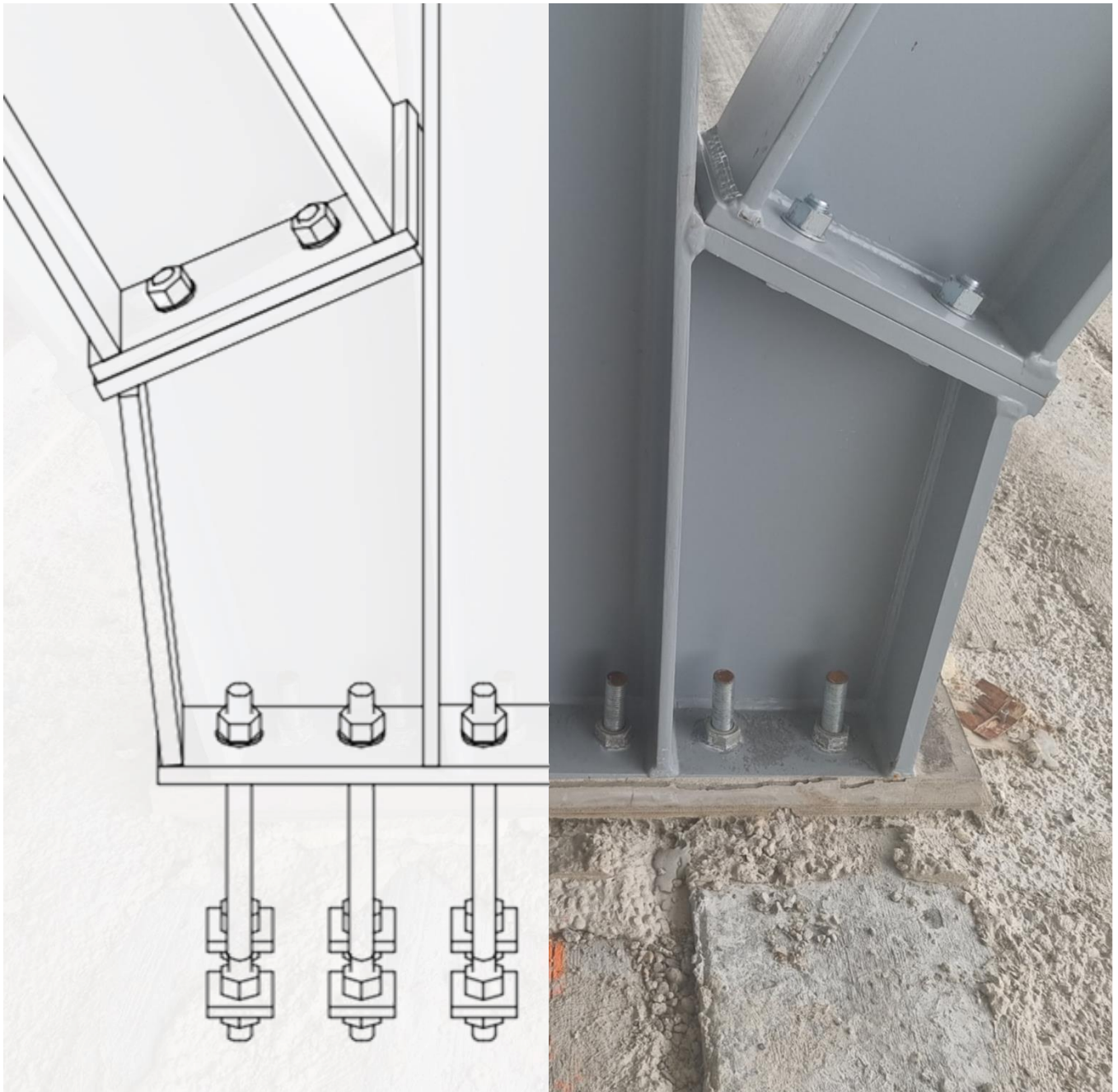


Afstudeeronderzoek

AFSCHUIFCAPACITEIT VAN ANKERS MET MORTELGEVULDE STELRUIMTE



Student/nummer: Arco de Gelder - 17803

*Three Formulas for the Steel Engineers under the sky,
three for the Concrete Engineers in their halls of stone,
Two for the Engineers over sea,
one for the Fisherman to the east
In the Land of Construction where the Shadows lie.
One Formula to rule them all, One Formula to find them,
One Formula to bring them all and in the darkness bind them
In the Land of Construction where the Shadows lie.*

(Naar J.R.R. Tolkiens epigraaf van *The Lord of the Rings*)

Voorwoord

Zo'n tien jaar geleden vroeg Fabian de Vos (Hilti) aan mij hoe ik omging met de stelruimte bij ankers. Ik had wat vage ideeën, maar niks concreets. Daar is het zaadje voor dit onderzoek geplant. Afgelopen jaren heeft het vraagstuk me niet losgelaten mede omdat de vraag door controlerende partijen zo nu en dan ook gesteld wordt. Mij ontbrak de tijd en met name de kennis om hier goed onderzoek naar te doen. Mede door de opleiding constructief ontwerper van BV/BmS heb ik een poging kunnen wagen aan dit vraagstuk. Het is één van de vele vraagstukken die al jarenlang sluimeren onder veel (detail)constructeurs en onder andere daarom heb ik dit vraagstuk beetgepakt om mijn aandeel aan de ontwikkeling van het vak te leveren.

Leeswijzer

Na de inleiding in hoofdstuk 0 is het rapport in vijf delen uiteengezet:

- **Theorie** – Hoofdstuk 2 en 3 gaan in op de theorie van de afschuifcapaciteit van ankers voor zowel zonder als met stelruimte. Ook geven deze hoofdstukken een overzicht van de huidige vergelijkingen die beschikbaar zijn om de afschuifcapaciteit van ankers te bepalen.
- **Praktijk** – Hoofdstuk 4 geeft de huidige praktijk weer van ankerverbindingen. Aan de hand van een enquête en met behulp van de huidige rekensoftware is dit in kaart gebracht. In dit hoofdstuk is ook de basis gelegd van de uitgangspunten voor het rekenmodel.
- **Experimenten** – In hoofdstuk 5 zijn de proefresultaten van L. Bouwman et al [1], K. McBride [2] en R. Mallée [3] naast de huidige normen en theorie gelegd. Wat zeggen deze resultaten over de manier van rekenen en welke verschillen vallen op? Uit deze proeven volgen de eerste contouren van een verantwoorde boven- en ondergrens voor de afschuifcapaciteit van ankers.
- **Computermodel** – Voor hoofdstuk 6 en 7 is een eindige-elementenmethodemodel (hierna EEM-model) opgezet op basis van de mechanica, huidige praktijk en uitgangspunten van de proeven met als doel om het gedrag van op afschuiving belaste ankers met een mortelvoeg goed te simuleren. Als dit model een gedrag toont dat aansluit bij de mechanica en de proeven, kan een verantwoorde rekenwaarde van de afschuifcapaciteit van ankers worden bepaald. In deze hoofdstukken zijn de opbouw en de resultaten van het EEM-model beschreven.
- **Verantwoording** – Aan het eind van het document zijn in hoofdstuk 8 de hoofd- en deelvragen beantwoord en zijn de eindconclusie, het voorstel en enkele aanbevelingen beschreven.

Bij de bronvermelding wordt indien nodig na het referentienummer het pagina- of paragraafnummer gegeven in de vorm van p.X. In de grafieken worden, in de legenda, nummers van de vergelijkingen uit dit document aangehaald in de vorm van (x).

Dankbetuiging

Dit onderzoek is niet alléén door mij tot stand gekomen.

Ik dank God voor alles wat hij mij heeft gegeven aan gezondheid, talent, doorzettingsvermogen, de mensen om mij heen en bovenal zijn onmisbare genade!

Ik dank mijn vrouw Sanne die het mogelijk heeft gemaakt dat ik mijn studie zo met ons gezin heb kunnen volgen, daar altijd weer begrip en geduld voor moest opbrengen en dat ook heeft gedaan. Bedankt voor wie je bent! Mijn zus Petra voor het helpen met schrijven en het controleren van dit document en alle andere stukken die ik door de jaren heen voor mijn studie(s) heb geschreven en alles wat we met elkaar al hebben mogen doen. Mijn collega Cees den Dunnen (ADS) die al jaren mijn mentor en klankbord is voor alles wat er werk- en studiegerelateerd gebeurt en onder wie ik kon groeien van stagiair tot de engineer die ik nu ben. Dank voor de ruimte en tijd die ik in al die jaren van ADS heb gekregen voor mijn studie en onderzoek.

Wat betreft het onderzoek wil ik René Braam bedanken in zijn rol als studiebegeleider voor de fijne coaching, zijn contacten binnen de TU Delft en het klankborden. Ab van der Bos (Diana) en Pim van der Aa (Diana) voor de hulp bij het opstellen van het EEM-model en het ter beschikking stellen van de software. Marcel van Odenhoven voor de gesprekken over dit onderwerp, meelesen en het uitzoeken en toesturen van diverse documenten. Floris de Lange (Fischer) en Jan Poppe (Fischer) met de hulp omtrent het Fischer connect-it artikel. Verder dank ik Marjan Pols (Hilti), Coert Domen (Van Rossum), Bastiaan Hoefnagel (Pelecon), Henk van Vliet (Pelecon), Dick van Gernerden (PT) die allemaal op hun manier hebben bijgedragen aan het verstrekken en vinden van documenten. Ook bedank ik alle respondenten van mijn enquête en iedereen van mijn werk, studie en privé die ik een halfjaar lang heb mogen en kunnen lastigvallen over mijn afstuderen.

En tot slot de belangrijkste, de man die de kast in de kelder van de TU Delft met een breekijzer openbrak omdat daar een Stevin-onderzoek in zou liggen wat een soort van kwijt was en juist voor mijn onderzoek van cruciaal belang was: dank!

Capelle aan den IJssel, 2022

Arco de Gelder

Samenvatting

In dit rapport is onderzoek gedaan naar wat de invloed van een door gietmortel gevulde stelruimte is op de afschuifcapaciteit van een stalen anker. Binnen de huidige codes NEN-EN 1993-1-8 en NEN-EN 1992-4 zijn diverse methoden met verschillende randvoorwaarden beschreven en dat zorgt in de praktijk bij het bepalen van deze afschuifcapaciteit voor onduidelijkheden en discussie wat de juiste methode is. In dit onderzoek zijn de vergelijkingen uit de vigerende codes beschreven, wat de verschillen onderling zijn, hoe constructeurs hier in de dagelijkse praktijk mee omgaan en welke vergelijkingen door de diverse rekensoftware wordt gebruikt. Uit de vergelijkingen blijkt dat de afschuifcapaciteit door de stelruimte moet worden gereduceerd en deze laat zich het beste vatten in een β -factor. Het onderzoek richt zich verder op de beschrijving van β . Voor deze beschrijving wordt de dagelijkse praktijk, de veiligheid en eenvoud van het ontwerp en het constructieve gedrag van de hele verbinding meegenomen.

Onderliggend aan de vergelijkingen zijn in het verleden experimenten uitgevoerd door onder andere het Stevin-laboratorium van de TU Delft, Fischer en de Universiteit van Florida. Deze resultaten zijn onderzocht en met elkaar en de vigerende codes vergeleken. Voor een breder beeld is de vergelijking en een onderliggend experiment voor de bepaling van afschuifcapaciteit van bouten bij het gebruik van stalen vullingen in staal-staalverbindingen ook meegenomen. Hier vindt hetzelfde mechanische gedrag plaats.

Om het complexe gedrag van het krachterspel in het anker, dat veroorzaakt wordt door de afschuifkracht en het moment dat door de stelruimte ontstaat, in beeld te krijgen is voor dit onderzoek in Diana een EEM-model gemaakt. Dit model sluit aan bij de proefresultaten en de onderzochte vergelijkingen en kan daarom gebruikt worden om conclusies te trekken. Voor de randvoorwaarden van het model zijn diverse conservatieve aannames gemaakt om de werkelijke afschuifcapaciteit van de ankers niet ongegrond over te waarderen. Enkele voorbeelden hiervan zijn: geen stelmoer onder de voetplaat zodat de langste buiglengthe van de ankers wordt gecontroleerd, de wrijvingsfactoren conform de codes die lager zijn dan in de proeven zullen zijn opgetreden en een brosser gedrag van het ankermateriaal dan uit trekproeven blijkt.

Uit de resultaten van het EEM-model blijkt dat van de huidige vergelijking voor afschuifcapaciteit van ankers:

- NEN-EN 1993-1-8 bij de hoge stelruimte rond $3 \cdot \text{diameter}$ het dichtst in de buurt van de proefresultaten komt en bij lagere stelruimtes een veilige onderschatting geeft.
- NEN-EN 1992-4 met mortelvoeg diverse onjuiste randvoorwaarden kent en beschreven is met een aflopende β wat door het oplopen van stelruimte door het stellen onverstandig kan zijn. Tijdens het ontwerptraject weet men niet altijd zeker wat de exacte hoogte van stelruimte na montage is.
- NEN-EN 1992-4 zonder gevulde voeg een onnodig lage inschatting van de afschuifcapaciteit geeft. Omdat deze vergelijking als conservatief bekend staat, wordt deze vergelijking met de nodige regelmaat genegeerd binnen bijvoorbeeld rekensoftware. Het vervolgens niet toepassen van één van de hiervoor genoemde vergelijkingen leidt tot een grote overschatting van de afschuifcapaciteit en zou daarom niet van toepassing mogen zijn op stelruimtegeevulde verbindingen

Uit dit onderzoek volgt het voorstel om de huidige vergelijking voor schuif van bouten en ankers volgens NEN-EN 1993-1-8-tabel 3.4 uit te breiden met een reductiefactor β waarop de volgende randvoorwaarden van toepassing zijn:

- Vanaf een voeghoogte groter dan $1/3 \cdot \text{diameter}$ dient de afschuifcapaciteit gereduceerd te worden.
- De mortelvoeghoogte mag niet groter zijn dan $3 \cdot \text{diameter}$ of $0,2 \cdot$ de kleinste breedte van de voetplaat conform NEN-EN 1992-1-1.
- Stalen vulplaten mogen bij staal-betonverbindingen alleen worden toegepast als de aansluitvlakken evenwijdig aan elkaar zijn en na montage aan geen enkele zijde een openstand aanwezig is. Er geldt hierbij een maximum van drie platen.

Als aan deze randvoorwaarden is voldaan, gelden de volgende vergelijkingen voor de β -factor:

- voor een gevulde tussenruimte door middel van een mortelvoeg of enkele stalen vulplaat

$$\beta = 0,745 - 0,0005 \cdot f_{yb}$$

- voor meerdere stalen vulplaten

$$\beta = \frac{9d}{8d \cdot 3t_p}$$

Door dit voorstel kunnen de volgende vergelijkingen komen te vervallen:

- NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 3.3
- NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 6.2
- NEN-EN 1992-4 paragraaf 7.2.2.3.1

Er is door de conservatieve aannames in het EEM-model ruimte om extra invloedfactoren te introduceren die het gedrag nauwkeurig beschrijven. Op basis van de proef- en modelresultaten zijn hier aanbevelingen voor gedaan die nader onderzoek nodig hebben.

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1. Inleiding	1
2. Afschuifkracht op ankers, achtergronden	3
2.1. Inleiding	3
2.2. Verankeren	3
2.3. Afbakening	3
2.4. Afschuifcapaciteit van een anker/bout zonder stelruimte	4
2.5. Wanneer wijkt α_v af?	4
3. Afschuifcapaciteit van een anker/bout met stelruimte	5
3.1. Het moment dat ontstaat door stelruimte	5
3.2. Afschuifcapaciteit van een anker zonder gevulde stelruimte	5
3.3. Afschuifcapaciteit van een anker met gevulde stelruimte	6
3.3.1. NEN-EN 1993-1-8	6
3.3.2. NEN-EN 1992-4	7
3.3.3. ACI-318-19	7
3.3.4. Afschuifcapaciteit van bouten met opvulling door stalen platen	7
3.4. Visuele weergave vergelijkingen	8
3.5. Samenhang van hoofdstuk 2 en 3	9
3.6. Tussentijdse conclusie	10
4. De huidige praktijk van afstandmontage	11
4.1. Verantwoording enquête	11
4.2. Parameters staal-betonverbinding	11
4.2.1. Gatspeling	11
4.2.2. Stelruimte	13
4.2.3. Type vulling – Gietmortel	13
4.2.4. Type vulling – Stalen vulplaten	13
4.2.5. Type anker	13
4.2.6. Aandraaimoment	13
4.3. Rekenmethode	14
4.3.1. NEN-EN 1993-1-8 of NEN-EN 1992-4	14
4.3.2. Hoe rekent de huidige software?	14
4.4. Wat zijn de risico's van een te lage ankeropbouw?	14
5. Experimenteel onderzoek naar ankers met mortelvoeg	16
5.1. Rekenmodellen	16
5.1.1. Bouwman et al.	17
5.1.2. McBride	18
5.1.3. Mallée	18
5.2. Resultaten	19
5.2.1. Bouwman et al.	19
5.2.2. McBride	21
5.2.3. Mallée	22

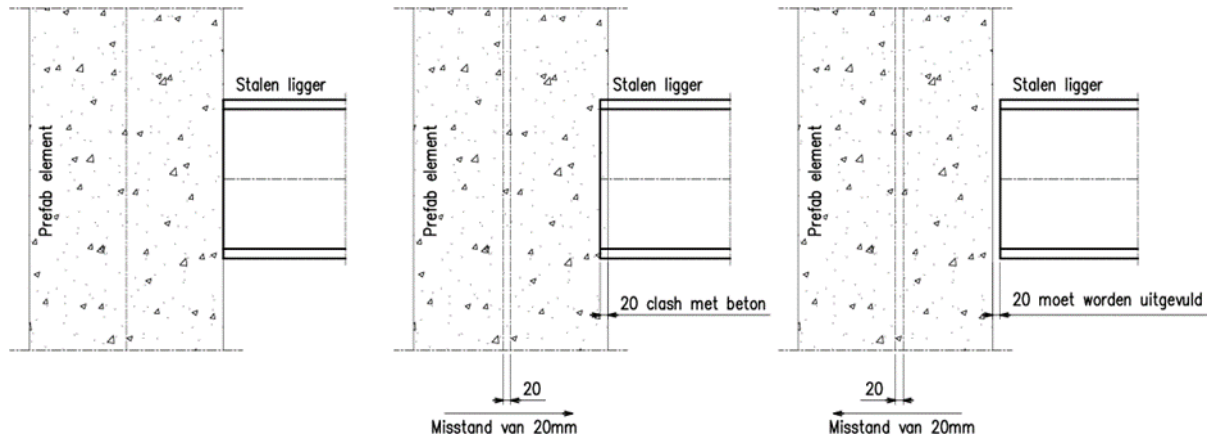
5.2.4.	Visuele weergave van alle proefresultaten	23
5.3.	Voeg	24
5.3.1.	Type mortel	24
5.3.2.	Rekenkundige voeghoogte	24
5.3.3.	Stalen vulplaten	24
5.4.	Gatspeling	26
5.5.	Vervorming	26
5.6.	Conclusies	27
5.6.1.	Rekenmodellen	27
5.6.2.	Resultaten	27
5.6.3.	Voeg	29
5.6.4.	Gatspeling	29
5.6.5.	Vervorming	29
6.	EEM-model	30
6.1.	Model	30
6.1.1.	Opbouw	30
6.1.2.	Steunpunten	31
6.1.3.	Afmetingen	31
6.1.4.	Materialen	31
6.1.5.	Interfaces	32
6.1.6.	Optredende belastingen	33
6.1.7.	Berekeningsmethode EEM-model	33
6.2.	Uitgevoerde berekeningen	34
6.3.	Resultaten	35
6.3.1.	Resultaten enkele analyse	36
6.3.2.	Controle resultaten EEM-model	38
7.	Conclusies en bevindingen EEM-model	40
7.1.	Aandachts- en validatiepunten EEM-model	40
7.2.	β op basis van EEM-model	42
7.3.	Vervorming	43
7.4.	Overige conclusies en bevindingen	45
7.4.1.	Overige conclusies	45
7.4.2.	Relatie resultaten M12 klasse 8.8 steek 65 en 190 mm	47
8.	Verantwoording	48
8.1.	Conclusies	48
8.2.	Deelvragen	51
8.3.	Hoofdvraag en voorstel	52
8.4.	Aanbevelingen	53
8.4.1.	In relatie tot het voorstel	53
8.4.2.	Mogelijke bovengrens	54
	Reflectie	56
	Bibliografie	57
	Symbolen	58

Bijlagen.....	1
1. Resultaten enquête	2
2. Uitvoeren verankeringssoftware	7
2.1. Controle rekensoftware	7
2.2. B+Btec	8
2.3. Fischer	20
2.4. Halfen	32
2.5. Hilti	38
3. Specificatie veelgebruikte mortelsoorten	50
4. Proefresultaten	61
5. EEM-resultaten	64
5.1. Python-script van de geparametriseerde variabelen	64
5.2. Invoergegevens	66
5.3. Resultaten	72
5.3.1. Overzicht uitgevoerde analyses	72
5.3.2. M20 8.8	73
5.3.3. M20 4.6	77
5.3.4. M12 8.8 steek 65 mm	80
5.3.5. M12 8.8 steek 190 mm	83
5.3.6. M30 8.8	86
5.3.7. Lagere mortelklasse K30	89
5.4. Visuele uitvoer	91
5.4.1. M20 8.8 K70 1 mm stelruimte	91
5.4.1. M20 8.8 K70 40 mm stelruimte	96
5.4.1. M20 8.8 K70 70 mm stelruimte met wrijving voetplaat	101
5.4.2. M20 4.6 K70 40 mm stelruimte	110
5.4.3. M12 8.8 K70 steek 190 30 mm stelruimte	115
5.4.4. M12 8.8 K30 steek 190 40 mm stelruimte	121

1. Inleiding

Wanneer staal tegen beton wordt aangesloten is het vaak noodzakelijk om stelruimte te voorzien. De meeste mensen zullen bekend zijn met stelruimte onder een voetplaat van een kolom waarbij onder de voetplaat vaak een stelmoer wordt gebruikt. Hieronder is wellicht een minder bekende situatie beschreven. Onderstaande situatie was de aanleiding om de onduidelijkheid met betrekking tot de afschuifcapaciteit van ankers met mortelgevulde stelruimte te onderzoeken.

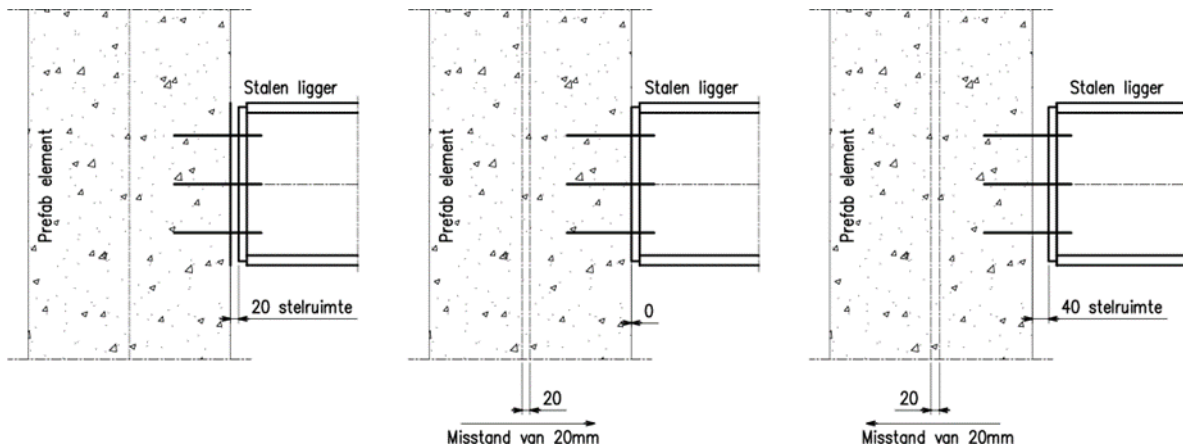
Als een prefab betonconstructie wordt geplaatst, hebben de uitvoerende en monterende partijen een toegestane tolerantie op de eindstand van +/- 20 millimeter (hierna mm). Op basis hiervan wordt het product en de montage ervan verkocht. Bij het plaatsen van een stalen ligger dan wel een kolom tegen een prefab betonelement bestaat dus de mogelijkheid dat het stalen element 20 mm te lang dan wel 20 mm te kort is (figuur 1-1).



figuur 1-1 Staal tegen beton zonder stelruimte

Van links naar rechts: Neutrale stand/ misstand richting het element/ misstand van het element af

Het toepassen van 20 mm stelruimte in de neutrale stand is in vele situaties een praktische noodzaak. Als het betonelement 20 mm verschoven staat, wordt deze afstand gereduceerd tot 0 mm dan wel vergroot naar 40 mm (figuur 1-2). De ruimte tussen de stalen ligger en het beton kan gevuld worden met speciaal daarvoor bestemde mortel (figuur 1-3) of met stalen platen. De ankers of bouten die gebruikt worden om het stalen element aan het beton vast te zetten kunnen in zo'n situatie de afschuifkracht niet direct aan het beton overdragen maar moeten de afschuifkracht over de stelruimte heen brengen (verschuiving van de afschuifkracht met een excentriciteitsmoment als gevolg).



figuur 1-2 Staal tegen beton met stelruimte

Van links naar rechts: Neutrale stand/ misstand richting het element/ misstand van het element af

Voor constructeurs is niet altijd duidelijk wat een realistische waarde is van de afschuifcapaciteit van ankers met een gevulde stelruimte. Over de hoogte van de afschuifcapaciteit is in de literatuur een discussie te vinden die ervoor gezorgd heeft dat in Europa twee vigerende normen naast elkaar bestaan die onderling een verschil voor de afschuifcapaciteit van ankers geven. NEN-EN 1993-1-8 [4] schrijft vanuit een al ouder (1989) Stevin-onderzoek [1] de afschuifcapaciteit van ankers voor. NEN-EN 1992-4 [5], een vrij nieuwe (2018) norm, schrijft de afschuifcapaciteit voor waarin de invloed van de mortelvoeg niet of onder strenge randvoorwaarden is meegenomen. In dit afstudeeronderzoek zal worden gekeken naar deze discussie en wat een verantwoord gebruik kan zijn van de huidige rekenregels. Er zal uitsluitend worden gekeken naar de afschuifcapaciteit van het stalen anker. Het toetsen van de afschuifcapaciteit van beton valt buiten dit onderzoek.

Binnen dit onderzoek wordt gezocht naar een antwoord op de volgende vraag:

Welke reductie mag of moet worden toegepast op de afschuifcapaciteit van een stalen anker of bout waar de stelruimte na afloop is uitgevuld door middel van mortel of stalen platen?

Daarbij wordt onderzocht:

- of NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 6.2 *afschuifcapaciteit van ankers*, van kracht is.
- of NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 3.3 *de reductie van de afschuifcapaciteit bij het gebruik van vulplaten*, gebruikt kan worden.
- met welke randvoorwaarden de vergelijkingen van NEN-EN 1992-4 paragraaf 7.2.2.3.1 van toepassing zijn.

Diverse deelvragen zijn relevant:

- is het gedrag van een bout die in een huls wordt gezet gelijk aan dat van een anker die ingestort of na afloop ingebracht wordt?
- tot welke bout- en ankerdiameters zijn de huidige vergelijkingen toepasbaar?
- is NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 6.2 om te zetten naar een gelijkvormige vergelijking als NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 3.3, namelijk een vergelijking waarin de diameter van het anker en de grootte van de stelruimte invloed hebben op de reductie?
- kan er een universele vergelijking voor de reductie van de afschuifcapaciteit voor staal-staal- en staal-betonverbindingen met een niet-samendrukbaar vulmiddel worden beschreven?
- hoe moet er met scheefstand tussen staal-beton worden omgegaan? Bij scheefstand ontstaat er een afwijkende vorm van de stelruimte waardoor er aan één zijde een kleinere stelruimte aanwezig is dan aan de andere zijde.
- wat is de afschuifcapaciteit van (ingestorte) ankers bij een stelruimte van meer dan 60 mm?

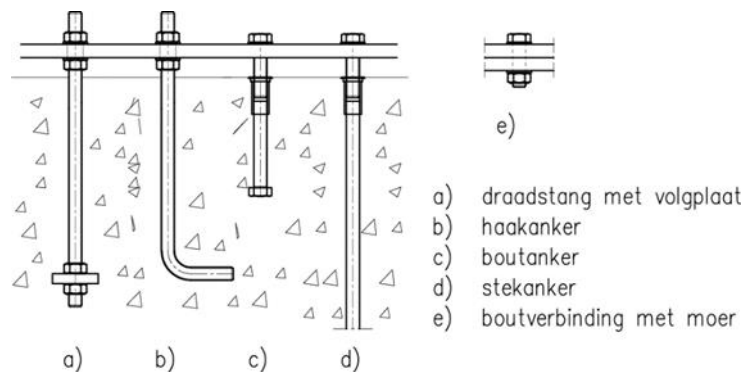


figuur 1-3 Kist om verbinding tussen staal-beton die na het vullen en uitharden verwijderd is

Definitie van ankers en bouten

In het vervolg van dit onderzoek wordt met 'ankers' alle typen bevestigingsmiddelen aangeduid die in het beton worden gebruikt, dus ook de hulzen waarin een bout wordt gedraaid (figuur 1-4 a, b, c en d).

Met 'bouten' wordt het bevestigingsmiddel tussen staal en staal aangeduid (figuur 1-4 e).



figuur 1-4 Typen bevestigingsmiddelen

2. Afschuifkracht op ankers, achtergronden

2.1. Inleiding

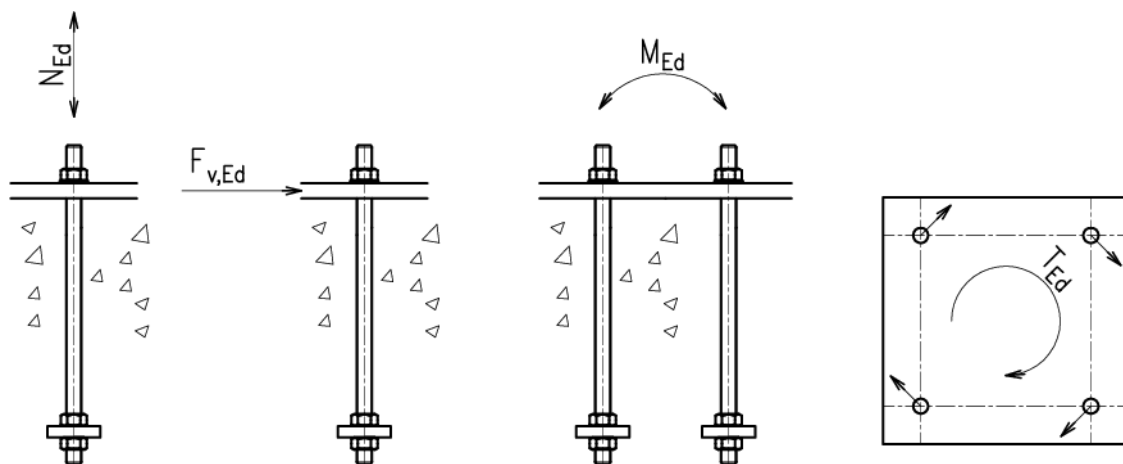
Wat is de werkelijke afschuifcapaciteit van een anker? Wat gebeurt er als een afstand aanwezig is tussen het staal en het beton? Wat gebeurt er als deze stelruimte gevuld wordt met mortel? Wat is de afschuifcapaciteit van een anker met een gevulde stelruimte? Welke van de huidige normen komt het dichtst bij het werkelijke gedrag? Hier bestaan verschillende ideeën over en dat is ook de kern en reden van het onderzoek.

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 2.2 stilgestaan bij het concept van verankeren. In paragraaf 2.3 wordt de afbakening van het onderzoek gegeven en het hoofdstuk sluit af met in paragraaf 2.4 en 2.5 hoe de afschuifcapaciteit van een bout of anker volgens de mechanica en normen wordt bepaald. Hoofdstuk 3 gaat in op de situatie dat bij het verbinden aan beton vaak stelruimte wordt toegepast. In paragraaf 3.1 wordt beschreven wat de invloed is van stelruimte op de ankers. In paragraaf 3.2 wordt de afschuifcapaciteit van de ankers zonder gevulde stelruimte beschreven en in paragraaf 3.3 die met gevulde stelruimte. De verschillende afschuifcapaciteiten worden in paragraaf 3.4 visueel gemaakt en in paragraaf 3.5 wordt de verbinding tussen hoofdstuk 2 en 3 gelegd. In paragraaf 3.6 wordt er een voorlopige conclusie uitsluitend op basis van de theorie getrokken om in hoofdstuk 4 ruimte te geven aan de praktijk.

2.2. Verankeren

Onderdelen, zoals kolommen en liggers, worden binnen de staalbouw aan elkaar vastgemaakt met lassen en/of boutverbindingen. Dat zijn de twee meest voorkomende bevestigingsmiddelen. De staalconstructie wordt op deze manier ook aan het beton gekoppeld. Dat zou door lassen kunnen als er een plaat wordt ingestort, maar meestal gebeurt dit door de staalconstructie vast te zetten met de hulp van ankers. Dit heet in de dagelijkse praktijk verankeren. Deze ankers worden of van tevoren ingestort of worden na afloop aangebracht. Er worden dan gaten in het beton geboord en de ankers kunnen door middel van lijm of mechanisch worden vastgezet.

Bevestigingsmiddelen kunnen op allerlei manieren worden belast. De drie basisbelastingen zijn een normaalkracht in de vorm van trek of druk, een dwarskracht in het platte vlak en een buigend moment (figuur 2-1). Ook kan er torsie optreden, maar bij bout- en ankerverbindingen vertaalt zich dat in de regel in een afschuifkracht. Bij druk (N_{sd}) op de voetplaat zijn de ankers onbelast en wordt alleen het beton op een drukkracht belast [6, p. 71] en bij een trekkracht (N_{sd}) wordt er axiaal aan het anker getrokken. Hierdoor ontstaan diverse interacties in de voetplaat in combinatie met het anker en het beton. Zowel de drukkracht op het beton als de trekkracht op de ankers liggen verder buiten dit onderzoek. Bij afschuiving wordt een dwarskracht, via de ankers, overgebracht van de stalen voetplaat naar het beton. Als er geen stelruimte tussen de voetplaat en het beton aanwezig is, zal de afschuifkracht direct worden doorgegeven, net als bij staal-staalverbindingen.



figuur 2-1 Mogelijkheden van belasting op ankers in de ideale situatie dat er geen stelruimte aanwezig is

2.3. Afbakening

In dit onderzoek is gekeken naar de gangbare praktijk in het gebruik van ankers. Het volgende wordt daaronder verstaan:

Ankerklasse:	4.6 en 8.8	voor deze ankers geldt dat $f_{ub} < 1000 \text{ N/mm}^2$
Ankerafmeting:	M12-M36	
Normen:	NEN-EN 1993-1-8	[4]
	NEN-EN 1992-4	[5]

- Als er naar de norm wordt verwezen zonder vermelding welke het specifiek betreft, gaat het in dit onderzoek over deze twee normen [4] [5].
- Het onderzoek richt zich uitsluitend op het bezwijken van het stalen anker in de vorm van staalbreuk, dus de grens dat de maximale rek door de optredende belasting is bereikt. Controle van het beton op afschuiving ligt buiten dit onderzoek.

- Veel normen kennen hun eigen symbolen. Voor de eenvoud is bij het aanhalen van vergelijkingen de schrijfwijze volgens [4] aangehouden, zie ook de symbolenlijst.
- In [4] en [5] worden de capaciteiten direct dan wel indirect als rekenwaarde bepaald. De rekenwaarde wordt bepaald door de karakteristieke capaciteit te delen door een partiële veiligheidsfactor (materiaalfactor). Voor [4] is dit γ_{m2} en voor [5] γ_{Ms} . Bij het bepalen van de afschuifcapaciteit van bouten en ankers van klasse 4.6 en 8.8 zijn deze beide 1,25. Om zaken eenvoudig met elkaar te kunnen vergelijken en aan te sluiten bij de gangbare praktijk is ervoor gekozen om alles in de rekenwaarde uit te drukken en de indices γ_{m2} aan te houden als partiële veiligheidsfactor.

2.4. Afschuifcapaciteit van een anker/bout zonder stelruimte

De basis voor het bepalen van de karakteristieke afschuifcapaciteit van staal is als volgt: de weerstand tegen afschuiving, ook wel afschuifcapaciteit genoemd, is de toelaatbare afschuifsterkte (τ) van het materiaal over de oppervlakte die weerstand biedt tegen afschuiving. De afschuifsterkte (τ) staat in verhouding tot de treksterkte (f_u) en deze is volgens het criterium van Von Mises $f_u/\sqrt{3}$. Dat resulteert in de volgende vergelijking:

$$F_{v,k} = A_v * \frac{f_u}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

In de huidige Eurocode, NEN-EN 1993-1-8, is deze vergelijking in tabel 3.4 als rekenwaarde voor stalen ankers en bouten in de volgende vorm opgenomen:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (2)$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} * d_s^2$$

Hierin is γ_{m2} de eerdergenoemde partiële veiligheidsfactor met een waarde 1,25. In vergelijking (2) is de verhouding ' $f_u/\sqrt{3}$ ' uitgedrukt in α_v . Deze kan in afwijkende situaties een andere waarde hebben, maar in basis is deze waarde voor bouten en ankers 0,6 en dat benadert 0,577 ($1/\sqrt{3}$). Deze waarde is ook onderzocht aan de hand van proeven. Uit deze proeven komt een α_v van 0,68, maar omdat staal in de praktijk 110% tot 120% van de veronderstelde capaciteit heeft, wordt de waarde verlaagd naar 0,6 [7, p. 4.1.2.2. a]. Cijfermatig ziet dat er als volgt uit: $0,68/120\% = 0,566$ en dat benadert 0,577. In het boek van R. Eligehausen et al. [7] zijn de resultaten van deze proeven terug te vinden.

De waarde voor de verhouding van de afschuifsterkte en de treksterkte van ankers en bouten is breed geaccepteerd en is dan ook in veel literatuur en normen te vinden.

α_v	=	0,6	[4, p. 3.6.1 tabel 3.4] [5, p. 7.2.2.3.1] (aanduiding $\alpha_v = k_6$) [8, p. 17.7.1.2]
α_v	=	$1/\sqrt{3}$	[9, p. 10.3.3] [10, p. 30]

2.5. Wanneer wijkt α_v af?

Er zijn binnen de huidige normen variaties bekend van α_v voor de verschillende bout- en ankerklassen.

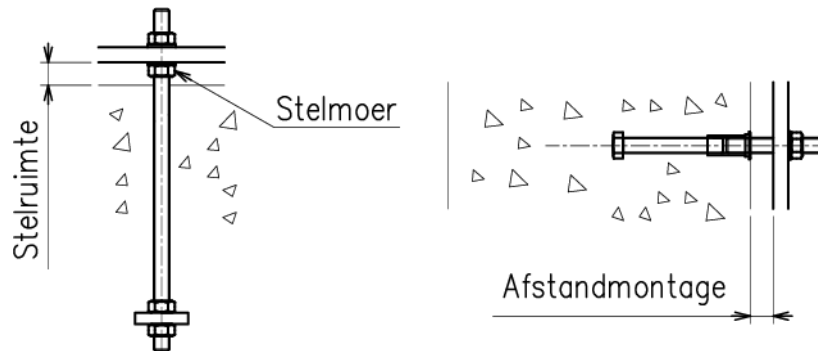
Bij bouten is dat het geval bij een afwijkende boutklasse waarvoor de treksterkte (f_{ub}) ten opzichte van de vloeigrens (f_{yb}) aanzienlijk hoger is. Daardoor neemt α_v af naar 0,5 [4, p. 3.6.1 tabel 3.4]. Hierdoor blijft het basisuitgangspunt, te weten dat de afschuifsterkte gelijk is aan $f_u/\sqrt{3}$, niet overeind en valt de reductie hoger uit. Datzelfde gebeurt ook voor een niet-afwijkende klasse bij het toetsen van ankers volgens NEN-EN 1992-4 [5]. In deze norm krijgen alle klassen ankers met een toelaatbare treksterkte groter dan 500 N/mm² een lagere α_v . Dus waar binnen NEN-EN 1993-1-8 [4] voor klasse 8.8 α_v gelijk is aan 0,6, is binnen NEN-EN 1992-4 de α_v voor klasse 8.8 verlaagd naar 0,5. Het is niet duidelijk waar deze lagere inschatting van deze verhouding voor materiaal met een grotere treksterkte dan 500 N/mm² vandaan komt. Ook het boek van R. Eligehausen et al. [7] geeft deze reductie niet aan. Zij adviseren alleen een lagere α_v bij het plaatsen van meerdere ankers in lijn. Dat is geen materiaalreductie, maar een plaatsingsreductie en voor de helderheid zou het wellicht beter zijn dit in een aparte index terug te laten komen, zoals dat ook in de ETAG-001 Annex C wordt gedaan [11]. Wel heeft de ETAG-001 Annex C vergelijking 5.4 een α_v van 0,5, maar die is van toepassing voor alle klassen ankers. De ETAG-001 Annex C is ondertussen vervangen door NEN-EN 1992-4 en in deze vervanging van de norm is blijkbaar gekozen voor $\alpha_v = 0,6$ indien ' $f_{ub} < 500 \text{ N/mm}^2$ ' en $\alpha_v = 0,5$ indien ' $500 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ub} \leq 1000 \text{ N/mm}^2$ '.

α_v kan ook afwijken als er geen bouten, maar ankers volgens NEN-EN 1993-1-8 worden getoetst. α_v neemt dan af omdat bij ankers met stelruimte ook een trekkracht in de ankers optreedt en hier wordt in de schuif-/treksterkteverhouding ook de reductie door de invloed van de stelruimte verwerkt. Dit wordt in paragraaf 3.3.1 en 5.1.1 verder uitgewerkt.

3. Afschuifcapaciteit van een anker/bout met stelruimte

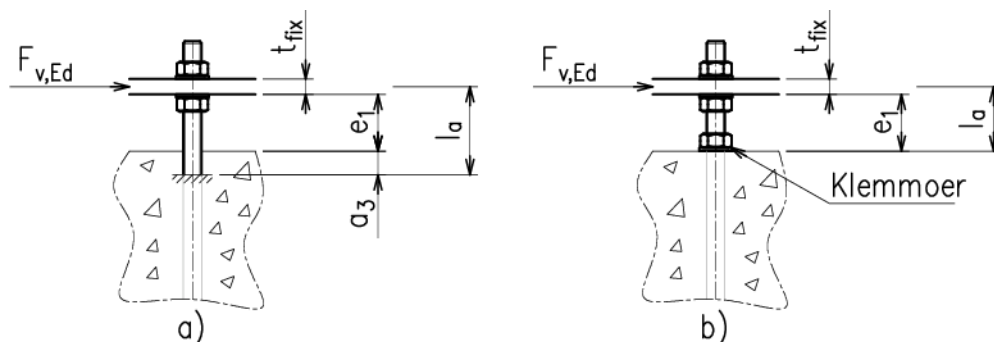
3.1. Het moment dat ontstaat door stelruimte

Als stalen onderdelen tegen beton worden aangesloten wordt zo'n aansluiting vaak voorzien van stelruimte tussen het staal en het beton. In de uitvoering zijn er geaccepteerde toleranties waarmee er gebouwd mag worden en dat betekent dat er in de peilmaten en de positie van betonnen elementen, ten opzichte van een initiële stand, een afwijking kan ontstaan (figuur 3-1). Dat wordt ondervangen door, waar mogelijk, stel mogelijkheden op te nemen in de constructie. Onder voetplaten van kolommen en tussen kopplaten van liggers wordt een vrije ruimte voorzien. Bij voetplaten wordt in deze ruimte vaak een zogeheten stelmoer voorzien zodat de constructie op hoogte kan worden gesteld om bijvoorbeeld een verloop in de fundering te ondervangen.



figuur 3-1 Verticale stelruimte om constructie op hoogte te stellen/ horizontale afstandmontage om mis- en scheefstanden op te vangen

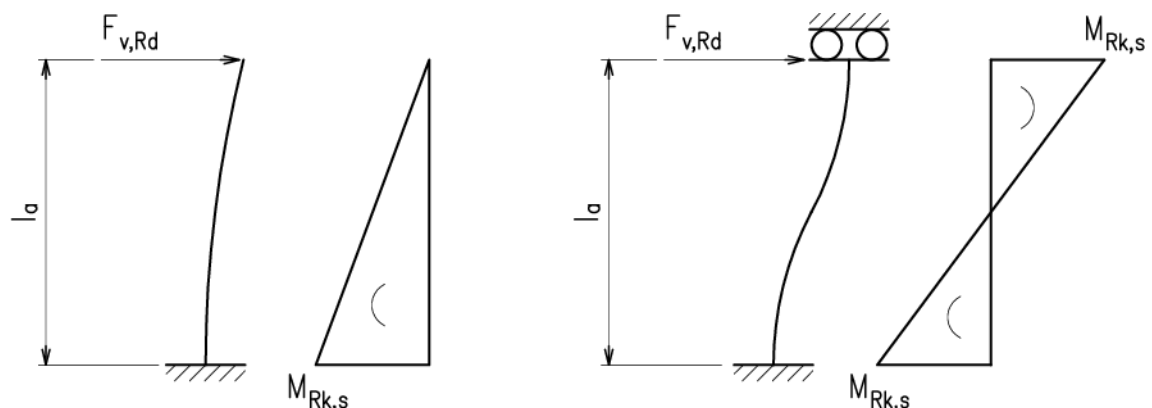
Door de afstandmontage ontstaat er door de afschuifkracht een moment. Het moment is in basis de kracht ($F_{v,Ed}$) over de arm (l_a) (figuur 3-2 a). De kracht hierin is de afschuifkracht uit het staal en de arm (hierna buiglenkte) is de afstand van het hart van de plaat tot een geschikte diepte in het beton om de afschuifkracht over te geven aan het beton. Deze afstand, een soort 'fictieve inklemdiepte', is normaliter gelijk aan $0,5 \cdot \text{diameter}$ (hierna d) (a_3). Deze buiglenkte wordt korter als een klemmoer wordt toegepast. De inklemming van het anker bevindt zich dan direct aan de bovenzijde van het beton en a_3 wordt dan gelijk aan 0 mm (figuur 3-2 b). De buiglenkte is zowel in [5] als in [7] op deze manier gedefinieerd.



figuur 3-2 Definitie van de armlengte van ankers bij afstandmontage

3.2. Afschuifcapaciteit van een anker zonder gevulde stelruimte

Als er geen mortel wordt toegepast om de tussenruimte te vullen, kan het moment dat ontstaat door de afschuifkracht alleen worden opgenomen door de ankers zelf. In NEN-EN 1992-4 [5, p. 7.2.2.3.2.] wordt deze methode uitgewerkt. De achtergrond van deze methode is het mechanische gedrag van een anker dat één of tweezijdig is ingeklemd (figuur 3-3).



figuur 3-3 Vervorming en momentenlijn. Voor de situatie links is $\alpha_M = 1$ en voor rechts is $\alpha_M = 2$

De afschuifkracht ($F_{v,Rd}$) die nodig is om het moment ($M_{Rk,s}$) te creëren volgt uit het aantal inklemmingen (1 of 2) dat weerstand biedt tegen buiging over de lengte (l_a) tussen de inklemmingen (figuur 3-3):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_M * M_{Rk,s}}{l_a * \gamma_{m2}} \quad (3)$$

In bovenstaande vergelijking wordt de lengte (l_a) gevormd door de werkelijke stelruimte + $0,5 * t_{fix}$ + $0,5 * d$. Dit is dus een rekenkundige stelruimte. Bij een rekenkundige stelruimte van 45 mm ligt de werkelijke stelruimte rond de veel voorkomende waarde van 30 mm.

De plastische momentweerstand van een ronde doorsnede heeft in [4] en [5] voor een plastische berekening dezelfde waarde:

$$M_{Rk,s} = 1,5 * W_{el} * f_{yb} \quad (4)$$

Deze waarde is ontleend aan proeven [7]. Uit deze proeven blijkt dat 95% van de draadeinden bij bezwijken tenminste de plastische buigweerstand bereikt. 5% van deze proeven vallen binnen de range van 90%-100% van de plastische buigweerstand volgens (4). Daarom is de aanname gemaakt dat $0,9 * W_{pl} * f_{yb}$ de veilige plastische buigweerstand van een ronde doorsnede is. Tussen W_{pl} en W_{el} zit een vormfactor die voor een ronde doorsnede ongeveer gelijk is aan 1,7, zie vergelijking (5). Als de vormfactor in de aanname wordt ingevuld, volgt vergelijking (6) die vervolgens afgerond is tot de notatie volgens vergelijking (4):

$$\alpha = \frac{W_{pl}}{W_{el}} = \frac{\frac{d_s^3}{6}}{\frac{\pi}{32} * d_s^3} = \frac{32}{6 * \pi} = 1,697 \quad (5)$$

$$W_{pl} = \frac{d_s^3}{6}; W_{el} = \frac{\pi}{32} * d_s^3$$

$$M_{Rk,s} = 0,9 * 1,7 * W_{el} * f_{yb} = 1,53 * W_{el} * f_{yb} \sim 1,5 * W_{el} * f_{yb} \quad (6)$$

Er is geen duidelijke reden waarom voor de bepaling van de plastische buigweerstand de elastische buigweerstand als uitgangspunt wordt genomen. Voor de helderheid en correctheid lijkt het dus logisch om de notatie volgens vergelijking (7) te gebruiken:

$$M_{Rk,s} = 0,9 * W_{pl} * f_{yb} \quad (7)$$

3.3. Afschuifcapaciteit van een anker met gevulde stelruimte

3.3.1. NEN-EN 1993-1-8

NEN-EN 1993-1-8 artikel 6.2.2. kent de volgende vergelijking voor de afschuifcapaciteit van ankers:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_{bc} * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (8)$$

$$\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003 * f_{yb}$$

α_{bc} is nagenoeg dezelfde index als α_v in vergelijking (2). α_{bc} geeft net als α_v de reductie van de toelaatbare trekspanning aan. Daarnaast is in α_{bc} ook de interactie met de stelruimte verwerkt.

Deze vorm van schrijven is een herformulering van de oude vergelijking uit NEN 6772 [12, p. 11.7.2.3.3.] en vindt zijn oorsprong in het Stevin-onderzoek door L. Bouwman et al. [1]. Hierin is aan de hand van de dan geldende interactieformule van trek- en afschuifkracht bij ankers een voorstel gedaan voor de maximaal toelaatbare afschuifkracht op ankers. Deze vergelijking is gebruikt omdat het theoretische model ervan uitgaat dat door afschuiving in het anker en de vervorming die het anker ondergaat, er een drukkracht in de mortel ontstaat. Voor een kloppend evenwicht en omdat de mortelvoeg geen trekkracht kan opnemen moet de trekkracht door de ankers worden opgenomen. De som van de trekkracht in de ankers is dus gelijk aan drukkracht op de mortel. De spanning in het anker neemt bij afstandmontage dus niet alleen toe door de afschuifkracht die optreedt, maar ook door de trekkracht die ontstaat uit het excentriciteitsmoment. De maximale afschuifcapaciteit zal hierdoor afnemen. Dat volgt ook uit het Von Mises-criterium voor ruimtelijke spanningen. In de reductiefactor α_{bc} is de interactie van de afschuifcapaciteit met de extra optredende trek al verwerkt. Dat is dan ook de reden waarom met deze vergelijking de optredende schuifbelasting op ankers met stelruimte niet gecombineerd hoeft te worden met een externe optredende trekkracht. "Indien een uitwendige trekkracht aanwezig is, dan zal deze de trekspanning in het anker niet direct vergroten maar hoofdzakelijk tot gevolg hebben dat de contactdruk tussen de voetplaat en de voeg kleiner wordt." [1, p. 41]. In paragraaf 5.1.1 wordt dit verder uitgewerkt.

Voor bouten in staal-staalverbindingen zonder stelruimte moeten de optredende trek- en afschuifkracht wel worden gecombineerd omdat in vergelijking (2) de volledige spanningsdoorsnede wordt toegekend om de afschuifkracht op te nemen. In [4] is de interactieformule van bouten in staal-staalverbindingen op afschuif- en trekkracht uitgewerkt, maar dit valt verder buiten dit onderzoek.

3.3.2. NEN-EN 1992-4

Afstandmontage met mortelvoeg vanaf $0,5 \cdot d$

In NEN-EN 1992-4 artikel 7.2.2.3.1 wordt er onderscheid gemaakt op basis van de hoogte van de stelruimte. Als de hoogte klein genoeg is, hoeft de afschuifcapaciteit van het anker niet te worden gereduceerd. Dat geldt voor een mortelgevulde stelruimte tot $0,5 \cdot d$.

Indien de stelruimte groter wordt, moet de afschuifcapaciteit volgens (9) worden gereduceerd als er geldt dat:

- het beton als ongescheurd kan worden beschouwd;
- tenminste twee ankers achter elkaar worden geplaatst in de richting van de schuifkracht;
- er geen trekkracht of moment op de voetplaat aangrijpt;
- de steek tussen de ankers tenminste $10 \cdot d$ is;
- de mortelvoeg kleiner of gelijk is aan 40 mm en kleiner dan $5 \cdot d$;
- de hele voetplaat is voorzien van een mortelvoeg; en
- de sterkte van de gietmortel niet lager is dan 30 N/mm^2 .

$$F_{v,Rd} = (1 - 0,01 \cdot t_{\text{mortel}}) \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (9)$$

De basisuitdrukking voor de afschuifcapaciteit is gelijk gebleven maar er wordt een extra reductie toegevoegd op basis van t_{mortel} . Bij deze reductie neemt de afschuifcapaciteit af naarmate de stelruimte groter wordt.

Afstandmontage groter dan 40 mm of $5 \cdot d$

Als de afstandmontage groter is dan 40 mm of $5 \cdot d$ of als aan één van de andere randvoorwaarden niet wordt voldaan, dan is vergelijking (9) niet meer van toepassing. NEN-EN 1992-4 geeft vervolgens geen andere methode voor afstandmontage met mortel maar verwijst naar vergelijking (3).

3.3.3. ACI-318-19

De Amerikaanse code [8] kent volgens artikel 17.7.1.2.1 de volgende vergelijking als een mortelvoeg wordt gebruikt:

$$F_{v,Rd} = 0,8 \cdot \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (10)$$

Er wordt een reductie van 80% toegevoegd aan de toelaatbare afschuifcapaciteit van een anker als een mortelvoeg wordt toegepast. Er is geen maximale hoogte voor de mortelvoeg gegeven. Er wordt binnen de ACI-318-19 geen onderscheid gemaakt in de verschillende klassen van ankers, zoals dat wel in de beide Eurocodes het geval is en daarom geldt altijd dat $\alpha_v = 0,6$.

3.3.4. Afschuifcapaciteit van bouten met opvulling door stalen platen

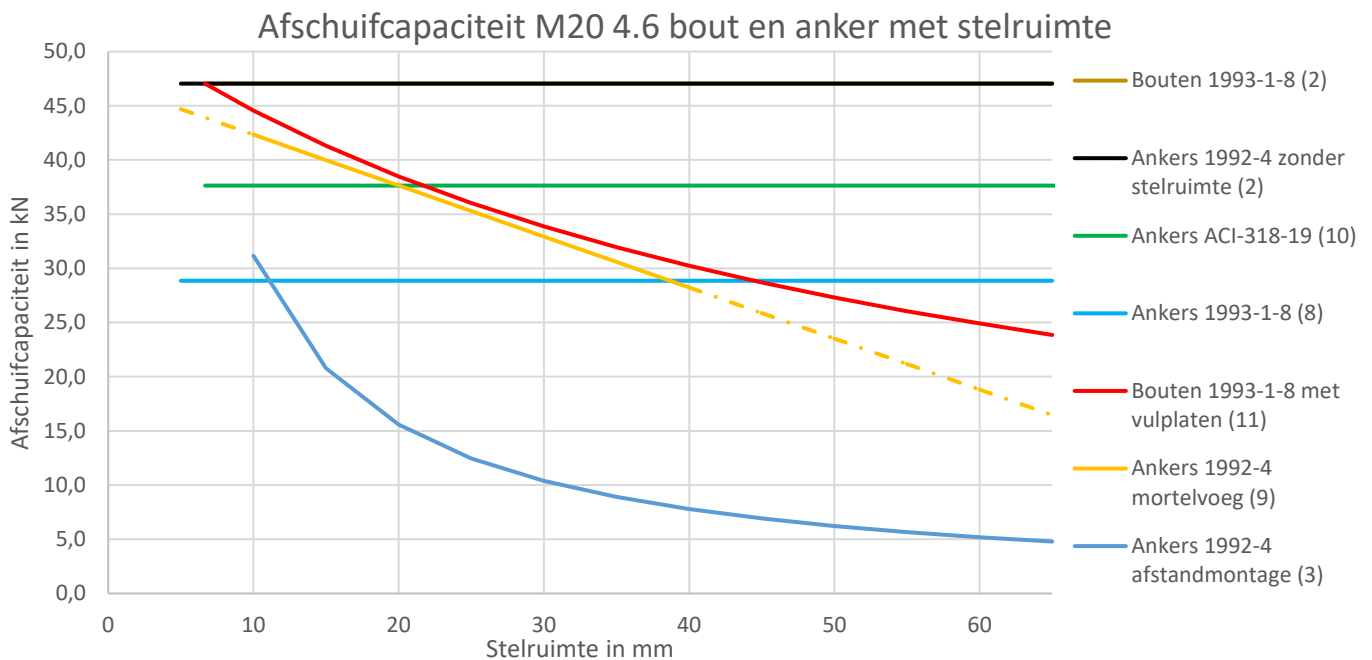
NEN-EN 1993-1-8 artikel 3.6.1 (12) geeft richtlijnen voor het reduceren van de afschuifcapaciteit van bouten als bij staal-staalverbindingen vullingen worden toegepast. Wellicht bestaat er een correlatie tussen staal-staal- en staal-betonverbindingen. Daarom wordt deze vergelijking meegenomen in dit onderzoek:

$$F_{v,Rd} = \beta_p \cdot \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (11)$$
$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p}$$

Deze vergelijking moet worden gebruikt als er vulplaten worden toegepast die samen dikker zijn dan $1/3 \cdot d$.

3.4. Visuele weergave vergelijkingen

Om een beeld te krijgen bij alle voorgaande vergelijkingen zijn deze weergegeven in onderstaande grafieken voor zowel M20 4.6 (figuur 3-4) als M20 8.8 (figuur 3-5).

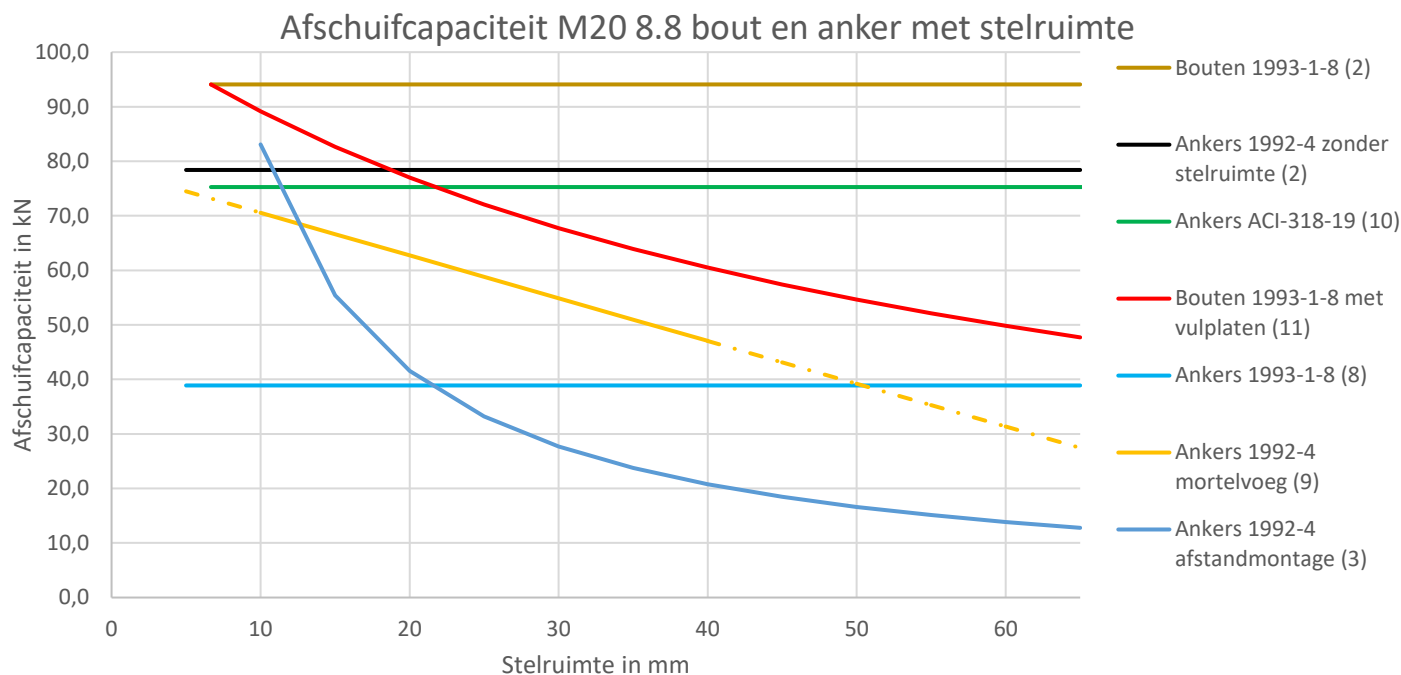


figuur 3-4 Afschuifcapaciteit M20 4.6 bout en anker met stelruimte

De basiswaarden van bouten en ankers (bruin en zwart) zonder stelruimte zijn gegeven als referentie en vallen voor klasse 4.6 over elkaar heen. Dat komt omdat in beide normen [4] [5] α_v gelijk is aan 0,6. Deze zijn bij het toepassen van afstandmontage niet van kracht maar laten de maximale toelaatbare afschuifcapaciteit van de doorsnede zonder stelruimte zien, waar volgens [4] [5] mee gewerkt mag worden.

De volgende zaken vallen op:

- De afschuifcapaciteit van ankers volgens vergelijking (9) en (11) geven nagenoeg dezelfde resultaten. Bij (9) is de stelruimte gevuld door gietmortel en bij (11) met stalen platen.
- De afschuifcapaciteit van ankers volgens vergelijkingen (2) en (10) is constant en is onafhankelijk van de morteldikte.
- De afschuifcapaciteit van ankers volgens vergelijking (3) is de ondergrens van de huidige codes. Daarbij geldt dat vergelijking (3) uitgaat van een rekenkundige stelruimte die groter is dan de werkelijke stelruimte, zie paragraaf 3.2. De afschuifcapaciteit van vergelijking (3) bij een rekenkundige stelruimte van 45 mm is dus te vergelijken met de afschuifcapaciteit van andere vergelijkingen bij een werkelijke stelruimte van 30 mm. De afschuifcapaciteit volgens vergelijking (3) is bij deze stelruimte ruim vier keer zo laag als de afschuifcapaciteit volgens de drie meest nabijgelegen vergelijkingen (8), (9) en (10)(11).



figuur 3-5 Afschuifcapaciteit M20 8.8 bout en anker met stelruimte

De volgende zaken vallen op:

- De afschuifcapaciteit van klasse 8.8-ankers volgens NEN-EN 1992-4 is in de basis 20% lager dan die van NEN-EN 1993-1-8 doordat volgens NEN-EN 1992-4 α_v dan gelijk is aan 0,5 in plaats van aan 0,6.
- De afschuifcapaciteit van ankers volgens vergelijking (9) en (11), waarin de stelruimte is gevuld door gietmortel of stalen platen, verschillen net als bij bouten 20%. Bij eenzelfde α_v (zoals bij klasse 4.6) zouden deze vergelijkingen nagenoeg dezelfde resultaten geven.
- De afschuifcapaciteit van ankers met een stelruimte volgens vergelijking (8) is voor klasse 8.8 in verhouding lager dan bij klasse 4.6. Dat komt doordat α_v in deze vergelijking voor klasse 8.8 lager is dan voor klasse 4.6:
 - o α_v voor klasse 8.8 = $0,44 - 0,0003 \cdot 640 = 0,25$
 - o α_v voor klasse 4.6 = $0,44 - 0,0003 \cdot 240 = 0,37$
- De afschuifcapaciteit volgens vergelijkingen (2) en (10) is constant en is onafhankelijk van de morteldikte.
- De afschuifcapaciteit van ankers volgens vergelijking (3) is de ondergrens van de huidige codes. Daarbij geldt dat vergelijking (3) uitgaat van een rekenkundige stelruimte die groter is dan de werkelijke stelruimte, zie paragraaf 3.2. De afschuifcapaciteit van vergelijking (3) bij een rekenkundige stelruimte van 45 mm is dus te vergelijken met de afschuifcapaciteit van andere vergelijkingen bij een werkelijke stelruimte van 30 mm. De afschuifcapaciteit volgens vergelijking (3) is bij deze stelruimte ruim twee keer zo laag als de afschuifcapaciteit volgens vergelijking (8), drie keer zo laag als die van vergelijking (9) en vier keer zo laag als die van vergelijking (10) en (11).

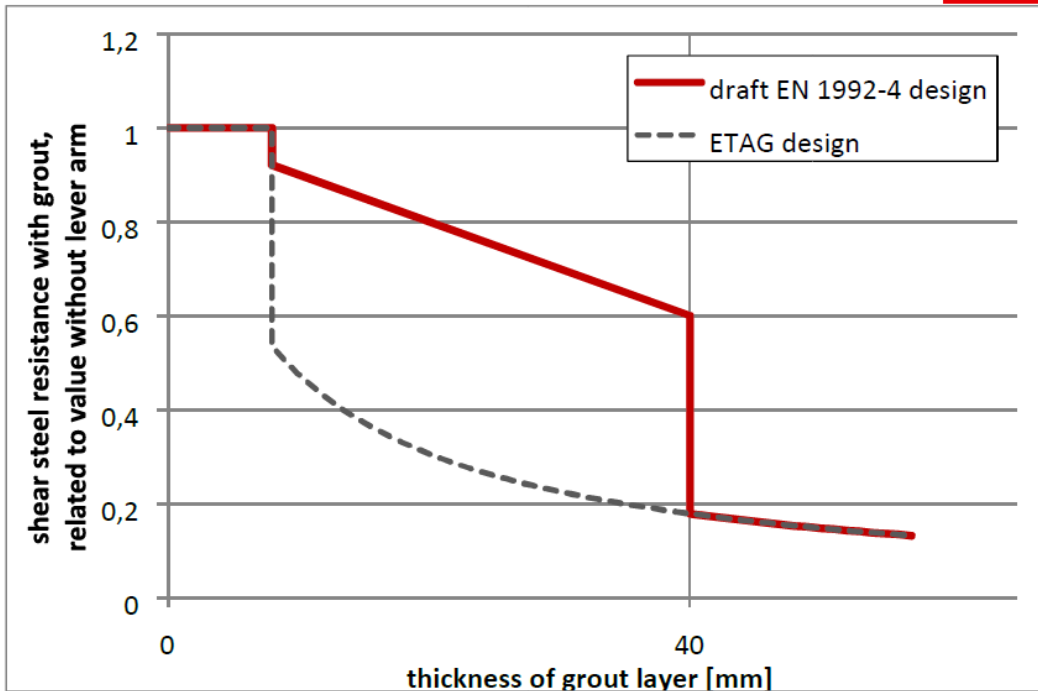
3.5. Samenhang van hoofdstuk 2 en 3

Wat is een veilige waarde voor de afschuifcapaciteit van ankers of bouten met mortelgevulde stelruimte? Er zijn grote rekenkundige verschillen tussen de capaciteiten van de verschillende vergelijkingen en die nemen zelfs toe tot een factor 4 (figuur 3-4).

De rekenmethode volgens NEN-EN 1992-4, die gebaseerd is op ETAG [11] en is toegelicht in het boek van R. Eligehausen et al. [7], bepaalt de afschuifcapaciteit van een anker op basis van alleen de buigcapaciteit zonder rekening te houden met de aanwezige mortel, zie vergelijking (3). Dat wordt door diverse partijen en constructeurs als conservatief beschouwd [13] [2]. Maar [7] vermeldt dat de afschuifcapaciteit volgens het rapport van Bouwman et al. [1] dan weer niet overgenomen kan worden omdat de uitvoering van mortelvoegen niet betrouwbaar genoeg is om te stellen dat er geen buiging in de ankers zal optreden.

In een artikel van Hilti [13] worden de verschillen tussen vergelijking (3) en (9) inzichtelijk gemaakt. In figuur 3-6 is te zien dat uit vergelijking (9) *afschuifcapaciteit van ankers met een mortelgevulde voeg*, blijkt dat tot 40 mm mortelvoeghoogte er meer afschuifcapaciteit kan worden toegekend. In vergelijking (9) is de hoogte lineair van invloed op de afschuifcapaciteit. Dat zit ook verwerkt in vergelijking (11) *de reductie van de afschuifcapaciteit van bouten met stalen vullingen*, en in vergelijking (3) *buigweerstand van ankers zonder mortelvoeg*. Ook is te zien dat de verhoogde afschuifcapaciteit bij 40 mm abrupt stopt. Hoe zit dit dan bij verschillende ankerdiameters? Is de afname van de afschuifcapaciteit, bij een absolute mortelvoeghoogte, voor een M16-bout gelijk aan die van een M36-bout? Of mag worden verwacht dat voor grotere diameters grotere voeghoogtes toelaatbaar zijn? En waarom zou bij 40 mm opeens de afschuifcapaciteit van het anker terugvallen naar die van een anker enkel belast op buiging zonder rekening te houden met de mortelvoeg?

Voor de beschreven vergelijkingen ontstaan er allerlei grenzen waar de vergelijkingen niet meer toepasbaar zijn of uit zijn verband raken. Het zou daarom wenselijk zijn als het werkelijke afschuifgedrag van mortelgevulde tussenruimte van voetplaten beschreven kan worden.



figuur 3-6 Afschuifcapaciteit volgens vergelijking (9) (rode lijnstukken) met toelaatbare mortellaagdikte tot 40 mm

3.6. Tussentijdse conclusie

Er is nog geen sluitend antwoord voor de afschuifcapaciteit van een anker met mortelgevulde stelruimte. Dit blijkt ook uit de literatuur:

- Op dit moment is er geen algemeen geaccepteerde theorie om de complexe interactie van de afschuifkracht, trekkracht en moment te bepalen voor een op afschuiving belast anker [7, p. 4.1.2.2]. Dit wordt later in het boek ook een discussie genoemd [7, p. 6.1.2.2].
- "Ontbrekende informatie en uniformiteit bij het bepalen van de afschuifcapaciteit voor ankers met stelruimte geeft reden om experimenteel onderzoek te doen." [2, p. VI]

Maar er is een duidelijke lijn te vinden in wat er wel bekend is. Die laat zich goed zien in de schrijfwijze van vergelijking (11) *de reductie van de afschuifcapaciteit van bouten met stalen vullingen*. In deze vergelijking wordt de afschuifcapaciteit van de bout bepaald met een extra reductie voor de stelruimte in de vorm van β_p . Alle beschreven vergelijkingen van de afschuifcapaciteit, waaronder ook NEN-EN 1992-4 zonder mortelvoeg, gebruiken deze schrijfwijze in directe of indirecte vorm. Daarom wordt verder voor dit onderzoek vergelijking (12) gebruikt: een door stelruimte (β) gereduceerde rekenwaarde van de afschuifcapaciteit ($F_{v,Rd}/\gamma_{m2}$) die bepaald wordt op basis van een factor (α_v) van de toelaatbare trekspanning (f_{ub}) over de afschuifoppervlakte (A_s).

$$F_{v,Rd} = \beta * \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (12)$$

Voor het vervolg van dit onderzoek is de vraag wat een verantwoorde waarde van β is:

- Is dit een constante waarde conform vergelijkingen (8) en (10)?
- Is dit een afnemende waarde conform vergelijkingen (3), (9) en (11)?
- Is het mogelijk dat deze waarde zelfs groter wordt als de dikte van de mortelvoeg toeneemt?

4. De huidige praktijk van afstandmontage

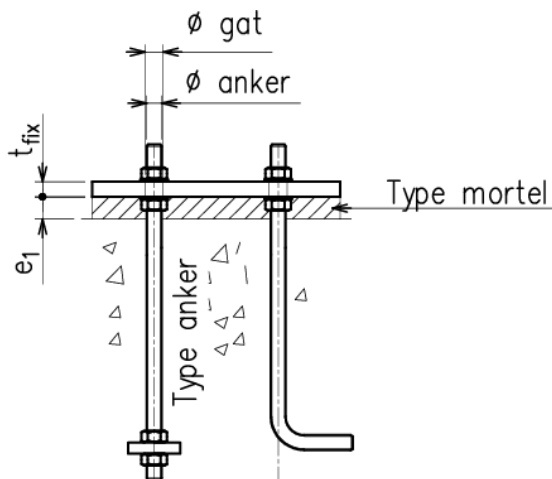
Hoofdstuk 3 is afgesloten met een vergelijking en een nog onbekende reductiewaarde β . Voor goede modelvorming is het nodig om de dagelijkse praktijk mee te nemen. Daarom is onder andere een enquête uitgezet. In bijlage 1 is de volledige uitkomst hiervan opgenomen. In dit hoofdstuk zullen de uitkomsten worden samengevat. In paragraaf 4.1 wordt kort stil gestaan bij de groep respondenten. In paragraaf 4.2 worden voor de praktijk de relevante parameters beschreven. In paragraaf 4.3 worden de gebruikte rekenmethodes belicht. En tot slot worden in paragraaf 4.4 de mogelijke risico's beschreven en in hoeverre deze in de praktijk kunnen optreden.

4.1. Verantwoording enquête

Om een goed en breed inzicht te krijgen in de praktijk van verankering is geprobeerd om een zo breed mogelijke groep respondenten qua locatie en functie aan te schrijven voor het invullen van de enquête. Daarom zijn hoofdconstructeurs, detailconstructeurs, staalbouwers en engineeringbureaus aangeschreven, binnen en buiten Nederland. Dit zijn niet alleen bekende partijen voor de afstudeerder, maar ook bedrijven en personen die via diverse contactpersonen of naar aanleiding van een algemene oproep via LinkedIn hebben gereageerd. Dat heeft geresulteerd in 46 respondenten. Uit de antwoorden op de eerste vragen blijkt een behoorlijke spreiding in functie, type bedrijf en locatie. Onder andere door de brede spreiding over het land komt goed de dagelijkse praktijk naar voren omdat uit diverse clusters van bedrijven, die in de regel vaak met elkaar werken, respons is gekomen.

4.2. Paramaters staal-betonverbinding

De aansluiting van staal tegen beton bestaat uit diverse onderdelen met diverse parameters. Deze parameters hebben allemaal in meer of mindere mate invloed op de afschuifcapaciteit van het anker. Hieronder wordt het kader gegeven dat later ook voor het EEM-model gebruikt zal worden.



figuur 4-1 Parameters bij staal-betonverbinding

Voetplaatdikte t_{fix}	= 15 mm	(praktische voetplaatdikte)
Materiaalkwaliteit voetplaat	= S235	(standaard materiaalkwaliteit)
Ankerafmeting	= M12-M30	(in de experimenten gebruikt)
Ankerklasse	= 4.6 en 8.8	(in de experimenten gebruikt)
Gatspeling	= +2 mm en +4 mm	(zie paragraaf 4.2.1)
Stelruimte e_1	= variabel	(zie paragraaf 4.2.2)
Type vulling	= K30, K50, K70 en stalen vulplaten	(zie paragraaf 4.2.3 en 4.2.4)
Type anker	= rechte anker met volgplaat	(zie paragraaf 4.2.5)
Aandraaimoment	= 'handvast' volgens NEN-EN 1090 [14]	(zie paragraaf 4.2.6)

Diverse parameters zijn van minder groot belang voor de afschuifcapaciteit van de ankers. Voor deze waarden zijn keuzes gemaakt die overeenkomen met de dagelijkse praktijk.

4.2.1. Gatspeling

Om de constructie vast te zetten aan ankers wordt het stalen element over de ankers heen geschoven. Om dit te laten passen kunnen diverse gatdiameters worden gekozen die elk afzonderlijk invloed hebben op de afschuifcapaciteit van de ankers. In de huidige productienorm NEN-EN 1090-2 [14] zijn nominale diameters gedefinieerd (tabel 4-1). Nu gaat dit specifiek over bout- of penverbindingen en niet zozeer over ankerverbindingen. In deze norm wordt voor ankers in voetplaten geen specifieke diameter gegeven [6, p. 8.2.]. NEN-EN 1992-4 [5] geeft wel een richtlijn voor ankergaten (tabel 4-2) en deze komt in grote lijnen overeen met die voor normale ronde gaten in [14].

Nominale bout- of pendiameter <i>d</i> (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27 t/m 36
Normale ronde gaten	1		2					3
Overmaatse ronde gaten	3		4				6	8
Korte sleufgaten (op de totale lengte)	4		6				8	10
Lange sleufgaten (op de totale lengte)	1,5 <i>d</i>							

tabel 4-1 NEN-EN 1090-2 - tabel 11 - Nominale gatspeling voor bouten en pennen (mm)

Afmetingen in millimeters													
Diameter anker	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	> 30
Gat in stalen plaat	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33	d+3

tabel 4-2 NEN-EN 1992-4 - tabel 6.1 - Gatspeling voor ankers

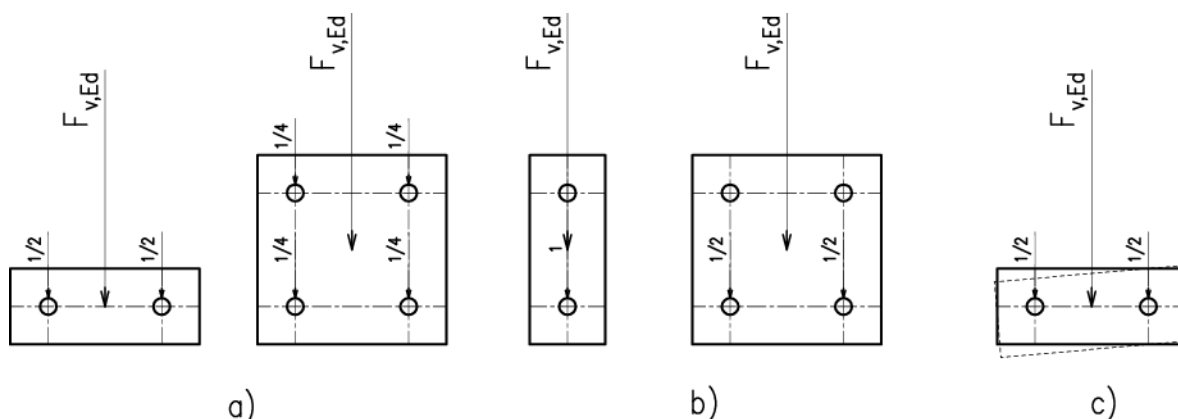
Onder andere het volgende is hierover geschreven:

- "The anchor holes cannot be oversized... permissible diameters for clearance holes is $d_c < 1,2 d$ " [7, p. 3.7.1.2.];
- "The diameter of the clearance hole in the fixture should be $< 1,2 d$ " [15, p. 99]; en
- "Moeten meerdere ankers dragen dan dient de gatspeling (...) $0,1 d_{st}$ te bedragen" [16, p. 30].

Uit de enquête volgt dat zo'n 50% van de respondenten 4 mm grotere gaten toepast. Dat is voornamelijk om passingsproblemen tijdens montage te voorkomen. Bij M20-ankers resulteert dat in gaten $\varnothing 24$ mm en voor M16 in $\varnothing 20$ mm. Voor M20 sluit dit wel en voor M16 sluit dit niet aan met wat het boek van R. Eligehausen et al. [7] en het HERON-artikel van A.M. Gresnigt et al. [15] hierover vermelden, namelijk dat gaten kleiner dan of gelijk moeten zijn aan $1,2 \cdot d$. Volgens [5] en CUR10 [6, p. 8.2] zijn dit echter voor beide maten ankers overmaatse gaten. Doordat de verschillende literatuur ruimte geeft voor de grootte van het gat ($1,1 \cdot d$ en $1,2 \cdot d$), is onduidelijk wat nu overmaats genoemd moet worden en wanneer en wat er gereduceerd moet worden.

Los van deze onduidelijkheid kan tijdens de montage het 'probleem' dat overmaatse gaten met zich meebrengen, worden opgelost. De constructie kan met grote ringen worden gemonteerd die na het monteren worden afgelast, maar dit wordt in de praktijk zelden toegepast. Gaten kunnen ook worden gevuld met een daarvoor geschikt vulmiddel. Het vullen van gaten wordt ook voorgeschreven door diverse rekensoftware voor verankering. Dit wordt voorgeschreven bij onder andere afwijkende ankerpatronen, grote ankeraantallen en overmaatse gaten (figuur 4-2). In deze situaties is de kans groter dat niet alle ankers aanliggen als er een afschuifkracht optreedt. Door het vullen wordt dit voorkomen. Uit de enquête blijkt dat zo'n 50% van de respondenten dit vullen alleen toepast als de software dat voorschrijft. Deze software wordt in de praktijk echter alleen gebruikt voor na afloop aangebrachte ankers en niet voor ingestorte ankers. Een aanzienlijk deel van de overmaatse gaten zullen in de praktijk dus niet gevuld worden.

Aan de ontwerpende kant kan het probleem van overmaatse gaten ook worden ondervangen. Volgens het boek van R. Eligehausen et al. [7] mag bij overmaatse gaten ervan uit worden gegaan dat alle ankers aanliggen maar moet de afschuifcapaciteit van de ankers wel worden bepaald op basis van ankers op buiging volgens vergelijking (3), wat resulteert in een zeer lage toelaatbare afschuifkracht. Binnen NEN-EN 1993-1-8 [4] is voor de afschuifcapaciteit hierin niets meegenomen en mag de volledige afschuifcapaciteit voor zowel vergelijking (2) als (8) worden gebruikt. In [4] moet bij het gebruik van overmaatse gaten alleen de stuikcapaciteit worden verlaagd.



figuur 4-2 a) verdeling van krachten bij normale gaten b) mogelijke verdeling bij overmaatse gaten c) verdraaiing door overmaatse gaten

4.2.2. Stelruimte

Uit de enquête blijkt dat ongeveer tweederde van de respondenten een stelruimte hanteert van 30 mm en eenderde een stelruimte van 40 mm of meer. Steeds vaker worden er grotere stelruimtes gehanteerd, onder andere vanwege de nieuwe ISO4023-standaard waar moeren hoger zijn dan in de oude DIN934-standaard. In de modelvorming zullen verschillende stelruimtes worden gebruikt om een goed beeld te krijgen van het belang van deze parameter voor de reductiewaarde β .

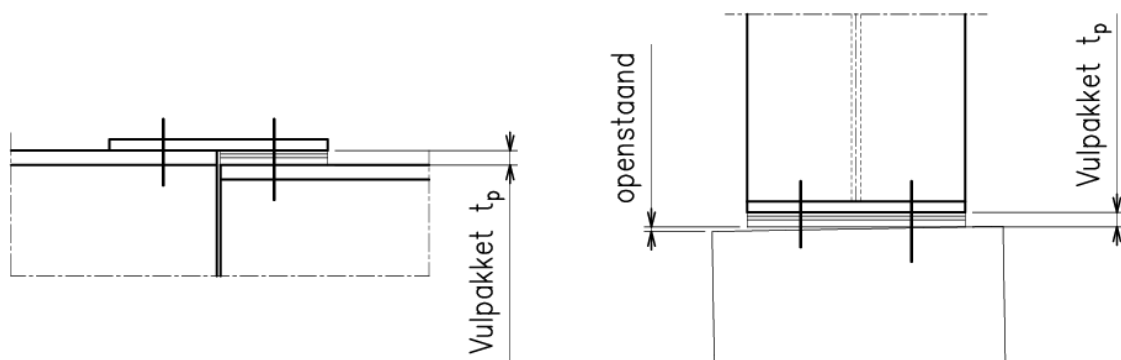
4.2.3. Type vulling – Gietmortel

In het onderzoek [1] uit 1989 worden diverse typen mortel onderzocht. In de loop van de tijd zijn er nieuwere typen op de markt beschikbaar gekomen en de huidige aanduidingen zijn K30, K50, K70 en K100. Ruim de helft van de respondenten geeft aan K70 voor te schrijven. Deze mortel wordt ook veel toegepast bij het vullen van de sparingsbuizen (gains) in prefab-betonconstructies en is volgens enkele leveranciers de meest gangbare mortel die verkocht wordt. Na 28 dagen heeft deze mortel een druksterkte van meer dan 90 N/mm². Enkele respondenten gaven aan bij lichtere constructies K50 voor te schrijven. In bijlage 3 zijn enkele mortelspecificaties toegevoegd. Voor het EEM-model zullen diverse kwaliteiten worden onderzocht omdat de lagere druksterkte van de mortel de capaciteit van op afschuiving belaste ankers zou kunnen verlagen.

4.2.4. Type vulling – Stalen vulplaten

In de praktijk kan het handig zijn om de afstand tussen het staal en het beton niet met een gietmortel op te vullen maar met stalen platen. Bijvoorbeeld omdat de stelruimte slecht bereikbaar is om daaromheen een kist aan te brengen en die te vullen met mortel, zoals bij een stalen balk die onder een vloer wordt aangebracht. Stalen vullingen hebben, ondanks het vullen van de tussenruimte met niet-samendrukbare stalen, de volgende aandachtspunten:

- Als wrijving een aanzienlijk aandeel van de afschuifcapaciteit is, dan zal de afschuifcapaciteit met stalen platen lager kunnen zijn omdat er volgens de vigerende normen een lagere wrijvingscoëfficiënt voor staal-staal dan voor staal-beton moet worden aangehouden.
- In de uitvoering van zo'n aansluiting bestaat de kans dat de kopplaat en het beton niet evenwijdig aan elkaar zijn. De verbinding kan daardoor aan één zijde open blijven staan. Als het inklemmen van de tussenruimte invloed heeft op de afschuifcapaciteit mag er na de montage geen openstand aanwezig zijn (figuur 4-3).



figuur 4-3 links) zijaanzicht ligger: stalen vullingen bij staal-staalverbinding die in de regel dichtgedraaid kunnen worden
rechts) bovenaanzicht ligger: openstand tussen staal en beton door bijvoorbeeld rotatie van de betonkolom

4.2.5. Type anker

Uit de enquête blijkt dat de helft van de respondenten haakankers en de andere helft ankers met volgplaten voorschrijft voor verankeringen belast op een afschuifkracht. Alhoewel de literatuur [6] de voorkeur geeft aan ankers met een volgplaat voor het gebruik van ankers die op afschuif- en/of trekkracht belast zijn, is de dagelijkse praktijk hierin dus verdeeld. In het afstudeeronderzoek zal het bezwijken van beton niet onderzocht worden en dat betekent dat het type anker en het hele mechanisme van het anker in het beton in het EEM-model niet van belang zijn. Overigens zullen beide typen ankers wel indirect worden behandeld, aangezien haakankers in klasse 4.6 en ankers met volgplaat in klasse 8.8 worden geleverd en beide klassen worden onderzocht.

4.2.6. Aandraaimoment

Van de respondenten die in hun rol iets over het aandraaien van ankers moeten aangeven, geeft het merendeel aan hiervoor het standaard aanhaalmomenten 'handvast' volgens NEN-1090-2 [14] te gebruiken. Het aanhaalmoment zal bij het gebruik van een stelmoer voor de vervorming bij (overmaatse) gaten van betekenis zijn. Door het aanhalen van de moeren ontstaat er een klemvlak met de voetplaat. De afschuifkracht zal in eerste instantie door middel van wrijving in het klemvlak direct worden doorgegeven aan de ankers. Als de wrijving tussen de ring en de stalen plaat wordt overwonnen, zal de plaat gaan verschuiven totdat de ankers aanliggen. Het voorspannen heeft dus vooral invloed op het moment dat er verschuivingen gaan plaatsvinden in de voet, maar zal geen invloed hebben op de uiterste bezwijkwaarde en vervorming van de ankers. Het aanbrengen van de mortelvoeg zal altijd na het monteren van de staalconstructie plaatsvinden en de voeg zelf zal dus nooit op die voorspanning staan. Hier zal verder in dit onderzoek beperkte aandacht aan worden besteed.

4.3. Rekenmethode

4.3.1. NEN-EN 1993-1-8 of NEN-EN 1992-4

In de huidige praktijk, blijkt uit diverse interviews, leeft het beeld dat NEN-EN 1993-1-8 van toepassing is op lange ankers en NEN-EN 1992-4 van toepassing is voor na afloop aangebrachte korte ankers [6, p. T.4.1(2)]. In grote lijnen is dit beeld niet vreemd, maar het is ook niet helemaal terecht. Voor de controle van de betoncapaciteit is dit onderscheid begrijpelijk omdat er voor de verschillende verankeringsprincipes andere rekenregels van kracht zijn, bijvoorbeeld inzake uitbreken, randbreuk en het toepassen van splijtwapening. Maar het afschuifgedrag van de stalen ankers is onafhankelijk van de lengte van de ankers. In het staal vindt geen ander mechanisch gedrag plaats. In CUR10 [6, p. T.4.1(2)] wordt aangegeven dat er geen onderscheid zou moeten worden gemaakt of het lange of korte ankers zijn, maar dat dit op basis van verankeringsprincipe moet plaatsvinden. Het rapport geeft aan dat er qua staalbreuk geen verschil in afschuifcapaciteit is tussen korte of lange ankers. Uit de enquête blijkt dat ruim tweederde van de respondenten meestal NEN-EN 1993-1-8 [4] toepast bij het controleren van de afschuifcapaciteit. Het verankeringsprincipe of de lengte van de ankers lijkt niet ten grondslag te liggen aan de keuze.

4.3.2. Hoe rekent de huidige software?

De verankeringssoftware gebruikt voor de staal- en betoncontroles NEN-EN 1992-4 en dat is voor betoncapaciteit de enige beschikbare norm. Voor het berekenen van de afschuifcapaciteit van ankers staat dit haaks op de praktijk van de handmatige controles op basis van [4]. Zonder stelruimte zijn de afschuifcapaciteiten in beide normen nagenoeg gelijk (zie paragraaf 3.4) en het verschil gaat voornamelijk optreden bij het toepassen van stelruimte.

In de software van Hilti wordt gebruik gemaakt van vergelijking (3) *buigweerstand van ankers zonder mortelvoeg*, of (9) *afschuifcapaciteit van ankers met een mortelgevulde voeg*, afhankelijk of er aan de randvoorwaarden van vergelijking (9) wordt voldaan. Deze vergelijking wordt zelfs toegepast bij een enkele ankerrij in de krachtsrichting. Dat lijkt een overschatting van de gestelde randvoorwaarden. B+Btec, Fischer en Halfen passen altijd vergelijking (3) toe en maken binnen de software geen gebruik van de hogere afschuifcapaciteit volgens (9). De afschuifcapaciteit volgens de verschillende softwarepakketten valt dus in het algemeen zeer laag uit en dat wordt niet altijd overgenomen door gebruikers. Uit de enquête blijkt dat de helft van de respondenten de stelruimte in deze software negeert door in de rekensoftware geen stelruimte in te voeren. De helft daarvan geeft aan vervolgens de afschuifcapaciteit handmatig aan de hand van vergelijking (8) te controleren.

In bijlage 2 is de controle van de berekeningsmethode van de afschuifcapaciteit van een stalen anker volgens de diverse rekensoftware uitgewerkt. In deze controle zijn ook klasse 5.8-ankers opgenomen. Deze vallen verder buiten dit onderzoek, maar de ankerleveranciers leveren geen klasse 4.6-ankers en Halfen levert ook geen klasse 8.8-ankers. Daarom is klasse 5.8 toegevoegd zodat de rekenmethoden onderling vergeleken kunnen worden.

