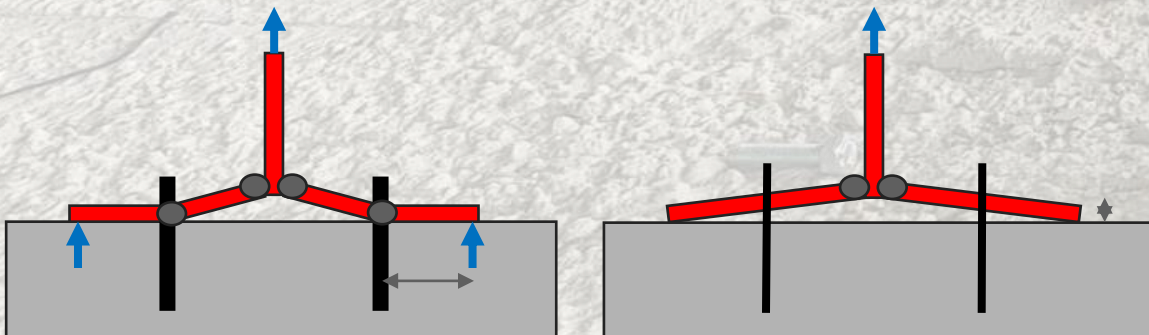
Advies voor analytische methode

- Voetplaatcontrole zonder wrik, bezwijkvorm '1-2' of 3



Ondergrens van
capaciteit voetplaat

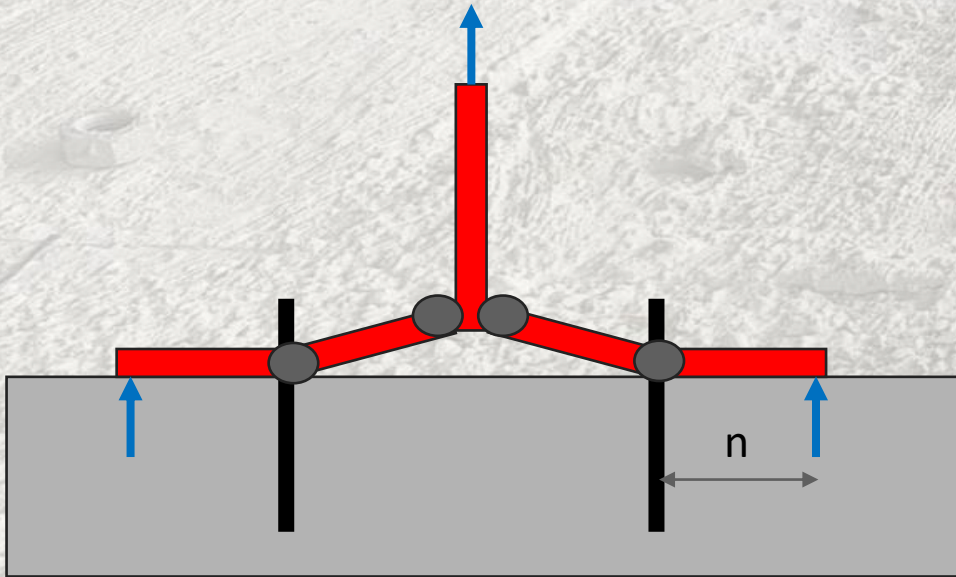
- Ankercontrole met wrikkrachten
 - 2 bezwijkvormen zijn mogelijk, ankerkracht verhogen



Bovengrens van
belasting in anker

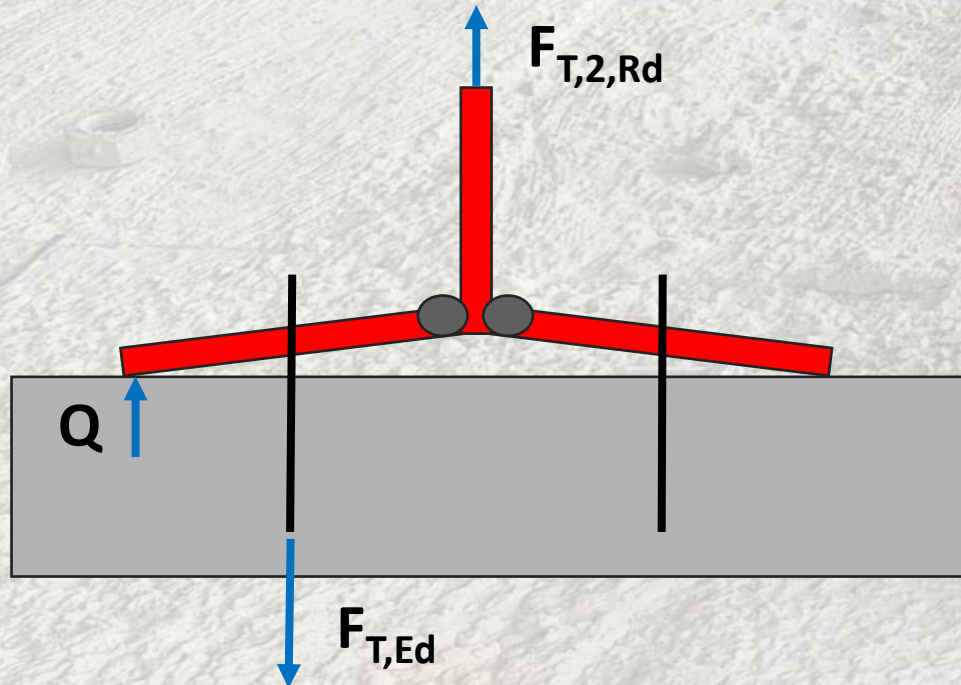
Grote van wrikkracht

- Wat is de wrikkracht grote bij de verschillende bezwijkvormen
- 1 – Bezwijkvorm $4 \cdot m_{pl} \rightarrow Q = M_{pl}/n$



Trekzijde

- Wat is de wrikkracht grote bij de verschillende bezwijkvormen
- 2 – Bezwijkvorm $2 \cdot m_{pl} + 2 \cdot F_{T,ed}$
- $Q = F_{T,ed} - 0,5 \cdot F_{T,2,Rd}$