		Leveranciers				
		Stelruimte	B+Btec	Halfen	Fischer	Hilti
F _{v,Rd} (kN) Anker M20	5.8					
	0	48.8	48.8	59.2	49.04	
	15	17.28	17.33	17.28	17.31	
	30	11.52	11.56	11.52	11.54	
	8.8					
	0	78.4	x	78.4	78.4	
	15	27.68	x	27.68	27.69	
	30	18.45	x	18.45	18.46	

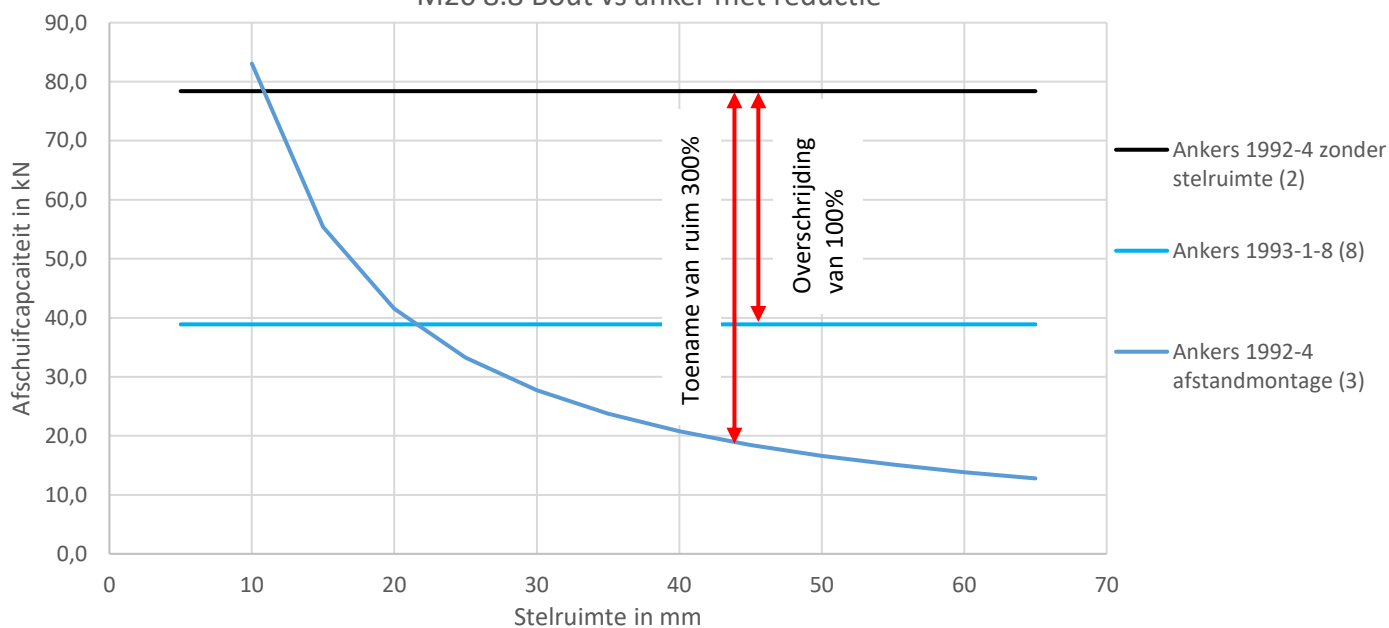
tabel 4-3 Resultaten van M20-ankers met verschillende stelruimtes uit vier verschillende soorten rekensoftware op basis van vergelijking (3)

4.4. Wat zijn de risico's van een te lage ankercapaciteit?

Kan het verkeerd zijn dat er met een te lage ankercapaciteit wordt gerekend? Het is toch extra capaciteit waardoor de veiligheid van het gebouw niet in gevaar komt? Een deel van de respondenten geeft echter aan de stelruimte in de ankersoftware te negeren en niet apart te toetsen. Als de stelruimte binnen die software wordt uitgeschakeld, wordt de staalcontrole uitgevoerd volgens NEN-EN 1992-4 vergelijking (2). Door de afschuifcapaciteit van ankers met stelruimte niet handmatig te controleren – door bijvoorbeeld vergelijking (8) te gebruiken – ontstaat er juist een overschatting van de afschuifcapaciteit (figuur 4-4). Als het beton niet maatgevend is, is er een onterechte overwaardering van de afschuifcapaciteit van het anker.

Toch zal in de praktijk staalbreuk van het anker niet zomaar optreden. Het beton zal bij hogere optredende afschuifkrachten eerder geneigd zijn te bezwijken. Deze controles worden door de software met of zonder stelruimte altijd uitgevoerd en ondervangen daardoor onbewust overwaardering van de ankers waarin het beton maatgevend is. Binnen dit onderzoek wordt ervan uitgegaan dat deze controles correct zijn geprogrammeerd.

M20 8.8 Bout vs anker met reductie



figuur 4-4 Capaciteitsverhouding ankercontroles

Het is op andere vlakken wellicht ook minder verantwoord om 'een onderwaardering in de berekende anker capaciteit toe te laten. Zoals dhr. Berkelder het al schreef: *“De Nederlandse praktijk heeft vrijwel steeds, bij de voor de staalconstructeurs belangrijke kolomvoeten en -voetplaten een grote en vrij ongenueanceerde voorzichtigheid aan de dag gelegd. (...) De bovengeschilderde constellatie leidde tot grote voetplaten, (...) In een hogere mate dan waarschijnlijk nodig, kwamen verstijfde kolomvoetconstructies tot stand, hetwelk om economische en om bouwkundige reden niet gewenst is.”* [16].

Bij capaciteitsverschillen van een factor 2 tot 4 zoals in paragraaf 3.4 is toegelicht, treedt bovenstaande zeker op: er is meer arbeid nodig, evenals meer materiaal zoals extra ankers en extra splijt- en opsluitwapening. Dit zijn allemaal economische gevolgen.

Ook bouwkundig en voor de montage kunnen enkele uitdagingen optreden:

- Voetplaten worden groter als gevolg van grotere anker groepen en, grotere platen zullen bouwkundig sneller in de weg zitten.
- In het beton zullen meer ankers sneller passingsproblemen opleveren in de aangebrachte wapening.
- Als er meer ankers worden toegepast, wordt het lastiger om de voet van een staalconstructie over de ankers te schuiven.
- Meer ankers zullen ook vaker dicht langs de betonrand moeten worden geplaatst en daar is de afschuifcapaciteit van het beton lager.

En constructief volgt zelfs een neerwaartse spiraal:

- Door meer ankers toe te passen, zullen leveranciers sneller geneigd zijn om overmaatse gaten toe te passen. Overmaatse gaten hebben invloed op de vervorming en mogelijk ook op de afschuifcapaciteit.
- Grotere aantallen ankers dienen afgevuld te worden om de afschuifcapaciteit te waarborgen waarvan het niet zeker is of dat altijd juist gebeurt.
- Bij meer ankers is volgens de ETAG [11] het advies om de afschuifcapaciteit te reduceren, wat tot gevolg kan hebben dat er weer meer ankers nodig zijn. Deze eis is overigens in de huidige codes niet overgenomen.
- Ankers die dicht bij de betonrand worden geplaatst, zullen randwapening nodig hebben die zowel de kosten verhoogt als ruimtetechnisch een negatieve invloed heeft.

Mocht blijken dat de huidige vergelijkingen een te grote veiligheid in zich dragen, is het dus niet zondermeer verantwoord om deze ook toe te passen. Het vinden van de juiste reductiewaarde β is daarom relevant.

5. Experimenteel onderzoek naar ankers met mortelvoeg

In dit hoofdstuk zal stil worden gestaan bij diverse experimenten die zijn uitgevoerd:

- Labproeven door L. Bouwman, A. Gresnigt and A. Romeijn, "Onderzoek naar de bevestiging van stalen voetplaten aan funderingen van beton", TU-Delft Stevin Laboratory, Delft, 1989 [1].
- Promotieonderzoek van K. McBride, "Steel shear strength of anchors with stand-off base plates" University of Florida, Florida, 2013 [2].
- Experimenten uitgevoerd en gepubliceerd door Fischer: R. Mallée, "Größere Querlasten," *Fischer connet it*, nr 5 augustus 2005 [3].
- Onderzoek van P. Dusicka, G. Lewis en C. Smith, "Effect on fillers on steel girder field splice performance," Portland state University, Portland, 2012 [17].

In paragraaf 5.1 zullen de rekenmodellen van de proeven worden beschreven en vervolgens worden in paragraaf 5.2 de resultaten uit deze proeven naast de huidige vergelijkingen gelegd, zoals die in hoofdstuk 2 en 3 zijn uitgewerkt. De proeven van L. Bouwman et al. zijn de basis geweest van vergelijking (8) zoals die nu in NEN-EN 1993-1-8 [4] gegeven is. Het promotieonderzoek van K. McBride bevestigt vergelijking (10) die in de ACI-318-19 [8] staat. In het experiment van Fischer wordt door R. Mallée een nieuw voorstel gedaan om de afschuifcapaciteit van ankers te bepalen. Ook zullen uit het afstudeeronderzoek van A.M.P. den Deurwaarder [18], die zelf ook diverse proeven heeft uitgevoerd, diverse conclusies en aandachtspunten worden aangehaald.

In paragraaf 5.3 zullen alle conclusies en bevindingen van de verschillende onderzoeken met betrekking tot de voeg worden beschreven en in paragraaf 5.3.3 zullen voor dit onderzoek belangrijke bevindingen en conclusies van het experiment [17] dat onder andere onderliggend is aan vergelijking (11) *de reductie van de afschuifcapaciteit van bouten met stalen vullingen* worden belicht. Als er een correlatie is tussen het bezwijkgedrag van bouten met stalen vulplaten en ankers in beton met een mortelgevulde voeg dan zouden die conclusies wellicht ook van toepassing kunnen zijn op die van ankerverbindingen.

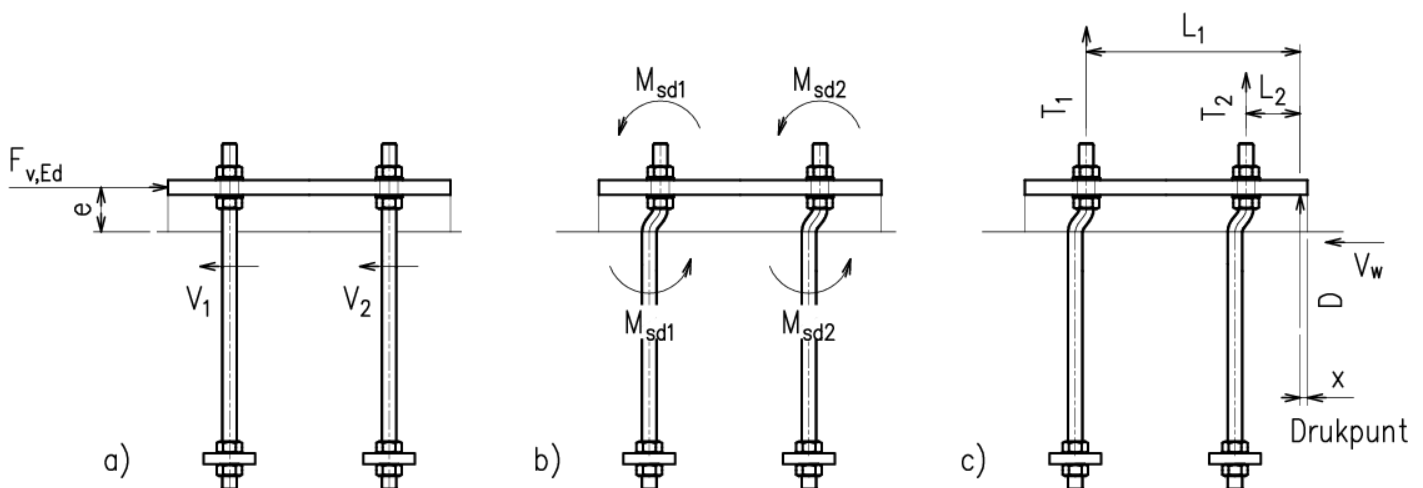
In paragraaf 5.4 en 5.5 wordt aan de hand van de proeven aandacht besteed aan de invloed van gatspeling en de vervorming van de ankers. In paragraaf 5.6 worden de conclusies aan de hand van de proeven beschreven.

5.1. Rekenmodellen

Alle experimenten starten met een theoretisch kader en een hypothese omtrent het gedrag van ankers bij het toepassen van een mortelvoeg. Per onderzoek is dit in de paragrafen hierna samengevat.

Het gedrag van de verbinding is in basis als volgt te beschrijven. De optredende belasting $F_{v,Ed}$ kan worden opgenomen in de vorm van afschuiving (V_1 , V_2) in de ankers (figuur 5-1 a). Door de afstand (e) veroorzaakt $F_{v,Ed}$ ook een extra moment op de ankers. Het materiaal dat qua stijfheid de meeste weerstand tegen deze buiging biedt, zal deze belasting op gaan nemen. Dat kan opgenomen worden door de momentcapaciteit van de ankers (M_{sd1} , M_{sd2}) en/of door een trek-/drukrachtkoppel (D , T_1/T_2) die tussen de mortel en de ankers ontstaat (figuur 5-1 b en c). Als het moment $F_{v,Ed} * e$ (deels) wordt opgenomen door het trek-/drukrachtkoppel ontstaat er een extra afschuifweerstand in de vorm van wrijving (13) waarin μ de wrijvingscoëfficiënt is.

$$F_w = D * \mu \quad (13)$$



figuur 5-1 Varianten van krachtsverloop in staal-betonverbinding

Voor alle proefopstellingen geldt dat de afschuifkracht op het hart van de plaat is gezet, met uitzondering van de excentrisch belaste proeven (één serie) van McBride.

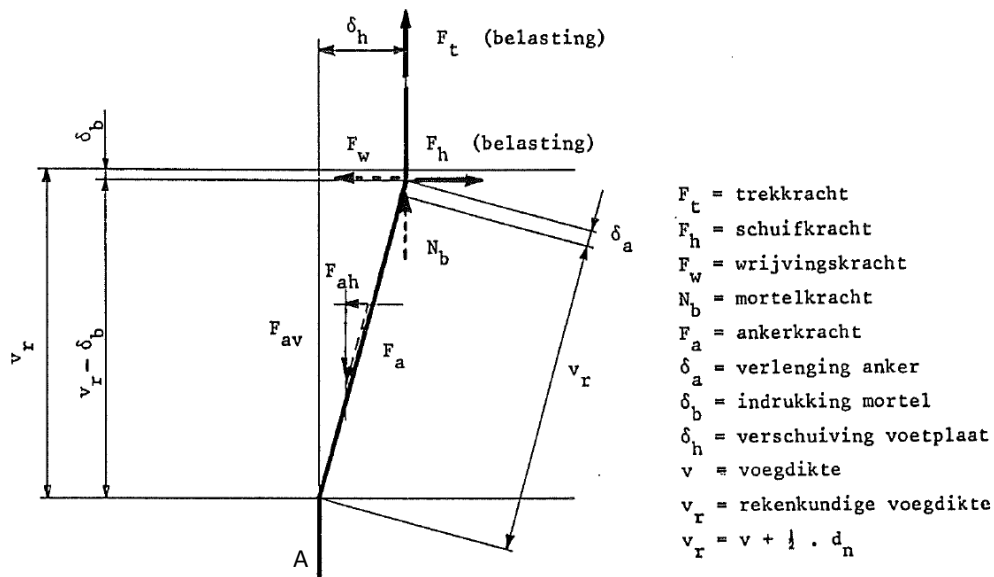
5.1.1. Bouwman et al.

In het onderzoek van L. Bouwman et al. [1] wordt gesteld dat het gedrag van het anker met mortelvoeg zeer complex is. Diverse parameters zoals buigstijfheid, gatspeling, voorspanning, weerstand van het voegmateriaal en de mate van inklemming maken het beschrijven van een verband tussen de belasting en de verschuiving weinig zinvol [1, p. 32]. Daarom wordt overgegaan op een eenvoudiger te beschrijven gedrag. [1] stelt het volgende (figuur 5-2): door de dwarskracht die op de plaat aangrijpt, wil de voet gaan schuiven. Voordat de voet gaat schuiven, moet eerst de wrijving (F_w) worden overwonnen. Nadat de wrijving overwonnen is, zal het anker in horizontale richting verschuiven (δ_h). Door het verschuiven zal de plaat naar de aarde toe worden getrokken. De mortel zal deze vervorming in verticale richting (δ_b) verhinderen (afhankelijk van de stijfheid van de mortel) en hierdoor ontstaat een drukkracht op de mortel (N_b). Doordat het anker in verticale richting wordt geblokkeerd en de verkorting van de mortel (δ_b) volgens onderzoek nagenoeg gelijk is aan 0 mm, verlengt het anker (δ_a). Deze verlenging vertaalt zich in een trekkracht in het anker (F_a) en maakt evenwicht met F_h en N_b .

Met dat gegeven wordt een oude interactievergelijking gebruikt om de reductie van de treksterkte te bepalen. Als een deel van de sterkte wordt gebruikt om de trekkracht op te vangen, kan het resterende deel minder afschuifkracht opnemen. Door de maximaal toelaatbare trekkracht in de interactieformule op te laten treden, blijft het kleinste restdeel voor de afschuifkracht over. Dit resulteert voor ankers met klasse 4.6 in een reductie van 0,30 en voor klasse 8.8 wordt deze reductie 0,20. Als de partiële veiligheidsfactor γ_{m2} (1,25) in deze waarde wordt verwerkt, wordt de reductie respectievelijk 0,375 en 0,25. Dit zijn de oude waarden volgens NEN 6772 [12]. In de huidige NEN-EN 1993-1-8 is tussen deze waarden van 0,375 en 0,25 een interpolatie geschreven in de vorm van vergelijking (8), $\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}$. Om in de schrijfwijze van $\beta \cdot \alpha_v$ te blijven, zoals aan het eind van paragraaf 3.6 is gesteld, dus de α_v gesplitst van de β als reductiefactor voor de stelruimte, geeft de vergelijking opgesteld door L. Bouwman et al. de volgende β bij een α_v van 0,6:

- voor klasse 4.6 wordt $\beta = 0,375/0,6 = 0,625$
- voor klasse 8.8 wordt $\beta = 0,25/0,6 = 0,42$

Uit de hypothese van [1] komt een voorstel van een constante β die lager is dan die in ACI-318-19 vergelijking (10) waar β gelijk is aan 0,8.



Evenwicht in A:

$$\Sigma h = 0 \rightarrow$$

$$\Sigma v = 0 \rightarrow \text{met alleen een afschuifkracht}$$

$$\Sigma v = 0 \rightarrow \text{met een extra externe trekkracht}$$

$$\Sigma M = 0 \rightarrow$$

$$F_h = F_w + F_{ah}$$

$$F_{av} = N_b$$

$$F_{av} = N_b + F_t$$

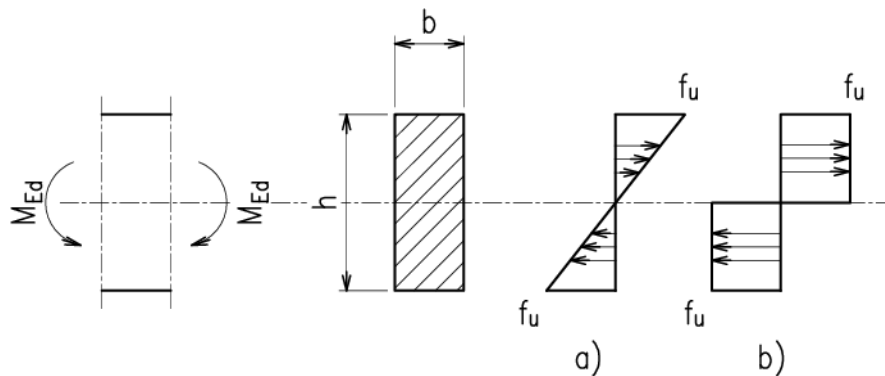
$$(N_b + F_t) \cdot \delta_h - (F_h - F_w) \cdot v_r$$

In het momentenevenwicht is δ_b niet meegenomen omdat volgens L. Bouwman et al. deze afstand verwaarloosbaar klein is.

figuur 5-2 Afbeelding 3.1-3: schema rekenmodel (elastisch model) [1, p. 32]

Het rekenmodel wordt in het onderzoek nog verder uitgediept met een plastisch model. Het basisgedrag blijft hetzelfde als hiervoor beschreven, maar nu is het mogelijk dat er plastische rekken in de ankers optreden.

De begrenzing bij het elastische model is de situatie waarin een vezel de uiterste spanning f_y bereikt. Bij het plastische model zal de gehele doorsnede de maximale spanning f_y kunnen bereiken (figuur 5-3). In het plastische model hebben de ankers daarom een hogere bezwijkwaarde en zal daardoor ook een grotere vervorming optreden.



figuur 5-3 Spanningsverloop ten gevolge van een moment op een rechthoekige doorsnede

- a) elastisch verloop; uiterste vezel bereikt de maximale vloeispanning f_u
b) plastisch verloop; alle vezels bereiken de maximale vloeispanning doordat de uiterste vezels rekken en niet scheuren

5.1.2. McBride

In het proefschrift van McBride [2] wordt uitgebreid stilgestaan bij de methode van L. Bouwman et al [1]. Daarin worden vier speerpunten van L. Bouwman et al. naar voren gehaald waarbij vervolgens kanttekeningen geplaatst worden:

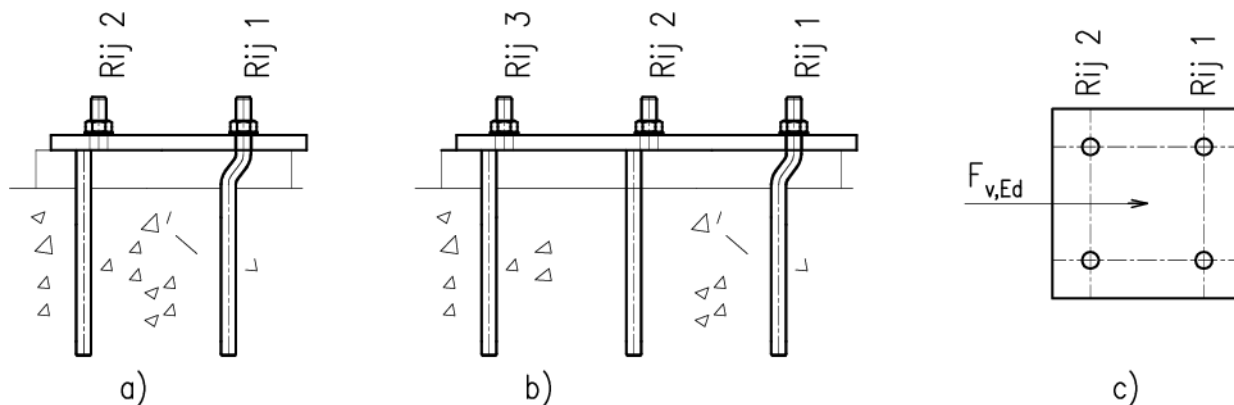
- L. Bouwman et al. gaan ervan uit dat ankers puur op trekspanning bezwijken, terwijl het een combinatie van een afschuif- en trekspanning zal zijn.
 - L. Bouwman et al. geven aan dat de verhouding tussen de trek- en afschuifkracht geen invloed heeft op de bezwijkkracht van het anker. Dat gaat vaak op, maar zeker niet in alle omstandigheden.
 - Er zijn drie mogelijke horizontale evenwichtssituaties waarin wrijving wel of niet bijdraagt:
 - 1) De afschuifcapaciteit van de verbinding is gelijk aan alléén de wrijvingskracht.
 - 2) De afschuifcapaciteit is de som van de wrijvingskracht en de afschuifcapaciteit van de ankers.
 - 3) De afschuifcapaciteit is alléén die van de ankers zonder een aandeel van de wrijving.
- L. Bouwman et al. gaan van de tweede vorm uit, namelijk een combinatie van wrijving- en afschuifweerstand. Ook hiervoor geldt dat dit wel vaak het geval is, maar niet in alle omstandigheden.
- De maximaal toelaatbare kracht zal afhankelijk zijn van de plastische rek, terwijl L. Bouwman et al. ervan uitgaan dat die afhankelijk is van de maximale vloeispanning. De weerstand horend bij de maximale rek is niet per definitie gelijk aan de weerstand die hoort bij de maximale vloeikracht en daar is potentieel extra afschuifcapaciteit beschikbaar.

Door middel van een vrijlichaamsdiagram wordt in het onderzoek een intern evenwicht bepaald. Hier wordt ook geconcludeerd dat er bij een stijf voegmiddel geen buiging op de ankers kan optreden, tenzij er een te grote externe trekkracht op de voet aangrijpt. In eerste instantie zal deze trekkracht in mindering komen op de drukkracht van de mortel. Er wordt gesteld dat, zolang er een drukkracht op de mortel aanwezig is, de trekkracht in een anker door het moment uit de afschuifkracht amper oploopt. De druk op de mortel werkt dus als een voorspanning die eerst overwonnen moet worden (situatie 2). In een voorbeeldberekening waarin er met een lage stijfheid van de mortel wordt gerekend, wordt aangetoond dat 93% van de externe trekkracht in mindering komt op de drukkracht en de trekkracht in de ankers met slechts 7% toeneemt. Als de externe trekkracht dusdanig hoog is dat er geen drukkracht op de mortel meer aanwezig is, is er ook geen wrijving meer aanwezig. De optredende afschuifkracht zal dan volledig door de ankers worden opgenomen (situatie 3). Zolang er dus een drukkracht aanwezig is, intern of extern, zal de wrijving bijdragen aan de totale afschuifcapaciteit (situatie 2). De externe drukkracht kan ook zo groot zijn, dat de ankers helemaal niet worden belast omdat de wrijvingsweerstand van de verbinding hoger is dan de optredende afschuifkracht (situatie 1). De verplaatsing (figuur 5-2 δ_h) zal in deze situatie nagenoeg 0 mm zijn.

5.1.3. Mallée

In het artikel van R. Mallée [3] waarin een door Fischer uitgevoerd experiment behandeld wordt, wordt niet specifiek een hypothese van het probleem opgesteld. Aan de hand van de proefresultaten wordt door R. Mallée een voorstel gedaan om de proefresultaten te kwantificeren. De aanleiding hiervan is dat R. Mallée constateert dat de afschuifcapaciteit volgens vergelijking (3) *buigweerstand van ankers zonder mortelvoeg* in vergelijking met de proefresultaten zo laag is, dat deze het werkelijke gedrag niet goed beschrijft. Dat is de conclusie op basis van de resultaten uit 27 proeven van anker groepen bestaande uit vier ankers van twee rijen met twee verschillende steken. In het voorstel wordt op basis van de bevindingen van de proeven het gedrag van de achterste rij ankers doorgezet naar extra ankerrijen als die worden toegepast. Het voorstel is als volgt: de voorste rij ankers (rij 1 figuur 5-4 a) wordt op buiging belast en de achterste rij(en) (2 en 3) op afschuiving, dat resulteert in vergelijking (14). Dat levert bij een patroon van vier ankers verdeeld over twee rijen (zie figuur 5-4 c) een combinatie op van twee ankers die niet gereduceerd worden (en waar zuivere afschuiving het bezwijkmechanisme is) en twee ankers waarvan de plastische buigweerstand wordt meegenomen. Er ontstaat een groepswerking waarin vergelijkingen (2) en (3) worden gecombineerd.

$$F_{v,Rd \text{ boutgroep}} = n_{i,j} * F_{v,Rd} + n_1 * \frac{\alpha_M * M_{Rk,s}}{l * \gamma_{m2}} \quad (14)$$



figuur 5-4 Bezwijkmechanisme per ankerrij volgens onderzoek R. Mollé;
rij 1: ankers op zuivere buiging; rij 2 en hoger: ankers op zuivere afschuiving

5.2. Resultaten

Van de drie onderzoeken zijn de resultaten afzonderlijk weergegeven in figuur 5-5, figuur 5-6, figuur 5-7 en figuur 5-8. De resultaten van [1] en [3] zijn vertaald naar de gestandaardiseerde f_u van de desbetreffende ankerklasse en de gevonden breekwaarde is met deze verhouding ook gecorrigeerd. Daarmee zijn voor alle proeven de gemiddelde materiaaleigenschappen gecorrigeerd naar karakteristieke waarden.

Voorbeeld:

Proef D10 onderzoek L. Bouwman et al. [1]

Trekcapaciteit proefmonster $f_u = 1196 \text{ N/mm}^2$, trekcapaciteit klasse 8.8 $f_u = 800 \text{ N/mm}^2$

Correctiefactor = $1196/800 = 1,50$

Breekcapaciteit proef van 2xM20 = 295,0 kN

Gecorrigeerde afschuifcapaciteit per anker = $29,05/2 = 14,525 \text{ kN} \rightarrow 14,525/1,5 = 9,68 \text{ kN}$

Voor de resultaten van [2] is een visuele weergave gemaakt waarin niet de breekcapaciteit van de ankers maar de reductiefactor van de afschuifcapaciteit van een gevulde voeg (β) is weergegeven. De Amerikaanse standaard van bouten en de verhouding van f_{ub}/f_{yb} van deze bouten, is moeilijk te vertalen naar de Europese standaard. In deze resultaten is β indirect al bepaald, zie paragraaf 5.2.3.

Tot slot zijn in figuur 5-9 alle vergelijkingen en resultaten weergegeven uitgedrukt in β , de verhouding tussen de gevonden breukwaarde en de rekenwaarde van de afschuifcapaciteit. De aangehouden afschuifcapaciteit is op basis van vergelijking (2) met een α_v van 0,6. De berekende β hoort dus bij de rekenwaarde van de afschuifcapaciteit. Als de karakteristieke afschuifcapaciteit zou worden gebruikt (zonder partiële veiligheidsfactor), volgt een lagere β , maar bovenstaande kan door elkaar worden gebruikt. Uit de normen [4] en [12] volgt dat de partiële veiligheidsfactor alleen van toepassing is op de termen α_v , A_s en f_u , maar niet op β . Deze is namelijk vanuit [1] al verhoogd met de partiële veiligheidsfactor γ_{m2} .

Voorbeeld:

Voor klasse 4.6 geldt dat β gelijk is aan 0,3 [1, p. 152].

Fundamenteel volgt $\beta = 0,3 \cdot 1,25 = 0,375$ [12, p. 11.7.2.3.3.].

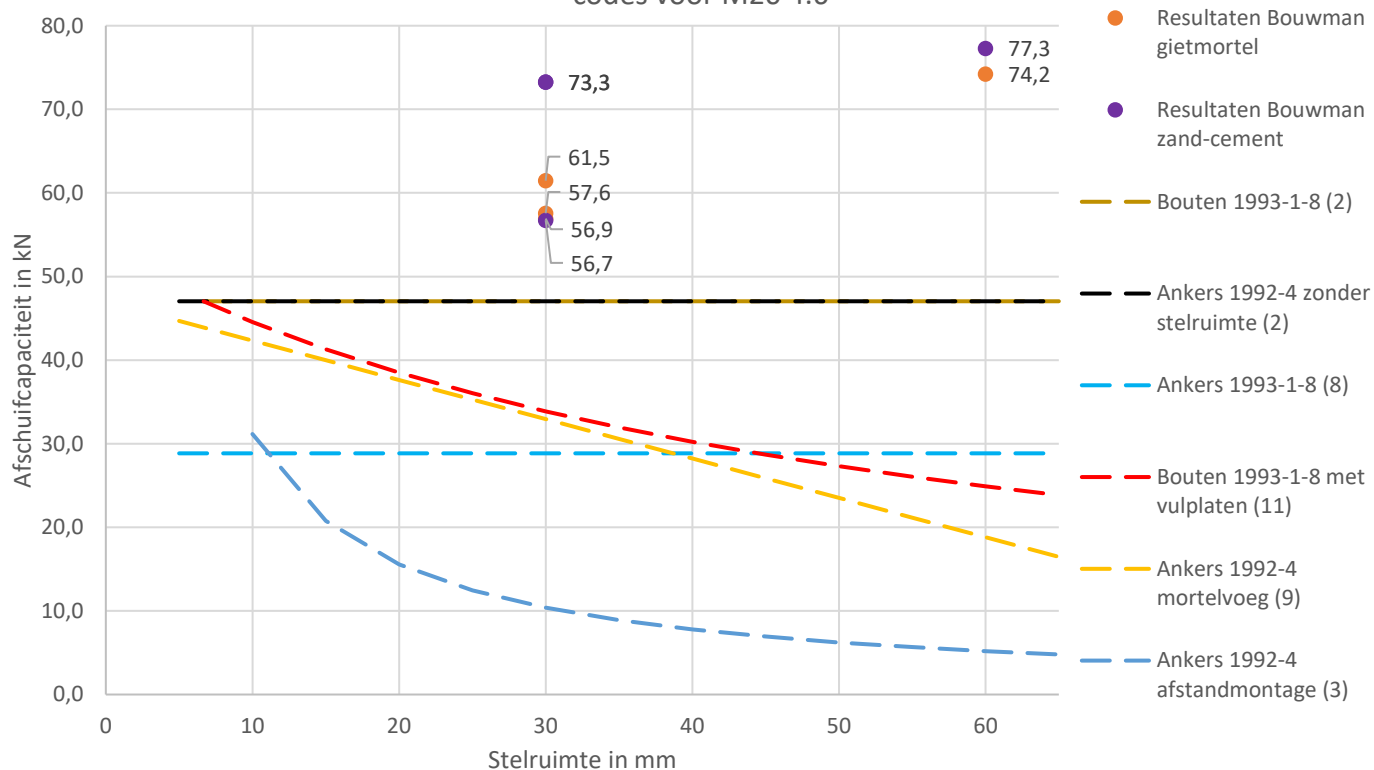
De tabellen waarnaar verwezen wordt, zijn terug te vinden in bijlage 4.

5.2.1. Bouwman et al.

In drie series van proeven is gekeken naar de breuk en vervorming van de ankers. De eerste serie is in dit afstudeeronderzoek niet meegenomen omdat het ongewapende betonblok waarin de ankers waren gestort een lagere weerstand had dan de maximale afschuifkracht van de ankers waarop deze zouden breken. Deze proefresultaten mogen van de onderzoekers niet worden gebruikt om de afschuifcapaciteit van de ankers te bepalen. In de tweede serie is gewapend beton toegepast en de ankers worden alléén met een afschuifkracht belast. In de derde serie is dat met een externe trekkracht gecombineerd. Uit deze proeven wordt onder andere geconcludeerd dat de rekenregels die op dat moment vigerend zijn of zeer conservatief of veel te gunstig zijn.

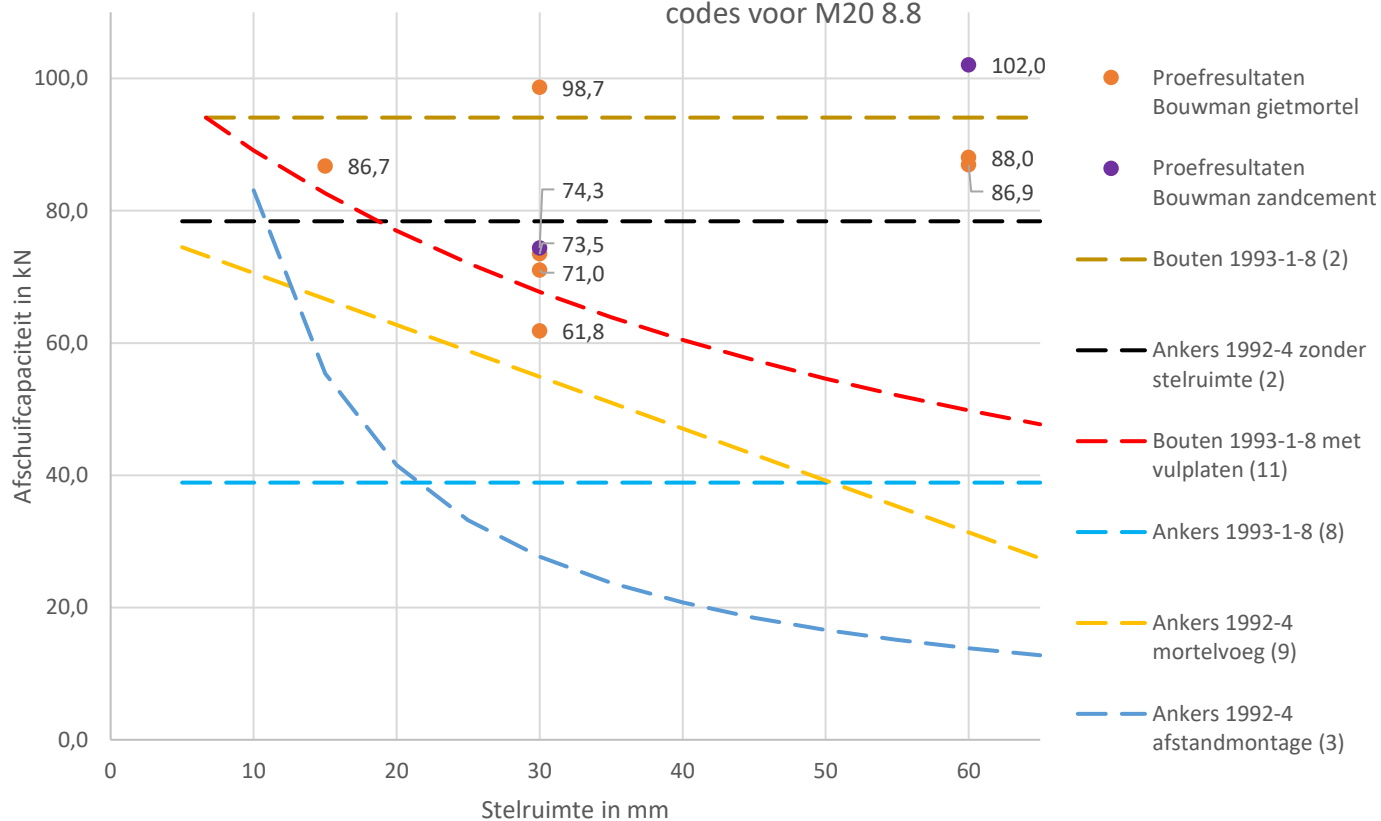
In tabel 4-1 (bijlage 4), figuur 5-5 en figuur 5-6 zijn de proefresultaten weergegeven waar staalbreuk van het anker het bezwijkmechanisme is.

Proefresultaten Bouwman in relatie tot de afschuifcapaciteit volgens de vigerende codes voor M20 4.6



figuur 5-5 Visuele weergave proefresultaten L. Bouwman et al. [1] van M20 4.6-ankers in relatie tot vigerende code uitgedrukt in kN

Proefresultaten Bouwman in relatie tot de afschuifcapaciteit volgens de vigerende codes voor M20 8.8



figuur 5-6 Visuele weergave proefresultaten L. Bouwman et al. [1] van M20 8.8-ankers in relatie tot vigerende code uitgedrukt in kN

5.2.2. Mcbride

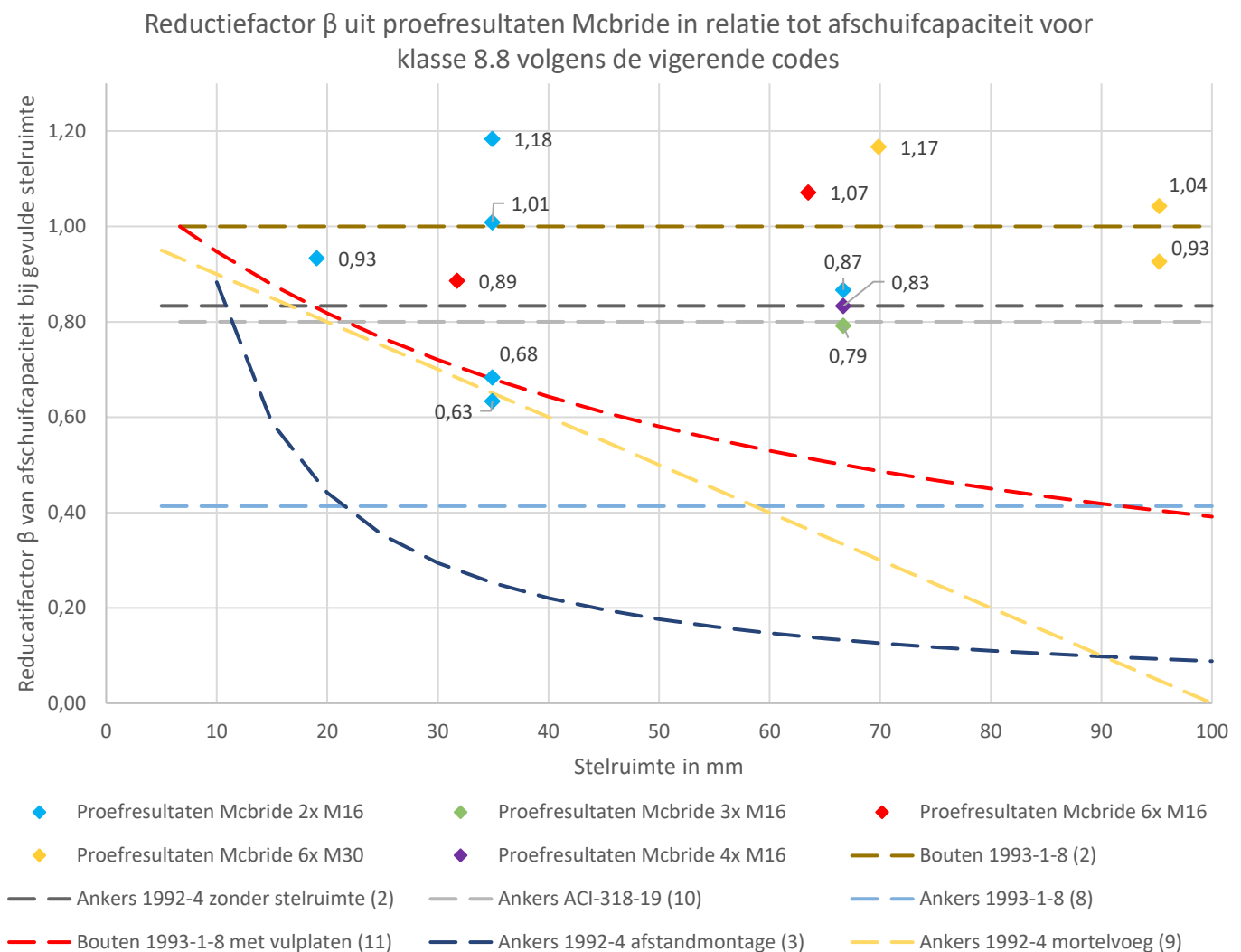
In het onderzoek van K. Mcbride [2] komt uitgebreid aan de orde wat in de hoofdstukken hiervoor ook is aangehaald met daarin de focus op de Amerikaanse code. Er worden in dit onderzoek vier proefopstellingen onderzocht:

- 1) Een enkelvoudige afschuifkracht, zowel zonder als met stelruimte zonder mortelvoeg
- 2) Torsie op ankergroep, zowel zonder als met stelruimte met en zonder mortelvoeg
- 3) Cirkelvormig patroon van ankers die een verkeersbordsituatie simuleren met stelruimte met en zonder mortelvoeg
- 4) Excentrische belasting, zowel zonder als met stelruimte met en zonder mortelvoeg

Het is complex om deze proefresultaten om te zetten naar een Europees equivalent en het is niet helemaal duidelijk waar bepaalde indices uit dit onderzoek voor staan. Ook is onduidelijk wat de trekcapaciteit van de ankers is die in deze proeven zijn gebruikt. Het bevestigingsmateriaal F1554-G55 heeft een vloeigrens (f_y) van 380 N/mm² en een toelaatbare treksterkte (f_u) tussen de 516 N/mm² en 621 N/mm². Maar de exacte treksterkte van de beproefde monsters is onbekend. Deze zijn voor onderzoek [1] en [3] wel bekend. Volgens NEN-EN 1992-4 zou bij dit materiaal een α_v van 0,5 moeten worden toegepast, maar uit deze resultaten blijkt eerder dat deze α_v waarschijnlijk 0,6 zal zijn. Een belangrijk gegeven van deze proeven is dat ze zijn uitgevoerd met overmaatse gaten. De afschuifcapaciteit van de ankers zou dus lager kunnen uitvallen dan bij de andere proeven met normale gaten (zie paragraaf 4.2.1).

In de conclusie van [2, p. 5.5.1] worden de proefresultaten in V_u/T_u -gegeven. De resultaten zouden daarmee uitkomen tussen 0,55 T_u en 0,7 T_u liggen. Deze waarden worden vergeleken met de waarde van 0,48 T_u volgens uit ACI-318-19 vergelijking (10) [8]. 0,48 wordt bepaald door $\beta \cdot \alpha_v$ en is gelijk aan $0,8 \cdot 0,6$. β kan dus aan de hand van V_u/T_u worden bepaald. De β voor de groepsproeven komt hiermee uit op $0,55/0,6 = 0,92$ en $0,7/0,6 = 1,17$. Door K. Mcbride wordt vervolgens de conclusie getrokken dat de β van 0,8 gesteld in [8] als conservatief mag worden beschouwd. Alle proefresultaten zijn op deze manier om te zetten naar β .

In tabel 4-2 tabel 4-1 (bijlage 4) en figuur 5-7 zijn de proefresultaten weergegeven waar staalbreuk van het anker het bezwijkmechanisme is.



figuur 5-7 Visuele weergave proefresultaten K. Mcbride [2] van 8.8-ankers in relatie tot vigerende code uitgedrukt in β

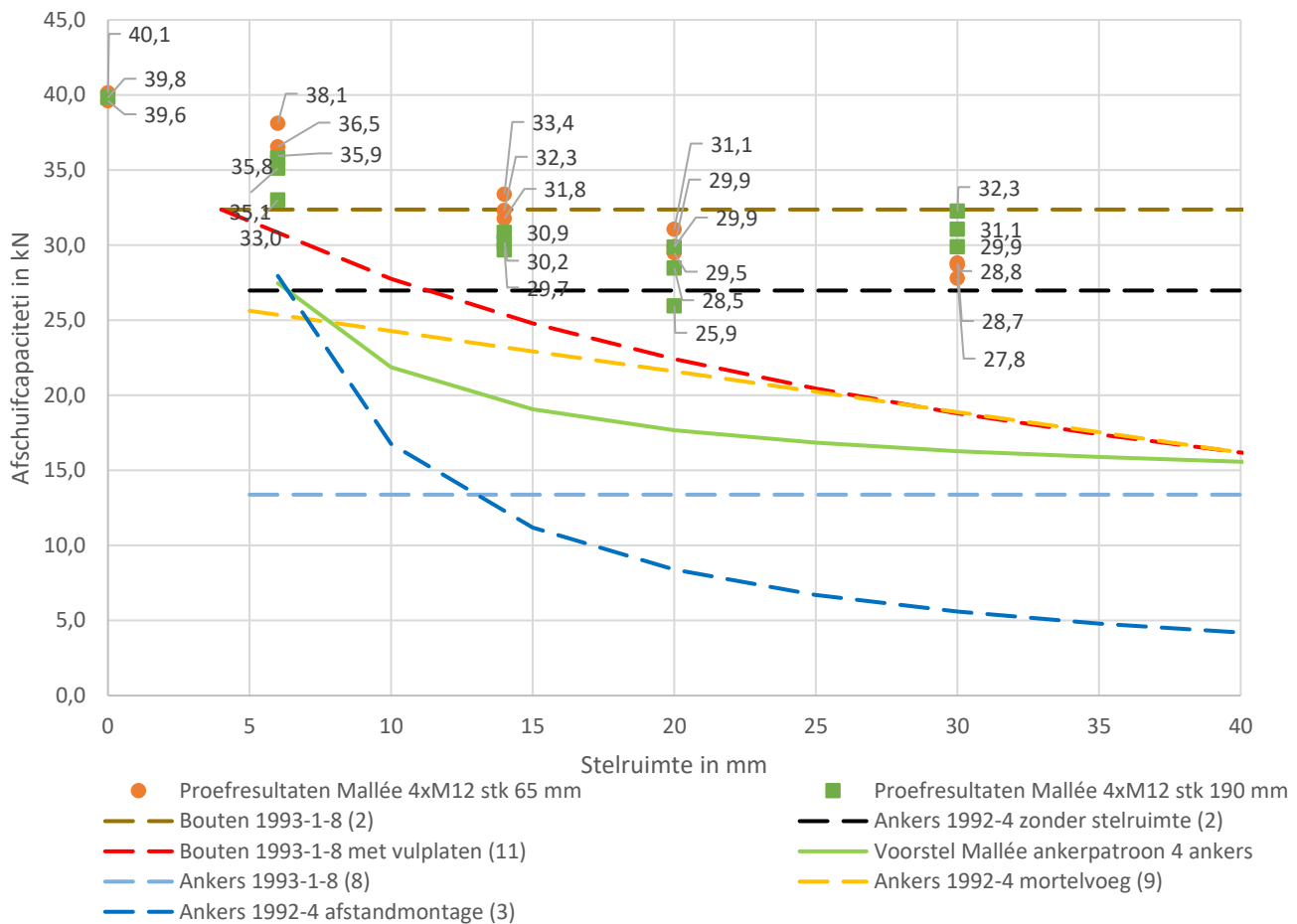
5.2.3. Mallée

Er zijn in het onderzoek door Fischer [3] 29 proeven uitgevoerd. Twee proeven zijn uitgevoerd voor één los anker zonder stelruimte om een referentie breekwaarde te bepalen. De overige 27 proeven zijn in diverse hoogtes van stelruimte beproefd met twee verschillende steekmaten, namelijk 65 mm en 190 mm. Er is teflonfolie tussen de mortel en het staal geplaatst zodat er geen wrijving opgenomen kan worden. Er zijn M12-lijmankers toegepast met gaten van $d=14$ mm in de voetplaten wat overeenkomt met de specificatie van normale gaten.

Het toegepaste lijmanker is niet een standaardklasse anker. De materiaaleigenschappen van het anker zijn wel gegeven. De treksterkte (f_{ub}) = 713 N/mm^2 en de vloeigrens (f_{yb}) = 541 N/mm^2 . Het opschalen van de materiaaleigenschappen en de resultaten naar 8.8-ankers doet, in overleg met Fischer, geen onrecht aan de conclusies die hieruit getrokken gaan worden. Bij een vloeigrens (f_{yb}) van 640 N/mm^2 schaal de treksterkte (f_{ub}) op naar $640/541 \cdot 713 = 840 \text{ N/mm}^2$ en dat is een acceptabele afwijking van de verwachte 800 N/mm^2 .

In tabel 4-3 (bijlage 4) en figuur 5-8 zijn de proefresultaten weergegeven waar staalbreuk van het anker het bezwijkmechanisme is.

Proefresultaten Mallée in relatie tot de afschuifcapaciteit volgens de vigerende codes en zijn voorstel voor M12 8.8



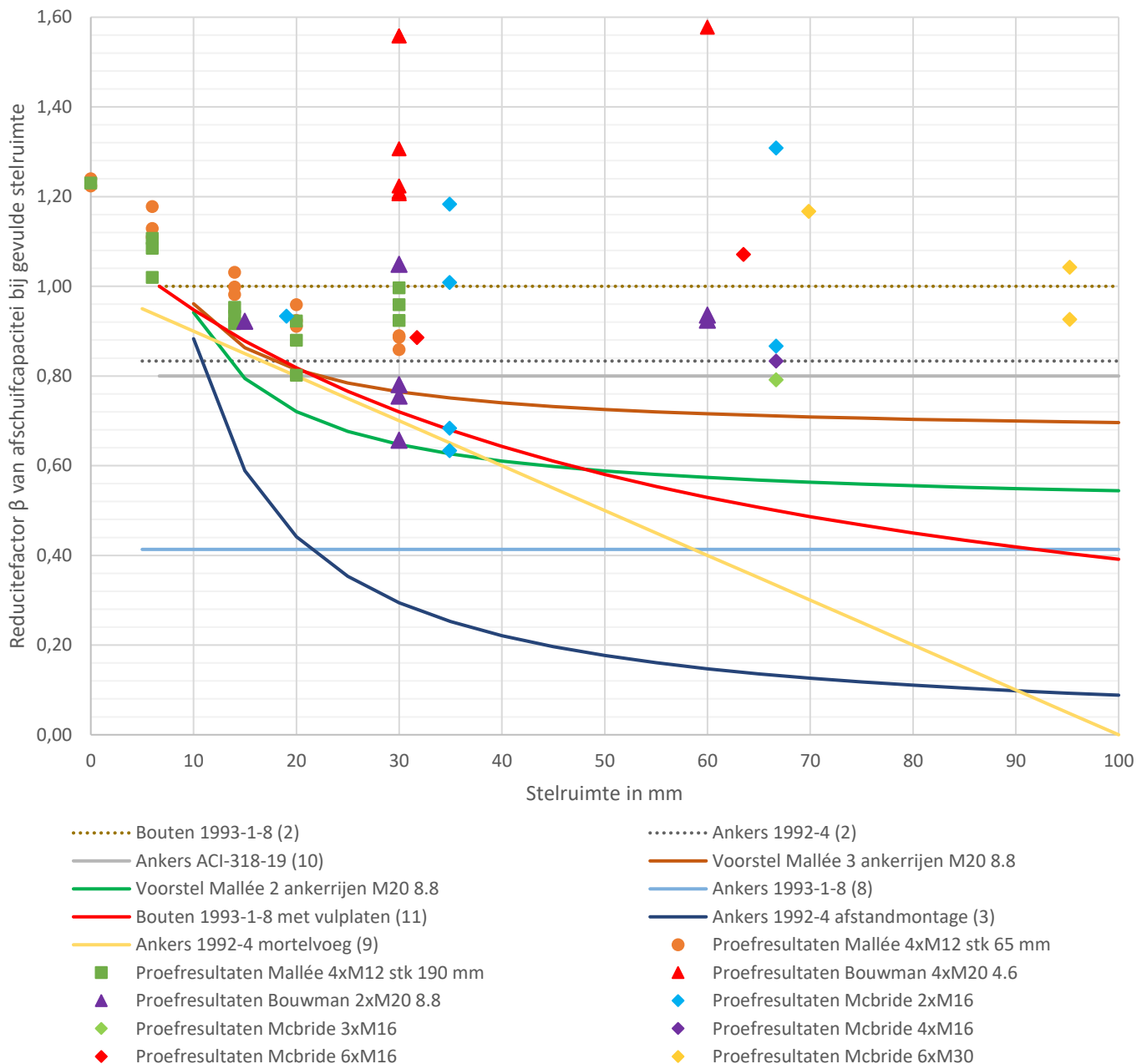
figuur 5-8 Visuele weergave proefresultaten uitgevoerd door Fischer [2] van M12 8.8-ankers in relatie tot vigerende code in kN

5.2.4. Visuele weergave van alle proefresultaten

Alle proefresultaten zijn omgezet naar een β op basis van een α_v van 0,6 en weergegeven in figuur 5-9. Op deze manier zijn alle resultaten met elkaar te vergelijken. Ook is vergelijking (14) van R. Mallée voor een ankergroep van twee ankers bestaande uit twee rijen en zes ankers bestaande uit drie rijen in de krachtsrichting weergegeven. Voor deze vergelijking is de β van de gemiddelde waarde van een anker weergegeven.

In het voorstel van L. Bouwman et al. [1] wordt een beperking opgelegd aan het gebruik van de ankerdiameters. Hun voorstel is alleen van toepassing op M12- tot M24-ankers omdat er alleen proeven zijn uitgevoerd met M20-ankers. Door de M12-, M16- en M30-proeven vanuit de andere onderzoeken, ontstaat een bredere basis om met grote zekerheid β te bepalen voor de gangbare ankermaten van M12 tot M36.

Reductiefactor β van alle proefresultaten in relatie tot de β volgens de vigerende codes en het voorstel van Mallée



figuur 5-9 Visuele weergave alle onderzochte proefresultaten uitgedrukt in relatie tot vigerende code uitgedrukt in 8

5.3. Voeg

Uit alle experimenten volgt dezelfde conclusie: de afschuifcapaciteit wordt verhoogd door het toepassen van een niet-samendrukbare voeg. De vergelijkingen van NEN-EN 1992-4 voor afstandmontage resulteren in een onterecht lage afschuifcapaciteit.

5.3.1. Type mortel

Het type mortelvoeg heeft invloed op de afschuifcapaciteit. Ondersabelen met zandcement, zo blijkt uit de proeven van A.M.P. de Deurwaarder [18], is aanzienlijk minder stijf en sterk dan de voeg gevuld met gietmortel. L. Bouwman et al. [1] concludeert dit gedrag ook, maar wel minder stellig. Er zit een verschil in het vervormingsgedrag. Waar bij ondersabelen met zandcement de voorzijde van de voetplaat naar beneden beweegt en dus de mortel wordt ingedrukt, treedt dit bij gietmortel niet op. Door deze indrukking bij zandcementvoegen wordt er ook een lagere wrijvingsweerstand gehaald. De mortelvoeg dient voldoende drukcapaciteit en stijfheid te hebben, maar met de huidige praktijk van hoogwaardige gietmortels is dat geen probleem meer.

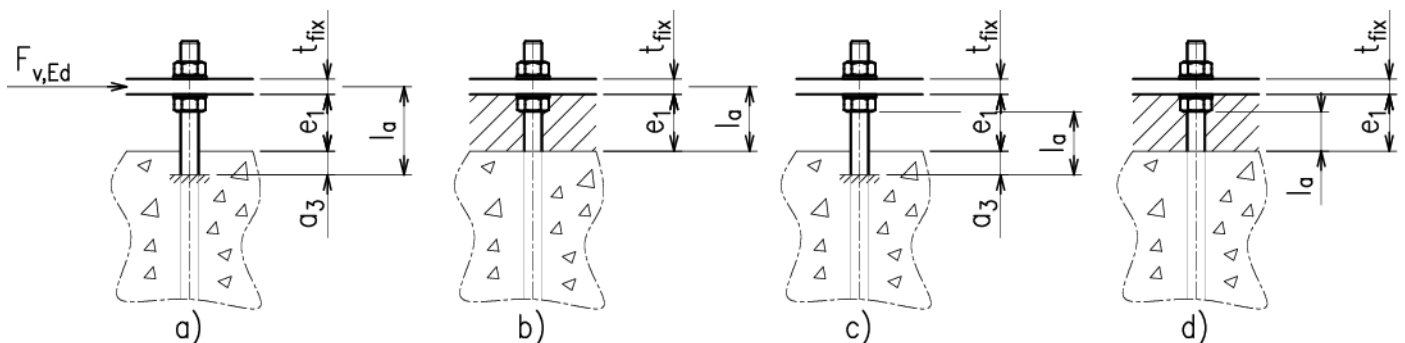
5.3.2. Rekenkundige voeghoogte

Uit de onderzoeken komen belangrijke aandachtspunten met betrekking tot de eerder in paragraaf 3.1 gemelde rekenkundige stelruimte naar voren (figuur 5-10 a).

Uit het onderzoek van R. Mallée [3] blijkt dat door de mortelvoeg de 'fictieve' inklemdiepte van $0,5 \cdot d$ niet meer van kracht is (figuur 5-10 b). Dat wordt geconcludeerd aan de hand van de uitgevoerde proeven. De mortelvoeg klemt het beton in waardoor het beton aan de bovenzijde niet meer kan uitbreken. Dit resulteert in een kortere buiglengthe. Dit heeft weliswaar geen invloed op de ankers waarvan de volledige afschuifcapaciteit wordt meegenomen, maar verhoogd wel de afschuifcapaciteit van de voorste, op buiging belaste, ankers. In figuur 5-9 is het voorstel van R. Mallée volgens deze kortere buiglengthen aangehouden (groene en bruine lijn).

Uit het onderzoek van A.M.P. den Deurwaarder [18] blijkt dat bij ankers zonder gevulde voeg, in dit onderzoek verder buiten beschouwing gelaten, de rekenkundige stelruimte met stelmoeren vanaf onderzijde stelmoer kan worden aangenomen (figuur 5-10 c). Dat zou de toelaatbare afschuifcapaciteit volgens vergelijking (3) bij kolomvoeten verhogen doordat de rekenkundige stelruimte met een halve voetplaat ($1/2 \cdot t_{\text{fix}}$) en een moerhoogte+ringdikte ($\approx 1 \cdot d$) afneemt (paragraaf 3.1).

Als beide conclusies gecombineerd worden, resulteert dat in een aanzienlijk kleinere buiglengthe (figuur 5-10 d). De afschuifcapaciteit van de ankers belast op buiging zal daardoor hoger uitvallen.



figuur 5-10 Rekenkundige stelruimte

a) rekenkundige stelruimte volgens NEN-EN 1992-4

b) rekenkundige stelruimte volgens R. Mallée bij mortelgepulde voegen

c) rekenkundige stelruimte volgens A.M.P. den Deurwaarder bij stelmoeren zonder mortelgepulde voegen

d) rekenkundige stelruimte wanneer b) en c) gecombineerd zouden worden

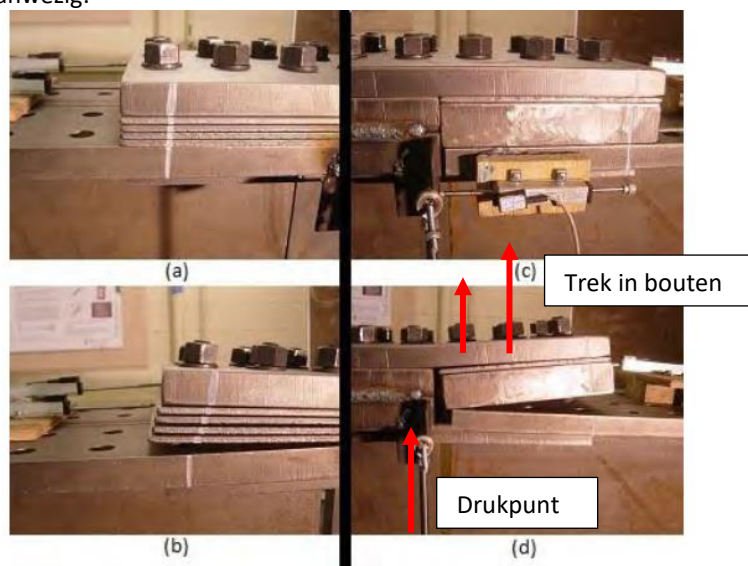
5.3.3. Stalen vulplaten

In het onderzoek van K. McBride [2] is één proefopstelling met stalen vullingen onderzocht. Daaruit volgt de voorzichtige conclusie dat de ankers bij stalen vullingen hetzelfde gedrag vertonen als bij gietmortel. In deze test zijn drie stapels van losse vulplaten gebruikt en daardoor wordt het probleem van paragraaf 4.2.4 voorkomen. De eerste verschuiving, doordat de wrijvingsweerstand van staal-staal lager is dan staal-beton, treedt wel eerder op [2, p. 255]. Op basis van de uitgevoerde proeven zijn er echter weinig resultaten beschikbaar.

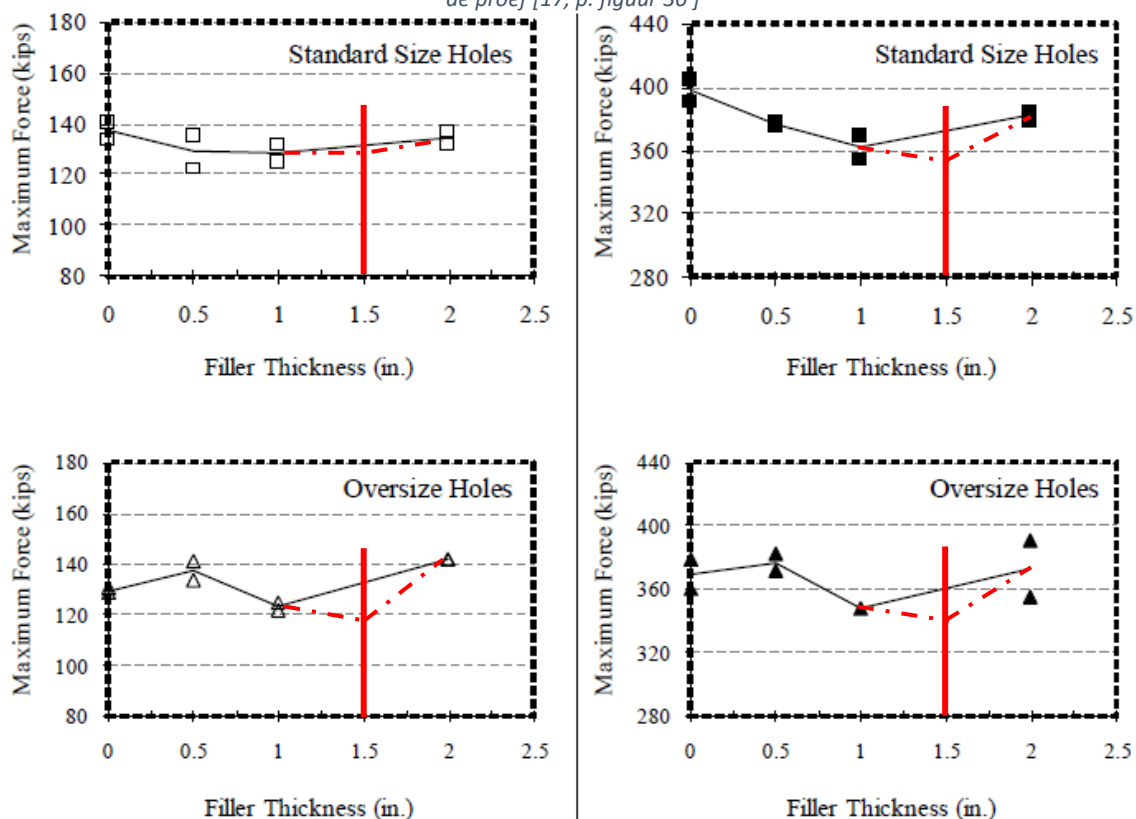
In figuur 3-5 staat de huidige vergelijking (11) weergegeven. Deze laat een afnemende afschuifcapaciteit zien als de stelruimte toeneemt. Deze vergelijking is, zoals in paragraaf 3.3.4 is toegelicht, voor staal-staalverbindingen en het is dus belangrijk om de correlatie te vinden tussen de proeven van staal-staal- en staal-betonverbindingen. Door P. Dusicka et al. [17] zijn afschuifproeven op staal-staalverbindingen met stalen vullingen en zonder voorgespannen bouten uitgevoerd. In deze proeven zijn verschillende aantallen rijen bouten, vuldiktes en aantallen vullingen onderzocht. De proeven zijn uitgevoerd met een boutdiameter van $\frac{7}{8}$ inch (22,4 mm). Deze zal bij benadering een d_s van 20 mm hebben. Voor M20 geldt dat $d = 20$ mm en $d_s = 17,7$ mm, zie tabel 5-1 in paragraaf 5.6.2. d_s is dus 2,3 mm kleiner dan d . Voor de beproefde boutdiameter zal dan gelden dat $d_s \approx 22,4 - 2,3$ mm = 20,1 mm is.

De volgende conclusie wordt getrokken: het toepassen van stalen vullingen verlaagt de afschuifcapaciteit van de bouten en de vervorming neemt toe. Dat komt overeen met proeven die eerder door anderen [19] al zijn uitgevoerd. Die proeven zijn uitgevoerd tot een vullingshoogte van 1 inch (25 mm) en daarom zijn in dit onderzoek [17] de testen uitgevoerd tot 2 inch (50 mm). Uit de resultaten blijkt dat voorbij 1 inch vulhoogte de afschuifcapaciteit van de bouten weer toe gaat nemen (figuur 5-12). Er ontstaat een inklemmende werking van de vulplaat waardoor de buiging op de bouten niet op kan treden. Aan de voorzijde ontstaat er een drukkracht op de vulplaten en de evenwicht makende trekkracht moet worden opgenomen door de bouten (figuur 5-11). De som van alle trekkracht in de bouten moet gelijk zijn aan de drukkracht in de stalen platen. De totale afschuifweerstand is gelijk aan de afschuifcapaciteit van de bouten en de wrijvingsweerstand die door de drukkracht ontstaat. De wrijvingsweerstand wordt bepaald door de druk te vermenigvuldigen met de wrijvingscoëfficiënt μ , zie vergelijking (13).

Bovenstaande volgt uit de proeven waar één vulplaat is toegepast. In de proeven waar meerdere vulplaten worden gebruikt, neemt de afschuifcapaciteit na 1 inch niet toe maar af, conform vergelijking (11). De situatie met meerdere vullingen kan in vergelijking met de proefresultaten van de staal-betonverbindingen buiten beschouwing worden gelaten. In deze situatie zijn er namelijk meerdere vlakken waarop wrijving kan ontstaan omdat vullingen onderling kunnen verschuiven. Bij een monoliet gevulde voeg is dat gedrag niet aanwezig.



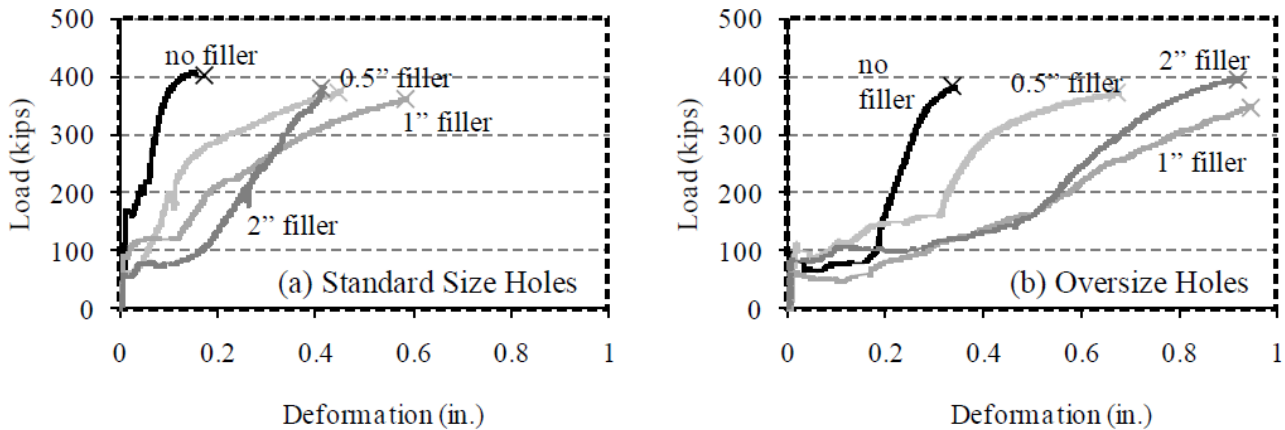
figuur 5-11 Vervorming van 1-inch-proef met meerdere vullingen voor (a) en na (b) de proef; en 2-inch-proef met één vulling voor (c) en na (d) de proef [17, p. figuur 36]



figuur 5-12 Hypothetisch verloop maximale afschuifcapaciteit indien bij $2 \cdot d_s$ (1,5 Inch) de laagste bezwijkwaarde zou optreden, geprojecteerd in de proefresultaten van P. Dusicka et al. [17, p. figuur 9]

5.4. Gatspeling

In de onderzoeken van L. Bouwman et al. [1] en R. Mallée [3] is de normale gatdiameter zoals beschreven in [14] gebruikt. Deze onderzoeken geven dus geen handvatten voor overmaatse gaten. Maar in het onderzoek van K. McBride [2] zijn alle proeven met overmaatse gaten uitgevoerd. 'Volgens [7] zou de afschuifcapaciteit bij overmaatse gaten niet op basis van vergelijking (2) moeten worden bepaald, maar op basis van vergelijking (3) *buigweerstand van ankers zonder mortelvoeg*. Dat lijkt echter op basis van de proefresultaten zeer conservatief. Zelfs de laagste proefresultaten laten niet zo'n grote reductie zien als in [7] wordt voorgesteld.' Ook blijkt uit het onderzoek naar de invloed van stalen vulplaten bij staal-staalverbindingen [17] dat afschuifcapaciteit nauwelijks afneemt (figuur 5-13). Wel neemt de vervorming aanzienlijk toe.



figuur 5-13 Voorbeeld van vervorming van drie boutrijen met verschillende vulplaatdikte [17, p. figuur 7]

5.5. Vervorming

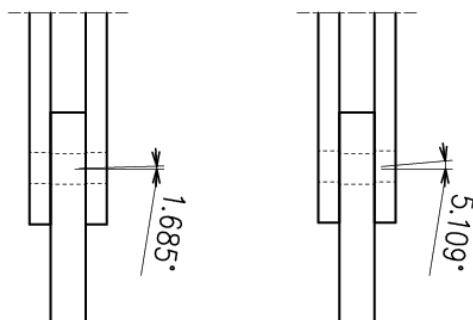
In de uitgevoerde proeven, waaronder die van staal-staalverbindingen, zijn ook de opgetreden vervormingen gemeten. Deze vervormingen lopen in sommige proeven op tot 30 mm. Zulke vervormingen zijn om diverse praktische redenen niet gewenst of zelfs ontoelaatbaar.

De diverse onderzoeken schrijven hier summier het volgende over:

- De CUR10: "Voor wapeningstaal zijn eisen aan de breukrek gegeven in Annex C van NEN-EN 1992-1-1 [20]. Voor draadeinden gelden de eisen conform NEN-ISO 891-1. Voor korte ankers zijn de voorwaarden overgenomen uit Annex B van CEN/TS 1992-4-1. De eis van de breukrek van 12% is erg hoog in vergelijking met de vereiste breukrek van wapeningsstaal." [6, p. T4.2(2)]
- Eén van de aanbevelingen van L. Bouwman et al. [1] voor verder onderzoek is de volgende: "In het gebruiksstadium zouden verschuivingen in de orde van grootte 3 tot 6 mm kunnen optreden. Daarbij zullen veelal scheurtjes in de voegmortel ontstaan. Er zijn geen criteria aangetroffen ten aanzien van de toelaatbare verschuiving. Het verdient aanbeveling criteria op te stellen in afhankelijkheid van de aard van de constructie..." [15, p. 167]
- Het onderzoek door P. Dusicka et al. [17] geeft aan dat door overmaatse gaten extra buiging in de bouten ontstaat, omdat de kop vrijer kan verdraaien in een ruimer gat dan in een normaal gat. De kop wordt slechter ondersteund (figuur 5-14).
- In het verleden werd onder andere in NEN 3880-Deel C een advieswaarde gegeven om een maximale vervorming van $0,1 \cdot d$ toe te laten met de volgende aantekening: "De vervorming van het anker wordt in hoofdzaak bepaald door het verbrijzelen van het beton door overschrijding van de druksterkte. Het is ter beoordeling van de constructeur, welke vervorming aanvaardbaar is. De beproevingsresultaten vertonen ten aanzien van de vervorming een sterke spreiding. De waarde $\delta = 0,1 \cdot d$ moet daarom slechts worden gezien als een globale indicatie."

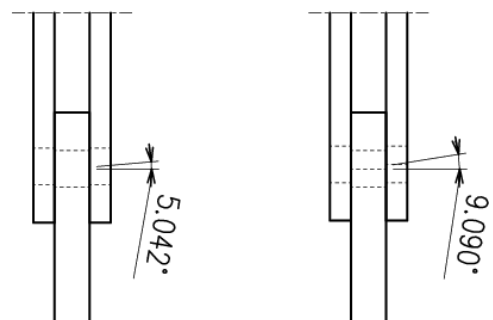
Standard Holes

a) Splice w/bolt in bearing b) Splice at Failure



Oversize Holes

a) Splice w/bolt in bearing b) Splice at Failure



figuur 5-14 Theoretische hoek door boutvervorming bij afschuiving bij normale en overmaatse gaten [17, p. figuur 31]

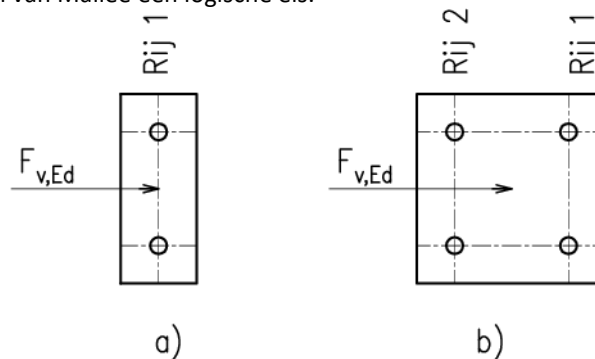
5.6. Conclusies

In deze paragraaf is een rode draad getrokken door al de proefresultaten zodat er een boven- en ondergrens ontstaat. Per paragraaf zullen de diverse aandachtspunten en conclusies worden beschreven.

5.6.1. Rekenmodellen

Uit de diverse onderzoeken komt in de basis hetzelfde gedrag van de verbinding naar voren zoals beschreven aan het begin van paragraaf 5.1. In het onderzoek van McBride [2] wordt daar het diepst op ingegaan en worden in het onderzoek vrij complexe vergelijkingen geïntroduceerd die behoorlijk nauwkeurig het gedrag beschrijven voor de drie beschreven situaties. Deze vergelijkingen zijn niet gepresenteerd in dit onderzoek. In deze vergelijkingen komt onder andere de wrijvingsfactor (μ) naar voren en daar zit voor de dagelijkse praktijk de complexiteit. Er is discussie over de werkelijke wrijvingsfactor en het is dan ook de vraag of het aan te bevelen is om deze als variabele in praktische engineeringsformules te verwerken. Voor dit onderzoek worden deze formules daarom buiten beschouwing gelaten.

Het onderzoek van Mallée [3] geeft een vrij praktische vergelijking (14) voor het bepalen van de afschuifcapaciteit. Vergelijking (14) heeft echter het nadeel dat bij één enkele ankerrij de afschuifcapaciteit gelijk wordt aan vergelijking (3) *buigweerstand van ankers zonder mortelvoeg*. Dat komt overeen met de randvoorwaarde van vergelijking (9) *afschuifcapaciteit van ankers met een mortelgevulde voeg*. Aan de hand van dit voorstel is het dus de vraag of een ankerpatroon met één enkele rij wel wenselijk is (figuur 5-15). In de Amerikaanse equivalent van NEN-EN 1090-2 [14], de OSHA 29 CFR 1926 part R [21], wordt gesteld dat een constructieve kolom tenminste vier ankers (twee rijen) moet hebben en dat alleen voor bouwkundige stijlen twee ankers (één rij) mogen worden toegepast. Volgens [21] is de definitie van een stijl dat deze slechts 300 lbs (136 kg) weegt, axiaal niet belast is en uitsluitend verticaal geplaatst wordt. Constructieve elementen moeten dus met vier ankers worden vastgezet en dat is in het licht van de bevindingen van Mallée een logische eis.



figuur 5-15 Classificering belasting per ankerrij voor één en twee rijen
rij 1: ankers met buigweerstand; rij 2: ankers met afschuifweerstand

5.6.2. Resultaten

In de verschillende proeven [1], [2] en [3] komen diverse trends naar voren die voor alle proefresultaten gelden. Dit zal eerst worden benoemd. Daarna zullen voor de afzonderlijke proeven aandachtspunten worden aangehaald die specifiek uit die proevenseries volgen.

- De proefresultaten vullen elkaar aan. Er ontstaat een goed beeld van lage tot hoge stelruimtes en van ankerafmetingen van M12 tot M30.
- Uit de proefresultaten lijkt de laagste afschuifcapaciteit bij een stelruimte van $2 \cdot d_s$ op te treden. Bij Bouwman is de laagste waarde voor proeven met M20 bij 30 mm. Bij McBride is de laagste waarde voor proeven met M16 bij 35 mm. Bij Mallée is de laagste waarde voor proeven met M12 bij 20 mm (tabel 5-1).

	Onderzoek	Stelruimte bij laagste proefresultaat (mm) Volgens figuur 5-5 tot figuur 5-8	d (mm)	A_s (mm ²)	d_s (mm)	$2 \cdot d_s$ (mm)
M12	Mallée	20	12	84,3	10,4	20,7
M16	McBride	35	16	157	14,1	28,3
M20	Bouwman	30	20	245	17,7	35,3
M30	McBride	95	30	561	26,7	53,5

$$A_s = \text{schachtoppervlakte, } d_s = \sqrt{(A_s \cdot 4 / \pi)}$$

tabel 5-1 Stelruimte in verhouding tot schachtdiameter

- In eerste instantie neemt de afschuifweerstand van de verbinding af om daarna weer toe te nemen. Dat kan verklaard worden doordat de stelruimte (e) groter wordt en het excentriciteitsmoment ($F_{v,Ed} \cdot e$) daardoor ook toeneemt. Door een groter moment ontstaat er een grotere druk- en trekkracht (D en T_1) en de grotere drukkracht resulteert ook in een

hogere wrijvingsweerstand (V_w). De totale afschuifcapaciteit ($V_1, V_2 + V_w$) neemt dan toe. De trekspanning die ontstaat door de trekkracht (T_1) in het anker zal in verhouding minder snel toenemen dan de schuifspanning afneemt. Dat is gezien de mechanische relatie waarin de afschuifcapaciteit van staal gelijk is aan $f_u/\sqrt{3}$, een logisch gedrag. De totale afschuifcapaciteit van de verbinding neemt dus toe. Uit het EEM-model zal moeten blijken wat de evenwichtssituatie en het verloop tussen de maximale afschuifkracht en optredende trekkracht is.

- Ten opzichte van vergelijking (3) *buiging op ankers zonder gevulde voeg* is de gevonden anker capaciteit aanzienlijk hoger als de stelruimte gevuld wordt met mortel. Zeker bij de grotere stelruimtes loopt dit op tot wel 5x de capaciteit volgens deze vergelijking (figuur 5-9). Bij bijvoorbeeld 60 mm stelruimte is β volgens (3) ongeveer 0,15 en de gevonden β uit de diverse proeven is niet lager dan 0,8.
- Alle proefresultaten vallen boven de vergelijking (14) voor twee ankerrijen met totaal vier ankers van Mallée waarin voor de β van de afschuifcapaciteit bij het bepalen de boutwaarde van NEN-EN 1993-1-8 is aangehouden en niet die van NEN-EN 1992-4. In NEN-EN 1993-1-8 is de α_v 0,6 en in NEN-EN 1992-4 is deze 0,5. Een α_v van 0,6 lijkt geen onrecht te doen aan de afschuifcapaciteit.
- De afschuifcapaciteit volgens vergelijkingen (9) en (11) geeft, gezien voor de laagste proefresultaten, een te hoge capaciteit. Zeker als de standaardafwijking op de proefresultaten in acht worden genomen.

Bouwman

- Alle gevonden resultaten zitten aanzienlijk hoger dan de rekenregels die in het onderzoek worden voorgesteld. De kleinste veiligheid voor M20 4.6 is $56,7/28,9 = 1,96$ en voor M20 8.8 is dit $61,8/38,9 = 1,59$ (figuur 5-5, figuur 5-6 en de afschuifcapaciteit volgens vergelijking (8)). Doordat er van elke opstelling slechts een gering aantal proeven is uitgevoerd, dient er met een standaardafwijking rekening te worden gehouden waardoor deze veiligheid waarschijnlijk op zijn plaats is. Toch lijkt de veiligheid voor klasse 4.6 in vergelijking met die voor klasse 8.8 te hoog.
- In de M20 8.8-proevenreeks van L. Bouwman et al. zijn twee M20-ankers in één enkele ankerrij in de krachtsrichting getoetst. Uit het voorstel van Mallée zou moeten volgen dat de afschuifcapaciteit van deze ankers gelijk is aan die van ankers zonder gevulde voeg. Uit de resultaten van deze proeven blijkt zo'n terugval in capaciteit niet op te treden en daarmee lijkt het voorstel voor een enkele ankerrij en tevens de randvoorwaarde van vergelijking (9) onnodig conservatief.
- De resultaten van de zand-cementproeven laten een grotere spreiding en daardoor ook een grotere onzekerheid zien.

Mcbride

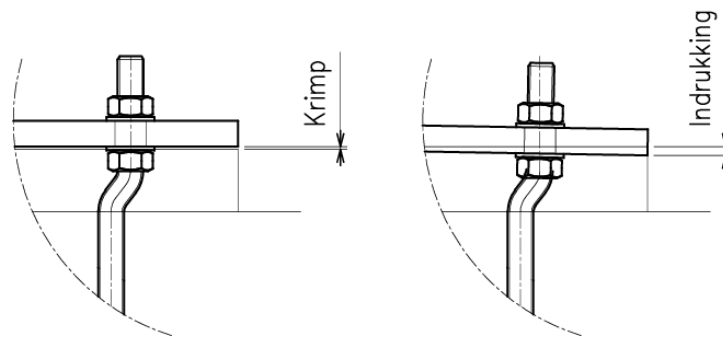
- De 6xM30-proeven hebben in verhouding tot de stelruimtes een hogere β dan de 2xM16-proeven en komen qua β meer overeen met de resultaten van 6xM16. Dat lijkt het voorstel van Mallée te bevestigen dat de gemiddelde afschuifcapaciteit van de ankers toeneemt als er meerdere rijen worden toegepast.
- Uit de proefresultaten 2xM16 (tabel 4-3 in bijlage 4) komt een lagere β naar voren dan 0,8. Het is onduidelijk waarom in het onderzoek deze lagere waarden niet naast vergelijking (10) worden gehouden. Bij een lager aantal ankerrijen lijkt een β van 0,8 te hoog.

Mallée

- In de proeven van R. Mallée [3] zijn twee verschillende steekpatronen van de ankers toegepast. Uit de resultaten volgt dat bij de grote steek de afschuifcapaciteit lager is dan bij de kleine steek. In het artikel wordt aangegeven dat er aan de hand van de resultaten hier geen verklaring voor kan worden gegeven en dat er meer proeven noodzakelijk zijn. Mogelijk resulteert een kleinere steek in een grotere drukkracht op de mortel waardoor het aandeel van de wrijving toeneemt en daardoor de afschuifcapaciteit van de verbinding hoger is. Dat past in de analyse van L. Bouwman [1] voor het evenwichtig maken van de optredende belasting.
- Rond de 45 mm stelruimte, en - als dit de rekenkundige stelruimte zou zijn - een fysieke stelruimte van zo'n 30 mm (zie paragraaf 5.3.2), geven de vier vergelijkingen (9), (10), (11) en (14) inclusief het voorstel van R. Mallée [3] nagenoeg dezelfde afschuifcapaciteit.
- In de proeven van Mallée voldoet de reeks met een steek van 65 mm ($5,4*d$) niet aan één van de randvoorwaarden van vergelijking (9), namelijk dat de steek groter moet zijn dan $10*d$. De resultaten van deze lijmankeers zijn echter hoger dan de proeven met een steek van 190 mm ($15,83*d$). Binnen de klasse 4.6-proeven van L. Bouwman et al. is de steek ook kleiner dan $10*d$ en ook hier vallen de proeven in verhouding niet lager uit dan de andere proeven die wel aan deze voorwaarde voldoen. De randvoorwaarde lijkt, aan de hand van deze resultaten, niet van toepassing op de afschuifcapaciteit van ankers.
- Het voorstel van R. Mallée op basis van drie ankerrijen met totaal zes ankers geeft een lagere afschuifcapaciteit dan de proefresultaten van zes ankers. De proefresultaten die op de grens van vergelijking (14) vallen (figuur 5-8) zijn van opstellingen met één ankerrij.

5.6.3. Voeg

Gietmortel levert de beste proefresultaten op met betrekking tot de afschuifcapaciteit van de ankers. Gietmortel is krimparm en ook stijver dan bijvoorbeeld een zandcementvoeg. Sinds NEN-EN 1090-2 [14] in 2018 is geïntroduceerd, is het type voeg voor dit soort onderzoek geen aandachtspunt meer. In deze norm [14, p. 5.9] wordt aangegeven dat er alleen nog maar specifieke soorten mortel mogen worden toegepast: mortel op cementbasis, speciale mortel of fijnkorrelig beton. Uit de enquête blijkt dat het merendeel van de respondenten aangeeft dat er K70 wordt toegepast en nagenoeg alle respondenten geven aan dat er gietmortel wordt gebruikt. Een belangrijke eigenschap van gietmortel is dat het een zwellingscoëfficiënt heeft van 0,5-2% (Bijlage 3) en dus uitzet na uitharden. Dat staat haaks op gewoon cement of beton waar de vloeibare massa na uitharden juist krimpt (figuur 5-16). Doordat de gietmortel zich uitzet, drukt het zich tegen en hecht het zich aan de oppervlakken van het beton en het staal en zal er minder of geen sprake zijn van een losstaande voeg. Uit de proeven van A.M.P. den Deurwaarder [18] blijkt dat bij gietmortel direct wrijving optreedt. Dat kan verklaard worden doordat bij een gietmortelvoeg het excentriciteitsmoment door het trek-/drukkraatkoppel in de mortel en de ankers sneller dan bij zandcementmortel kan worden opgenomen. Door de dichtgevoelde en stijvere mortel is er geen of minder fysieke vervorming benodigd voordat de druk zich af kan zetten op de mortel.



figuur 5-16 Fysieke kenmerken van niet krimparme en slappe voegen

In figuur 5-12 is te zien dat bij het vullen met stalen vulplaten ongeveer bij $2 \cdot d_s$ ($2 \cdot 20 = 40$ mm = 1,56 inch) de laagste afschuifcapaciteit van de bouten te vinden is en dat lijkt bij overmaatse gaten ook het geval. De proeven zijn voor 1 en 2 inch uitgevoerd, maar voor deze boutafmeting ligt wellicht de ongunstigste waarde op 1,5 inch. Dat is uiteraard puur hypothetisch, maar de resultaten geven ruimte dat dit het geval zou kunnen zijn. Uit hun conclusie blijkt dat – afhankelijk van de stelruimte – er blijkbaar een verschillend gedrag in de bout optreedt. De bout zal tot een bepaalde vulhoogte de grootste stijfheid hebben waardoor deze in de vorm van buiging gaat bijdragen aan de afschuifcapaciteit. Als de stelruimte groter wordt, blijft de stijfheid achter waardoor de vervorming toeneemt en de verbinding aan de voorzijde gaat drukken en, voor het evenwicht, aan de achterzijde gaat trekken aan de bouten, zoals ook al is gesteld door L. Bouwman et al. [1], K. McBride [2] en R. Mallée [3] bij ankerverbindingen (figuur 5-11). Het lijkt er dus sterk op dat bij de afstandmontage in staal-staalverbindingen hetzelfde gedrag optreedt als bij staal-betonverbindingen.

Zowel de proefresultaten voor staal-staal als voor staal-beton lijken een dal te hebben. En het laagste dal zal de bovengrens zijn van de toelaatbare afschuifcapaciteit. De laagste proefresultaten zullen numeriek de hoogste toelaatbare β geven waarmee de afschuifcapaciteit $F_{v,Rd}$ moet worden gereduceerd.

5.6.4. Gatspeling

Uit de resultaten van de verschillende proeven blijkt dat de grootte van de gatspeling geen noemenswaardige invloed heeft op de afschuifcapaciteit maar wel op de vervorming van de ankers.

5.6.5. Vervorming

Enkele zaken zijn bij het bepalen van de β wel belangrijk als het gaat om vervorming:

- Overmaatse gaten hebben een geringe invloed op de afschuifcapaciteit van het anker, maar hebben wel een aanzienlijke invloed op de vervorming.
- Bij de experimenten treden grote vervormingen op. Als daar eisen aan gesteld worden, kan dat invloed hebben op de toelaatbare afschuifcapaciteit. Op dit moment zijn er nog geen concrete eisen verwoord in de norm en kan de hoogte van de afschuifcapaciteit bepaald worden op basis van de breeksterkte of maximale rek van de ankers. Als de vervorming van het anker leidend zou zijn voor de maximaal toelaatbare afschuifkracht, zou het op zijn plaats kunnen zijn om voor de afschuifcapaciteit - net als voor stuikcapaciteit [4, p. 3.6.1 – tabel 3.4 voetnoot 1] – een correctiefactor voor de gatspeling toe te voegen.

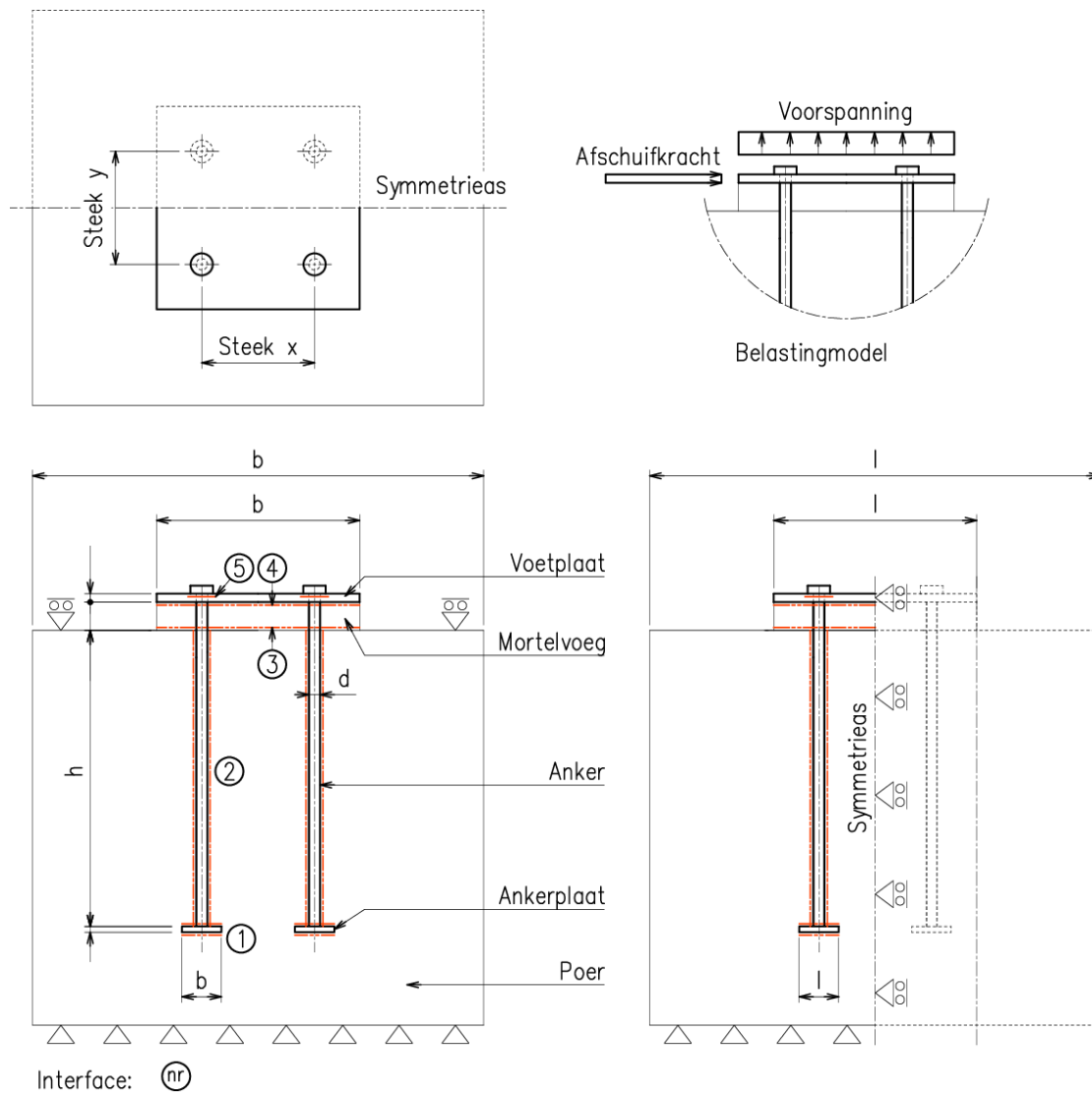
Om onduidelijke redenen zijn de aanbevelingen en voorstellen nooit omgezet naar concrete eisen in de codes [4] en [5]. Dit afstudeeronderzoek gaat, onder andere door gebrek aan concrete eisen, specifiek over een acceptabele boven- en ondergrens van de afschuifcapaciteit van ankers en niet zozeer om de vervorming. Bij de resultaten van het EEM-model zijn de vervorming (δ) bij de maximale rek en breekwaarde wel weergegeven. Ook is de optredende belasting bij de aanbevolen δ volgens paragraaf 5.5 weergegeven.

6. EEM-model

In dit hoofdstuk is in paragraaf 6.1 het EEM-model beschreven. In paragraaf 6.2 is het overzicht van de gemaakte analyses weergegeven en afsluitend zijn in paragraaf 6.3 de resultaten van dit model beschreven. Dit model is gemaakt om in eerste instantie het gedrag van de proeven te simuleren op basis van de rekenwaarde volgens de vigerende normen. Als er een overeenkomst is tussen de resultaten van het model in vergelijking met die van de proeven, dan kan het model gebruikt worden om een rekenkundige grens van de afschuifcapaciteit van ankers en van de gezochte β te bepalen. In hoofdstuk 7 zullen de conclusies en bevindingen van het EEM-model worden beschreven.

6.1. Model

Diana genereert aan de hand van een python-script een model inclusief belastingen, steunpunten, interfaces, rekenmethodes en gezochte uitkomsttypes (figuur 6-1). Dit script zorgt ervoor dat er veel verschillende analyses gemakkelijk kunnen worden uitgevoerd door de gewenste parameters in het script aan te passen. In bijlage 5.1 is het gedeelte van het script weergegeven waar de parameters kunnen worden aangepast.



Interface: nr

figuur 6-1 Tekening van parameters en onderdelen zoals het EEM-model door Diana wordt gegenereerd

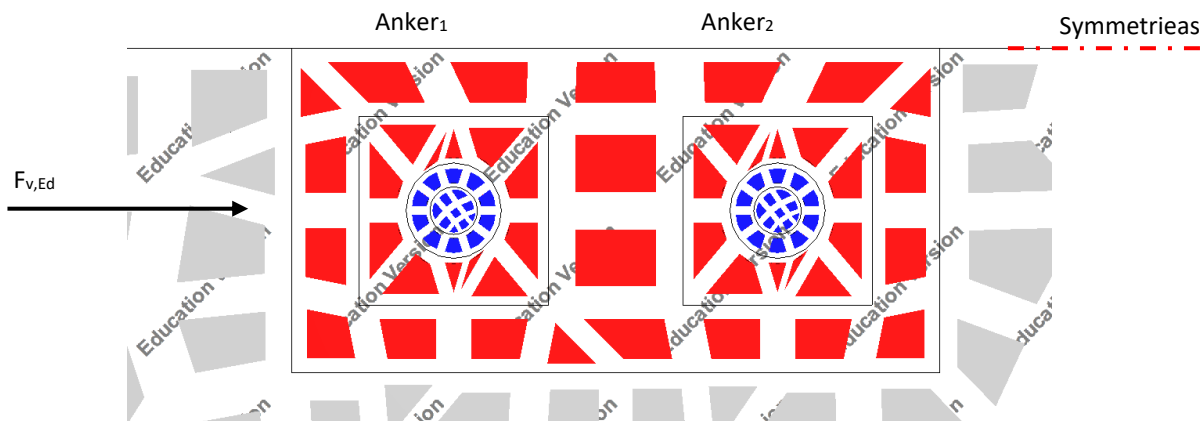
6.1.1. Opbouw

Het model bestaat uit vier basisonderdelen: voetplaat, ankers, mortelvoeg en poer. Er is voor gekozen om geen stelmoer onder de voetplaat toe te passen. Zonder stelmoer komt het EEM-model overeen met het geschetste probleem in de inleiding. Zonder stelmoer ontstaat ook de langste en daarmee ongunstigste buiglengthe (zie paragraaf 5.3.2). In de volgende paragrafen worden de keuzes belicht die gemaakt zijn ten aanzien van de basisonderdelen. Alle aangehaalde materialen, interfaces etc. zijn volledig uitgewerkt in bijlage 0. Om het aantal elementen klein te houden, wordt door het script een half model gegenereerd. Het model kent een zuivere symmetrieas en kan daarom gehalveerd worden.

Naast de basisonderdelen bevat het model allerlei subonderdelen om bijvoorbeeld een zuiver elementenraster of contactvlakken te creëren. Deze zijn noodzakelijk om de analyse zuiver en sneller uit te kunnen laten voeren. Het model is vanaf

het 'hoogste' punt op de z-as opgebouwd uit vlakken die vervolgens een dikte krijgen. Door van bovenaf te werken wordt Diana geforceerd om over de z-as een gelijkmatig raster te creëren (figuur 6-2). Dat resulteert om diverse redenen in een hogere zuiverheid van de resultaten. De twee belangrijkste redenen zijn:

- Door de extrusie van de vlakken wordt het EEM-model geforceerd om kubusvormige elementen te creëren. Dat voorkomt dat er piramide- of andere driehoekvormige elementen worden gegenereerd. Zulke elementen gedragen zich lokaal stijver dan kubusvormige elementen. Integratiepunten van zulke elementen zijn sneller geneigd om piekspanningen te creëren waardoor er lokaal in het beton eerder scheuren ontstaan en plastische rekken sneller bereikt worden. Met kubusvormige elementen worden de resultaten nauwkeuriger.
- De integratiepunten verlopen niet in het x/y-vlak. Ook dat draagt bij aan de nauwkeurigheid van de resultaten.



figuur 6-2 Bovenaanzicht van het elementenraster uit het 3D EEM-model

6.1.2. Steunpunten

Aan de onderzijde van de poer draagt het model alle verticale en horizontale belasting af. Om te voorkomen dat de poer gaat draaien, omdat pas aan de onderzijde de horizontale belasting kan worden afgedragen, wordt de poer bovenop aan de buitenzijdes ingeklemd. Voor deze opstelling is gekozen omdat de proeven beschreven in hoofdstuk 5 ook zo zijn opgebouwd. De plaat, het mortelvoeg en de poer krijgen een steunpunt haaks op het vlak om de verschuiving over de symmetrieas tegen te houden.

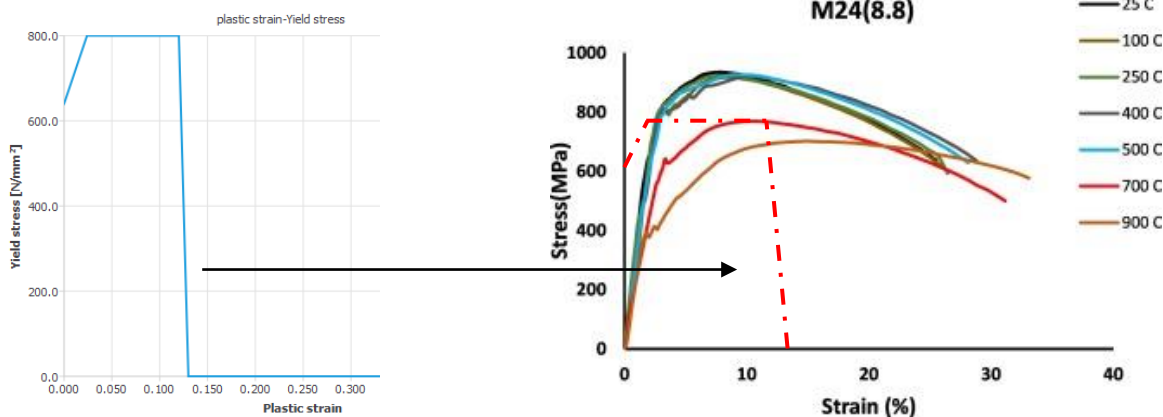
6.1.3. Afmetingen

Voor de basisonderdelen kunnen alle buitenmaten (b, l) en de dikte (h) worden aangepast. Voor de ankers kan ook de steek (x en y), de lengte (h) en de afmeting van de volgplaat (b, l) worden aangepast.

6.1.4. Materialen

Voor de voetplaten kan materiaalklasse S235 en S355 worden toegepast. In de basis is hier S235 voor aangehouden. Voor de analyses met M30-ankers is S355 aangehouden zodat de kopplaat van deze analyse niet maatgevend wordt.

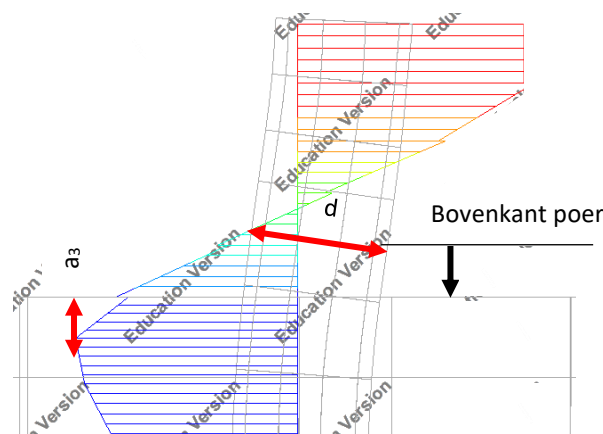
Voor de ankers kan klasse 4.6 en 8.8 worden toegepast. In de analyses is voornamelijk klasse 8.8 gebruikt omdat dit ook in de meeste proefopstellingen is gebruikt. Er is ook een reeks met klasse 4.6 geanalyseerd om het model aan de hand van de proevenreeks van L. Bouwman et al. [1] te valideren. In het onderzoek van [1, p. 133] worden in de aanbeveling de maximale rekken voor deze klasse aangehaald. De minimale rek bij breuk voor klasse 4.6 is 25% en voor de klasse 8.8 is deze 12%. Nadat een integratiepunt deze rek bereikt, loopt de opneembare spanning bij de toename van de rek direct terug naar 0 N/mm². Dat is een onderschatting van de werkelijke capaciteit en daardoor zal het materiaal zich onder andere brosser gedragen (bijlage 5.2 en figuur 6-3).



figuur 6-3 links) mechanische eigenschappen uit het EEM-model klasse 8.8;
rechts) mechanische eigenschappen bij verschillende temperaturen uit trekproeven voor M24 8.8 [22]

Voor de mortelvoeg kan klasse K30, K50 en K70 worden toegepast. Uit de enquête blijkt dat er voornamelijk K70 wordt toegepast en deze kwaliteit is dan ook in alle analyses toegepast. Om de invloed van de gietmortelklasse op de afschuifcapaciteit te bepalen zijn er ook analyses uitgevoerd met klasse K30. Voor alle klassen geldt dat de aangehouden maximale druksterkte gelijk is aan de noemer van de klasse. Voor K70 is hiervoor dus 70 N/mm² aangehouden. Dit is een conservatieve waarde, omdat de meeste gietmortel K70 wordt geleverd met een hogere druksterkte tot wel 95 N/mm² (bijlage 3). Het materiaalmodel van de mortel is conform richtlijn [23]. In deze richtlijn – die is uitgegeven door Rijkswaterstaat – worden de instellingen en berekeningen van onder andere het gedrag van beton C70 beschreven. Bij het materiaalgedrag op druk is met betrekking tot het plastisch verloop van deze richtlijn afgeweken. Bij het standaard voorgeschreven gedrag, als het beton de maximale druk heeft bereikt waarop het beton zou bezwijken, loopt de capaciteit van het beton terug naar 0 N/mm² en zou de vervorming van de voetplaat hier ook op reageren alsof er ter plaatse van de bezweken mortelvoeg geen materiaal meer aanwezig zou zijn, de voetplaat zou bij het bezwijken van beton dan ineens vrij liggen. Uit de proeven blijkt echter dat mortelvoeg in stukken breekt en fysiek op zijn plek blijft zitten. De voetplaat wordt zodoende nog steeds behoeft voor kantelen. Daarom is besloten het materiaalgedrag ideaal plastisch te laten verloop zodat de voetplaat, nadat de mortel in stukken breekt, niet kan kantelen.

Voor de poer kunnen alle gangbare betonsterkteklassen worden aangehouden. In de analyses is C30/37 aangehouden omdat dat op dit moment de meest gangbare kwaliteit is. Het materiaalgedrag onderhevig aan trek- en drukkracht ontwikkelt zich lineair-elastisch. Er worden geen dominante scheuren (microscheuren uitgezonderd) verwacht in het beton die afbreuk doen aan het globale gedrag van de afschuifcapaciteit van de ankers. Bij het drukpunt van het anker tegen het beton aan de bovenzijde van de poer zou spatten kunnen worden verwacht, maar op basis van het voorstel van Mallée [3] (paragraaf 5.3.2) wordt dat gedrag buiten beschouwing gelaten. Daarom kan lineair-elastisch gedrag worden toegepast. De resultaten benaderen het beste de ‘fictieve’ inklemdiepte van het anker van $0,5 \cdot d$ (a_3) (figuur 3-2 en figuur 6-4). Ook geldt voor een EEM-model dat als er meer niet-lineair-elastisch materiaalgedrag wordt toegepast, het complexer wordt om een nauwkeurige oplossing te vinden. Door waar mogelijk niet-lineair-elastisch gedrag te vermijden, wordt de algehele nauwkeurigheid van de resultaten verhoogd.



figuur 6-4 Vergroting uit het EEM-model van het buigpunt van het anker in het beton

6.1.5. Interfaces

Alle onderdelen in het EEM-model worden gekoppeld door middel van zogenoemde interfaces. In zo'n interface kan worden aangegeven hoe een koppeling om moet gaan met de verschillende belastingen die daarin kunnen optreden.

Nummer	Onderdelen		Eigenschappen van overgang
1	ankerplaat	poer	ankerplaat kan drukkracht aan het beton overdragen, maar geen afschuif- of trekkracht
2	ankerstang	poer	axiaal kan dit vlak geen afschuifkracht overdragen aan het beton
3	mortelvoeg	poer	wrijving en drukkracht kunnen worden overgedragen, maar geen trekkracht
4	mortelvoeg	voetplaat	wrijving en drukkracht kunnen worden overgedragen, maar geen trekkracht
5	moer	voetplaat	koppeling kan drukkracht overbrengen, maar geen trekkracht

tabel 6-1 Beschrijving van de interface in het EEM-model, voor de nummers zie figuur 6-1

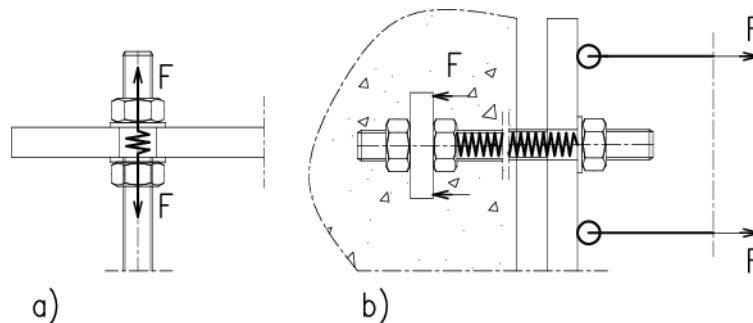
Voor de overdracht van de afschuifkracht door middel van wrijving wordt het Mohr-Coulomb-criterium aangehouden. Het vlak tussen staal en beton kan in de basisanalyses geen wrijving opnemen. In de uitvoering van de verbinding bestaat onzekerheid of er wrijving aanwezig is en zo ja, hoe hoog of laag de wrijvingsweerstand is. Dat kan bijvoorbeeld komen doordat de mortelvoeg niet goed gevuld is, maar ook hebben bepaalde typen conservering, zoals thermisch verzinken, een lage wrijvingshoek. In de proeven van Mallée [3] is dit vlak dan ook voorzien van teflonfolie om op die manier te forceren dat er geen wrijving kan worden opgenomen. Voor de overgang tussen de mortelvoeg en poer (beton-beton) is de algemeen geaccepteerde wrijvingshoek van 30° ($\mu = 0,58$) aangehouden.

Los van de proeven van Mallée, waar de overgang tussen staal en beton door middel van teflonfolie gecontroleerd wordt, is het onbekend wat de wrijvingshoeken in de proeven zijn geweest. Daarom zijn er ook EEM-analyses uitgevoerd met verhoogde wrijvingshoeken. Voor de overgang tussen de mortelvoeg en de poer is de wrijvingshoek verhoogd naar 45° ($\mu = 1$) en voor de overgang tussen de mortelvoeg en staal is een wrijvingshoek van 30° ($\mu = 0,58$) aangehouden. Dat zijn gezien de norm overschatte wrijvingshoeken, maar de mogelijkheid bestaat dat deze fysiek in de proeven wel aanwezig zijn geweest. Door de analyses met de voorgeschreven en met de verhoogde wrijvingshoeken uit te voeren, wordt de invloed van de wrijving in beeld gebracht.

6.1.6. Optredende belastingen

In de analyses wordt gezocht naar de maximale afschuifcapaciteit van de verbinding. Hiervoor wordt een verdeelde belasting van 100 kN op de volledige zijkant van de plaat gezet zodat deze, net als bij de proeven, op het midden van de voetplaat aangrijpt. In het EEM-model is dus een afschuifbelasting van 50kN aanwezig omdat een half model wordt opgebouwd. Het EEM-model zal per loadstep het gedrag van de knoop kunnen weergeven. Bij elke loadstep hoort een loadfactor. Deze loadfactor is de vergroting/verkleining van 100 kN.

In het model is ook een trekkracht als verdeelde belasting op de plaat aangebracht om daarmee de voorspanning in de ankers te simuleren. Voor deze voorspanningswaarde is 25% van de rekenkundige trekcapaciteit van de ankers aangehouden als numerieke interpretatie van het begrip 'handvast aandraaien'. Zonder stelmoer kan een constructie met stelruimte alleen worden vastgedraaid in bijvoorbeeld een verticale oriëntatie waar aan de andere zijde ook een verbinding aanwezig is. De veer die ontstaat door het voorspannen bevindt zich niet tussen de stelmoeren (figuur 6-5 a) maar in de hele verbinding (figuur 6-5 b). Deze veer is niet gemodelleerd in het EEM-model en daardoor creëert de aangebrachte trekkracht een blijvende trekspanning in het anker. In de situatie met een stelmoer is er initieel geen trekkracht in de ankerschacht onder de moer aanwezig en is deze zonder afschuifkracht nog onbelast. In het EEM-model is in de ankerschacht echter op voorhand al 25% van de rekenkundige trekcapaciteit aanwezig. Deze modelkeuze is een ongunstige invulling van het aanhaalmoment en onderschat daardoor de maximale capaciteit van het anker.



figuur 6-5 Veren model bij voorspannen

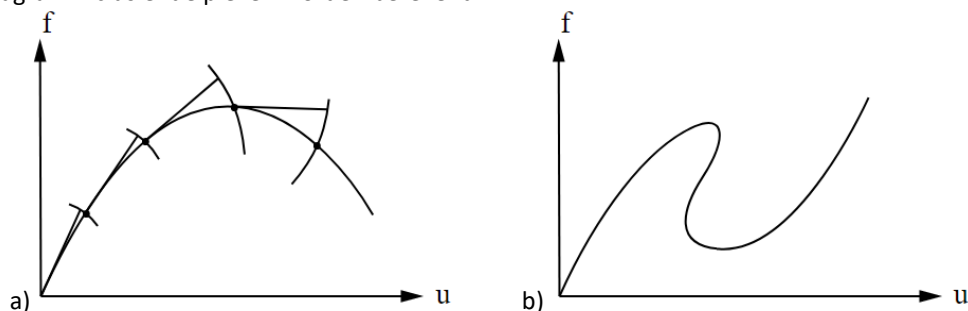
- a) evenwichtmakende veren tussen druk op voetplaten die ontstaat door de trek op ankerschacht tussen de moeren
b) zonder stelmoer zal de voorspankracht evenwicht moeten maken tussen anker in het beton en het stalen element

6.1.7. Berekeningsmethode EEM-model

De modellen worden in twee fases berekend. Deze fases simuleren de montagevolgorde zoals deze in de praktijk wordt uitgevoerd.

In de eerste fase wordt de mortelvoeg achterwege gelaten, wordt de voorspanning op de ankers aangebracht en krijgen alle onderdelen hun eigen gewicht mee. Het model kent door deze belastingen zeer kleine verplaatsingen, maar deze worden wel berekend.

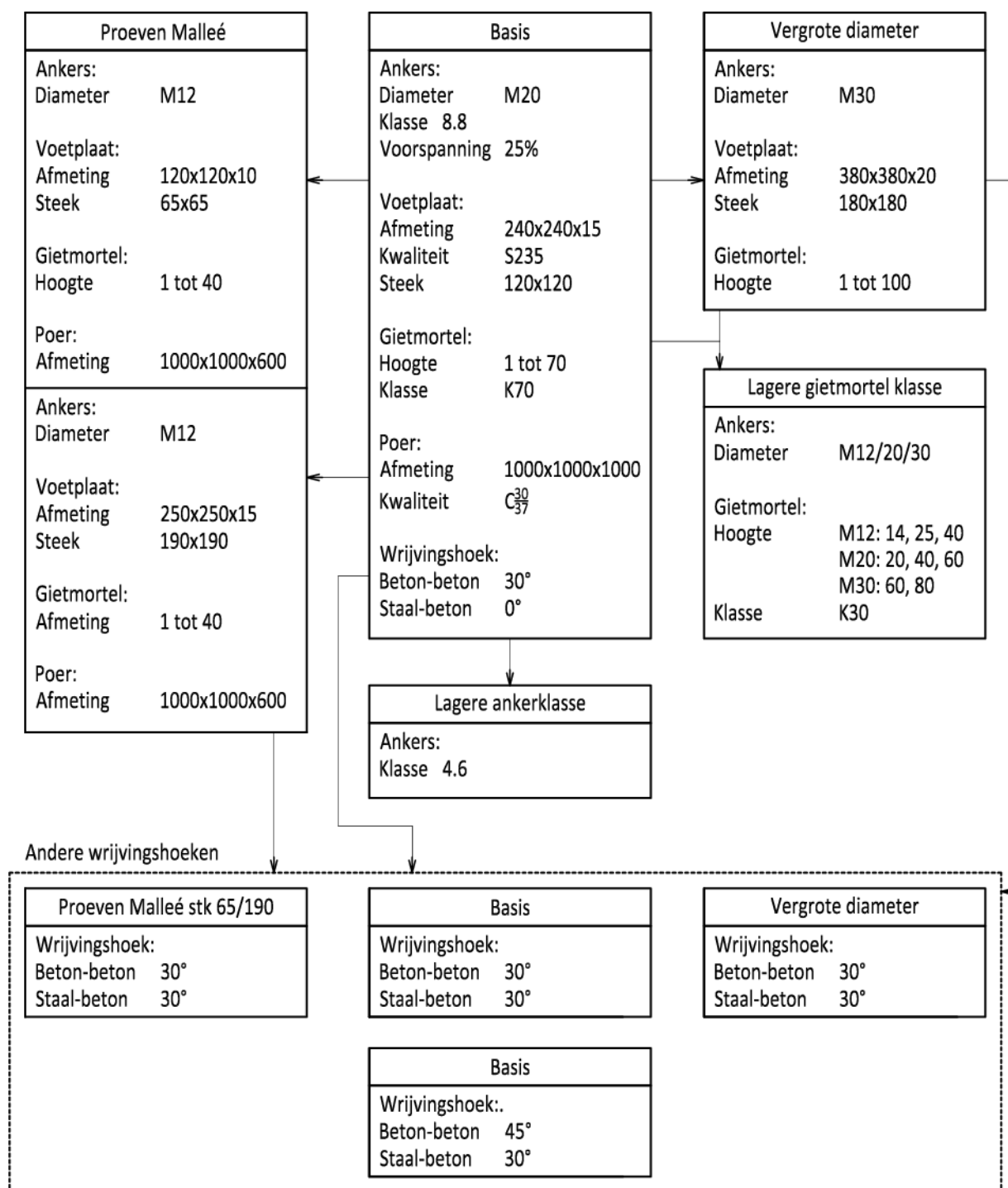
In de tweede fase wordt de mortelvoeg toegevoegd. Zo ontstaat er een sluitend geheel tussen de initiële vervormingen en de mortelvoeg. In de praktijk wordt de mortelvoeg ook pas na de montage van het stalen element aangebracht. Door dit in twee fases uit te voeren, wordt vermeden dat het model initieel al kleine lege ruimtes heeft tussen de stalen plaat en de mortelvoeg. Omdat dit overgangsvlak geen trek op kan nemen, zou door een geringe verplaatsing van de voorspanning een opening tussen de stalen plaat en de mortelvoeg ontstaan. Deze opening zou resulteren in een grote onnauwkeurigheid en toename van rekentijd. Dat wordt op deze manier vermeden. In de tweede fase wordt ook de horizontale kracht (afschuifkracht) op de zijkant van de voetplaat aangebracht. De horizontale kracht wordt op basis van 'arc length control' aangebracht. Dat is een indirecte verplaatsingsgestuurde rekenmethode. Als de horizontale belasting in standaard stapgroottes zou worden aangebracht en de laatste stap zou voorbij de top van de capaciteit liggen, kan het model de laatste stap niet goed berekenen (figuur 6-6 a). De resultaten worden hierdoor onnauwkeurig en het beeld wordt ook incompleet. Doordat in dit model verschillende effecten op gaan treden, zoals ook blijkt uit de onderzoeken in hoofdstuk 5, zal het model verschillende fases moeten kunnen beschrijven. De wrijving en de interactie van trek- en schuifspanning zullen afhankelijk van de vervorming steeds een ander evenwicht vinden. Met 'arc length control' is de EEM-analyse in staat om zelf de stapgrootte van de belasting te bepalen en ook om stappen terug te zetten (figuur 6-6 b). Op deze manier kan het niet-lineaire gedrag van de verbinding in kaart worden gebracht en het complete krachtverplaatsingsdiagram inclusief de pieken worden berekend.



figuur 6-6 Krachtverplaatsingsdiagrammen

links: Standaard stapgroottes; rechts: volledig arc length gestuurd met stappen terug

6.2. Uitgevoerde berekeningen



figuur 6-7 Overzicht van de uitgevoerde berekening in Diana, alle maten in mm

In figuur 6-7 zijn de parameters van de uitgevoerde analyses beschreven. Vanuit de basis zijn voor de vervolconfiguratie alleen de aangepaste paramaters weergegeven.

6.3. Resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten van het EEM-model weergegeven. Ook wordt de betrouwbaarheid van het EEM-model aan de hand van de uitkomsten toegelicht. De resultaten zullen worden weergegeven in de gezochte β ten opzichte van de stelruimte. In paragraaf 5.2 is uitgewerkt dat voor β de partiële veiligheidsfactor γ_{m2} niet van toepassing is. De gevonden waarde van de afschuifkracht wordt gedeeld door de rekenwaarde van de afschuifcapaciteit van bouten en ankers volgens vergelijking (2). Dat resulteert direct in de β die bij de rekenwaarde van de afschuifcapaciteit hoort. Ook zal de bijhorende vervorming ten opzichte van de stelruimte worden weergegeven.

Per reeks waar de diameter, klasse anker, type mortel, steek en alle overige afmetingen gelijk zijn, zullen voor vier parameters de resultaten worden weergegeven.

- I) *Maximale plastische rek in anker*. Op het moment dat een integratiepunt in het anker de maximale rek van de ankerklasse bereikt, kan men spreken van technisch falen. Een toename van de belasting zal resulteren in breuk van het anker.
- II) *Maximale bezwijklast*. Nadat een integratiepunt in het anker de maximale rek bereikt, gaat het anker insnoeren. Doordat er sprake zal zijn van buiging in de ankers zal de maximale rek aan de buitenzijde van het anker optreden en kan een deel van het anker nog extra capaciteit opnemen totdat de hele doorsnede van het anker de maximale rek heeft bereikt. Het anker zal meer vervormen en de wrijving zal een groter aandeel van de optredende afschuifkracht opnemen. De totale afschuifcapaciteit van de verbinding neemt toe. De maximale bezwijklast geeft inzicht of het EEM-model hetzelfde gedrag vertoont als de proeven. Deze resultaten zijn niet relevant voor een verantwoorde rekenwaarde omdat hier grote vervormingen optreden, de verbinding voor een groot deel rust op wrijving en breuk van het anker geen verantwoorde grens is. Omdat het onbekend is wat de werkelijke wrijvingshoeken in de proeven zijn geweest, zijn in de analyses van het EEM-model voor deze bezwijklast de verhoogde wrijvingshoeken aangehouden. Dat geeft een duidelijk beeld van welke invloed wrijving kan hebben op de totale afschuifcapaciteit.
- III) *δ_x van 3 mm bovenzijde voetplaat*. Dit is de kleinste waarde van de vervorming uit de aanbeveling van L. Bouwman et al. [1] (zie paragraaf 5.5). Om de verhouding van deze resultaten, ten opzichte van de andere resultaten, goed weer te geven is gekozen voor laagste waarde.
- IV) *δ_x van $0,1 \cdot d$ bovenzijde poer*. Dit is een advieswaarde voor de grootte van de vervorming van het anker ter plaatse van de bovenkant van de poer, zie paragraaf 5.5 en NEN-3880 [8]. Bij hogere stelruimtes zijn er resultaten waarbij bij de maximale bezwijkwaarde geen δ van $0,1 \cdot d$ optreedt. In deze situaties is de maximale bezwijkwaarde aangehouden.

In bijlage 0 zijn van alle analyses de resultaten numeriek en visueel terug te vinden. In de visuele uitvoeren zijn ook de resultaten van de proeven verwerkt. Van enkele analyses zijn ook de visuele uitvoeren van het EEM-model toegevoegd.

Voor de eerste analysereeks van M20 8.8 worden twee keer resultaten met extra wrijving weergegeven:

- *Maximale load met wrijving kopplaat* – voor de koppeling beton-beton en staal-beton is een wrijvingshoek van 30° aangehouden.
- *Maximale load met verhoogde wrijving beton* – de wrijvingshoek tussen beton-beton is verhoogd naar 45° .

Deze twee resultaatreeksen geven goed de impact van de wrijving op de maximale afschuifcapaciteit weer. Ze benaderen qua gedrag de proefresultaten omdat in de proeven, op die van Mallée na, wrijving onder de voetplaat aanwezig zal zijn geweest. Voor de andere analyses is alleen de *maximale load met wrijving kopplaat* weergegeven. Deze resultaten geven het gedrag van de proeven al goed weer en het is, omdat het de breekwaarde representeert, niet relevant om voor alle proeven de *maximale load met verhoogde wrijving beton* weer te geven.

6.3.1. Resultaten enkele analyse

Voor de basisanalyse van 4xM20 8.8 met 40 mm stelruimte en verschillende wrijvingshoeken zijn in deze paragraaf de resultaten weergegeven en toegelicht (tabel 6-2 tot en met 6-5). Op deze manier zijn de data van alle analyses van paragraaf 6.2 in bijlage 0 weergegeven. In tabel 6-2 is de basisopbouw van het model zichtbaar.

4xM20 8.8 voetplaat 240x240x15 steek 120x120						
Afschuifkracht (kN)	Trekkkracht (kN)	Voorspanning/ anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	35,25	K70	40	30	0
100	0	35,25	K70	40	30	30
100	0	35,25	K70	40	45	30

tabel 6-2 Basisopbouw model

Van de vier gezochte parameters zijn de bijhorende loadsteps, loadfactoren, rekken en δ weergegeven (tabel 6-3):

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1*d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
50	1,965	11,8	9,23*	54	1,987	15,1	9,99	17	1,453	2,1	3,0*	54	1,987	15,1	2,0*
62	2,081	12,0	9,35	67	2,108	15,6	10,12*	21	1,509	2,2	3,0	63	2,090	12,6	2,0
62	2,230	12,1	9,35	67	2,251	15,8	10,07*	20	1,550	2,0	3,0	65	2,246	14,3	2,0

* Gepresenteerde waarden in figuur 6-8 en figuur 6-9

tabel 6-3 Waarde van gezochte parameters

Voor parameter I zijn de interne krachten (trek-, afschuifkracht en moment) weergegeven (tabel 6-4). Op basis van deze waarden kunnen de volgende zaken worden bepaald:

- De externe afschuifkracht die optreedt moet gelijk zijn aan $V_1+V_2+V_w$. Door de afschuifkracht van anker₁ en anker₂ (V_1 en V_2) in mindering te brengen op de totale opgetreden afschuifkracht (loadfactor* afschuifkracht) blijft de afschuifkracht die door de wrijving (V_w) wordt opgenomen over.
- De drukkracht (D) op de mortel is gelijk aan de trekkkracht van anker₁ en anker₂ (T_1 en T_2) minus de voorspankracht.
- De wrijvingsfactor is gelijk aan F_w/D , zie vergelijking (13).

Optredende afschuifkracht (kN)	Trekkkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker ₁	Anker ₂	Anker ₁	Anker ₂	Anker ₁	Anker ₂				
196,45	52,98	42,56	41,05	44,76	0,780	0,764	12,42	13	25,04	0,50
208,14	53,59	41,72	41,88	48,78	0,780	0,757	13,41	13	24,81	0,54
223,00	53,58	43,65	41,46	45,74	0,781	0,763	24,30	22	26,73	0,91

tabel 6-4 Interne krachten en wrijvingsfactor van parameter I

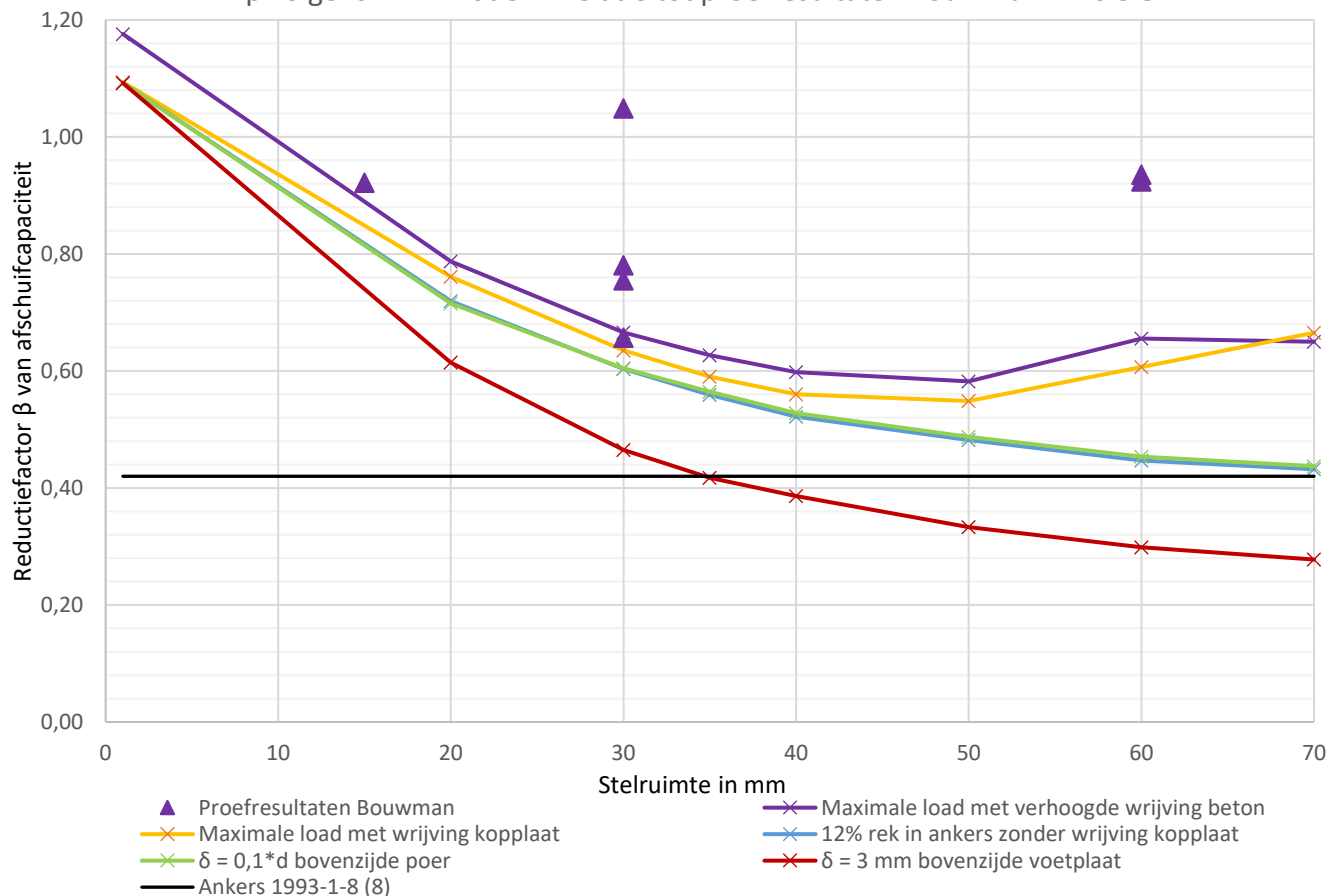
Uit de optredende belasting volgt β (tabel 6-5) op basis van vergelijking (12).

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
94,1	0,52*	0,53	0,39*	0,53*
94,1	0,55	0,56*	0,40	0,56
94,1	0,59	0,60*	0,41	0,60

* Gepresenteerde waarden in figuur 6-8 en figuur 6-9

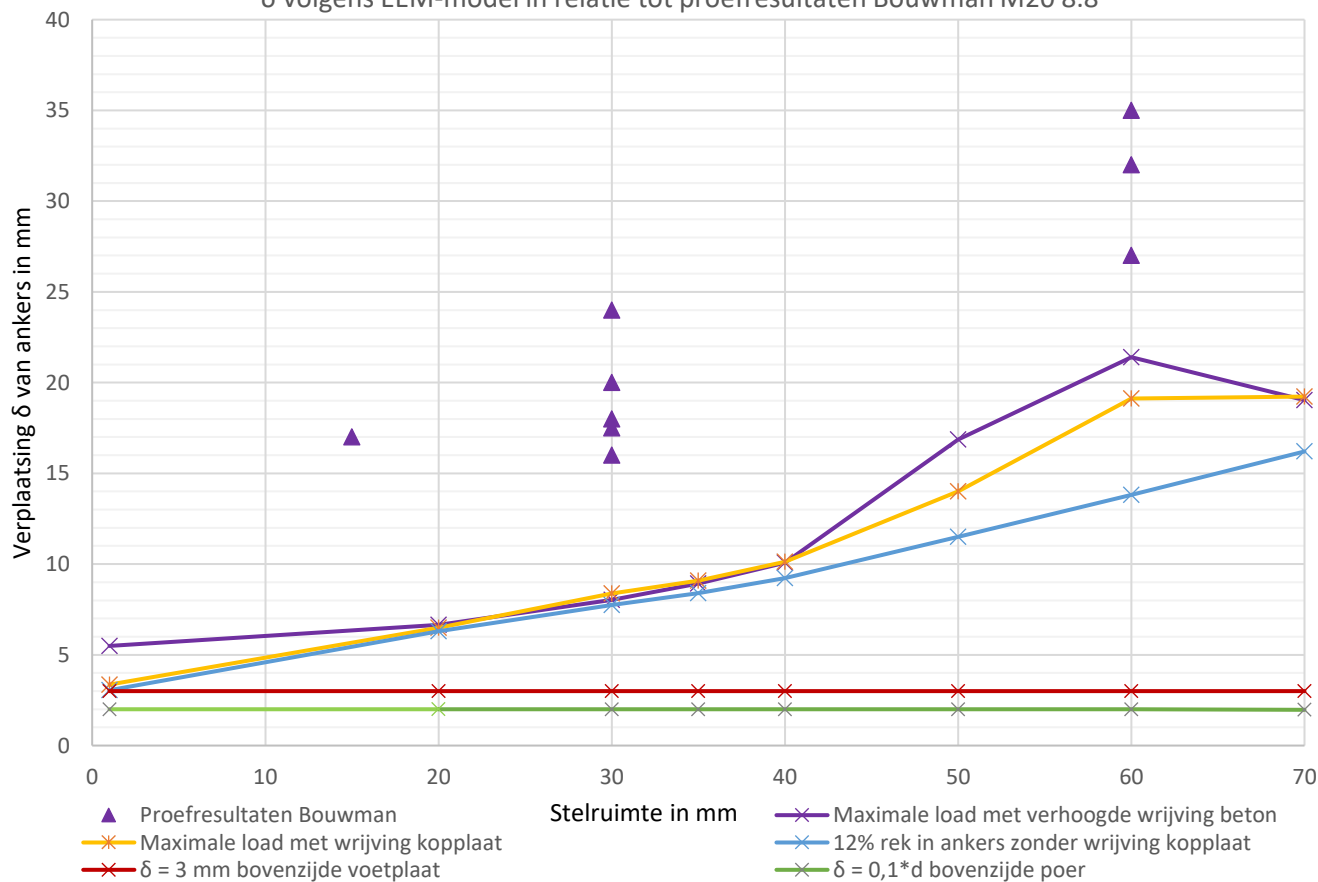
tabel 6-5 β van de gezochte parameters op basis van vergelijking (12)

β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 8.8



figuur 6-8 β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 8.8

δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 8.8



figuur 6-9 δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 8.8

6.3.2. Controle resultaten EEM-model

Afschuifcapaciteit ankers

In de analyse van het EEM-model met 1 mm stelruimte is de maximale afschuifcapaciteit van anker₁ 102,1 kN (tabel 6-6). In het model zijn de karakteristieke materiaaleigenschappen verwerkt. Dat betekent dat de optredende afschuifkracht vergelijking (1) karakteristieke afschuifcapaciteit zou moeten benaderen.

$$F_{v,k} = A_v * \frac{f_u}{\sqrt{3}} = \frac{\pi}{4} * 17,7^2 * \frac{800}{\sqrt{3}} * 10^{-3} = 113,64 \text{ kN}$$

Met daarin: $A_v = \pi/4 * d_s^2$; $d_s \text{ M20} = 17,7 \text{ mm}$; $f_{ub} \text{ 8.8} = 800 \text{ N/mm}^2$

Dat in het EEM-model een (ca. 10%) lagere afschuifcapaciteit naar voren komt, kan twee oorzaken of een combinatie van beide oorzaken hebben:

- In de ankers is bij 1 mm stelruimte al een trek-/drukkrachtkoppel aanwezig van 20,19 kN. Daardoor treedt er in anker₁ een trekkracht van 48,94 kN op. Bij de maximale afschuifcapaciteit dient er rekening gehouden te worden met de interactie van een afschuif- en trekkracht (zie paragraaf 5.1.1).
- Uit de analyse kan worden opgemaakt dat de verhouding voor de treksterkte (α_v) lager is dan $1/\sqrt{3}$ en dus ook lager dan de breed geaccepteerde 0,6. Toch is de gevonden afschuifcapaciteit in de analyse hoger dan de rekenwaarde van een anker zonder stelruimte. Het zou goed kunnen dat α_v in vergelijking (2) naar boven is afgerond om de partiële factor (deels) te corrigeren, net zoals dat voor β is gebeurd (paragraaf 5.2).

Ondanks het lagere resultaat ten opzichte van de karakteristieke afschuifcapaciteit is deze hoger dan de rekenwaarde van de afschuifcapaciteit, dit resulteert in een $\beta = 1,09$. Het EEM-model geeft daarin een betrouwbaar beeld van de resultaten.

4xM20 8.8 voetplaat 250x250x15 steek 120x120													
Afschuifkracht (kN)		Trekkracht (kN)		Voorspanning/ anker (kN)		Mortelklasse		Stelruimte (mm)		Wrijving beton-beton (°)		Wrijving staal-beton (°)	
100		0		35,25		K70		1		30		0	

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3 \text{ mm}$ bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 * d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
16	4,110	0,069	3,05	16	4,110	0,069	3,05	16	4,110	0,069	3,0	16	4,110	0,069	2,0

Resultaten per anker - Maximale plastische rek									
Optredende afschuifkracht (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkracht op mortel (kN)
	Anker ₁	Anker ₂	Anker ₁	Anker ₂	Anker ₁	Anker ₂			
410,98	48,94	41,75	102,10	100,70	0,000	0,000	2,73	1	20,19

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte					
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)	
94,1	1,09	1,09	1,09	1,09	

tabel 6-6 Numerieke resultaten 4xM20 8.8 K70 met 1 mm stelruimte

Momentcapaciteit ankers

Het maximale moment dat in een anker kan optreden voor M20 8.8 met een gietmortel klasse K70 treedt op vanaf een stelruimte vanaf 40 mm. Voor het moment geldt dat dit de momentcapaciteit volgens vergelijking (7) zou moeten benaderen zonder de correctiefactor van 0,9 en op basis van een maximale trekkracht omdat bij situatie I) het volledige anker plastisch vervormt en de ruimtelijke spanning volgens het Von Mises-criterium aangehouden kan worden. Dat is in de navolgende uitdrukking als correctie weergegeven,

$$M_{Rk,s} = 0,9 * W_{pl} * f_{yd} f_{ub} = \frac{17,7^3}{6} * 800 * 10^{-6} = 0,74 \sim 0,78$$

Met daarin: $W_{pl} = d_s^3/6$; $d_s \text{ M20} = 17,7 \text{ mm}$; $f_{ub} \text{ 8.8} = 800 \text{ N/mm}^2$

Deze capaciteit van het moment benadert de uitkomst van het model en ook hier ontstaat een betrouwbaar beeld van het EEM-model.

Verloop interne krachten en wrijving

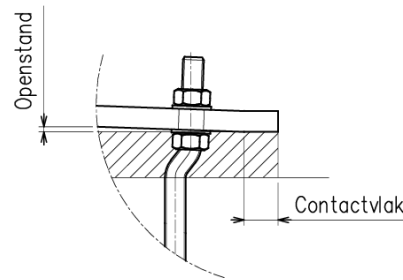
In tabel 6-7 zijn de interne krachten van een hele reeks van M20 8.8-ankers met K70-mortel zonder wrijving onder de kopplaat weergegeven. De volgende punten komen hieruit naar voren die de betrouwbaarheid van het model bevestigen:

- De optredende afschuifkracht creëert door de stelruimte een moment op de verbinding. Het moment wordt deels door beide ankers opgenomen. Het deel dat niet wordt opgenomen creëert een drukkracht op de mortelvoeg. Deze drukkracht neemt toe als de stelruimte toeneemt. In deze momentenstelling ontbreekt echter het aandeel van de ankers. De momentenstelling inclusief weerstand van de ankers kan als volgt worden geschreven:

$$\Sigma M = 0 \rightarrow (D + F_t) * \delta_h + M_1 + M_2 - (F_h - F_w) * V_r$$

De momentenstelling inclusief de weerstand van de ankers sluit aan bij de beschrijving van L. Bouwman et al. [1, p. 3.1.1] dat er een complexe interactie van belastingen op een anker plaatsvindt en het sluit aan bij de bevinding van R. Mallée [3] dat er buiging in de voorste ankers aanwezig zal zijn.

- De maximale wrijvingshoek tussen beton-beton is in deze analyse 30° ($\mu = 0,58$). Bij 35 mm stelruimte is $\mu = 0,53$. In het model treedt geen hogere wrijving op dan de opgegeven wrijving.
- Het aandeel dat door de wrijving (V_w) wordt opgenomen wordt naarmate de stelruimte toeneemt groter. Toch daalt de wrijvingsfactor na 40 mm stelruimte. De totale wrijving die de mortelvoeg kan opnemen, is afhankelijk van de maximale afschuifkracht van het beton. De wrijvingsweerstand wordt begrensd door de maximaal toelaatbare afschuifspanning van het beton en de oppervlakte die door de vervorming wordt geactiveerd (figuur 6-10).



figuur 6-10 Contactvlak drukkracht

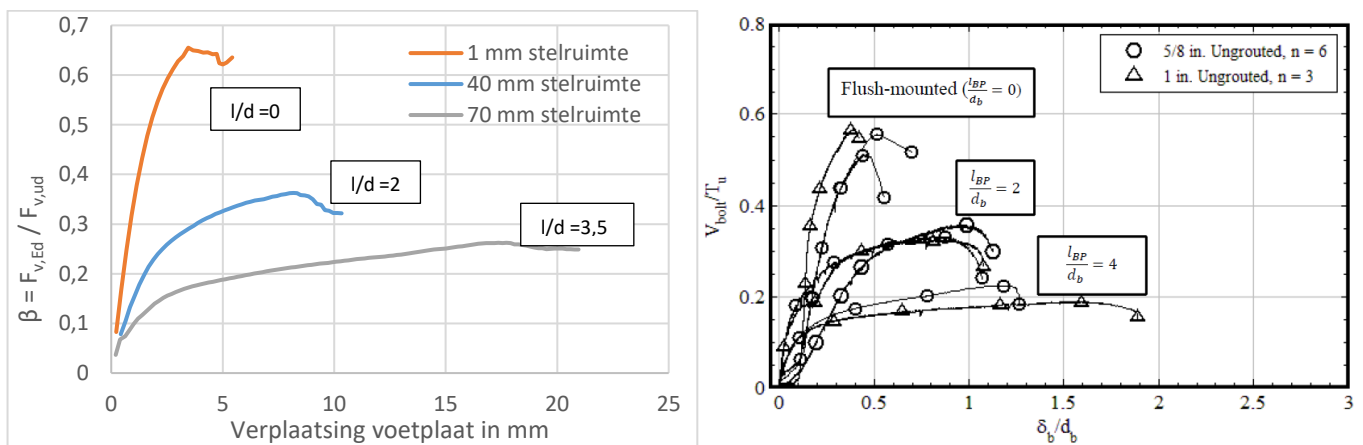
- Als de stelruimte toeneemt, neemt de trekkracht in de ankers en het maximaal opneembare moment van de ankers toe. De maximaal opneembare afschuifcapaciteit neemt af door de interactie met de andere krachten.

Resultaten per anker - maximale plastische rek												
Stelruimte (mm)	Optredende afschuifkracht (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Druk op mortel (kN)	Wrijvingsfactor	
1	410,98	48,94	41,75	102,10	100,70	0,001	0,006	2,73	1	20,19	0,14	
20	270,66	50,59	46,81	61,37	60,28	0,668	0,660	13,68	10	26,90	0,51	
30	227,17	50,89	43,33	49,81	51,40	0,744	0,729	12,38	11	23,72	0,52	
35	210,42	51,83	41,81	44,66	48,37	0,757	0,740	12,18	12	23,14	0,53	
40	196,45	52,98	42,56	41,05	44,76	0,780	0,764	12,42	13	25,04	0,50	
50	181,29	56,10	44,49	36,57	40,74	0,793	0,787	13,34	15	30,09	0,44	
60	168,16	60,22	50,75	32,59	37,39	0,803	0,801	14,10	17	40,47	0,35	
70	162,55	68,79	63,79	30,20	35,54	0,810	0,807	15,54	19	62,08	0,25	

tabel 6-7 Interne krachten van M20 8.8 K70 zonder wrijving onder kopplaat

Krachtverplaatsingsdiagram

Vanuit de analyse van het EEM-model kan aan de hand van de genomen load-steps een krachtverplaatsingsdiagram worden gemaakt (figuur 6-11). Rechts daarvan is een krachtverplaatsingsdiagram uit de proeven van K. McBride [2] weergegeven. In beide diagrammen staan de verhouding van de stelruimte ten opzichte van de diameter weergegeven. Het verloop van het diagram uit het EEM-model komt overeen met die van de proeven en ook daarin laat het model een betrouwbaar beeld zien.



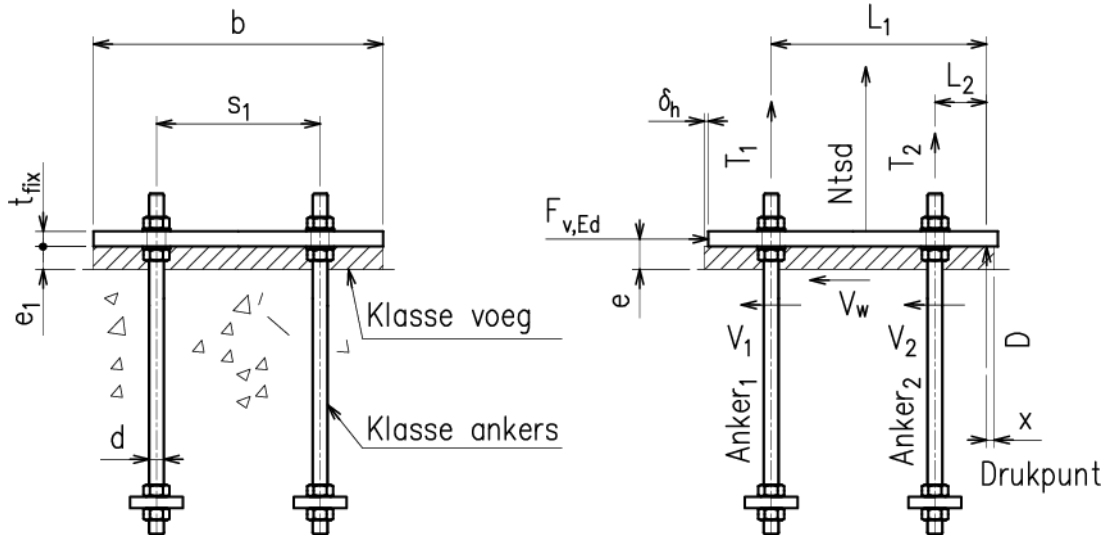
figuur 6-11 Krachtverplaatsingsdiagram van drie stelruimtes van M20 8.8 met K70 uit EEM-model en uit de proeven van McBride.

7. Conclusies en bevindingen EEM-model

Aan de hand van de resultaten uit het EEM-model, zoals opgenomen in bijlage 0, zullen in dit hoofdstuk conclusies worden getrokken. Hiervoor zullen in paragraaf 7.1 de resultaten worden vergeleken met de bevindingen en de proefresultaten van de onderzoeken uit hoofdstuk 5. In paragraaf 7.2 worden de gevonden β van reeksen I en III vergeleken met de vergelijkingen uit hoofdstuk 3. In paragraaf 7.3 zal de vervorming zoals deze uit het EEM-model blijkt, worden beschouwd in relatie tot de bevindingen uit paragraaf 5.5. Tenslotte worden in paragraaf 7.4 de overige conclusies en bevindingen beschreven.

7.1. Aandachts- en validatiepunten EEM-model

Door alle proefresultaten van hoofdstuk 5 met elkaar te vergelijken ontstaat er een 'kader' waarin de resultaten van het EEM-model zich zouden moeten bevinden om representatief te zijn. Uit het EEM-model (EEM) blijkt het volgende:



figuur 7-1 Parameters die invloed hebben op de krachswerking van een staal-betonverbinding

1a) In de diverse onderzoeken is aangegeven dat er geen buiging op de ankers zal optreden. De inklemmende werking van de mortel voorkomt dit.

EEM) Dat blijkt niet uit de resultaten van het EEM-model. Uit alle analyses met stelruimte blijkt dat er een trekkracht, een afschuifkracht en een moment in de ankers optreden.

1b) Naarmate de mortelvoeg hoger wordt (e_1) zal het moment dat door de afschuifkracht ($F_{v,Ed}$) ontstaat groter worden. Een groter moment creëert een hogere drukkracht op de mortel en daardoor zal, conform vergelijking (13), in de verbinding ook meer wrijvingsweerstand (F_w) aanwezig zijn.

EEM) In de resultaten komt duidelijk naar voren dat de drukkracht op het beton steeds hoger wordt. Daardoor neemt ook het aandeel dat door de wrijving wordt opgenomen toe. Door de wrijvingsweerstand neemt in reeks I voorbij een stelruimte van $2 \cdot d_s$ de afschuifcapaciteit nog maar gering af. Bij de hoge wrijvingsweerstand (reeks II) neemt de afschuifcapaciteit vanaf $3 \cdot d_s$ zelfs toe, wat overeenkomt met diverse proefresultaten. De maximaal toelaatbare afschuifspanning van het materiaal waar de wrijving optreedt, moet wel afdoende zijn om de optredende drukkracht ook te laten resulteren in een toename van de afschuifcapaciteit.

1c) Kan de aanname van Mallée worden gevalideerd dat de voorste ankers een buigend gedrag vertonen en de achterste ankers slechts een schuivend gedrag?

EEM) Voor de beide ankerrijen is het verschil van het interne moment gering. Er is een groter verschil in de maximale afschuifkracht die een anker opneemt. Daarin blijkt dat anker₂ meer afschuifkracht opneemt dan anker₁. Dat komt omdat het aandeel van de trekkracht in anker₁ groter is. Het gedrag dat door Mallée wordt beschreven waarin anker₁ geen buiging en anker₂ amper afschuiving opneemt, blijkt niet uit dit EEM-model.

2) De wrijving resulteert in een verhoogde afschuifcapaciteit en daarmee in een toename van de gehele weerstand van de verbinding (F_w).

EEM) De totale afschuifcapaciteit wordt – naarmate de stelruimte toeneemt – voor een aanzienlijk deel, namelijk 20%, bepaald door de wrijving (zie bijlage paragraaf 5.3.2 tabel 5-1). In de analyses met de verhoogde wrijving (reeks II) neemt dit aandeel toe tot 30% (zie bijlage paragraaf 5.3.2 tabel 5-2). Bij de M12 8.8-analyse met kleine steek is het aandeel voor reeks I zelfs 30% en van reeks II 40% (zie bijlage paragraaf 5.3.4 tabel 5-6 en tabel 5-7).

3) Bij een grote steek van de ankers (s_1) en/of een grotere voetplaat (b) in de richting van de afschuifkracht, treedt er een lagere trekkracht (T_1) op in de achterste ankers en daardoor ook een lagere drukkracht (D) op de mortel. Door de lagere drukkracht zal er minder wrijving (F_w) worden gecreëerd en zal de afschuifcapaciteit afnemen.

EEM) Door het vergroten van de steek van de ankers in de voetplaat wordt de drukkracht die uit het excentriciteitsmoment ontstaat evenredig kleiner. Het aandeel afschuiving dat door de wrijving wordt opgenomen neemt hierdoor af. De totale afschuifcapaciteit neemt – ondanks het kleinere aandeel van de wrijving bij een grotere steek – niet af maar toe. Dat is anders dan zou worden verwacht aan de hand van de proefresultaten van Mallée [3]. Zie paragraaf 7.4.2 voor de uitgebreide uitwerking van deze proefresultaten ten opzichte van het EEM-model.

4) Bij ongeveer $2*d_s$ zal de laagste afschuifcapaciteit van de complete verbinding zich voordoen. Dat is een belangrijk punt om op een eenvoudige maar verantwoorde manier β te bepalen. Tegenwoordig is de stelhoogte waar staal-betonverbindingen vaak op ontworpen worden $2*d$ (zo'n 15% groter dan $2*d_s$). De stelruimte wordt zo niet onnodig groot, maar groot genoeg om met een moer te kunnen stellen.

EEM) Uit de analyse van het EEM-model reeks II blijkt dat de laagste afschuifcapaciteit niet persé bij één specifiek punt ligt, maar meer op een plateau tussen $2*d$ en $3*d$. Deze resultaten sluiten nog steeds aan bij de proefresultaten. In de proefresultaten komt echter geen plateau naar voren omdat niet zoveel verschillende hoogtes aan stelruimtes zijn beproefd. Voor reeks I is dit punt van de laagste afschuifcapaciteit niet aanwezig omdat in deze analyse de rekenkundige wrijvingscoëfficiënt tussen de mortelvoeg en de poer is meegenomen. Dit wrijvingscoëfficiënt heeft in de vigerende normen een verantwoorde lage waarde, maar met zeer grote waarschijnlijkheid is het wrijvingsaandeel in de proeven nooit in zo laag geweest.

5) Uit de proefresultaten blijkt dat de afschuifcapaciteit van klasse 4.6-ankers in verhouding veel minder gereduceerd zouden kunnen worden dan klasse 8.8-ankers.

EEM) Uit de analyse van het EEM-model blijkt dat de reductie van de afschuifcapaciteit van klasse 4.6-ankers kleiner is dan die voor klasse 8.8-ankers. Dat komt overeen met de proefresultaten van Bouwman [1]. Dit lijkt veroorzaakt door twee effecten:

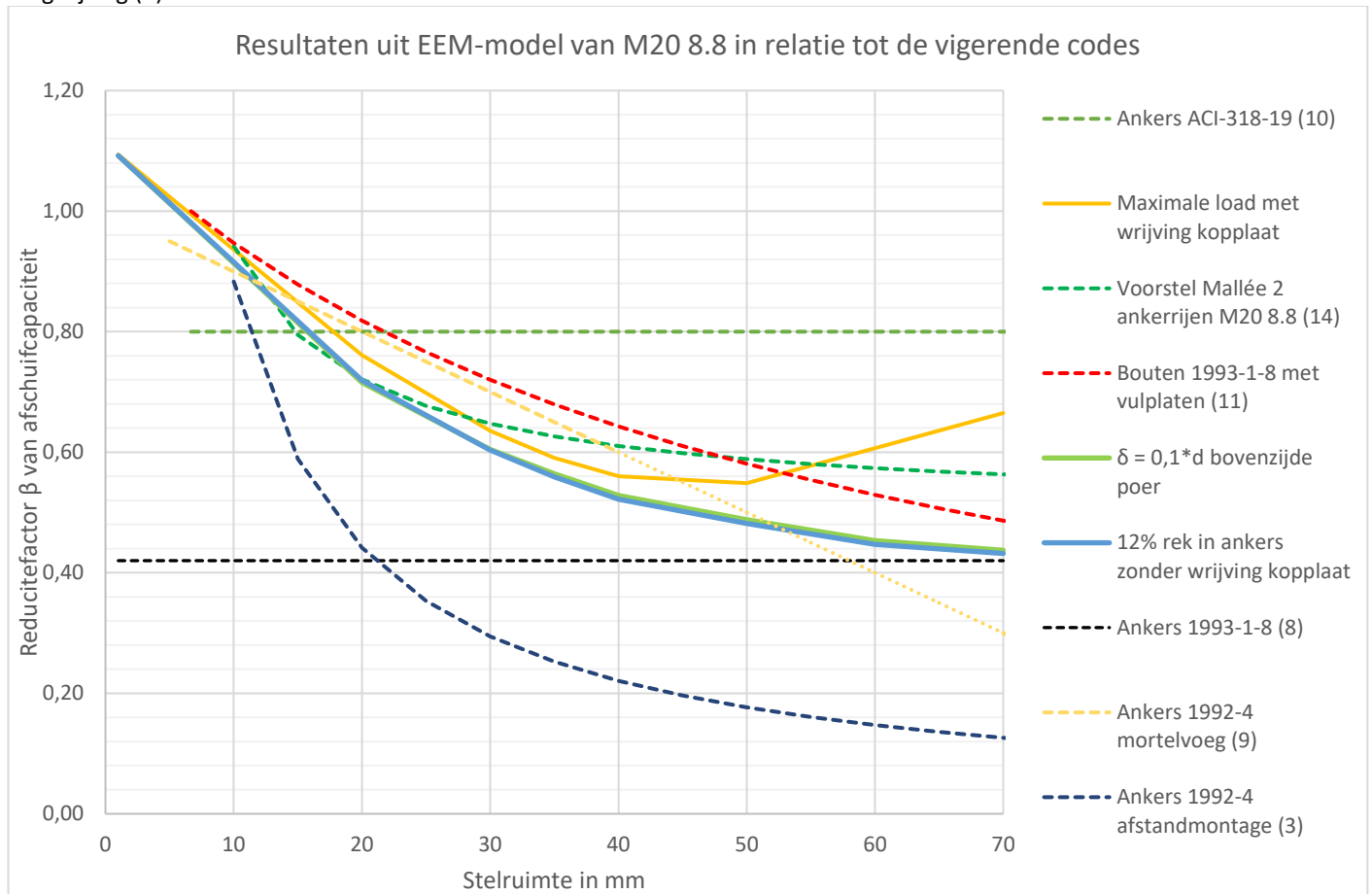
- Bij een doorsnede belast op buiging zullen de vezels op de uiterste afstand vanaf de neutrale lijn als eerste de maximale rek bereiken. Door de hoge toelaatbare rek (25%) in klasse 4.6-ankers houdt de uiterste vezel langer dan bij klasse 8.8 de maximaal toelaatbare spanning, tot bezwijken, aan. Klasse 4.6 zal daardoor beter in staat zijn een groter deel van de doorsnede op de maximale spanning te benutten.
- Het aandeel wrijving is voor klasse 4.6- en 8.8-ankers in absolute zin redelijk gelijk aan elkaar, maar relatief is dit voor klasse 4.6 een grotere bijdrage aan de totale afschuifcapaciteit.

7.2. β op basis van EEM-model

In het EEM-model zijn bewust diverse keuzes gemaakt die de werkelijk situatie onderschatten zodat de afschuifcapaciteit niet ten onrechte wordt overschat:

- In het model is geen stelmoer onder de voetplaat aanwezig. Daardoor klemt het anker minder goed in en hebben de ankers een lange buiglengte, zie paragraaf 5.3.2.
- In reeks I is geen wrijvingsweerstand tussen mortelvoeg en de voetplaat aanwezig.
- De capaciteit van het anker loopt, nadat de maximale rek optreedt, abrupt terug naar 0 N/mm² waar dit in werkelijkheid geleidelijk verloopt.
- De voorspanning is permanent aanwezig als externe trek.

Ondanks deze inschattingen nadert de gevonden β van reeks I en IV bij een stelruimte van 60 mm de β van vergelijking (8) (figuur 7-2 I) blauw en IV) groen, deze vallen voor M20 8.8. exact over elkaar heen, voor de context is reeks II) geel ook toegevoegd). Reeks I heeft wellicht een te hoge afschuifcapaciteit om als veilig aan te houden omdat in deze reeks de maximale rek optreedt, maar reeks IV zit in diverse analyses met andere parameters op of onder deze maximale rek (zie bijlage 0) en nadert de β uit vergelijking (8) het best.



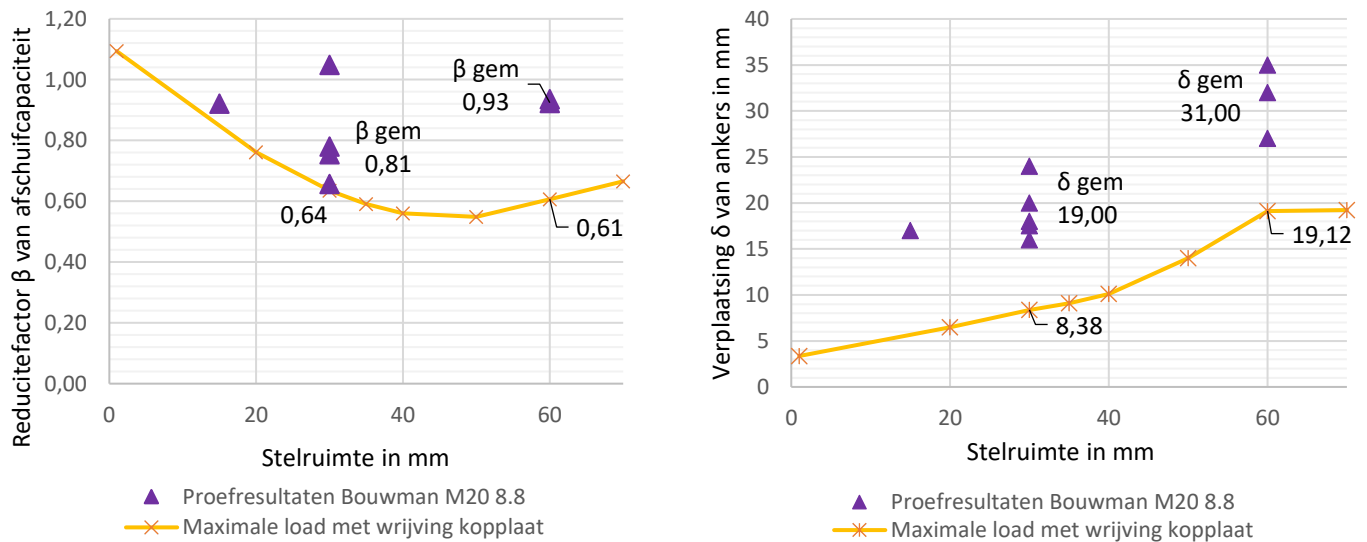
figuur 7-2 Resultaten uit EEM-model van M20 8.8 in relatie tot de vergelijkingen uit hoofdstuk 3

Uit deze analyses blijkt (figuur 7-2) dat de afschuifcapaciteit van:

- vergelijking (10) veel te gunstig is en ten opzichte van het EEM-model de afschuifcapaciteit overschat;
- vergelijking (14) het begintraject goed beschrijft, maar vervolgens de afschuifcapaciteit overschat;
- vergelijking (11) dezelfde trend benadert als het EEM-model, maar de afschuifcapaciteit licht overschat;
- vergelijking (8) tot de stelruimte van 60 mm de afschuifcapaciteit onderschat en vervolgens de gevonden afschuifcapaciteit nadert;
- vergelijking (9) het aflopend gedrag lineair beschrijft en daardoor tussen 0,5*d tot 2*d de afschuifcapaciteit iets overschat en vanaf 3*d onderschat; en
- vergelijking (3) zeer conservatief is en bij alle stelruimtes de afschuifcapaciteit met een factor 2 tot 3 onderschat.

7.3. Vervorming

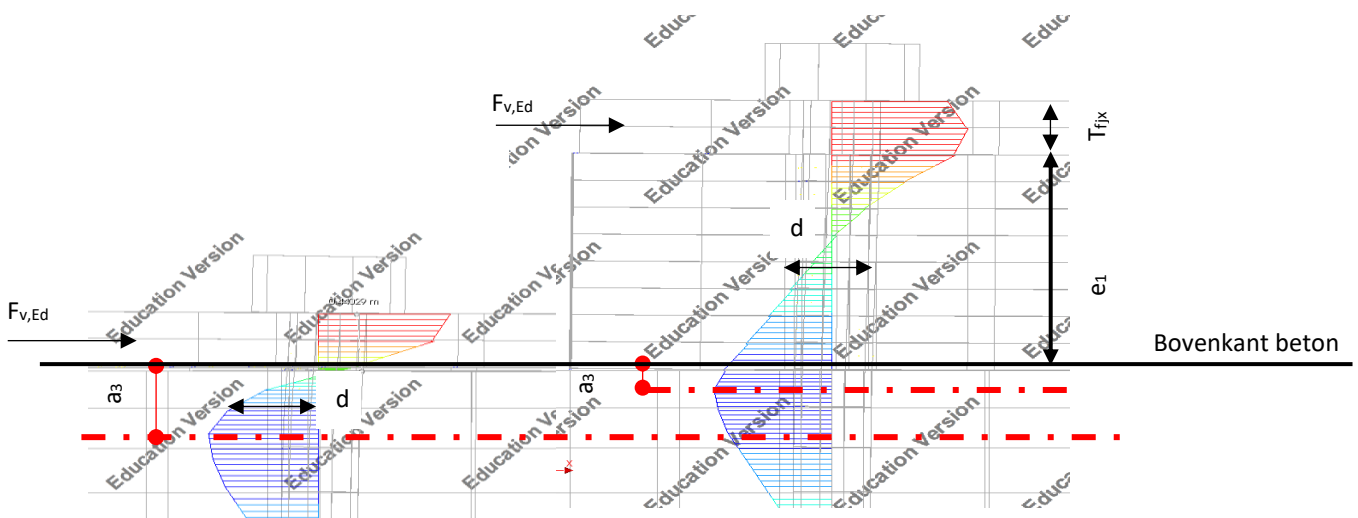
Hoewel dit afstudeeronderzoek niet zozeer over vervorming gaat (zie paragraaf 5.6.5) zullen enkele zaken aangaande vervorming uit het EEM-model worden toegelicht. Uit de resultaten ten opzichte van de proefresultaten is te concluderen dat het EEM-model zich te stijf gedraagt. De afschuifcapaciteit uit de proeven bevindt zich namelijk in verhouding dichter bij de berekende afschuifcapaciteit dan de vervorming uit de proeven bij de berekende vervorming. Voor de afschuifcapaciteit ligt de afwijking tussen een factor 1,2 en 1,5 en voor de vervorming ligt deze in tussen een factor 1,6 en 2,0 van de gevonden resultaten (figuur 7-3). Dat betekent dat conclusies trekken met betrekking tot de vervorming alleen kan onder het voorbehoud dat het gedrag van het EEM-model te stijf is.



figuur 7-3 Afwijking proefresultaten ten opzichte van EEM-model

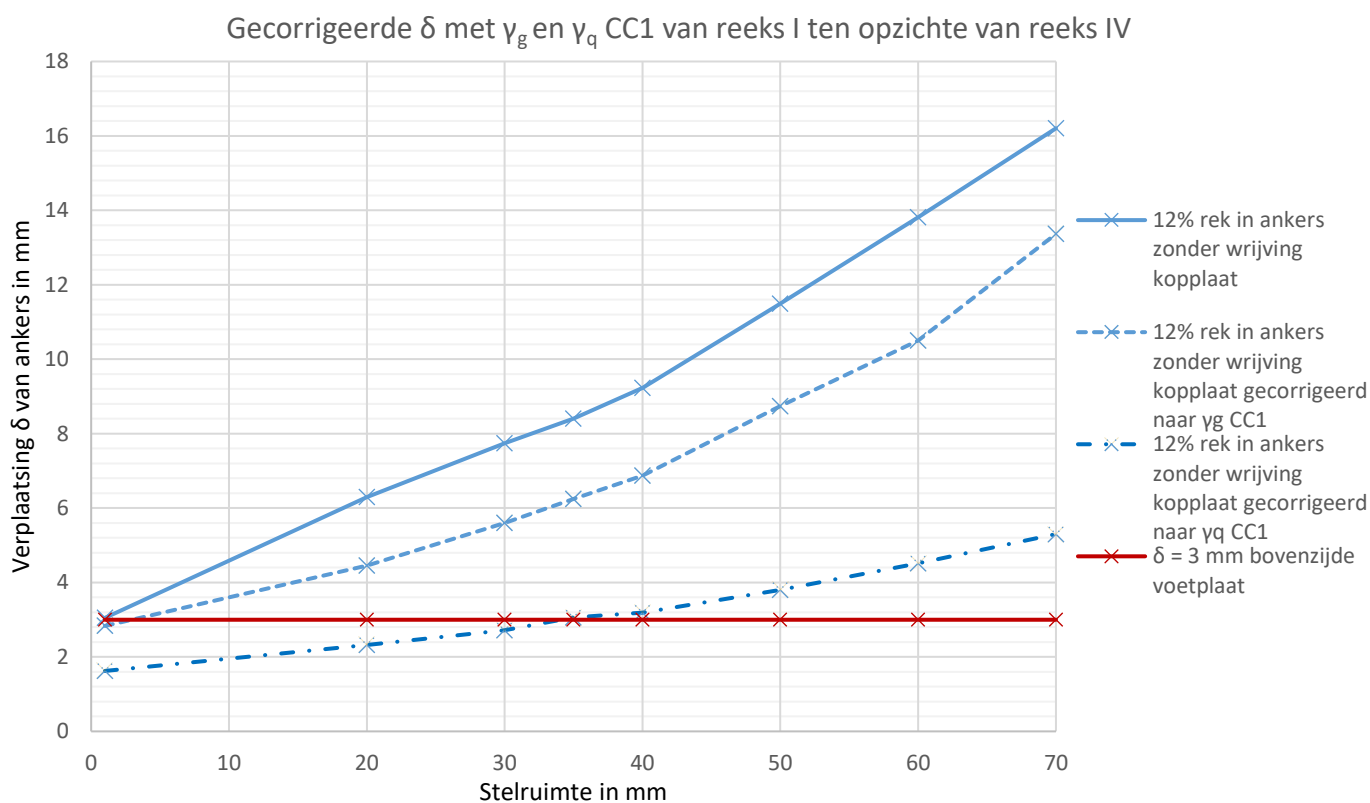
Dat het EEM-model afwijkt qua afschuifcapaciteit komt onder andere door de conservatieve aannames die zijn gemaakt. Maar dat het EEM-model zich in verhouding stijver gedraagt komt voor een groot deel voort uit het feit dat er in het EEM-model geen gatspeling is meegenomen. Door de gatspeling ontbreekt de fysieke verplaatsing door de speling zelf en de gatspeling zal in bepaalde mate ook de schacht kunnen laten verdraaien waardoor er meer vervorming op zal treden (paragraaf 5.6.4). Ook zal het model zich stijver gedragen door de gemaakte keuze van het materiaalgedrag bij de maximale rek.

Uit de resultaten blijkt dat bij 1 mm stelruimte al aanzienlijke vervormingen optreden. Voor zowel reeks III als reeks IV is bij 1 mm stelruimte de maximaal toelaatbare afschuifcapaciteit al bereikt. De vervorming kan in de hoogte van de stelruimte plaatsvinden omdat daar fysiek geen ruimte is om te verbuigen. De grote afschuifkracht in het anker bij een kleine stelruimte, moet een groter betonoppervlakte activeren om de afschuifkracht aan het beton door te geven dan bij grotere stelruimtes waar de afschuifcapaciteit in verhouding aanzienlijk afneemt. Door de grotere benodigde oppervlakte vindt de 'fictieve' inklemming dieper dan een $0,5 \cdot d$ plaats (figuur 7-4). Door de hoekverdraaiing, die de afschuifkracht veroorzaakt, en een dieper punt waarover het anker roteert, ontstaat een grote vervorming. Bij hogere betonsterkteklassen zal het benodigde stuikvlak kleiner zijn en zal het anker een stijver gedrag vertonen en minder vervormen.



figuur 7-4 Weergave buigend moment in een anker door een afschuifkracht $F_{v,Ed}$. Het punt waarop het interne moment af gaat nemen is de diepte van de 'fictieve' inklemming (a_3) en het punt waarop het anker gaat draaien links) 1 mm stelruimte (e_1); rechts) 70 mm stelruimte (e_1)

In de resultaten van het EEM-model zijn twee vervormingsafhankelijke reeksen beschreven: III en IV. Voor beide reeksen geldt dat de afschuifcapaciteit behoort bij de bruikbaarheidsgrenstoestand (hierna BGT) waarin normaliter de vervorming getoetst wordt. Dat is anders voor reeksen I en II waar de gevonden afschuifcapaciteit bij de uiterste grenstoestand (hierna UGT) hoort. Tussen de BGT en UGT zit een partiële factor ($\gamma_{g,q}$). De grootte daarvan is afhankelijk van het type belasting en de mate van veiligheid. Qua afschuifcapaciteit laten reeks I en II zich dus lastig vergelijken met III en IV. De afschuifcapaciteit van reeks IV lijkt in verhouding aan de lage kant. Als reeks I naar de BGT wordt gecorrigeerd voor bijvoorbeeld gevolgklasse 1 waarin $\gamma_g = 1,08$ en $\gamma_q = 1,35$, dan kan de vervorming, die optreedt bij de gecorrigeerde afschuifkracht, uit het model worden weergegeven (figuur 7-5 en tabel 7-1). Voor γ_q horende bij variabele belastingen – bijvoorbeeld een afschuifkracht uit een windverband op een kolomvoet – nadert de maximaal toelaatbare afschuifcapaciteit de maximaal voorgestelde vervorming. Voor γ_g horende bij permanente belastingen – bijvoorbeeld het eigen gewicht van een vloer op horizontaal geplaatste anker – blijft de optredende vervorming hoog. Bij hogere risicoklassen zijn γ_g en γ_q hoger en is de optredende vervorming vervolgens kleiner. Met betrekking tot vervorming lijkt het erop dat bij hogere veiligheidsklassen de optredende vervorming geen randvoorwaarde voor de toelaatbare afschuifkracht hoeft te zijn.



figuur 7-5 Gecorrigeerde reeks I naar BGT voor M20 8.8

Stelruimte (mm)	Loadfactor	Loadstep	δ (mm)	Loadfactor $\gamma_q = 1,35$	Loadstep	δ_q (mm)	Loadfactor $\gamma_g = 1,08$	Loadstep	δ_g (mm)
1	4,110	16	3,05	3,044	8	1,62	3,805	13	2,83
20	2,707	34	6,30	2,005	12	2,32	2,506	22	4,45
30	2,272	41	7,74	1,683	14	2,72	2,103	28	5,60
35	2,104	45	8,40	1,559	16	3,06	1,948	32	6,25
40	1,965	50	9,23	1,455	17	3,19	1,819	36	6,87
50	1,813	64	11,50	1,343	21	3,80	1,679	48	8,74
60	1,682	77	13,82	1,246	25	4,51	1,557	58	10,50
70	1,626	89	16,21	1,204	29	5,30	1,505	73	13,37

tabel 7-1 Gecorrigeerde reeks I naar BGT voor M20 8.8

7.4. Overige conclusies en bevindingen

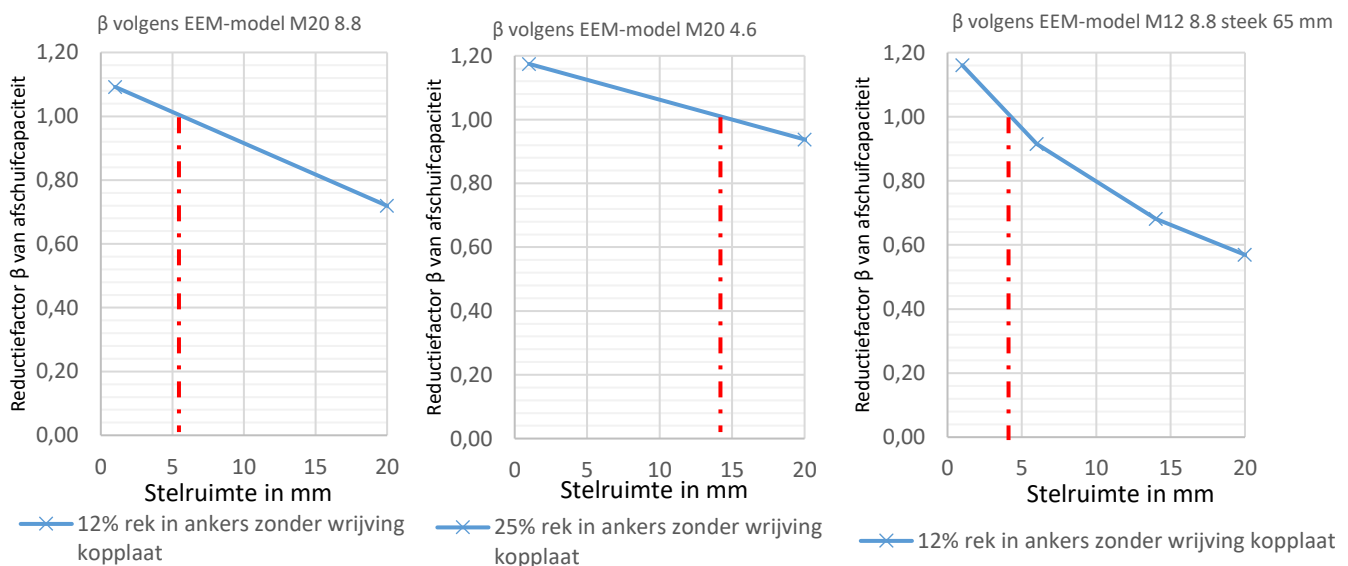
7.4.1. Overige conclusies

- Voor alle proeven geldt dat bij een stelruimte van 1 mm β groter is dan 1. De afschuifcapaciteit is hoger dan de rekenkundige afschuifcapaciteit volgens vergelijking (2) met een $\alpha_v = 0,6$. Vanuit de resultaten van het EEM-model is er geen reden om te twijfelen aan dit verhoudingsgetal. Daarom kan op basis van dit model geconcludeerd worden dat $\alpha_v = 0,5$ volgens de NEN-EN 1994-4 [5] een onderschatting van de werkelijke afschuifcapaciteit is.
- De mortelklasse heeft bij een kleine stelruimte ($>2 \cdot d$) een geringe invloed op de afschuifcapaciteit. Als de stelruimte groter wordt en er meer drukkracht op de mortel ontstaat, is de impact van de mortelklasse groter (tabel 7-2 en bijlage paragraaf 5.3.7, figuur 5-20, figuur 5-21, figuur 5-22). Daarom is het advies om klasse K30-mortel niet toe te passen bij een stelruimte groter dan $3 \cdot d$. Bij een verhoudingsgewijs grotere stelruimte neemt de afschuifcapaciteit van de ankers namelijk te veel af.

Diameter	Stelruimte (mm)	β K70	β K30	Afname
M12	15	0,74	0,73	1%
M12	25	0,6	0,58	3%
M12	40	0,47	0,42	12%
M20	20	0,72	0,7	3%
M20	40	0,52	0,5	4%
M20	60	0,45	0,42	7%
M30	60	0,57	0,55	4%
M30	80	0,48	0,45	7%

tabel 7-2 Afname afschuifcapaciteit bij een lagere mortelklasse

- Tot een stelruimte van $1/3 \cdot d$ hoeft de afschuifcapaciteit van de ankers niet te worden gereduceerd. Uit het EEM-model volgt namelijk dat tot deze stelruimte de reductie groter of gelijk aan 1 is. Voor 4.6-ankers geldt zelfs dat dit tot $3/4 \cdot d$ geldt (figuur 7-6). Voor de eenvoud binnen de rekenregels is het echter raadzaam om hiervoor één waarde aan te houden. Deze waarde van $1/3 \cdot d$ komt overeen met de randvoorwaarde van vergelijking (11) *de reductie van de afschuifcapaciteit van bouten met stalen vullingen*.



figuur 7-6 Hoogte van stelruimte waar β gelijk is aan 1

- Bij een grotere stelruimte dan $3*d$, zonder rekening te houden met wrijving onder de voetplaat, wordt meer dan 20% van de afschuifcapaciteit verzorgd door de wrijvingsweerstand (blauwe kolom tabel 7-3). Als de wrijving onder de voetplaat wordt meegenomen is het aandeel van de wrijving tenminste 30% van de afschuifcapaciteit (groene kolom). Er zijn geen gekwantificeerde eisen met betrekking tot het aandeel van de wrijving aan de afschuifcapaciteit. Om de volgende redenen is het echter verstandig dat wrijvingsaandeel beperkt blijft:
 - o Door een externe trekkracht op de ankers zal de drukkracht uit het excentriciteitsmoment op de mortel en daarom ook de wrijvingsweerstand afnemen. Het verlies van afschuifcapaciteit zal deels worden gecompenseerd doordat de externe trekkracht, door het 2^{de} orde effect ten gevolge van δ_h , een verlagend effect heeft op het interne moment van de ankers. Maar uit de resultaten van de het EEM-model kan niet gekwantificeerd worden hoe zich dat ten opzichte van elkaar verhoudt.
 - o De kwaliteit van de gietmortelvoeg is voor een groot deel afhankelijk van de uitvoering. Bijvoorbeeld: vervuiling van de voeg, niet goed of volledig aanbrengen van de gietmortel, een niet goed sluitende stortkist, niet goed aangemaakte gietmortel of de ruwheid van de oppervlakte van het beton.

Een aandeel van maximaal 20% wrijving lijkt een verantwoorde aanname. Bij dat aandeel dragen de ankers twee keer zoveel bij aan de totale afschuifcapaciteit (40% per anker) dan de wrijving. Als de wrijvingsweerstand lager uitvalt of helemaal niet aanwezig is, moeten de ankers 25% extra afschuifcapaciteit leveren (van 40% naar 50% per anker). Bij een aandeel van wrijving van 30% hebben de ankers een aandeel van 35% per anker. Als de wrijving wegvalt, dienen de ankers 40% extra afschuifcapaciteit te leveren (van 35% naar 50% per anker). Gezien de partiële veiligheidsfactor van het anker $\gamma_{m2} = 1,25$ en in de fundamentele optredende belasting een kleinste partiële veiligheidsfactor $\gamma_g = 1,08$, is een potentieel verlies van 40% niet verantwoord.

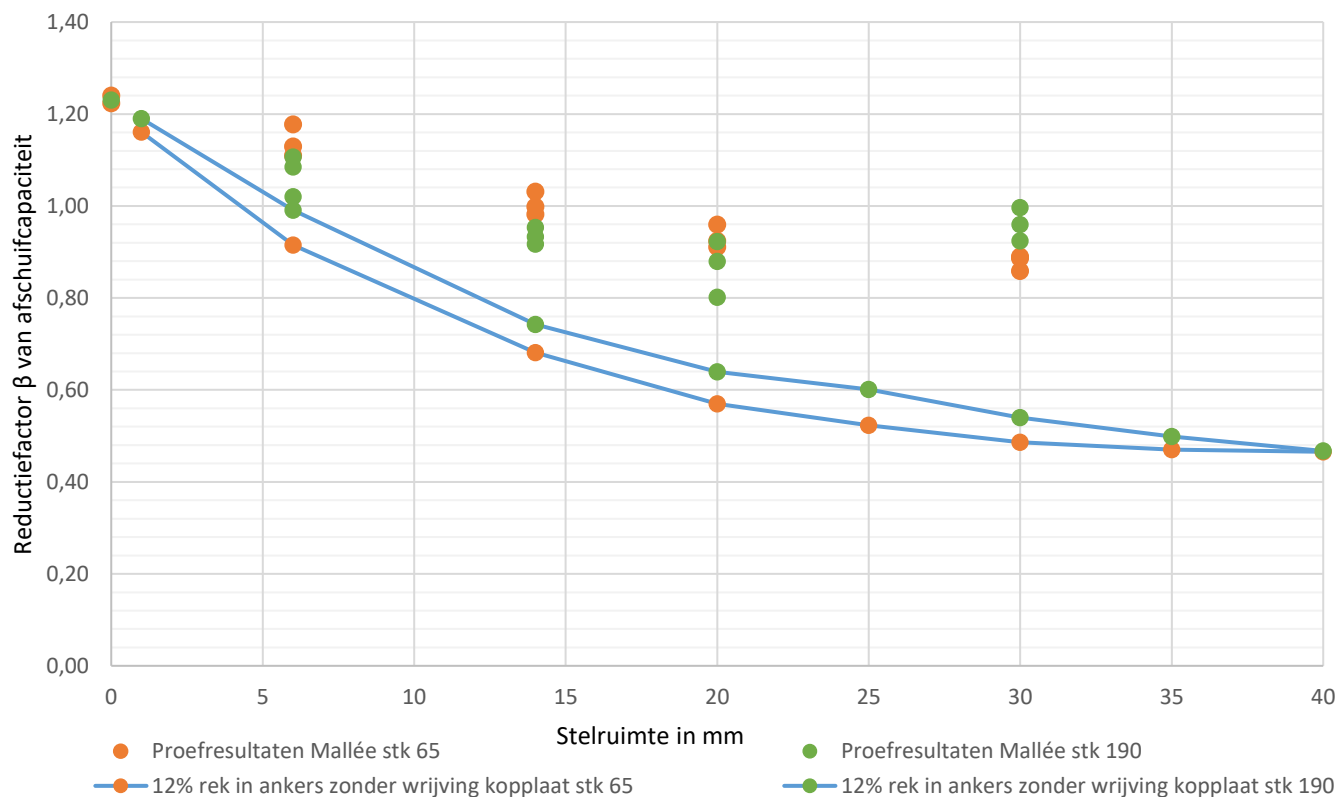
Stelruimte (mm)		Stelruimte / d		4xM20 8.8 zonder wrijving voetplaat		4xM20 8.8 met wrijving voetplaat		4xM20 8.8 met verhoogde wrijving voetplaat		4xM20 4.6 zonder wrijving voetplaat		4xM20 4.6 met wrijving voetplaat		Stelruimte (mm)		Stelruimte / d		M12 8.8 steek 65 zonder wrijving voetplaat		M12 8.8 steek 65 met wrijving voetplaat		M12 8.8 steek 190 zonder wrijving voetplaat		M12 8.8 steek 190 met wrijving voetplaat		Stelruimte (mm)		Stelruimte / d		M30 8.8 steek 180 zonder wrijving voetplaat		M30 8.8 steek 180 met wrijving voetplaat	
1	0,1	1%	5%	12%	3%	3%				1	0,1	1%	8%	1%	10%			1%	4%							1	0,0	1%	4%				
20	1,0	10%	10%	15%	7%	6%				6	0,5	8%	9%	6%	6%																		
30	1,5	11%	10%	17%	11%	12%				14	1,2	10%	10%	10%	10%	40	1,3	7%	8%														
35	1,8	12%	11%	20%	13%	17%				20	1,7	13%	13%	11%	14%																		
40	2,0	13%	13%	22%	13%	22%				25	2,1	16%	18%	14%	20%	60	2,0	10%	14%														
50	2,5	15%	16%	26%	16%	34%				30	2,5	20%	24%	15%	18%																		
60	3,0	17%	21%	33%	19%	39%				35	2,9	25%	32%	19%	23%	80	2,7	15%	17%														
70	3,5	19%	31%	35%	22%	41%				40	3,3	31%	34%	21%	29%	100	3,3	19%	25%														

tabel 7-3 Aandeel wrijving in totale afschuifcapaciteit verbinding

7.4.2. Relatie resultaten M12 klasse 8.8 steek 65 en 190 mm

Het EEM-model vertoont in verhouding tot de proefresultaten betrouwbare resultaten, behalve bij de verschillende steekmaten van de proeven van R. Mallée [3]. De resultaten van de opstelling met M12-ankers en een steek 65 mm of 190 mm verhouden zich in het EEM-model anders tot elkaar dan in de proefresultaten van Mallée [3]. In de resultaten van [3] is de afschuifcapaciteit van de proeven met een steek van 65 mm hoger dan die van de proeven met een steek van 190 mm. Het EEM-model laat juist zien dat de afschuifcapaciteit bij een steek van 190 mm hoger is (figuur 7-7).