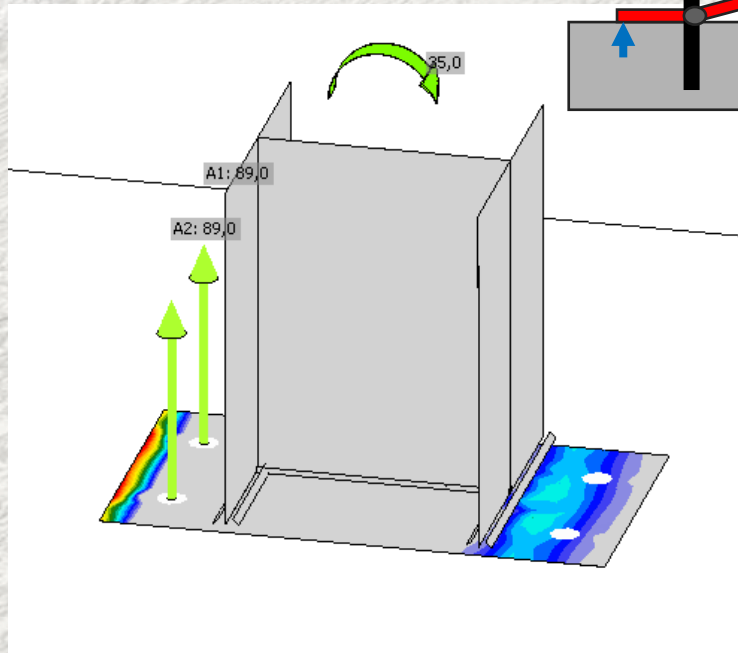
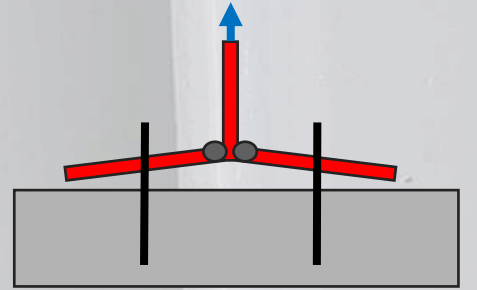
Grote van wrikkracht bij lagere benutting

- Als de $F_{T,Ed} < F_{T,i,Rd} \rightarrow$ wat als optredende kracht lager is dan bezwijkvorm?
- Lineaire verhouding tussen maximale wrik (Q_i) en optredende wrik ($Q_{i,Ed}$).
- Onderzoek heeft aangetoond deze verhouding tot 2/3 lineair verloopt
- Het lijkt verantwoord om volledige traject lineair te beschouwing.
- De afwijking is conservatief, overschatting van wrik bij lage benutting.
- $Q_{1,Ed} = Q_1 * (F_{T,Ed} / F_{T,1,Rd})$
- $Q_{2,Ed} = Q_2 * (F_{T,Ed} / F_{T,2,Rd})$

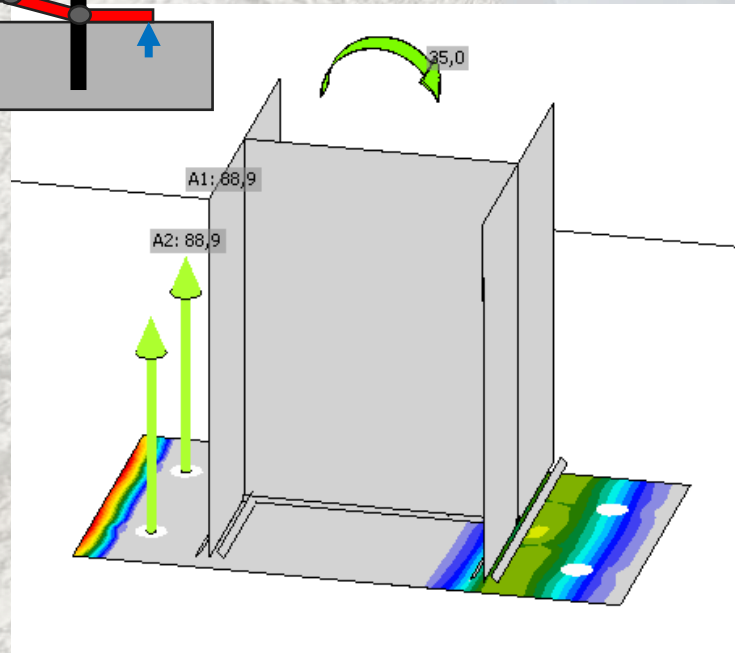


Analytisch advies in relatie tot EEM

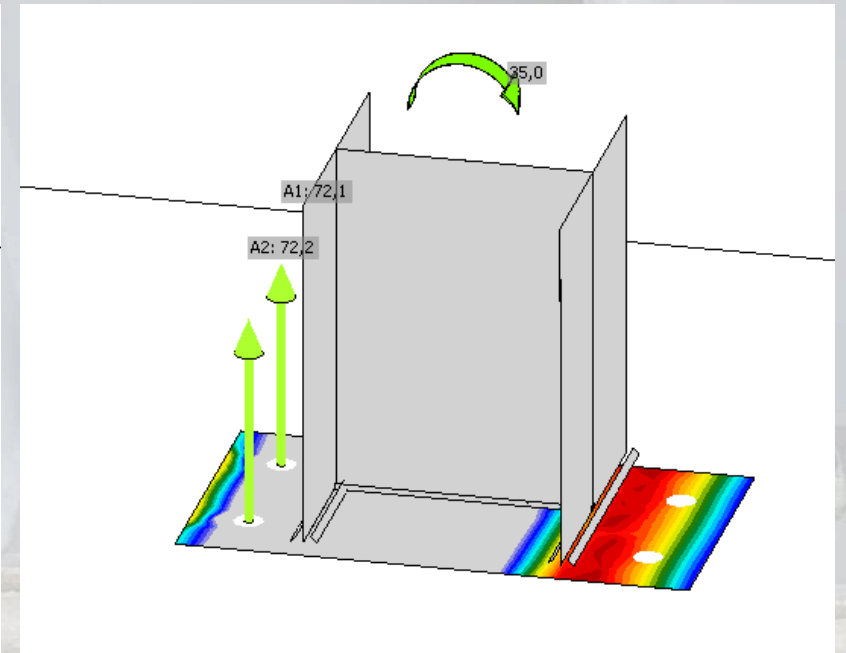
- Stijvere voetplaat neemt de trek in het anker af
- 88,9 kN $\rightarrow$ 72,2 kN



• T=12 - Wrik

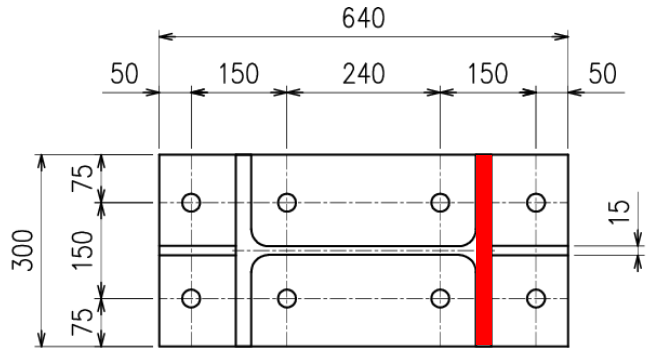


• T=15 - Wrik

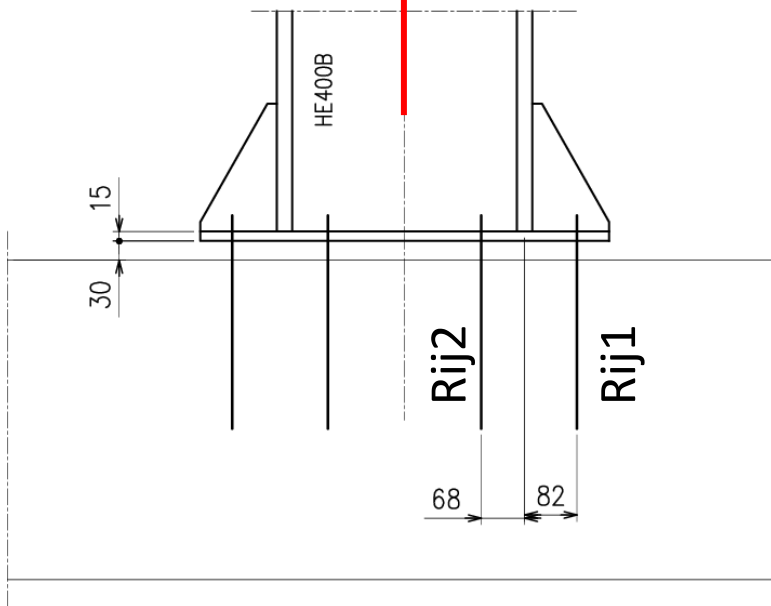


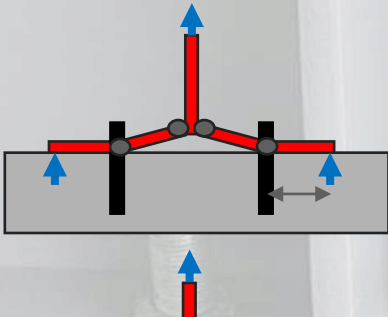
• T=20 – (minder) Wrik

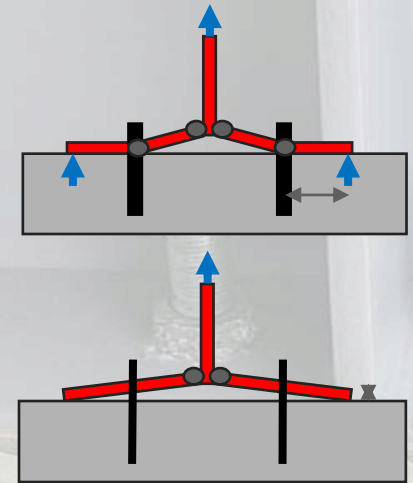
Rekenvoorbeeld 1



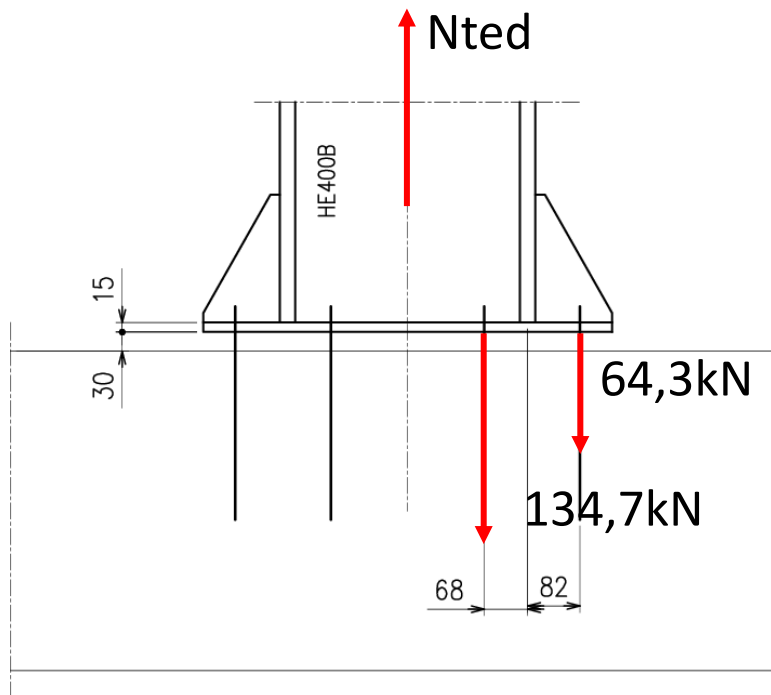
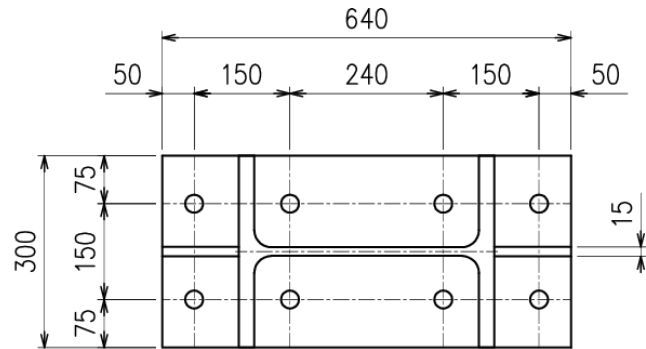
↑ Nted



- $N_{ted} = 400 \text{ kN}$
 - $N_{flens} = 36\% \cdot 400 = 144 \text{ kN}$
 - $R_{ij \ 1} = 144 \cdot 68 / 150 = 65,3 \text{ kN} \ (16,3\%)$
 $R_{ij \ 2} = 0,5 \cdot 400 - 65,3 = 134,7 \text{ kN} \ (33,7\%)$
 - Rij 1 – bezwijkenvorm 1
- 
- Rij 2 – bezwijkenvorm 2