β uit EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 65 mm



figuur 7-7 Proef- en analyseresultaten van M12 8.8-ankers met een steek van 65 en 190 mm

Bij de grotere steek is de arm (L_1) tussen het anker en het drukpunt groter. Het excentriciteitsmoment veroorzaakt hierdoor een kleinere druk op de mortel. Dat blijkt ook uit de resultaten van het EEM-model (bijlage 5.3.4 en 5.3.5). Het aandeel dat door de wrijving wordt opgenomen (F_w) neemt hierdoor af, maar de trekkracht die in het anker optreedt, is ook lager. Daardoor blijft er meer capaciteit in het anker beschikbaar om de afschuifkracht op te nemen. In het EEM-model kunnen de ankers bij de grotere steek meer afschuiving opnemen dan bij de wrijving afneemt.

Er bestaat een mogelijkheid dat per ongeluk proefresultaten zijn omgedraaid. Bij het omdraaien van de proefresultaten is de afwijking met het EEM-model, op de proeven van 30 mm na, namelijk nagenoeg even groot (tabel 7-4).

Stelruimte (mm)	Proefresultaten Mallée		Resultaten EEM-model		Verhouding proeven/analyse		Verschil
	Gemiddelde β		β		Steek 65 mm	steek 190 mm	
Steek 65 mm	Steek 190 mm	Steek 65 mm	steek 190 mm	Steek 65 mm	steek 190 mm		
0	1,23	1,23	1,16	1,19	6%	3%	3%
6	1,14	1,07	0,92	0,99	24%	8%	16%
14	1,00	0,93	0,68	0,74	47%	26%	21%
20	0,93	0,87	0,57	0,64	63%	36%	28%
30	0,88	0,96	0,49	0,54	81%	78%	3%
Omgedraaide proefresultaten Mallée							
0	1,23	1,23	1,16	1,19	6%	4%	2%
6	1,07	1,14	0,92	0,99	17%	15%	2%
14	0,93	1,00	0,68	0,74	37%	35%	2%
20	0,87	0,93	0,57	0,64	52%	46%	7%
30	0,96	0,88	0,49	0,54	97%	63%	35%

tabel 7-4 Proefresultaten Mallée in verhouding tot resultaten EEM-model

8. Verantwoording

In dit hoofdstuk wordt het antwoord op de hoofdvraag geformuleerd:

Welke reductie mag of moet worden toegepast op de afschuifcapaciteit van een stalen anker of bout waar de stelruimte na afloop is uitgevuld door middel van mortel of stalen platen?

In paragraaf 8.1 worden conclusies uit het onderzoek getrokken. Daaropvolgend worden in paragraaf 8.2 en 8.3 de deelvragen en de hoofdvraag beantwoord. Aansluitend worden in paragraaf 8.4 aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek en een mogelijke uitbreiding van het voorstel om de werkelijke afschuifcapaciteit beter te definiëren.

8.1. Conclusies

Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Met betrekking tot de vigerende codes geldt dat:

- a. NEN-EN 1992-4 [5] vergelijking (9) *afschuifcapaciteit van ankers met mortelgevulde stelruimte* vrij eenvoudig het aflopend gedrag beschrijft maar daardoor het risico loopt dat – net als bij het voorstel van R. Mallée [3] – onterecht een te hoge afschuifcapaciteit wordt toegekend als de stelruimte in de praktijk hoger uitkomt (zie verdere toelichting conclusie 4c). Ook kent de vergelijking in de huidige vorm veel randvoorwaarden waarvan uit dit onderzoek niet blijkt dat deze van kracht zijn (zie 2a, 2c, 2d, 3a, 3b, 4a en 5a);
- b. NEN-EN 1993-1-8 [4] vergelijking (8) *afschuifcapaciteit van ankers met mortelgevulde stelruimte* tot een stelruimte van $3 \cdot d$ de afschuifcapaciteit onderschat. Door de onderschatting is het minder relevant wat de invloed van vervorming, overmaatse gaten en trek-/afschuifkrachtinteractie is. De intentie van L. Bouwman et al. [1] was om deze factoren op een verantwoorde eenvoudige manier af te dekken in een reductiefactor van de afschuifcapaciteit. De uitkomst van deze vergelijking sluit bij, een stelruimte van $3 \cdot d$, aan op de resultaten van het EEM-model; en
- c. NEN-EN 1992-4 [5] vergelijking (3) *buigweerstand van ankers zonder mortelvoeg* de afschuifcapaciteit aanzienlijk onderschat. De leveranciers van na afloop aangebrachte ankers passen binnen hun software deze vergelijking toe. De stelruimte wordt, omdat de uitkomst zo conservatief is, door gebruikers van deze software vaak genegeerd. Als de gebruiker vervolgens niet aan de hand van vergelijking (8) of (9) de ankers toetst, vindt er vervolgens een aanzienlijke overschatting met een factor 2 plaats. Doordat de afschuifcapaciteit in vergelijking (3) zo onderschat wordt, zou deze om veiligheidsredenen (negeren van stelruimte bij het toetsen), kosten (meer ankers en wapening benodigd) en uitvoering (problemen met afmetingen ankergroep en plaatsing) niet gebruikt moeten worden.

2. Met betrekking tot de voeg geldt dat:

- a. in [4] voor vergelijking (8) geen maximale stelruimte gedefinieerd is. Voor mortelvoegen belast op druk mag de stelruimte niet groter zijn dan $0,2 \cdot d$ de kleinste lengte van de voetplaat. Maar dat zou bij grote afmetingen van voetplaten ruimte toelaten voor grote voegen. Binnen [5] heeft vergelijking (9) de volgende voorwaarden: *de mortelvoeg moet kleiner of gelijk zijn aan 40 mm en kleiner zijn dan $5 \cdot d$* . Om de grenswaarde voor de mortelvoeg absoluut gelijk te stellen aan 40 mm is gezien de resultaten van de proeven en de analyse een rigide eis. Uit de resultaten blijkt dat de diameter van de ankers van invloed is op de mogelijke hoogte van de stelruimte. Bij M12-ankers bevindt het beschreven plateau van de laagste afschuivingscapaciteit zich bij een kleinere stelruimte dan bij M30-ankers. De tweede voorwaarde van een maximaal toelaatbare stelruimte van $5 \cdot d$ is te hoog. In combinatie met de eerste eis is deze alleen van toepassing voor M8-ankers of kleiner, maar als de eis van 40 mm niet van toepassing is, zou voor M20-ankers dit resulteren in een stelruimte van 100 mm. Binnen de proeven zijn geen grotere stelruimtes getoetst dan $3 \cdot d$. In het EEM-model zijn wel analyses voor grotere waarden uitgevoerd en hieruit blijkt dat vanaf $3 \cdot d$ de afschuifcapaciteit van de ankers afneemt en dat het wrijvingsaandeel in de afschuifcapaciteit toeneemt. Om uitvoeringstechnische redenen is dat een ongewenste situatie. Daarom mag de maximale stelruimte, om de betrouwbaarheid van de verbinding en de optredende vervorming controleerbaar te houden, voor ankers belast op afschuifkracht niet groter zijn dan $3 \cdot d$.

Resumé: voor de stelruimte dient de kleinste waarde van $3 \cdot d$ of $0,2 \cdot d$ de kleinste lengte van de voetplaat te worden aangehouden. Bij grotere stelruimtes dan $3 \cdot d$ zouden ankers niet meer toegepast mogen worden om een afschuifkracht over te dragen en zal er naar andere oplossingen in de vorm van een gewapende voeg of een afschuifnok moeten worden gezocht;

- b. het toepassen van meerdere stalen vulplaten een grotere negatieve invloed op afschuifcapaciteit van bouten of ankers heeft dan wanneer de voeg gevuld zou zijn met één stalen plaat of een homogene gietmortel. Dat blijkt uit het onderzoek van stalen vulplaten [17]. Vergelijking (11) *afschuifcapaciteit van bouten bij het toepassen van meerdere stalen vulplaten* is qua formulering zuiverder beschreven omdat hierin de invloed van de stelruimte een losse factor is. Dit gebeurt in directe of indirecte manier in diverse formules ook, maar door deze factor als afzonderlijke β te benoemen ontstaat er meer inzicht in het gedrag van de verbinding. Daarom is het raadzaam om alle bestaande vergelijkingen met betrekking tot afschuiving om te schrijven in de vorm van vergelijking (12);
- c. de randvoorwaarde behorend bij vergelijking (9) dat *de hele voetplaat voorzien is van een mortelvoeg* een logische voorwaarde is. Doordat wrijving een aandeel in de afschuifcapaciteit heeft, dient de hele voetplaat voorzien te zijn van

een gevulde voeg. Bij een mortelvoeg kan de ruimte tussen de poer en de voetplaat goed worden gevuld, ook als het aan te sluiten onderdeel niet evenwijdig is met de poer. Mocht de tussenruimte tussen de stalen voetplaat en de poer worden opgevuld met een enkele of meerdere stalen vulplaten dan moet gegarandeerd kunnen worden dat de twee aansluitvlakken evenwijdig aan elkaar zijn. Indien dit in de uitvoering niet gegarandeerd kan worden, moet de tussenruimte gevuld worden met gietmortel.

- d. de randvoorwaarde behorend bij vergelijking (9) dat *de druksterkte van de gietmortel niet lager mag zijn dan 30 N/mm²* een goede voorwaarde is. Uit de gehouden enquête blijkt dat vaak K70-gietmortel met een druksterkte van 95 N/mm² wordt gebruikt. Toch is het binnen de diverse normen toegestaan om een vulmateriaal te gebruiken tot een minimale kwaliteit van 30 N/mm². Uit de analyse van het EEM-model volgt een klein verlies van de afschuifcapaciteit bij de lagere gietmortelklasse K30. Maar zolang de stelruimte niet groter wordt dan 3*d is het verlies van de afschuifcapaciteit bij gietmortelklasse K30 nog acceptabel.

3. Met betrekking tot de ankers geldt dat:

- a. de randvoorwaarde behorend bij vergelijking (9) dat *tenminste twee ankers achter elkaar moeten worden geplaatst in de richting van de schuifkracht* gezien de proefresultaten niet noodzakelijk is. Uit de proeven blijkt nagenoeg dezelfde reductie van de afschuifcapaciteit voor ankers in een enkele rij als met twee rijen. De eis uit het Amerikaanse voorschrift [21] dat er bij constructieve elementen vier ankers moeten worden toegepast, is om uitvoeringstechnische redenen een goed voorstel maar met betrekking tot de afschuifcapaciteit blijkt dit niet noodzakelijk en kan de randvoorwaarde vervallen;
- b. de randvoorwaarde behorend bij vergelijking (9) dat *de steek tussen de ankers tenminste 10*d is* een onnodig zware eis is. Uit de resultaten van de proeven van L. Bouwman et al. (130 mm voor M20) [1] en R. Mallée (65 mm voor M12) [3] waar de steek tussen de ankers aanzienlijk kleiner is dan 10*d, blijkt geen noemenswaardige lagere afschuifcapaciteit in de ankers aanwezig te zijn in vergelijking met de andere proeven en vergelijkingen. De invloed van de steek zal voor het uitbreken van het beton zondermeer effect kunnen hebben, maar dit geldt niet voor de afschuifcapaciteit van het stalen anker. Ook deze randvoorwaarde dient te vervallen;
- c. de vergelijkingen voor het bepalen van de afschuifcapaciteit van toepassing zijn voor M12- tot en met M36-ankers met klasse 4.6 tot 8.8. Uit de proeven blijkt dat voor M12-, M16-, M20- en M30-ankers de gevonden afschuifcapaciteiten nagenoeg dezelfde absolute reductie kennen. De reductie van de afschuifcapaciteit uit de proeven van één of twee ankerrijen ligt in de regel tussen 0,8 en 1 keer de afschuifcapaciteit. Ook uit het EEM-model blijkt dat de M12-, M20- en M30-ankers eenzelfde gedrag vertonen. Het voorstel is daarmee van kracht voor M12- tot en met M30-ankers en gezien de stabiliteit van de resultaten kan dit worden uitgebreid tot en met M39 conform NEN-EN 15048-1 [24];
- d. de notatie voor het bepalen van de buigweerstand van bouten en ankers eenvoudiger beschreven kan worden in de vorm van vergelijking (7). De plastische buigweerstand beschrijven doormiddel van de vormfactor en de elastische buigweerstand is onduidelijk en resulteert in onnodige afrondingen.

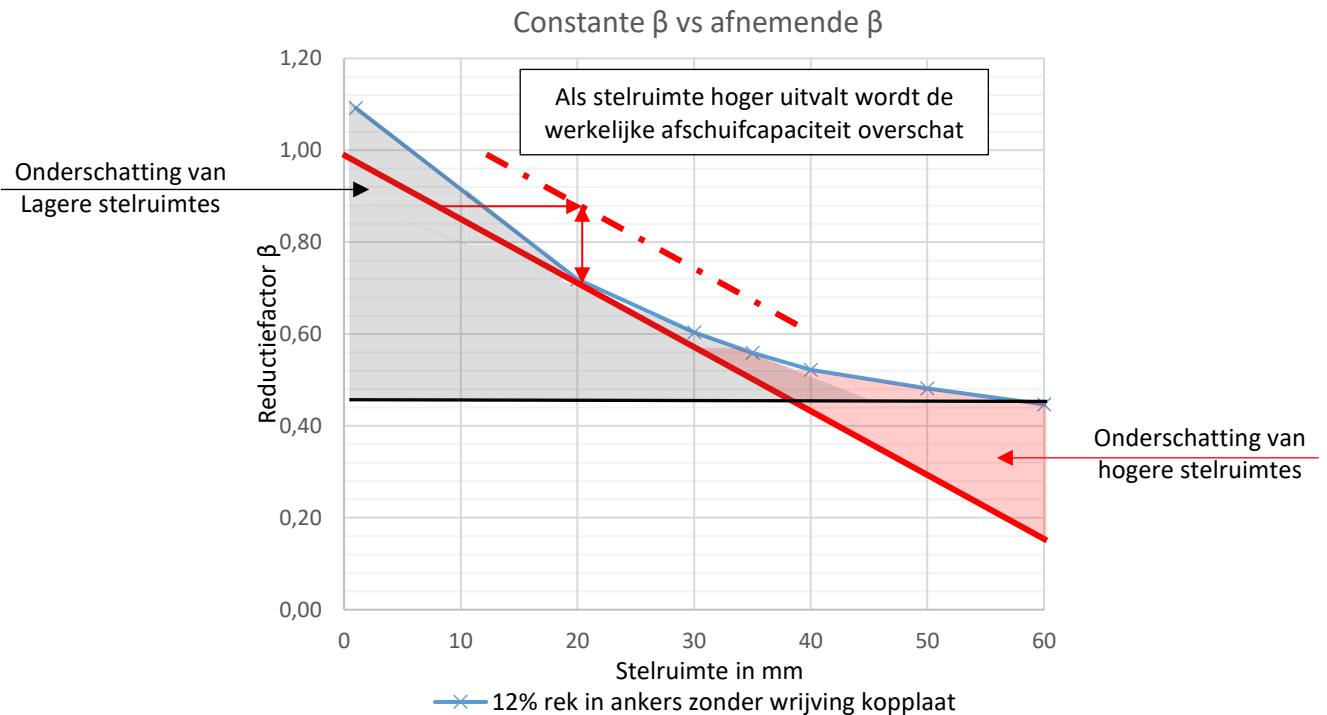
$$M_{Rk,s} = 0,9 * W_{pl} * f_{yb}$$

- e. het type anker zoals in figuur 1-3 uitgewerkt geen invloed heeft op de afschuifcapaciteit van het anker. In de proeven zijn verschillende typen ankers gebruikt. In het onderzoek van L. Bouwman et al. [1] zijn haakankers en ankers met volgplaat beproefd. In het onderzoek van K. McBride [2] zijn ankers met volgplaat beproefd en in het onderzoek van R. Mallée [3] zijn lijmankeers beproefd. Zoals eerder vermeld, volgen uit de proefresultaten overeenkomstige resultaten. Op basis hiervan hoeft er voor de afschuifcapaciteit van een anker geen onderscheid gemaakt te worden naar het type anker; en
- f. bouten die in hulzen worden gedraaid (figuur 1-3 c) waarschijnlijk dezelfde afschuifcapaciteit hebben als andere typen ankers. Er waren geen proefresultaten beschikbaar om die te relateren aan de andere typen ankers. Ook is het tijdens het onderzoek niet gelukt om contact te krijgen met leveranciers van meegestorte hulzen om door middel van bijvoorbeeld een interview hierover duidelijkheid te krijgen. In de rekensoftware van een leverancier (Halfen) wordt vergelijking (3) uit [5] toegepast. Binnen [5] wordt er voor de bepaling van de afschuifcapaciteit geen onderscheid gemaakt naar het type anker. Daaruit volgend is voor dit onderzoek de conclusie getrokken dat voor de bepaling van de afschuifcapaciteit van bouten in hulzen dezelfde methode kan worden gebruikt.

4. Met betrekking tot de gezochte β geldt dat

- a. pas vanaf een stelruimte vanaf 1/3*d de afschuifcapaciteit van de ankers gereduceerd hoeft te worden. Bij een stelruimte kleiner dan 1/3*d is β volgens de proefresultaten en de resultaten uit het EEM-model groter dan 1. De randvoorwaarde horend bij vergelijking (9) dat *de afschuifcapaciteit gereduceerd dient te worden vanaf een stelruimte > 0,5*d* is gezien de uitkomsten van het EEM-model te optimistisch. Om gelijkheid en eenvoud te creëren voor het bepalen van de afschuifcapaciteit voor bouten en ankers is de waarde uit de randvoorwaarde van vergelijking (11) overgenomen, zijnde 1/3*d;
- b. een waarde van 0,8 ACI-318-19 [8] gezien de proefresultaten en de resultaten uit het EEM-model te laag is. Een zeer groot deel van de resultaten heeft een bezwijking bij een lagere afschuifcapaciteit dan met deze reductie wordt toegelaten. Er zijn factoren die een positieve invloed op de afschuifcapaciteit kunnen hebben (paragraaf 8.4.2), maar in de gezochte verantwoorde ondergrens kunnen deze factoren niet worden meegenomen; en

- c. het voorstel van R. Mallée [3] een goede grenswaarde geeft van de proeven, maar een niet-constante β is alleen verantwoord als de voeghoogte bij het ontwerp al bekend is en niet hoger kan worden dan in het ontwerp is aangenomen. Een belangrijk gegeven van stelruimte is echter juist dat deze varieert en door de uitvoeringstoleranties aanzienlijk af kan wijken van een ontwerp. De hoogte van de stelruimtes kan dus op een te hoog punt uitkomen, waardoor het voorstel van Mallée een risico in zich draagt (figuur 8-1 rood). In het algemeen is een afnemende β daarom niet wenselijk en onderschat het ook de invloed van een hogere stelruimte. Uit de proeven en het EEM-model blijkt dat de afschuifcapaciteit vanaf $2 \cdot d$ niet of minder afneemt. Dat is in het voorstel van R. Mallée aanwezig, maar niet in vergelijking (9) en (11), waardoor de afschuifcapaciteit bij hogere stelruimtes onnodig wordt onderschat. Een constante β onderschat juist de lagere stelruimte (figuur 8-1 zwart), maar dat is met betrekking tot een onbekende eindhoogte van de stelruimte een verantwoorde waarde.



figuur 8-1 Constante β ten opzichte van afnemende β

5. Met betrekking tot de optredende belastingen en capaciteit geldt dat:

- a. de randvoorwaarde behorend bij vergelijking (9) dat *er geen trekkracht of moment op de voetplaat mag aangrijpen* gezien de proefresultaten van Bouwman [1] en McBride [2] niet van toepassing is. De afschuifcapaciteit van ankers blijkt uit de proefresultaten met extra aanvullende belastingen niet lager uit te vallen. Dit is niet onderzocht in het opgestelde EEM-model, maar gezien de iets lagere afschuifcapaciteit bij 1 mm stelruimte en de intern optredende trekkracht zullen de ankers wel gevoelig zijn voor de interactie met een trekkracht. Dat is in relatie met het Von-Misses-criterium ook vanzelfsprekend. Indien de toelaatbare afschuifcapaciteit ten opzichte van de huidige vergelijkingen verhoogd wordt, zal de invloed van de interactie wel meegenomen moeten worden.

8.2. Deelvragen

Is het gedrag van een bout die in een huls wordt gezet gelijk aan dat van een anker die ingestort of na afloop ingebracht wordt?

Beide normen, [4] en [5], maken geen onderscheid tussen ankers die me een uit het beton steken of hulzen waar een draadeind of bout ingedraaid wordt. In de rekensoftware van een leverancier van hulzen wordt geen andere rekenmethode gebruikt. Er is geen literatuur gevonden waar deze specifieke configuratie wordt beschreven en ook bleek contact met een leverancier van vooraf in te storten hulzen zeer lastig. Gezien de normen en de rekensoftware geen onderscheid maken in het type anker en uit de staal-staal- en staal-betonproeven blijkt dat het mechanisch gedrag dat optreedt aan elkaar gelijk is, lijkt het verantwoord om aan te nemen dat bij hulzen hetzelfde gedrag van toepassing is.

Tot welke bout- en ankerdiameters zijn de huidige vergelijkingen toepasbaar?

Het bepalen van de afschuifcapaciteit is van toepassing op ankers in klasse 4.6 tot 8.8 met een diameter van M12 tot M39 conform NEN-EN 15048-1 [24]. Uit zowel de proeven als het EEM-model blijkt dat voor M12- tot M30-ankers de gevonden afschuifcapaciteiten nagenoeg dezelfde absolute reductie kennen en een vergelijkbaar gedrag vertonen. Door de betrouwbaarheid van de uitkomsten is er geen reden tot twijfel dat dit niet tot M39 van toepassing zou zijn.

Is NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 6.2 om te zetten naar een gelijkvormige vergelijking als NEN-EN 1993-1-8 vergelijking 3.3, namelijk een vergelijking waarin de diameter van het anker en de grootte van de stelruimte invloed hebben op de reductie?

Het omzetten naar dezelfde schrijfwijze is voor ankers met een homogene stelvoeg niet van toepassing. Uit de proefresultaten en het EEM-model blijkt dat een anker de laagste afschuifcapaciteit heeft bij een stelruimte rond de $2*d$ tot $3*d$. Dit plateau is al aanwezig bij de analyses waarin er alleen rekenkundige wrijving aanwezig is tussen de mortelvoeg en poer. Als er een verhoogde wrijving tussen het beton en ook wrijving tussen de voetplaat en de gietmortel aanwezig is, dan neemt de afschuifcapaciteit bij $2,5*d$ alweer toe. Daarom kan voor ankers en bouten met een homogene voeg een β worden bepaald op basis van de laagste afschuifcapaciteit. In vergelijking 3.3 neemt β af als de stelruimte toeneemt. Dat is bij het toepassen van meervoudige stalen vulling, door het verschuiven van de vullingen onderling, ook het geval. Daarom kan deze schrijfwijze niet worden overgenomen.

Kan er een universele vergelijking voor de reductie van de afschuifcapaciteit voor staal-staal- en staal-beton-verbindingen met een niet-samendrukbaar vulmiddel worden beschreven?

Als de voeg homogeen wordt uitgevoerd (gestorte voeg of één enkel stalen plaat) blijkt uit de proefresultaten van staal-staal- en staal-betonproeven hetzelfde mechanische gedrag. Door de trek-/drukkrachtkoppel die de afschuifkracht creëert bij een voeg en wrijvingsweerstand die daarbij ontstaat, heeft de bout of anker bij $2*d$ tot $2,5*d$ de laagste afschuifcapaciteit. Daarom kan er voor staal-staal en staal-beton een universele vergelijking worden beschreven.

Hoe moet er met scheefstand tussen staal-beton worden omgegaan? Bij scheefstand ontstaat er een afwijkende vorm van de stelruimte waardoor er aan één zijde een kleinere stelruimte aanwezig is dan aan de andere zijde.

De stelruimte heeft invloed op de afschuifcapaciteit van de ankers. Als de tussenruimte gevuld is, wordt het moment dat ontstaat door de afschuifkracht deels opgenomen door de ankers in de vorm van buiging en deels door de mortelvoeg in de vorm van een drukkracht op de mortel en een trekkracht op de ankers. De drukkracht op de mortel creëert een extra afschuifcapaciteit in de vorm van wrijving. Doordat de wrijving een aandeel in de afschuifcapaciteit heeft, is het van belang dat de hele voetplaat voorzien is van een gevulde voeg. Bij een mortelvoeg kan de ruimte tussen de poer en de voetplaat, ook als het aan te sluiten onderdeel niet parallel loopt met de poer, goed worden gevuld. Mocht de tussenruimte worden opgevuld met een enkele of meerdere stalen vulplaten dan moeten de twee aansluitvlakken evenwijdig aan elkaar zijn. Indien dit in de uitvoering niet gegarandeerd kan worden, moet de tussenruimte gevuld worden met gietmortel.

Door een scheefstand is de buig lengte van de ankers onderling niet gelijk. De ankers met een korte buig lengte zullen zich stijver gedragen en daardoor een groter aandeel in de afschuifkracht opnemen. Dat zou een verlagend effect op de totale afschuifcapaciteit van de verbinding kunnen hebben gezien de stijvere ankers kunnen bezwijken voordat de 'langere' ankers hun volledige afschuifcapaciteit hebben bereikt. Of dit effect optreedt en in welke mate dient verder onderzocht te worden.

Wat is de afschuifcapaciteit van (ingestorte) ankers bij een stelruimte van meer dan 60 mm?

De afschuifcapaciteit van ankers bij 60 mm stelruimte blijkt afhankelijk te zijn van de diameter van het anker. Het eerder beschreven plateau van de laagste afschuifcapaciteit is bij alle diameters aanwezig maar is afhankelijk van de verhouding tussen de stelruimte en de diameter. De afschuifcapaciteit volgens vergelijking 6.2 kan worden gehandhaafd mits er een extra randvoorwaarde wordt opgenomen dat de maximale stelruimte niet groter mag zijn dan $3*d$. Bij een grotere stelruimte dan $3*d$ wordt meer dan 20% van de afschuifcapaciteit verzorgd door de wrijvingsweerstand. Door allerlei uitvoeringsgerelateerde zaken kan de wrijving laag uitvallen. Daarom is het onverantwoord om de afschuifcapaciteit in grote mate van de wrijving afhankelijk te laten zijn. Ook is de vervorming van de ankers bij een stelruimte groter dan $3*d$ aanzienlijk en zullen de lagere kwaliteit gietmortel niet meer sterk genoeg zijn.

8.3. Hoofdvraag en voorstel

Om eenvoud te creëren en recht te doen aan de proefresultaten en de dagelijkse praktijk wordt in deze paragraaf de ondergrens van de afschuifcapaciteit van ankers met een gevulde voeg beschreven. Hiermee wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag:

Welke reductie mag of moet worden toegepast op de afschuifcapaciteit van een stalen anker of bout waar de stelruimte na afloop is uitgevuld door middel van mortel of stalen platen?

Er zijn geen aanwijzingen dat het voorstel van L. Bouwman et al. [1] onrecht doet aan de afschuifcapaciteit van ankers. In alle vervollexperimenten [2] en [3] kan hun voorstel zelfs eerder als iets te conservatief worden gezien. De huidige vergelijkingen (8) volgens NEN-EN 1993-1-8 [4] is een ondergrens waarin de volgende effecten zijn gevat: maximaal toelaatbare vervorming, overmaatse gaten en de trek-/afschuifkrachtinteractie. Deze vergelijking uitgesplitst in de voorgestelde factoren α_v en β resulteert in één uniforme vergelijking (15) voor de afschuifcapaciteit van bouten en ankers en zou daarmee vergelijkingen (2), (8), (9) en. Voor de volledigheid van onderstaand voorstel is de eis met betrekking tot α_v van de afwijkende boutklassen, die in dit onderzoek niet zijn onderzocht, overgenomen van NEN-EN 1993-1-8 tabel 3.4 [4].

$$F_{v,Rd} = \beta * \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (15)$$

Met betrekking tot α_v geldt:

- wanneer het afschuifvlak door de draad van de bout gaat (A is dan de trekspanningsdoorsnede A_s van de bout):
 - voor boutklassen 4.6, 5.6 en 8.8: $\alpha_v = 0,6$;
 - voor boutklassen 4.8, 5.8, 6.8 en 10.9: $\alpha_v = 0,5$; en
- wanneer het afschuifvlak door de schacht (zonder draad) van de bout gaat (A is dan de bruto doorsnede van de bout):
 - $\alpha_v = 0,6$

Met betrekking tot β geldt dat:

- vanaf een voeghoogte groter dan $1/3 * d$ de afschuifcapaciteit gereduceerd dient te worden;
- de mortelvoeghoogte niet groter mag zijn dan $3 * d$ of $0,2 * d$ de kleinste breedte van de voetplaat conform NEN-EN 1992-1-1; en
- stalen vulplaten bij staal-betonverbindingen alleen mogen worden toegepast als de aansluitvlakken evenwijdig aan elkaar zijn en na montage aan geen enkele zijde een openstand aanwezig is. Er geldt hierbij een maximum van drie platen.

Als aan deze randvoorwaarden is voldaan, gelden de volgende vergelijkingen voor de β -factor:

- voor een gevulde tussenruimte door middel van een mortelvoeg of enkele stalen vulplaat

$$\beta = 0,745 - 0,0005 * f_{yb}$$

- voor meerdere stalen vulplaten

$$\beta = \frac{9d}{8d * 3t_p}$$

8.4. Aanbevelingen

8.4.1. In relatie tot het voorstel

1. In het EEM-model is geen onderzoek gedaan naar de interactie van de afschuifkracht met een externe trekkracht en/of moment. In het onderzoek van L. Bouwman et al. [1] is de invloed van de trekkracht verwerkt in de maximaal toelaatbare afschuifkracht. Het EEM-model geeft ondanks diverse conservatieve uitgangspunten in verhouding tot de rekenregels die volgen uit het onderzoek van [1] bij hogere stelruimtes overeenkomstige resultaten. In het EEM-model is het complexe gedrag van alle optredende belastingen wel gecontroleerd. Voor een bredere validatie van het voorstel is het raadzaam om de invloed van een externe trekkracht en/of moment te onderzoeken en te beoordelen of de interactie van belang is voor de maximale toelaatbare afschuifkracht. Aan de hand van de onderzoeken [1], [2] en [3] kan het volgende gedrag verwacht worden (zie figuur 7-1 voor de indices):
 - a. Bij een toenemende externe trekkracht ($N_{t,sd}$) op de voetplaat zal de trekkracht op de achterste ankers (T_1) gering toenemen, maar de drukkracht (D) op de mortel aanzienlijk afnemen. Hiervoor zal de aangebrachte trekkracht die als voorspanning dient, in het EEM-model zo moeten worden gemodelleerd dat deze als een werkelijke voorspanning in een verensysteem reageert en niet als externe permanente trekkracht zoals in het EEM-model van dit onderzoek.
 - b. De afschuifcapaciteit van de ankers zal veranderen (afnemen of toenemen) als de externe trekkracht ($N_{t,sd}$) zo groot is dat er geen drukkracht ($D > 0$) meer op de mortel aanwezig is. De mate waarin de afschuifcapaciteit terugloopt is afhankelijk van de vervorming (δ_h) door de afschuifkracht. De externe trekkracht ($N_{t,sd}$) zal door die vervorming een tegengesteld koppel ontwikkelen ($N_{t,sd} * \delta_h$) die het excentriciteitsmoment van de afschuifkracht zal reduceren. De inwendige buigspanning van de ankers zal daardoor lager uitvallen, waardoor de afschuifcapaciteit van de ankers toeneemt.
2. Aanvullend zijn er nog andere zaken in het EEM-model onderbelicht gebleven. Voor een validatie van het voorstel voor de randvoorwaarden van vergelijking (15)(12) zouden de volgende zaken in een EEM-model nog toegevoegd kunnen worden:
 - a. *stalen vulling(en)* – Zo kan gecontroleerd worden of in staal-betonverbindingen het gedrag van een enkele of meerdere stalen vulplaten hetzelfde gedrag vertonen als in staal-staalproeven; en
 - b. *scheefstand in de voetplaat* – Door een scheefstand is de stelruimte van de ankers onderling niet gelijk. De ankers met een korte stelruimte zullen zich stijver gedragen en daardoor een groter aandeel in de afschuifkracht op nemen. Dat zou een verlagend effect op de afschuifcapaciteit van de hele verbinding kunnen hebben gezien de stijvere ankers kunnen bezwijken voordat de ‘langere’ ankers hun volledige afschuifcapaciteit hebben bereikt.
3. In het voorstel is geen rekening gehouden met een maximaal toelaatbare vervorming. Binnen de huidige codes [4] en [5] zijn hier geen eisen aan gesteld. Toch sluit dit onderzoek aan bij de aanbevelingen van diverse andere onderzoeken (zie ook paragraaf 5.5). Het beperken van de toelaatbare maximale vervorming gerelateerd aan bijvoorbeeld de functie van de constructie kan hiervoor een goede eerste aanzet zijn.

8.4.2. Mogelijke bovengrens

Vergelijking (15) kan uitgebreid worden met andere factoren die invloed hebben op de afschuifcapaciteit, zie vergelijking (16). Dit zijn aannames op basis van diverse resultaten, bevindingen en conclusies uit de literatuur en dit onderzoek zonder dat deze ook in een EEM-model zijn beschouwd. Het is daarom raadzaam om naar de volgende drie parameters onderzoek te doen:

$$F_{v,Rd} = \alpha_n * \alpha_h * \beta^{\alpha_i} * \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} \quad (16)$$

α_n = invloedsfactor van stelmoeren

- | | |
|--------------------------|---|
| - Zonder stelmoer | $\alpha_n = 1$ |
| Met stelmoer | $\alpha_n = 1,2$ (1*d korte ankerlengte voor buiging) |
| Met klemmoer en stelmoer | $\alpha_n = 1,5$ (2*d korte ankerlengte voor buiging) |

α_h = invloedsfactor voor de gatspeling

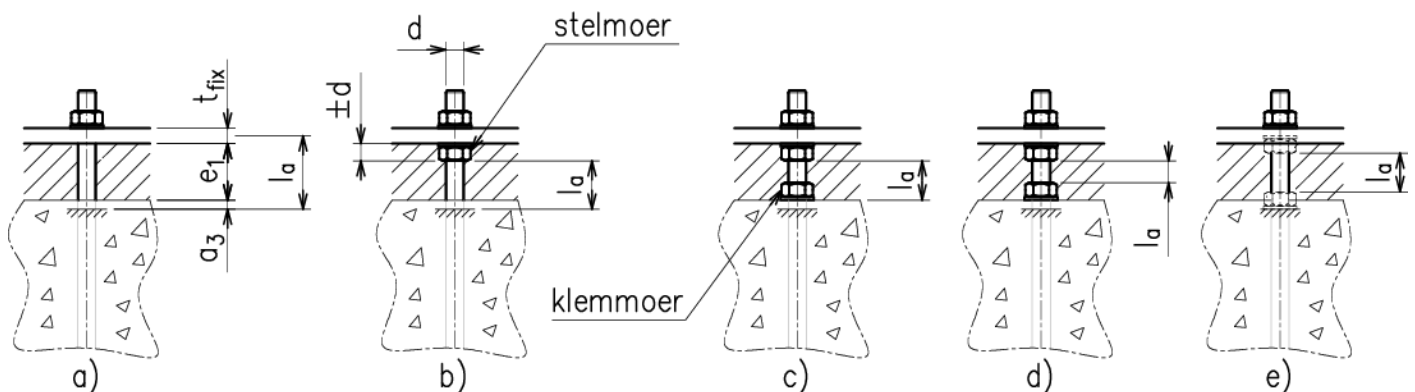
- | | |
|-----------------|--|
| - Normale gaten | $\alpha_h = 1$ |
| Overmaats gaten | $\alpha_h = 0,8$ (conform stuikreductie voor overmaatse gaten) |

α_i = invloedsfactor van het aantal ankerrijen

- | | |
|----------------------|------------------|
| - 1 of 2 ankerrijen | $\alpha_i = 1$ |
| 3 ankerrijen of meer | $\alpha_i = 2/i$ |
- Waarin i = aantal ankerrijen

α_n = Invloedsfactor van stelmoeren

De buiglengte zou volgens R. Mallée [3] door het toepassen van gietmortel en volgens A. den Deurwaarder [18] door het toepassen van een stelmoer, afnemen (figuur 8-2 a en paragraaf 5.3.2). Uit het vervormingsgedrag van het EEM-model blijkt het drukpunt nog steeds op een bepaalde diepte (a_3) in de poer te liggen waarmee het voorstel van [3] niet valide blijkt. Het voorstel van [18] kan met het EEM-model niet worden gevalideerd omdat deze stelmoer ontbreekt. Als deze suggestie klopt heeft dat een verhogend effect op de afschuifcapaciteit. In NEN-EN 1992-4 [5] mag bij het toepassen van een klemmoer ook een verkorte buiglengte worden aangehouden (figuur 8-2 b en paragraaf 3.1). Dit gecombineerd resulteert erin dat de buiglengte bij de stelmoer met $0,5 * t_{fix} + 1 * d$ en bij de klemmoer met $0,5 * d$ afneemt (figuur 8-2 c). Maar uit de suggestie van [18] kan worden gesteld dat bij de klemmoer de buiglengte met $0,5 * d + 1 * d$ afneemt (figuur 8-2 d).



figuur 8-2 Aanbeveling voor onderzoek naar de rekenkundige stelruimte voor gevulde stelruimte

a) rekenkundige stelruimte volgens NEN-EN 1992-4 zonder stel- en klemmoer

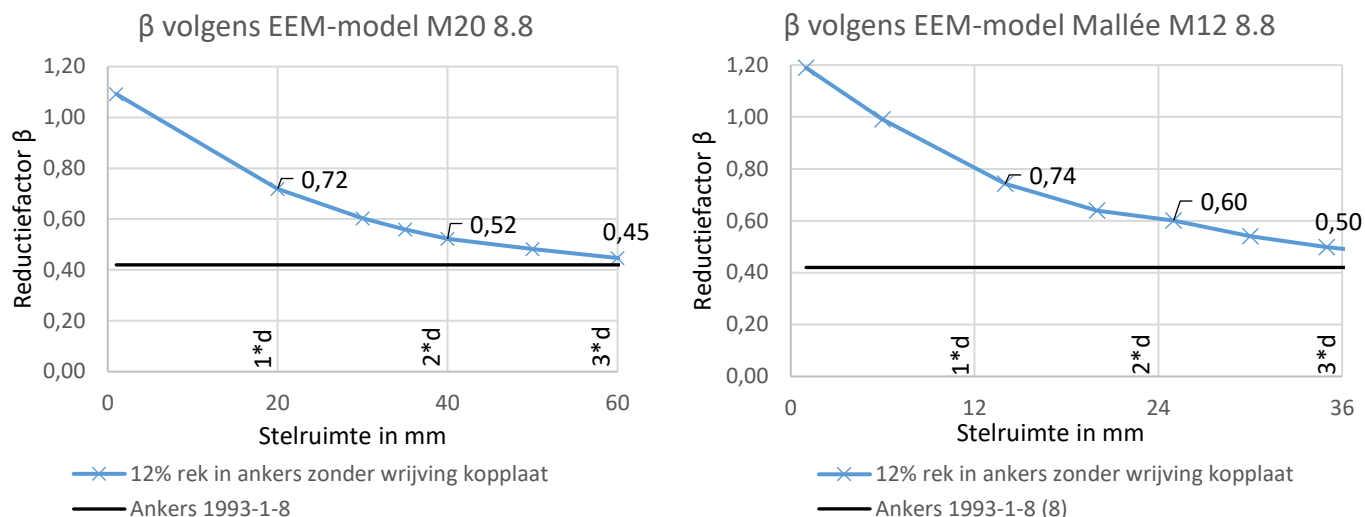
b) rekenkundige stelruimte volgens A. den Deurwaarder met stelmoer

c) mogelijk rekenkundige stelruimte door combinatie van suggestie A. den Deurwaarde en klemmoer volgens NEN-EN 1992-4

d) mogelijk rekenkundige stelruimte op basis van suggestie A. den Deurwaarde op stel- en klemmoer

e) rekenkundige stelruimte in de aanbeveling

Om de reductie van de moeren niet te overschatten is de aanbeveling om per moer-/ringcombinatie de buiglengte te reduceren met enkel $1 * d$ (figuur 8-2 e). Eenvoudig geredeneerd is dan de afschuifcapaciteit van het EEM-model die bij de gecorrigeerde stelruimte hoort, waarin de buiglengte gelijk is aan figuur 8-2 a, van toepassing. Bij het toepassen van één stelmoer of klemmoer neemt de buiglengte met $1 * d$ af en is de toename van de afschuifcapaciteit 20% (0,50/0,60). Als beide moeren worden toegepast neemt de buiglengte in totaal met $2 * d$ af en is de toename van de afschuifcapaciteit 50% (0,50/0,74) (figuur 8-3). Door de reductie op de resultaten van het onderzochte EEM-model toe te passen wordt de afschuifcapaciteit niet onnodig overschat.



figuur 8-3 Verskil in afschuifcapaciteit van 8.8-ankers voor verschillende stelruimtes

α_h = Invloedsfactor voor de gatspeling

In het huidige voorstel en de vigerende codes is geen correctiefactor meegenomen voor de invloed van overmaatse gaten. Toch is het een feit dat in de praktijk vaak overmaatse gaten worden toegepast. Uit de proefresultaten van K. McBride [2] en het onderzoek van P. Dusicka et al. [17] blijkt dat de afschuifcapaciteit van ankers of bouten met overmaatse gaten niet lager is. Wel neemt de vervorming aanzienlijk toe. Indien uit uitgebreider onderzoek naar de vervorming blijkt dat deze niet acceptabel is, kan een correctiefactor worden toegevoegd waarmee de toelaatbare afschuifcapaciteit lager uitkomt en daarmee de optredende vervorming ook lager uitvalt. In dit stadium wordt als eerste aanzet de correctiefactor voor overmaatse gaten volgens NEN-EN 1993-1-8 [4, p. tabel 3.4 lid 1] overgenomen, maar dat is een arbitraire waarde.

α_i = Invloedsfactor van het aantal ankerrijen

In het voorstel van R. Mallée [3], vergelijking (14), neemt de gemiddelde ankercapaciteit toe, als meerdere rijen worden toegepast. Deze aanname lijkt te corresponderen met de proefresultaten van McBride [2] waarin de afschuifcapaciteit per anker, in de proeven met een hoger aantal ankers dan vier, hoger is. Als in vergelijking (14) de ankerrij, die belast wordt op uitsluitend buiging, niet wordt meegenomen in de afschuifcapaciteit, kan de vergelijking eenvoudig worden beschreven als $\beta = (i - 1)/i$, waarin i gelijk is aan het aantal ankerrijen. Bij een hoge stelruimte is het aandeel van de afschuifcapaciteit van de op buiging belaste ankerrij ten opzichte van de volledige afschuifcapaciteit gering (zie vergelijking (3) in figuur 3-5). De β die hoort bij twee ankerrijen wordt hiermee gelijk aan $(2 - 1)/2 = 0,5$. Dat is een hogere β dan blijkt uit de analyse van het EEM-model en uit vergelijking (15). Hierin is voor klasse 8.8 $\beta = 0,438$ en voor klasse 4.6 is $\beta = 0,625$. Als dit absolute verschil van β wordt gecorrigeerd met het voorstel van Mallée volgt de gecorrigeerde β per ankerrij (zie tabel 8-1). Voor de invloed van het aantal ankerrijen kan een factor $2/i$ worden meegenomen. Deze wijkt voor klasse 4.6 in verhouding meer af dan voor klasse 8.8, maar voor beide klassen geldt dat deze factor een onderwaardering is ten opzichte van het voorstel [3].

		gecorrigeerde β			β^{α_i}		afwijking van β^{α_i} met gecorrigeerde β	
i	$(i-1)/i$	4.6	8.8	$\alpha_i = 2/i$	4.6	8.8	4.6	8.8
2	0,50	0,625	0,428	1,00	0,625	0,428	0%	0%
3	0,67	0,79	0,59	0,67	0,73	0,57	-8%	-4%
4	0,75	0,88	0,68	0,50	0,79	0,65	-10%	-3%
5	0,83	0,96	0,76	0,40	0,83	0,71	-14%	-6%
6	0,86	0,98	0,78	0,33	0,85	0,75	-13%	-4%
7	0,88	1,00	0,80	0,29	0,87	0,78	-13%	-2%
8	0,89	1,01	0,82	0,25	0,89	0,81	-12%	-1%

i = aantal ankerrijen

tabel 8-1 Potentiële vergrotingsfactor van β voor het aantal ankerrijen

Validatie van bovengrens

Om bovenstaande bevindingen uit de literatuurstudie en de proefresultaten te onderschrijven dient een EEM-model gemaakt te worden waarin de volgende zaken moeten worden toegevoegd:

- *stelmoer en klemmoer*, daarmee kan de impact op de buiglengthe in beeld worden gebracht en welke afschuifcapaciteit bij de lagere buiglengthe hoort;
- *gatspeling*, daarmee zal de vervorming aanzienlijk toenemen. Door het EEM-model te analyseren met en zonder overmaatse gaten kan op basis van die vervormingen een correctiefactor worden bepaald; en
- *meerdere ankerrijen*, daarmee zou de verhogende werking op de afschuifcapaciteit kunnen gevalideerd worden.

Reflectie

Toen ik startte met de studie was dit al één van de mogelijke onderwerpen waarop ik wilde afstuderen. Doordat ik dat zo lang van tevoren wist, gaf dat aan de ene kant rust en aan de andere kant ging ik er misschien ook te veel van verwachten. Toen na het indienen van het voorstel dit in eerste instantie werd afgewezen, omdat het te complex zou zijn en er te weinig informatie van bekend zou zijn en dat het ten opzichte van de opleiding niet integraal genoeg was, was de motivatie voor het afstuderen even verdwenen. Toch mocht er na een goed gesprek worden gestart met het afstuderen. Maar dan: waren de waarschuwingen terecht, is het te veel, is het te complex, heb ik te veel hooi op mijn vork genomen, wanneer ben je koppig, wanneer luister je?

Na het goedkeuringsgesprek met mijn afstudeerbegeleider die zei dat ik ervoor moest gaan, ben ik met frisse moed gestart met de literatuurstudie. Er is meer over het onderwerp geschreven dan op voorhand bij mij bekend was en zonder de hulp van diverse contactpersonen had ik diverse bronnen ook niet gevonden. Maar hoe meer ik las hoe ongrijpbaarder het onderwerp werd en hoe meer vragen er rezen. Een constant gevoel tussen hoop en vrees. Ik las dingen waardoor ik overtuigd was dat het goed was om het onderwerp uit te gaan zoeken, maar ik kwam er ook steeds meer achter dat het te complex is om zomaar nieuwe conclusies te trekken. Ook bleek contact krijgen met bijvoorbeeld leveranciers van ingestorte hulzen en NEN-commissies ondoenlijk. Hoe kan het dat als er in de dagelijkse praktijk onduidelijkheden bestaan over een onderwerp dat partijen die daar een rol in kunnen spelen die niet oppakken? Waarom was er ogenschijnlijk met onderzoek uit het verleden niks gedaan, ben ik naïef als ik denk dat je met elkaar het vak verder wilt brengen?

Op het juiste moment stoppen met de literatuurstudie en starten met schrijven was iets wat ik moest accepteren. Had ik wel genoeg gelezen, wat als ik nou een belangrijke bron zou missen? Op advies van René Braam ben ik vroeg begonnen met schrijven en daar ben ik hem dankbaar voor. In mijn eigen planning stond dit pas aan het eind van het onderzoek en dan was het niet op tijd en in deze vorm afgerond. Ook kost goed schrijven veel tijd en heb ik met het schrijven van dit stuk veel geleerd, des te meer door het redigeerwerk van Petra Barkema en de aanwijzingen van René Braam.

Ook heb ik iets te makkelijk gedacht over het tijdbestek waarin ik een goed EEM-model kon maken. Het maken van zo'n model heeft tijd nodig om te rijpen en aan je te groeien, zodat het model ook juist is. Juist als in geschikt voor het onderzoek. Een model lijkt al snel af, maar als de resultaten niet goed of zuiver zijn moet er geschaafd blijven worden. Tot zelf anderhalve week voor de deadline van het conceptrapport en ik erachter kwam dat een wrijvingsparameter verkeerd was ingevuld. Maar dat beschouwen we maar als onderdeel van het vermaak. Zonder de ondersteuning van Diana was ik niet in staat geweest het model zo betrouwbaar te krijgen.

Het afstuderen ging gepaard met kiezen tussen wat mijn taak is als afstudeerder en proberen voor een vakgebied een probleem op te lossen. Blijkbaar kan je zelf snel minder naïef worden. Toch is de wil en ambitie om iets bij te dragen ook een goede motivator, maar op het juiste moment naar mensen luisteren die zeggen dat iets te veel of niet de juiste weg is, is ook goed. Enerzijds dus niet akkoord gaan met een afwijzing van een voorstel, anderzijds niet koppig zijn en weten wanneer andere mensen iets beter in kunnen schatten. Ben ik nu een master op het gebied van op afschuiving belaste ankers? Dat vind ik niet, maar ik zal ongetwijfeld meer weten dan een ander. Ik durf nu wel uitspraken te doen over een veilig kader.

Hoe nu verder? Geen idee. Ik vind mezelf nog steeds een eenvoudige constructief ontwerper die slecht zijn best doet voor wat dat waard is. In het werkveld kom ik mensen tegen waar ik tegen op kijk om hun (soms schijnbare) kennis en verbaas ik me met regelmaat om de (grote) onkunde van anderen. Enige tijd later vallen diverse mensen waar ik tegen op keek toch tegen in hun kunde en vind ik nieuwe mensen om tegen op te kijken. Er is zoveel wat ik niet begrijp, niet snap, niet doorgrond en met regelmaat denk ik dat ik dan meer moet leren, meer moet studeren en harder mijn best moet doen, en die strijd zal waarschijnlijk de rest van mijn leven duren.

Bibliografie

- [1] L. Bouwman, A. Gresnigt en A. Romeijn, „Onderzoek naar de bevestiging van stalen voetplaten aan funderingen van beton,” TU-Delft Stevin Laboratory, Delft, 1989.
- [2] K. McBride, „Steel shear strength of anchors with stand-off base plates,” University of Florida, Florida, 2013.
- [3] R. Mallée, „Größere Querlasten,” *Fischer connet it*, nr5 augustus 2005.
- [4] NEN-EN 1993-1-8, „Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen,” NEN, Nederland, 2011.
- [5] NEN-EN 1992-4, „Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 4: Ontwerp en berekening van bevestigingsmiddelen voor gebruik in beton,” NEN, Nederland, 2018.
- [6] D. Hordijk en J. Stark, „Kolomvoetpaatverbindingen,” CURnet/Bouwen met Staal, 2009.
- [7] R. Eligehausen, R. Mallée en J. Silva, *Anchorage in Concrete Constructions*, Berlin: Ernst & Sohn A Wiley Company, 2005.
- [8] NEN 3880, „Voorschriften beton (VB 1974/1984),” NEN, Nederland, 1984.
- [9] IS_800, „BIS - General construction of steel - code of practice,” Bureau of Indian standards, New Delhi, 2007.
- [10] J. Walraven, „Aggregate interlock: A theoretical and experimental analysis,” TU-Delft, Delft, 1980.
- [11] EOTA, „ETAG 001 Guideline for European technical approval of metal Anchors for use in concrete,” EOTA, Brussels, 1997 3rd amendment August 2010.
- [12] NEN 6772, „Staalconstructies TGB 1990,” NEN, 1990.
- [13] Y. Li, „Stand-off design with grout,” 2021.
- [14] NEN-EN 1090-2, „Het vervaardigen van staal- en aluminiumconstructies - Deel 2: Technische eisen voor staalconstructies,” NEN, Nederland, 2018.
- [15] A. M. Gresnigt, A. Romeijn, F. Wald en M. Steenhuis, „Column bases in shear and normal force,” *HERON vol.53*, 2008.
- [16] A. G. J. Berkelder, „Mortelvoegen, voetplaten en ankers,” *Bouwen met Staal*, 1973.
- [17] P. Dusicka, G. Lewis en C. Smith, „Effect on fillers on steel girder field splice performance,” Portland state University, Portland, 2012.
- [18] A. den Deurwaarder, „Bepaling van de afschuifcapaciteit van kolomvoetplaatverbinding,” Technische universiteit eindhoven, Eindhoven, 2007.
- [19] J. Yura, M. Hansen en K. Frank, „Bolted Splice Connections with Undeveloped Fillers,” *Journal of the Structural Division*, pp. 2837-2849, 1982.
- [20] NEN-EN 1992-1-1, „Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen,” NEN, Nederland, 2011.
- [21] OSHA-29-CFR-1926-Part-R, „Steel Erection,” United states department of labor, 2020.
- [22] H. Ketabdari, A. Saedi en N. Hassani, „Predicting post-fire mechanical properties of grade 8.8 and 10.9 steel bolts,” *Journal of Constructional Steel Research*, 2019.
- [23] M. A. Hendriks en M. A. Roosen, „Guidelines for Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures,” Rijkswaterstaat Centre for Infrastructure, Report RTD:1016-1, 2019.
- [24] NEN-EN 15048-1, „Niet-voorgespannen bevestigingsmiddelen voor constructieve toepassingen - Deel 1: Algemene eisen,” NEN, Nederland, 2016.

Symbolen

a_3	-	afstand tussen oppervlakte en inklemming van een anker bij afstandmontage
d	-	nominale diameter van bout of anker
d_s	-	rekenkundige diameter van bout of anker
e_1	-	fysieke stelruimte
f_{ub}	-	treksterkte van bout of anker
f_{yb}	-	vloeigrens van bout of anker
k_6	-	zie α_v
l_a	-	rekenkundige stelruimte
t_{fix}	-	dikte van de verbindingsplaat
t_{mortel}	-	hoogte van fysieke mortellaag
t_p	-	dikte van het pakket van stalen vullingen
A_s	-	spanningsdoorsnede van bout of anker
A_v	-	afschuifoppervlak
D	-	interne drukkracht die optreedt in een staal-betonverbinding dat volgt uit $F_{v,Ed}^*e$
$F_{v,k}$	-	kenmerkende waarde van de afschuifcapaciteit
$F_{v,Ed}$	-	rekenwaarde van de afschuifkracht voor de uiterste grenstoestand
$F_{v,Rd}$	-	rekenwaarde van de afschuifcapaciteit van een bout of anker
$F_{v,Rd,M}$	-	rekenwaarde van de afschuifcapaciteit van een bout of anker tgv een afstandmontage
L_i	-	lengte van hefboomarm van anker i tot drukpunt D
$M_{Rk,s}$	-	kenmerkende weerstand tegen buiging van bout of ankers
M_{Ed}	-	rekenwaarde van het buigend moment voor de uiterste grenstoestand
N_{Ed}	-	rekenwaarde van de normaalkracht voor de uiterste grenstoestand
$N_{t,Ed}$	-	rekenwaarde van de treknormaalkracht voor de uiterste grenstoestand
T_i	-	interne trekkracht in een anker dat optreedt in een staal-betonverbinding dat volgt uit $F_{v,Ed}^*e$
V_i	-	aandeel in de afschuifcapaciteit in een staal-betonverbinding opgenomen door een anker
$V_{Rd,s}$	-	zie $F_{v,Rd}$
V_w	-	aandeel in de afschuifcapaciteit in een staal-betonverbinding opgenomen door wrijving
W_{el}	-	elastische weerstand tegen buiging
W_{pl}	-	plastische weerstand tegen buiging
α	-	verhouding van plastische en elastische weerstand tegen buiging van doorsnedes
α_{bc}	-	reductiefactor voor de afschuifcapaciteit van ankers volgens NEN-EN 1993-1-8
α_M	-	aantal inklemmingen van een anker bij afstandmontage
α_v	-	verhouding tussen de afschuif- en trekcapaciteit van stalen bouten en ankers
β	-	reductiefactor voor de afschuifcapaciteit van ankers bij stelruimte
β_p	-	reductiefactor voor de afschuifcapaciteit van bouten met stalen vulplaten
δ	-	verplaatsing
δ_i	-	verplaatsing in een aangeduide as-richting
μ	-	wrijvingscoëfficiënt volgens uit $\tan$ (wrijvingshoek) van het materiaal.
τ	-	afschuifspanning
γ_q	-	partiële veiligheidsfactor voor permanente belastingen
γ_{m2}	-	partiële veiligheidsfactor voor bouten en ankers met de waarde van 1,25
γ_{Ms}	-	partiële veiligheidsfactor voor bouten en ankers met de waarde van 1,25 als geldt: $1,0 \cdot f_{ub}/f_{yb} \geq 1,25$ als $f_u \leq 800 \text{ N/mm}^2$ en $f_{yb}/f_{ub} \leq 0,8$
γ_q	-	partiële veiligheidsfactor voor veranderlijke belastingen

AFSTUDEERONDERZOEK

AFSCHUIFCAPACITEIT VAN ANKERS MET MORTELGEVULDE STELRUIMTE

Student/nr.: Arco de Gelder - 17803

Bijlagen

1. Resultaten enquête

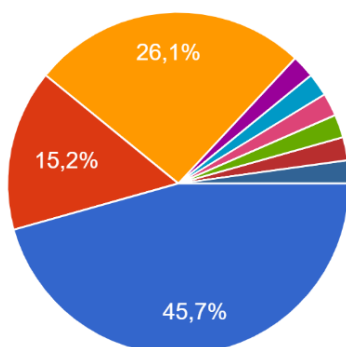


figuur 1-1 Spreiding deelnemers enquête over Nederland en België

De antwoorden op de 2^{de} tab zijn niet weergegeven. Dit is een antwoord van een enkele respondent en nagenoeg altijd een variant van de andere antwoorden met een nuance die belangrijk was voor de respondent.

Bij wat voor type bedrijf werkt u.

46 antwoorden

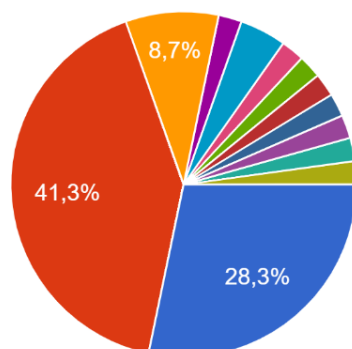


- Advies en engineeringbureau voor h...
- Advies en engineeringbureau voor w...
- Staalbouw en staalconstructie
- Montagebedrijf
- zelfstandig staal tekenbureau
- Staalbouwkundig Tekentbureau / ZZP
- engineering betonconstructies
- Toeleverancier bouw (ankers)

▲ 1/2 ▼

Welke functiebeschrijving past het meest bij uw werkzaamheden.

46 antwoorden

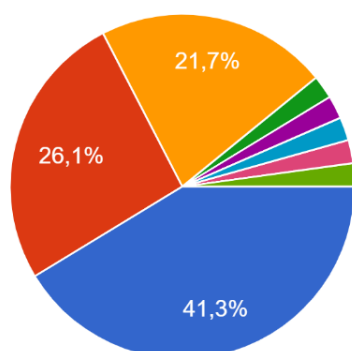


- Detailconstructeur
- Hoofdconstructeur
- Tekenaar/modelleur voor werkplaatste...
- Tekenaar/modelleur voor plantekeningen
- Projectleider engineering
- Projectleider staalbouw
- Hoofd en Detailconstructeur staal
- Project Engineer

▲ 1/2 ▼

Welke gatspelling wordt er binnen jullie bedrijf toegepast bij voetplaten in staal-beton verbindingen.

46 antwoorden



- +2mm tot en met M24 en +3mm vanaf M27
- +4mm tot en met M24 en +6mm vanaf M27
- Wij schrijven geen gatdiameter voor
- Altijd 4mm
- maatwerk; in vaak ruime gaten met sl...
- 20 mm
- 4mm bij alle diameters
- +4mm bij alle staal-betonverbindingen

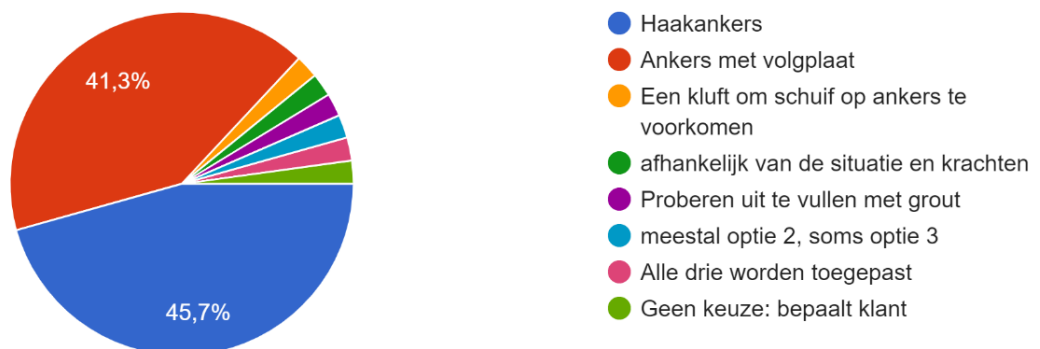
Welke stelruimte word in basis gebruikt voor een M20 anker.

46 antwoorden



Wat voor type anker wordt in basis gebruikt bij voetplaten die op schuif worden belast, zoals bij een windverband.

46 antwoorden



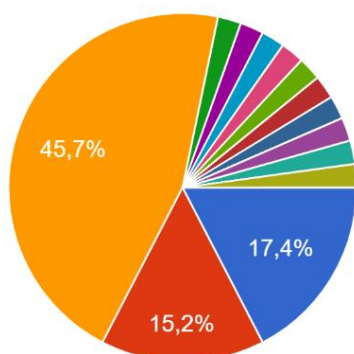
De schuifcapaciteit van ankers kunnen volgens 2 codes worden getoetst. Welke code wordt in basis gebruikt binnen jullie bedrijf.

46 antwoorden



Binnen diverse software zoals die van Hilti, Fischer en IDEA kan stelruimte met mortel aan en uit worden gezet. Negeert u deze mortelstelruimte wel ...de capaciteit van de ankers op schuif tegen valt.

46 antwoorden

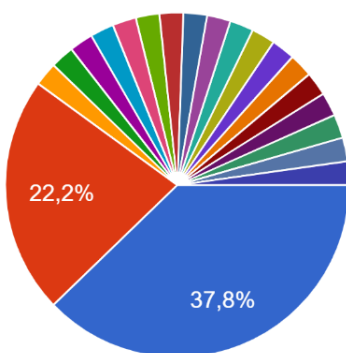


- Ja met regelmaat
- Ja en vervolgens toetsen we dit hand...
- Nee, de stelruimte wordt altijd gebruikt...
- Wordt handmatig gecontroleerd
- altijd in overleg met de detailberekenaar
- Geen idee
- Nee, het wordt meestal niet genegeer...
- Ik gebruik om die reden voor ankers...

▲ 1/2 ▼

Worden ankers gemonteerd met een standaard aanhaalmoment "handvast" of heeft uw montage hier geen richtlijn voor.

45 antwoorden

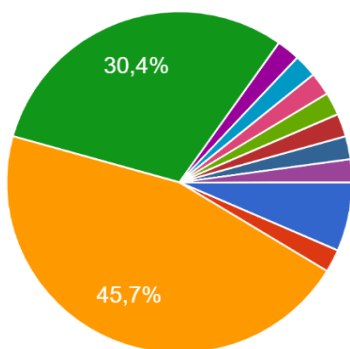


- Ja alle ankers worden op standaard a...
- Nee
- Wij hebben daar geen richtlijn voor.
- afhankelijk van project staalbouw in d...
- NEN-EN 1090-2 voorschrijf Lengkeek
- Voor portalen aanspannen vlgs protocol
- Wij schrijven dat niet voor
- geven wij niet op

▲ 1/3 ▼

Worden de gaten in voetplaten in het werk afgevuld om speling bij ankers te voorkomen met bijvoorbeeld lijm of houdt u toezicht als u dit voorschrijft dat dit ook gebeurt?

46 antwoorden



- Ja bij alle voetplaten
- Ja alleen toe bij lijmankeers
- Ja maar alleen bij lijmankeers als de so...
- Nee dit passen wij niet toe
- komt soms voor dat we dit voorschrijven
- schrijven het wel voor maar weet niet...
- Indien nauwkeurige stuik vereist is, of...
- In 90% van de gevallen passen wij dit...

▲ 1/2 ▼

Kent u of uw bedrijf schadegevallen waarin ankers op afschuiving zijn gebroken, weet u wat de oorzaak was van deze breuk en in welke situatie dat is gebeurd? Het gaat hier om zuiver staalbreuk en niet om bezwijken van het beton.

Nee ik ben hier niet mee bekend.	Nee.	nog niet meegemaakt
nee	Nee	Nee maar omdat windbokken soms buiten de schematisering van de hoofdconstructie vallen kan ik mij voorstellen dat daar wel eens iets misgaat.
Nee nog nooit meegemaakt.	Nee	Geen concrete schade wel altijd gesteggel
Nee	Geen voorbeelden die me zo te binnenschieten.	Nee
Nee	Nee meestal een combinatie, geen zuivere schuif	n.v.t.
Geen schadegeval bekend	Nee	Nee nooit meegemaakt
Nee, geen schadegevallen bekend.	Neen	Is nooit voorgekomen.
Geen geval bekend.	Nee	Nee
nee	Nee	Geen schade gevallen bekend. Voorkeur voor het toepassen van haakankers 4.6, omdat deze t.o.v. 8.8 meer vervormingscapaciteit hebben.
Nee van de 15000 details geen een situatie meegemaakt	nee	nee, geen gevallen bekend.
nee, in 28j nog niet meegemaakt	Neen	Nee
nee, alleen bij brandschade	Nee, ga nog wel even navragen intern.	Nee, wij kunnen geen schadegevallen
Nee	Nee, niet bekend	Nee
geen gevallen meegemaakt in 30 jaar.	Nee	

Welk type mortel wordt er gebruikt om de stelruimte te vullen of schrijft u voor om te gebruiken.

Deze vraag is als open vraag gesteld en de antwoorden zijn handmatig samengevoegd tot een overzichtelijk geheel.

Schrijven geen mortel voor	1
Krimparme mortel	8
K30	1
K50	2
K60	1
K70	19
K80	1
HIT-RE500 of rondom lassen	1
Minimale druksterkte beton	4
Overig	3

2. Uitvoeren verankeringssoftware

2.1. Controle rekensoftware

Voor de afschuifcapaciteit zonder stelruimte wordt vergelijking (2) toegepast. Op de berekening van klasse 5.8-ankers van Fischer na wordt er een α_v van 0,5 gebruikt conform [5, p. 7.2.2.3.1] ($f_{ub} > 500 \text{ N/mm}^2$). Voor de klasse 5.8-anker van Fischer wordt een $\alpha_v = 0,6$ voor $f_{ub} < 500 \text{ N/mm}^2$ toegepast.

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} = \frac{0,5 * 245 * 500}{1,25} = 49 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} = \frac{0,6 * 245 * 500}{1,25} = 58,8 \text{ kN}$$

Voor de afschuifcapaciteit met stelruimte bij ongescheurd beton wordt vergelijking (3) toegepast. In alle software is de mate van inklemming α_M instelbaar. Hieronder wordt dit verder uitgewerkt.

Voor gescheurd beton wordt vergelijking (9) gebruikt.

Rekenkundige stelruimte l bij 15 mm = $15 + 0,5 * 20 + 0,5 * 10 = 30 \text{ mm}$.

Rekenkundige stelruimte l bij 30 mm = $30 + 0,5 * 20 + 0,5 * 10 = 45 \text{ mm}$.

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_M * M_{Rk,s}}{l * \gamma_{m2}} = \frac{2 * 1,5 * \frac{\pi}{32} * 17,7^3 * 400}{30 * 1,25} = 17,42 \text{ kN} \quad \begin{array}{l} 5.8 \\ 15 \text{ mm stelruimte} \end{array}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_M * M_{Rk,s}}{l * \gamma_{m2}} = \frac{2 * 1,5 * \frac{\pi}{32} * 17,7^3 * 400}{45 * 1,25} = 11,61 \text{ kN} \quad \begin{array}{l} 5.8 \\ 30 \text{ mm stelruimte} \end{array}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_M * M_{Rk,s}}{l * \gamma_{m2}} = \frac{2 * 1,5 * \frac{\pi}{32} * 17,7^3 * 640}{30 * 1,25} = 27,87 \text{ kN} \quad \begin{array}{l} 8.8 \\ 15 \text{ mm stelruimte} \end{array}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_M * M_{Rk,s}}{l * \gamma_{m2}} = \frac{2 * 1,5 * \frac{\pi}{32} * 17,7^3 * 640}{45 * 1,25} = 18,58 \text{ kN} \quad \begin{array}{l} 8.8 \\ 30 \text{ mm stelruimte} \end{array}$$

Alle software komt op afrondingen onderling gelijk uit. Met uitzondering op de afschuifcapaciteit van ankers zonder stelruimte in de berekening van Fischer. Hierna zijn de afschuifcapaciteitsberekeningen van de verschillende software terug te vinden.

		Leveranciers				
		Stelruimte	B+Btec	Halfen	Fischer	Hilti
F _{v,Ed} (kN) Anker M20	5.8					
	0	48.8	48.8	59.2	49.04	
	15	17.28	17.33	17.28	17.31	
	30	11.52	11.56	11.52	11.54	
	8.8					
	0	78.4	x	78.4	78.4	
	15	27.68	x	27.68	27.69	
	30	18.45	x	18.45	18.46	

tabel 2-1 Resultaten van M20-ankers met verschillende stelruimte uit vier verschillende soorten rekensoftware

2.2. B+Btec

M20 5.8 direct

2/8/2022

DesignFix 3.4.8061.5

Leverancier: **B+Btec Export Division**
Munterij 8 | 4762 AH Zevenbergen
Telefoon: +31 168 331 260, E-mail: info@bbtectoools.com

Product: **B+Btec Export Division**
Injectie systeem BIS-HY - Materiaal: 5.8 EV
M20
Draadstang: $l = 90 + 10 + 21 + 5 = 126 \text{ mm}$



Ontwerpmethode: ETAG 001, TR 029
Goedkeuring: ETA-16/0958 | 2/20/2017



Basismateriaal: Ongescheurd beton C30/37
Geen of normale wapening
Temperatuur: Korte termijn = 40°C | Lange termijn = 24°C

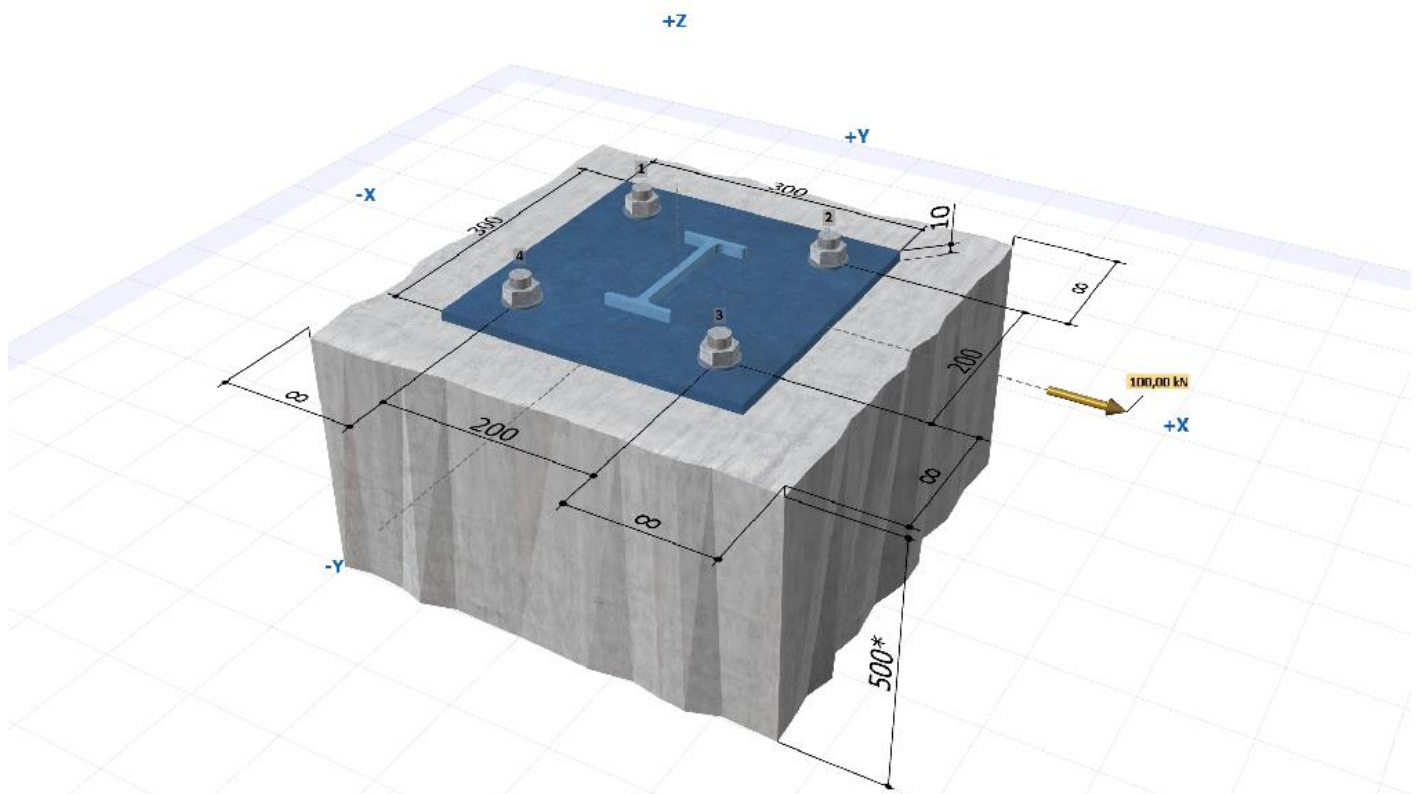
Installatie: Voorsteekmontage | Hamerboren | Reiniging met perslucht (min. 6 bar | CAC) |
Doorvoergat niet opgevuld. | Droog/nat

Verankeringsdiepte: $h_{ef} = 90 \text{ mm}$

Ankerplaat: Rechthoek 300 • 300 • 10
Profiel: I-profiel - Grootte: I 140

Last: Statisch/quasi-statisch

Eenheden: Belasting [kN, kNm] | Afmetingen [mm], * Niet op schaal



Ankerlasten [kN]:

Anker	N	V	Vx	Vy
1	0.00	25.00	25.00	0.00
2	0.00	25.00	25.00	0.00
3	0.00	25.00	25.00	0.00
4	0.00	25.00	25.00	0.00

Beton:

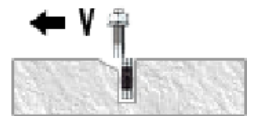
Max. compressie	-	[‰]
Max. betondrukspanning	-	
Resulterende trekkracht	-	
xZ / yZ:	- / -	
Resulterende drukkracht	-	
xD / yD:	- / -	

← V Afschuifkrachten**Staalbreuk (Zonder hefboomarm)**

$$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$$

$$25.00 \leq 61.00 / 1.25 = 48.80 \text{ kN}$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,s} = 51.2\%$$

**Beton achteruitbreken:**

Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7a)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N,x} \cdot \psi_{ec,N,y}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 52.45 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 317.90 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 317.90 / 1.50 = 211.93$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 47.2\%$$



Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np,x} \cdot \psi_{ec,Np,y} \cdot \psi_{g,Np}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

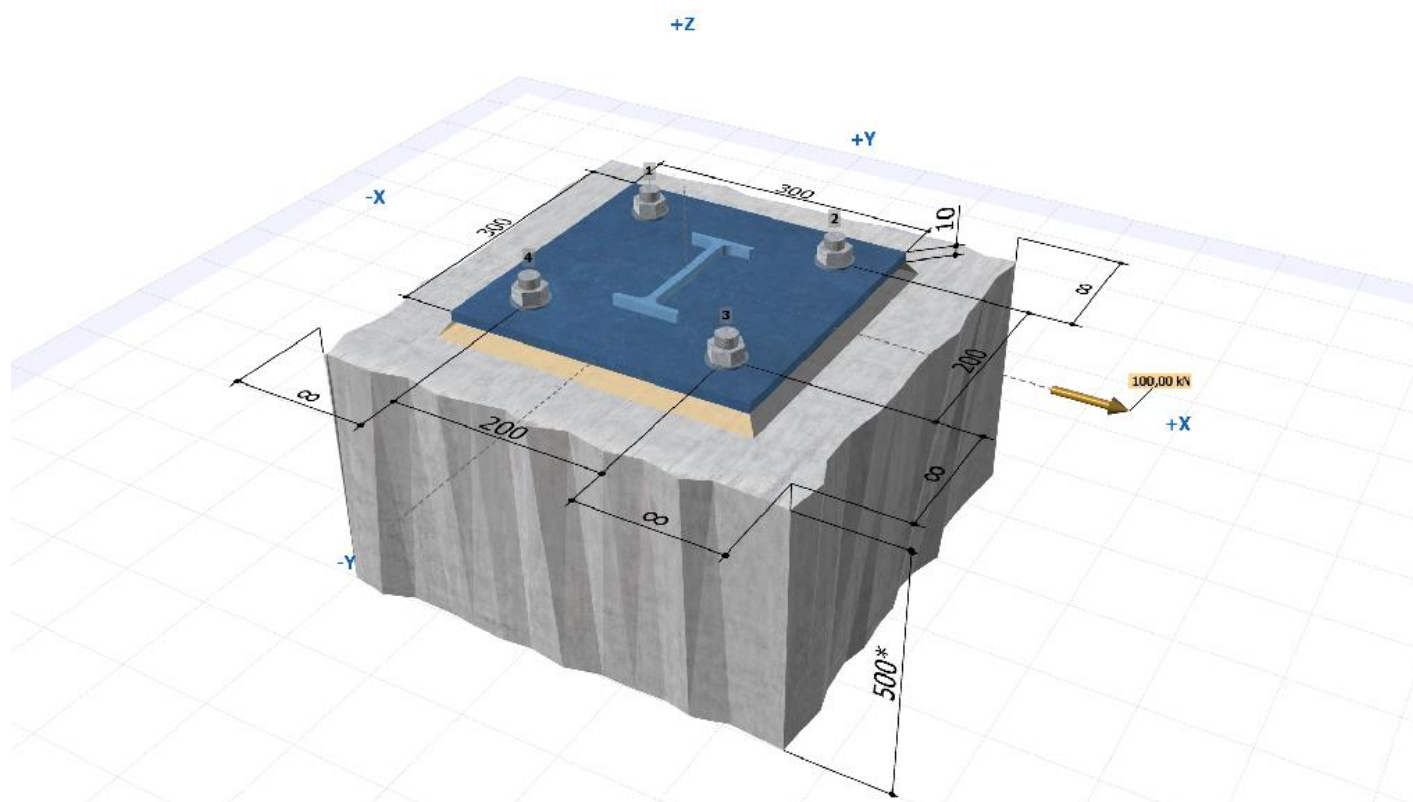
Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 82.33 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 498.96 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 498.96 / 1.50 = 332.64$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 30.1\%$$

Leverancier:	B+BTec Export Division Munterij 8 4762 AH Zevenbergen Telefoon: +31 168 331 260, E-mail: info@bbtectools.com
Product:	B+BTec Export Division Injectie systeem BIS-HY - Materiaal: 5.8 EV M20 Draadstang: $l = 90 + 25 + 21 + 5 = 141$ mm
Ontwerpmethode:	ETAG 001, TR 029
Goedkeuring:	ETA-16/0958 2/20/2017
Basismateriaal:	Ongescheurd beton C35/45 Dichte wapening Temperatuur: Korte termijn = 40°C Lange termijn = 24°C
Installatie:	Voorsteekmontage Hamerboren Reiniging met perslucht (min. 6 bar CAC) Doorvoergat niet opgevuld. Droog/nat
Verankeringsdiepte:	$h_{ef} = 90$ mm
Buiging:	Met ondersabeling Afstand $a = 15$ mm Hefboomarm $l = 30$ mm Mate van weerstand $\alpha_M = 2.0$
Ankerplaat:	Rechthoek 300 • 300 • 10
Profiel:	I-profiel - Grootte: I 140
Last:	Statisch/quasi-statisch
Eenheden:	Belasting [kN, kNm] Afmetingen [mm], * Niet op schaal

B+BTec

Ankerlasten [kN]:

Anker	N	V	V _x	V _y
1	0.00	25.00	25.00	0.00
2	0.00	25.00	25.00	0.00
3	0.00	25.00	25.00	0.00
4	0.00	25.00	25.00	0.00

Beton:

Max. compressie	-	[‰]
Max. betondrukspanning	-	
Resulterende trekkracht	-	
xZ / yZ:	- / -	
Resulterende drukkracht	-	
xD / yD:	- / -	

← V Afschuifkrachten**Staalbreuk (Met hefboomarm)**

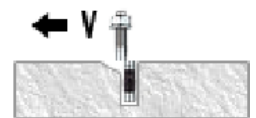
$$V_{Rk,s} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Sd} / (N_{Rk,s} / \gamma_{Ms})) //$$

$$V_{Sd}^h > V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$$

$$V_{Rk,s} = 2.0 \cdot 324.00 \cdot (1 - 0.00 / (122.00 / 1.50)) / 30 = 21.60 \text{ kN}$$

$$25.00 > 21.60 / 1.25 = 17.28 \text{ kN}$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,s} = 144.7\%$$

**Beton achteruitbreken:**

Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7a)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N,x} \cdot \psi_{ec,N,y}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 57.85 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 333.05 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 333.05 / 1.50 = 222.04$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 45.0\%$$



Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np,x} \cdot \psi_{ec,Np,y} \cdot \psi_{g,Np}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 84.71 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 487.69 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 487.69 / 1.50 = 325.13$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 30.8\%$$

Leverancier: **B+BTec Export Division**
 Munterij 8 | 4762 AH Zevenbergen
 Telefoon: +31 168 331 260, E-mail: info@bbtectools.com

Product: **B+BTec Export Division**
Injectie systeem BIS-HY - Materiaal: 5.8 EV
 M20
 Draadstang: $l = 90 + 40 + 21 + 5 = 156 \text{ mm}$



Ontwerpmethode: ETAG 001, TR 029
 Goedkeuring: ETA-16/0958 | 2/20/2017



Basismateriaal: Ongescheurd beton C35/45
 Dichte wapening
 Temperatuur: Korte termijn = 40°C | Lange termijn = 24°C

Installatie: Voorsteekmontage | Hamerboren | Reiniging met perslucht (min. 6 bar | CAC) |
 Doorvoergat niet opgevuld. | Droog/nat

Verankeringsdiepte: $h_{ef} = 90 \text{ mm}$

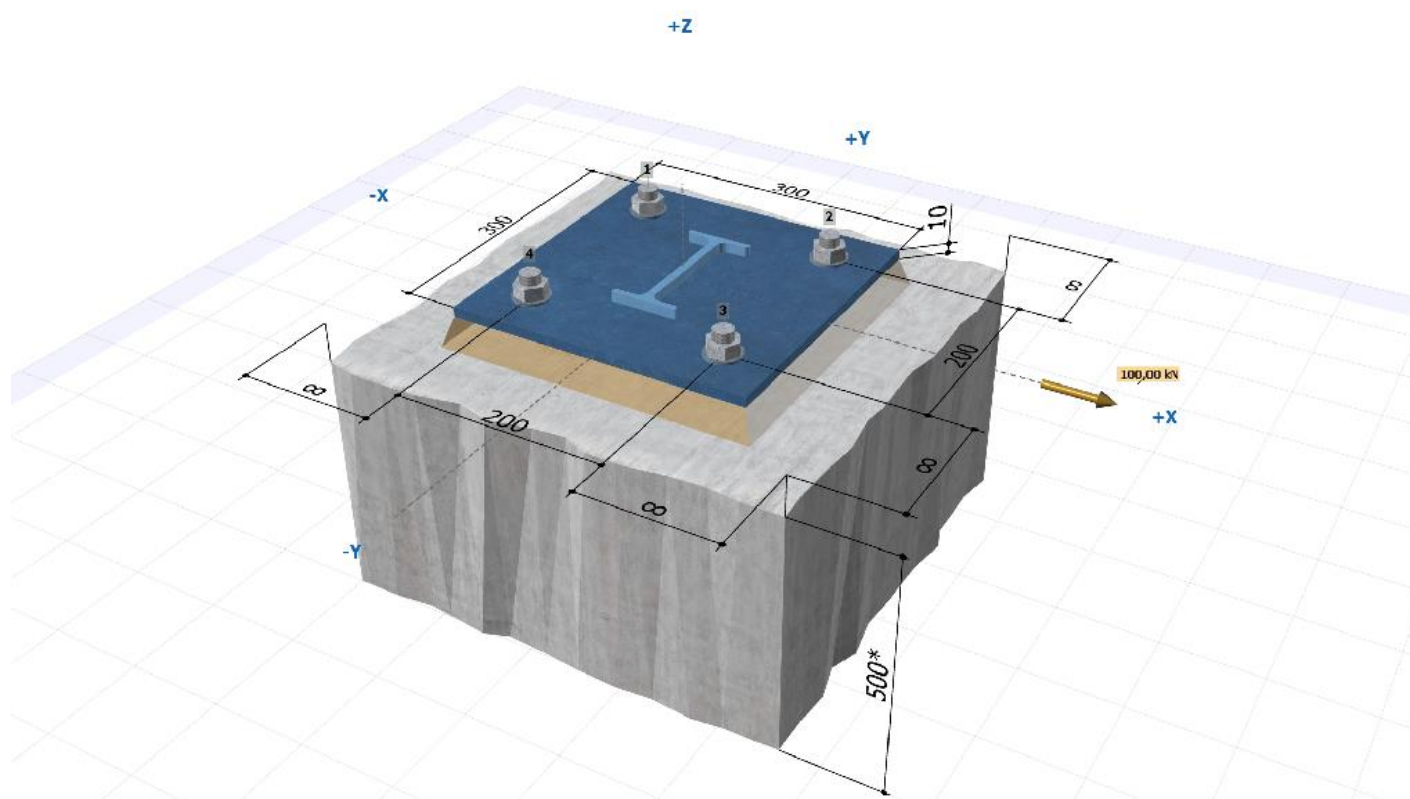
Buiging: Met ondersabeling | Afstand $a = 30 \text{ mm}$
 Hefboomarm $l = 45 \text{ mm}$ | Mate van weerstand $\alpha_M = 2.0$

Ankerplaat: Rechthoek 300 • 300 • 10

Profiel: I-profiel - Grootte: I 140

Last: Statisch/quasi-statisch

Eenheden: Belasting [kN, kNm] | Afmetingen [mm], * Niet op schaal



Ankerlasten [kN]:

Anker	N	V	V _x	V _y
1	0.00	25.00	25.00	0.00
2	0.00	25.00	25.00	0.00
3	0.00	25.00	25.00	0.00
4	0.00	25.00	25.00	0.00

Beton:

Max. compressie	-	[‰]
Max. betondrukspanning	-	
Resulterende trekkracht	-	
xZ / yZ:	- / -	
Resulterende drukkracht	-	
xD / yD:	- / -	

← V Afschuifkrachten**Staalbreuk (Met hefboomarm)**

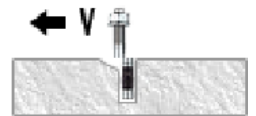
$$V_{Rk,s} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Sd} / (N_{Rk,s} / \gamma_{Ms})) //$$

$$V_{Sd}^h > V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$$

$$V_{Rk,s} = 2.0 \cdot 324.00 \cdot (1 - 0.00 / (122.00 / 1.50)) / 45 = 14.40 \text{ kN}$$

$$25.00 > 14.40 / 1.25 = 11.52 \text{ kN}$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,s} = 217.0\%$$

**Beton achteruitbreken:**

Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7a)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N,x} \cdot \psi_{ec,N,y}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 57.85 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 333.05 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 333.05 / 1.50 = 222.04$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 45.0\%$$



Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np,x} \cdot \psi_{ec,Np,y} \cdot \psi_{g,Np}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 84.71 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 487.69 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 487.69 / 1.50 = 325.13$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 30.8\%$$

Leverancier: **B+BTec Export Division**
 Munterij 8 | 4762 AH Zevenbergen
 Telefoon: +31 168 331 260, E-mail: info@bbtectools.com

Product: **B+BTec Export Division**
Injectie systeem BIS-HY - Materiaal: 8.8 EV
 M20
 Draadstang: $l = 90 + 10 + 21 + 5 = 126 \text{ mm}$



Ontwerpmethode: ETAG 001, TR 029
 Goedkeuring: ETA-16/0958 | 2/20/2017



Basismateriaal: Ongescheurd beton C30/37
 Geen of normale wapening
 Temperatuur: Korte termijn = 40°C | Lange termijn = 24°C

Installatie: Voorsteekmontage | Hamerboren | Reiniging met perslucht (min. 6 bar | CAC) |
 Doorvoergat niet opgevuld. | Droog/nat

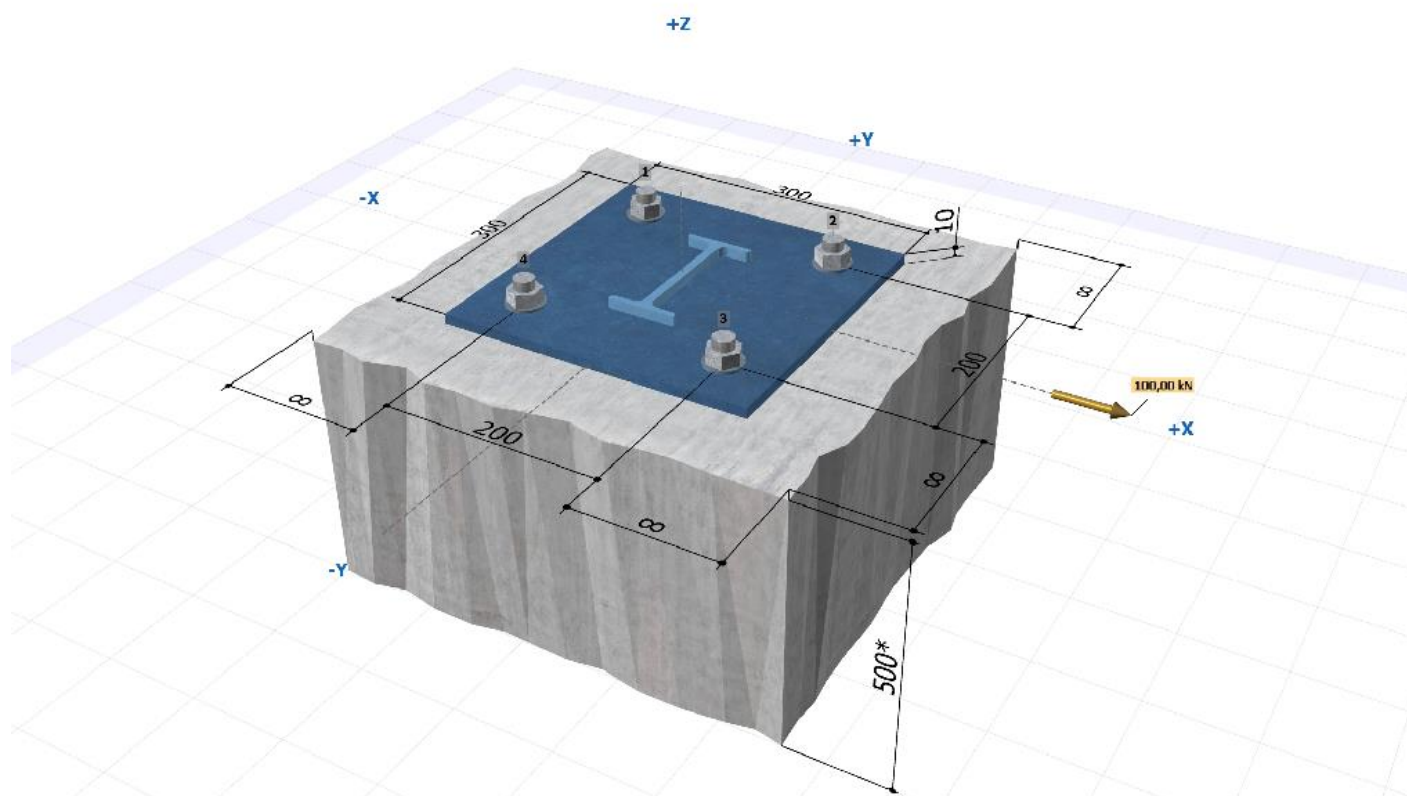
Verankeringsdiepte: $h_{ef} = 90 \text{ mm}$

Ankerplaat: Rechthoek 300 • 300 • 10

Profiel: I-profiel - Grootte: I 140

Last: Statisch/quasi-statisch

Eenheden: Belasting [kN, kNm] | Afmetingen [mm], * Niet op schaal



Ankerlasten [kN]:

Anker	N	V	Vx	Vy
1	0.00	25.00	25.00	0.00
2	0.00	25.00	25.00	0.00
3	0.00	25.00	25.00	0.00
4	0.00	25.00	25.00	0.00

Beton:

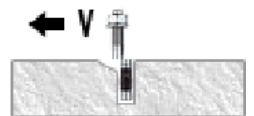
Max. compressie - [%]
 Max. betondrukspanning -
 Resulterende trekkracht -
 xZ / yZ: - / -
 Resulterende drukkracht -
 xD / yD: - / -

← V Afschuifkrachten**Staalbreuk (Zonder hefboomarm)**

$$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$$

$$25.00 \leq 98.00 / 1.25 = 78.40 \text{ kN}$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,s} = 31.9\%$$

**Beton achteruitbreken:**

Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7a)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N,x} \cdot \psi_{ec,N,y}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 52.45 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 317.90 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 317.90 / 1.50 = 211.93$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 47.2\%$$



Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np,x} \cdot \psi_{ec,Np,y} \cdot \psi_{g,Np}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 82.33 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 498.96 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 498.96 / 1.50 = 332.64$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 30.1\%$$

Leverancier: **B+BTec Export Division**
 Munterij 8 | 4762 AH Zevenbergen
 Telefoon: +31 168 331 260, E-mail: info@bbtectools.com

Product: **B+BTec Export Division**
Injectie systeem BIS-HY - Materiaal: 8.8 EV
 M20
 Draadstang: $l = 90 + 25 + 21 + 5 = 141 \text{ mm}$



Ontwerpmethode: ETAG 001, TR 029
 Goedkeuring: ETA-16/0958 | 2/20/2017



Basismateriaal: Ongescheurd beton C35/45
 Dichte wapening
 Temperatuur: Korte termijn = 40°C | Lange termijn = 24°C

Installatie: Voorsteekmontage | Hamerboren | Reiniging met perslucht (min. 6 bar | CAC) |
 Doorvoergat niet opgevuld. | Droog/nat

Verankeringsdiepte: $h_{ef} = 90 \text{ mm}$

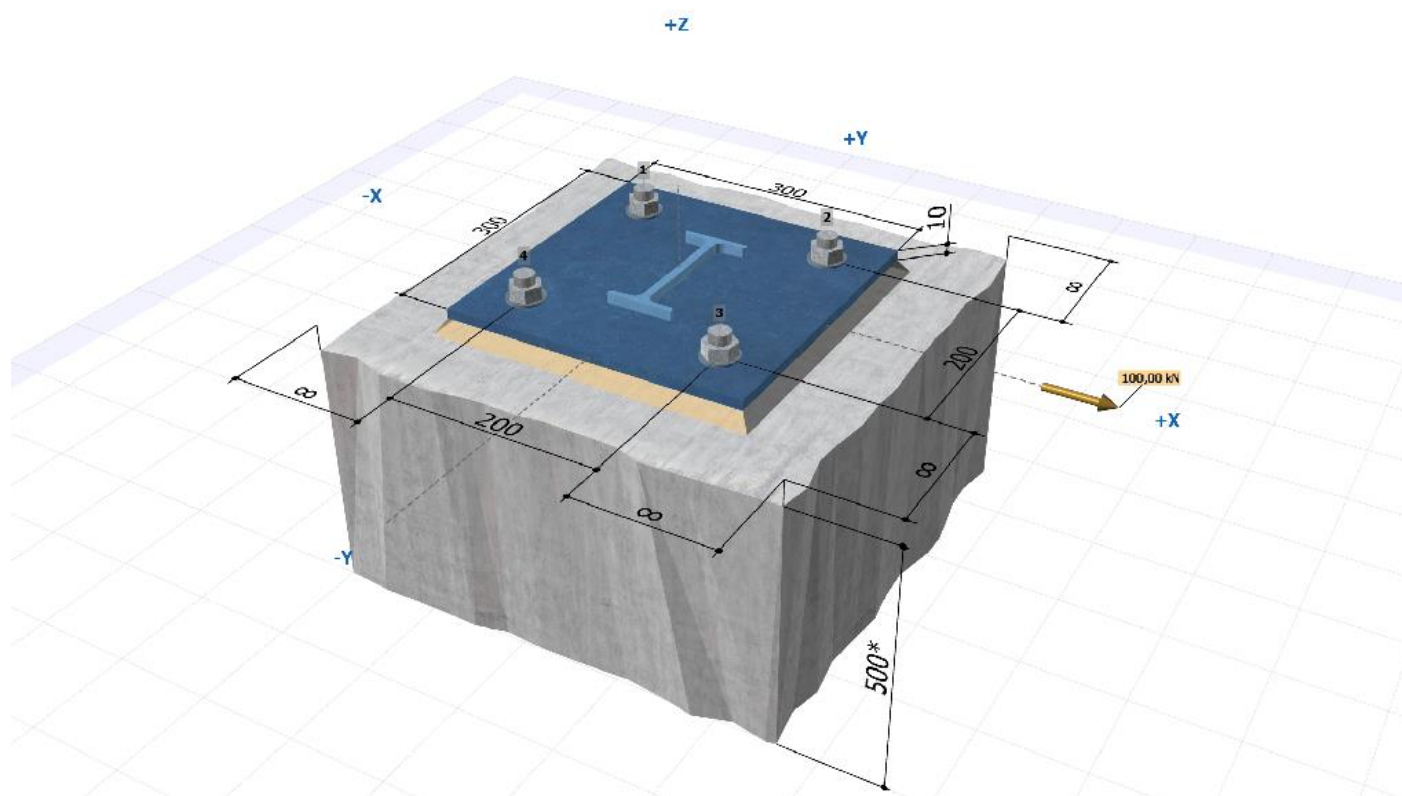
Buiging: Met ondersabeling | Afstand $a = 15 \text{ mm}$
 Hefboomarm $l = 30 \text{ mm}$ | Mate van weerstand $\alpha_M = 2.0$

Ankerplaat: Rechthoek 300 • 300 • 10

Profiel: I-profiel - Grootte: I 140

Last: Statisch/quasi-statisch

Eenheden: Belasting [kN, kNm] | Afmetingen [mm], * Niet op schaal



Ankerlasten [kN]:

Anker	N	V	V _x	V _y
1	0.00	25.00	25.00	0.00
2	0.00	25.00	25.00	0.00
3	0.00	25.00	25.00	0.00
4	0.00	25.00	25.00	0.00

Beton:

Max. compressie	-	[%]
Max. betondrukspanning	-	
Resulterende trekkracht	-	
xZ / yZ:	- / -	
Resulterende drukkracht	-	
xD / yD:	- / -	

← V Afschuifkrachten**Staalbreuk (Met hefboomarm)**

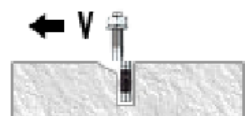
$$V_{Rk,s} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Sd} / (N_{Rk,s} / \gamma_{Ms})) //$$

$$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$$

$$V_{Rk,s} = 2.0 \cdot 519.00 \cdot (1 - 0.00 / (196.00 / 1.50)) / 30 = 34.60 \text{ kN}$$

$$25.00 \leq 34.60 / 1.25 = 27.68 \text{ kN}$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,s} = 90.3\%$$

**Beton achteruitbreken:**

Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7a)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N,x} \cdot \psi_{ec,N,y}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 57.85 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 333.05 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 333.05 / 1.50 = 222.04$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 45.0\%$$



Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np,x} \cdot \psi_{ec,Np,y} \cdot \psi_{g,Np}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 84.71 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 487.69 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 487.69 / 1.50 = 325.13$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 30.8\%$$

Leverancier: **B+BTec Export Division**
 Munterij 8 | 4762 AH Zevenbergen
 Telefoon: +31 168 331 260, E-mail: info@bbtectools.com

Product: **B+BTec Export Division**
Injectie systeem BIS-HY - Materiaal: 8.8 EV
 M20
 Draadstang: $l = 90 + 40 + 21 + 5 = 156 \text{ mm}$



Ontwerpmethode: ETAG 001, TR 029
 Goedkeuring: ETA-16/0958 | 2/20/2017



Basismateriaal: Ongescheurd beton C35/45
 Dichte wapening
 Temperatuur: Korte termijn = 40°C | Lange termijn = 24°C

Installatie: Voorsteekmontage | Hamerboren | Reiniging met perslucht (min. 6 bar | CAC) |
 Doorvoergat niet opgevuld. | Droog/nat

Verankeringsdiepte: $h_{ef} = 90 \text{ mm}$

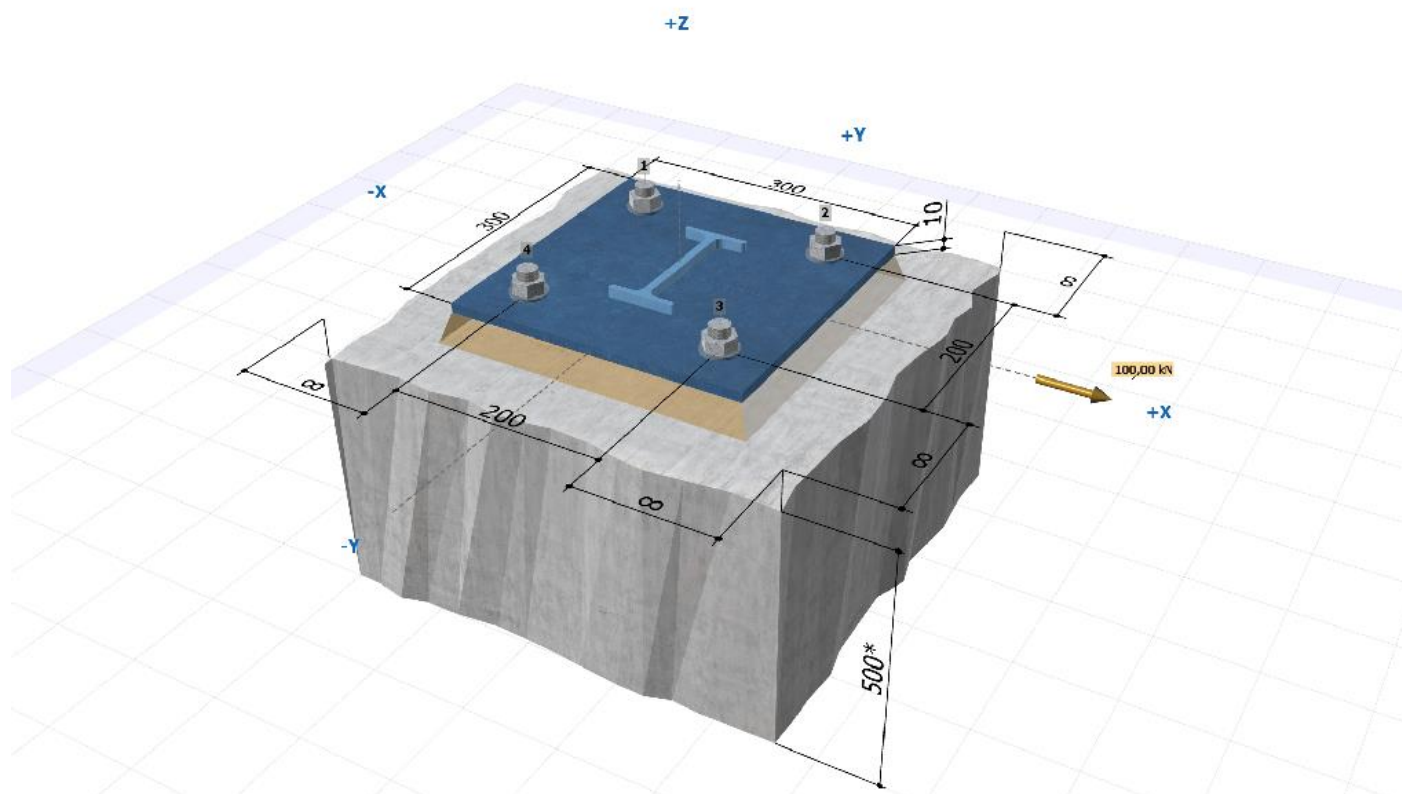
Buiging: Met ondersabeling | Afstand $a = 30 \text{ mm}$
 Hefboomarm $l = 45 \text{ mm}$ | Mate van weerstand $\alpha_M = 2.0$

Ankerplaat: Rechthoek 300 • 300 • 10

Profiel: I-profiel - Grootte: I 140

Last: Statisch/quasi-statisch

Eenheden: Belasting [kN, kNm] | Afmetingen [mm], * Niet op schaal



Ankerlasten [kN]:

Anker	N	V	V _x	V _y
1	0.00	25.00	25.00	0.00
2	0.00	25.00	25.00	0.00
3	0.00	25.00	25.00	0.00
4	0.00	25.00	25.00	0.00

Beton:

Max. compressie	-	[‰]
Max. betondrukspanning	-	
Resulterende trekkracht	-	
xZ / yZ:	- / -	
Resulterende drukkracht	-	
xD / yD:	- / -	

← V Afschuifkrachten**Staalbreuk (Met hefboomarm)**

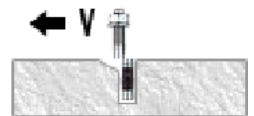
$$V_{Rk,s} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Sd} / (N_{Rk,s} / \gamma_{Ms})) //$$

$$V_{Sd}^h > V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$$

$$V_{Rk,s} = 2.0 \cdot 519.00 \cdot (1 - 0.00 / (196.00 / 1.50)) / 45 = 23.07 \text{ kN}$$

$$25.00 > 23.07 / 1.25 = 18.45 \text{ kN}$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,s} = 135.5\%$$

**Beton achteruitbreken:**

Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7a)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N} / A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N,x} \cdot \psi_{ec,N,y}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 57.85 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 333.05 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 333.05 / 1.50 = 222.04$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 45.0\%$$



Verificatie in overeenstemming met ETAG 001, TR 029, Vergelijking (5.7)

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N} / A_{p,N}^0) \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np,x} \cdot \psi_{ec,Np,y} \cdot \psi_{g,Np}$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mcp}$$

De bevestiging bestaat uit 1 groep.

Ankernr. 1, 2, 3, 4

$$V_{Rk,cp} = 2.0 \cdot 84.71 \cdot (220900 / 72900) \cdot 1.000 \cdot 0.950 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 1.000 = 487.69 \text{ kN}$$

$$100.00 \leq 487.69 / 1.50 = 325.13$$

$$\text{Benuttingspercentage } \beta_{V,cp} = 30.8\%$$

2.3. Fischer

M20 5.8 direct



C-FIX
1.0.36.0
Database versie
1.0.36.0
Datum
07/02/2022



Ontwerp specificaties

Anker

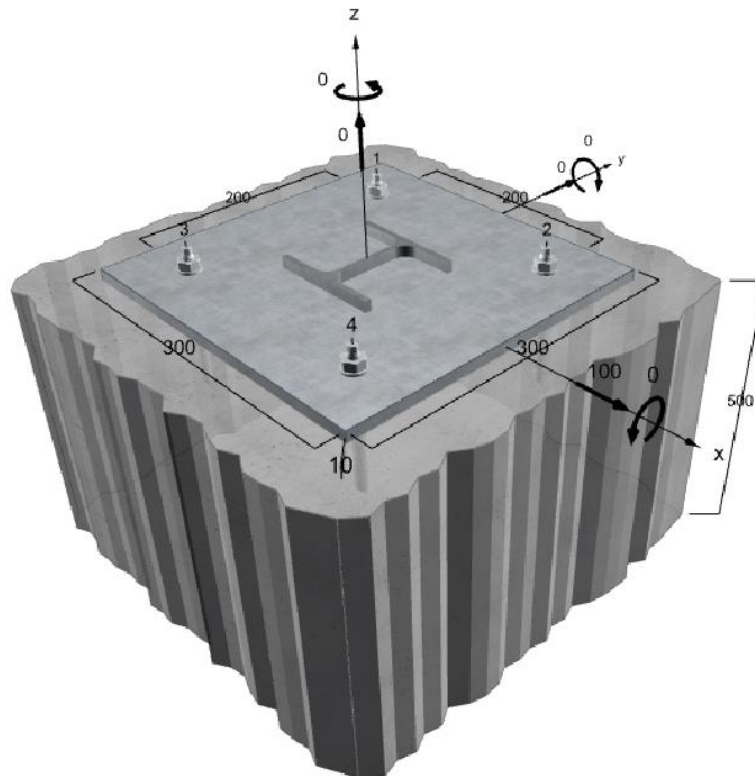
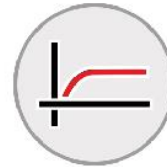
Anker systeem	fischer Superbond injectiesysteem FIS SB met ankerstang FIS A of RG M
Injectiemortel	FIS SB 390 S
Bevestigingselement	RG M20 x220
Verankeringsdiepte	90 mm
Ontwerp gegevens	ETA-12/0258



Geometrie / Belastingen / Eenheden

mm, kN, kNm

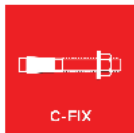
Rekenwaarde van de optredende krachten (inclusief veiligheidsfactoren)



Niet op schaal

Data

Ontwerp methode	EN 1992-4
Ondergrond	Normaal beton, C30/37
Betonsituatie	Ongescheurd, Droog boorgat
Temperatuur bereik	24 °C Lange duur temperatuur, 40 °C Korte duur temperatuur
Wapening	Geen of gewone wapening, Randwapening met beugels, With reinforcement to control splitting
Boormethode	Hamer boren
Installatie soort	Doorsteek montage



C-FIX
1.0.36.0
Database versie
1.0.36.0
Datum
07/02/2022



Tussenruimte
Soort belasting
Ankerplaat locatie
Ankerplaat afmetingen
Soort Profiel

Gewuld
Statisch of quasi-statisch
Ankerplaat koud tegen ondergrond
300 mm x 300 mm x 10 mm
HEAA

Rekenwaarde van de belastingen *)

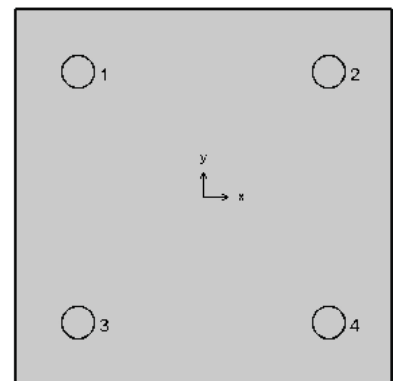
#	N _{Ed} kN	V _{Ed,x} kN	V _{Ed,y} kN	M _{Ed,x} kNm	M _{Ed,y} kNm	M _{T,Ed} kNm	Soort belasting
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Statisch of quasi-statisch

*) Inclusief de benodigde veiligheidsfactoren

Resultante anker krachten

Anker nr.	Trek belasting kN	Afschuif belasting kN	Afschuif belasting x kN	Afschuif belasting y kN
1	0,00	25,00	25,00	0,00
2	0,00	25,00	25,00	0,00
3	0,00	25,00	25,00	0,00
4	0,00	25,00	25,00	0,00

Max. betondruksterkte 0,00 %
Max. betondruksterkte 0,00 N/mm²
Resulterende trek krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)
Resulterende druk krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)



Weerstand bij afschuifbelastingen

Onderbouw ing	Belasting kN	Capaciteit kN	Uitnutting β _v %
Staalbezwijken zonder hefboomsarm *	25,00	59,20	42,2
Beton achteruit breken	100,00	207,84	48,1

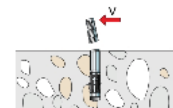
* Maatgevende anker

Staalbezwijken zonder hefboomsarm

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 = 1,00 \cdot 74,00 \text{ kN} = 74,00 \text{ kN}$$

V _{Rk,s} kN	γ _{Ms}	V _{Rd,s} kN	V _{Ed} kN	β _{v,s} %
74,00	1,25	59,20	25,00	42,2





Ontwerp specificaties

Anker

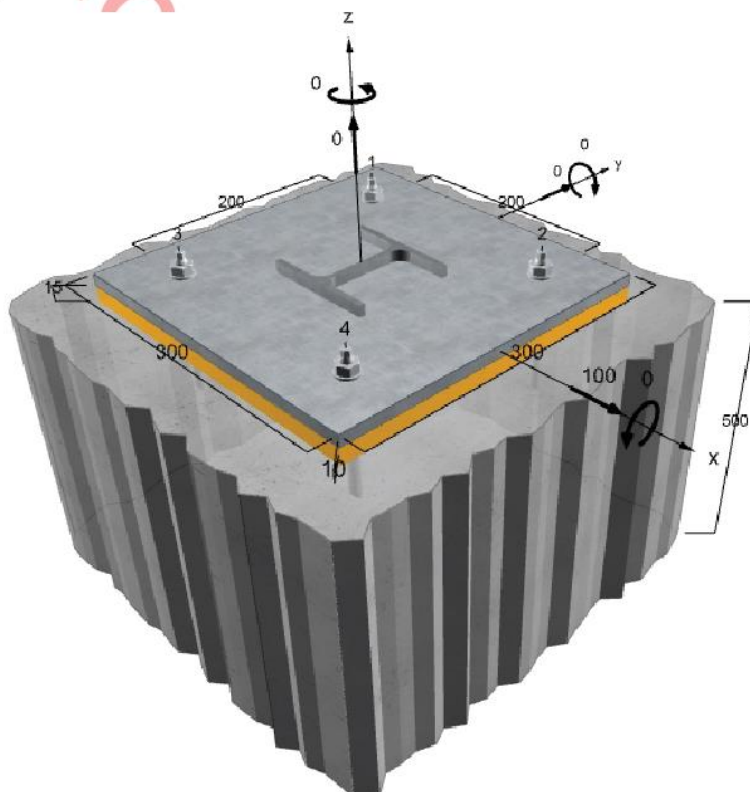
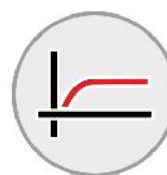
Anker systeem	fischer Superbond injectiesysteem FIS SB met ankerstang FIS A of RG M
Injectiemortel	FIS SB 390 S
Bevestigingselement	RG M20 x 500
Verankeringsdiepte	400 mm
Ontwerp gegevens	ETA-12/0258



Geometrie / Belastingen / Eenheden

mm, kN, kNm

Rekenwaarde van de optredende krachten (inclusief veiligheidsfactoren)



Niet op schaal

Data

Ontwerp methode	EN 1992-4
Ondergrond	Normaal beton, C30/37
Betonsituatie	Ongescheurd, Droog boorgat
Temperatuur bereik	24 °C Lange duur temperatuur, 40 °C Korte duur temperatuur
Wapening	Geen of gewone wapening, Randwapening met beugels, With reinforcement to control splitting
Boormethode	Hamer boren
Installatie soort	Doorsteek montage



C-FIX
1.0.36.0
Database versie
1.0.36.0
Datum
04/03/2022



Tussenruimte
Soort belasting
Ankerplaat locatie
Ankerplaat afmetingen
Soort Profiel

Gevuld
Statisch of quasi-statisch
Ankerplaat met vullaag
300 mm x 300 mm x 10 mm
HEAA

Rekenwaarde van de belastingen *

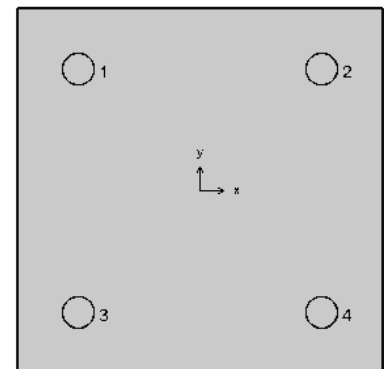
#	N _{Ed} kN	V _{Ed,x} kN	V _{Ed,y} kN	M _{Ed,x} kNm	M _{Ed,y} kNm	M _{T,Ed} kNm	Soort belasting
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Statisch of quasi-statisch

*) Inclusief de benodigde veiligheidsfactoren

Resultante anker krachten

Anker nr.	Trek belasting kN	Afschuif belasting kN	Afschuif belasting x kN	Afschuif belasting y kN
1	0,00	25,00	25,00	0,00
2	0,00	25,00	25,00	0,00
3	0,00	25,00	25,00	0,00
4	0,00	25,00	25,00	0,00

Max. betondruksterkte 0,00 %
Max. betondruksterkte 0,00 N/mm²
Resulterende trek krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)
Resulterende druk krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)



Weerstand bij afschuifbelastingen

Onderbouw ing	Belasting kN	Capaciteit kN	Uitnutting β _v %
Staalbezijken met hefboomsarm *	25,00	17,28	144,7
Beton achteruit breken	100,00	874,73	11,4

* Maatgevende anker

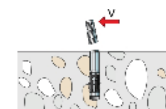
Staalbezijken met hefboomsarm

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{Y_{Ms}}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} = \frac{2 \cdot 324,00 \text{ Nm}}{30 \text{ mm}} = 21,60 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}) = 324,00 \text{ Nm} \cdot (1 - 0,00 \text{ kN} / 82,00 \text{ kN}) = 324,00 \text{ Nm}$$

V _{Rk,s,M} kN	Y _{Ms}	V _{Rd,s,M} kN	V _{Ed} kN	β _{v,s,M} %
21,60	1,25	17,28	25,00	144,7





Ontwerp specificaties

Anker

Anker systeem fischer Superbond injectiesysteem FIS SB met ankerstang FIS A of RG M

Injectiemortel FIS SB 390 S

Bevestigingselement RG M20 x 500

Verankeringsdiepte 400 mm

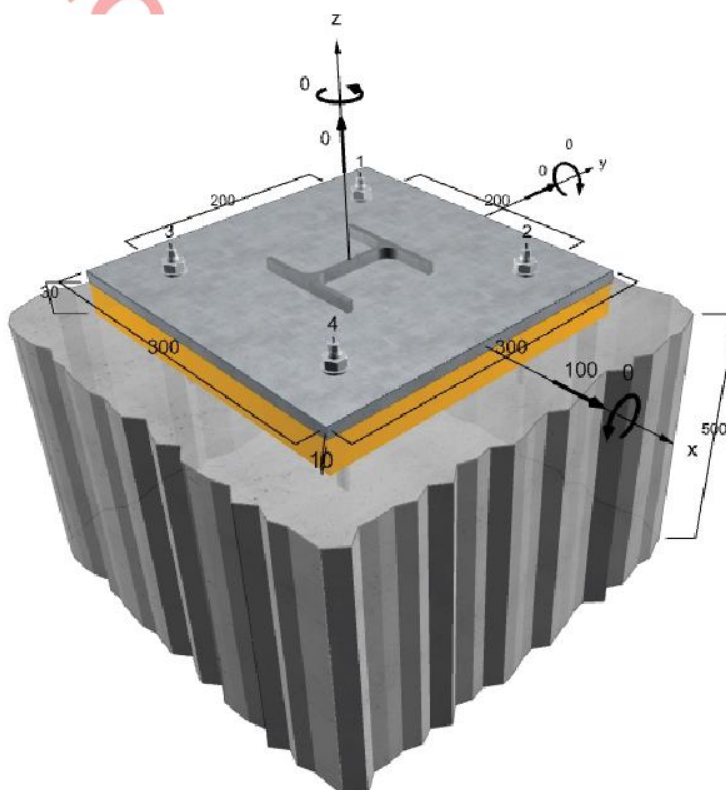
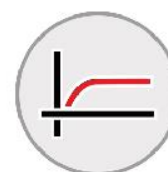
Ontwerp gegevens ETA-12/0258



Geometrie / Belastingen / Eenheden

mm, kN, kNm

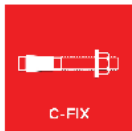
Rekenwaarde van de optredende krachten (inclusief veiligheidsfactoren)



Niet op schaal

Data

Ontwerp methode	EN 1992-4
Ondergrond	Normaal beton, C30/37
Betsituatie	Ongescheurd, Droog boorgat
Temperatuur bereik	24 °C Lange duur temperatuur, 40 °C Korte duur temperatuur
Wapening	Geen of gewone wapening, Randwapening met beugels, With reinforcement to control splitting
Boormethode	Hamer boren
Installatie soort	Doorsteek montage



C-FIX
1.0.36.0
Database versie
1.0.36.0
Datum
04/03/2022



Tussenruimte
Soort belasting
Ankerplaat locatie
Ankerplaat afmetingen
Soort Profiel

Gevuld
Statisch of quasi-statisch
Ankerplaat met vullaag
300 mm x 300 mm x 10 mm
HEAA

Rekenwaarde van de belastingen *)

#	N _{Ed} kN	V _{Ed,x} kN	V _{Ed,y} kN	M _{Ed,x} kNm	M _{Ed,y} kNm	M _{T,Ed} kNm	Soort belasting
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Statisch of quasi-statisch

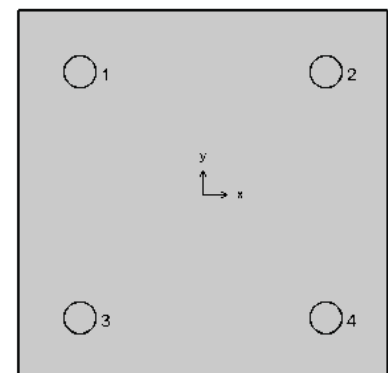
*) Inclusief de benodigde veiligheidsfactoren

Resultante anker krachten

Anker nr.	Trek belasting kN	Afschuif belasting kN	Afschuif belasting x kN	Afschuif belasting y kN
1	0,00	25,00	25,00	0,00
2	0,00	25,00	25,00	0,00
3	0,00	25,00	25,00	0,00
4	0,00	25,00	25,00	0,00

Max. betondruksterkte
Max. betondruksterkte
Resulterende trek krachten
Resulterende druk krachten

0,00 %
0,00 N/mm²
0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)
0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)



Weerstand bij afschuifbelastingen

Onderbouw ing	Belasting kN	Capaciteit kN	Uitnutting β _v %
Staalbezijden met hefboomsarm *	25,00	11,52	217,0
Beton achteruit breken	100,00	874,73	11,4

* Maatgevende anker

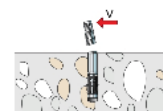
Staalbezijden met hefboomsarm

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{Y_{Ms}}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} = \frac{2 \cdot 324,00 \text{ Nm}}{45 \text{ mm}} = 14,40 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}) = 324,00 \text{ Nm} \cdot (1 - 0,00 \text{ kN} / 82,00 \text{ kN}) = 324,00 \text{ Nm}$$

V _{Rk,s,M} kN	Y _{Ms}	V _{Rd,s,M} kN	V _{Ed} kN	β _{v,s,M} %
14,40	1,25	11,52	25,00	217,0





Ontwerp specificaties

Anker

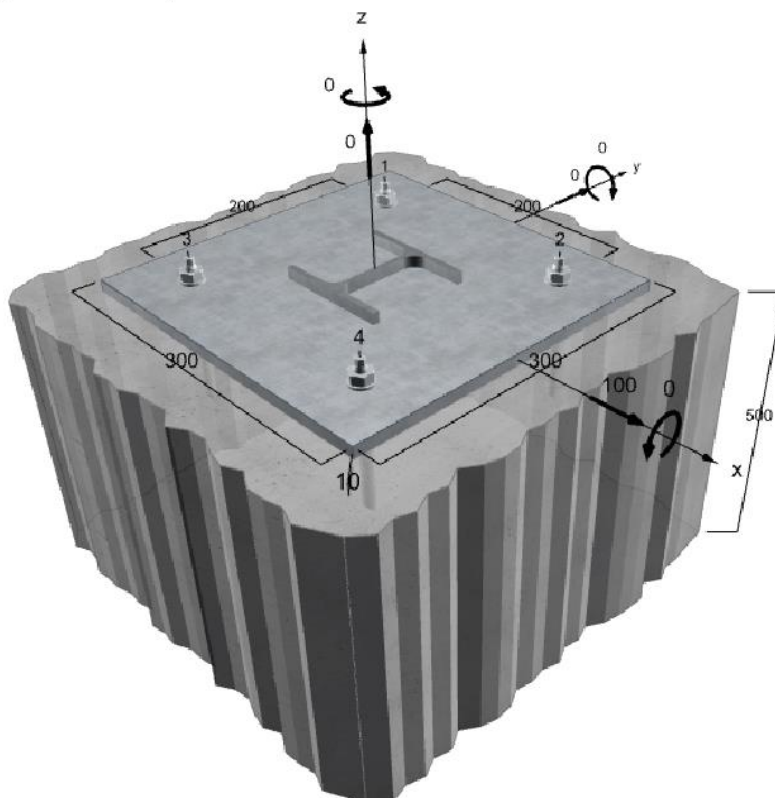
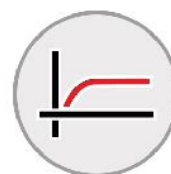
Anker systeem	fischer Superbond injectiesysteem FIS SB met ankerstang FIS A of RG M
Injectiemortel	FIS SB 390 S
Bevestigingselement	FIS AM 20 x 245 8.8
Verankeringsdiepte	90 mm
Ontwerp gegevens	ETA-12/0258



Geometrie / Belastingen / Eenheden

mm, kN, kNm

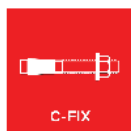
Rekenwaarde van de optredende krachten (inclusief veiligheidsfactoren)



Niet op schaal

Data

Ontwerp methode	EN 1992-4
Ondergrond	Normaal beton, C30/37
Betonsituatie	Ongescheurd, Droog boorgat
Temperatuur bereik	24 °C Lange duur temperatuur, 40 °C Korte duur temperatuur
Wapening	Geen of gewone wapening, Randwapening met beugels, With reinforcement to control splitting
Boormethode	Hamer boren
Installatie soort	Doorsteek montage



C-FIX
1.0.36.0
Database versie
1.0.36.0
Datum
07/02/2022



Tussenruimte
Soort belasting
Ankerplaat locatie
Ankerplaat afmetingen
Soort Profiel

Gevuld
Statisch of quasi-statisch
Ankerplaat koud tegen ondergrond
300 mm x 300 mm x 10 mm
HEAA

Rekenwaarde van de belastingen *)

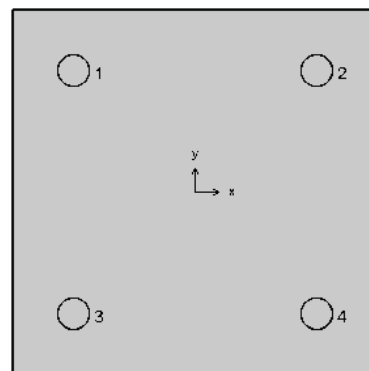
#	N _{Ed} kN	V _{Ed,x} kN	V _{Ed,y} kN	M _{Ed,x} kNm	M _{Ed,y} kNm	M _{T,Ed} kNm	Soort belasting
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Statisch of quasi-statisch

*) Inclusief de benodigde veiligheidsfactoren

Resultante anker krachten

Anker nr.	Trek belasting kN	Afschuif belasting kN	Afschuif belasting x kN	Afschuif belasting y kN
1	0,00	25,00	25,00	0,00
2	0,00	25,00	25,00	0,00
3	0,00	25,00	25,00	0,00
4	0,00	25,00	25,00	0,00

Max. betondruksterkte 0,00 %
Max. betondruksterkte 0,00 N/mm²
Resulterende trek krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)
Resulterende druk krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)



Weerstand bij afschuifbelastingen

Onderbouw ing	Belasting kN	Capaciteit kN	Uitnutting β _v %
Staalbezijden zonder hefboomsarm *	25,00	78,40	31,9
Beton achteruit breken	100,00	207,84	48,1

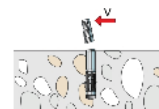
* Maatgevende anker

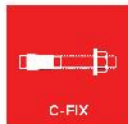
Staalbezijden zonder hefboomsarm

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{Y_{Ms}}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 = 1,00 \cdot 98,00 \text{ kN} = 98,00 \text{ kN}$$

V _{Rk,s} kN	Y _{Ms}	V _{Rd,s} kN	V _{Ed} kN	β _{v,s} %
98,00	1,25	78,40	25,00	31,9





Ontwerp specificaties

Anker

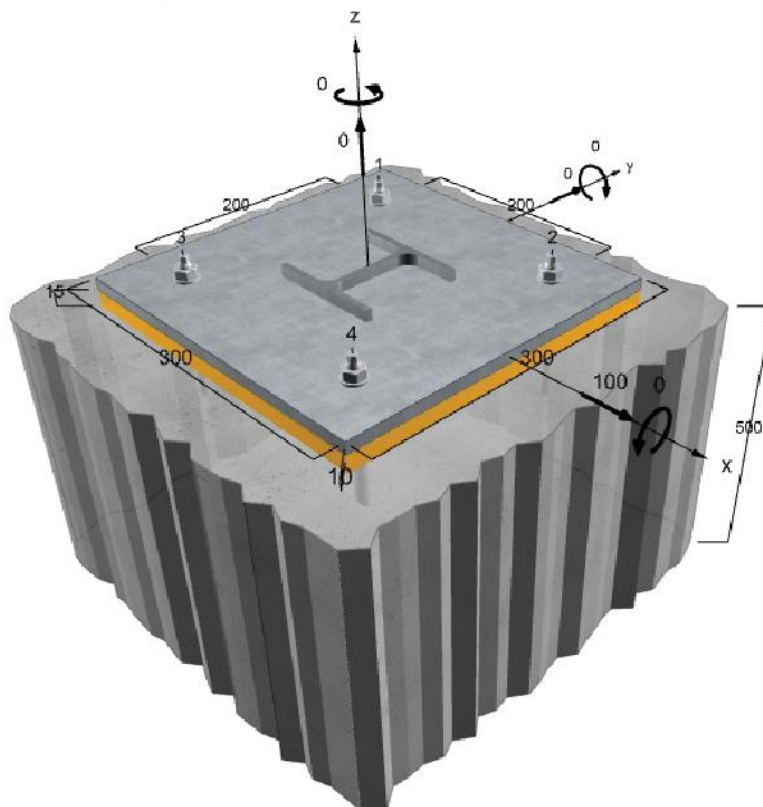
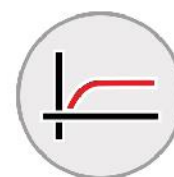
Anker systeem	fischer Superbond injectiesysteem FIS SB met ankerstang FIS A of RG M
Injectiemortel	FIS SB 390 S
Bevestigingselement	FIS AM 20 x245 8.8
Verankeringsdiepte	90 mm
Ontwerp gegevens	ETA-12/0258



Geometrie / Belastingen / Eenheden

mm, kN, kNm

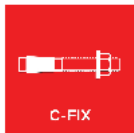
Rekenwaarde van de optredende krachten (inclusief veiligheidsfactoren)



Niet op schaal

Data

Ontwerp methode	EN 1992-4
Ondergrond	Normaal beton, C30/37
Betonsituatie	Ongescheurd, Droog boorgat
Temperatuur bereik	24 °C Lange duur temperatuur, 40 °C Korte duur temperatuur
Wapening	Geen of gewone wapening, Randwapening met beugels, With reinforcement to control splitting
Boormethode	Hamer boren
Installatie soort	Doorsteek montage



C-FIX
1.0.36.0
Database versie
1.0.36.0
Datum
04/03/2022



Tussenruimte
Soort belasting
Ankerplaat locatie
Ankerplaat afmetingen
Soort Profiel

Gewuld
Statisch of quasi-statisch
Ankerplaat met wullaag
300 mm x 300 mm x 10 mm
HEAA

Rekenwaarde van de belastingen *)

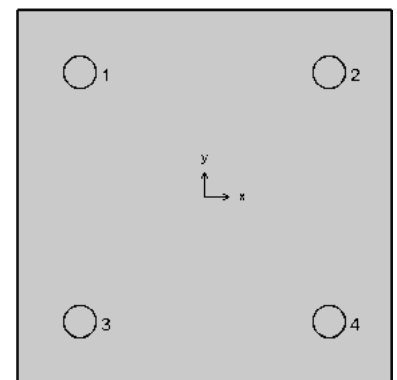
#	N _{Ed} kN	V _{Ed,x} kN	V _{Ed,y} kN	M _{Ed,x} kNm	M _{Ed,y} kNm	M _{T,Ed} kNm	Soort belasting
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Statisch of quasi-statisch

*) Inclusief de benodigde veiligheidsfactoren

Resultante anker krachten

Anker nr.	Trek belasting kN	Afschuif belasting kN	Afschuif belasting x kN	Afschuif belasting y kN
1	0,00	25,00	25,00	0,00
2	0,00	25,00	25,00	0,00
3	0,00	25,00	25,00	0,00
4	0,00	25,00	25,00	0,00

Max. betondruksterkte 0,00 %
Max. betondruksterkte 0,00 N/mm²
Resulterende trek krachten 0,00 kN, X/Y positie (0 / 0 mm)
Resulterende druk krachten 0,00 kN, X/Y positie (0 / 0 mm)



Weerstand bij afschuifbelastingen

Onderbouw ing	Belasting kN	Capaciteit kN	Uitnutting β _v %
Staalbezijden met hefboomsarm *	25,00	27,68	90,3
Beton achteruit breken	100,00	207,84	48,1

* Maatgevende anker

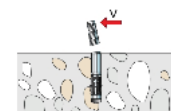
Staalbezijden met hefboomsarm

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{Y_{Ms}}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} = \frac{2 \cdot 519,00 \text{ Nm}}{30 \text{ mm}} = 34,60 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}) = 519,00 \text{ Nm} \cdot (1 - 0,00 \text{ kN} / 130,67 \text{ kN}) = 519,00 \text{ Nm}$$

V _{Rk,s,M} kN	Y _{Ms}	V _{Rd,s,M} kN	V _{Ed} kN	β _{v,s,M} %
34,60	1,25	27,68	25,00	90,3





Ontwerp specificaties

Anker

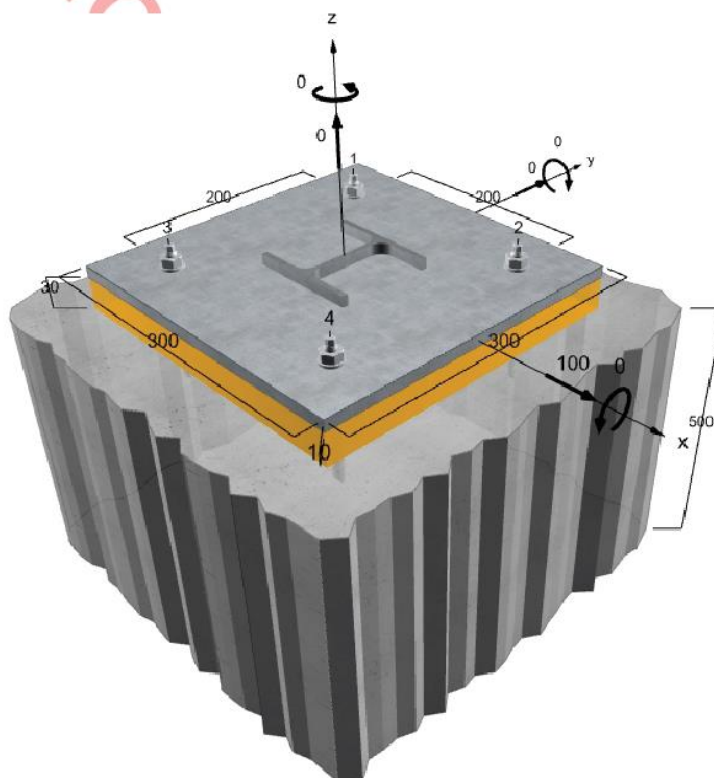
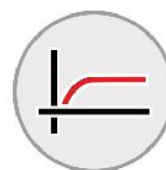
Anker systeem	fischer Superbond injectiesysteem FIS SB met ankerstang FIS A of RG M
Injectiemortel	FIS SB 390 S
Bevestigingselement	FIS AM 20 x 1000 8.8
Verankeringsdiepte	400 mm
Ontwerp gegevens	ETA-12/0258



Geometrie / Belastingen / Eenheden

mm, kN, kNm

Rekenwaarde van de optredende krachten (inclusief veiligheidsfactoren)



Niet op schaal

Data

Ontwerp methode	EN 1992-4
Ondergrond	Normaal beton, C30/37
Betsituatie	Ongescheurd, Droog boorgat
Temperatuur bereik	24 °C Lange duur temperatuur, 40 °C Korte duur temperatuur
Wapening	Geen of gewone wapening, Randwapening met beugels, With reinforcement to control splitting
Boormethode	Hamer boren
Installatie soort	Doorsteek montage



C-FIX
1.0.36.0
Database versie
1.0.36.0
Datum
04/03/2022



Tussenruimte
Soort belasting
Ankerplaat locatie
Ankerplaat afmetingen
Soort Profiel

Gewuld
Statisch of quasi-statisch
Ankerplaat met wullaag
300 mm x 300 mm x 10 mm
HEAA

Rekenwaarde van de belastingen *)

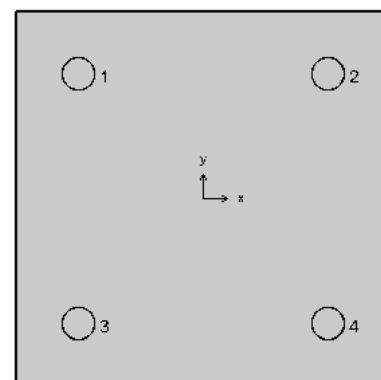
#	N _{Ed} kN	V _{Ed,x} kN	V _{Ed,y} kN	M _{Ed,x} kNm	M _{Ed,y} kNm	M _{T,Ed} kNm	Soort belasting
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Statisch of quasi-statisch

*) Inclusief de benodigde veiligheidsfactoren

Resultante anker krachten

Anker nr.	Trek belasting kN	Afschuif belasting kN	Afschuif belasting x kN	Afschuif belasting y kN
1	0,00	25,00	25,00	0,00
2	0,00	25,00	25,00	0,00
3	0,00	25,00	25,00	0,00
4	0,00	25,00	25,00	0,00

Max. betondruksterkte 0,00 %
Max. betondruksterkte 0,00 N/mm²
Resulterende trek krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)
Resulterende druk krachten 0,00 kN, XY positie (0 / 0 mm)



Weerstand bij afschuifbelastingen

Onderbouw ing	Belasting kN	Capaciteit kN	Uitnutting β _v %
Staalbezijken met hefboomsarm *	25,00	18,45	135,5
Beton achteruit breken	100,00	874,73	11,4

* Maatgevende anker

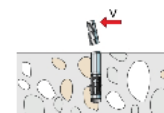
Staalbezijken met hefboomsarm

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{V_{Ms}}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} = \frac{2 \cdot 519,00 \text{ Nm}}{45 \text{ mm}} = 23,07 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Ed}/N_{Rd,s}) = 519,00 \text{ Nm} \cdot (1 - 0,00 \text{ kN} / 130,67 \text{ kN}) = 519,00 \text{ Nm}$$

V _{Rk,s,M} kN	V _{Ms}	V _{Rd,s,M} kN	V _{Ed} kN	β _{v,s,M} %
23,07	1,25	18,45	25,00	135,5



2.4. Halfen

M20 5.8 direct

Ing. bureau: *
Door: *
Projectnaam:
Functie:
Projectnummer:



Datum: 4-3-2022

Invoerwaarde:

Bladzijde 1 / 3

Beton:

Ongescheurd (Drukzone)
Drukvastheid: C30/37
Langdurige/kortstondig temperatuur $\leq 50/80$ °C

Wapening:

dichtheid wapening
Met rand- en ophangwapening

Ankerbuiging:

Het te bevestigende deel is niet gemaakt van metaal of
met drukkaste tussenlaag $e = 15$ mm
(drukvastheid ≥ 30 N/mm²)
Mate van inklemming $\alpha_M = 2,00$

Montage voorschriften:

Gat geboord met boorhamer
Droog boorgat

Statisch / Overwegend statisch Belasting

Trekbelasting:

$N_{Sd} = 0,00$ kN

Afschuifkracht:

$V_{x,Sd} = 0,00$ kN

$V_{y,Sd} = 100$ kN

Moment:

$M_{x,Sd} = 0,00$ kNm

$M_{y,Sd} = 0,00$ kNm

$M_{z,Sd} = 0,00$ kNm

Excentrische belasting

$e_x = 0,0$ mm

$e_y = 0,0$ mm

Ankerplaat:

$x = 300$ mm
 $y = 300$ mm
 $l_{x1} = 50$ mm
 $l_{x2} = 50$ mm
 $l_{y1} = 50$ mm
 $l_{y2} = 50$ mm
 $t = 10$ mm

Ankerafstand:

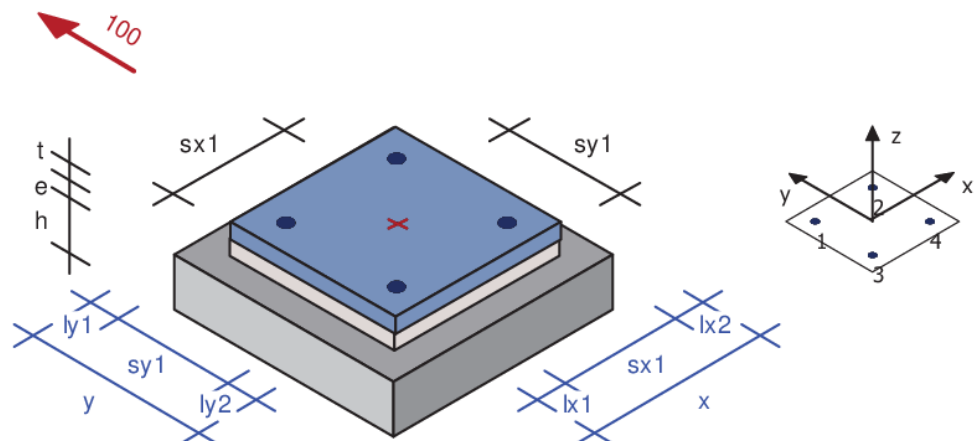
$s_{x1} = 200$ mm
 $s_{y1} = 200$ mm

Randafstand:

Zonder randafstand

Bouwdeeldikte:

$h = 500$ mm



[kN, kNm]

Chemisch Anker HB-V-P + HB-V-A GV (5.8) M20

Ontwerp methode A, ETAG 001, Bijlage C

Goedkeuring ETA-07/0257

De verankering kan niet worden geverifieerd met de ingevoerde gegevens

	Trek β_N [%]	Afschuif β_V [%]	Interactie $\beta_{N,V}$ [%]	Rand voorwaarden:
Statisch / Overwegend statisch Belasting	-	144,2	-	OK
¹⁾ Controle niet noodzakelijk.				

De berekening is van toepassing indien de gebruikshandleiding op de laatste pagina in acht worden genomen.

Ing. bureau: *

Door: *

Projectnaam:

Functie:

Projectnummer:

Datum: 8-2-2022

Chemisch Anker HB-V-P + HB-V-A GV (5.8) M20
Goedkeuring ETA-07/0257

Bladzijde 2 / 3

Controle bij afschuifkrachten

Optredende belasting

Anker	1	2	3	4
V_{Sd} [kN]	25,00	25,00	25,00	25,00
$V_{x,Sd}$ [kN]	0,00	0,00	0,00	0,00
$V_{y,Sd}$ [kN]	25,00	25,00	25,00	25,00

Staalbreuk zonder hefboomarm

V_{Sd}^h	$\leq$	$V_{Rk,s}$	$/$	γ_{Ms}	$=$	$V_{Rd,s}$	Belasting:
25,00	$\leq$	61,00	$/$	1,25	$=$	48,80	51,2%

Betonachteruitbreken

V_{Sd}^d	$\leq$	$V_{Rk,cp}$	$/$	γ_{Mc}	$=$	$V_{Rd,cp}$	Belasting:
100,00	$\leq$	378,37	$/$	1,50	$=$	252,25	39,6%

$N_{Rk,c}^o$	$\Psi_{C(C30/37)}$	$\Psi_{A,c,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{ec,N}$	k
75,00 kN	1,00	2,52	1,00	1,00	1,00	2,00
$A_{c,N}$	$A_{c,N}^o$	$c_{cr,N}$	$e_{c1,N}$	$e_{c2,N}$		
2916 cm ²	1156 cm ²	170,0 mm	0,0 mm	0,0 mm		

Betonrandbreuk (ongunstigste rand)

Berekening voor het betonrandbreuk van het anker is niet nodig daar:

- a) $c \geq 10h_{ef}$ en $c \geq 60d$
- b) Geen dwarskracht richting betonrand.

h_{ef}	d
170 mm	25 mm

M20 8.8 15 mm stelruimte

Ing. bureau: *

Door: *

Projectnaam:

Functie:

Projectnummer:

Datum: 4-3-2022

Invoerwaarde:

Bladzijde 1 / 3

Beton:

Ongescheurd (Drukzone)

Drukvastheid: C30/37

Langdurige/kortstondig temperatuur $\leq 50/80$ °C

Wapening:

dichtheid wapening

Met rand- en ophangwapening

Ankerbuiging:

Het te bevestigende deel is niet gemaakt van metaal of met drukvaste tussenlaag $e = 15$ mm (drukvastheid ≥ 30 N/mm²)

Mate van inklemming $\alpha_M = 2,00$

Montage voorschriften:

Gat geboord met boorhamer

Droog boorgat

Statisch / Overwegend statisch Belasting**Trekbelasting:**

$$N_{Sd} = 0,00 \text{ kN}$$

Afschuifkracht:

$$V_{x,Sd} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} = 100 \text{ kN}$$

Moment:

$$M_{x,Sd} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Sd} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} = 0,00 \text{ kNm}$$

Excentrische belasting

$$e_x = 0,0 \text{ mm}$$

$$e_y = 0,0 \text{ mm}$$

Ankerplaat:

$x = 300$ mm

$y = 300$ mm

$l_{x1} = 50$ mm

$l_{x2} = 50$ mm

$l_{y1} = 50$ mm

$l_{y2} = 50$ mm

$t = 10$ mm

Ankerafstand:

$$s_{x1} = 200 \text{ mm}$$

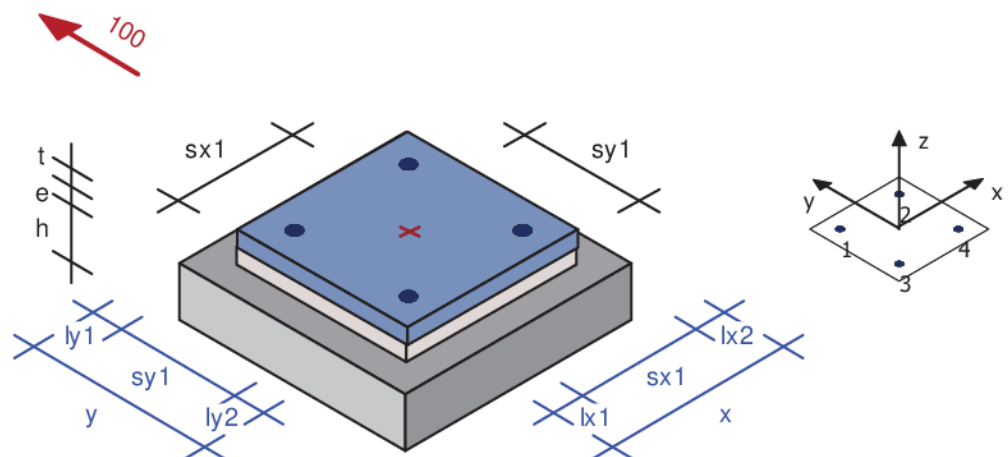
$$s_{y1} = 200 \text{ mm}$$

Randafstand:

Zonder randafstand

Bouwdeeldikte:

$$h = 500 \text{ mm}$$



[kN, kNm]

Chemisch Anker HB-V-P + HB-V-A GV (5.8) M20

Ontwerp methode A, ETAG 001, Bijlage C

Goedkeuring ETA-07/0257

De verankering kan niet worden geverifieerd met de ingevoerde gegevens

	Trek $\beta_N [\%]$ $\beta_{N,1}$	Afschuif $\beta_V [\%]$ $\beta_{V,1}$	Interactie $\beta_{N,V} [\%]$ $\beta_{N,V,1}$	Rand voorwaarden:
Statisch / Overwegend statisch Belasting	-	144,2	-	OK
1) Controle niet noodzakelijk.				

De berekening is van toepassing indien de gebruikshandleiding op de laatste pagina in acht worden genomen.

Ing. bureau: *

Door: *

Projectnaam:

Functie:

Projectnummer:

Datum: 4-3-2022

Chemisch Anker HB-V-P + HB-V-A GV (5.8) M20
Goedkeuring ETA-07/0257

Bladzijde 2 / 3

Controle bij afschuifkrachten

Optredende belasting

Anker	1	2	3	4
V_{Sd} [kN]	25,00	25,00	25,00	25,00
$V_{x,Sd}$ [kN]	0,00	0,00	0,00	0,00
$V_{y,Sd}$ [kN]	25,00	25,00	25,00	25,00

Staalbreuk zonder hefboomarm

V_{Sd}^h	$\leq$	$V_{Rk,s}$	$/$	γ_{Ms}	$=$	$V_{Rd,s}$	Belasting:
25,00	$\leq$	61,00	$/$	1,25	$=$	48,80	51,2%

Staalbreuk met hefboomarm

V_{Sd}^h	$\leq$	$V_{Rk,s}$	$/$	γ_{Ms}	$=$	$V_{Rd,s}$	Belasting:
25,00	$>$	21,67	$/$	1,25	$=$	17,33	144,2%
$1-\beta_{Ns}$	$M_{Rk,s}^0$	$M_{Rk,s}$	l	α_M			
1,00	325,00 Nm	325,00 Nm	30,0 mm	2,0			

Betonachteruitbreken

V_{Sd}^g	$\leq$	$V_{Rk,cp}$	$/$	γ_{Mc}	$=$	$V_{Rd,cp}$	Belasting:
100,00	$\leq$	378,37	$/$	1,50	$=$	252,25	39,6%
$N_{Rk,c}^0$	$\Psi_C (C30/37)$	$\Psi_{A,c,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{ec,N}$	k	
75,00 kN	1,00	2,52	1,00	1,00	1,00	2,00	
$A_{c,N}$	$A_{c,N}^0$	$c_{cr,N}$	$e_{c1,N}$	$e_{c2,N}$			
2916 cm ²	1156 cm ²	170,0 mm	0,0 mm	0,0 mm			

Betonrandbreuk (ongunstigste rand)

Berekening voor het betonrandbreuk van het anker is niet nodig daar:

- a) $c \geq 10h_{ef}$ en $c \geq 60d$
- b) Geen dwarskracht richting betonrand.

h_{ef}	d
170 mm	25 mm

Invoerwaarde:

Bladzijde 1 / 3

Beton:

Ongescheurd (Drukzone)
Drukvastheid: C30/37
Langdurige/kortstondig temperatuur $\leq 50/80$ °C

Wapening:

dichtheid wapening
Met rand- en ophangwapening

Ankerbuiging:

Het te bevestigende deel is niet gemaakt van metaal of met drukvaste tussenlaag $e = 30$ mm
(drukvastheid ≥ 30 N/mm²)
Mate van inklemming $\alpha_M = 2,00$

Montage voorschriften:

Gat geboord met boorhamer
Droog boorgat

Statisch / Overwegend statisch Belasting

Trekbelasting:

$N_{Sd} = 0,00$ kN

Afschuifkracht:

$V_{x,Sd} = 0,00$ kN

$V_{y,Sd} = 100$ kN

Moment:

$M_{x,Sd} = 0,00$ kNm

$M_{y,Sd} = 0,00$ kNm

$M_{z,Sd} = 0,00$ kNm

Excentrische belasting

$e_x = 0,0$ mm

$e_y = 0,0$ mm

Ankerplaat:

$x = 300$ mm
 $y = 300$ mm
 $l_{x1} = 50$ mm
 $l_{x2} = 50$ mm
 $l_{y1} = 50$ mm
 $l_{y2} = 50$ mm
 $t = 10$ mm

Ankerafstand:

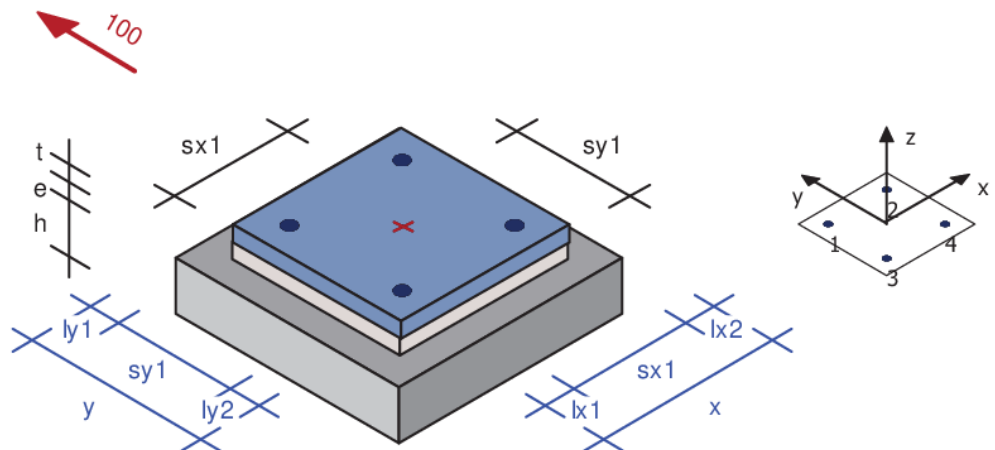
$s_{x1} = 200$ mm
 $s_{y1} = 200$ mm

Randafstand:

Zonder randafstand

Bouwdeeldikte:

$h = 500$ mm



[kN, kNm]

Chemisch Anker HB-V-P + HB-V-A GV (5.8) M20

Ontwerp methode A, ETAG 001, Bijlage C

Goedkeuring ETA-07/0257

De verankering kan niet worden geverifieerd met de ingevoerde gegevens

	Trek β_N [%]	Afschuif β_V [%]	Interactie $\beta_{N,V}$ [%]	Rand voorwaarden:
Statisch / Overwegend statisch Belasting	-	216,3	-	OK
¹⁾ Controle niet noodzakelijk.				

De berekening is van toepassing indien de gebruikshandleiding op de laatste pagina in acht worden genomen.

Ing. bureau: *

Door: *

Projectnaam:

Functie:

Projectnummer:

Datum: 8-2-2022

Chemisch Anker HB-V-P + HB-V-A GV (5.8) M20
Goedkeuring ETA-07/0257

Bladzijde 2 / 3

Controle bij afschuifkrachten

Optredende belasting

Anker	1	2	3	4
V_{Sd} [kN]	25,00	25,00	25,00	25,00
$V_{x,Sd}$ [kN]	0,00	0,00	0,00	0,00
$V_{y,Sd}$ [kN]	25,00	25,00	25,00	25,00

Staalbreuk zonder hefboomarm

V_{Sd}^h	$\leq$	$V_{Rk,s}$	$/$	γ_{Ms}	$=$	$V_{Rd,s}$	Belasting:
25,00	$\leq$	61,00	$/$	1,25	$=$	48,80	51,2%

Staalbreuk met hefboomarm

V_{Sd}^h	$\leq$	$V_{Rk,s}$	$/$	γ_{Ms}	$=$	$V_{Rd,s}$	Belasting:
25,00	$>$	14,44	$/$	1,25	$=$	11,56	216,3%
$1-\beta_{Ns}$	$M_{Rk,s}^0$	$M_{Rk,s}$	l	α_M			
1,00	325,00 Nm	325,00 Nm	45,0 mm	2,0			

Betonachteruitbreken

V_{Sd}^d	$\leq$	$V_{Rk,cp}$	$/$	γ_{Mc}	$=$	$V_{Rd,cp}$	Belasting:
100,00	$\leq$	378,37	$/$	1,50	$=$	252,25	39,6%
$N_{Rk,c}^0$	$\Psi_{C(C30/37)}$	$\Psi_{A,c,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{ec,N}$	k	
75,00 kN	1,00	2,52	1,00	1,00	1,00	2,00	
$A_{c,N}$	$A_{c,N}^0$	$c_{cr,N}$	$e_{c1,N}$	$e_{c2,N}$			
2916 cm ²	1156 cm ²	170,0 mm	0,0 mm	0,0 mm			

Betonrandbreuk (ongunstigste rand)

Berekening voor het betonrandbreuk van het anker is niet nodig daar:

- a) $c \geq 10h_{ef}$ en $c \geq 60d$
- b) Geen dwarskracht richting betonrand.

h_{ef}	d
170 mm	25 mm

2.5. Hilti

M20 5.8 direct



Hilti PROFIS Engineering 3.0.75

www.hilti.nl

Firma: Ads-Ertner
Adres: Filosofentuin 1a
Tel. | Fax: 010-4580204 |
berekening: beton - 7 feb. 2022
Sub-Project | Pos. Nr.:

Bladzijde: 1
Construteur: J.A. de Gelder
E-mail: engineering@ads-ertner.nl
Datum: 07-02-2022

Opmerkingen van de constructeur:

1 Invoergegevens

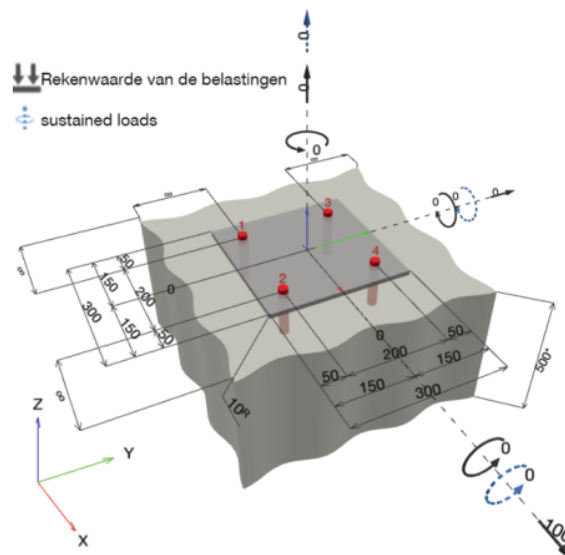
Ankertype en -afmeting:	HIT-HY 200-A + HAS-U 5.8 M20
Retourperiode (levensduur in jaren):	50
Artikelnummer:	2223873 HAS-U 5.8 M20x180 (insert) / 2022696 HIT-HY 200-A (mortel)
Effectieve verankeringsdiepte:	$h_{ef,opti} = 90,0 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = 400,0 \text{ mm}$)
Materiaal:	5.8
Goedkeuring nr.:	ETA 11/0493
Uitgegeven Geldig:	14-12-2020 -
Aantoning:	rekenmethode EN 1992-4, chemisch
Afstandsmontage:	$e_b = 0,0 \text{ mm}$ (geen afstandsmontage); $t = 10,0 \text{ mm}$
Voetplaat ^R :	$l_x \times l_y \times t = 300,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 10,0 \text{ mm}$; (Aanbevolen voetplaatdikte: niet berekend)
Staalprofiel:	geen profiel
Ondergrond:	gescheurd beton, C30/37, $f_{c,cyl} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 500,0 \text{ mm}$, Temp. kort/lang: 40/24 °C, Door de gebruiker gedefinieerde partiële materiaalveiligheidsfactor $\gamma_c = 1,500$
Plaatsing:	hamergeboord gat, plaatsingsconditie: droog
Wapening:	Geen wapening of wapening met staafafstand $\geq 150 \text{ mm}$ (elke $\emptyset$) of ≥ 100 ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) geen rechte randwapening Wapening om spleten te controleren volgens EN 1992-4,-7.2 1.7 (2) b) 2) aanwezig



Toepassing ook mogelijk met HVU2 + HAS-U 5.8 M20 onder de geselecteerde randvoorwaarden.
Meer informatie in sectie Alternatieve bevestiging gegevens van dit verslag.

^R - De ankerberekening wordt gebaseerd op de aanname van een rigide voetplaat.

Geometrie [mm] & Belastingen [kN, kNm]



www.hilti.nl

Firma:	Ads-Ertner	Bladzijde:	4
Adres:	Filosofentuin 1a	Constructeur:	J.A. de Gelder
Tel. Fax:	010-4580204	E-mail:	engineering@ads-ertner.nl
berekening:	beton - 7 feb. 2022	Datum:	07-02-2022
Sub-Project Pos. Nr.:			

4 Afschuifbelasting (EN 1992-4, sectie 7.2.2)

	Belasting [kN]	Capaciteit [kN]	Benutting β_v [%]	Status
Staalbreuk (zonder hefboomsarm)*	25,000	49,040	51	OK
Staalbreuk (met hefboomsarm)*	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.
Betonachteruitbreken**	100,000	145,486	69	OK
Betonrandbreuk in richting **	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.

* ongunstigste anker **ankergroep (geactiveerde ankers)

4.1 Staalbreuk (zonder hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
61,300	1,000	61,300	1,250	49,040	25,000

4.2 Betonachteruitbreken (door betonkegelbreuk)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot \min \{N_{Rk,c}^0; N_{Rk,p}\} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.39c)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,1}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,2}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,gyt}$ [N/mm ²]	
220.900	72.900	135,0	270,0	2,000	30,00	
$e_{c1,V}$ [mm]	$\Psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{M,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000
k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]		
7,700	36,009	1,500	145,486	100,000		

Groepsanker-ID

1-4

www.hilti.nl

Firma: Ads-Ertner
 Adres: Filosofentuin 1a
 Tel. | Fax: 010-4580204 |
 berekening: beton - 7 feb. 2022
 Sub-Project | Pos. Nr.:

Bladzijde:
 Constructeur:
 E-mail:
 Datum:

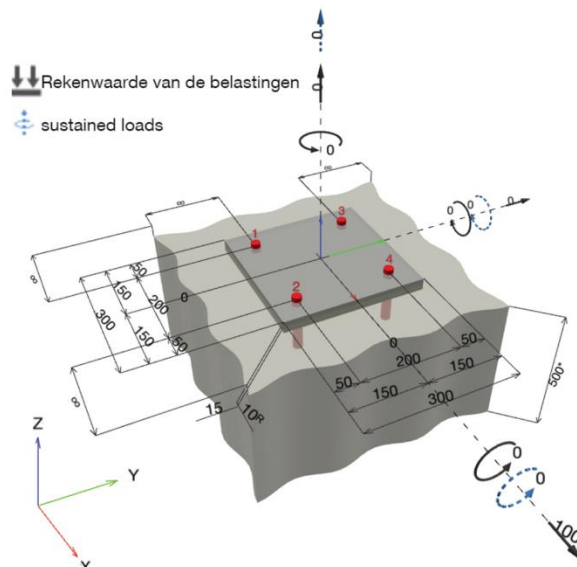
1
 J.A. de Gelder
 engineering@ads-ertner.nl
 04-03-2022

Opmerkingen van de constructeur:

1 Invoergegevens

Ankertype en -afmeting:	HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M20	
Retourperiode (levensduur in jaren):	50	
Artikelnummer:	387068 HIT-V-5.8 M20x180 (insert) / 2022696 HIT-HY 200-A (mortel)	
Effectieve verankeringsdiepte:	$h_{ef, opti} = 90,0 \text{ mm}$ ($h_{ef, limit} = 400,0 \text{ mm}$)	
Materiaal:	5.8	
Goedkeuring nr.:	ETA 11/0493	
Uitgegeven Geldig:	14-12-2020 -	
Aantoning:	rekenmethode EN 1992-4, chemisch	
Afstandsmontage:	zonder voorspanning van het anker met moer en ring; vrijheidsgraad voor voetplaatrotatie: 2,00; $e_b = 15,0 \text{ mm}$; $t = 10,0 \text{ mm}$ Hilti Mortel: , universeel, $f_{c, Grouit} = 30,00 \text{ N/mm}^2$	
Voetplaat ^R :	$l_x \times l_y \times t = 300,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 10,0 \text{ mm}$; (Aanbevolen voetplaatdikte: niet berekend)	
Staalprofiel:	geen profiel	
Ondergrond:	gescheurd beton, C30/37, $f_{c, cyl} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 500,0 \text{ mm}$, Temp. kort/lang: 40/24 °C, Door de gebruiker gedefinieerde partiële materiaalveiligheidsfactor $\gamma_c = 1,500$	
Plaatsing:	hamergeboord gat, plaatsingsconditie: droog	
Wapening:	Geen wapening of wapening met staafafstand $\geq 150 \text{ mm}$ (elke $\emptyset$) of ≥ 100 ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) geen rechte randwapening Wapening om spleten te controleren volgens EN 1992-4,-7.2 1.7 (2) b) 2) aanwezig	

^R - De ankerberekening wordt gebaseerd op de aanname van een rigide voetplaat.



www.hilti.nl

Firma:	Ads-Ertner	Bladzijde:	5
Adres:	Filosofentuin 1a	Constructeur:	J.A. de Gelder
Tel. Fax:	010-4580204	E-mail:	engineering@ads-ertner.nl
berekening:	beton - 7 feb. 2022	Datum:	04-03-2022
Sub-Project Pos. Nr.:			

4 Afschuifbelasting (EN 1992-4, sectie 7.2.2)

	Belasting [kN]	Capaciteit [kN]	Benutting β_v [%]	Status
Staalbreuk (zonder hefboomsarm)*	25,000	49,040	51	OK
Staalbreuk (met hefboomsarm)*	25,000	17,307	145	niet geadviseerd
Betonachteruitbreken**	100,000	145,486	69	OK
Betonrandbreuk in richting **	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.

* ongunstigste anker **ankergroep (geactiveerde ankers)

4.1 Staalbreuk (zonder hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
61,300	1,000	61,300	1,250	49,040	25,000

4.2 Staalbreuk (met hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.37}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right) \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.38}$$

$$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3 \quad \text{EN 1992-4, Eq. 6.2}$$

l [mm]	α_M			
30,0	2,00			
$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M_{Rk,s}^0$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$ [kNm]	
0,000	1,000	0,325	0,325	
$V_{Rk,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / l$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Ed} [kN]	
21,633	1,250	17,307	25,000	

www.hilti.nl

Firma: Ads-Ertner
 Adres: Filosofentuin 1a
 Tel. | Fax: 010-4580204 |
 berekening: beton - 7 feb. 2022
 Sub-Project | Pos. Nr.:

Bladzijde: 1
 Constructeur: J.A. de Gelder
 E-mail: engineering@ads-ertner.nl
 Datum: 07-02-2022

Opmerkingen van de constructeur:

1 Invoergegevens

Ankertype en -afmeting:

HIT-HY 200-A + HAS-U 5.8 M20

Retourperiode (levensduur in jaren): 50

Artikelnummer: 2223873 HAS-U 5.8 M20x180 (insert) / 2022696
 HIT-HY 200-A (mortel)

Effectieve verankeringsdiepte: $h_{ef, opti} = 90,0 \text{ mm}$ ($h_{ef, limit} = 400,0 \text{ mm}$)

Materiaal: 5.8

Goedkeuring nr.: ETA 11/0493

Uitgegeven | Geldig: 14-12-2020 | -

Aantoning: rekenmethode EN 1992-4, chemisch

Afstandsmontage: zonder voorspanning van het anker met moer en ring; vrijheidsgraad voor voetplaatrotatie: 2,00; $e_b = 30,0 \text{ mm}$; $t = 10,0 \text{ mm}$

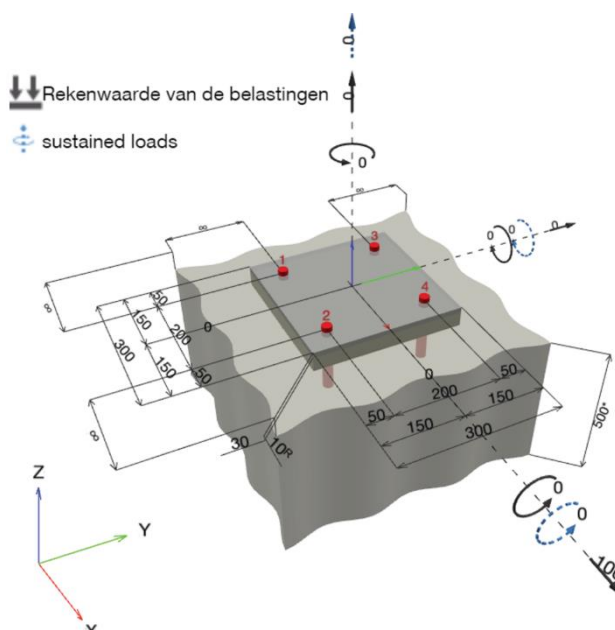
Voetplaat^R: Hilti Mortel: , universeel, $f_{c, Grot} = 30,00 \text{ N/mm}^2$
 $l_x \times l_y \times t = 300,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 10,0 \text{ mm}$; (Aanbevolen voetplaatdikte: niet berekend)

Staalprofiel: geen profiel

Ondergrond: gescheurd beton, C30/37, $f_{c, cyl} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 500,0 \text{ mm}$, Temp. kort/lang: 40/24 °C, Door de gebruiker gedefinieerde partiële materiaalveiligheidsfactor $\gamma_c = 1,500$

Plaatsing: hamergeboord gat, plaatsingsconditie: droog

Wapening: Geen wapening of wapening met staafafstand $\geq 150 \text{ mm}$ (elke $\emptyset$) of ≥ 100 ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$)
 geen rechte randwapening
 Wapening om spleten te controleren volgens EN 1992-4,-7.2 1.7 (2) b) 2) aanwezig

^R - De ankerberekening wordt gebaseerd op de aanname van een rigide voetplaat.

www.hilti.nl

Firma:	Ads-Ertner	Bladzijde:	5
Adres:	Filosofentuin 1a	Constructeur:	J.A. de Gelder
Tel. Fax:	010-4580204	E-mail:	engineering@ads-ertner.nl
berekening:	beton - 7 feb. 2022	Datum:	07-02-2022
Sub-Project Pos. Nr.:			

4 Afschuifbelasting (EN 1992-4, sectie 7.2.2)

	Belasting [kN]	Capaciteit [kN]	Benutting β_v [%]	Status
Staalbreuk (zonder hefboomsarm)*	25,000	49,040	51	OK
Staalbreuk (met hefboomsarm)*	25,000	11,538	217	niet geadviseerd
Betonachteruitbreken**	100,000	145,486	69	OK
Betonrandbreuk in richting **	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.

* ongunstigste anker **ankergroep (geactiveerde ankers)

4.1 Staalbreuk (zonder hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
61,300	1,000	61,300	1,250	49,040	25,000

4.2 Staalbreuk (met hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.37}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right) \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.38}$$

$$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3 \quad \text{EN 1992-4, Eq. 6.2}$$

l [mm]	α_M				
45,0	2,00				
$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M_{Rk,s}^0$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$ [kNm]		
0,000	1,000	0,325	0,325		
$V_{Rk,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / l$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Ed} [kN]		
14,422	1,250	11,538	25,000		

www.hilti.nl

Firma: Ads-Ertner
 Adres: Filosofentuin 1a
 Tel. | Fax: 010-4580204 |
 berekening: beton - 7 feb. 2022
 Sub-Project | Pos. Nr.:

Bladzijde: 1
 Constructeur: J.A. de Gelder
 E-mail: engineering@ads-ertner.nl
 Datum: 07-02-2022

Opmerkingen van de constructeur:

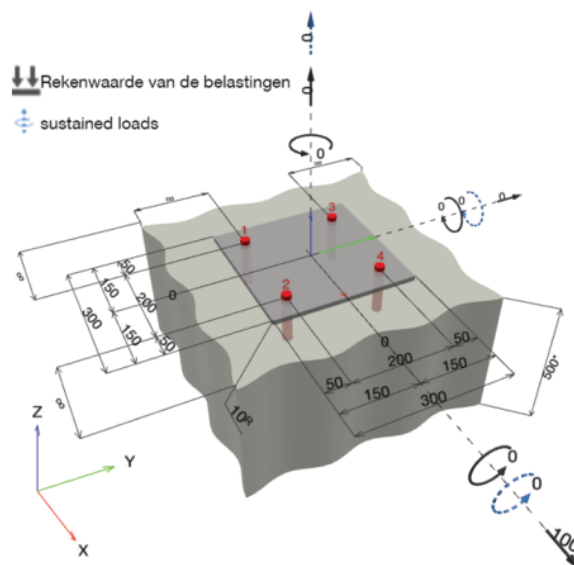
1 Invoergegevens

Ankertype en -afmeting:	HIT-HY 200-A + HIT-V (8.8) M20	
Retourperiode (levensduur in jaren):	50	
Artikelnummer:	2147195 HIT-V-8.8 M20x180 (insert) / 2022696 HIT-HY 200-A (mortel)	
Effectieve verankeringsdiepte:	$h_{ef, opti} = 90,0 \text{ mm}$ ($h_{ef, limit} = 400,0 \text{ mm}$)	
Materiaal:	8.8	
Goedkeuring nr.:	ETA 11/0493	
Uitgegeven Geldig:	14-12-2020 -	
Aantoning:	rekenmethode EN 1992-4, chemisch	
Afstandsmontage:	$e_b = 0,0 \text{ mm}$ (geen afstandsmontage); $t = 10,0 \text{ mm}$	
Voetplaat ^R :	$l_x \times l_y \times t = 300,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 10,0 \text{ mm}$; (Aanbevolen voetplaatdikte: niet berekend)	
Staalprofiel:	geen profiel	
Ondergrond:	gescheurd beton, C30/37, $f_{c, cyl} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 500,0 \text{ mm}$, Temp. kort/lang: 40/24 °C, Door de gebruiker gedefinieerde partiële materiaalveiligheidsfactor $\gamma_c = 1,500$	
Plaatsing:	hamergeboord gat, plaatsingsconditie: droog	
Wapening:	Geen wapening of wapening met staafafstand $\geq 150 \text{ mm}$ (elke $\emptyset$) of ≥ 100 ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) geen rechte randwapening Wapening om spijlen te controleren volgens EN 1992-4,-7.2 1.7 (2) b) 2) aanwezig	

Toepassing ook mogelijk met HVU2 + HAS(-E) (8.8) M20 onder de geselecteerde randvoorwaarden.
 Meer informatie in sectie Alternatieve bevestiging gegevens van dit verslag.

^R - De ankerberekening wordt gebaseerd op de aanname van een rigide voetplaat.

Geometrie [mm] & Belastingen [kN, kNm]



www.hilti.nl

Firma:	Ads-Ertner	Bladzijde:	4
Adres:	Filosofentuin 1a	Constructeur:	J.A. de Gelder
Tel. Fax:	010-4580204	E-mail:	engineering@ads-ertner.nl
berekening:	beton - 7 feb. 2022	Datum:	07-02-2022
Sub-Project Pos. Nr.:			

4 Afschuifbelasting (EN 1992-4, sectie 7.2.2)

	Belasting [kN]	Capaciteit [kN]	Benutting β_v [%]	Status
Staalbreuk (zonder hefboomsarm)*	25,000	78,400	32	OK
Staalbreuk (met hefboomsarm)*	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.
Betonachteruitbreken**	100,000	145,486	69	OK
Betonrandbreuk in richting **	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.

* ongunstigste anker **ankergroep (geactiveerde ankers)

4.1 Staalbreuk (zonder hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
98,000	1,000	98,000	1,250	78,400	25,000

4.2 Betonachteruitbreken (door betonkegelbreuk)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{M,c,p}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot \min \{N_{Rk,c}^0; N_{Rk,p}\} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.39c)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.2)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,1}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{v,2}}{s_{cr,N}} \right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{M,N} = 1 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.7)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]	
220.900	72.900	135,0	270,0	2,000	30,00	
$e_{c1,V}$ [mm]	$\Psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{M,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000
k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]		
7,700	36,009	1,500	145,486	100,000		

Groepsanker-ID

1-4

www.hilti.nl

Firma: Ads-Ertner
 Adres: Filosofentuin 1a
 Tel. | Fax: 010-4580204 |
 berekening: beton - 7 feb. 2022
 Sub-Project | Pos. Nr.:

Bladzijde: 1
 Constructeur: J.A. de Gelder
 E-mail: engineering@ads-ertner.nl
 Datum: 04-03-2022

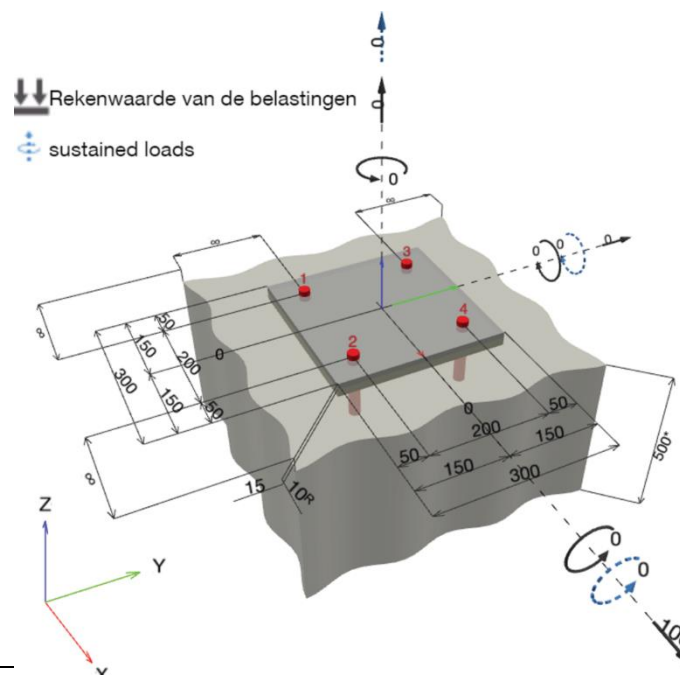
Opmerkingen van de constructeur:

1 Invoergegevens

Ankertype en -afmeting:	HIT-HY 200-A + HIT-V (8.8) M20
Retourperiode (levensduur in jaren):	50
Artikelnummer:	2147195 HIT-V-8.8 M20x180 (insert) / 2022696 HIT-HY 200-A (mortel)
Effectieve verankeringsdiepte:	$h_{ef, opti} = 90,0 \text{ mm}$ ($h_{ef, limit} = 400,0 \text{ mm}$)
Materiaal:	8.8
Goedkeuring nr.:	ETA 11/0493
Uitgegeven Geldig:	14-12-2020 -
Aantoning:	rekenmethode EN 1992-4, chemisch
Afstandsmontage:	zonder voorspanning van het anker met moer en ring; vrijheidsgraad voor voetplaatrotatie: 2,00; $e_b = 15,0 \text{ mm}$; $t = 10,0 \text{ mm}$ Hilti Mortel: , universeel, $f_{c, Grout} = 30,00 \text{ N/mm}^2$
Voetplaat ^R :	$l_x \times l_y \times t = 300,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 10,0 \text{ mm}$; (Aanbevolen voetplaatdikte: niet berekend)
Staalprofiel:	geen profiel
Ondergrond:	gescheurd beton, C30/37, $f_{c, cyl} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 500,0 \text{ mm}$, Temp. kort/lang: 40/24 °C, Door de gebruiker gedefinieerde partiële materiaalveiligheidsfactor $\gamma_c = 1,500$
Plaatsing:	hamergeboord gat, plaatsingsconditie: droog
Wapening:	Geen wapening of wapening met staafafstand $\geq 150 \text{ mm}$ (elke $\emptyset$) of ≥ 100 ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) geen rechte randwapening Wapening om spleten te controleren volgens EN 1992-4,-7.2 1.7 (2) b) 2) aanwezig



^R - De ankerberekening wordt gebaseerd op de aanname van een rigide voetplaat.



www.hilti.nl

Firma:	Ads-Ertner	Bladzijde:	5
Adres:	Filosofentuin 1a	Constructeur:	J.A. de Gelder
Tel. Fax:	010-4580204	E-mail:	engineering@ads-ertner.nl
berekening:	beton - 7 feb. 2022	Datum:	04-03-2022
Sub-Project Pos. Nr.:			

4 Afschuifbelasting (EN 1992-4, sectie 7.2.2)

	Belasting [kN]	Capaciteit [kN]	Benutting β_v [%]	Status
Staalbreuk (zonder hefboomsarm)*	25,000	78,400	32	OK
Staalbreuk (met hefboomsarm)*	25,000	27,696	91	OK
Betonachteruitbreken**	100,000	145,486	69	OK
Betonrandbreuk in richting **	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.

* ongunstigste anker **ankergroep (geactiveerde ankers)

4.1 Staalbreuk (zonder hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
98,000	1,000	98,000	1,250	78,400	25,000

4.2 Staalbreuk (met hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.37}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right) \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.38}$$

$$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3 \quad \text{EN 1992-4, Eq. 6.2}$$

l [mm]	α_M				
30,0	2,00				
$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M_{Rk,s}^0$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$ [kNm]		
0,000	1,000	0,519	0,519		
$V_{Rk,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / l$ [kN]		$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Ed} [kN]	
34,620		1,250	27,696	25,000	

www.hilti.nl

Firma: Ads-Ertner
 Adres: Filosofentuin 1a
 Tel. | Fax: 010-4580204 |
 berekening: beton - 7 feb. 2022
 Sub-Project | Pos. Nr.:

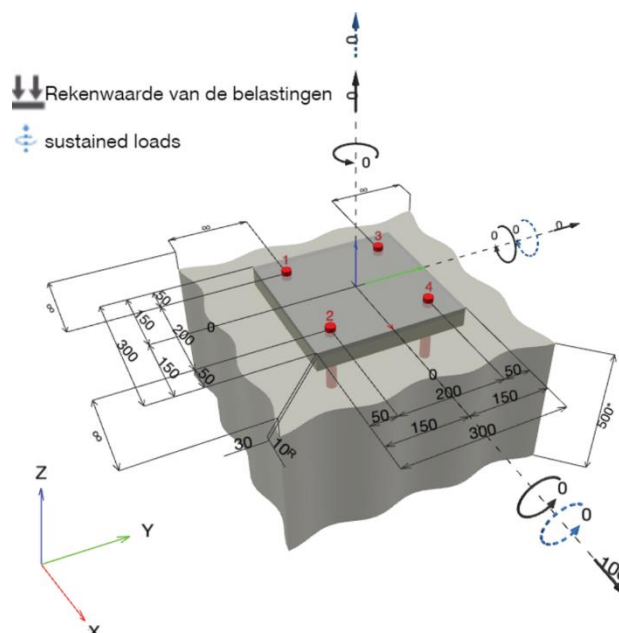
Bladzijde: 1
 Constructeur: J.A. de Gelder
 E-mail: engineering@ads-ertner.nl
 Datum: 07-02-2022

Opmerkingen van de constructeur:

1 Invoergegevens

Ankertype en -afmeting:	HIT-HY 200-A + HIT-V (8.8) M20	
Retourperiode (levensduur in jaren):	50	
Artikelnummer:	2147195 HIT-V-8.8 M20x180 (insert) / 2022696 HIT-HY 200-A (mortel)	
Effectieve verankeringsdiepte:	$h_{ef, opti} = 90,0 \text{ mm}$ ($h_{ef, limit} = 400,0 \text{ mm}$)	
Materiaal:	8.8	
Goedkeuring nr.:	ETA 11/0493	
Uitgegeven Geldig:	14-12-2020 -	
Aantoning:	rekenmethode EN 1992-4, chemisch	
Afstandsmontage:	zonder voorspanning van het anker met moer en ring; vrijheidsgraad voor voetplaatrotatie: 2,00; $e_b = 30,0 \text{ mm}$; $t = 10,0 \text{ mm}$ Hilti Mortel: , universeel, $f_{c, Grout} = 30,00 \text{ N/mm}^2$	
Voetplaat ^R :	$l_x \times l_y \times t = 300,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 10,0 \text{ mm}$; (Aanbevolen voetplaatdikte: niet berekend)	
Staalprofiel:	geen profiel	
Ondergrond:	gescheurd beton, C30/37, $f_{c, cyl} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 500,0 \text{ mm}$, Temp. kort/lang: 40/24 °C, Door de gebruiker gedefinieerde partiële materiaalveiligheidsfactor $\gamma_c = 1,500$	
Plaatsing:	hamergeboord gat, plaatsingsconditie: droog	
Wapening:	Geen wapening of wapening met staafafstand $\geq 150 \text{ mm}$ (elke $\emptyset$) of ≥ 100 ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) geen rechte randwapening Wapening om spleten te controleren volgens EN 1992-4,-7.2 1.7 (2) b) 2) aanwezig	

^R - De ankerberekening wordt gebaseerd op de aanname van een rigide voetplaat.



www.hilti.nl

Firma:	Ads-Ertner	Bladzijde:	5
Adres:	Filosofentuin 1a	Constructeur:	J.A. de Gelder
Tel. Fax:	010-4580204	E-mail:	engineering@ads-ertner.nl
berekening:	beton - 7 feb. 2022	Datum:	07-02-2022
Sub-Project Pos. Nr.:			

4 Afschuifbelasting (EN 1992-4, sectie 7.2.2)

	Belasting [kN]	Capaciteit [kN]	Benutting β_v [%]	Status
Staalbreuk (zonder hefboomsarm)*	25,000	78,400	32	OK
Staalbreuk (met hefboomsarm)*	25,000	18,464	136	niet geadviseerd
Betonachteruitbreken**	100,000	145,486	69	OK
Betonrandbreuk in richting **	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.

* ongunstigste anker **ankergroep (geactiveerde ankers)

4.1 Staalbreuk (zonder hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.35)}$$

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
98,000	1,000	98,000	1,250	78,400	25,000

4.2 Staalbreuk (met hefboomsarm)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{M,s}} \quad \text{EN 1992-4, tabel 7.2}$$

$$V_{Rk,s,M} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l_a} \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.37}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right) \quad \text{EN 1992-4, Eq. 7.38}$$

$$l_a = e_c + \frac{t}{2} + a_3 \quad \text{EN 1992-4, Eq. 6.2}$$

l [mm]	α_M			
45,0	2,00			
$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M_{Rk,s}^0$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$ [kNm]	
0,000	1,000	0,519	0,519	
$V_{Rk,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / l$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Ed} [kN]	
23,080	1,250	18,464	25,000	

3. Specificatie veelgebruikte mortelsoorten

Bruil Gietmortel GTM501

Versie 7: 09-2020

Bruil Gietmortel GTM501



Bruil gietmortel GTM501 is een fabrieksmatig vervaardigde cementgebonden droge mortel, conform CUR 24: Krimparme cementgebonden mortels.