Rekenvoorbeeld 1

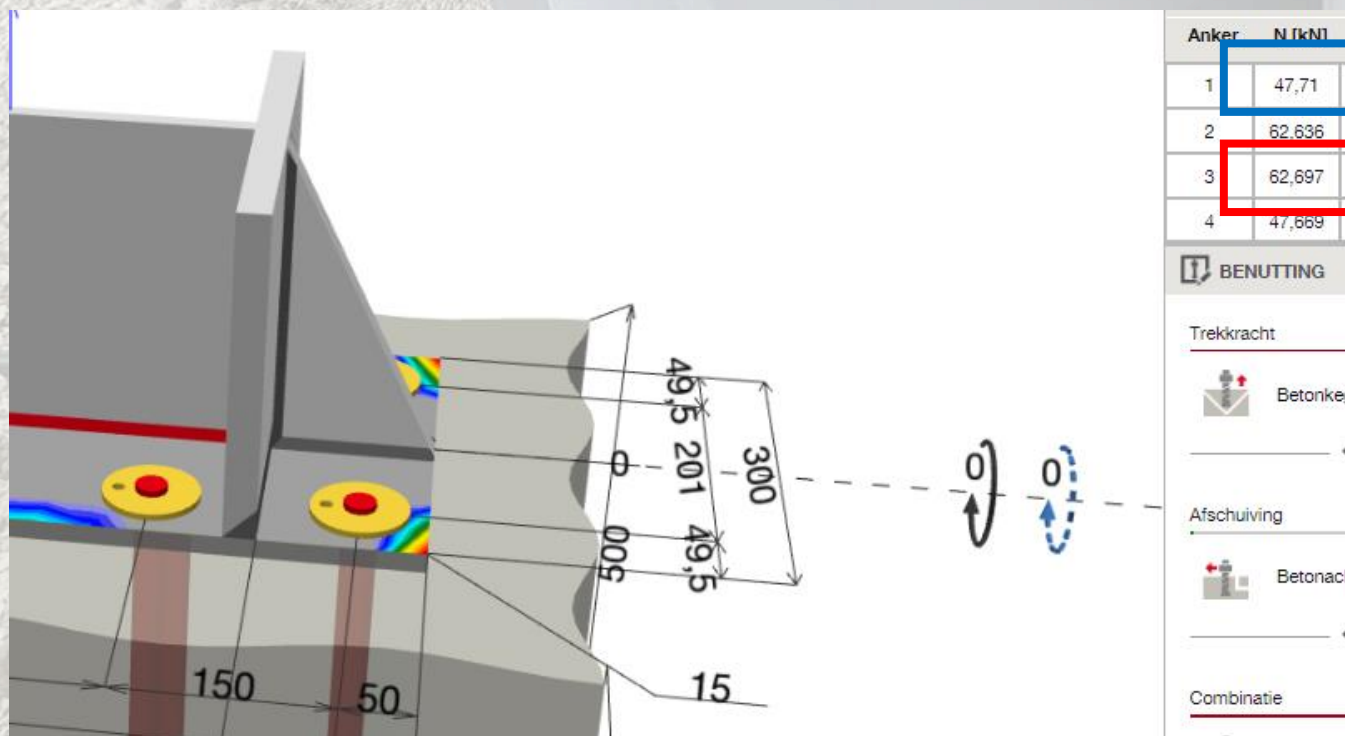
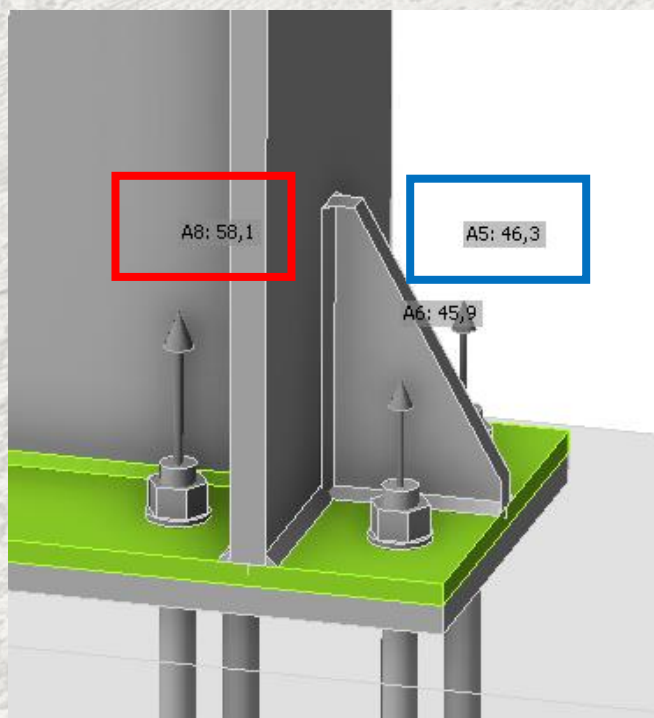


- Rij 1 – bezwijkvorm 1 $F_{T1,Rd} = 219,6 \text{ kN}$
 $W_{rik} = M_{pl}/n = 44 \text{ kN}$
 Trek in anker:
 $0,5 \cdot 64,3 + 44 \cdot 64,3 / 219,6 = \underline{45 \text{ kN}}$
- Rij 2 – bezwijkvorm 2 $F_{T2,Rd} = 219,2 \text{ kN}$,
 $W_{rik} = 141 - 0,5 \cdot 219,2 = 31,4 \text{ kN}$
 Trek in anker:
 $0,5 \cdot 134,7 + 31,4 \cdot 134,7 / 219,2 = \underline{86,6 \text{ kN}}$

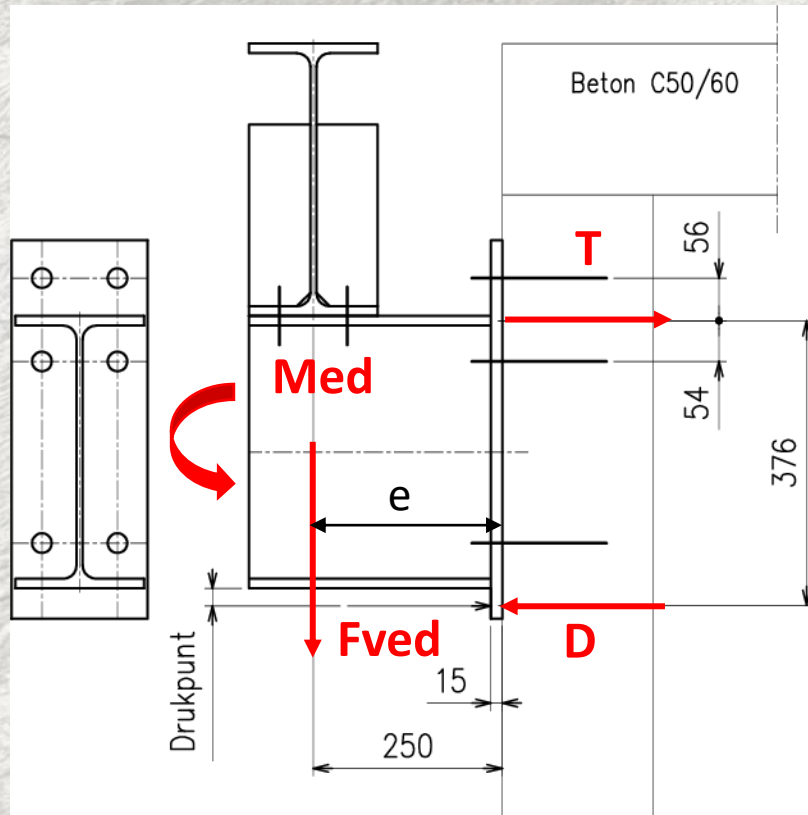
Rekenvoorbeeld 1

- Rij 1 /anker = 45 kN
- Rij 2 /anker = 86,6 kN

Voorstel voor rij 2 conservatief, minder wrik in EEM-modellen



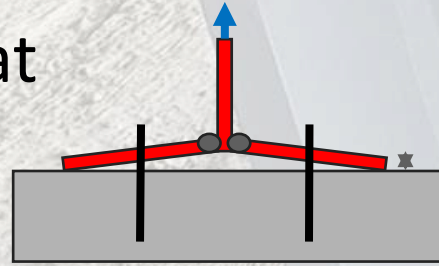
Rekenvoorbeeld 2



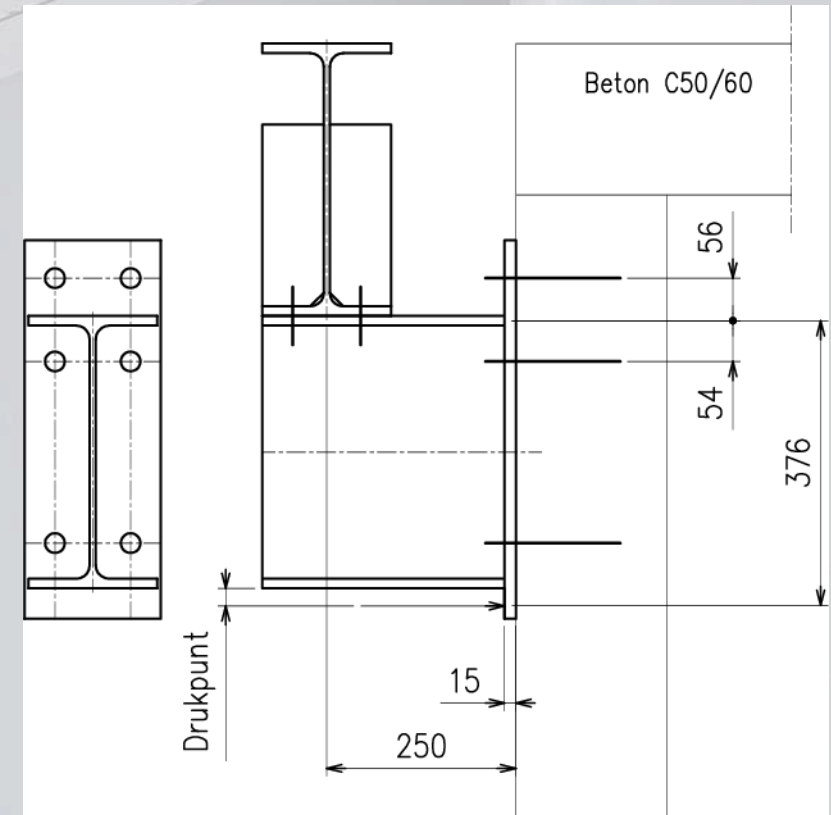
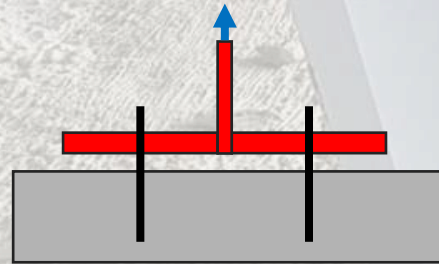
- $F_{ved} = 180 \text{ kN}$
- $M_{ed} = 180 \cdot 0,25 = 45 \text{ kNm}$
- Drukpunt volgens voorstel
- $T/D = 45/0,376 = 120 \text{ kN}$

Rekenvoorbeeld 2

- Boutrij 1 uitkragend kopplaat
Wrikgevoelig bezwijkvorm 2



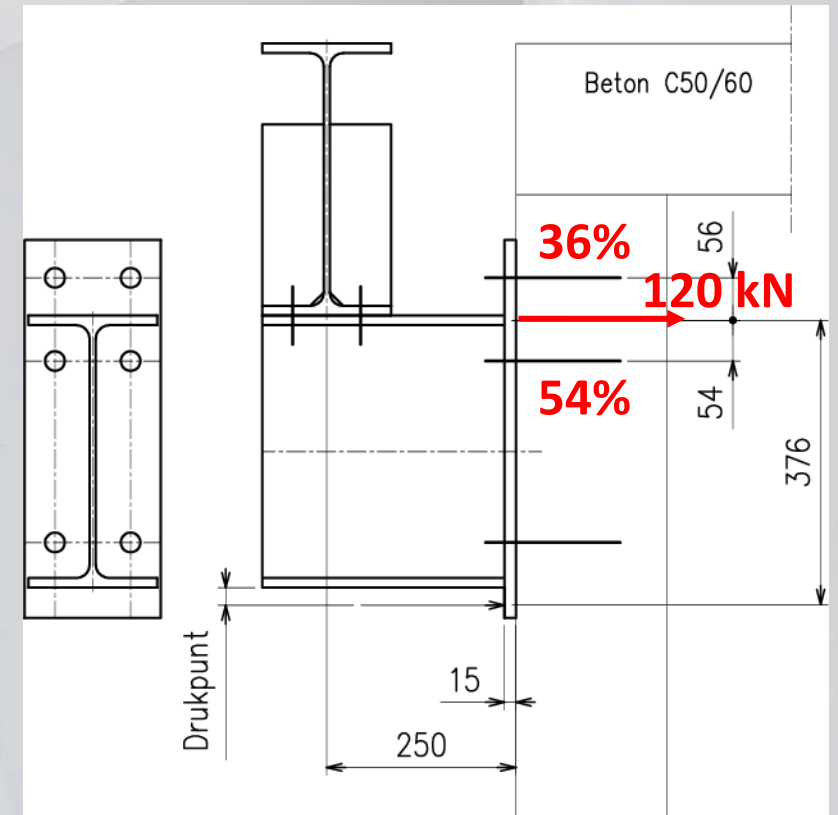
- Boutrij 2 onder de flens
Niet wrikgevoelig BV 3



- Stijfheidsverhouding boutrijen op basis van K waarde NEN-EN 1993-1-8
- Aandeel boutrij 1, 36% (onverstijfd langere afstand)
- Aandeel boutrij 2, 54% (verstijfd korte afstand)

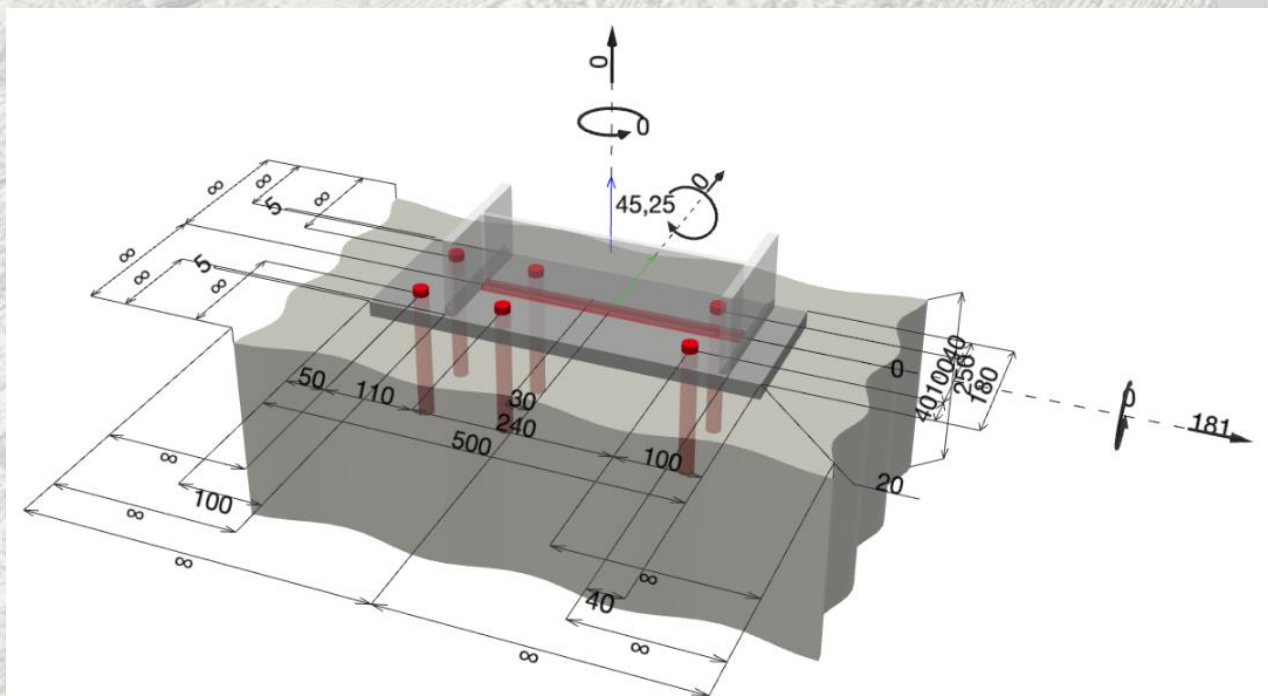
Rekenvoorbeeld 2

- Trek in rij 1 = $36\% * 120 = 43,3 \text{ kN} + Q_{2,Ed}$
 - Cap BV 2 = 217,0 kN,
 - max trekkracht anker = 141 kN
 - $Q_2 = 141,0 - 0,5 * 217,0 = 32,5 \text{ kN}$
 - $Q_{2,Ed} = 32,5 * \boxed{43,3 / 217} = 6,5 \text{ kN}$
 - Trek in anker = $0,5 * 43,3 + 6,5 = \underline{28,1 \text{ kN}}$
- Trek in rij 2 = $54\% * 120 = 77,0 \text{ kN}$, geen wrikkracht
 - Trek in anker = $0,5 * 77,0 = \underline{38,5 \text{ kN}}$