Toepassing

Bruil gietmortel GTM501 voldoet aan de sterkteklasse K50 en is toe te passen binnen alle milieuklassen (X0, XC4, XF4, XS3, XD3 en XA3).

Bruil Gietmortel is geschikt voor het vastzetten van horizontale en verticale verankeringen, vullen van gains, aangieten van verankeringen en ondergieten van machinefundaties. Giet/laagdikte >5 mm.

Voordelen

Ook leverbaar met Bruil Silo-service:

- > Constante hoogwaardige mortelkwaliteit
- > Geen afval op de bouwplaats
- > Snel en stofarm mengen
- > Minder arbeidsintensief



Ca. 25 kg



Ca. 1.000 kg



Ca. 2.000 kg

Ca. 7.000 kg

Ca. 22.000 kg

Producteigenschappen

Bindmiddel	Cement	(NEN-EN 197-1)
Toeslagmateriaal	Zand 0-1 mm	(NEN-EN 13139)
Vulstof	Kalksteenmeel	(NEN-EN 13139)
Toevoegingen	Hulpstoffen	(NEN-EN 934-3)
Waterbehoefte	15,5 ± 0,5%	
Vloeimaat na 5 minuten	> 550mm	
Vloeimaat na 30 minuten	> 450mm	
Volumieke massa	2.300 ± 50 kg/m ³	
Verwerkingstijd	> 20 min	
Zwelling		

bruil® beton & mix

T 088 811 87 17
W www.bruil.nl

Plastische fase	0,1 - 2,0 %(V/V)
na 24 uur:	tussen 70 en 100% t.o.v. maximale zwelling
na 24 uur:	> zwelling op tijdstip 20 min.
Stabiliteit	Stabiel, geen waterscheiding, geen schuimvorming
Buigtreksterkte na 24 uur	$\geq 6,0 \text{ N/mm}^2$
Buigtreksterkte na 7 dagen	$\geq 10,0 \text{ N/mm}^2$
Druksterkte na 24 uur	$\geq 30,0 \text{ N/mm}^2$
Druksterkte na 7 dagen	$\geq 50,0 \text{ N/mm}^2$
Krimp	< 0,5 mm/m

Gebruiksaanwijzing

Vorbereiding

Alle voor de hechting nadelige invloeden verwijderen. Ondergrond bevochtigen met water om uitdroging van de mortel tegen te gaan. Eventueel overtollig water voor het aanbrengen van de mortel verwijderen.

Verwerking

Doseer 3,8 tot 4,0 liter schoon leidingwater per zak van 25 kg in een schone kuip of speciemolen. Voeg hier de mortel aan toe. Meng machinaal ca. 3 minuten met een geschikte mortelmixer tot een homogene klontvrije vloespecie is verkregen. Verwerk de gietmortel binnen 20 minuten bij een omgevingstemperatuur van 5°C tot 30°C. Vermeng geen oude en verse gietmortel. Gereedschap direct na gebruik reinigen met water.

Nabehandeling

Bescherm de aangebrachte specie tegen ongunstige weersinvloeden (regen, tocht, vorst en zon) en in het bijzonder uitdroging. Bijvoorbeeld

door het afgewerkte oppervlak af te dekken met folie, regelmatig te bevochtigen met leidingwater of het aanbrengen van een curing compound.

Verbruik

Het verbruik is sterk afhankelijk van de toepassing van het product.

- > Eén zak Bruil gietmortel GTM501 van 25 kg levert ca. 12,5 liter specie op.

Ecologie/ toxicologie

Bij normaal gebruik levert het product geen gevaar op voor mens en milieu. De verpakking helemaal leegmaken, productresten laten drogen en/of verharden en als normaal bouwafval afvoeren.

Veiligheidsvoorschriften

Van alle Bruil beton & mix producten is een separaat veiligheidsinformatieblad beschikbaar. Neem deze informatie altijd van tevoren door. Niet in combinatie met andere middelen gebruiken tenzij nadrukkelijk vermeld in deze documentatie.

bruil[®] beton & mix

T 088 811 87 17
W www.bruil.nl

Bruil Gietmortel

GTM701



Bruil gietmortel GTM701 is een fabrieksmatig vervaardigde cementgebonden droge mortel, conform CUR 24: Krimparme cementgebonden mortels.

Toepassing

Bruil gietmortel GTM701 voldoet aan de sterkteklasse K70 en is toe te passen binnen alle milieuklassen (X0, XC4, XF4, XS3, XD3 en XA3). Bruil Gietmortel is geschikt voor het vastzetten van horizontale en verticale verankeringen, vullen van gains, aangieten van verankeringen en ondergieten van machinefundaties. Giet/laagdikte >5 mm.

Voordelen

Ook leverbaar met Bruil Silo-service:

- > Constante hoogwaardige mortelkwaliteit
- > Geen afval op de bouwplaats
- > Snel en stofarm mengen
- > Minder arbeidsintensief



Ca. 25 kg



Ca. 1.000 kg



Ca. 2.000 kg
Ca. 7.000 kg
Ca. 22.000 kg

Producteigenschappen

Bindmiddel	Cement	(NEN-EN 197-1)
Toeslagmateriaal	Zand 0-1 mm	(NEN-EN 13139)
Vulstof	Kalksteenmeel	(NEN-EN 13139)
Toevoegingen	Hulpstoffen	(NEN-EN 934-3)
Waterbehoefte	15,5 ± 0,5%	
Vloeimaat na 5 minuten	> 550mm	
Vloeimaat na 30 minuten	> 450mm	
Volumieke massa	2.300 ± 50 kg/m ³	
Verwerkingstijd	> 20 min	
Zwelling		
Plastische fase	0,1 - 2,0 %(V/V)	
na 24 uur:	tussen 70 en 100% t.o.v. maximale zwelling	
na 24 uur:	> zwelling op tijdstip 20 min.	
Stabiliteit	Stabiël, geen waterscheiding, geen schuimvorming	
Buigtreksterkte na 24 uur	≥ 6,0 N/mm ²	
Buigtreksterkte na 7 dagen	≥ 9,0 N/mm ²	
Buigtreksterkte na 28 dagen	≥ 10,0 N/mm ²	
Druksterkte na 24 uur	≥ 40,0 N/mm ²	
Druksterkte na 7 dagen	≥ 70,0 N/mm ²	
Druksterkte na 28 dagen	≥ 90,0 N/mm ²	
Krimp	< 0,5 mm/m	

Bruil Gietmortel GTM704



Bruil gietmortel GTM704 is een fabrieksmatig vervaardigde cementgebonden droge mortel, conform CUR 24: Krimparme cementgebonden mortels.

Toepassing

Bruil gietmortel GTM704 voldoet aan de sterkteklasse K70 en is toe te passen binnen alle milieuklassen (X0, XC4, XF4, XS3, XD3 en XA3).

Bruil Gietmortel is geschikt voor het vastzetten van horizontale en verticale verankeringen, vullen van gains, aangieten van verankeringen en ondergieten van machinefundaties. Giet/laagdikte >20 mm.

Voordelen

Ook leverbaar met Bruil Silo-service:

- > Constante hoogwaardige mortelkwaliteit
- > Geen afval op de bouwplaats
- > Snel en stofarm mengen
- > Minder arbeidsintensief



Ca. 25 kg



Ca. 1.000 kg



Ca. 2.000 kg
Ca. 7.000 kg
Ca. 22.000 kg

Producteigenschappen

Bindmiddel	Cement	(NEN-EN 197-1)
Toeslagmateriaal	Zand 0-4 mm	(NEN-EN 13139)
Vulstof	Kalksteenmeel	(NEN-EN 13139)
Toevoegingen	Hulpstoffen	(NEN-EN 934-3)
Waterbehoefte	15,5 ± 0,5%	
Vloeimaat na 5 minuten	> 550mm	
Vloeimaat na 30 minuten	> 450mm	
Volumieke massa	2.300 ± 50 kg/m ³	
Verwerkingstijd	> 20 min	
Zwelling		
Plastische fase	0,1 - 2,0 %(V/V)	
na 24 uur:	tussen 70 en 100% t.o.v. maximale zwelling	

bruil[®] beton & mix

T 088 811 87 17
W www.bruil.nl

na 24 uur:	> zwelling op tijdstip 20 min.
------------	--------------------------------

Stabiliteit	Stabiel, geen waterscheiding, geen schuimvorming
-------------	--

Buigtreksterkte na 24 uur	$\geq 6,0 \text{ N/mm}^2$
Buigtreksterkte na 7 dagen	$\geq 9,0 \text{ N/mm}^2$
Buigtreksterkte na 28 dagen	$\geq 10,0 \text{ N/mm}^2$
Druksterkte na 24 uur	$\geq 40,0 \text{ N/mm}^2$
Druksterkte na 7 dagen	$\geq 70,0 \text{ N/mm}^2$
Druksterkte na 28 dagen	$\geq 90,0 \text{ N/mm}^2$

Krimp	< 1,0 mm/m
-------	------------

Gebruiksaanwijzing

Vorbereiding

Alle voor de hechting nadelige invloeden verwijderen. Ondergrond bevochtigen met water om uitdroging van de mortel tegen te gaan. Eventueel overtollig water voor het aanbrengen van de mortel verwijderen.

Verwerking

Doseer 3,8 tot 4,0 liter schoon leidingwater per zak van 25 kg in een schone kuip of speciemen. Voeg hier de mortel aan toe. Meng machinaal ca. 3 minuten met een geschikte mortelmixer tot een homogene klontvrije vloeispecie is verkregen. Verwerk de gietmortel binnen 20 minuten bij een omgevingstemperatuur van 5°C tot 30°C. Vermeng geen oude en verse gietmortel. Gereedschap direct na gebruik reinigen met water.

Nabehandeling

Bescherm de aangebrachte specie tegen ongunstige weersinvloeden (regen, tocht, vorst en zon) en in het bijzonder uitdroging. Bijvoorbeeld door het afgewerkte oppervlak af te dekken met

folie, regelmatig te bevochtigen met leidingwater of het aanbrengen van een curing compound.

Verbruik

Het verbruik is sterk afhankelijk van de toepassing van het product.

- > Eén zak Bruil gietmortel GTM704 van 25 kg levert ca. 12,5 liter specie op.

Ecologie/ toxicologie

Bij normaal gebruik levert het product geen gevaar op voor mens en milieu. De verpakking helemaal leegmaken, productresten laten drogen en/of verhard en als normaal bouwafval afvoeren.

Veiligheidsvoorschriften

Van alle Bruil beton & mix producten is een separaat veiligheidsinformatieblad beschikbaar. Neem deze informatie altijd van tevoren door. Niet in combinatie met andere middelen gebruiken tenzij nadrukkelijk vermeld in deze documentatie.

CUGLATON® TIKSO K50

- CUGLATON TIKSO K50 is een krimparme cementgebonden mortel met thixotrope eigenschappen, speciaal ontwikkeld voor het monteren van prefab montagesystemen, zonder gebruik van bekisting.
- CUGLATON TIKSO K50 heeft een uitstekende verpompbaarheid, stabiliteit en hechtcracht.
- CUGLATON TIKSO K50 kan worden toegepast in laagdikten tot ca. 60 mm.

Toepassingsgebied

Burgerlijke- en utiliteitsbouw / prefab montage	Vullen van stelruimten onder prefab betonnen elementen d.m.v. pompen. Plaatsen van prefab betonnen elementen in een speciebed. Vullen van verticale voegen tussen prefab betonnen elementen.
Industriebouw	Horizontaal verlijmen van ankers. Vullen van kraanbanen onder helling. Onderpompen van stalen baseplates
Beton- en waterbouw	Horizontaal verlijmen van ankers. Vullen van verticale voegen tussen prefab betonnen elementen.

Classificatie volgens CUR-Aanbeveling 24 KRIMPARME CEMENTGEBONDEN MORTELS



Mortelsoort	Troffelmortel
Morteltype	0,5 mm
Sterkteklasse	K 50
Milieuklasse	X0 t/m XA3
Zwelling	> 0,1% < 2,0 %
Gemiddelde krimp	< 0,80 mm/m

Gebruiksaanwijzing

Voorbehandeling

Het oppervlak waarop CUGLATON TIKSO K50 moet worden aangebracht dient schoon te zijn, cementhuid verwijderen en er mag geen vrij water aanwezig zijn.

- Voorbehandeling met water.
Het oppervlak dient alleen voorbevochtigd te worden met water (Let op: geen vrij water!).

of

- Voorbehandeling met CUGLACRETE HECHTPRIMER CEMENTGEBONDEN of CUGLACRETE HECHTPRIMER EPOXY SEALER.
Voor een optimale hechting adviseren wij het gebruik van CUGLACRETE HECHTPRIMER CEMENTGEBONDEN, een cementgebonden polymeergemodificeerd systeem, of CUGLACRETE HECHTPRIMER EPOXY SEALER, een systeem op epoxy basis.

Mengen

CUGLATON TIKSO K50 machinaal mengen tot een homogeen mengsel.

Mengtijd afhankelijk van het type menger, ca. 3 minuten.

Waterdosering

Waterbandbreedte: 3,0 – 3,4 ltr/20 kg mortel. Doseer, binnen de aangegeven waterbandbreedte, zodanig veel water dat een halfplastische mortelspecie met een spreidmaat van ca. 140 mm wordt bereikt.

Nabehandeling

Het afgewerkte vlak moet zorgvuldig tegen uitdrogen worden beschermd met CUGLA CURING COMPOUND, of afdekken met plastic folie.

Opslag en houdbaarheid

Indien droog opgeslagen, houdbaar tot 6 maanden na productiedatum, zoals vermeld op de verpakking.

Technische gegevens bij 20°C/65% r.v.

Maximale korrel		0,3	mm
Cementsoort		Portland	
Waterbandbreedte		3,0 – 3,4	ltr/20 kg mortel
Verbruik per m ³ circa		1780	kg
Volumieke massa		2050	kg/m
Laagdikte		60	mm max.
Spreidmaat	t = 0 min.	140	mm
Verwerkingstijd		30	minuten
Zwelling v/v ASTM C827		> 0,1 en < 2,0	%
Uitdrogingskrimp NEN 3534	24 uur	< 0,3	mm/m
	28 dagen	< 1,3	mm/m
Bleeding		geen	
Brandklasse (NEN-EN 13501-1)		A1	

Sterkteontwikkeling ISO 679		16 uur	24 uur	7 dagen	28 dagen	91 dagen
Buigtreksterkte	N/mm ²	2	4	7	9	
Druksterkte	N/mm ²	32	44	65	80	90

Cuglaton[®] bevat geen chloride, noch enige andere corrosie activerende stof. Voor toepassing bij een temperatuur < 0°C dient men contact op te nemen met Cugla B.V.

Gezondheidsaspecten

Cugla adviseert:

- Geschikte handschoenen en veiligheidsbril te dragen.
- Contact met ogen en huid te vermijden.
- Indien het product in de ogen komt onmiddellijk te spoelen met water en medisch advies in te winnen.
- Bij inslikken onmiddellijk een arts te raadplegen en de verpakking of het veiligheidsinformatieblad te tonen.

Voor gedetailleerde informatie verwijzen wij naar het veiligheidsinformatieblad, VIB Cuglaton Tikso K50, op onze website.

Wijzigingen van deze documentatie worden u niet automatisch verstrekt. Voorgaande productinformatie vervalt hierbij. Bovenstaande waarden worden naar beste weten verstrekt. Het betreft daar laboratoriumomstandigheden. Wij kunnen t.a.v. de bereikte resultaten op het werk geen aansprakelijkheid aanvaarden, nu wij geen invloed hebben op de verwerking, noch op de specifieke omstandigheden op het werk.

Op al onze transacties zijn onze algemene verkoop-, leverings- en betalingsvoorwaarden van toepassing, zie www.cugla.nl.

CUGLATON® STELMORTEL K70

- CUGLATON STELMORTEL K70 is een krimparme cementgebonden mortel met thixotrope eigenschappen die speciaal ontwikkeld is voor de prefab montage.

Toepassingsgebied

Prefab montage

Stellen van prefab betonnen elementen.

Plaatsen van prefab betonnen elementen in een speciebed.

Classificatie volgens CUR-Aanbeveling 24 KRIMPARME CEMENTGEBONDEN MORTELS



Mortelsoort	Troffelmortel
Morteltype	2 mm
Sterkteklasse	K 70
Milieuklasse	X0 t/m XA3
Zwelling	> 0,1% < 2,0 %
Gemiddelde krimp	< 0,72 mm/m

Gebruiksaanwijzing

Voorbehandeling

Het oppervlak waarop CUGLATON STELMORTEL K70 moet worden aangebracht dient schoon te zijn, cementhuid verwijderen en er mag geen vrij water aanwezig zijn.

- Voorbehandeling met water.

Het oppervlak dient alleen voorbevochtigd te worden met water (Let op: geen vrij water!).

of

- Voorbehandeling met CUGLACRETE HECHTPRIMER CEMENTGEBONDEN of CUGLACRETE HECHTPRIMER EPOXY SEALER.

Voor een optimale hechting adviseren wij het gebruik van CUGLACRETE HECHTPRIMER CEMENTGEBONDEN, een cementgebonden polymeergemodificeerd systeem, of CUGLACRETE HECHTPRIMER EPOXY SEALER, een systeem op epoxy basis.

Mengen

CUGLATON STELMORTEL K70 machinaal mengen tot een homogeen mengsel.

Mengtijd afhankelijk van het type menger, ca. 3 minuten.

Waterdosering

Waterbandbreedte: 2,4 – 2,8 ltr/20 kg mortel. Doseer, binnen de aangegeven waterbandbreedte, zodanig veel water dat een mortelspecie met een spreidmaat van ca. 140 mm wordt bereikt.

Nabehandeling

Het afgewerkte vlak moet zorgvuldig tegen uitdrogen worden beschermd met CUGLA CURING COMPOUND, of afdekken met plastic folie.

Opslag en houdbaarheid

Indien droog opgeslagen, houdbaar tot 6 maanden na productiedatum, zoals vermeld op de verpakking.

Technische gegevens bij 20°C/65% r.v.

Maximale korrel	2	mm
Cementsoort	Portland	
Waterbandbreedte	2,4 – 2,8	ltr/20 kg mortel
Verbruik per m ³ circa	1980	kg
Volumieke massa	2250	kg/m ³
Laagdikte	80	mm max.
Volumieke massa	2250	kg/m ³
Spreadmaat	t = 0 min.	140 mm
Verwerkingstijd	30	minuten
Zwelling v/v ASTM C827	> 0,1 en < 2,0	%
Uitdrogingskrimp NEN 3534	24 uur	< 0,3 mm/m
	28 dagen	< 1,0 mm/m

Sterkteontwikkeling ISO 679		16 uur	24 uur	7 dagen	28 dagen	91 dagen
Buigtreksterkte	N/mm ²	2	3	8	9	
Druksterkte	N/mm ²	35	45	75	85	90
Druksterkte (150x150x150 mm)	N/mm ²				84	

Cuglaton[®] bevat geen chloride, noch enige andere corrosie activerende stof. Voor toepassing bij een temperatuur < 0°C dient men contact op te nemen met Cugla B.V.

Gezondheidsaspecten

Cugla adviseert:

- Geschikte handschoenen en veiligheidsbril te dragen.
- Contact met ogen en huid te vermijden.
- Indien het product in de ogen komt onmiddellijk te spoelen met water en medisch advies in te winnen.
- Bij inslikken onmiddellijk een arts te raadplegen en de verpakking of het veiligheidsinformatieblad te tonen.

Voor gedetailleerde informatie verwijzen wij naar het veiligheidsinformatieblad, VIB Cuglaton Stelmortel K70, op onze website.

Wijzigingen van deze documentatie worden u niet automatisch verstrekt. Voorgaande productinformatie vervalt hierbij. Bovenstaande waarden worden naar beste weten verstrekt. Het betreft daar laboratoriumomstandigheden. Wij kunnen t.a.v. de bereikte resultaten op het werk geen aansprakelijkheid aanvaarden, nu wij geen invloed hebben op de verwerking, noch op de specifieke omstandigheden op het werk.

Op al onze transacties zijn onze algemene verkoop-, leverings- en betalingsvoorwaarden van toepassing, zie www.cugla.nl.

HOGESTERKTE GIETMORTEL K70 (C80/95)

V3/50 HOGESTERKTE GIETMORTEL K70

TESTRAPPORTEN EN CERTIFICATEN

- › overeenstemmingscertificaat conform Duitse DAfStb-Richtlijn (VeBMR) "productie en toepassing van krimparme cementgebonden gietbeton en gietmortel "
- › voldoet aan CUR-Aanbeveling 24
- › voldoet als betonherstelsysteem R4 aan DIN EN 1504-3 voor statisch en niet statisch relevante toepassingen
- › hoge vorst- en dooizoutbestendigheid aangetoond volgens de CDF-methode
- › bestand tegen vermoeiing door constant wisselende belasting, in droge toestand en onder water (testrapport beschikbaar)
- › externe kwaliteitsbewaking door EU geaccrediteerd certificeringsinstituut QDB (Nr. 0921) (vergelijkbaar met Nederlandse KIWA)
- › fabriekseigen productiecontrole in overeenstemming met DIN EN 1504-3
- › kwaliteitssysteem van de onderneming gecertificeerd conform DIN EN ISO 9001:2015

TOEPASSINGSVOORBEELD

Aangieten van de last-verdeelplaat onder de mast van een windturbinetoren met **V3/50** hogesterkte gietmortel C80/95



TECHNISCHE GEGEVENS

TYPE			V3/50
Korrel	mm		0-5
Laagdikte	mm		20-125 (300)***
Waterdosering	max.	%	10,5
Verbruik ca.		kg/m ³	2.100
Soortelijk gewicht ca.		kg/m ³	2.350
Verwerkingstijd ca.	+ 20 °C	min	90
Zwelling	24 h	Vol.-%	≥ 0,1
Spreidmaat	5 min	mm	≥ 700
	30 min	mm	≥ 620
Druksterkte*	1 d	N/mm ²	≥ 50
	7 d	N/mm ²	≥ 65
	28 d	N/mm ²	≥ 95
Buigtreksterkte**	1 d	N/mm ²	≥ 6
	7 d	N/mm ²	≥ 9
	28 d	N/mm ²	≥ 12
E-modulus (statisch)	28 d	N/mm ²	≥ 35.000
Classificatie volgens EN 1504-3			R4

* betondruksterkte cfm. DIN EN 12390-3

** buigtreksterkte cfm. DIN EN 12390-5

*** cfm. E DIN 18088-5:2017-12

Opmerking: Alle waardebepalingen zijn uitgevoerd overeenkomstig de DAfStb VeBMR-Richtlijn.

Zowel de verse als uitgeharde proefmonsters zijn getest bij 20 °C ± 2 °C. Prisma's en kubussen werden vanaf 24 uur na de aanmaak tot het moment van beproeving onder water bewaard bij 20 °C ± 2 °C. Hogere en lagere temperaturen leiden tot afwijkende morteleigenschappen en testresultaten. Afhankelijk van de temperatuur dient de consistentie aangepast te worden door reductie van de waterhoeveelheid.

Opslag: Tenminste 12 maanden. Koel, droog en vorstvrij in originele verpakking.

Verpakking: 25-kg-zakgoed op europallet 1.000 kg

Gevarenklasse: Geen gevaar. Zie verpakking.

PAGEL-PRODUCTSAMENSTELLING:

Cement: DIN EN 197-1

Toeslagmateriaal: DIN EN 12620

Vulstoffen: DIN EN 450

DIN EN 13263 (vliegas, microsilica)

Hulpstoffen: DIN EN 934-4

4. Proefresultaten

Proefstuk nr		Diameter	Anker kwaliteit	voegdikte (mm)	Mortelsoort	fu van ankermateriaal (N/mm²)	Bezwijk afschuifkracht proef (kN)	aantal ankers	Bezwijk afschuifkracht Fh per anker(kN)	grenswaarde voor de sterkte Fh per anker (kN)	bezwijkkracht grenswaarde	Verplaatsing δx (mm)	gestandaardiseerde fu rekenwaarde (N/mm²)	correctie fu	gecorrigeerde bezwijk schuifkracht Fh (kN)	afschuifcapaciteit volgens boutberekening NEN-EN 1993-1-8 (kN)	β
D7	Proevenserie II	M20	4.6	30	z-c	423	310	4	77,50	31	2,5	32,0	400	0,95	73,3	47,0	1,56
D8		M20	4.6	30	z-c	423	310	4	77,50	31	2,5	27,0	400	0,95	73,3	47,0	1,56
D9		M20	4.6	30	pagel VI	423	260	4	65,00	31	2,1	18,5	400	0,95	61,5	47,0	1,31
D10		M20	8.8	30	pagel VI	1196	295	2	147,50	59	2,5	24,0	800	0,67	98,7	94,1	1,05
D11		M20	4.6	30	pagel VI	411	234	4	58,50	30	2,0	22,5	400	0,97	56,9	47,0	1,21
D12		M20	8.8	60	z-c	1176	300	2	150,00	58	2,6	27,0	800	0,68	102,0	94,1	1,08
DT3	Proevenserie III	M20	4.6	30	geen	423	240	4	60,00	31	1,9		400	0,95	56,7	47,0	1,21
DT4		M20	4.6	30	z-c	423	240	4	60,00	31	1,9	24,5	400	0,95	56,7	47,0	1,21
DT5		M20	8.8	30	pagel VI	1152	178	2	89,00	56	1,6	16,0	800	0,69	61,8	94,1	0,66
DT6		M20	8.8	30	z-c	1076	200	2	100,00	53	1,9	18,0	800	0,74	74,3	94,1	0,79
DT7		M20	8.8	30	pagel VI	1070	190	2	95,00	52	1,8	20,0	800	0,75	71,0	94,1	0,75
DT8		M20	8.8	60	pagel VI	1045	230	2	115,00	51	2,3	32,0	800	0,77	88,0	94,1	0,94
DT10		M20	8.8	60	pagel VI	1049	228	2	114,00	51	2,2	35,0	800	0,76	86,9	94,1	0,92
DT12		M20	8.8	15	pagel VI	1176	255	2	127,50	58	2,2	17,0	800	0,68	86,7	94,1	0,92
DT13		M20	4.6	60	z-c	414	320	4	80,00	30	2,7	40,0	400	0,97	77,3	47,0	1,64
DT14		M20	4.6	60	pagel VI	411	305	4	76,25	30	2,5	50,0	400	0,97	74,2	47,0	1,58
DT15		M20	8.8	30	pagel VI	1089	200	2	100,00	53	1,9	17,5	800	0,73	73,5	94,1	0,78
DT16		M20	4.6	30	Pagel VI	443	255	4	63,75	33	1,9	27,5	400	0,90	57,6	47,0	1,22

tabel 4-1 Numerieke resultaten van de proeven uitgevoerd door L. Bouwman et al. [1] waarin staalbreuk het bezwijkmechanisme is
z-c = zandcement

Proefstuk nr.	Diameter (inch)	Diameter Equivalent (mm)	Gatdiameter (inch)	Gatdiameter (mm)	Aantal	Klasse aanduiding	Stelruimteverhouding *	Stelruimte (mm)	Stelruimteverhouding	Stelruimte (mm)	T _u (kip)	T _u (kN)	V _u bout (kip)	V _u bout (kN)	Verhouding V _u /T _u	β
T7	0,625	M16	0,81	20,6	6	F1554-G55	2,0	32	2,0	41	20,7	92,1	11,0	48,9	0,53	0,89
T9	0,625	M16	0,81	20,6	6	F1554-G55	4,0	64	4,0	82	20,7	92,1	13,3	59,2	0,64	1,07
T25	0,625	M16	0,81	20,6	3	F1554-G55	4,2	67	4,2	86	20,0	89,0	9,5	42,3	0,48	0,79
LS2	1,250	M30	1,75	44,5	6	F1554-G55	2,2	70	1,0	32	84,4	375,4	59,1	262,9	0,70	1,17
LS3	1,250	M30	1,75	44,5	6	F1554-G55	3,0	95	3,0	95	84,4	375,4	46,9	208,6	0,56	0,93
LS4	1,250	M30	1,75	44,5	6	F1554-G55	3,0	95	3,0	95	84,4	375,4	52,8	234,9	0,63	1,04
ES23	0,625	M16	0,81	20,6	2	F1554-G55	1,2	19	1,2	25	20,0	89,0	11,2	49,8	0,56	0,93
ES24	0,625	M16	0,81	20,6	2	F1554-G55	2,2	35	2,2	45	20,0	89,0	12,1	53,8	0,61	1,01
ES25	0,625	M16	0,81	20,6	2	F1554-G55	4,2	67	4,2	86	20,0	89,0	15,7	69,8	0,79	1,31
ES26	0,625	M16	0,81	20,6	2	F1554-G55	2,2	35	2,2	45	20,0	89,0	7,6	33,8	0,38	0,63
ES27	0,625	M16	0,81	20,6	2	F1554-G55	2,2	35	4,2	86	20,0	89,0	8,2	36,5	0,41	0,68
ES28	0,625	M16	0,81	20,6	2	F1554-G55	2,2	35	2,2	45	20,0	89,0	14,2	63,2	0,71	1,18
ES30	0,625	M16	0,81	20,6	2	F1554-G55	4,2	67	2,2	45	20,0	89,0	10,4	46,3	0,52	0,87
ES31	0,625	M16	0,81	20,6	4	F1554-G55	4,2	67	4,2	86	20,0	89,0	10,0	44,5	0,50	0,83

tabel 4-2 Numerieke resultaten proeven van K. McBride [2] waarin staalbreuk het bezwijkmechanisme is.

Proefstuk nr		Diameter	voeg dikte (mm)	fu van ankermateriaal (N/mm²)	Bezwijk afschuifkracht proef(kN)	aantal ankers	Bezwijk schuifkracht Fh per anker (kN)	Verplaatsing δx (mm)	gestandaardiseerde fu rekenwaarde (N/mm²)	correctie fu	gecorrigeerde bezwijk afschuifkracht Fh (kN)	afschuifcapaciteit volgens boutberekening NEN-EN 1993-1-8 (kN)	β
1	Steek S1=S2 = 65mm	M12	0	713	143,1	4	35,8	9,1	800	1,12	40,1	32,4	1,24
2		M12	0	713	141,2	4	35,3	9,4	800	1,12	39,6	32,4	1,22
3		M12	6	713	128,1	4	32,0	13,0	800	1,12	35,9	32,4	1,11
4		M12	6	713	135,9	4	34,0	11,6	800	1,12	38,1	32,4	1,18
5		M12	6	713	130,3	4	32,6	12,2	800	1,12	36,5	32,4	1,13
6		M12	14	713	119	4	29,8	14,4	800	1,12	33,4	32,4	1,03
7		M12	14	713	113,3	4	28,3	13,8	800	1,12	31,8	32,4	0,98
8		M12	14	713	115,2	4	28,8	15,2	800	1,12	32,3	32,4	1,00
9		M12	20	713	106,6	4	26,7	20,8	800	1,12	29,9	32,4	0,92
10		M12	20	713	110,7	4	27,7	19,9	800	1,12	31,1	32,4	0,96
11		M12	20	713	105,1	4	26,3	20,2	800	1,12	29,5	32,4	0,91
12		M12	30	713	102,7	4	25,7	21,7	800	1,12	28,8	32,4	0,89
13		M12	30	713	99,1	4	24,8	24,4	800	1,12	27,8	32,4	0,86
14		M12	30	713	102,3	4	25,6	23,8	800	1,12	28,7	32,4	0,89
15	Steek S1=S2 = 190mm	M12	0	713	142	4	35,5	11,3	800	1,12	39,8	32,4	1,23
16		M12	6	713	127,7	4	31,9	11,7	800	1,12	35,8	32,4	1,11
17		M12	6	713	117,7	4	29,4	11,6	800	1,12	33,0	32,4	1,02
18		M12	6	713	125,2	4	31,3	10,5	800	1,12	35,1	32,4	1,08
19		M12	14	713	105,8	4	26,5	13,5	800	1,12	29,7	32,4	0,92
20		M12	14	713	107,7	4	26,9	12,3	800	1,12	30,2	32,4	0,93
21		M12	14	713	110	4	27,5	11,0	800	1,12	30,9	32,4	0,95
22		M12	20	713	106,5	4	26,6	15,2	800	1,12	29,9	32,4	0,92
23		M12	20	713	92,5	4	23,1	13,6	800	1,12	25,9	32,4	0,80
24		M12	20	713	101,5	4	25,4	15,2	800	1,12	28,5	32,4	0,88
25		M12	30	713	106,6	4	26,7	20,4	800	1,12	29,9	32,4	0,92
26		M12	30	713	110,7	4	27,7	21,9	800	1,12	31,1	32,4	0,96
27		M12	30	713	115	4	28,8	18,1	800	1,12	32,3	32,4	1,00
28	1 anker	M12	0	713	38	1	38,0	5,3	800	1,12	42,6	32,4	1,32
29		M12	0	713	41,1	1	41,1	7,4	800	1,12	46,1	32,4	1,42

tabel 4-3 Numerieke resultaten van de door Fischer [3] uitgevoerde proeven waarin staalbreuk het bezwijkmechanisme is

5. EEM-resultaten

5.1. Python-script van de geparametriseerde variabelen

```
#-----
#GEOMETRY
#-----
#declaring different parameters of your model when you are finished with building it
and cleaning.
'''
length = 5      # 5 m (default)
SFRC    = True  # True (default) / False
'''

#Belasting
Fvsd = 100          #Optredende afschuifkracht
Nsd = 0             #Optredende trekkracht
Voorspanning = 0.25 #voorspanning

#STEEL COLUMN
#Kolom HE300B:
#      h,   b,  tf,   tw,   H
#      mm,  mm, mm,   mm,   mm
HEB = [ 300, 300, 19, 11, 1000 ]

#Voetplaat:
platequality = "S235"          #keuze uit S235 of S355
#      b,   L,   t
#      mm,  mm,  mm,
vplaat = [ 240, 240, 15]
#Friction between baseplate and grout
Frictionbg = "yes"             #"yes"/"no"

#ANCHORS:
diam = 20                      #keuze uit M6 tot M80 met de standaard maten
Anchorquality = "8.8"          #keuze uit 4.6 5.8 of 8.8.
Nr = 4                         #aantal ankers
Gatspeling = 2                 #Heeft nog geen functie
Anchordepth = 800
pitchx = 120
pitchy = 120

anchor_dict = {}
#      d      A      ds      As
#      mm, mm, mm, mm
anchor_dict["M6"]   = [ 6, 28, 5.06, 20.1]
anchor_dict["M8"]   = [ 8, 50, 6.83, 36.6]
anchor_dict["M10"]  = [10, 79, 8.59, 58 ]
anchor_dict["M12"]  = [12, 113, 10.36, 84.3]
anchor_dict["M16"]  = [16, 201, 14.14, 157 ]
anchor_dict["M20"]  = [20, 314, 17.66, 245 ]
anchor_dict["M24"]  = [24, 452, 21.20, 353 ]
anchor_dict["M27"]  = [27, 573, 24.17, 459 ]
anchor_dict["M30"]  = [30, 707, 26.73, 561 ]
anchor_dict["M36"]  = [36, 1018, 32.25, 817 ]
anchor_dict["M42"]  = [42, 1385, 37.76, 1120]
anchor_dict["M49"]  = [48, 1810, 43.26, 1470]
anchor_dict["M56"]  = [56, 2463, 50.84, 2030]
anchor_dict["M64"]  = [64, 3217, 58.37, 2676]
anchor_dict["M80"]  = [80, 5027, 74.37, 4344]

d = anchor_dict["M"+str(diam)][0]
A = anchor_dict["M"+str(diam)][1]
dres = anchor_dict["M"+str(diam)][2]
Ares = anchor_dict["M"+str(diam)][3]
dgat = d + Gatspeling
```

```

#           d,  A, dres, Ares, dgaten, depth,      Lintx,      Linty, Lextx, Lexty
#           mm, mm2,mm,   mm,   mm,   mm,          mm,          mm,      mm,   mm
anker = [  d,  A, dres, Ares, dgat, Anchordepth, pitchx/2, pitchy/2, 200, 75 ]

#Ankerplaat:
#           b,      L,      t
#           mm,    mm,    mm
aplaat = [ 70, 70, 10 ]

#CONCRETE BASE
Concretequality = "C30/37"      #keuze uit C20/25 of C30/37
Wrijvingshoek = 30              #wrijvingshoek beton-beton tan 0,56 tot 0,7 =
#           b,      L,      h
#           mm,    mm,    mm
bpoer = [ 1000, 1000, 1000 ]

#Voeg:
Groutquality = "K30"            #keuze uit K30/K50 of K70
terug = 0                       #Terugligafstand voeg ten opzicht van voetplaat
uitloop = 0                     #uitloop van de voeg

#           b,                  L,                  t,  tEN1992  uitloopvoeg
#           mm,                  mm,                  mm,      mm,
voegm = [ vplaat[0]-terug, vplaat[1]-terug, 40,          12, uitloop ]

#Moer:
#           d,      h,
#           mm,    mm,
Nut = [ 2*anker[2], 0.9*anker[2] ]
#Ltop = 2*anker[2]
#Ttop = 0.9*anker[2] #0,9*d = nutheight

```

5.2. Invoergegevens

Hieronder zijn de eigenschappen van elementen, materialen, koppelingen en belastingen weergegeven voor de analyse van M20 8.8 met gietmortel K70 en een stelruimte van 35 mm zoals deze in Diana zijn opgebouwd.

Input: DIANA_M208_8_steek_120mm_K7035mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear

Units

The following units are applied:

Quantity	Unit	Symbol
Length	millimeter	mm
Mass	ton	T
Force	newton	N
Angle	degree	°

Directions

The following directions are defined:

Name	X	Y	Z
X	1	0	0
Y	0	1	0
Z	0	0	1

Material: C_SLS

Name	Value
Material class	Concrete and masonry
Material model	Total strain based crack model
Young's modulus	10000 N/mm ²
Poisson's ratio	0.2
Mass density	2.4e-09 T/mm ³
Crack orientation	Rotating
Tensile curve	Elastic
Compression curve	Elastic

Material: Grout_SLS

Name	Value
Material class	Concrete and masonry
Material model	Total strain based crack model
Young's modulus	42638.6 N/mm ²
Poisson's ratio	0.2
Mass density	2.4e-09 T/mm ³
Crack orientation	Rotating
Tensile curve	Hordijk
Tensile strength	3.56685 N/mm ²
Mode-I tensile fracture energy	0.159919 N/mm
Crack bandwidth specification	Govindjee
Residual tensile strength	0 N/mm ²
Reduction model Damage	based
Compression curve	Ideal
Compressive strength	78 N/mm ²
Reduction model	Vecchio and Collins 1993
Lower bound reduction curve	0.4
Confinement model	Selby and Vecchio

Material: Interface_Anchor_3D

Name	Value
Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	10000 N/mm ³
Shear stiffness modulus-x	1e-09 N/mm ³
Shear stiffness modulus-y	1e-09 N/mm ³
No-tension or diagram	No-tension with constant shear stiffness
No tension parameters	0 0 mm

Material: Interface_Anchor_3D_C

Name	Value
Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	1000 N/mm ³
Shear stiffness modulus-x	1e-09 N/mm ³
Shear stiffness modulus-y	1e-09 N/mm ³
No-tension or diagram	No-tension with constant shear stiffness
No tension parameters	0 0 mm

Material: Interface_Anchor_Plate_Bot

Name	Value
Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	100 N/mm ³
Shear stiffness modulus-x	10 N/mm ³
Shear stiffness modulus-y	10 N/mm ³
No-tension or diagram	No-tension with constant shear stiffness
No tension parameters	0 0 mm

Material:Interface_Anchor_Plate_Top

Name	Value
Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	1000 N/mm ³
Shear stiffness modulus-x	100 N/mm ³
Shear stiffness modulus-y	100 N/mm ³
No-tension or diagram	No-tension with constant shear stiffness
No tension parameters	0 0 mm

Material: Interface_Clamping

Name	Value
Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	10000 N/mm ³
Shear stiffness modulus-x	1000 N/mm ³
Shear stiffness modulus-y	1000 N/mm ³
No-tension or diagram	No-tension with constant shear stiffness
No tension parameters	0 0 mm

Material: Interface_Grout_Bot

Name	Value
Material class	Interface elements
Material model	Coulomb friction
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	10000 N/mm ³
Shear stiffness modulus-x	10 N/mm ³
Shear stiffness modulus-y	10 N/mm ³
Fricti	True
Cohesion	0.001 N/mm ²
Friction angle	30 °
Dilatancy angle	0 °
Interface opening model	Gapping model
Gap criterion	True
Tensile strength	0.001 N/mm ²
Model for gap appearance	Brittle

Material: Interface_Grout_Top

Material class	Interface elements
Material model	Coulomb friction
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	10000 N/mm3
Shear stiffness modulus-x	10 N/mm3
Shear stiffness modulus-y	10 N/mm3
Fricti	True
Cohesion	0.001 N/mm2
Friction angle	30 °
Dilatancy angle	0 °
Interface opening model	Gapping model
Gap criterion	True
Tensile strength	0.001 N/mm2
Model for gap appearance	Brittle

Material: Interface_Grout_Top_No_friction

Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	10000 N/mm3
Shear stiffness modulus-x	1e-09 N/mm3
Shear stiffness modulus-y	1e-09 N/mm3
No-tension or diagram	No-tension with constant shear stiffness
No tension parameters	0 0 mm

Material: Interface_Plate

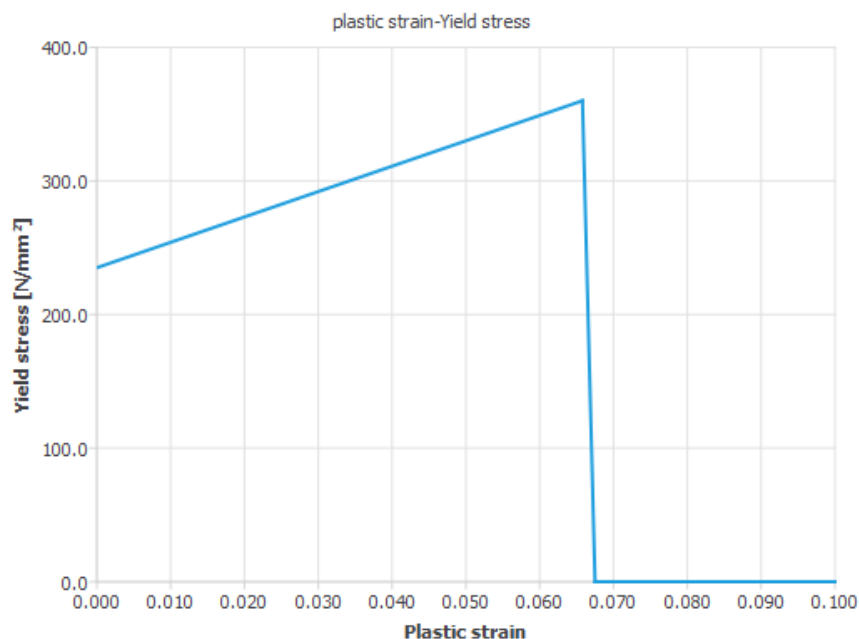
Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	100 N/mm3
Shear stiffness modulus-x	10 N/mm3
Shear stiffness modulus-y	10 N/mm3
No-tension or diagram	No-tension with constant shear stiffness
No tension parameters	0 0 mm

Material: Interface_Top

Material class	Interface elements
Material model	Nonlinear elasticity
Type	3D surface interface
Normal stiffness modulus-z	10000 N/mm3
Shear stiffness modulus-x	1000 N/mm3
Shear stiffness modulus-y	1000 N/mm3
No-tension or diagram	No-tension with shear stiffness reduction
Tension reduction parameters	0 0 mm
Reduction parameters in first shear direction	0 0 mm
Reduction parameters in second shear direction	0 0 mm

Material: Steel

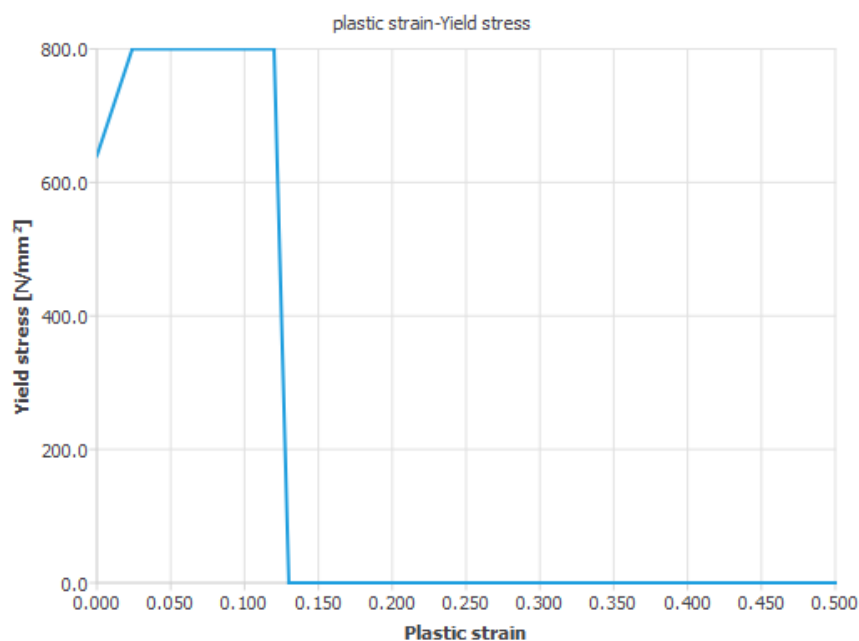
Material class	Steel
Material model	Von Mises and Tresca plasticity
Young's modulus	210000 N/mm2
Poisson's ratio	0.3
Mass density	7.85e-09 T/mm3
Plasticity model	Von Mises plasticity
Hardening function	Plastic strain-yield stress
Hardening hypothesis	Strain hardening
plastic strain-Yield stress	0 235 0.0658 360 0.0675 0 0.1 0 N/mm2
Hardening type	Mixed isotropic-kinematic hardening
Distribution between isotropic and kinematic hardening	0



figuur 5-1 plastic strain-Yield stress material: Steel

Material: Steel_Anchor_3D

Material class	Steel
Material model	Von Mises and Tresca plasticity
Young's modulus	210000 N/mm2
Poisson's ratio	0.3
Mass density	7.85e-09 T/mm3
Plasticity model	Von Mises plasticity
Hardening function	Plastic strain-yield stress
Hardening hypothesis	Work hardening
plastic strain-Yield stress	0 640 0.024 800 0.12 800 0.13 0 0.5 0 N/mm2
Hardening type	Mixed isotropic-kinematic hardening
Distribution between isotropic and kinematic hardening	0



figuur 5-2 plastic strain-Yield stress material: Steel_Anchor_3D

Geometry: Composed_line_Anchor_1

Name	Value
Geometry class	Lines
Geometry model	Composed line elements
Selection domain shape	Cylindrical
Diameter	20 mm
Element z axis	1 0 0

Geometry: Composed_line_Anchor_2

Name	Value
Geometry class	Lines
Geometry model	Composed line elements
Selection domain shape	Cylindrical
Diameter	20 mm
Element z axis	1 0 0

Geometry: anchor

Name	Value
Geometry class	Reinforcement lines
Geometry model	Bar reinforcements
Reinforcement type	Circular beam bond-slip
Diameter of circle	17.66 mm
Element Z-axis	1 0 0
Surface area	55480.5 mm ²

Geometry: interface

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Structural surface interface elements
Element x axis	1 0 0

Geometry: interface_anchor_1

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Structural surface interface elements
Element x axis	0 0 1
Shape	Cylindrical
Cylinder origin	-60 -60 -800 mm
Cylinder axis	0 0 1
Cylinder tolerance	10 mm

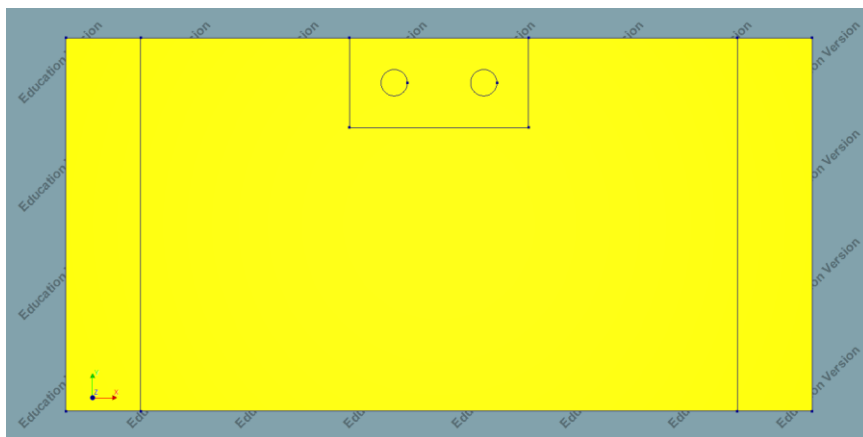
Geometry: interface_anchor_2

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Structural surface interface elements
Element x axis	0 0 1
Shape	Cylindrical
Cylinder origin	60 -60 -800 mm
Cylinder axis	0 0 1
Cylinder tolerance	10 mm

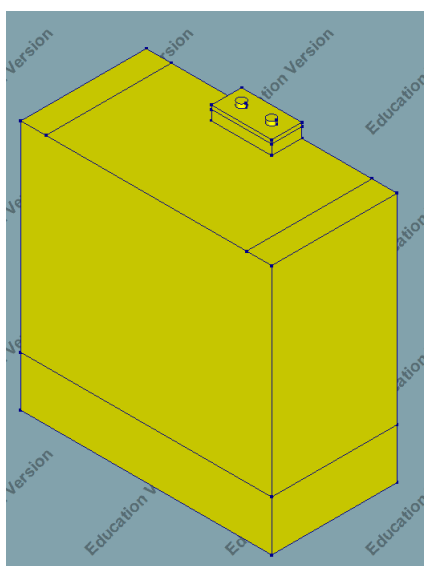
Geometry: t_anchorp

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	10 mm
Element x axis	1 0 0

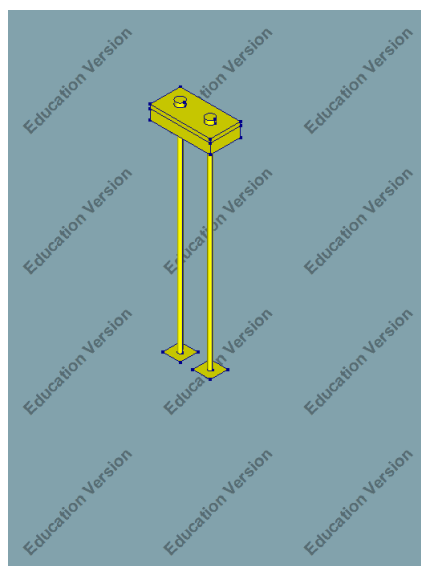
Geometry:



figuur 5-3 TOP view

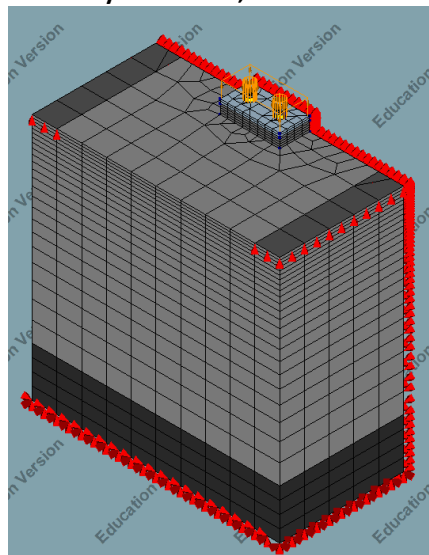


figuur 5-4 figuur 5 5 ISO view

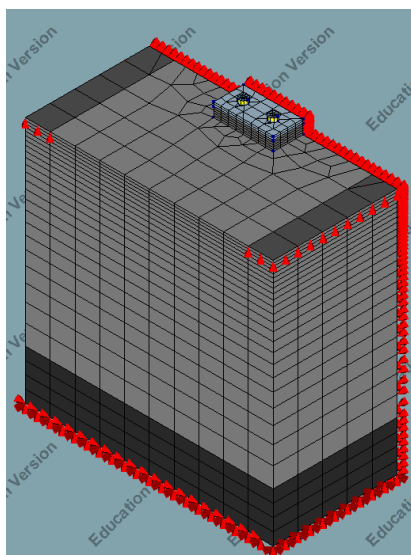


figuur 5-5 ISO anchors

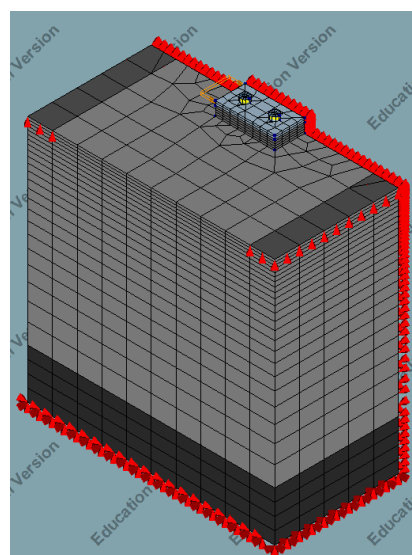
Boundary conditions, mesh and loads:



figuur 5-6 Prestress



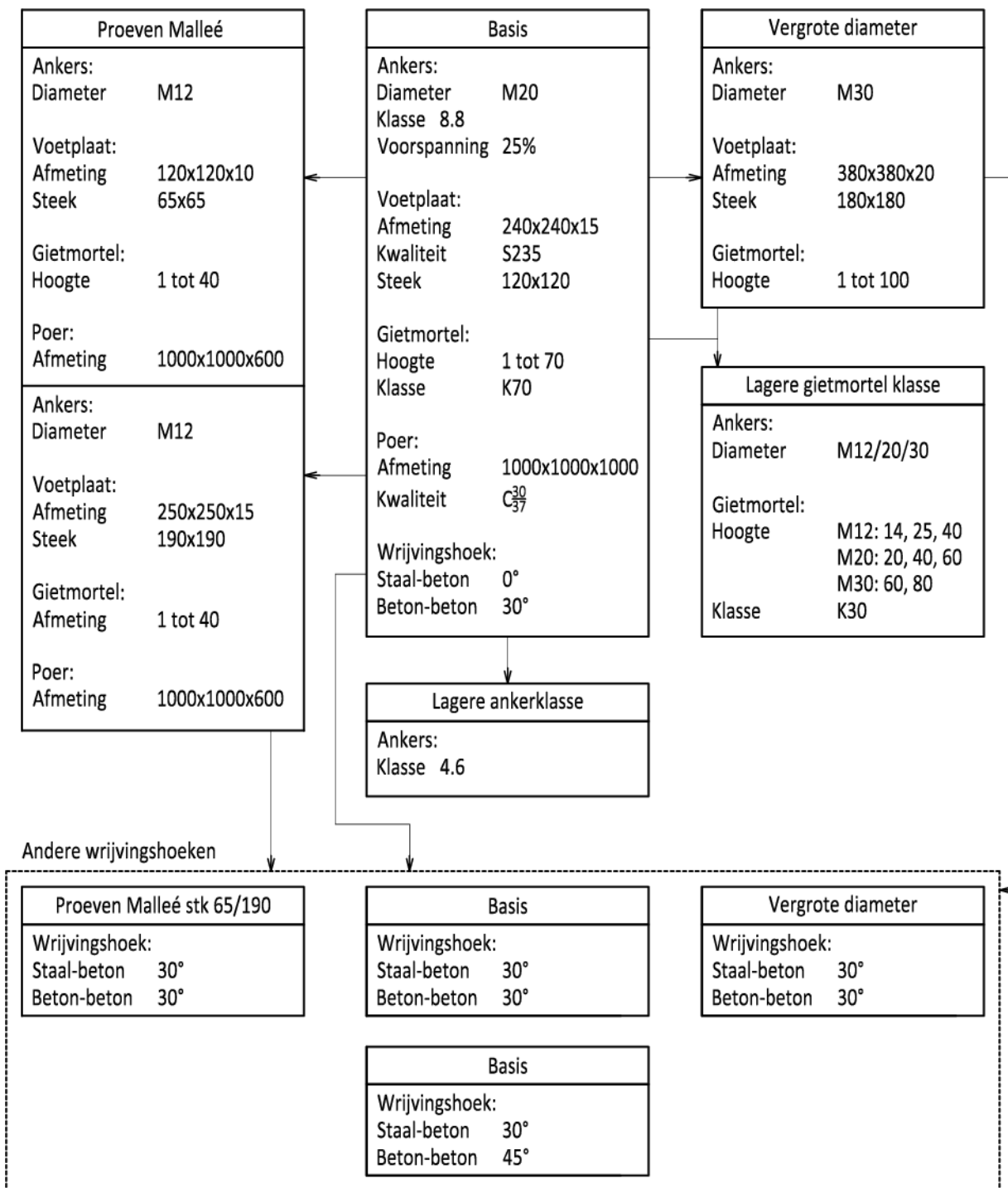
figuur 5-7 Selfweight



figuur 5-8 Shear Force

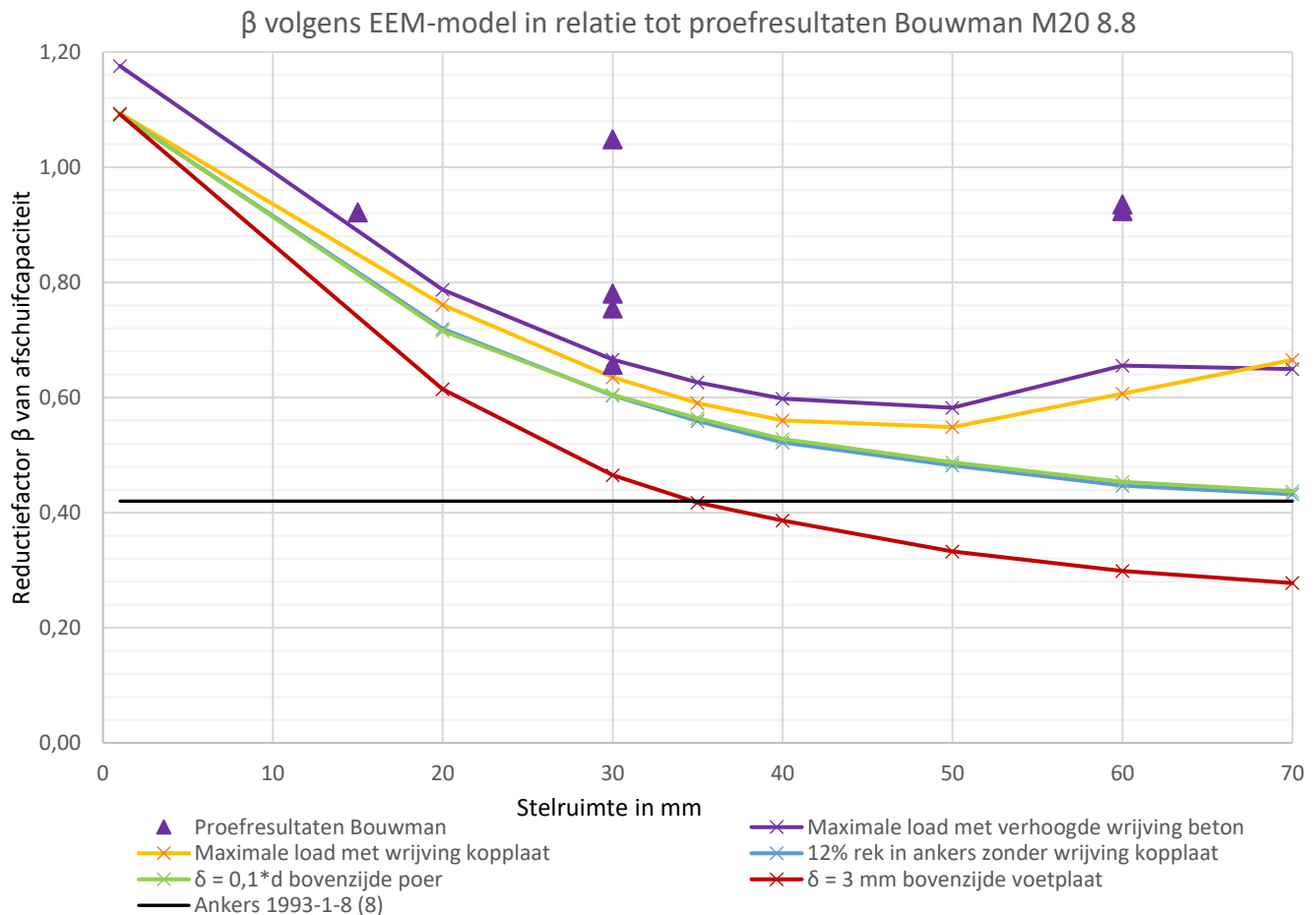
5.3. Resultaten

5.3.1. Overzicht uitgevoerde analyses

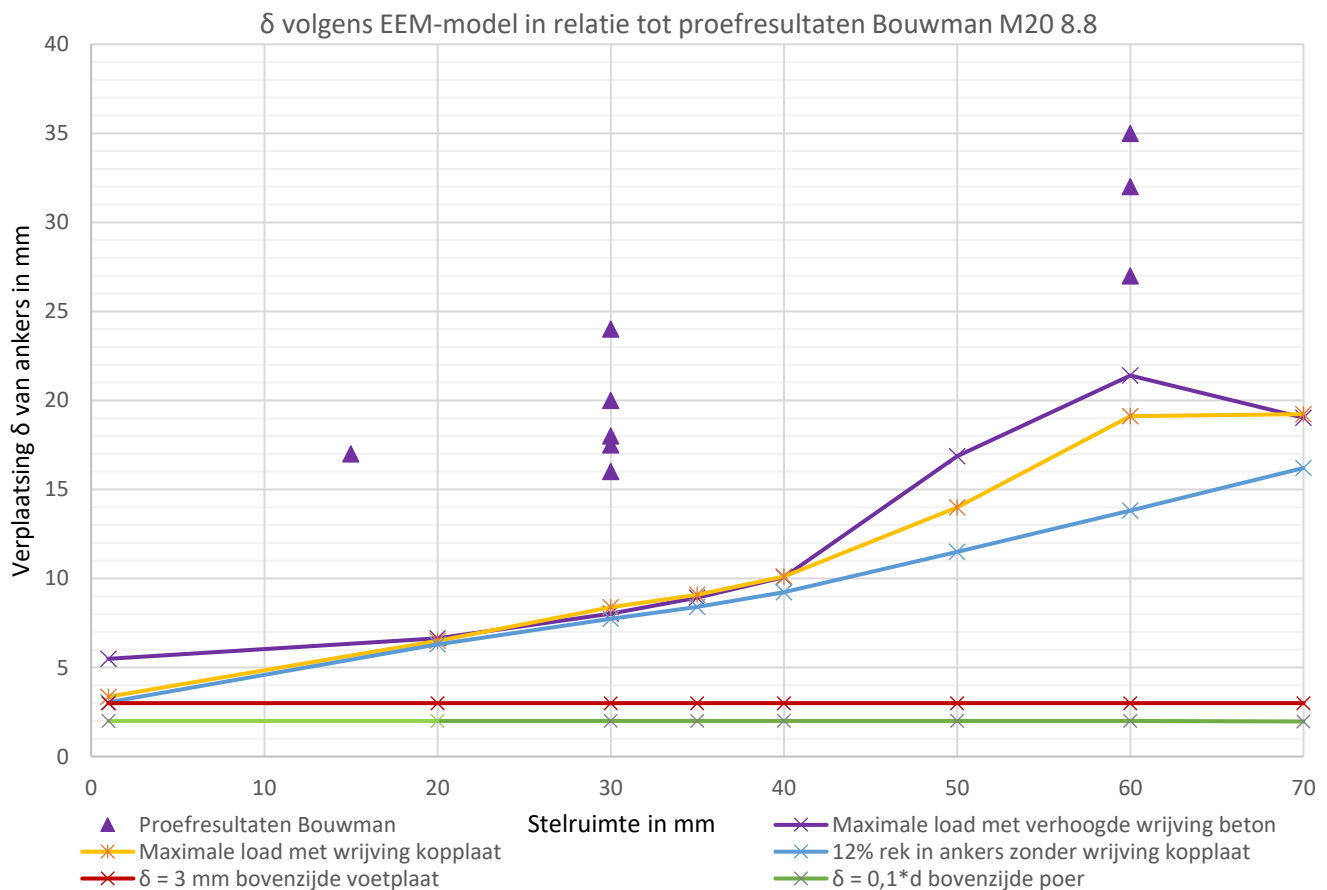


figuur 5-9 Overzicht van de uitgevoerde berekening in Diana, alle maten in mm

5.3.2. M20 8.8



figuur 5-10 β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 8.8



figuur 5-11 δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 8.8

4xM20 8.8 zonder wrijving voetplaat						
Afschuifkracht (kN)	Trekkraft (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	35,25	K70	1	30	0
100	0	35,25	K70	20	30	0
100	0	35,25	K70	30	30	0
100	0	35,25	K70	35	30	0
100	0	35,25	K70	40	30	0
100	0	35,25	K70	50	30	0
100	0	35,25	K70	60	30	0
100	0	35,25	K70	70	30	0

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
16	4,110	6,9	3,05	16	4,110	6,9	3,00	16	4,110	6,9	2,00	16	4,110	6,9	3,05
34	2,707	11,8	6,30	17	2,311	3,7	3,00	32	2,693	10,7	2,00	36	2,732	13,7	6,66
41	2,272	12,2	7,74	16	1,750	2,5	3,00	42	2,275	13,5	2,00	42	2,275	13,5	7,94
45	2,104	11,8	8,40	16	1,571	2,2	3,00	47	2,124	13,6	2,00	47	2,124	13,6	8,79
50	1,965	11,8	9,23	17	1,453	2,1	3,00	54	1,987	15,1	2,00	54	1,987	15,1	9,99
64	1,813	11,8	11,50	17	1,253	1,7	3,00	68	1,835	14,0	2,00	69	1,839	14,5	12,41
77	1,682	12,0	13,82	17	1,124	1,4	3,00	82	1,706	14,3	2,00	82	1,706	14,3	14,91
89	1,626	12,0	16,21	17	1,045	1,3	3,00	95	1,646	14,3	1,97	95	1,646	14,3	17,31

Resultaten per anker - maximale plastische rek											
Optredende schuif (kN)	Trekkraft (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor	
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2					
410,98	48,94	41,75	102,77	100,68	0,000	0,000	2,73	1	20,19	0,14	
270,66	50,59	46,81	61,37	60,28	0,668	0,660	13,68	10	26,90	0,51	
227,17	50,89	43,33	49,81	51,40	0,744	0,729	12,38	11	23,72	0,52	
210,42	51,83	41,81	44,66	48,37	0,757	0,740	12,18	12	23,14	0,53	
196,45	52,98	42,56	41,05	44,76	0,780	0,764	12,42	13	25,04	0,50	
181,29	56,10	44,49	36,57	40,74	0,793	0,787	13,34	15	30,09	0,44	
168,16	60,22	50,75	32,59	37,39	0,803	0,801	14,10	17	40,47	0,35	
162,55	68,79	63,79	30,20	35,54	0,810	0,807	15,54	19	62,08	0,25	

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
94,1	1,09	1,09	1,09	1,09
94,1	0,72	0,73	0,61	0,72
94,1	0,60	0,60	0,47	0,60
94,1	0,56	0,56	0,42	0,56
94,1	0,52	0,53	0,39	0,53
94,1	0,48	0,49	0,33	0,49
94,1	0,45	0,45	0,30	0,45
94,1	0,43	0,44	0,28	0,44

tabel 5-1 Numerieke resultaten 4xM20 8.8 zonder wrijving voetplaat

4xM20 8.8 met wrijving voetplaat						
Schuif (kN)	trek (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	35,25	K70	1	30	30
100	0	35,25	K70	20	30	30
100	0	35,25	K70	30	30	30
100	0	35,25	K70	35	30	30
100	0	35,25	K70	40	30	30
100	0	35,25	K70	50	30	30
100	0	35,25	K70	60	30	30
100	0	35,25	K70	70	30	30

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
22	4,116	5,1	3,36	20	4,034	4,2	3,00	22	4,116	5,1	2,00	22	4,116	5,1	3,36
43	2,851	12,0	6,33	21	2,365	3,6	3,00	40	2,823	10,9	2,00	44	2,864	12,9	6,50
51	2,382	12,2	7,71	20	1,809	2,6	3,00	50	2,368	11,7	2,00	53	2,391	14,1	8,38
56	2,203	12,0	8,46	20	1,626	2,3	3,00	56	2,203	12,0	2,00	60	2,222	15,3	9,09
62	2,081	12,0	9,35	21	1,509	2,2	3,00	63	2,090	12,6	2,00	67	2,108	15,6	10,12
78	1,983	12,0	11,58	21	1,323	1,8	3,00	76	1,958	11,6	2,00	94	2,065	21,1	14,00
92	1,950	12,0	13,78	21	1,121	1,5	3,00	90	1,927	11,6	2,00	127	2,283	36,1	19,12
104	2,121	12,0	15,89	20	1,131	1,2	3,00	100	2,033	11,3	2,00	118	2,503	24,3	19,23

Resultaten per anker - maximale plastische rek										
Optredende schuif (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkraft op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2				
411,6	48,05	41,76	98,90	97,40	0,000	0,000	9,50	5	19,31	0,49
285,1	50,83	44,35	62,85	66,10	0,661	0,632	13,60	10	24,68	0,55
238,2	51,90	40,90	50,45	56,19	0,740	0,710	12,46	10	22,30	0,56
220,33	52,72	41,24	45,49	52,03	0,756	0,730	12,65	11	23,46	0,54
208,14	53,59	41,72	41,88	48,78	0,780	0,757	13,41	13	24,81	0,54
198,25	58,16	44,86	37,33	45,60	0,791	0,780	16,20	16	32,52	0,50
195,01	63,33	53,52	34,16	42,80	0,797	0,794	20,55	21	46,35	0,44
212,06	70,59	71,71	31,94	41,22	0,792	0,784	32,87	31	71,80	0,46

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
94,1	1,09	1,09	1,07	1,09
94,1	0,76	0,76	0,63	0,75
94,1	0,63	0,64	0,48	0,63
94,1	0,59	0,59	0,43	0,59
94,1	0,55	0,56	0,40	0,56
94,1	0,53	0,55	0,35	0,52
94,1	0,52	0,61	0,30	0,51
94,1	0,56	0,67	0,30	0,54

tabel 5-2 Numerieke resultaten 4xM20 8.8 met wrijving voetplaat

4xM20 8.8 met verhoogde wrijving voetplaat						
Schuif (kN)	trek (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	35,25	K70	1	45	30
100	0	35,25	K70	20	45	30
100	0	35,25	K70	30	45	30
100	0	35,25	K70	35	45	30
100	0	35,25	K70	40	45	30
100	0	35,25	K70	50	45	30
100	0	35,25	K70	60	45	30
100	0	35,25	K70	70	45	30

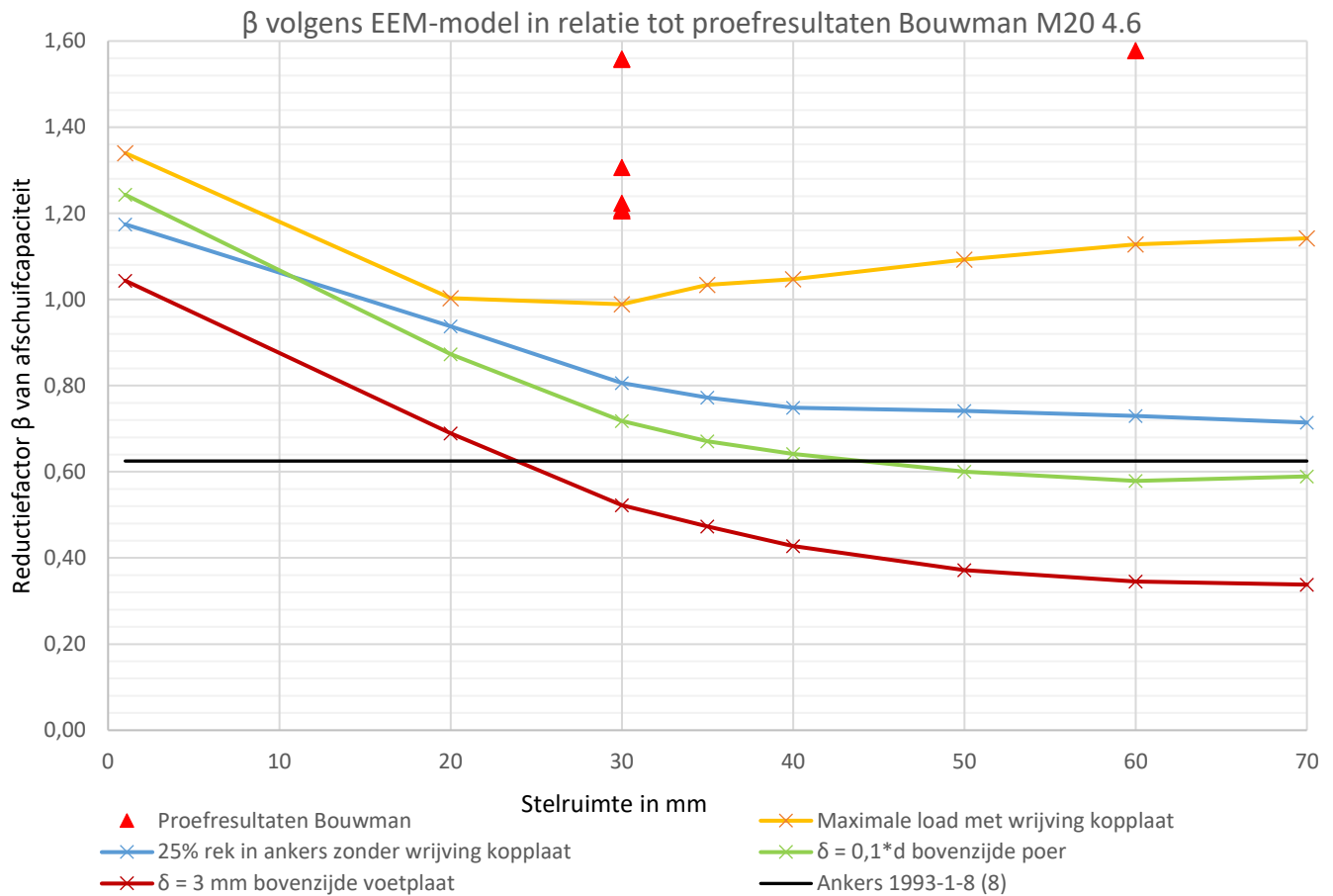
I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
40	4,425	9,8	5,49	23	4,251	5,8	3,00	23	4,251	5,8	2,00	40	4,425	9,8	5,49
44	2,935	12,2	6,50	21	2,427	3,6	3,00	40	2,909	10,8	2,00	45	2,962	13,4	6,65
51	2,495	12,2	7,71	20	1,872	2,6	3,00	51	2,495	12,2	2,00	53	2,506	14,0	8,02
56	2,341	12,0	8,46	20	1,692	2,3	3,00	57	2,352	8,1	2,00	59	2,358	14,5	8,93
62	2,230	12,1	9,35	20	1,550	2,0	3,00	65	2,246	14,3	2,00	67	2,251	15,8	10,07
78	2,142	12,0	11,58	21	1,400	1,8	3,00	80	2,160	12,8	2,00	113	2,191	35,3	16,87
92	2,130	12,1	13,79	21	1,294	1,5	3,00	96	2,161	13,5	2,00	142	2,467	40,2	21,40
105	2,184	12,0	16,05	20	1,222	1,3	3,00	103	2,153	11,7	2,00	125	2,445	27,0	19,03

Resultaten per anker - maximale plastische rek										
Optredende schuif (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkraft op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2				
442,53	51,51	49,10	99,80	94,80	0,297	0,284	26,67	12	30,11	0,89
293,45	50,997	47,13	61,81	62,37	0,672	0,656	22,55	15	27,63	0,82
249,50	51,92	42,70	50,00	53,30	0,742	0,719	21,45	17	24,12	0,89
234,10	52,63	42,74	45,10	49,08	0,757	0,738	22,87	20	24,87	0,92
223,00	53,58	43,65	41,46	45,74	0,781	0,763	24,30	22	26,73	0,91
214,20	57,45	46,87	36,97	41,87	0,792	0,784	28,26	26	33,82	0,84
213,01	62,20	53,25	33,25	37,80	0,799	0,798	35,46	33	44,95	0,79
218,38	68,62	77,73	31,42	39,11	0,794	0,772	38,66	35	75,85	0,51

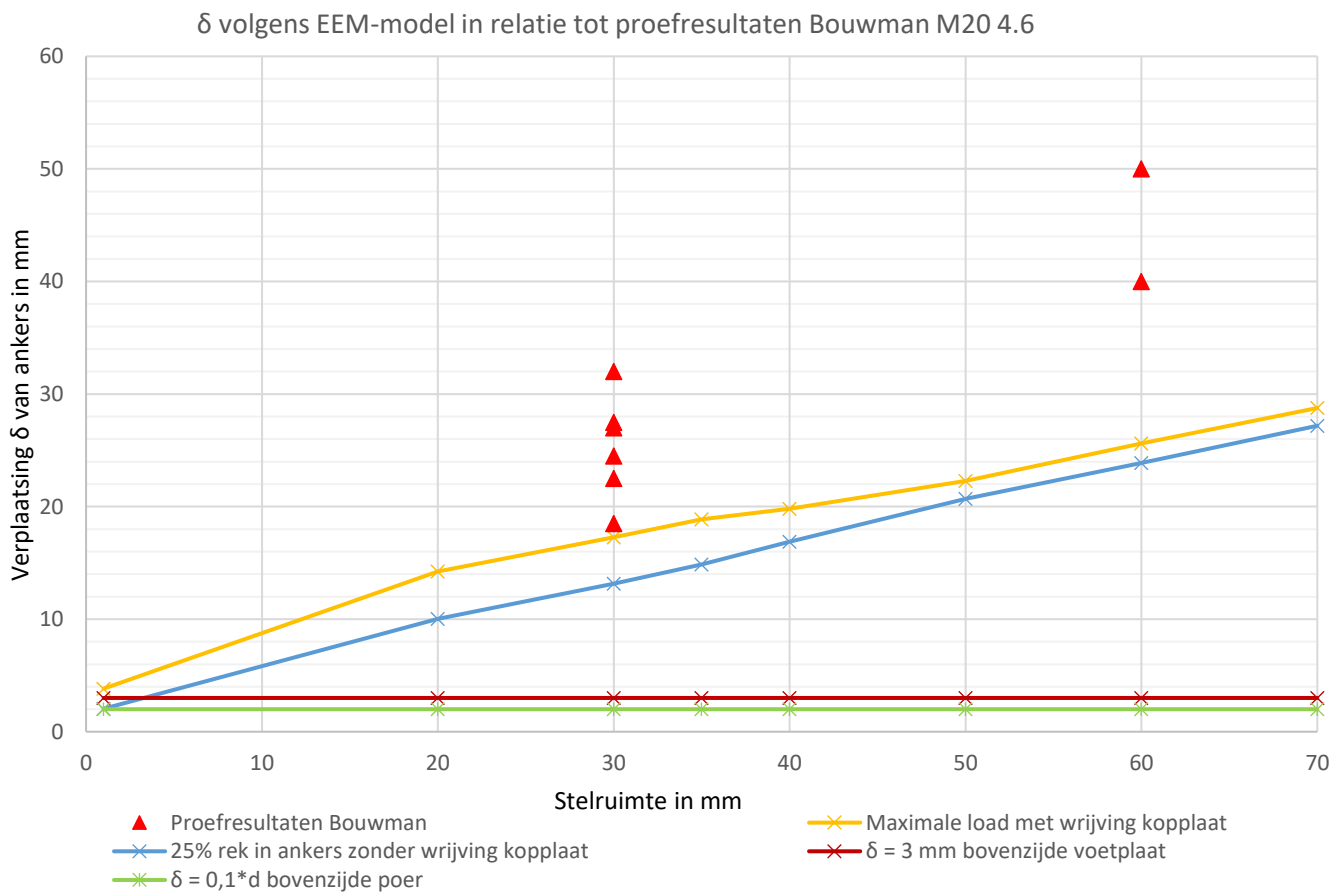
Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
94,1	1,18	1,18	1,13	1,13
94,1	0,78	0,79	0,64	0,77
94,1	0,66	0,67	0,50	0,66
94,1	0,62	0,63	0,45	0,62
94,1	0,59	0,60	0,41	0,60
94,1	0,57	0,58	0,37	0,57
94,1	0,57	0,66	0,34	0,57
94,1	0,58	0,65	0,32	0,57

tabel 5-3 Numerieke resultaten 4xM20 8.8 met verhoogde wrijving voetplaat

5.3.3. M20 4.6



figuur 5-12 β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 4.6



figuur 5-13 δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Bouwman M20 4.6

4xM20 4.6 zonder wrijving voetplaat						
Afschuifkracht (kN)	Trekkkracht (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	17,64	K70	1	30	0
100	0	17,64	K70	20	30	0
100	0	17,64	K70	30	30	0
100	0	17,64	K70	35	30	0
100	0	17,64	K70	40	30	0
100	0	17,64	K70	50	30	0
100	0	17,64	K70	60	30	0
100	0	17,64	K70	70	30	0

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
11	2,210	23,3	2,042	16	1,964	5,7	3,00	18	2,339	58,5	2,00	28	2,564	62,6	5,47
53	1,764	25,0	10,03	16	1,298	4,9	3,00	35	1,643	14,3	2,00	59	1,802	30,4	11,18
68	1,516	25,1	13,15	16	0,983	3,8	3,00	46	1,351	14,9	2,00	81	1,572	37,2	15,68
78	1,453	25,0	14,86	17	0,890	3,6	3,00	53	1,262	15,1	2,00	91	1,527	34,8	17,34
90	1,409	25,1	16,88	17	0,805	3,1	3,00	61	1,207	15,1	2,00	105	1,496	35,8	19,70
114	1,395	24,9	20,68	17	0,699	2,5	3,00	77	1,129	16,8	2,00	119	1,426	27,1	21,59
132	1,372	25,0	23,88	17	0,650	2,3	3,00	92	1,089	17,7	2,00	138	1,395	27,2	24,97
148	1,344	24,9	27,18	17	0,636	2,2	3,00	109	1,109	19,0	1,99	154	1,376	27,2	28,28

Resultaten per anker - maximale plastische rek											
Optredende schuif (kN)	Trekkkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor	
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2					
221,01	28,70	21,16	52,85	54,21	0,027	0,024	3,45	3	14,58	0,24	
176,43	28,20	17,42	40,45	41,99	0,417	0,399	5,78	7	10,34	0,56	
151,62	29,87	24,85	32,63	34,98	0,452	0,436	8,20	11	19,44	0,42	
145,27	33,98	31,28	30,55	32,66	0,446	0,432	9,43	13	29,98	0,31	
140,86	39,25	38,65	29,46	31,58	0,454	0,438	9,39	13	42,62	0,22	
139,46	50,73	50,35	28,29	30,60	0,419	0,402	10,84	16	65,80	0,16	
137,24	55,56	55,09	26,59	29,06	0,408	0,394	12,97	19	75,37	0,17	
134,40	56,88	56,30	24,79	27,53	0,407	0,396	14,88	22	77,90	0,19	

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
47,0	1,17	1,36	1,04	1,24
47,0	0,94	0,96	0,69	0,87
47,0	0,81	0,84	0,52	0,72
47,0	0,77	0,81	0,47	0,67
47,0	0,75	0,79	0,43	0,64
47,0	0,74	0,76	0,37	0,60
47,0	0,73	0,74	0,35	0,58
47,0	0,71	0,73	0,34	0,59

tabel 5-4 Numerieke resultaten 4xM20 4.6 zonder wrijving voetplaat

4xM20 4.6 met wrijving voetplaat						
Schuif (kN)	trek (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	17,64	K70	1	30	30
100	0	17,64	K70	20	30	30
100	0	17,64	K70	30	30	30
100	0	17,64	K70	35	30	30
100	0	17,64	K70	40	30	30
100	0	17,64	K70	50	30	30
100	0	17,64	K70	60	30	30
100	0	17,64	K70	70	30	30

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
16	2,255	24,3	2,07	23	1,847	57,0	3,00	26	2,229	59,0	2,00	29	2,521	59,8	3,83
67	1,818	25,0	10,11	21	1,340	5,3	3,00	43	1,660	20,0	2,00	94	1,887	52,0	14,23
85	1,614	24,9	13,12	20	0,994	3,9	3,00	56	1,376	14,4	2,00	112	1,861	48,5	17,28
97	1,611	25,0	14,88	20	0,900	3,4	3,00	63	1,290	14,4	2,00	123	1,945	44,3	18,86
111	1,691	24,9	16,92	20	0,815	3,0	3,00	72	1,257	14,5	2,00	130	1,970	34,9	19,81
142	2,008	24,9	21,22	20	0,729	2,5	3,00	87	1,209	15,3	2,00	149	2,056	27,5	22,27
161	2,054	24,9	24,26	21	0,706	2,4	3,00	101	1,241	15,8	2,00	170	2,123	27,8	25,61
178	2,097	25,0	27,38	20	0,695	2,1	3,00	113	1,470	16,3	2,00	187	2,149	27,7	28,76

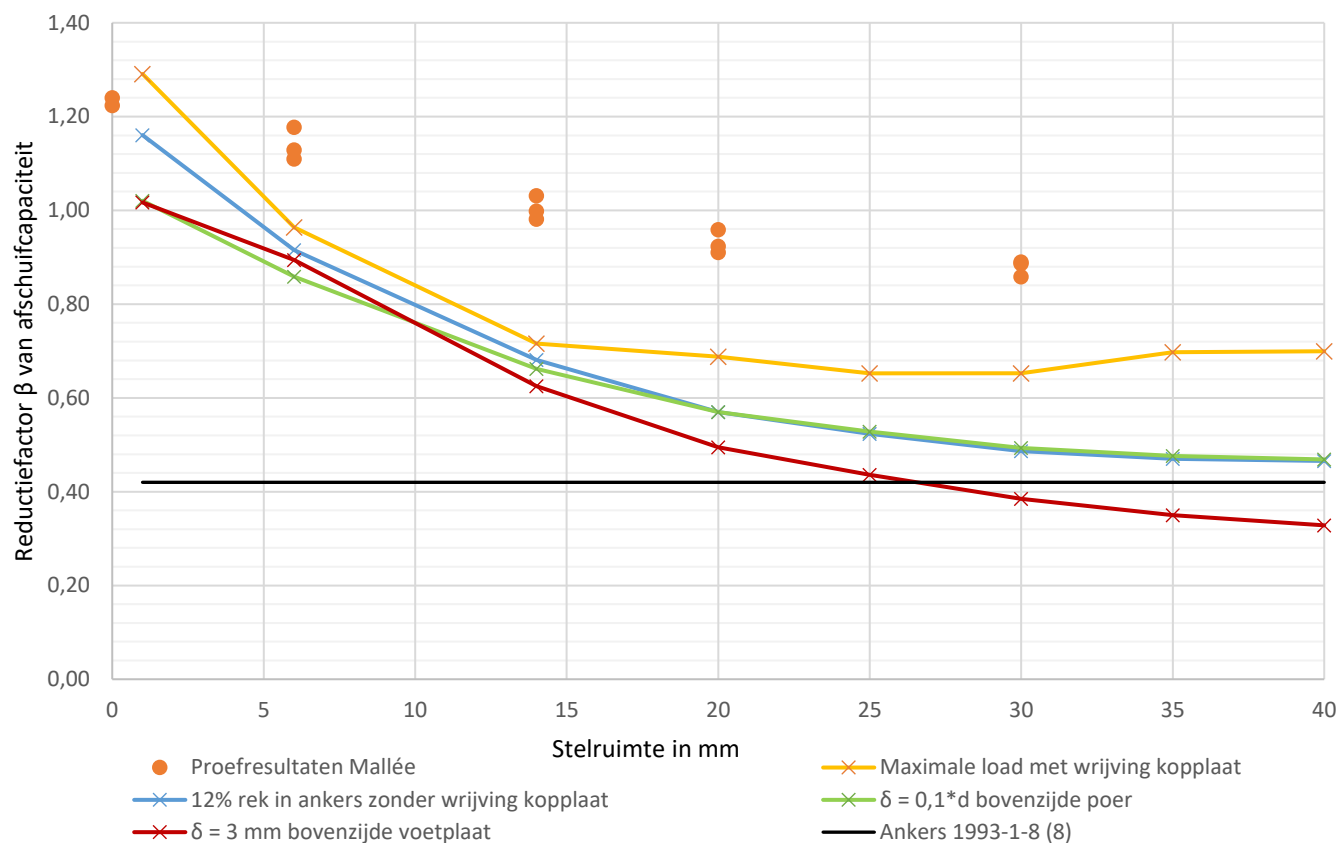
Resultaten per anker - maximale plastische rek										
Optredende schuif (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkraft op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2				
225,45	25,78	18,62	53,65	55,52	0,020	0,030	3,56	3	9,12	0,39
181,84	28,25	17,89	41,20	43,93	0,419	0,392	5,79	6	10,80	0,54
161,35	30,29	25,49	33,34	37,58	0,450	0,430	9,75	12	20,50	0,48
161,14	34,36	31,52	31,26	35,87	0,444	0,429	13,44	17	30,60	0,44
169,13	40,22	38,50	30,72	35,48	0,450	0,440	18,37	22	43,43	0,42
200,82	54,50	53,00	31,15	35,41	0,402	0,401	33,85	34	72,22	0,47
205,37	56,22	56,45	29,86	33,16	0,401	0,405	39,67	39	77,40	0,51
209,69	57,85	58,97	28,80	32,91	0,399	0,404	43,14	41	81,54	0,53

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
47,0	1,20	1,34	0,98	1,18
47,0	0,97	1,00	0,71	0,88
47,0	0,86	0,99	0,53	0,73
47,0	0,86	1,03	0,48	0,69
47,0	0,90	1,05	0,43	0,67
47,0	1,07	1,09	0,39	0,64
47,0	1,09	1,13	0,38	0,66
47,0	1,11	1,14	0,37	0,78

tabel 5-5 Numerieke resultaten 4xM20 4.6 met wrijving voetplaat

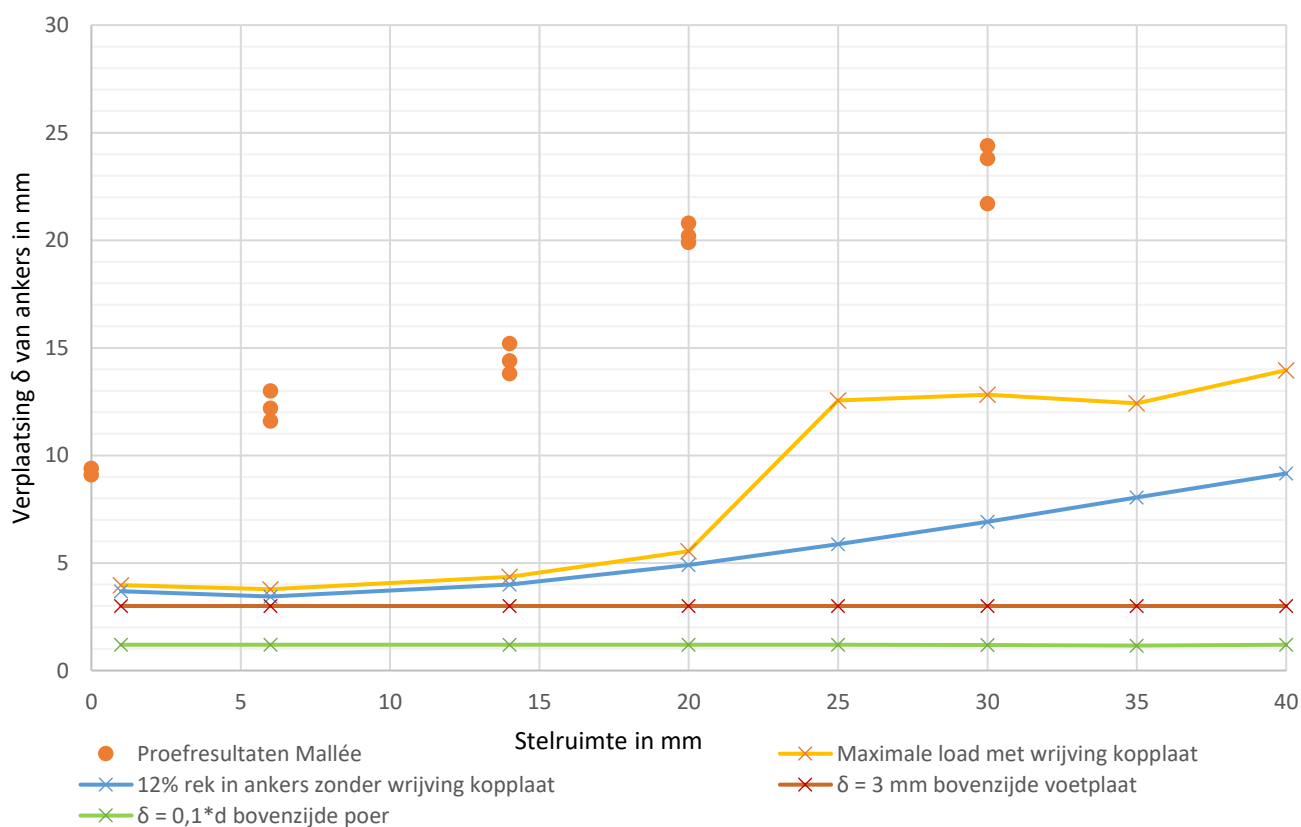
5.3.4. M12 8.8 steek 65 mm

β uit EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 65 mm



figuur 5-14 β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 65 mm

δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 65 mm



figuur 5-15 δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 65 mm

M12 8.8 steek 65 zonder wrijving voetplaat						
Afschuifkracht (kN)	Trekkkracht (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	12,14	K70	1	30	0
100	0	12,14	K70	6	30	0
100	0	12,14	K70	14	30	0
100	0	12,14	K70	20	30	0
100	0	12,14	K70	25	30	0
100	0	12,14	K70	30	30	0
100	0	12,14	K70	35	30	0
100	0	12,14	K70	40	30	0