Rekenvoorbeeld 2

- Trek in rij 1 = 56,26 kN = 28,1 kN /anker
- Trek in rij 2 = 77,04 kN = 38,5kN / anker



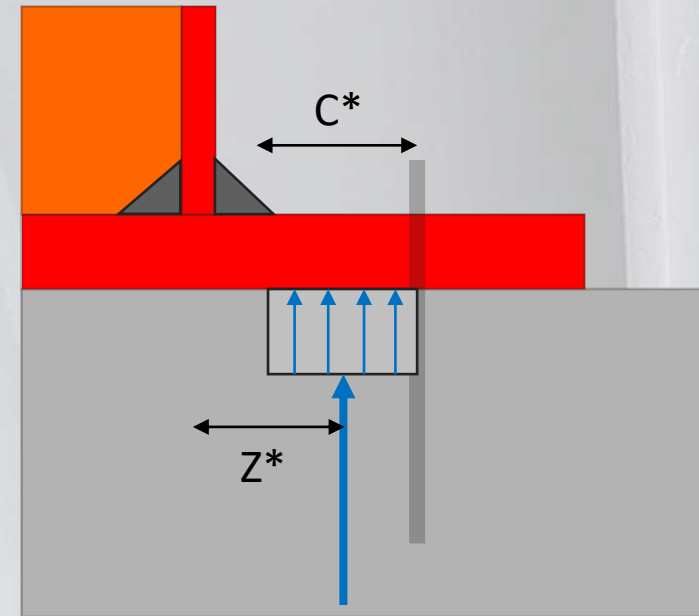
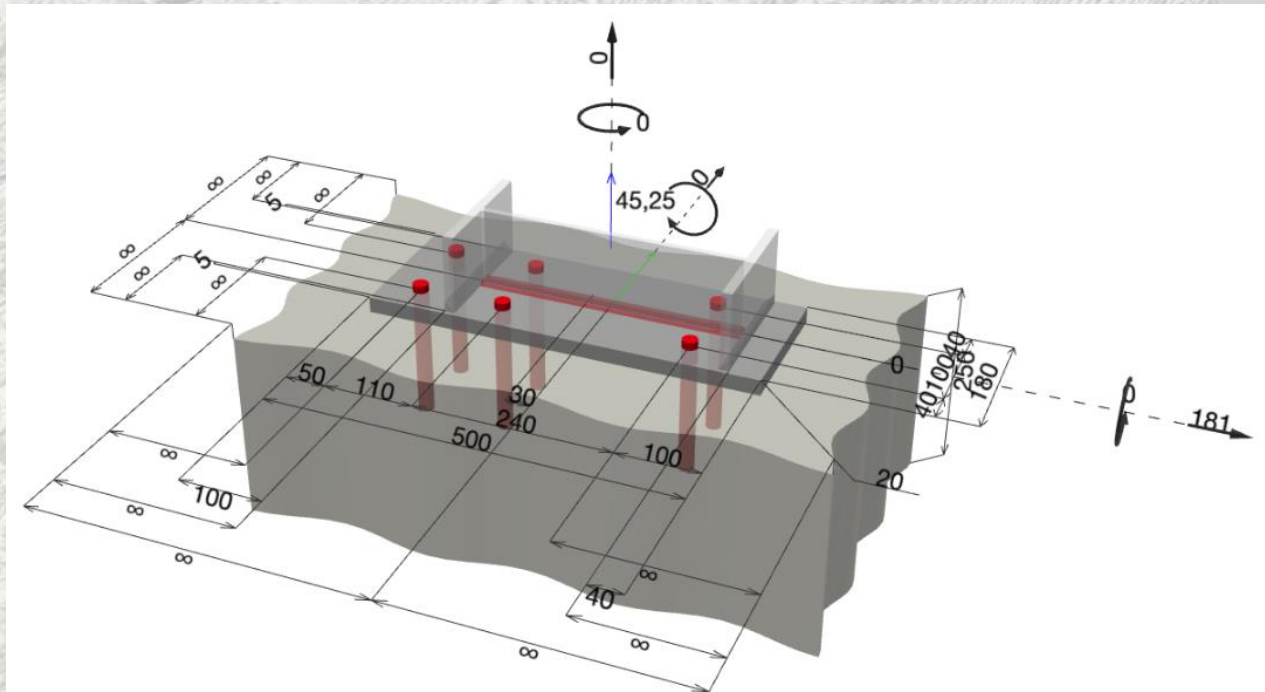
Anker	N [kN]
1	30,342
2	30,341
3	40,708
4	40,777

- Afwijking rij 2 = 5,5 %

Rekenvoorbeeld 2

Drukpunt is slecht voor 33% benut, dus z.p. drukpunt ligt dicht bij de flens

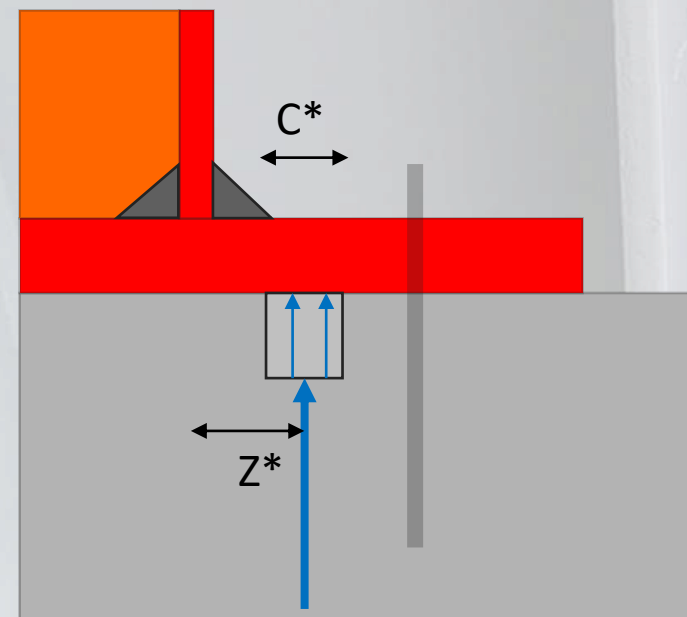
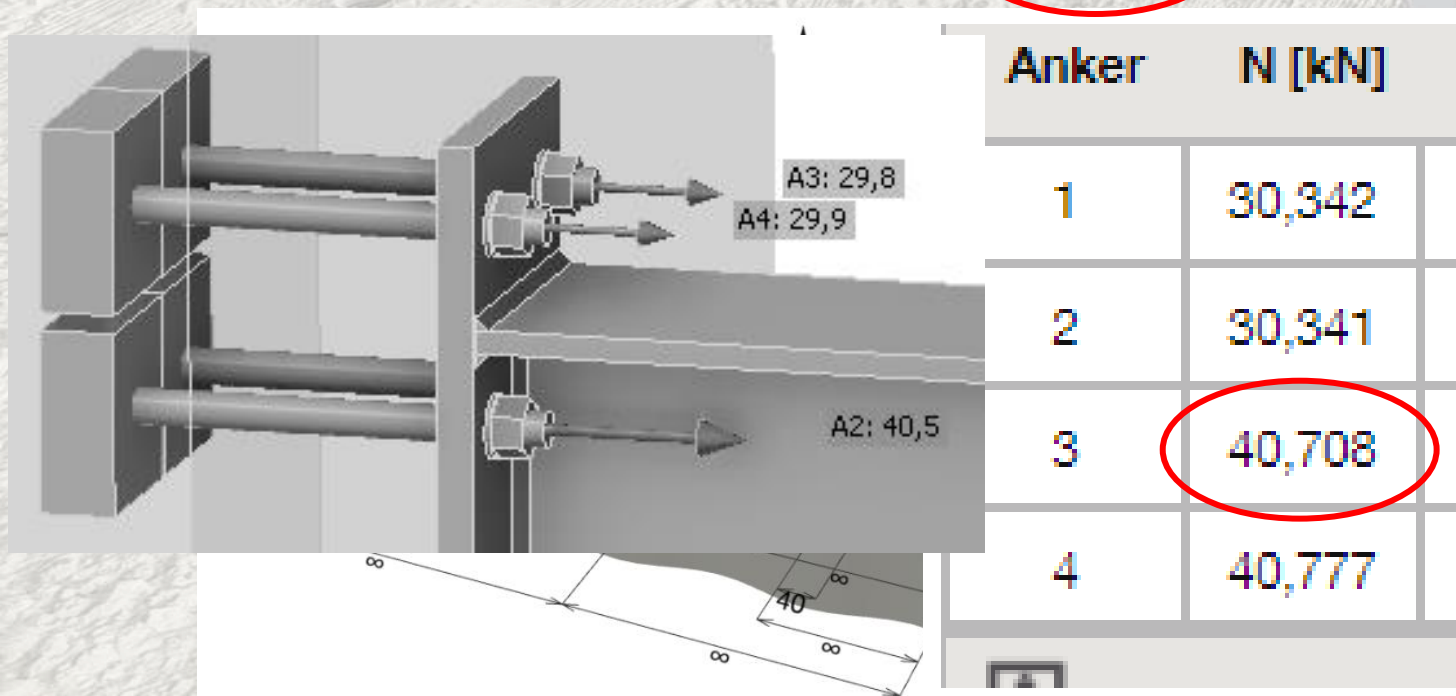
- Doorreken met kortere arm
- Grotere T/D 120 $\rightarrow$ 124 kN



Rekenvoorbeeld 2

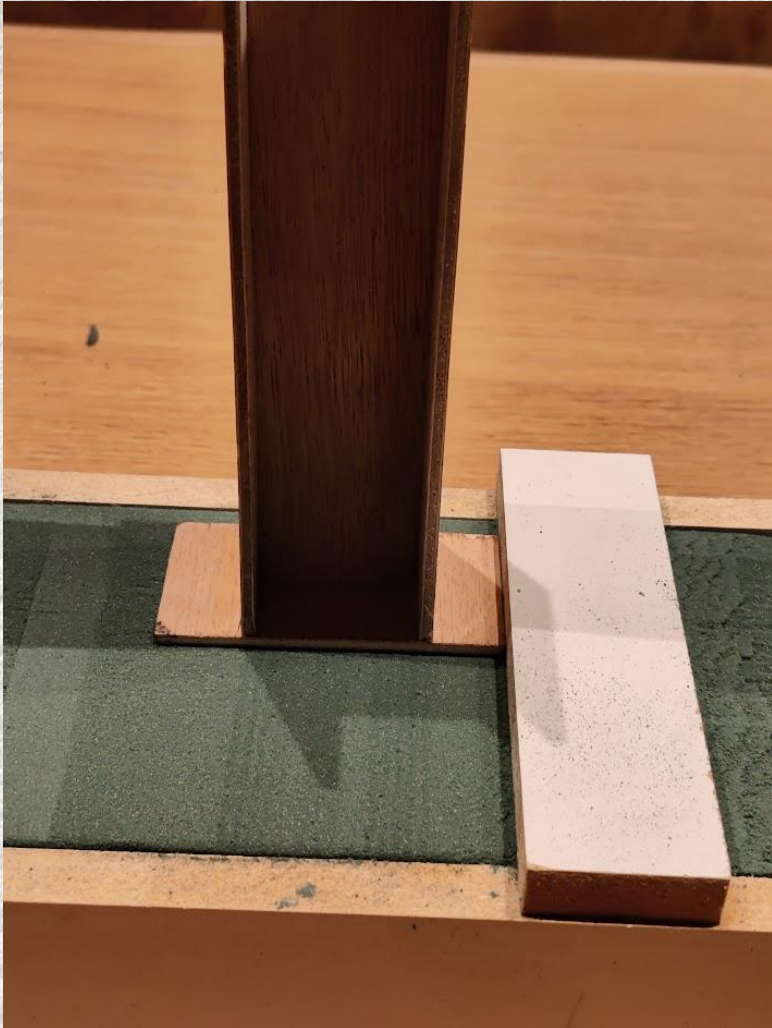
Drukpunt is slecht voor 33% benut, dus z.p. drukpunt ligt dicht bij de flens

- Doorrekenen met nieuwe arm $> T/D$
- Trek in rij 1 = 56,26 kN = 28,9 kN /anker
- Trek in rij 2 = 77,04 kN = 39,9kN / anker