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
15	1,503	11,0	3,68	21	1,317	8,9	3,00	7	1,321	5,4	1,20	16	1,553	13,2	3,97
11	1,185	11,8	3,44	10	1,158	10,3	3,00	8	1,112	7,3	1,20	12	1,194	15,6	3,76
11	0,882	11,3	4,00	8	0,809	6,4	3,00	10	0,857	9,6	1,20	12	0,891	14,6	4,39
13	0,738	11,1	4,90	8	0,641	4,9	3,00	13	0,738	11,1	1,20	14	0,753	13,6	5,31
16	0,677	11,7	5,87	9	0,565	4,6	3,00	17	0,684	14,1	1,20	17	0,684	14,1	6,26
19	0,630	11,7	6,92	9	0,498	3,8	3,00	20	0,639	13,5	1,19	20	0,639	13,5	7,30
17	0,608	11,8	8,05	7	0,453	3,2	3,00	18	0,617	14,3	1,16	18	0,617	14,3	8,55
19	0,603	12,0	9,16	7	0,425	2,9	3,00	20	0,607	14,5	1,20	20	0,607	14,5	9,66

Resultaten per anker - maximale plastische rek										
Optredende schuif (kN)	Trekkkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2				
150,27	19,09	18,75	37,21	37,22	0,059	0,056	0,70	1	13,56	0,05
118,50	18,80	16,93	27,54	26,98	0,112	0,109	4,73	8	11,45	0,41
88,231	18,63	14,36	19,28	20,40	0,149	0,141	4,44	10	8,71	0,51
73,768	18,99	14,40	15,52	16,75	0,160	0,155	4,61	13	9,11	0,51
67,745	20,36	15,14	13,49	15,02	0,173	0,167	5,36	16	11,22	0,48
62,996	21,59	16,71	11,82	13,47	0,173	0,170	6,20	20	14,02	0,44
60,835	23,89	19,07	10,59	12,11	0,170	0,170	7,72	25	18,68	0,41
60,28	25,50	22,79	9,560	11,37	0,175	0,174	9,21	31	24,01	0,38

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
32,4	1,16	1,20	1,02	1,02
32,4	0,92	0,92	0,89	0,86
32,4	0,68	0,69	0,62	0,66
32,4	0,57	0,58	0,49	0,57
32,4	0,52	0,53	0,44	0,53
32,4	0,49	0,49	0,38	0,49
32,4	0,47	0,48	0,35	0,48
32,4	0,47	0,47	0,33	0,47

tabel 5-6 Numerieke resultaten M12 8.8 steek 65 zonder wrijving voetplaat

M12 8.8 steek 65 met wrijving voetplaat						
Schuif (kN)	trek (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	12,14	K70	1	30	30
100	0	12,14	K70	6	30	30
100	0	12,14	K70	14	30	30
100	0	12,14	K70	20	30	30
100	0	12,14	K70	25	30	30
100	0	12,14	K70	30	30	30
100	0	12,14	K70	35	30	30
100	0	12,14	K70	40	30	30

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
17	1,627	11,1	3,72	14	1,428	8,9	3,00	8	1,401	5,7	1,20	18	1,672	13,1	3,97
12	1,239	12,1	3,71	10	1,183	9,5	3,00	9	1,153	8,0	1,20	13	1,248	15,8	3,78
12	0,911	11,3	4,00	9	0,839	6,7	3,00	11	0,886	9,7	1,20	13	0,927	14,0	4,35
15	0,789	12,0	5,16	9	0,664	5,1	3,00	14	0,770	10,8	1,20	16	0,891	15,0	5,54
18	0,747	12,6	6,12	9	0,566	4,0	3,00	17	0,727	11,2	1,20	36	0,845	69,0	12,56
21	0,739	11,9	7,13	9	0,506	3,3	3,00	20	0,722	11,1	1,20	37	0,845	60,8	12,82
19	0,769	12,0	8,27	7	0,464	2,8	3,00	18	0,744	11,0	1,20	28	0,903	49,0	12,42
21	0,792	11,8	9,32	7	0,440	2,5	3,00	20	0,763	11,0	1,20	31	0,906	26,2	13,96

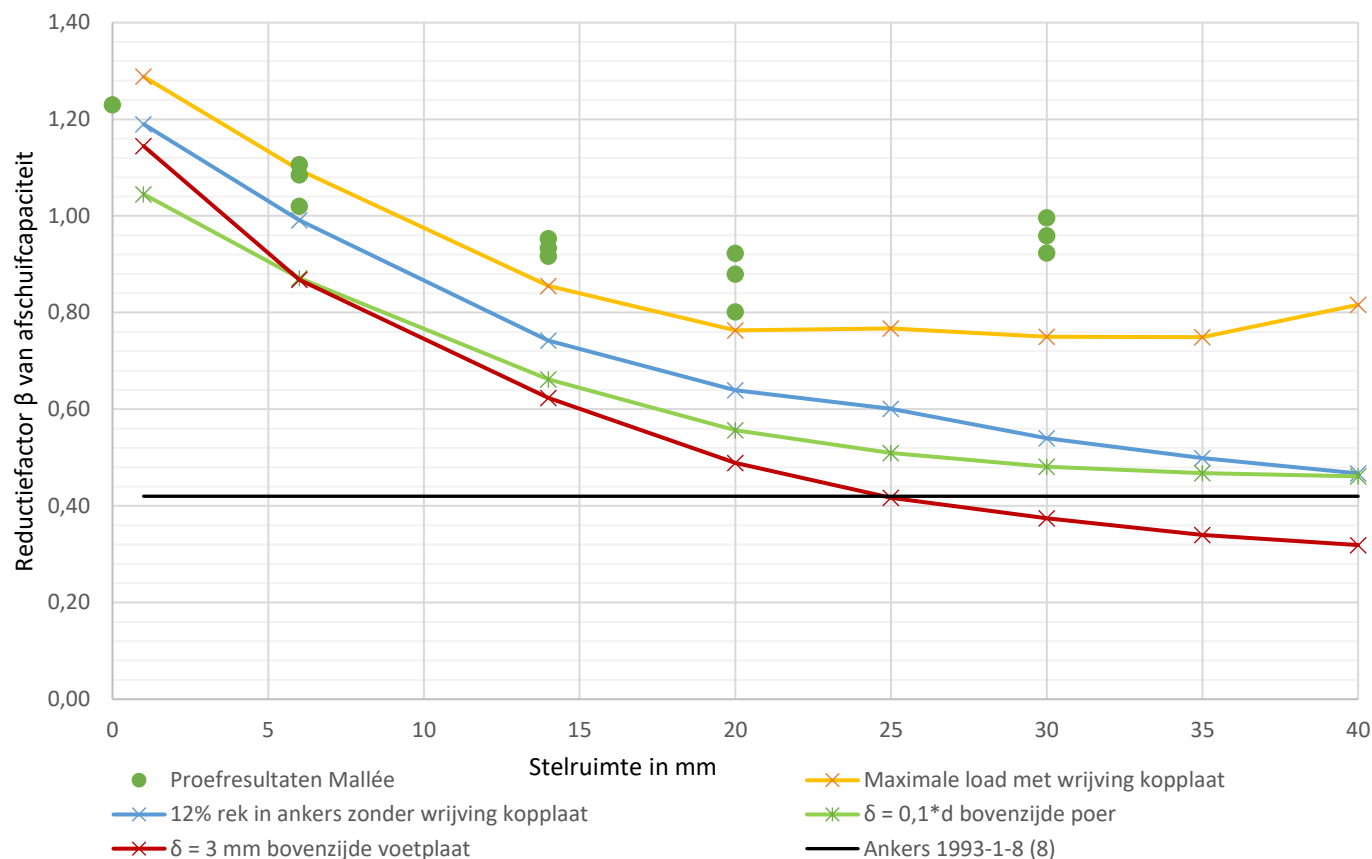
Resultaten per anker - maximale plastische rek										
Optredende schuif (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkraft op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2				
162,70	19,14	18,69	37,42	37,62	0,059	0,053	6,31	8	13,55	0,47
123,93	18,74	16,25	28,11	28,58	0,110	0,105	5,28	9	10,71	0,49
91,10	19,15	14,30	19,55	21,22	0,147	0,138	4,78	10	9,17	0,52
78,90	19,78	14,74	15,83	18,49	0,172	0,164	5,13	13	10,24	0,50
74,67	21,14	15,67	14,22	16,40	0,174	0,168	6,72	18	12,53	0,54
73,86	23,24	18,15	12,90	15,14	0,172	0,170	8,89	24	17,11	0,52
76,90	25,39	20,99	11,81	14,47	0,167	0,168	12,17	32	22,10	0,55
79,20	29,07	25,10	11,69	14,51	0,173	0,177	13,40	34	29,89	0,45

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
32,4	1,26	1,29	1,10	1,08
32,4	0,96	0,96	0,91	0,89
32,4	0,70	0,72	0,65	0,68
32,4	0,61	0,69	0,51	0,59
32,4	0,58	0,65	0,44	0,56
32,4	0,57	0,65	0,39	0,56
32,4	0,59	0,70	0,36	0,57
32,4	0,61	0,70	0,34	0,59

tabel 5-7 Numerieke resultaten M12 8.8 steek 65 met wrijving voetplaat

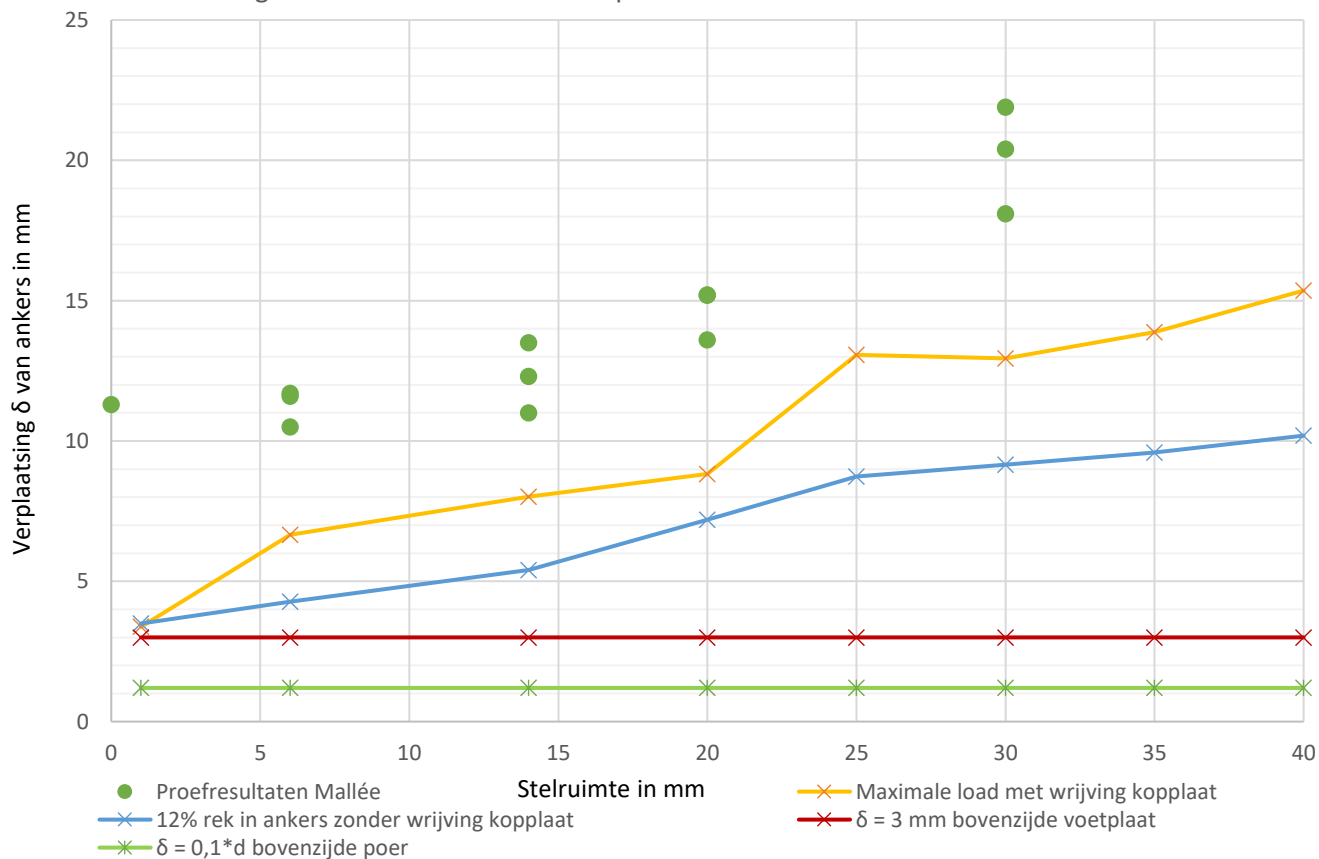
5.3.5. M12 8.8 steek 190 mm

β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 190 mm



figuur 5-16 β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 190 mm

δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 190 mm



figuur 5-17 δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mallée M12 8.8 steek 190 mm

M12 8.8 steek 190 zonder wrijving voetplaat						
Afschuifkracht (kN)	Trekkraft (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	12,14	K70	1	30	0
100	0	12,14	K70	6	30	0
100	0	12,14	K70	14	30	0
100	0	12,14	K70	20	30	0
100	0	12,14	K70	25	30	0
100	0	12,14	K70	30	30	0
100	0	12,14	K70	35	30	0
100	0	12,14	K70	40	30	0

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
14	1,541	11,2	3,50	12	1,482	9,3	3,00	9	1,353	6,1	1,20	14	1,541	11,2	3,50
20	1,283	12,0	4,27	14	1,124	7,5	3,00	13	1,128	6,8	1,20	30	1,378	28,0	6,52
23	0,961	11,8	5,41	13	0,807	5,2	3,00	16	0,857	7,1	1,20	33	1,025	24,9	7,87
30	0,827	12,1	7,19	13	0,633	4,4	3,00	20	0,721	7,0	1,20	35	0,869	16,9	8,43
37	0,778	12,0	8,73	13	0,540	3,8	3,00	24	0,660	7,8	1,20	42	0,814	15,7	9,94
39	0,699	12,0	9,16	13	0,485	2,9	3,00	29	0,623	8,8	1,20	44	0,726	15,8	10,36
41	0,646	12,2	9,59	13	0,440	2,7	3,00	35	0,606	10,4	1,20	45	0,658	15,3	10,54
43	0,605	11,8	10,19	13	0,413	2,4	3,00	41	0,597	11,5	1,20	59	0,634	24,4	14,03

Resultaten per anker - maximale plastische rek										
Optredende schuif (kN)	Trekkraft (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkraft op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2				
154,06	17,35	14,18	38,05	38,36	0,045	0,044	0,62	1	7,25	0,09
128,29	17,79	14,44	30,21	30,25	0,119	0,116	3,69	6	7,95	0,46
96,101	18,57	15,18	21,03	22,13	0,166	0,160	4,89	10	9,47	0,52
82,744	19,87	17,46	17,58	19,11	0,180	0,176	4,68	11	13,05	0,36
77,80	22,04	20,33	15,98	17,30	0,197	0,194	5,62	14	18,09	0,31
69,90	21,57	19,87	13,77	15,91	0,188	0,185	5,27	15	17,16	0,31
64,60	22,54	21,16	12,06	14,10	0,181	0,179	6,14	19	19,42	0,32
60,50	23,80	22,55	10,89	12,91	0,183	0,182	6,45	21	22,07	0,29

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
32,4	1,19	1,19	1,14	1,04
32,4	0,99	1,06	0,87	0,87
32,4	0,74	0,79	0,62	0,66
32,4	0,64	0,67	0,49	0,56
32,4	0,60	0,63	0,42	0,51
32,4	0,54	0,56	0,37	0,48
32,4	0,50	0,51	0,34	0,47
32,4	0,47	0,49	0,32	0,46

tabel 5-8 Numerieke resultaten M12 8.8 steek 190 zonder wrijving voetplaat

M12 8.8 steek 190 met wrijving voetplaat						
Schuif (kN)	trek (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	12,14	K70	1	30	30
100	0	12,14	K70	6	30	30
100	0	12,14	K70	14	30	30
100	0	12,14	K70	20	30	30
100	0	12,14	K70	25	30	30
100	0	12,14	K70	30	30	30
100	0	12,14	K70	35	30	30
100	0	12,14	K70	40	30	30

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
15	1,630	10,1	3,13	15	1,630	10,1	3,00	14	1,564	4,7	1,20	16	1,668	22,3	3,38
30	1,300	11,7	4,20	22	1,152	7,8	3,00	19	1,126	6,5	1,20	47	1,418	28,5	6,65
37	1,006	11,9	5,55	20	0,829	5,0	3,00	25	0,873	7,0	1,20	53	1,107	25,1	8,02
49	0,919	12,2	7,43	20	0,654	4,3	3,00	31	0,756	7,2	1,20	58	0,988	17,8	8,82
59	0,901	12,0	8,91	20	0,557	3,8	3,00	37	0,695	7,8	1,20	86	0,993	31,6	13,07
56	0,755	12,1	8,40	21	0,500	3,2	3,00	44	0,654	8,7	1,20	86	0,971	28,6	12,94
61	0,744	11,9	9,18	20	0,456	2,7	3,00	51	0,651	9,5	1,20	92	0,970	33,1	13,88
68	0,791	11,9	10,32	20	0,436	2,3	3,00	59	0,694	10,1	1,20	101	1,057	32,3	15,36

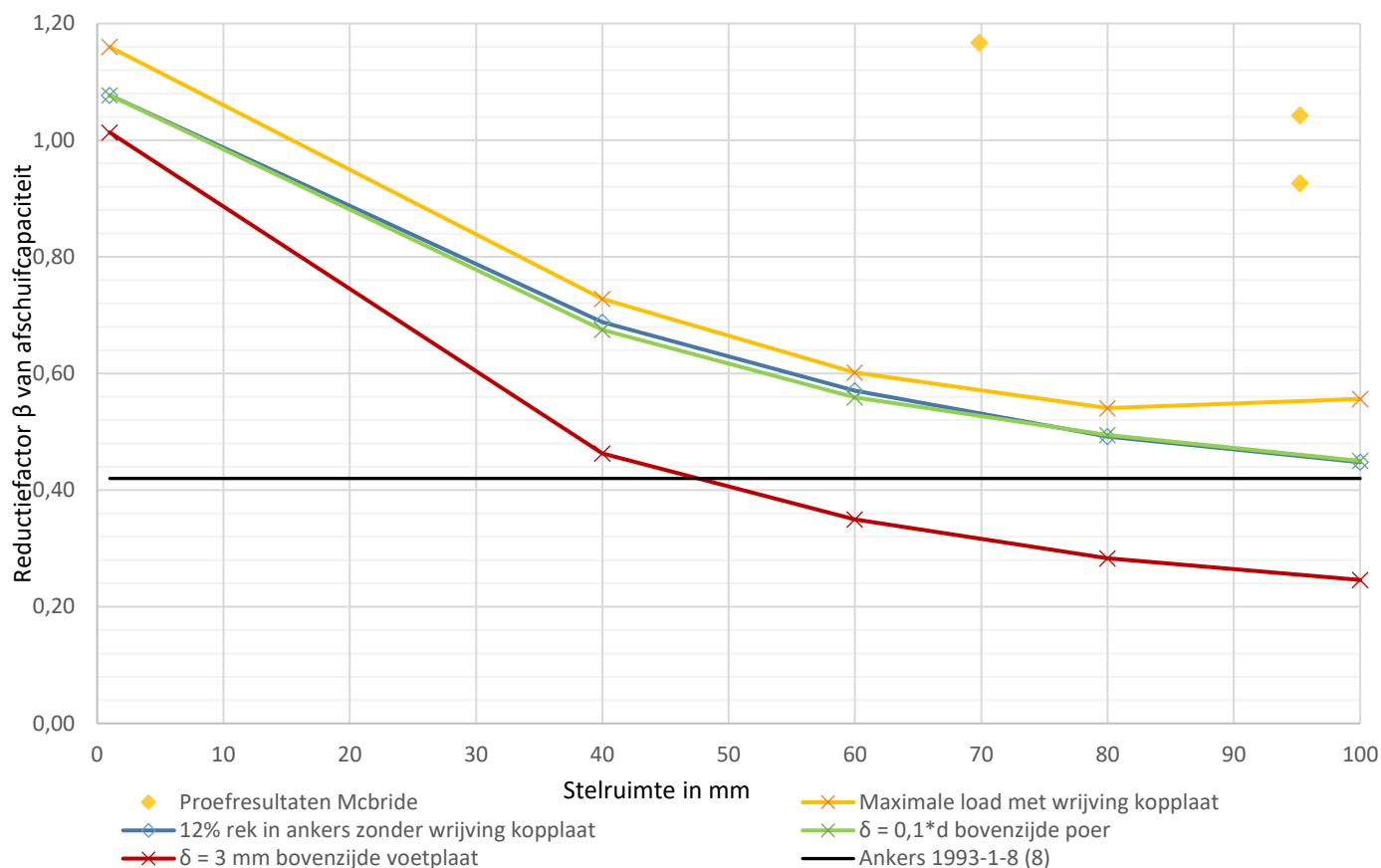
Resultaten per anker - maximale plastische rek										
Optredende schuif (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2				
162,99	23,01	19,21	36,69	36,82	0,033	0,021	7,98	10	17,94	0,45
130,00	17,51	14,18	30,37	30,51	0,116	0,112	4,12	6	7,41	0,56
100,60	18,55	15,04	21,61	23,48	0,166	0,158	5,21	10	9,31	0,56
91,90	19,77	17,29	18,76	20,63	0,180	0,176	6,56	14	12,78	0,51
90,10	22,08	19,82	17,04	19,06	0,197	0,194	8,95	20	17,62	0,51
75,458	20,32	18,43	14,19	16,69	0,182	0,181	6,85	18	14,47	0,47
74,40	22,25	20,84	13,29	15,42	0,176	0,179	8,49	23	18,81	0,45
79,128	25,63	25,13	13,45	14,77	0,181	0,186	11,34	29	26,48	0,43

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
32,4	1,26	1,29	1,26	1,21
32,4	1,00	1,10	0,89	0,87
32,4	0,78	0,85	0,64	0,67
32,4	0,71	0,76	0,51	0,58
32,4	0,70	0,77	0,43	0,54
32,4	0,58	0,75	0,39	0,50
32,4	0,57	0,75	0,35	0,50
32,4	0,61	0,82	0,34	0,54

tabel 5-9 Numerieke resultaten M12 8.8 steek 190 met wrijving voetplaat

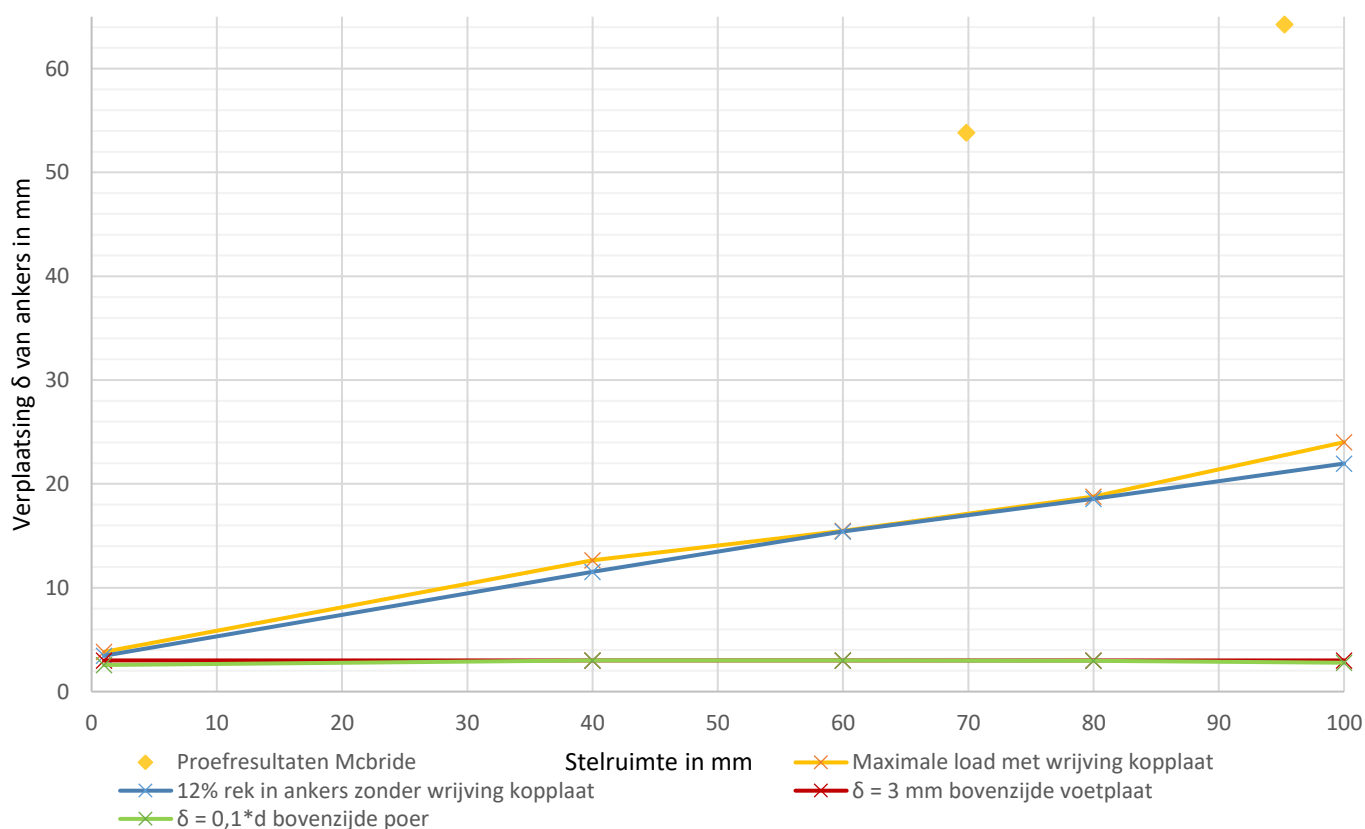
5.3.6. M30 8.8

β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mcbride M30 8.8



figuur 5-18 β volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mcbride M30 8.8

δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mcbride M30 8.8



figuur 5-19 δ volgens EEM-model in relatie tot proefresultaten Mcbride M30 8.8

M30 8.8 steek 180 zonder wrijving voetplaat						
Afschuifkracht (kN)	Trekkkracht (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	80,75	K70	1	30	0
100	0	80,75	K70	40	30	0
100	0	80,75	K70	60	30	0
100	0	80,75	K70	80	30	0
100	0	80,75	K70	100	30	0

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1*d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
24	9,262	8,7	3,45	21	8,714	4,7	3,00	24	9,262	8,7	2,56	24	9,262	8,7	3,45
96	5,918	11,9	11,53	26	3,980	1,5	3,00	86	5,805	10,2	3,00	104	5,989	14,5	12,51
134	4,908	12,0	15,41	27	3,010	1,0	3,00	125	4,806	10,9	3,00	136	4,928	12,4	15,65
165	4,228	11,9	18,56	27	2,436	0,7	3,00	168	4,254	12,5	2,95	168	4,254	12,5	18,90
192	3,852	11,9	21,96	27	2,115	0,6	3,00	196	3,871	12,7	2,78	196	3,871	12,7	22,42

Resultaten per anker - maximale plastische rek											
Optredende schuif (kN)	Trekkkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor	
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2					
926,23	115,97	80,12	227,54	231,48	0,482	0,523	4,10	1	34,59	0,12	
591,82	124,29	76,15	135,19	139,27	2,477	2,475	21,45	7	38,94	0,55	
490,83	125,70	87,82	106,52	113,27	2,671	2,672	25,63	10	52,02	0,49	
422,78	132,40	109,16	84,35	95,05	2,699	2,690	31,99	15	80,06	0,40	
385,20	144,77	134,98	71,33	84,45	2,686	2,666	36,82	19	118,25	0,31	

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
215,0	1,08	1,08	1,01	1,08
215,0	0,69	0,70	0,46	0,67
215,0	0,57	0,57	0,35	0,56
215,0	0,49	0,49	0,28	0,49
215,0	0,45	0,45	0,25	0,45

tabel 5-10 Numerieke resultaten M30 8.8 steek 180 zonder wrijving voetplaat

M30 8.8 steek 180 met wrijving voetplaat						
Schuif (kN)	trek (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	80,75	K70	1	30	30
100	0	80,75	K70	40	30	30
100	0	80,75	K70	60	30	30
100	0	80,75	K70	80	30	30
100	0	80,75	K70	100	30	30

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1*d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
46	9,865	11,6	3,74	37	9,002	4,3	3,00	47	9,975	13,9	2,82	47	9,975	13,9	3,82
130	6,164	12,0	11,66	34	4,034	1,5	3,00	111	5,919	9,7	3,00	141	6,260	14,6	12,66
171	5,134	12,0	15,13	34	3,080	1,0	3,00	156	4,962	10,6	3,00	175	5,173	12,9	15,48
239	4,607	12,0	18,17	40	2,630	0,8	3,00	247	4,650	13,5	3,00	247	4,650	13,5	18,79
283	4,602	12,0	21,64	40	2,369	0,6	3,00	310	4,777	19,3	3,00	314	4,783	20,9	24,02

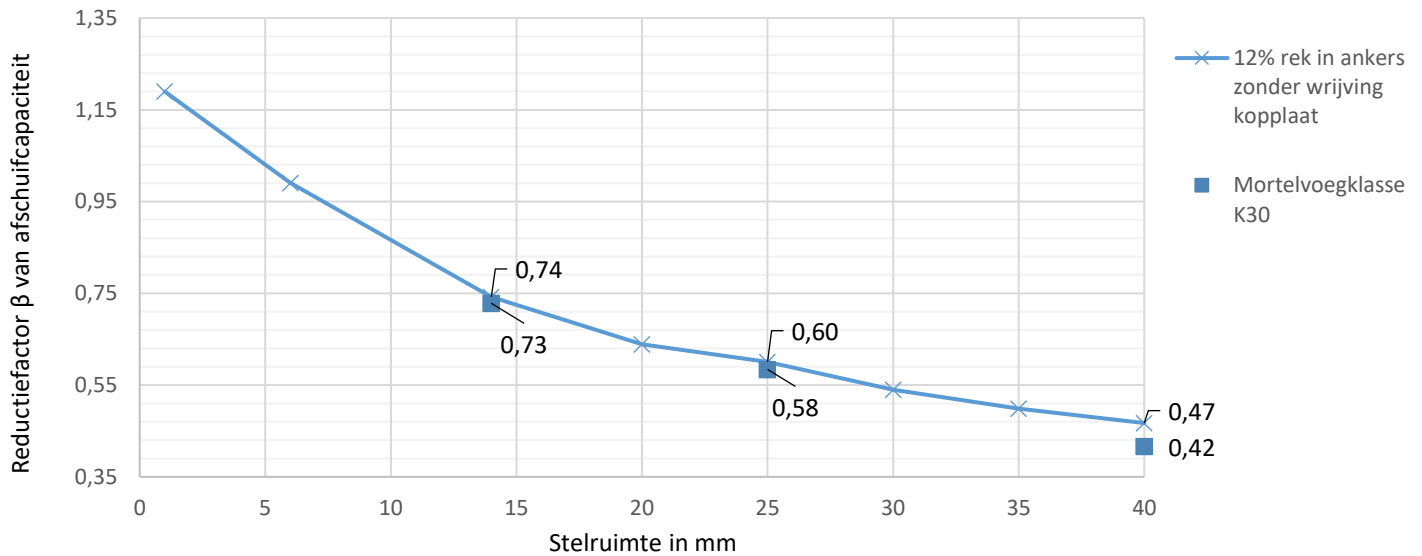
Resultaten per anker - maximale plastische rek											
Optredende schuif (kN)	Trekkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor	
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2					
986,47	116,45	78,47	234,47	238,97	0,446	0,493	19,80	4	33,42	0,59	
616,37	126,74	75,59	137,66	147,24	2,468	2,439	23,29	8	40,83	0,57	
513,40	127,75	85,11	103,84	117,27	2,597	2,582	35,59	14	51,36	0,69	
460,71	138,85	116,235	86,711	104,12	2,679	2,654	39,52	17	93,59	0,42	
460,19	153,48	158,448	75,35	96,63	2,649	2,588	58,12	25	150,43	0,39	

Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
215,0	1,15	1,16	1,05	1,16
215,0	0,72	0,73	0,47	0,69
215,0	0,60	0,60	0,36	0,58
215,0	0,54	0,54	0,31	0,54
215,0	0,54	0,56	0,28	0,56

tabel 5-11 Numerieke resultaten M30 8.8 steek 180 met wrijving voetplaat

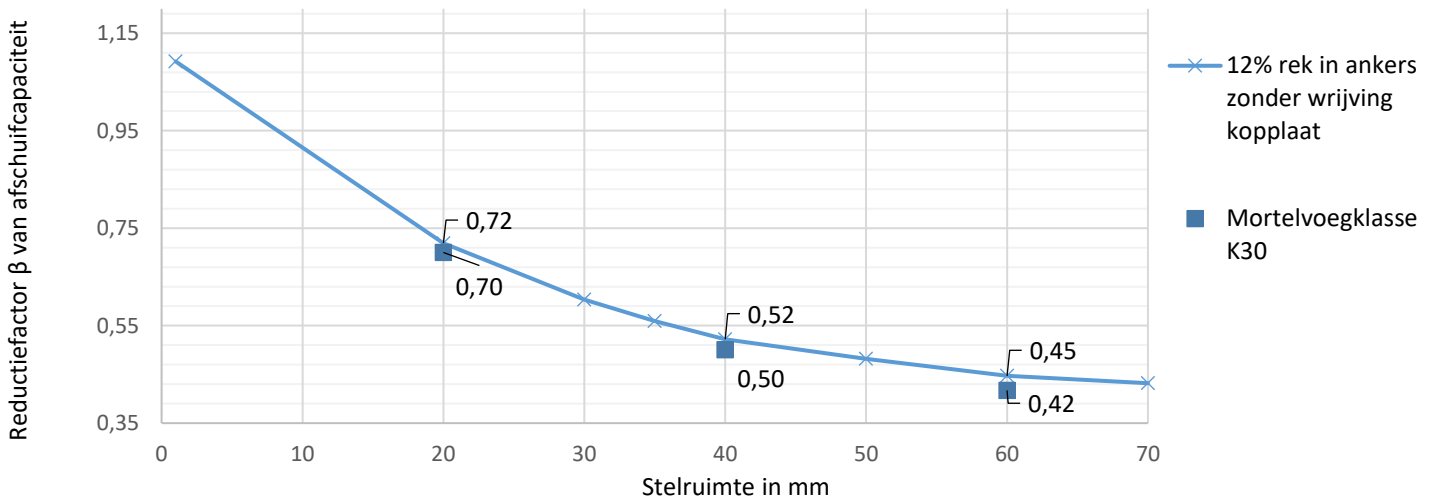
5.3.7. Lagere mortelklasse K30

β volgens EEM-model van gietmortel K30 ten opzichte van K70 M12 8.8 steek 190 mm



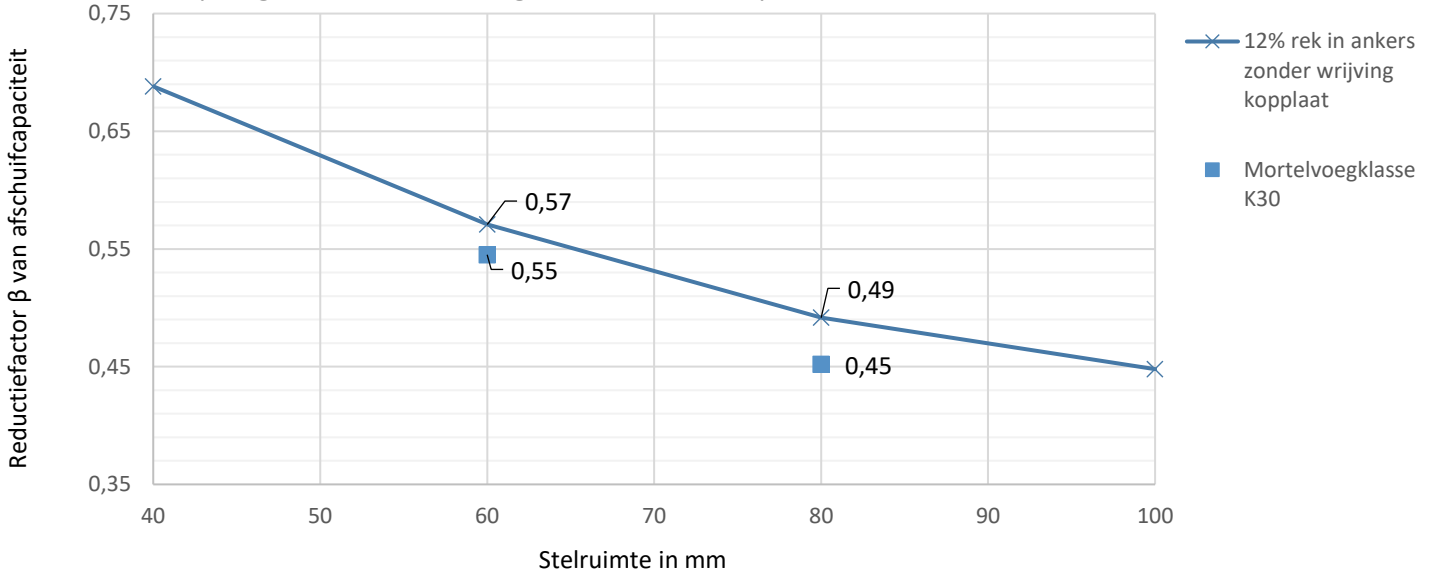
figuur 5-20 β volgens EEM-model van ankers met gietmortel K30 ten opzichte van K70 voor M12 8.8

β volgens EEM-model van gietmortel K30 ten opzichte van K70 M20 8.8



figuur 5-21 β volgens EEM-model van ankers met gietmortel K30 ten opzichte van K70 voor M20 8.8

β volgens EEM-model van gietmortel K30 ten opzichte van K70 M30 8.8



figuur 5-22 β volgens EEM-model van ankers met gietmortel K30 ten opzichte van K70 voor M30 8.8

M12 8.8 steek 190 zonder wrijving voetplaat						
Afschuifkracht (kN)	Trekkkracht (kN)	Voorspanning / anker (kN)	Mortelklasse	Stelruimte (mm)	Wrijving beton-beton (°)	Wrijving staal-beton (°)
100	0	12,14	K30	14	30	0
100	0	12,14	K30	25	30	0
100	0	12,14	K30	40	30	0
4xM20 8.8 zonder wrijving voetplaat						
100	0	35,25	K30	20	30	0
100	0	35,25	K30	40	30	0
100	0	35,25	K30	60	30	0
M30 8.8 steek 180 zonder wrijving voetplaat						
100	0	80,75	K30	60	30	0
100	0	80,75	K30	80	30	0

I) Maximale plastische rek in anker				II) Maximale bezwijklast				III) $\delta = 3$ mm bovenzijde voetplaat				IV) $\delta = 0,1 \cdot d$ bovenzijde poer			
Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)	Load-step	Load-factor	Rek in anker (%)	δ (mm)
23	0,943	12,1	5,58	13	0,802	5,3	3,00	16	0,850	7,3	1,20	32	0,991	24,1	7,61
37	0,756	11,8	9,11	13	0,526	4,2	3,00	26	0,664	8,3	1,20	40	0,774	14,1	9,87
40	0,539	11,9	9,88	13	0,377	2,6	3,00	41	0,546	12,6	1,20	59	0,601	32,5	14,65
34	2,635	11,6	6,43	16	2,243	3,4	3,00	31	2,624	10,5	2,00	36	2,661	13,8	6,81
49	1,883	11,8	9,40	16	1,375	2,0	3,00	63	2,090	12,6	2,00	51	1,895	13,1	10,04
77	1,570	11,9	14,37	17	1,025	1,3	3,00	84	1,587	14,9	2,00	83	1,589	14,5	15,50
126	4,688	11,9	15,28	25	2,855	0,9	3,00	123	4,659	11,5	3,00	129	4,716	12,6	15,78
156	3,887	12,0	18,31	26	2,247	0,7	3,00	160	3,912	13,0	2,82	160	3,912	13,0	18,78

Resultaten per anker - maximale plastische rek											
Optredende schuif (kN)	Trekkkracht (kN)		Afschuifkracht (kN)		Moment (kNm)		Wrijving (kN)	Aandeel wrijving (%)	Drukkkracht op mortel (kN)	Wrijvingsfactor	
	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2	Anker 1	Anker 2					
94,30	17,60	15,08	21,716	21,41	0,167	0,166	4,03	9	8,40	0,48	
75,62	21,24	20,21	16,94	17,05	0,200	0,199	3,82	10	17,17	0,22	
53,87	23,80	22,55	10,89	12,91	0,183	0,182	3,14	12	22,07	0,14	
263,49	49,16	46,87	62,17	60,66	0,671	0,671	8,92	7	25,53	0,35	
188,29	50,60	42,36	42,05	41,80	0,785	0,784	10,30	11	22,46	0,46	
156,98	58,00	52,25	34,41	34,71	0,815	0,815	9,37	12	39,75	0,24	
468,79	122,38	86,16	107,44	106,08	2,664	2,704	20,88	9	47,04	0,44	
388,73	126,02	107,74	85,93	86,61	2,7078	2,727	21,83	11	72,26	0,30	

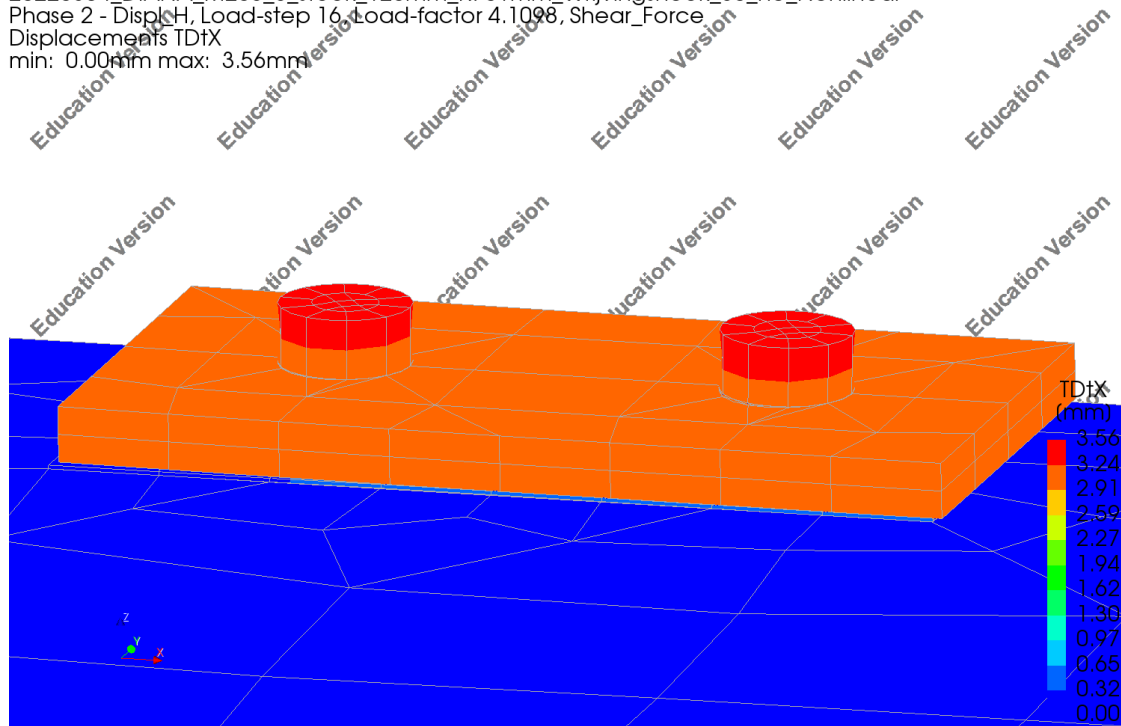
Reductiefactor ten gevolge van stelruimte				
Boutcapaciteit NEN-EN 1993-1-8	β I)	β II)	β III)	β IV)
32,4	0,73	0,77	0,62	0,66
32,4	0,58	0,60	0,41	0,51
32,4	0,42	0,46	0,29	0,42
94,1	0,70	0,71	0,60	0,70
94,1	0,50	0,50	0,37	0,56
94,1	0,42	0,42	0,27	0,42
215,0	0,55	0,55	0,33	0,54
215,0	0,45	0,45	0,26	0,45

tabel 5-12 Numerieke resultaten proeven uitgevoerd met gietmortelklasse K30

5.4. Visuele uitvoer

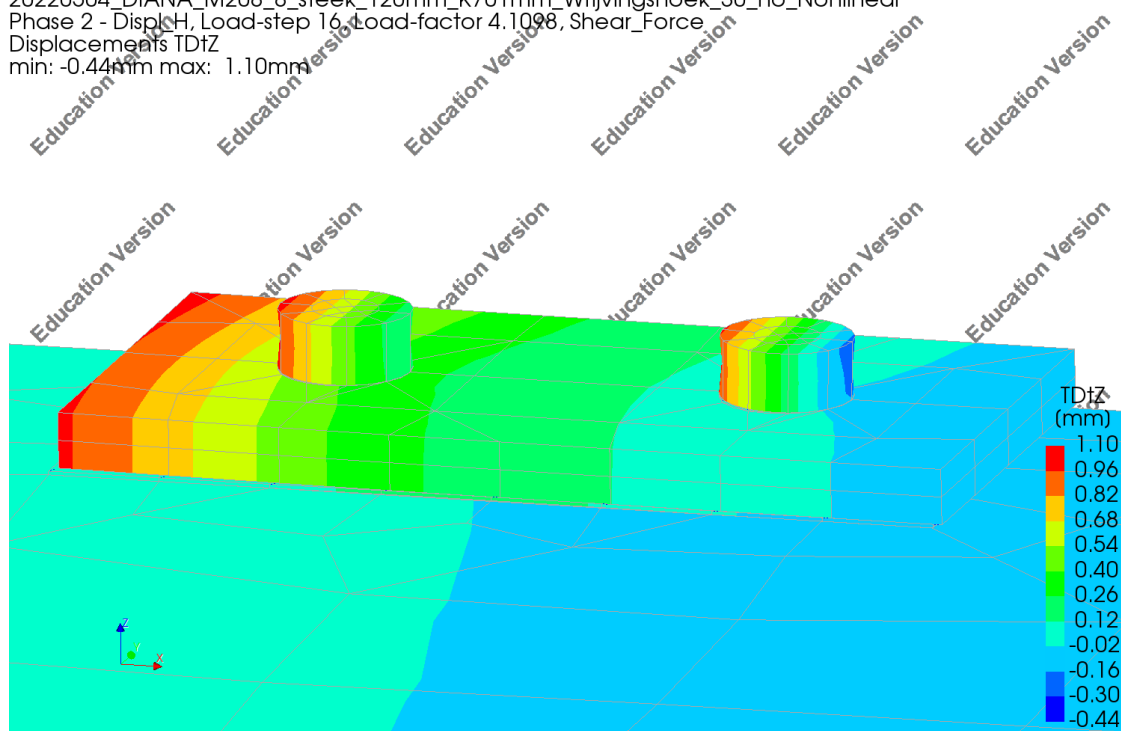
5.4.1. M20 8.8 K70 1 mm stelruimte

20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
Displacements TDtX
min: 0.00mm max: 3.56mm



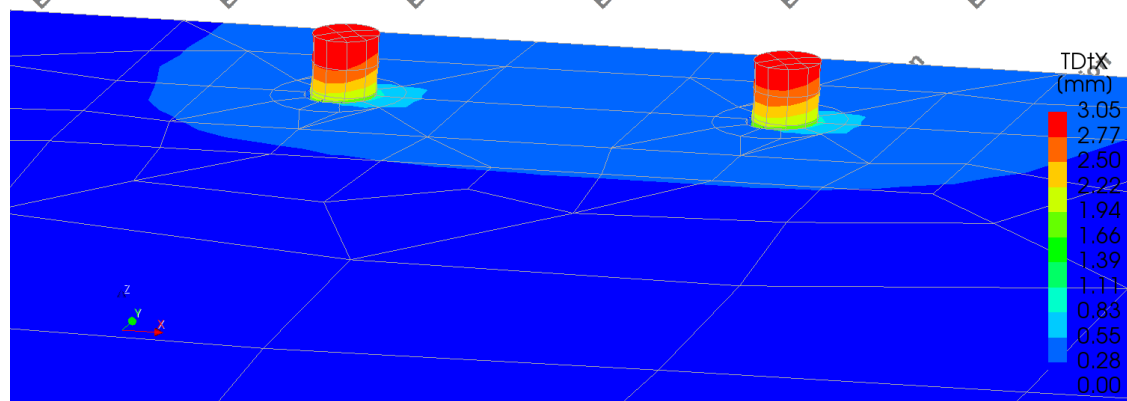
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
Displacements TDtZ
min: -0.44mm max: 1.10mm



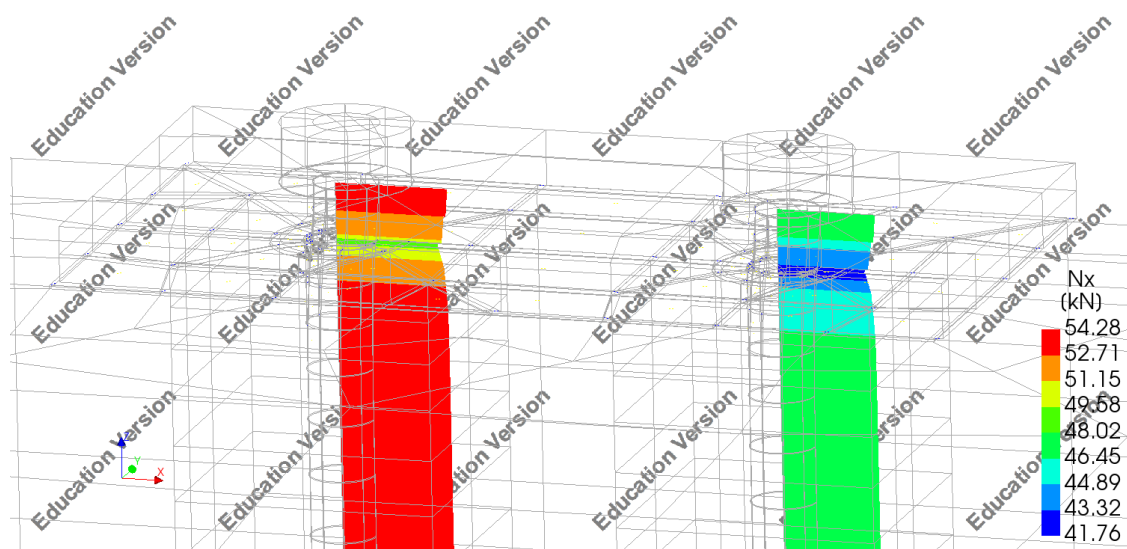
Displacements TDtZ at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: 0.00mm max: 3.05mm



Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

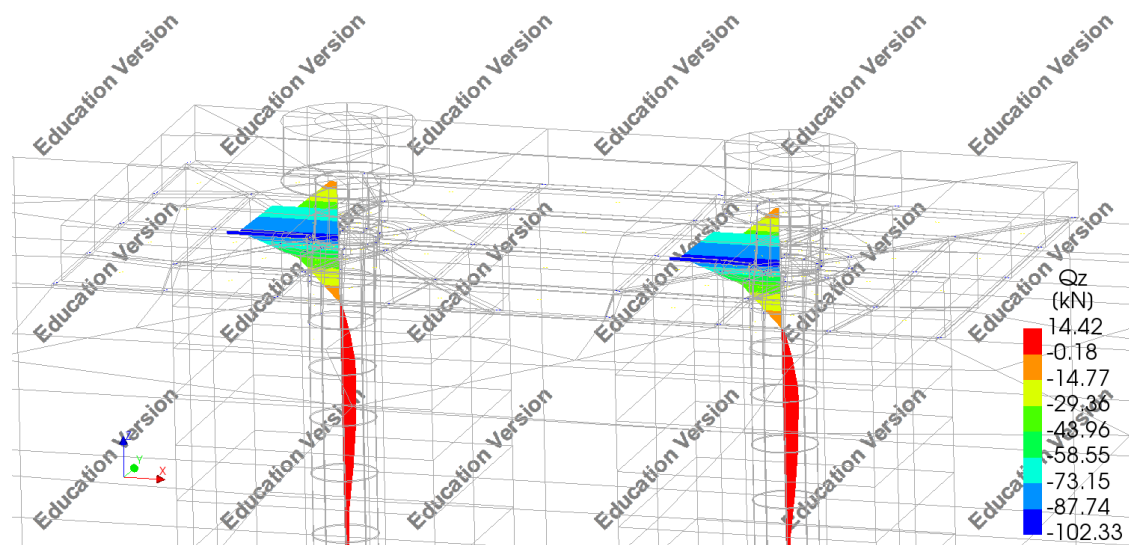
20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
 Cross-section Forces Nx
 min: 41.76kN max: 54.28kN



Cross-section Forces Nx at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
 Cross-section Forces Qz

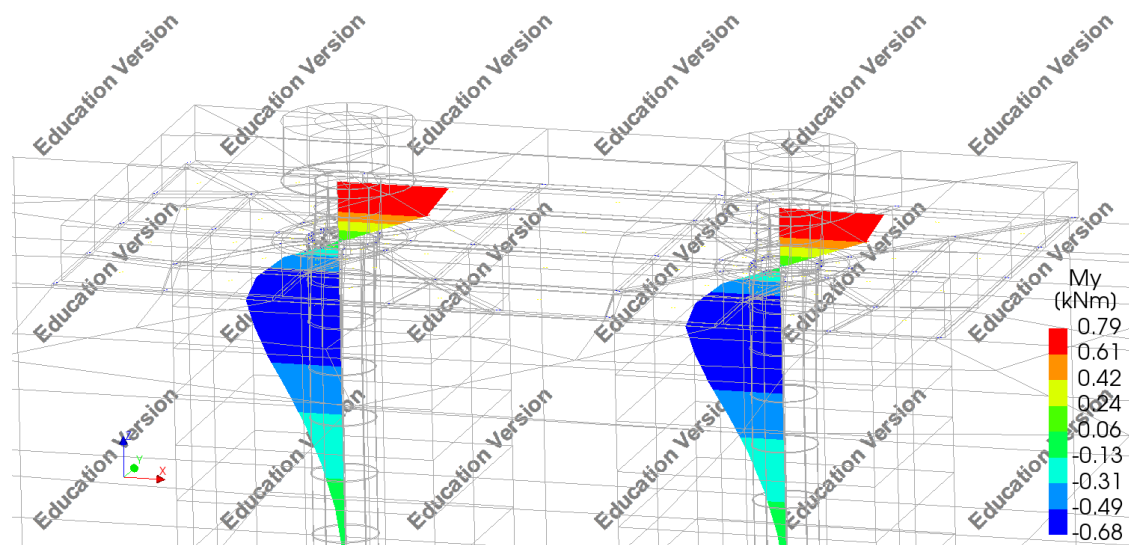
min: -102.33kN max: 14.42kN



Cross-section Forces Qz at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

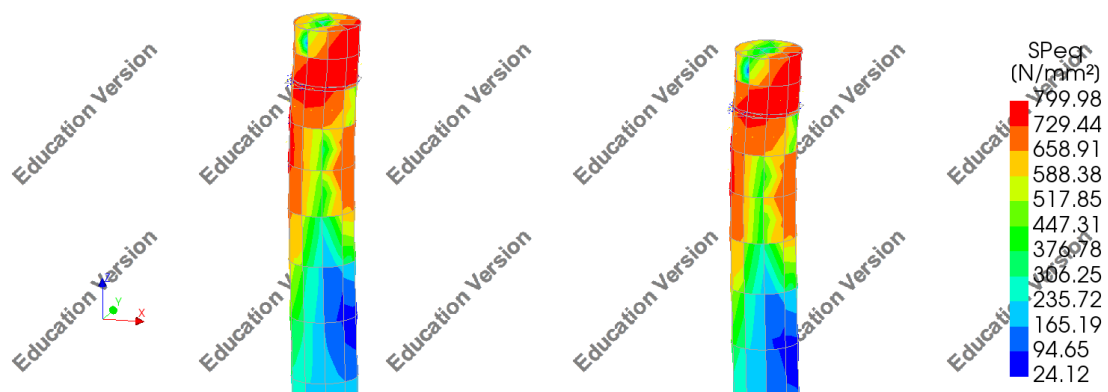
20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
 Cross-section Moments My

min: -0.68kNm max: 0.79kNm



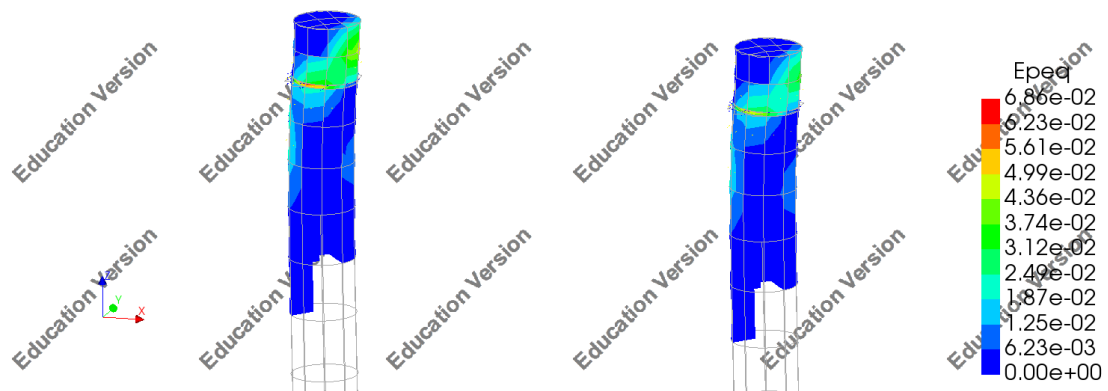
Cross-section Moments My at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
 Piola-Kirchhoff Total Stresses S_{Peq} layer 1
 min: 24.12 N/mm² max: 799.98 N/mm²



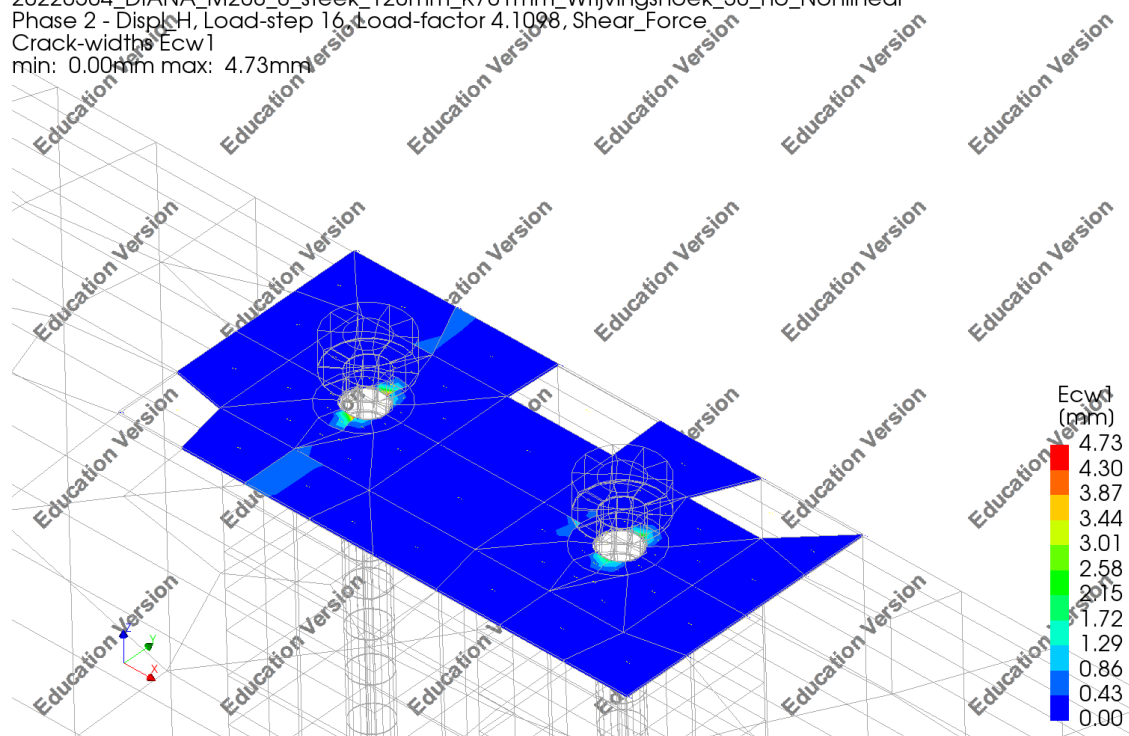
Piola-Kirchhoff Total Stresses S_{Peq} at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
 Plastic Strains E_{peq} layer 1
 min: 0.00e+00 max: 6.86e-02

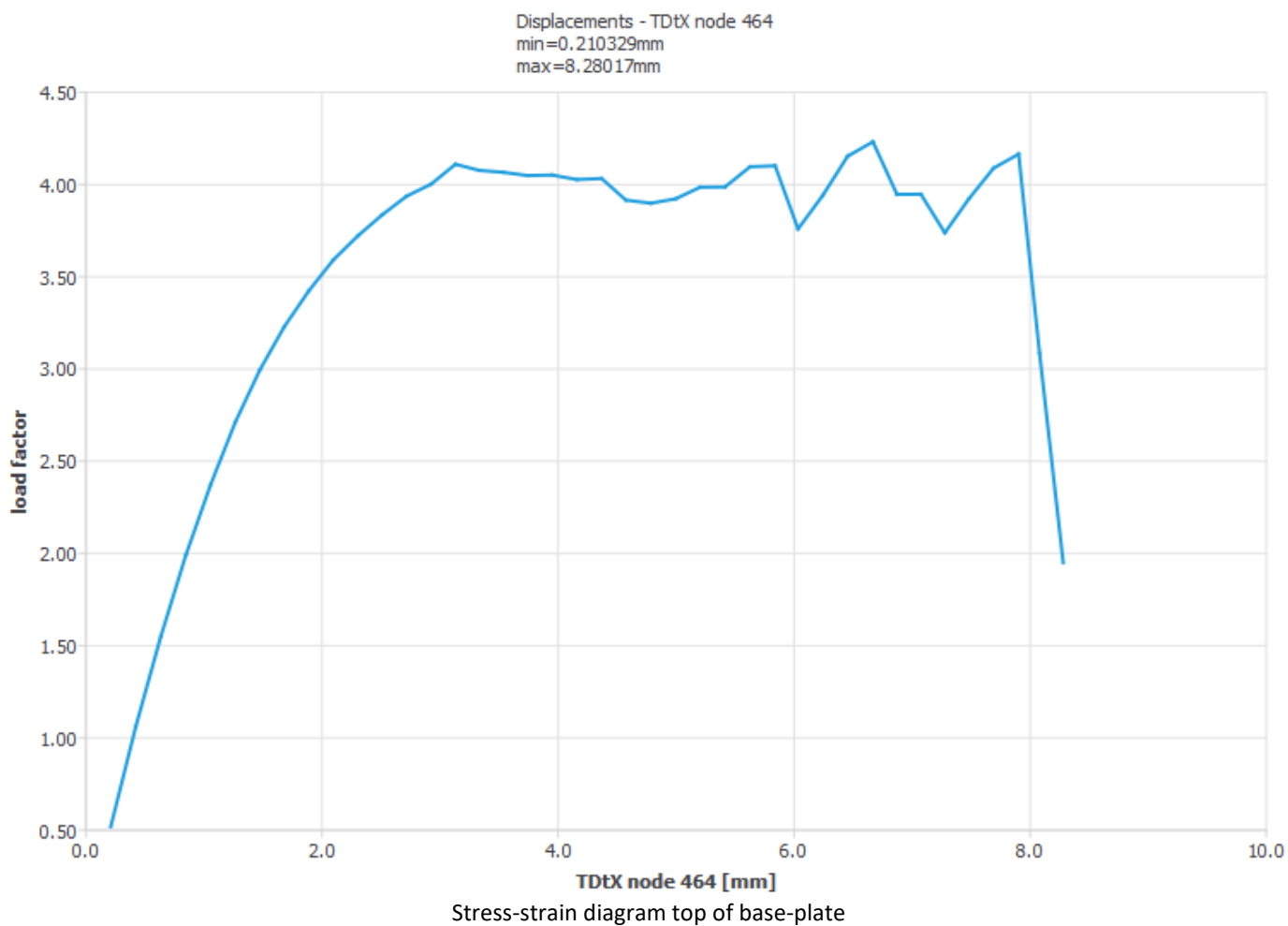


Plastic Strains E_{peq} at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

20220504_DIANA_M208_8_steek_120mm_K701mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force
 Crack-widths Ecw1
 min: 0.00mm max: 4.73mm

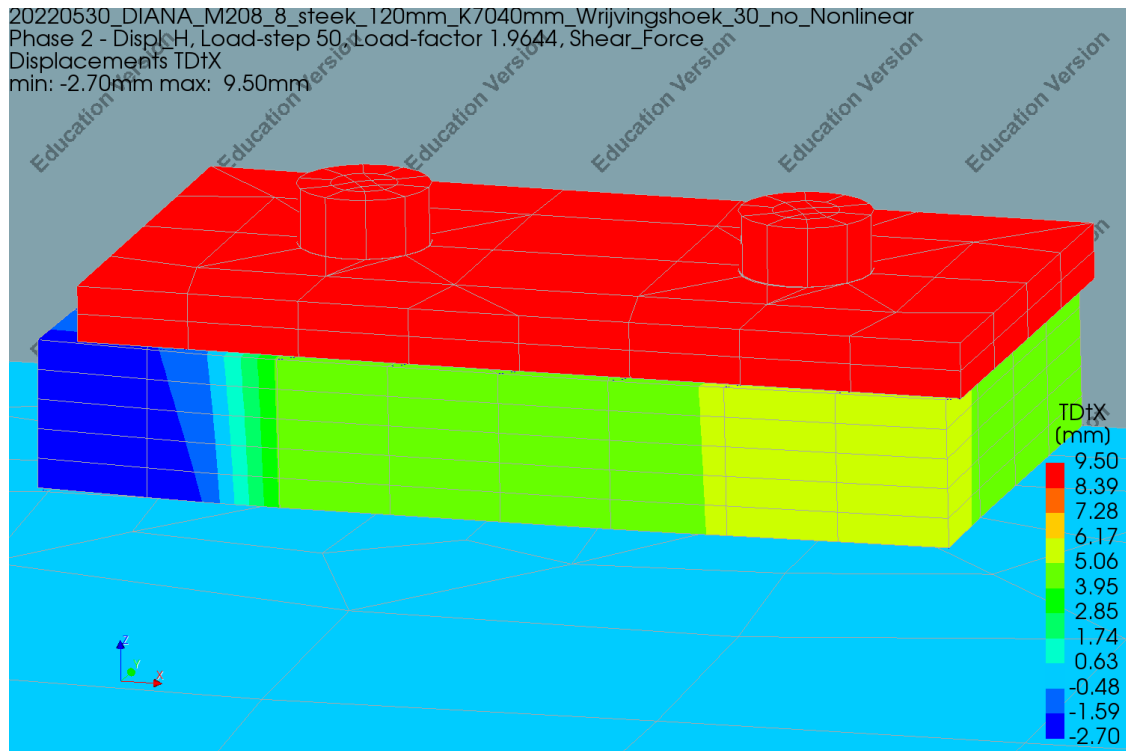


Crack-widths Ecw1 at Phase 2 - Displ_H, Load-step 16, Load-factor 4.1098, Shear_Force

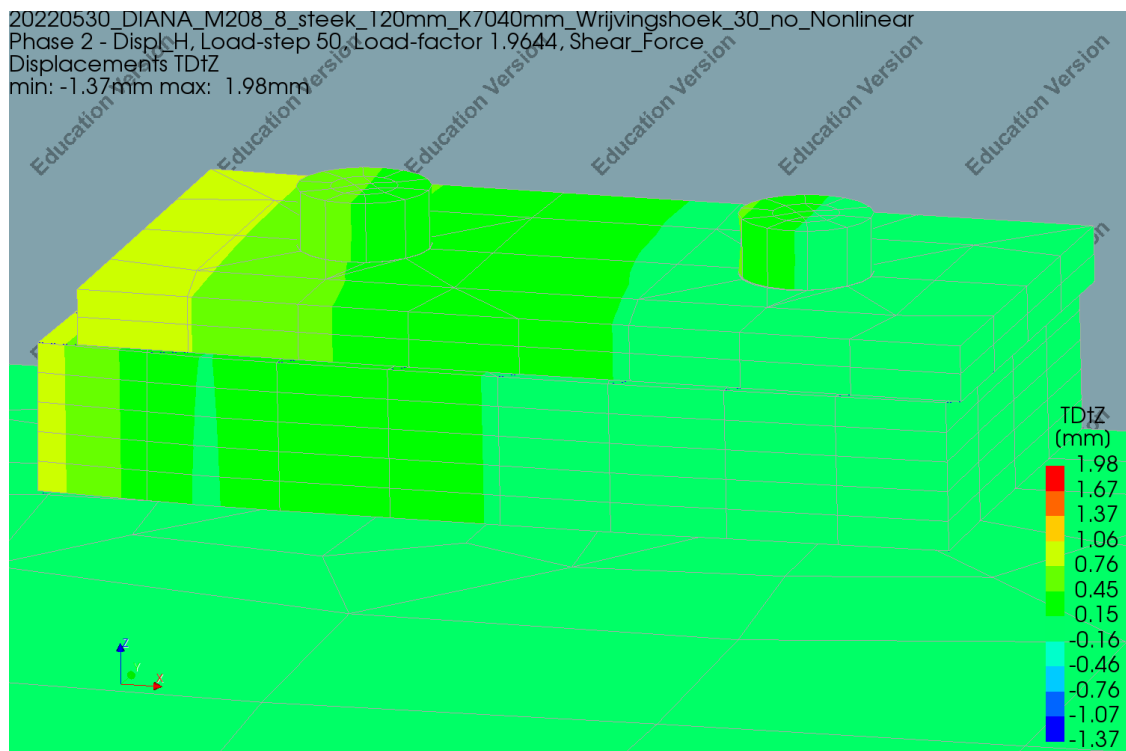


5.4.1. M20 8.8 K70 40 mm stelruimte

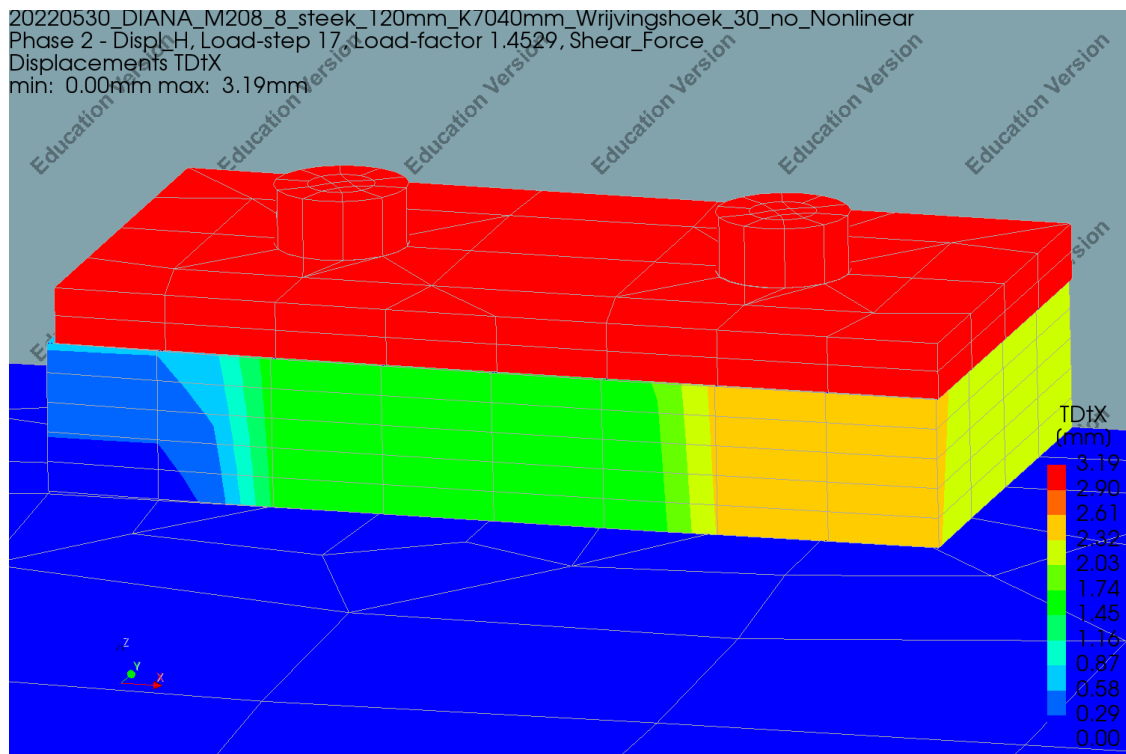
Voor onderstaande visuele resultaten is het EEM-model nog een keer geanalyseerd. Daarin zitten marginale verschillen met de tabelwaarde van paragraaf 5.3.2.



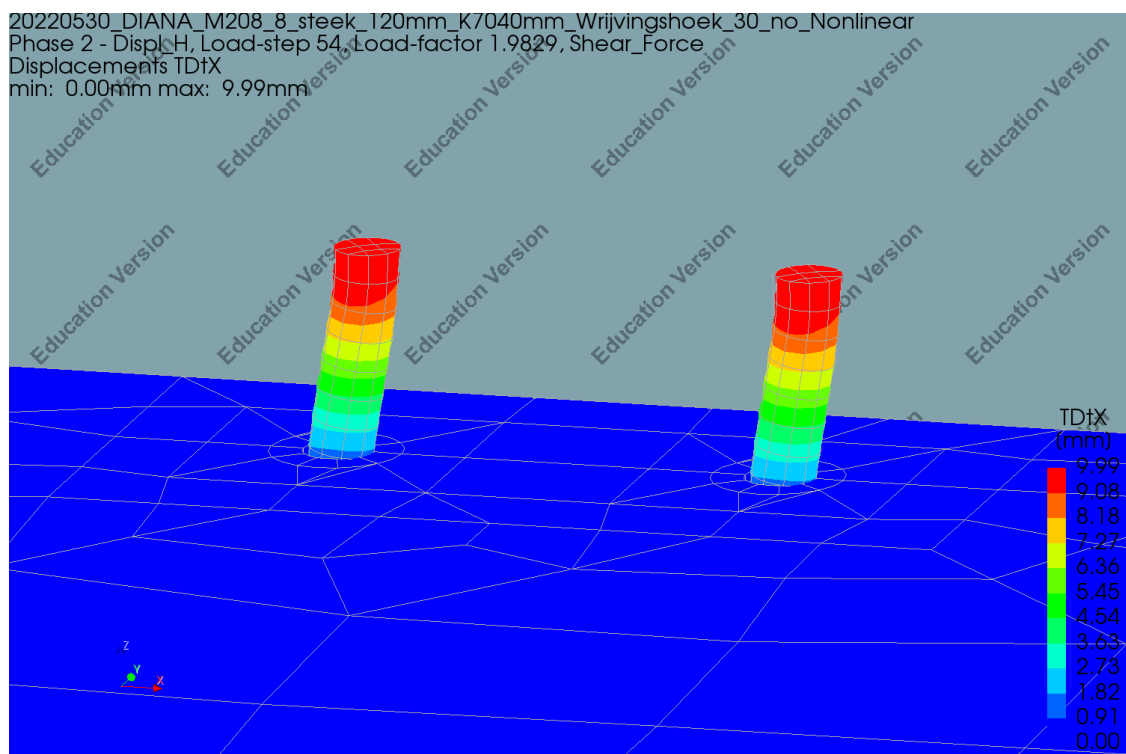
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force



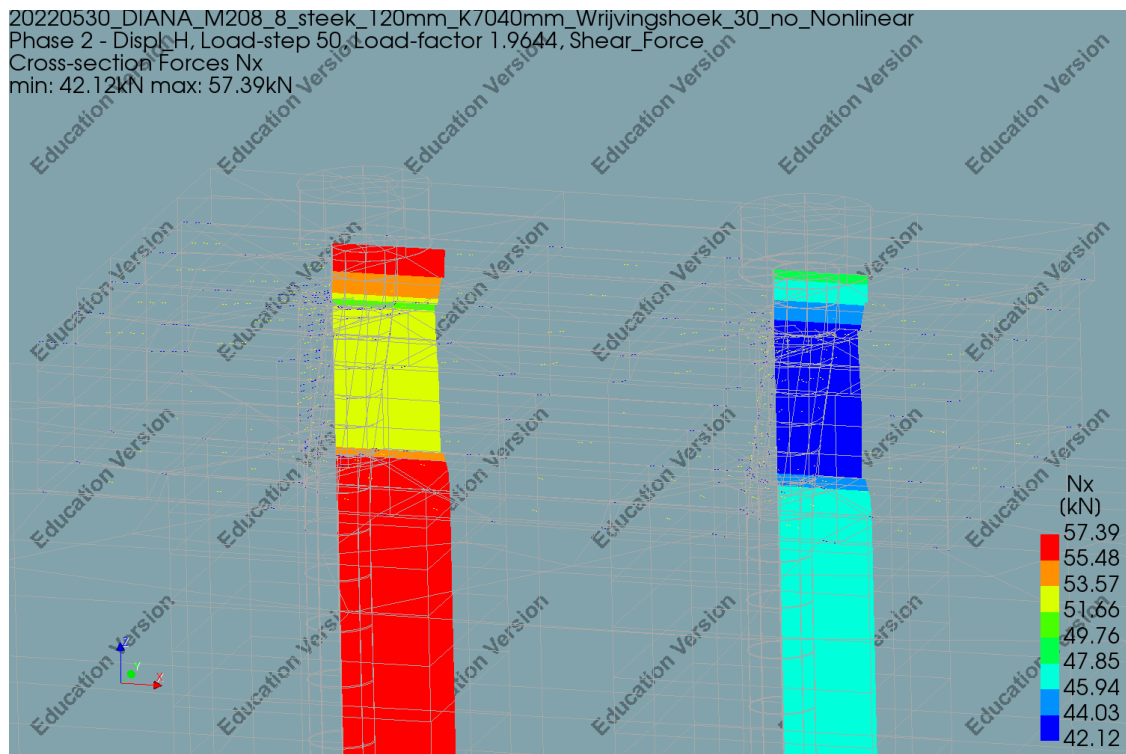
Displacements TDtZ at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force



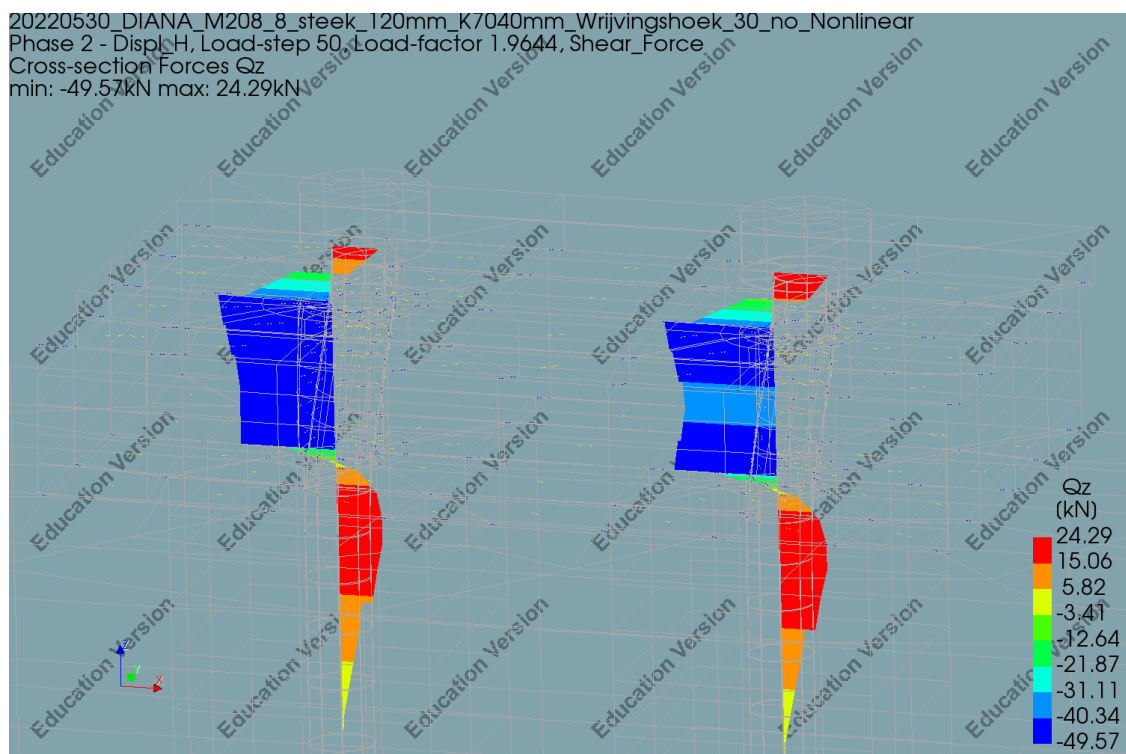
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 17, Load-factor 1.4529, Shear_Force



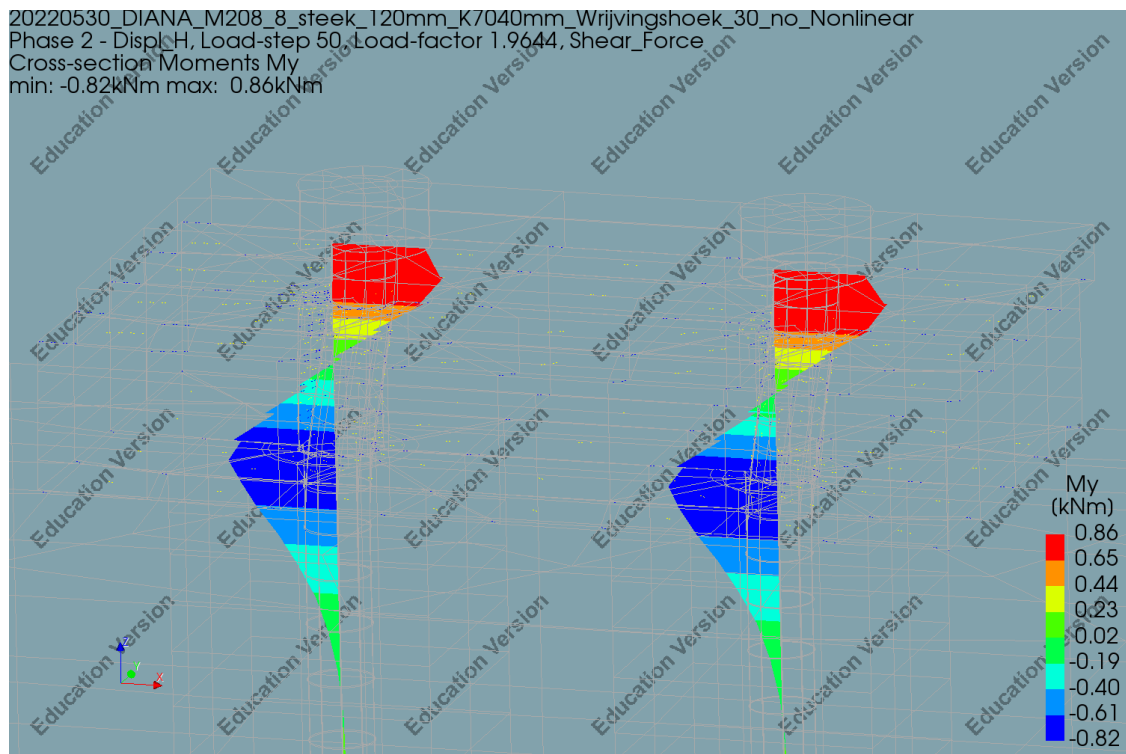
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 54, Load-factor 1.9829, Shear_Force



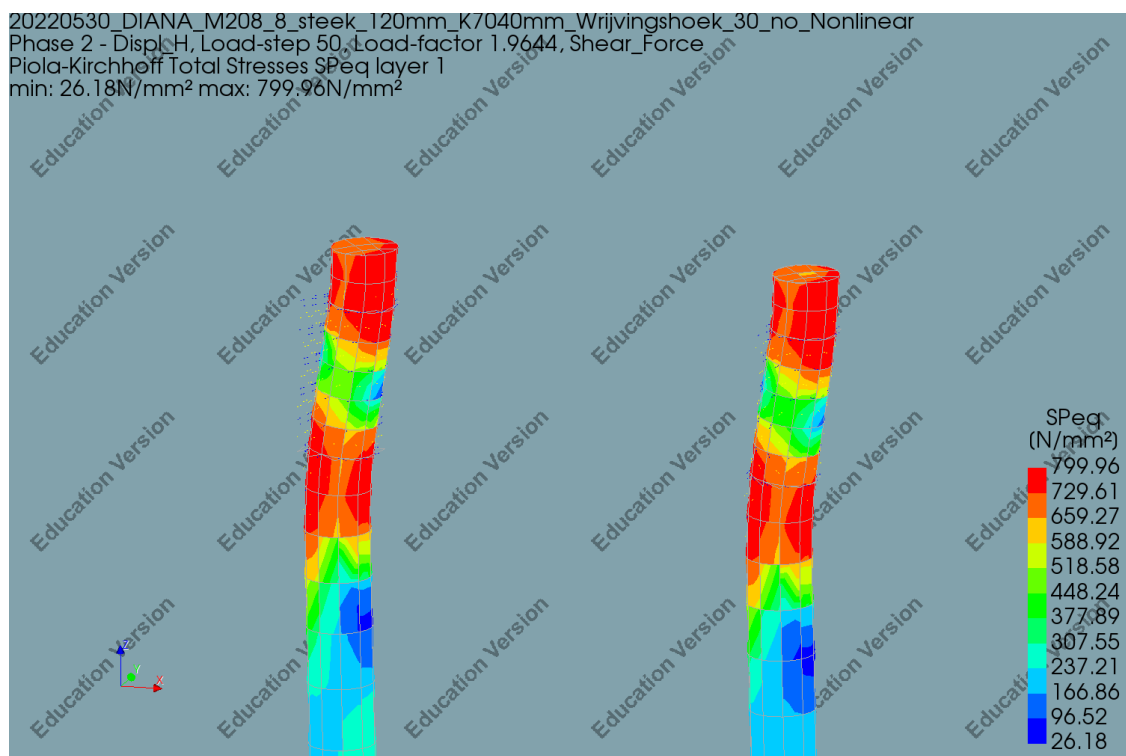
Cross-section Forces Nx at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force



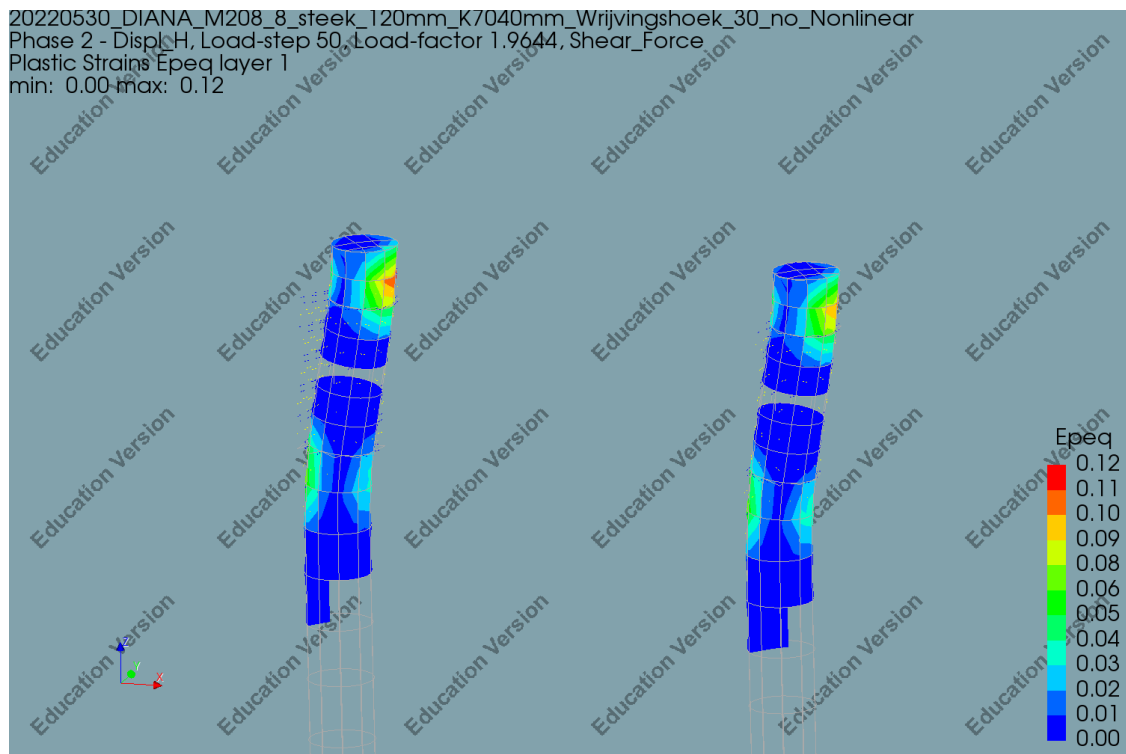
Cross-section Forces Qz at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force



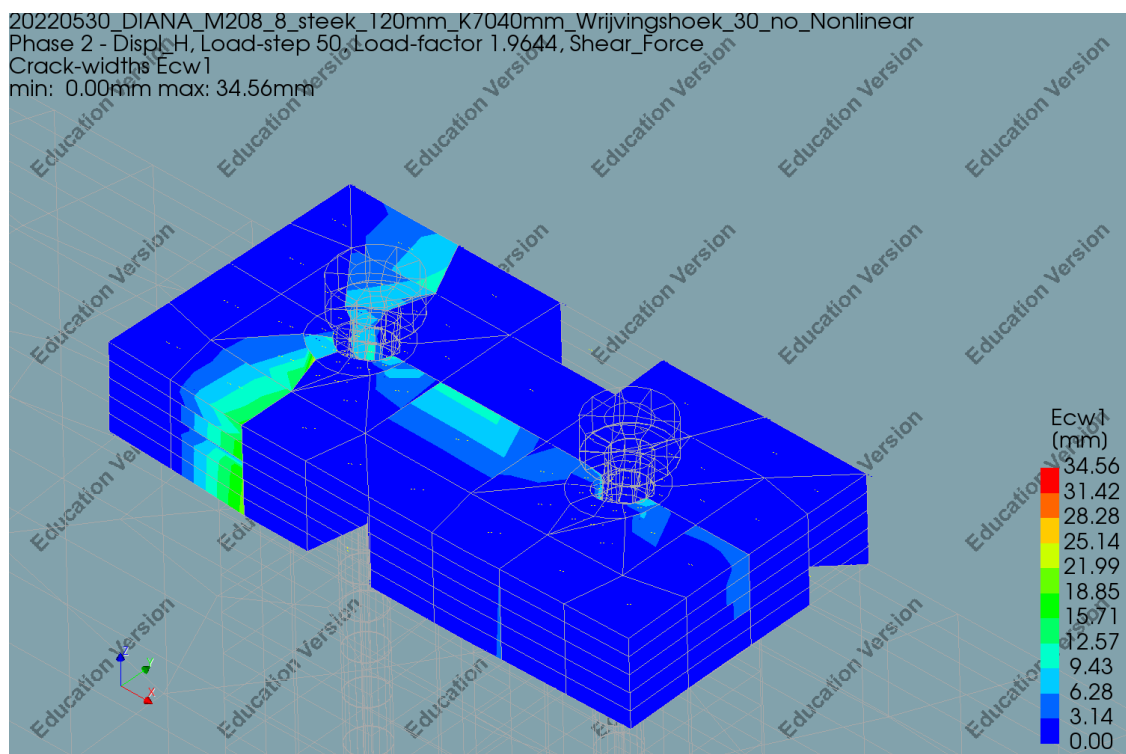
Cross-section Moments My at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force