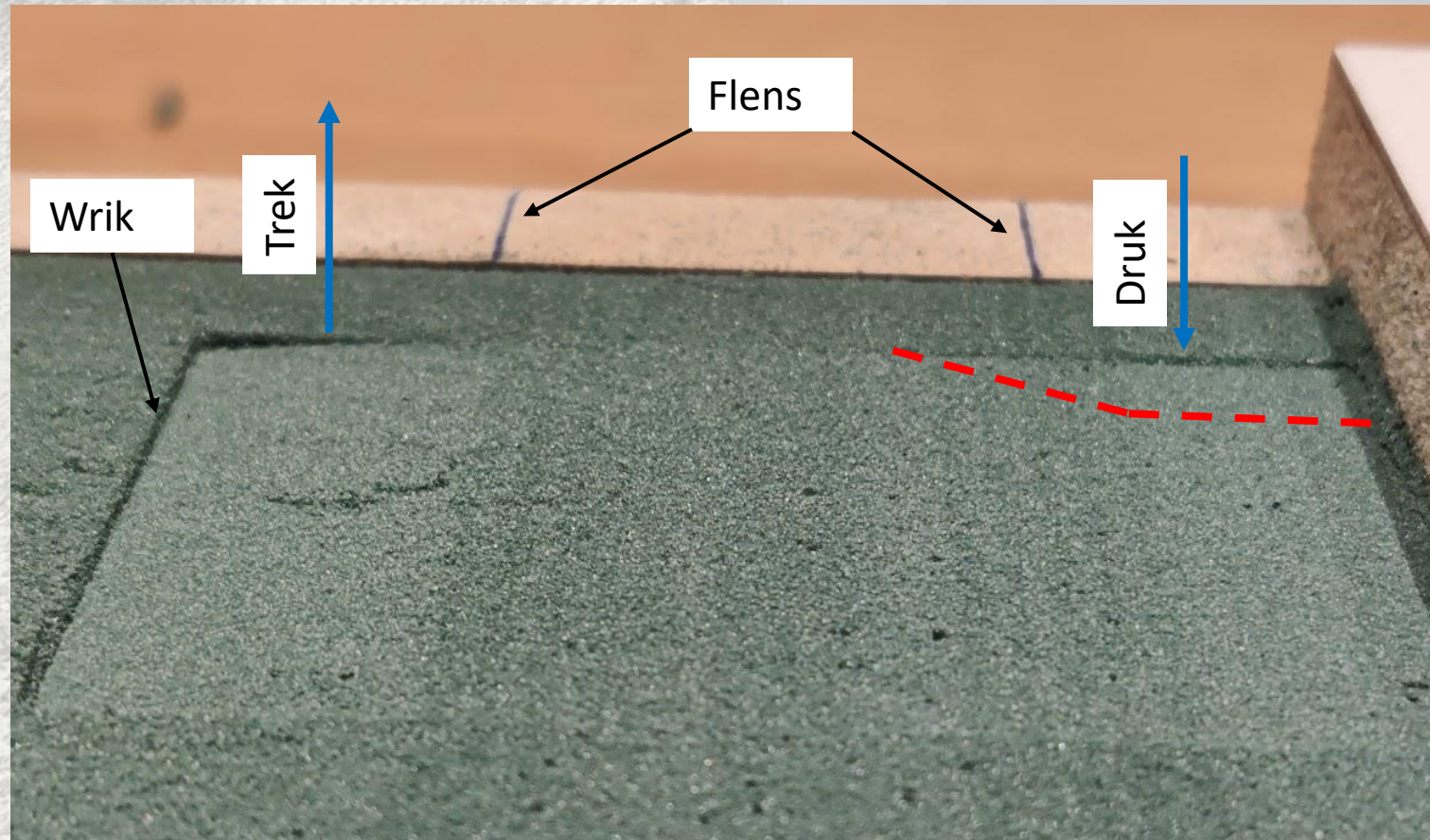


- Afwijking rij 2 = 2 %

Drukproef



Drukproef



Samenvattend

Waarom een nieuwe voorstel?

- Drukpunt heeft invloed op grote van trek/drukkracht
- Verkeerde drukpunt over of onderschat krachtsverdeling

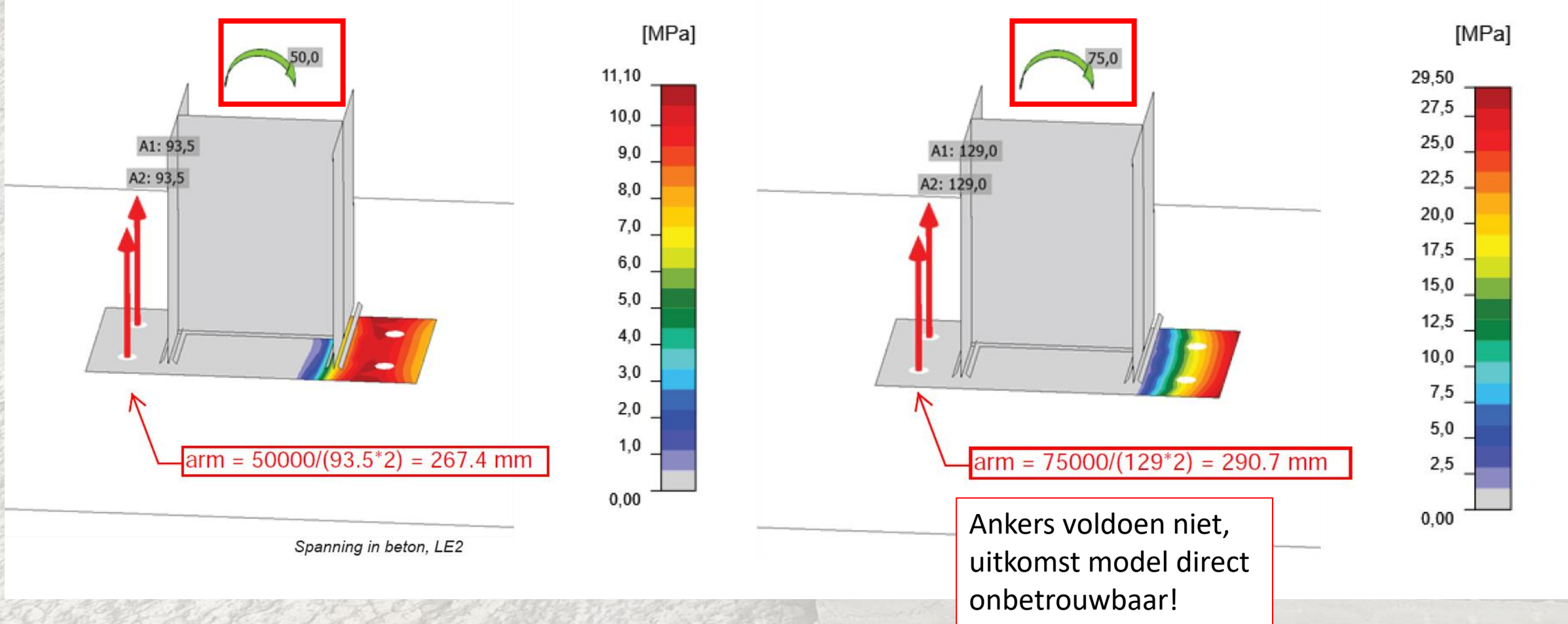


Samenvattend

Waarom een nieuwe voorstel?

- Drukpunt heeft invloed op grote van trek/drukkracht
- Verkeerde drukpunt over of onderschat krachtsverdeling
- Analytische methode om wrikkrachten op ankers te bepalen
- Wrik vaak niet goed in beeld, onterechte verwachtingen van stijfheid
- Handvat voor constructeurs en controleurs of EEM-Software betrouwbare uitkomsten geeft

Samenvattend



Samenvattend

- Drukpunt

- gebaseerd op CEN/TR plastisch
- inzichten van NEN-EN 1993-1-8

$$Z^* = 1/2t_f + 0,8 \text{ a } \sqrt{2} + 1/2C^*$$

- Trekzijde

- Capaciteit voetplaat zonder wrikkrachten
- Ankers controleren op wrikkrachten op basis van benutting T-stuk
- Indien mogelijk configuratie aanpassen voor minder wrikkrachten