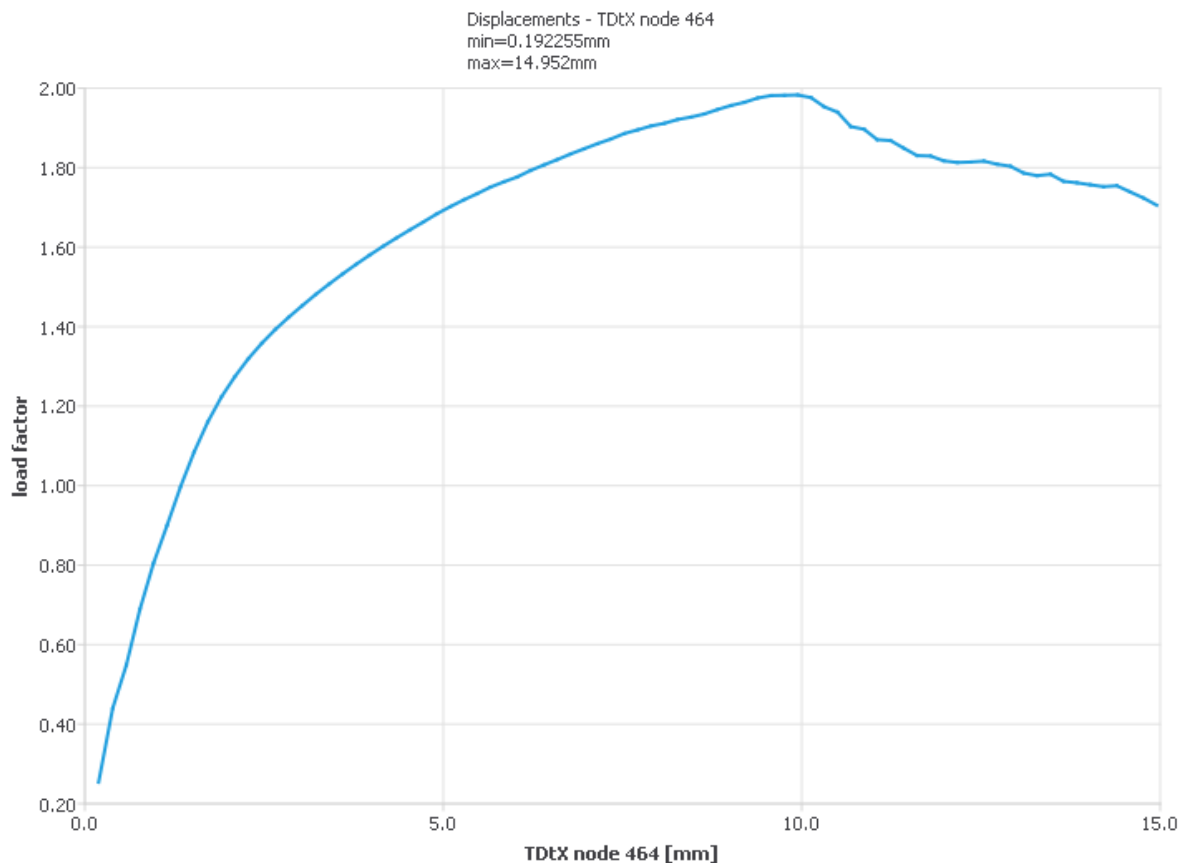
Piola-Kirchhoff Total Stresses SPeq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force



Plastic Strains Epeq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force



Crack-widths Ecw1 at Phase 2 - Displ_H, Load-step 50, Load-factor 1.9644, Shear_Force

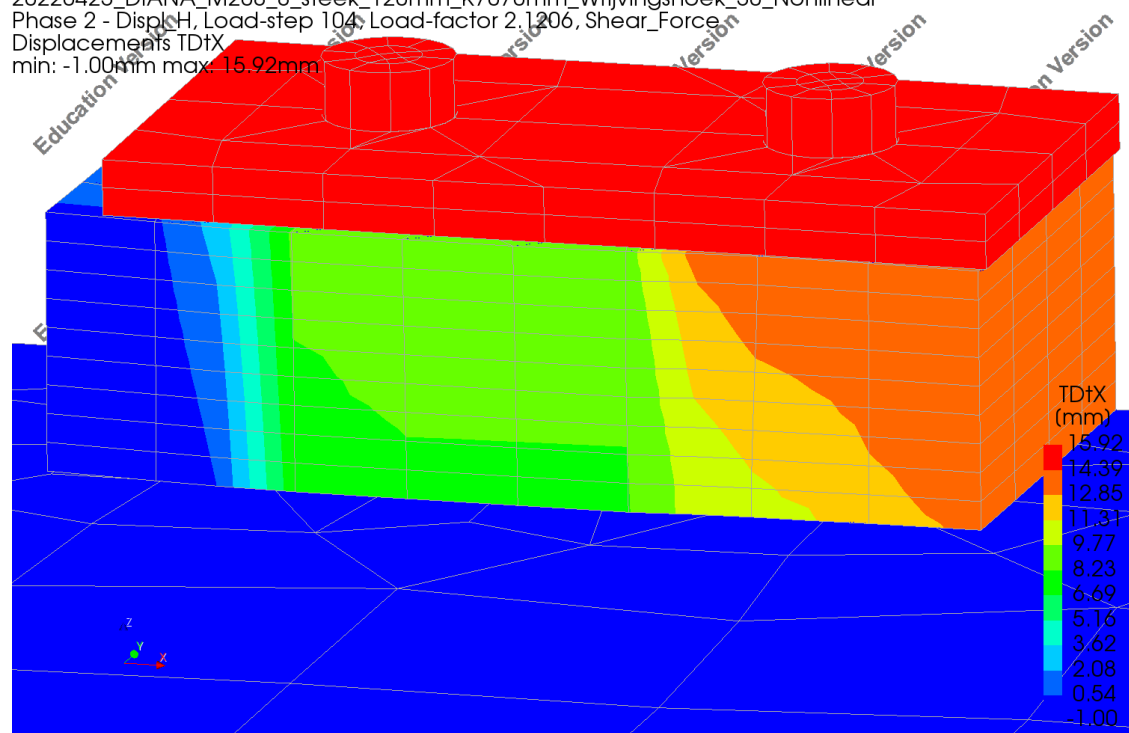


Stress-strain diagram top of base-plate

5.4.1. M20 8.8 K70 70 mm stelruimte met wrijving voetplaat

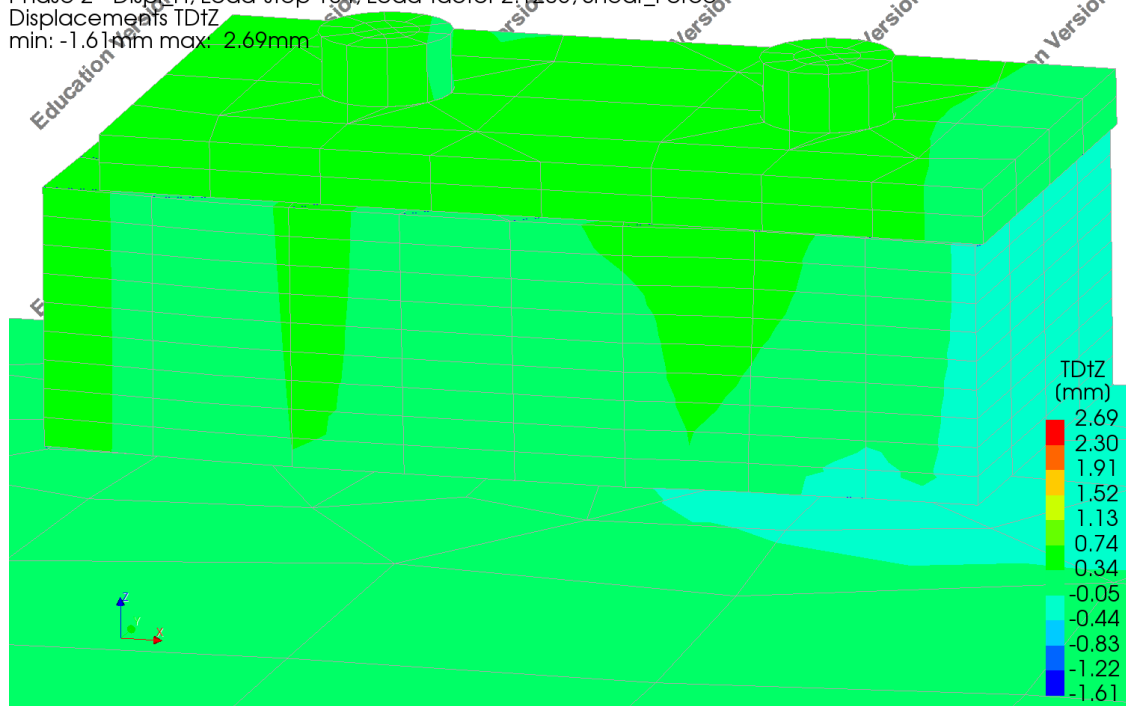
20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear_Results

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
Displacements TDtX
min: -1.00mm max: 15.92mm



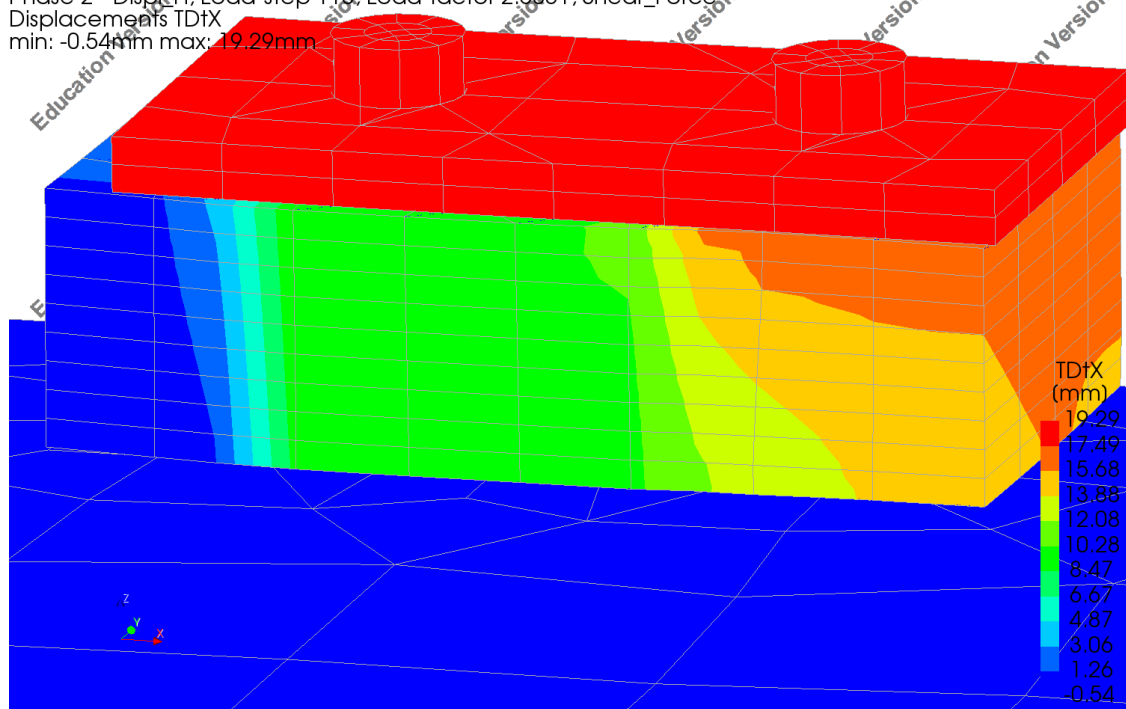
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
 Displacements TDtZ
 min: -1.61mm max: 2.69mm



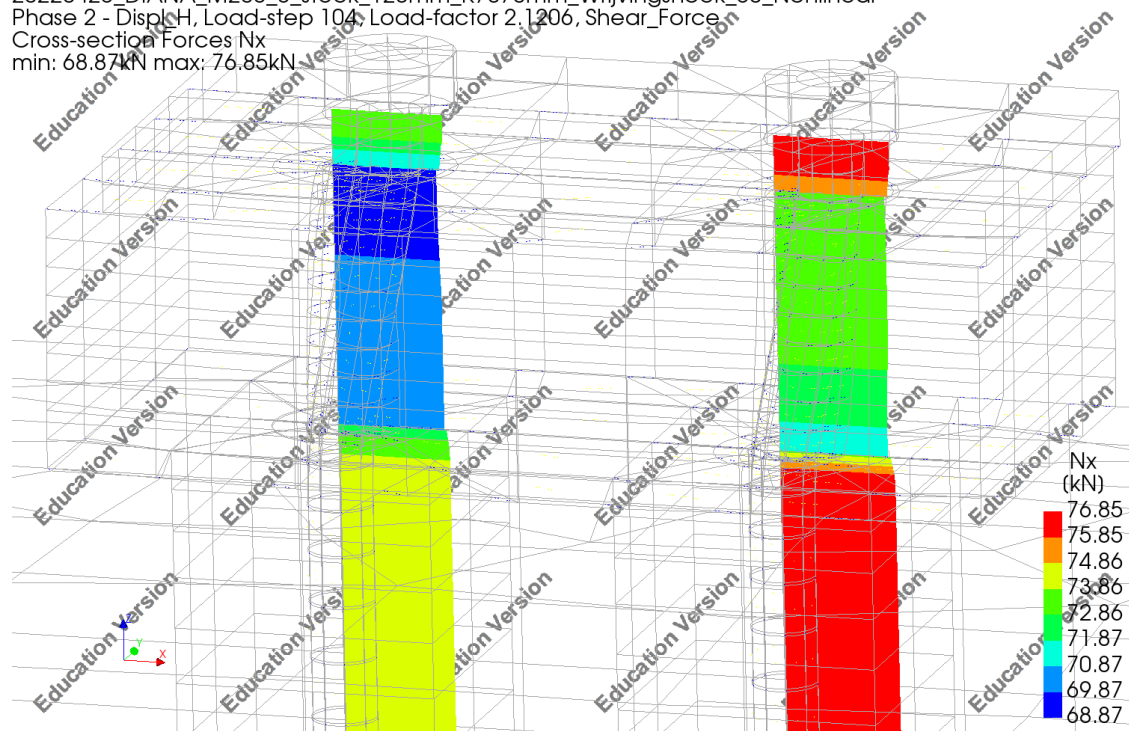
Displacements TDtZ at Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: -0.54mm max: 19.29mm



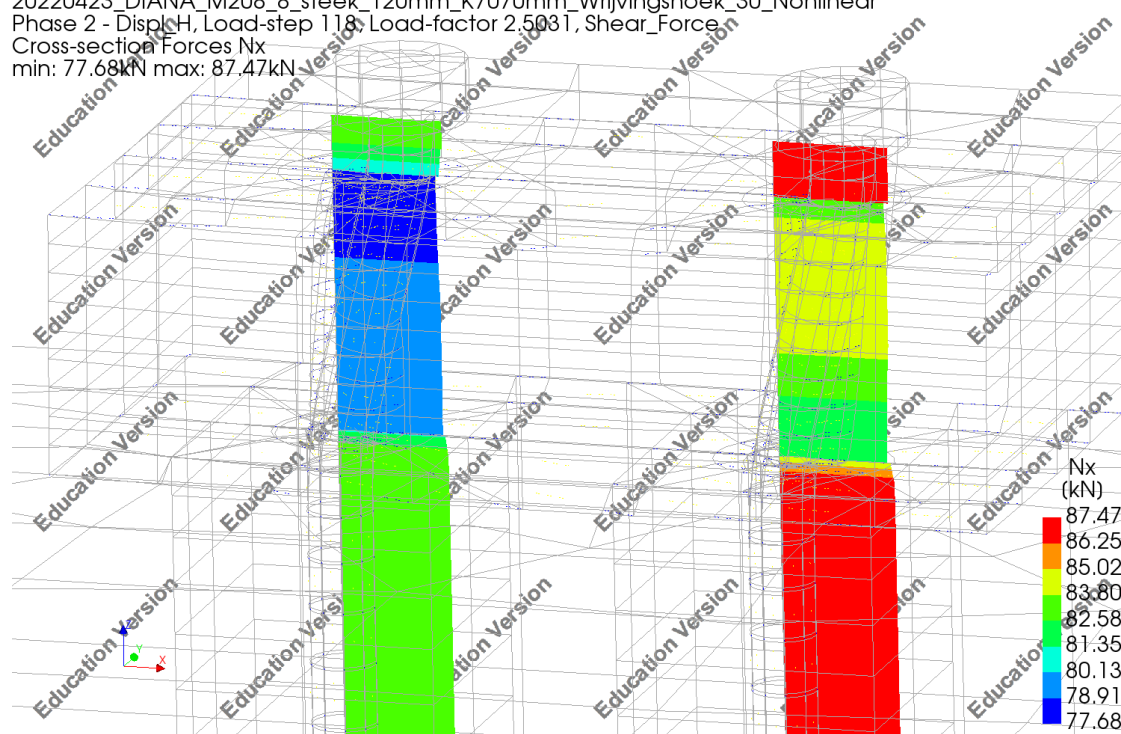
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
 Cross-section Forces Nx
 min: 68.87kN max: 76.85kN



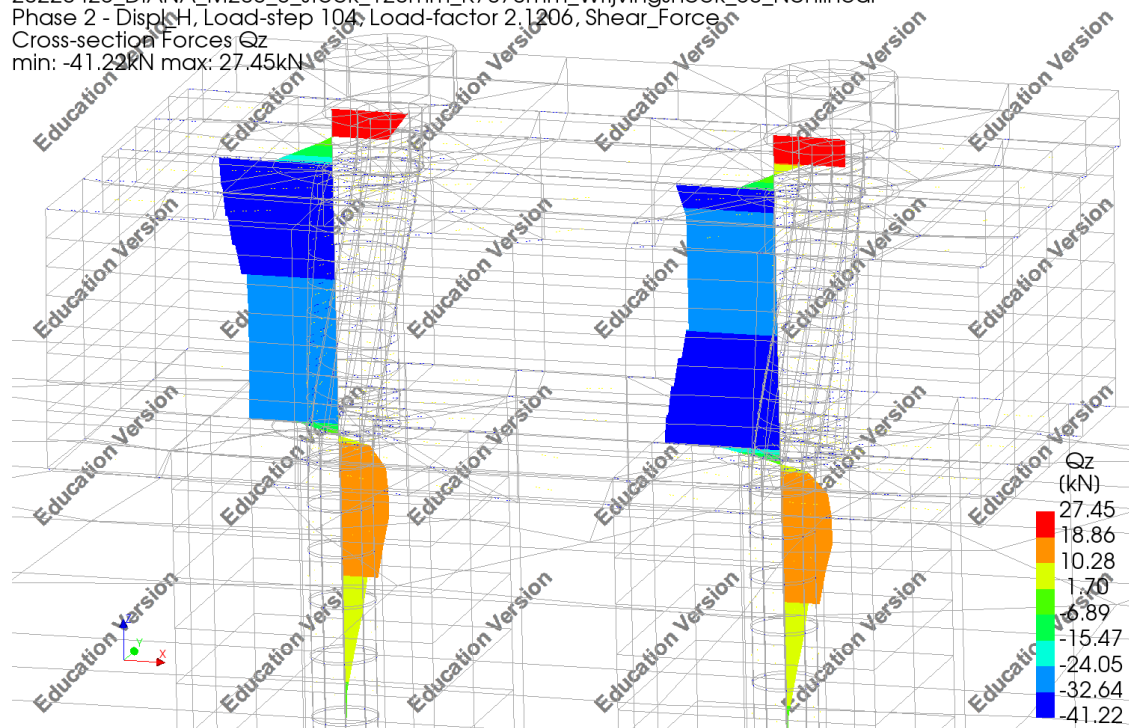
Cross-section Forces Nx at Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force
 Cross-section Forces Nx
 min: 77.68kN max: 87.47kN



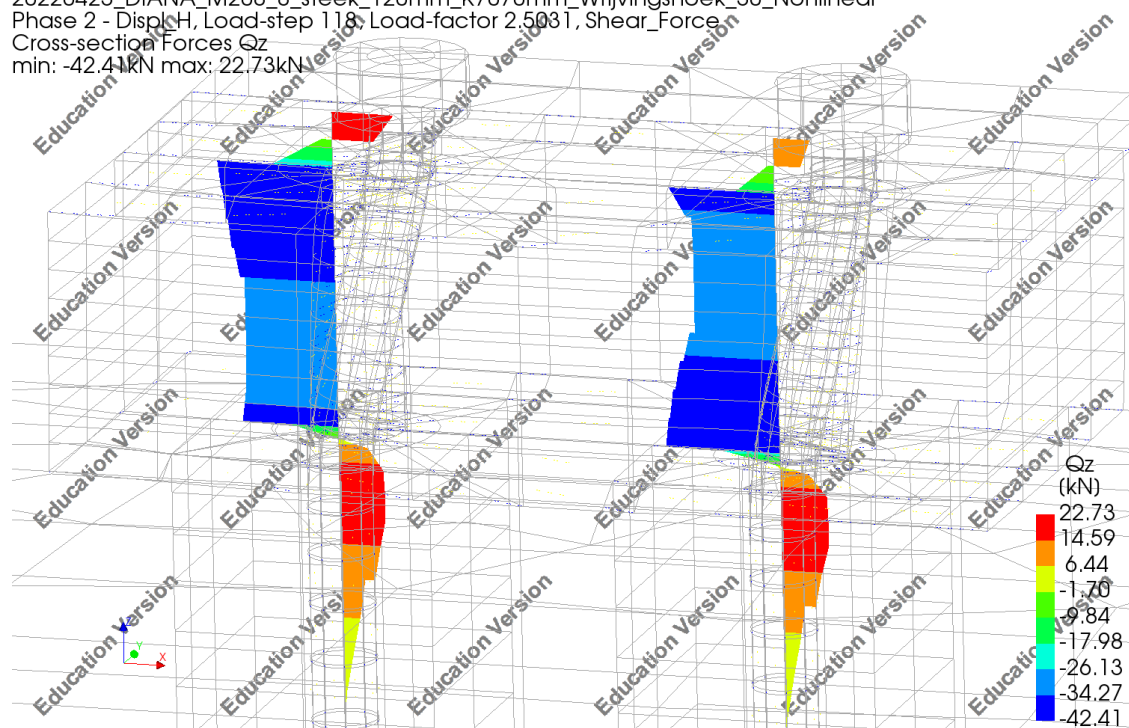
Cross-section Forces Nx at Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
 Cross-section Forces Qz
 min: -41.22kN max: 27.45kN



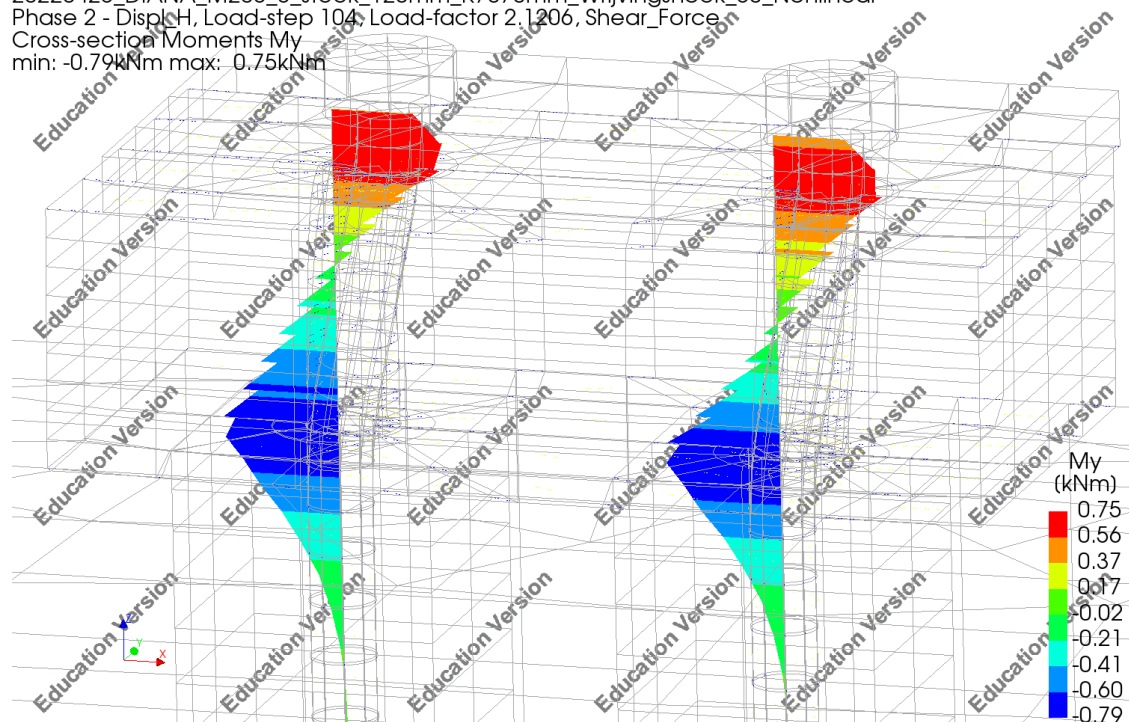
Cross-section Forces Qz at Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force
 Cross-section Forces Qz
 min: -42.41kN max: 22.73kN



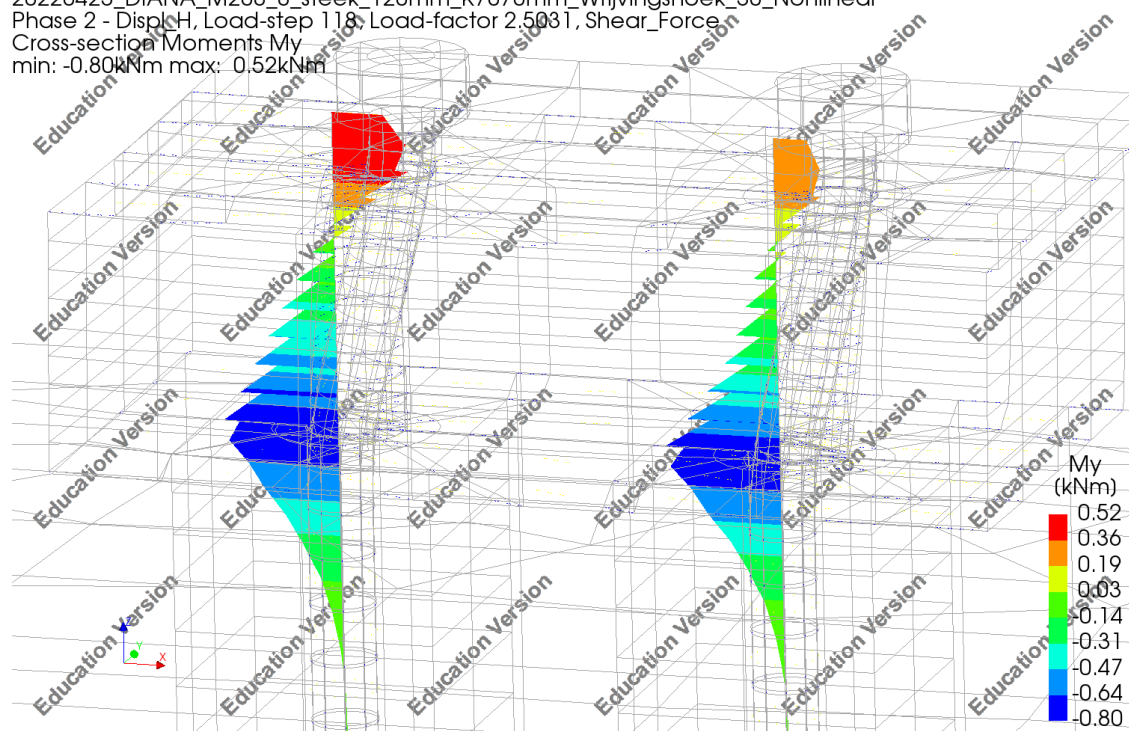
Cross-section Forces Qz at Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
 Cross-section Moments My
 min: -0.79kNm max: 0.75kNm



Cross-section Moments M_y at Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force
 Cross-section Moments My
 min: -0.80kNm max: 0.52kNm



Cross-section Moments M_y at Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
Phase 2 - Displ.H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
Piola-Kirchhoff Total Stresses Speq layer 1
min: 18.35N/mm² max: 799.96N/mm²

Speq
(N/mm²)

799.96
728.91
657.85
586.80
515.74
444.69
373.63
302.57
231.52
160.46
89.41
18.35

Piola-Kirchhoff Total Stresses S_{Peq} at Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force

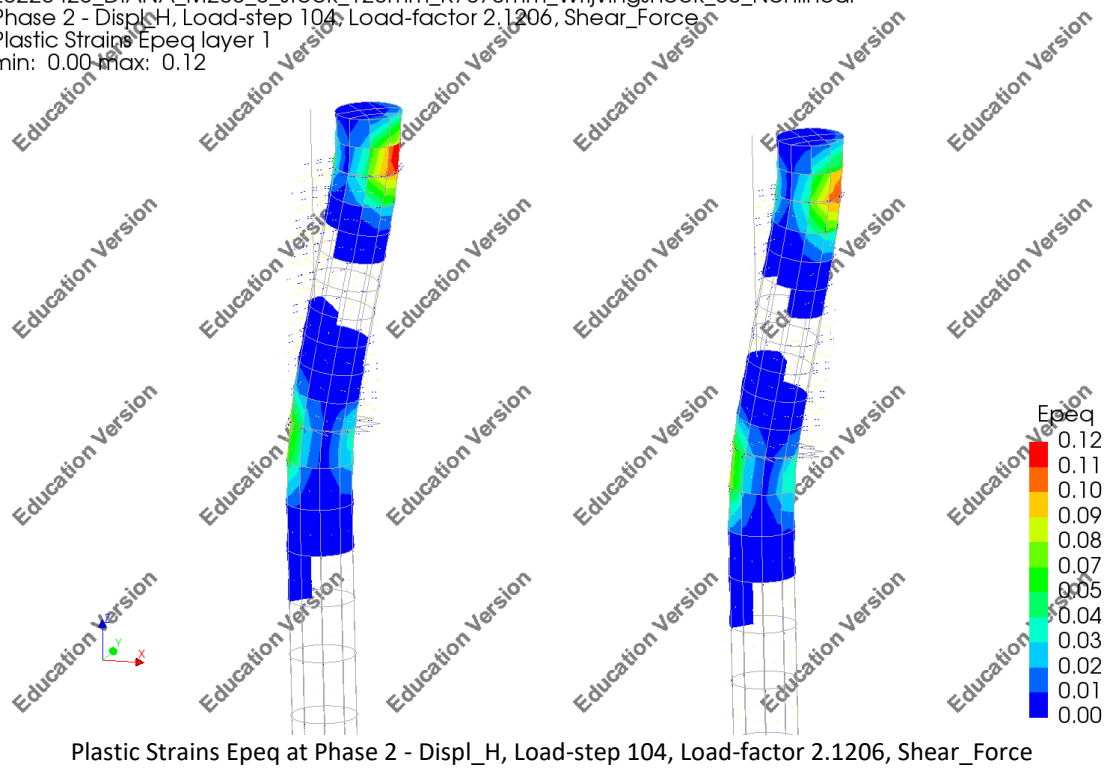
20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
Phase 2 - Displ.H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force
Piola-Kirchhoff Total Stresses SPeq layer 1
min: 18.12 N/mm² max: 799.91 N/mm²

SPeq
(N/mm²)

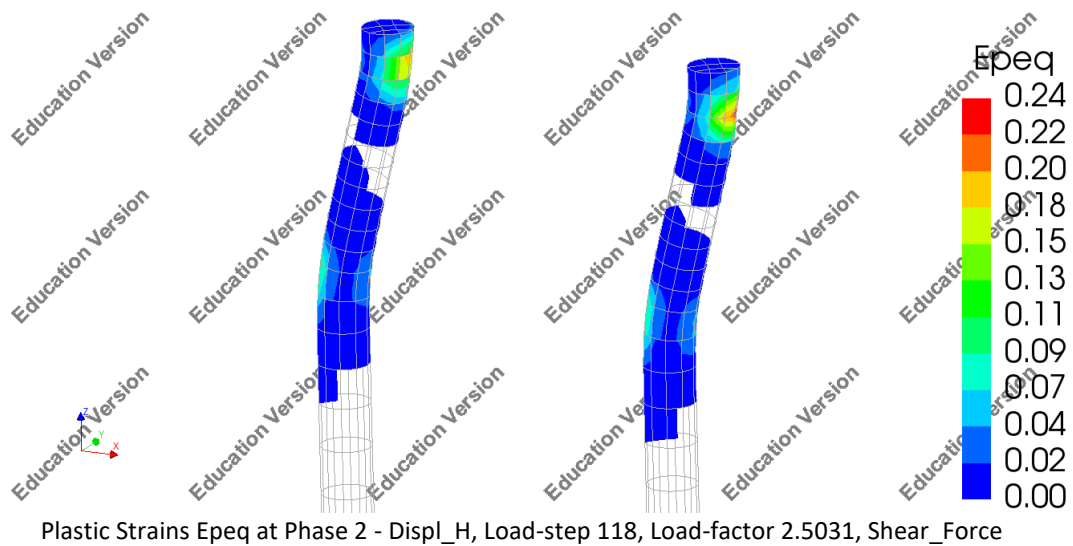
799.91
728.84
657.77
586.70
515.62
444.55
373.48
302.41
231.33
160.26
89.19
18.12

Piola-Kirchhoff Total Stresses S_{Req} at Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force

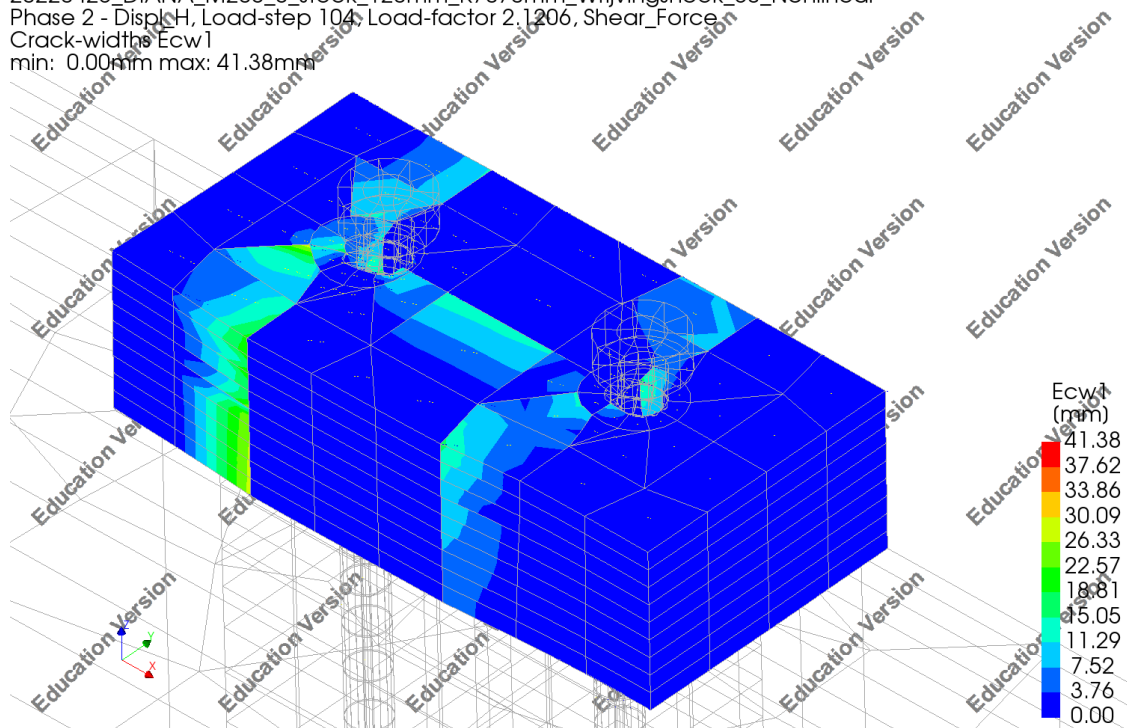
20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
 Plastic Strains Epeq layer 1
 min: 0.00 max: 0.12



20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_N
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force
 Plastic Strains Epeq layer 1
 min: 0.00 max: 0.24

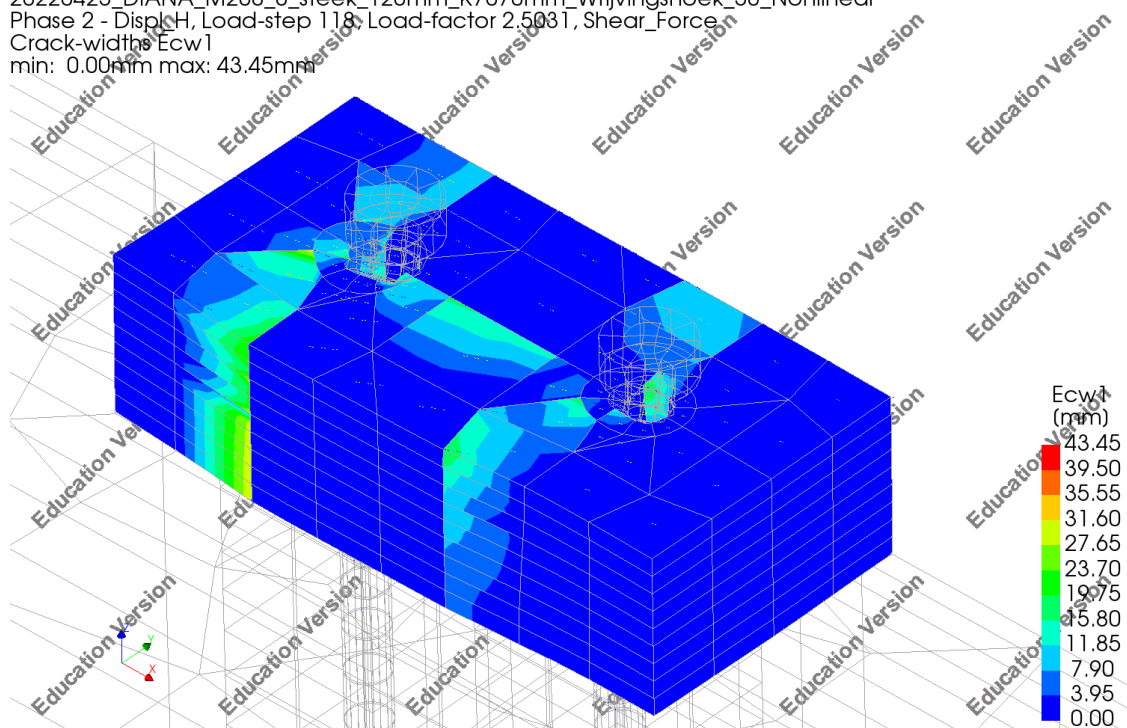


20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force
 Crack-widths Ecw1
 min: 0.00mm max: 41.38mm

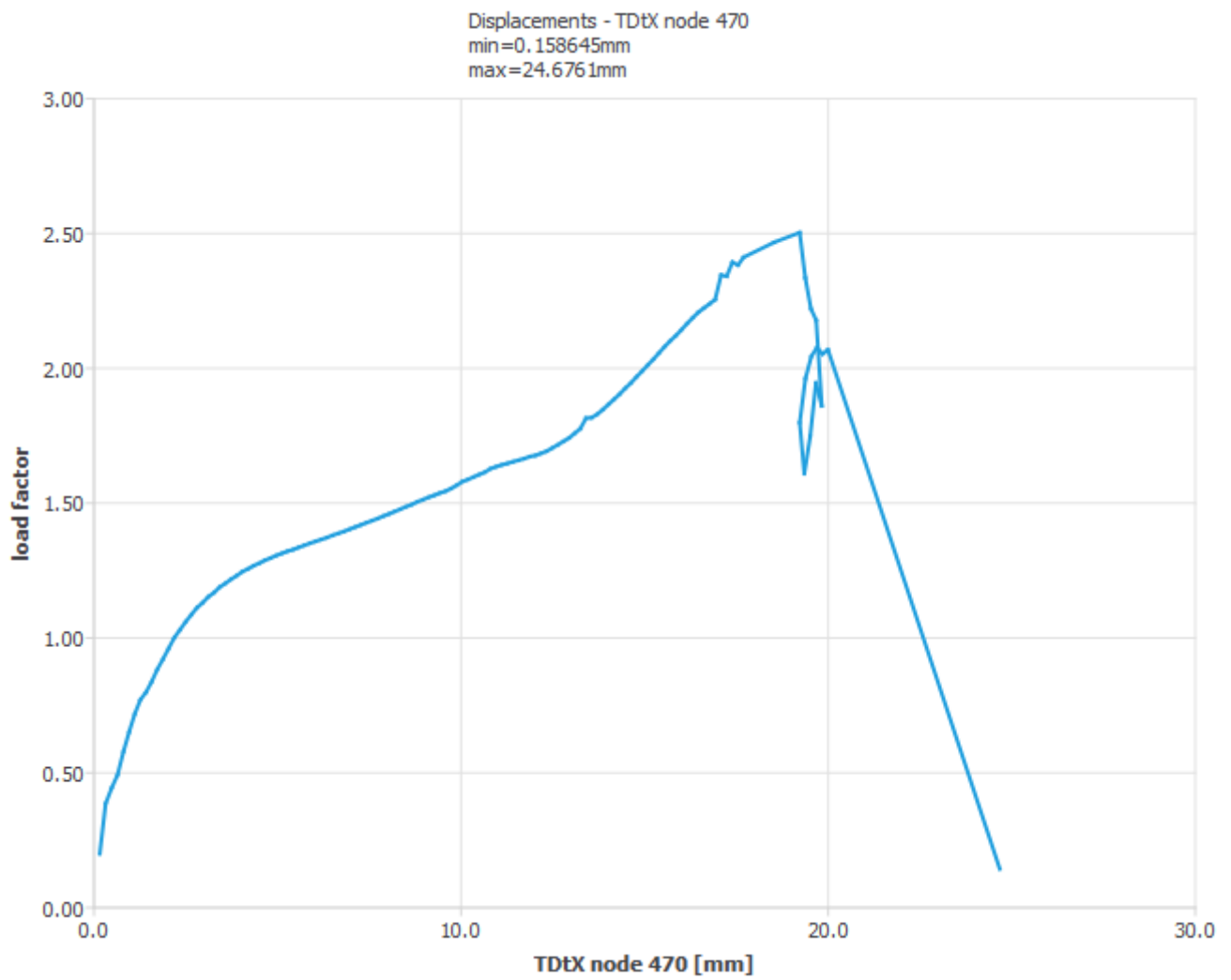


Crack-widths Ecw1 at Phase 2 - Displ_H, Load-step 104, Load-factor 2.1206, Shear_Force

20220423_DIANA_M208_8_steek_120mm_K7070mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force
 Crack-widths Ecw1
 min: 0.00mm max: 43.45mm



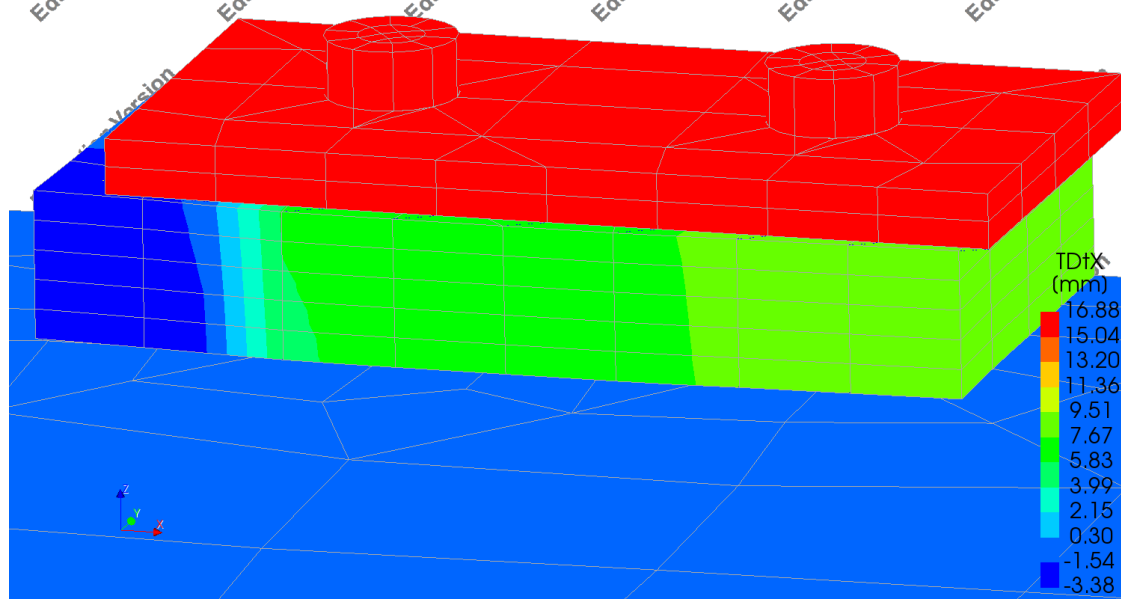
Crack-widths Ecw1 at Phase 2 - Displ_H, Load-step 118, Load-factor 2.5031, Shear_Force



Stress-strain diagram top of base-plate

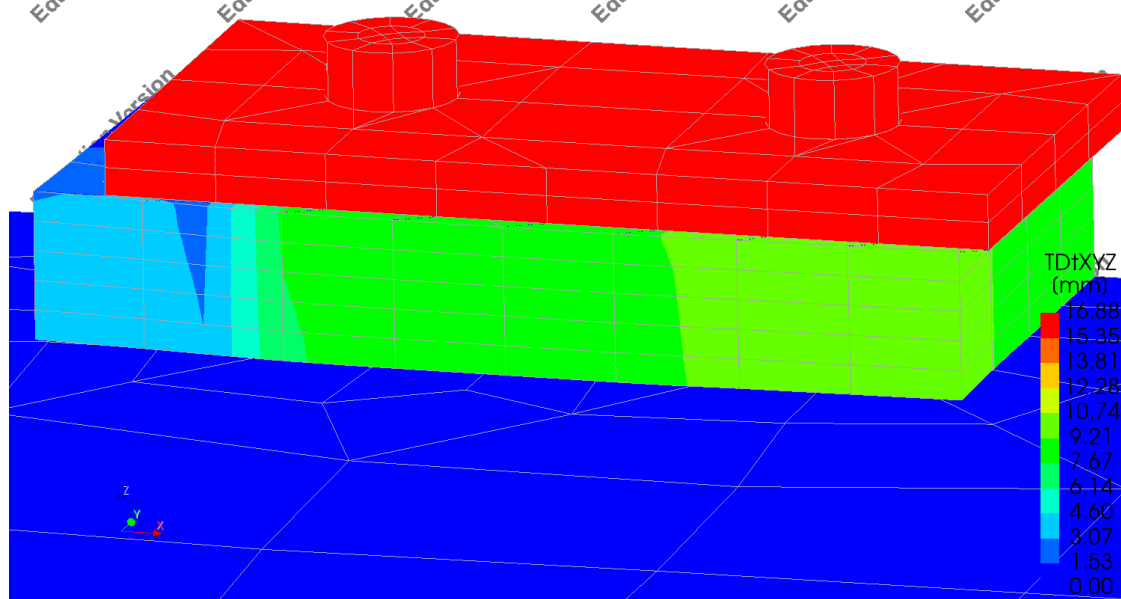
5.4.2. M20 4.6 K70 40 mm stelruimte

20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force
Displacements TDtX
min: -3.38mm max: 16.88mm



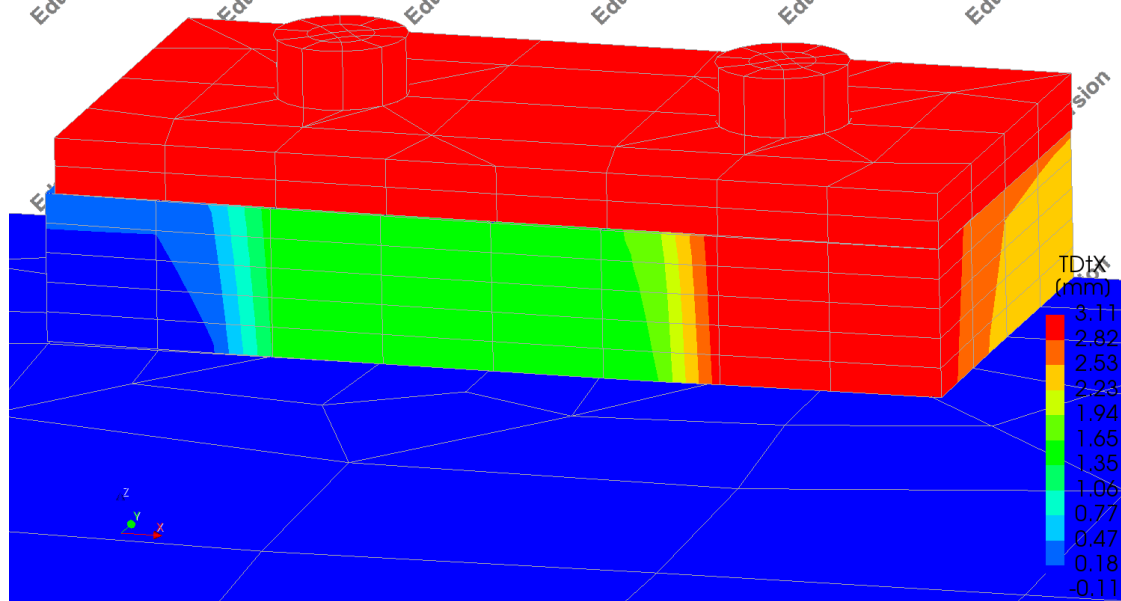
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force

20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force
Displacements TDtXYZ
min: 0.00mm max: 16.88mm



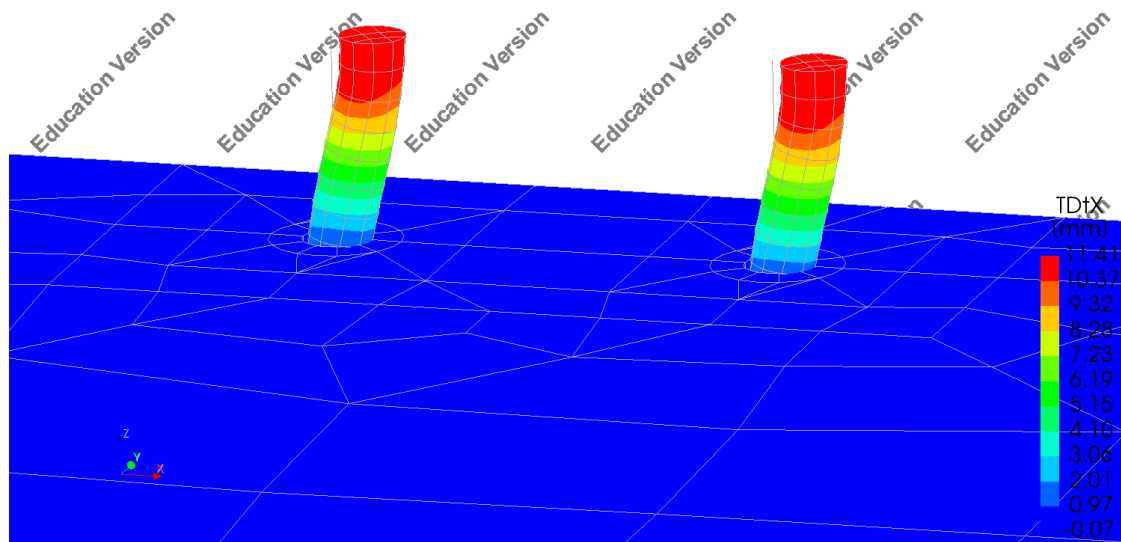
Displacements TDtXYZ at Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force

20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 17, Load-factor 0.80455, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: -0.11mm max: 3.11mm



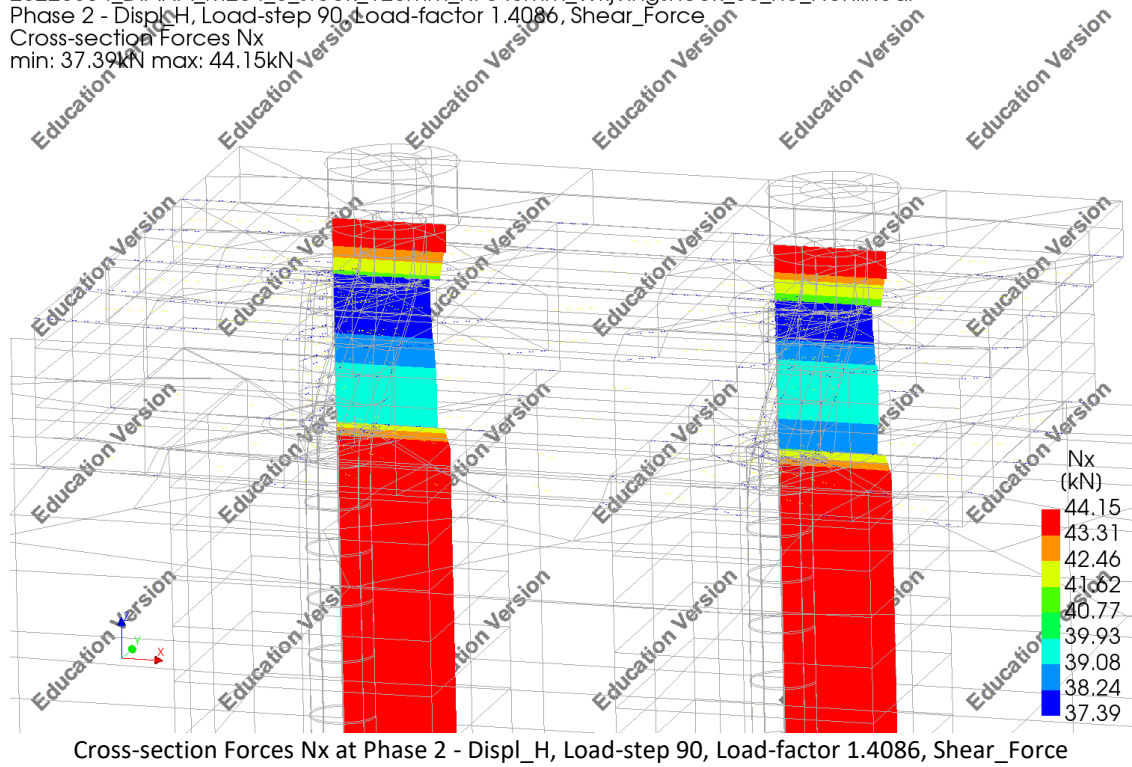
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 17, Load-factor 0.80455, Shear_Force

20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 61, Load-factor 1.2071, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: -0.07mm max: 11.41mm

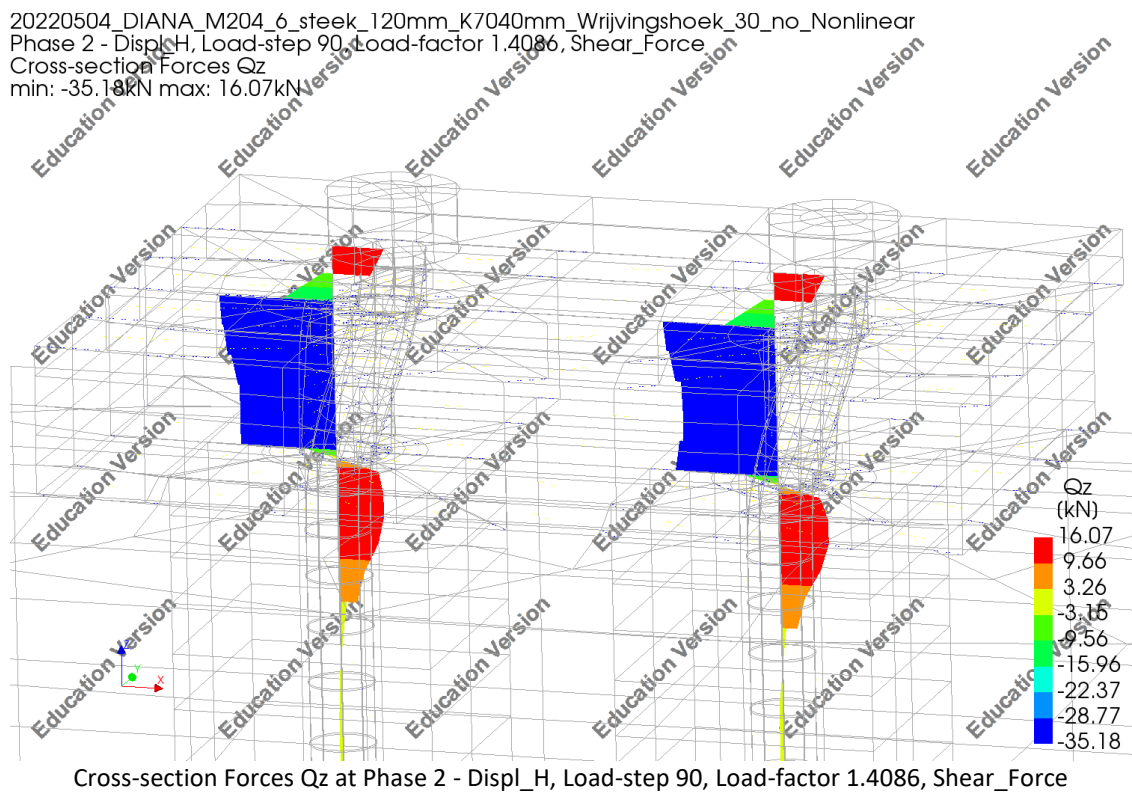


Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 61, Load-factor 1.2071, Shear_Force

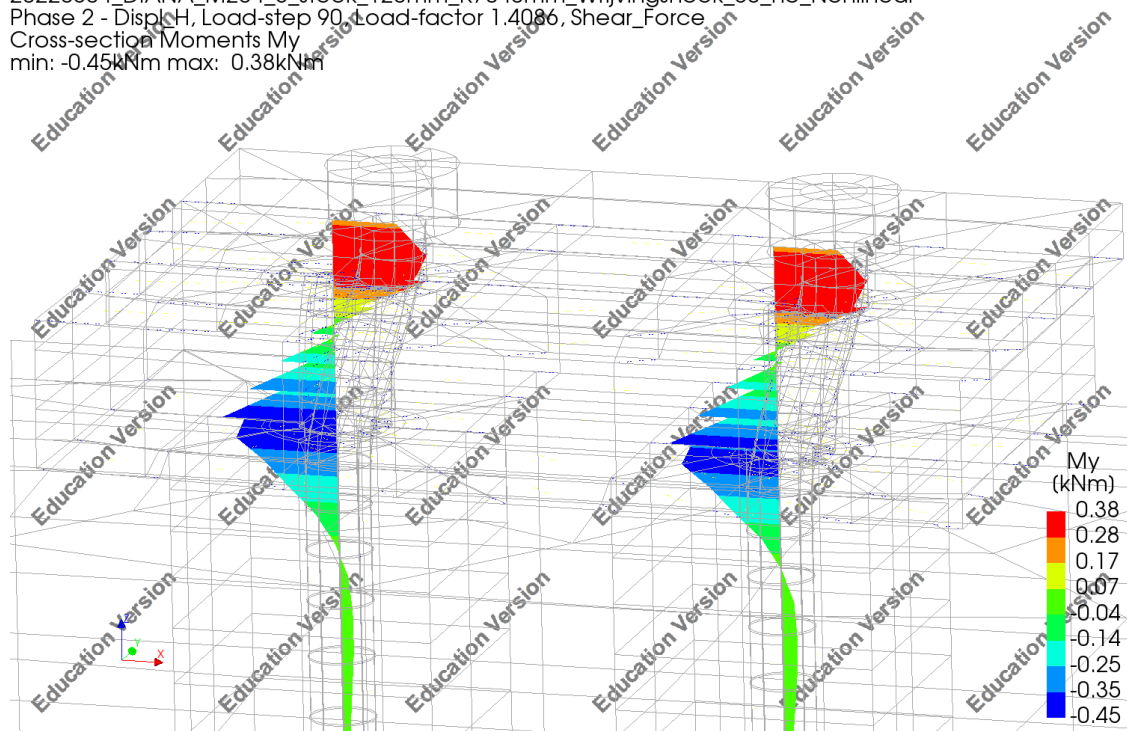
Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force
Cross-section Forces Nx
min: 37.39kN max: 44.15kN



20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
Phase 2 - Displ.H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force
Cross-section Forces Qz
min: -35.18kN max: 16.07kN

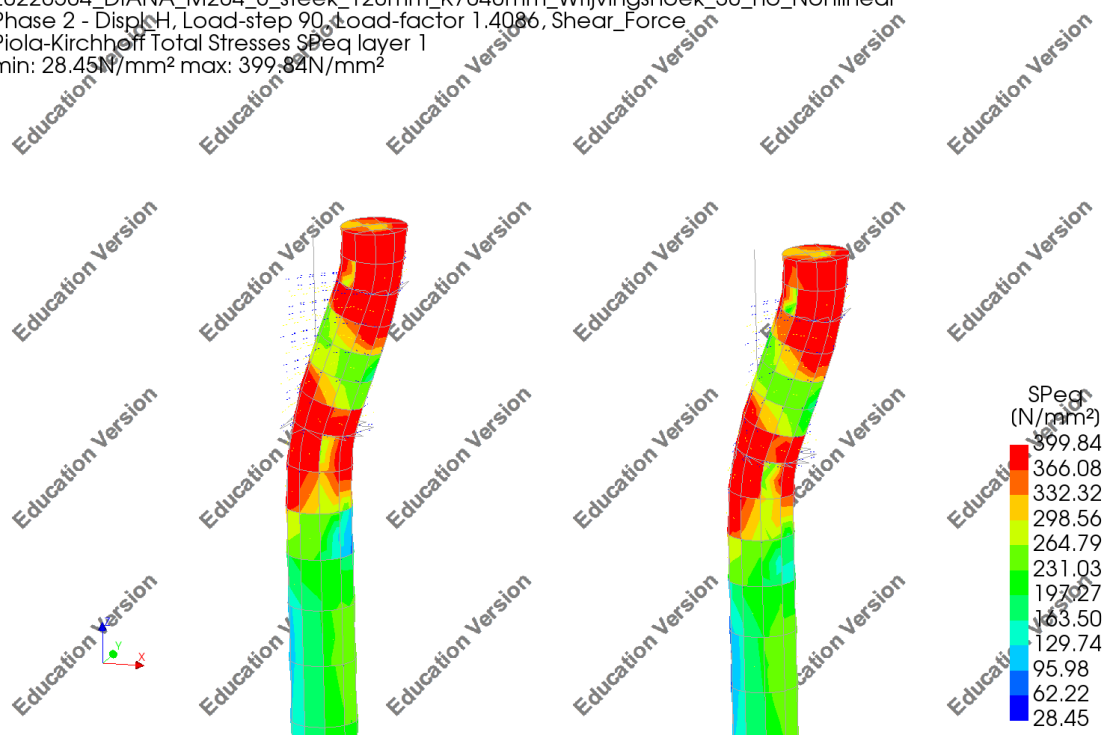


20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force
 Cross-section Moments My
 min: -0.45kNm max: 0.38kNm



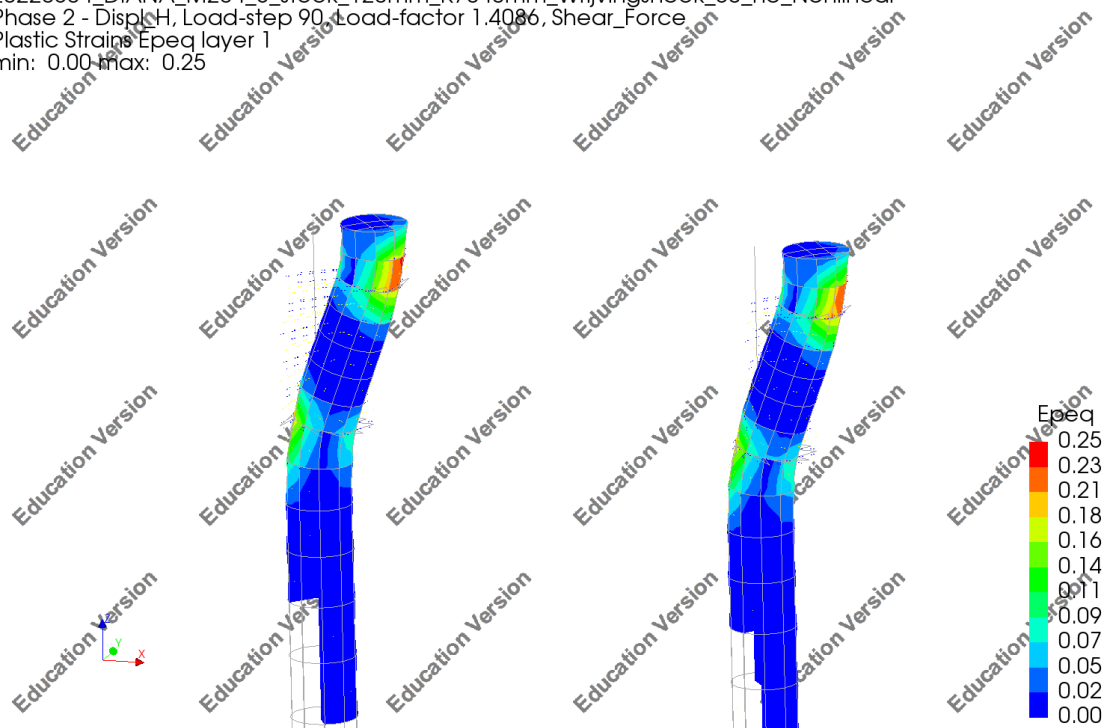
Cross-section Moments My at Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force

20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force
 Piola-Kirchhoff Total Stresses SPEq layer 1
 min: 28.45N/mm² max: 399.84N/mm²



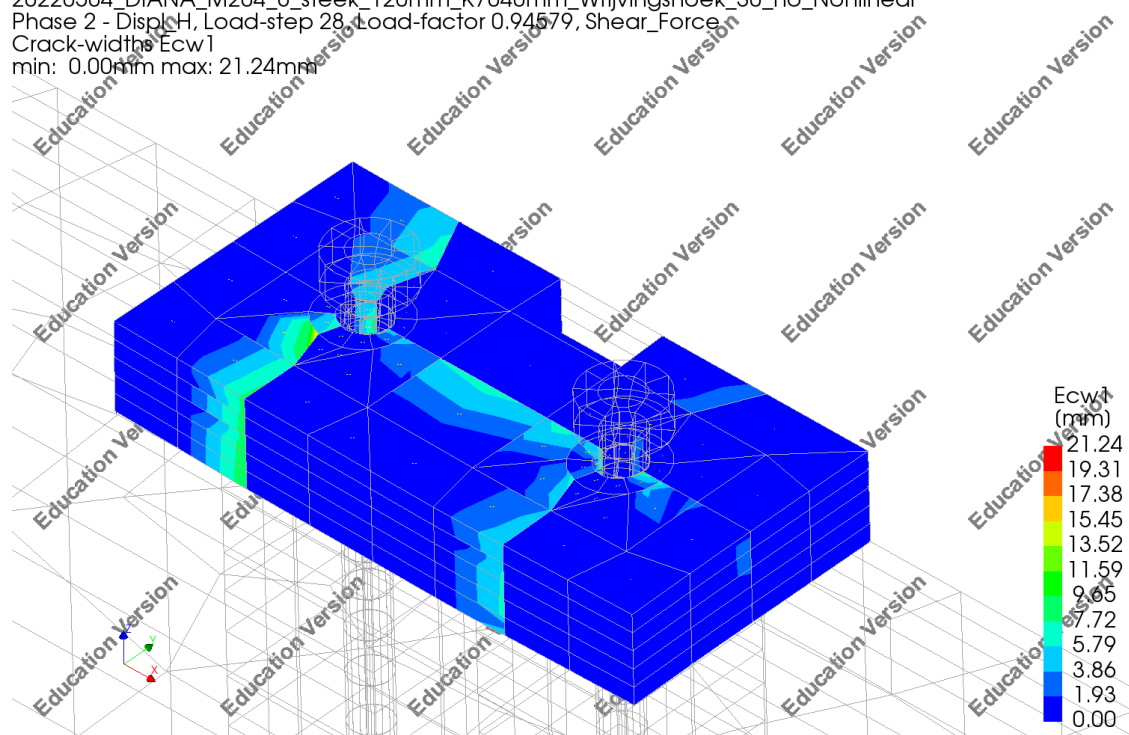
Piola-Kirchhoff Total Stresses SPEq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force

20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force
 Plastic Strains Epeq layer 1
 min: 0.00 max: 0.25

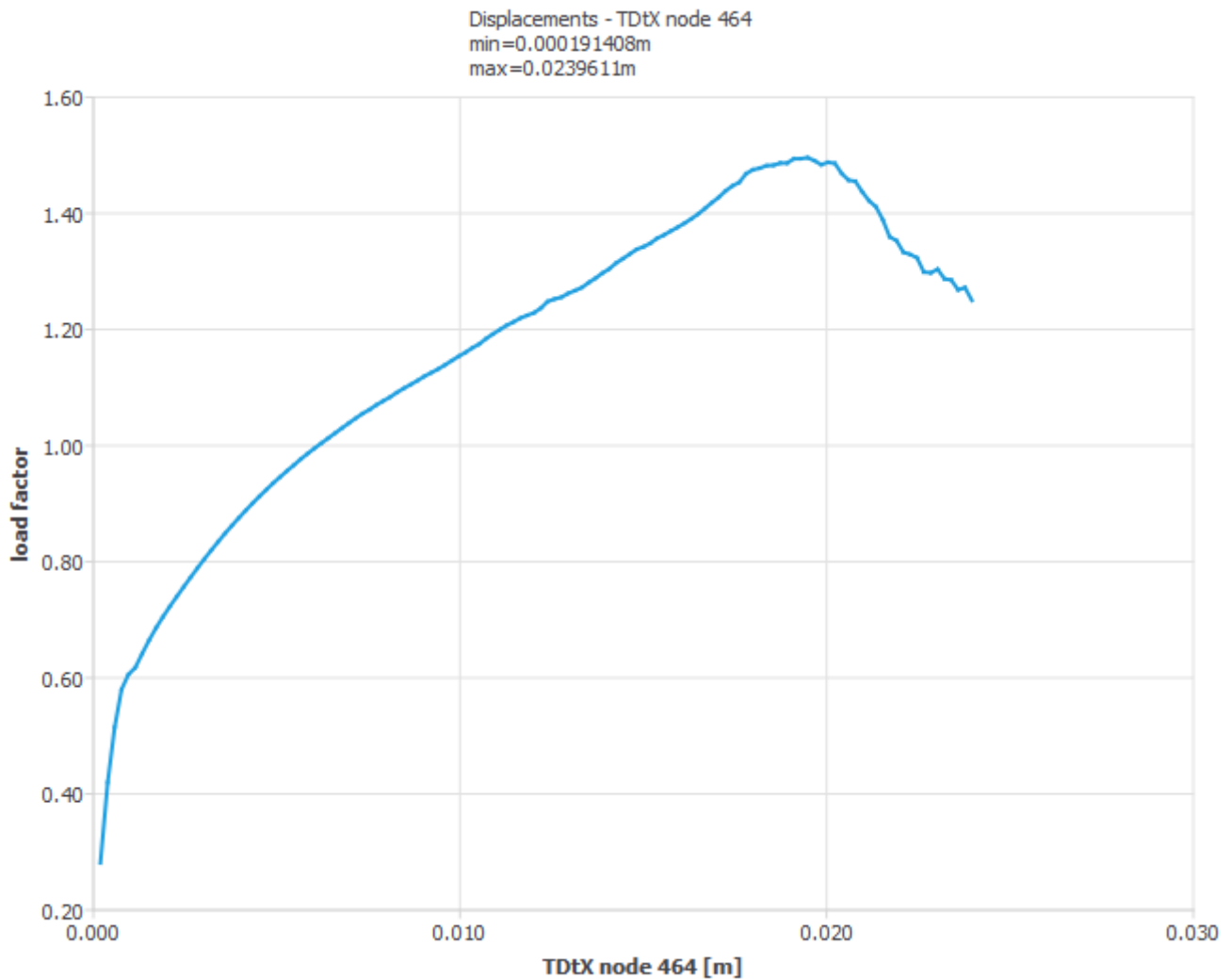


Plastic Strains Epeq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 90, Load-factor 1.4086, Shear_Force

20220504_DIANA_M204_6_steek_120mm_K7040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 28, Load-factor 0.94579, Shear_Force
 Crack-widths Ecw1
 min: 0.00mm max: 21.24mm



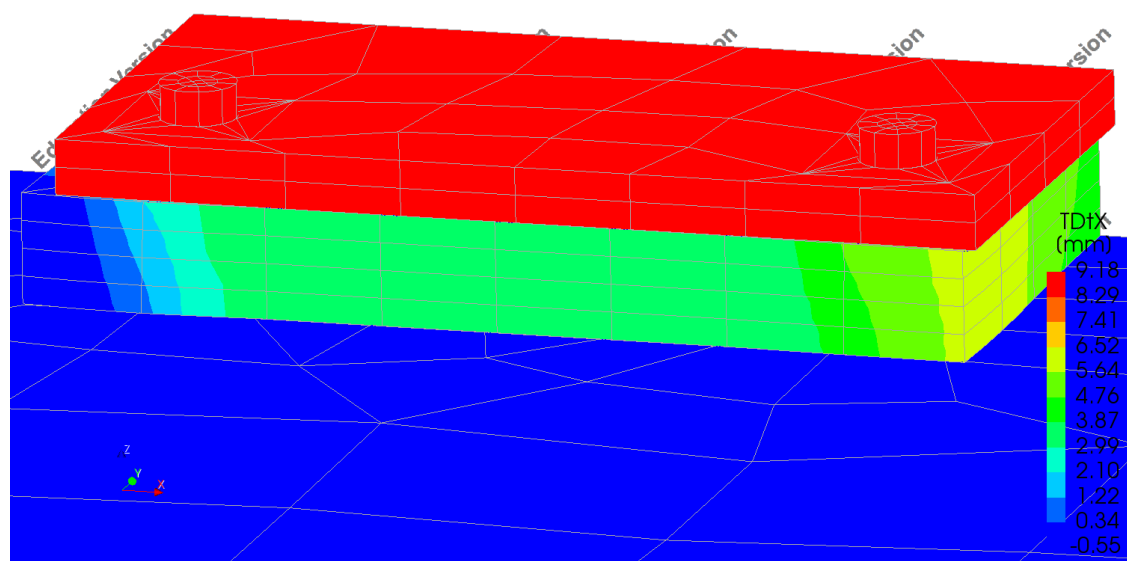
Crack-widths Ecw1 at Phase 2 - Displ_H, Load-step 28, Load-factor 0.94579, Shear_Force



Stress-strain diagram top of base-plate

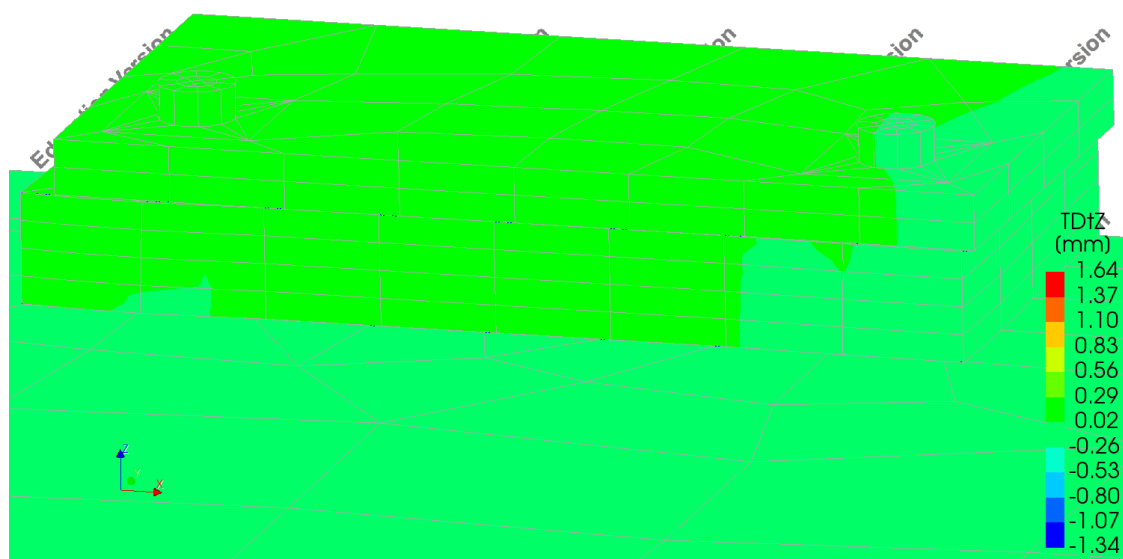
5.4.3. M12 8.8 K70 steel 190 30 mm stelruimte

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force
Displacements TDtX
min: -0.55mm max: 9.18mm



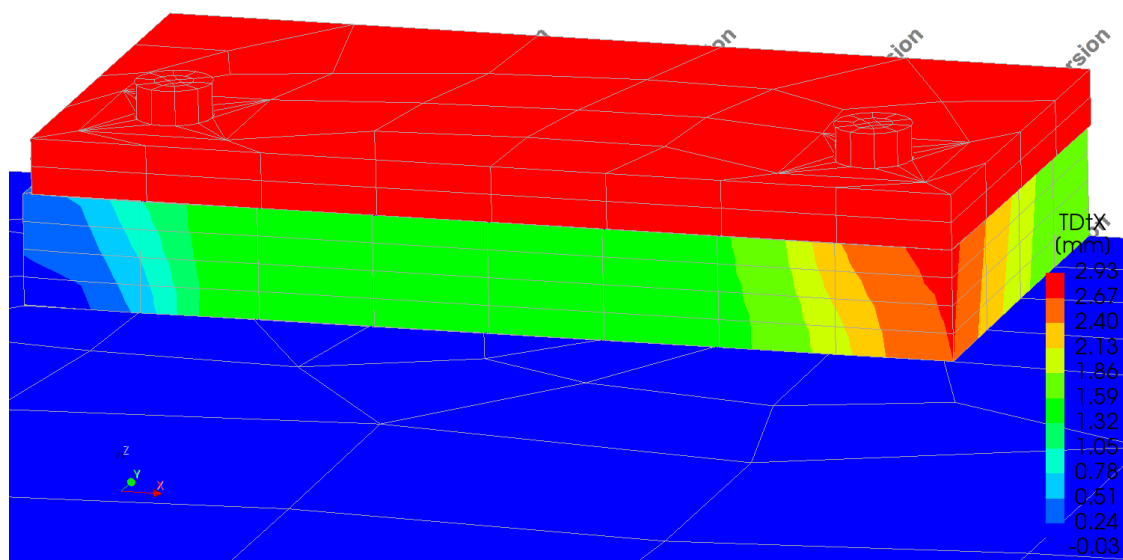
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force
 Displacements TDtZ
 min: -1.34mm max: 1.64mm



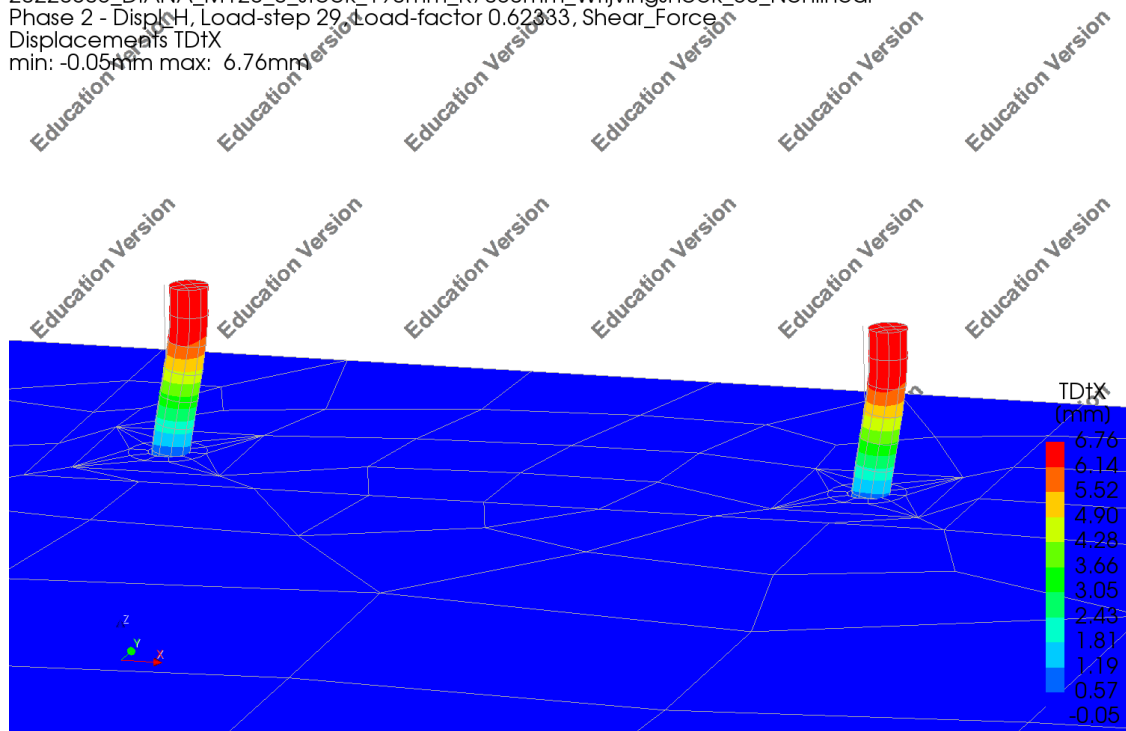
Displacements TDtZ at Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 13, Load-factor 0.48520, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: -0.03mm max: 2.93mm



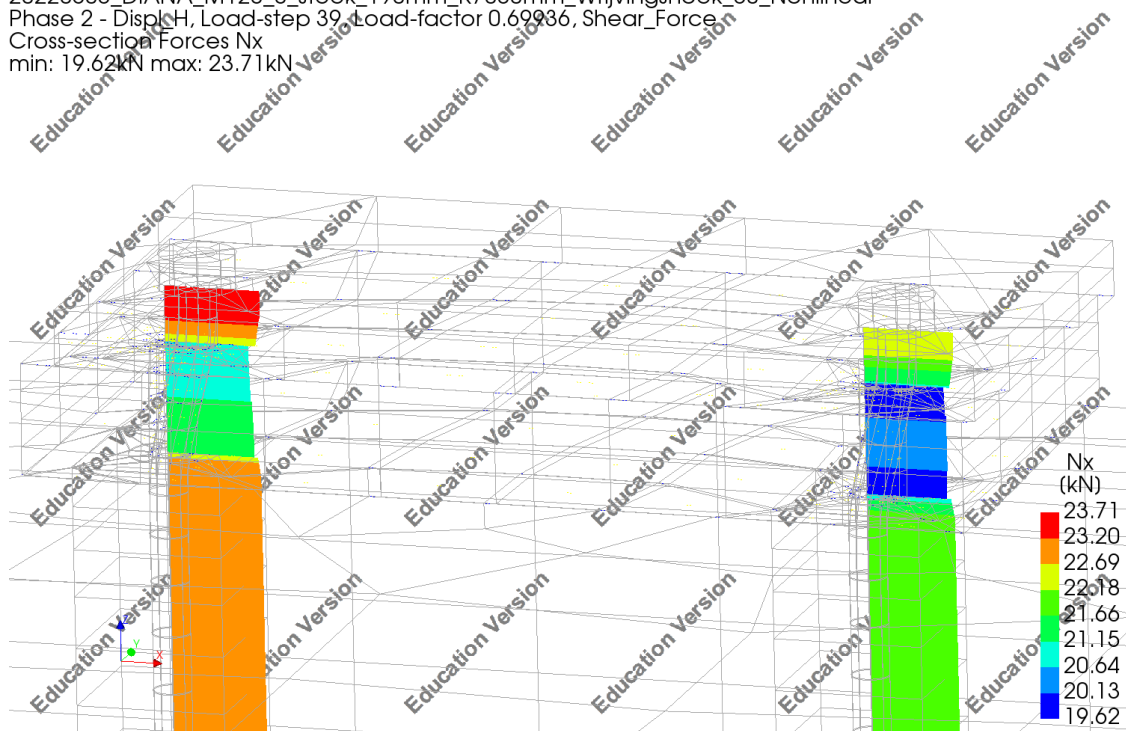
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 13, Load-factor 0.48520, Shear_Force

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 29, Load-factor 0.62333, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: -0.05mm max: 6.76mm



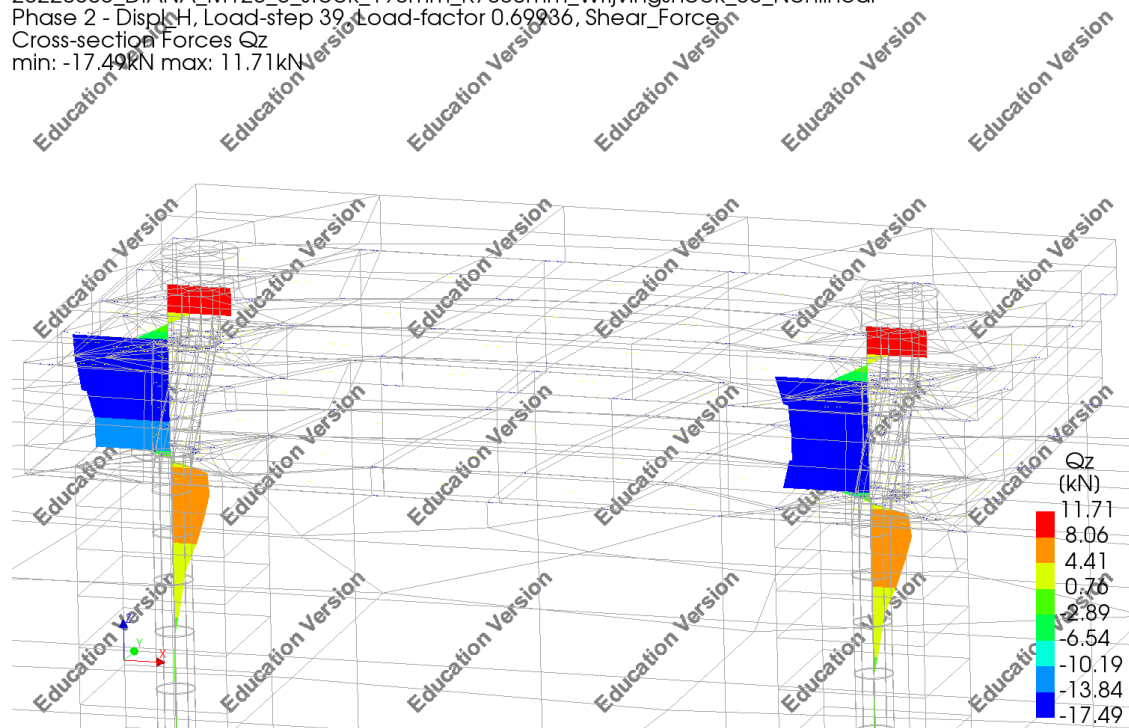
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 29, Load-factor 0.62333, Shear_Force

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force
 Cross-section Forces Nx
 min: 19.62kN max: 23.71kN



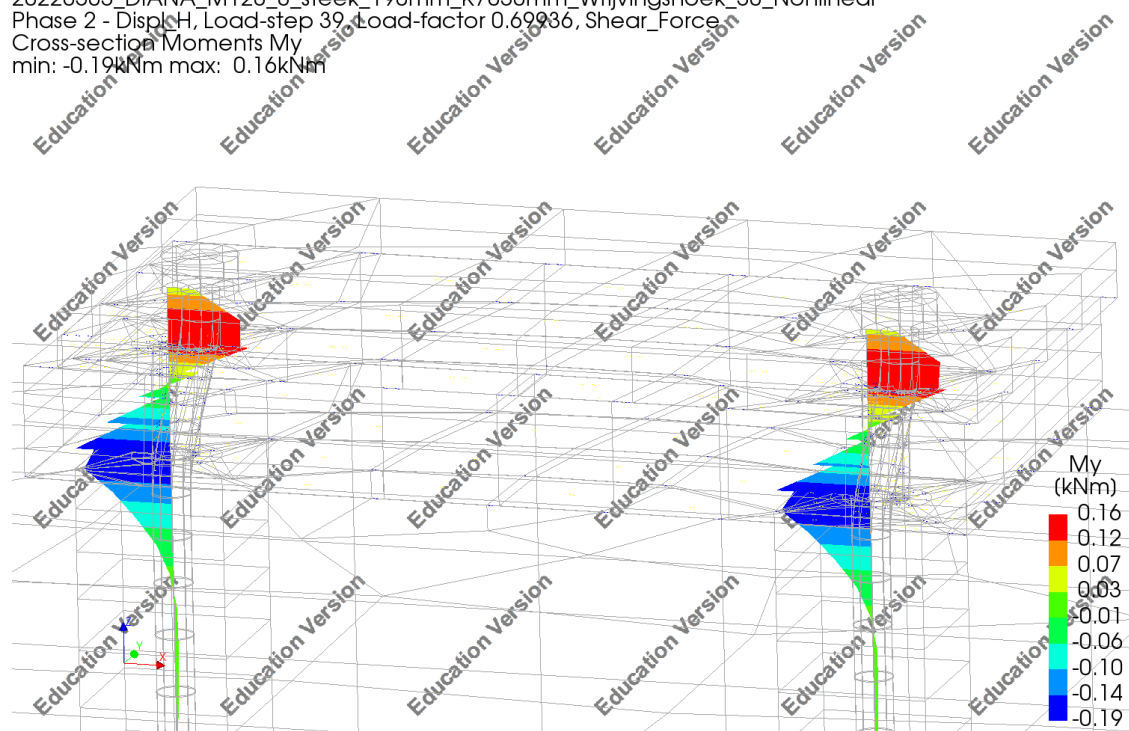
Cross-section Forces Nx at Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force
 Cross-section Forces Qz
 min: -17.49kN max: 11.71kN



Cross-section Forces Qz at Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force
 Cross-section Moments My
 min: -0.19kNm max: 0.16kNm



Cross-section Moments My at Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force

Phase 2 - Displ H, Load-step 39 Load-fac
Piola-Kirchhoff Total Stresses SPEq layer 1
min: 28.51N/mm² max: 799.98N/mm²



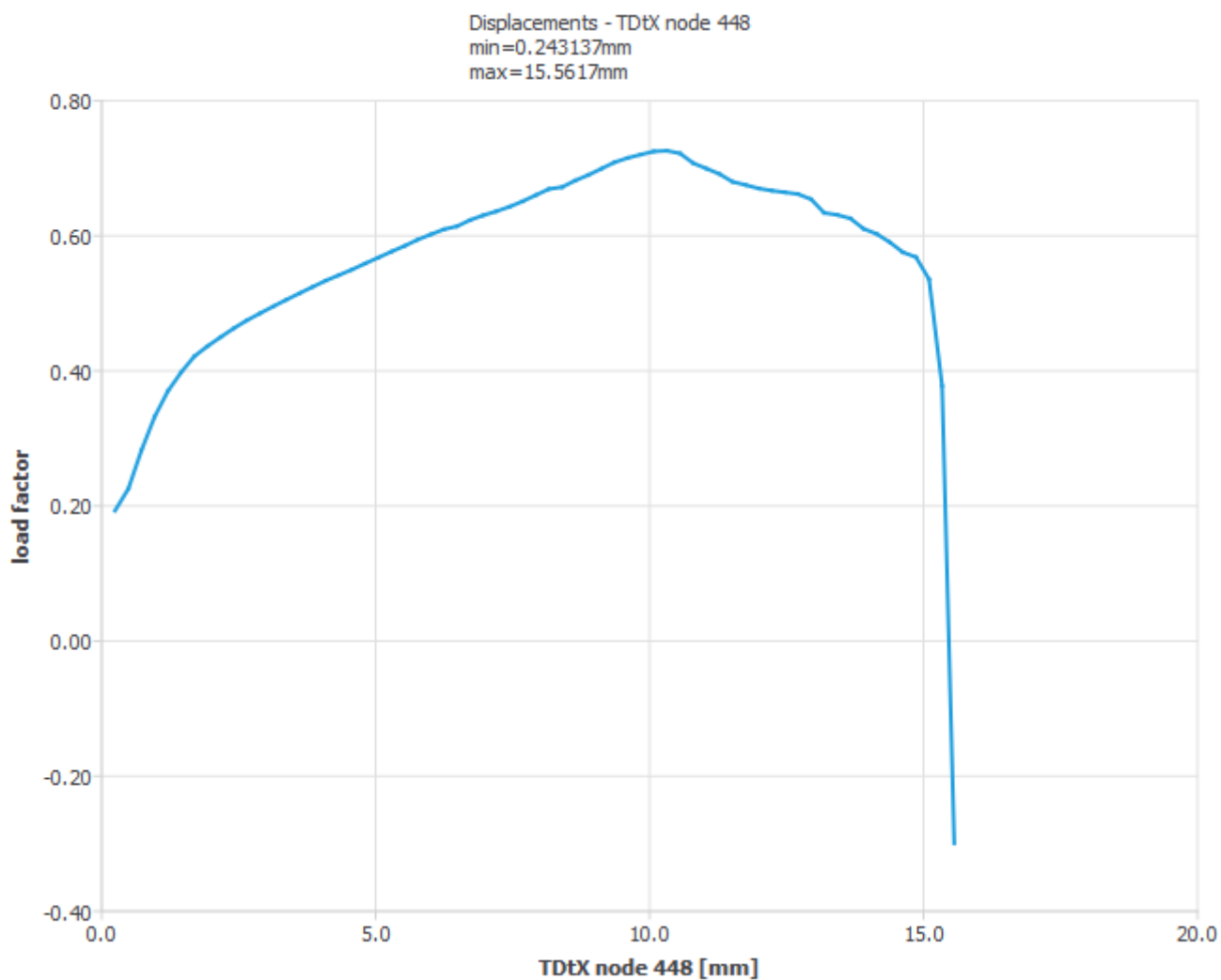
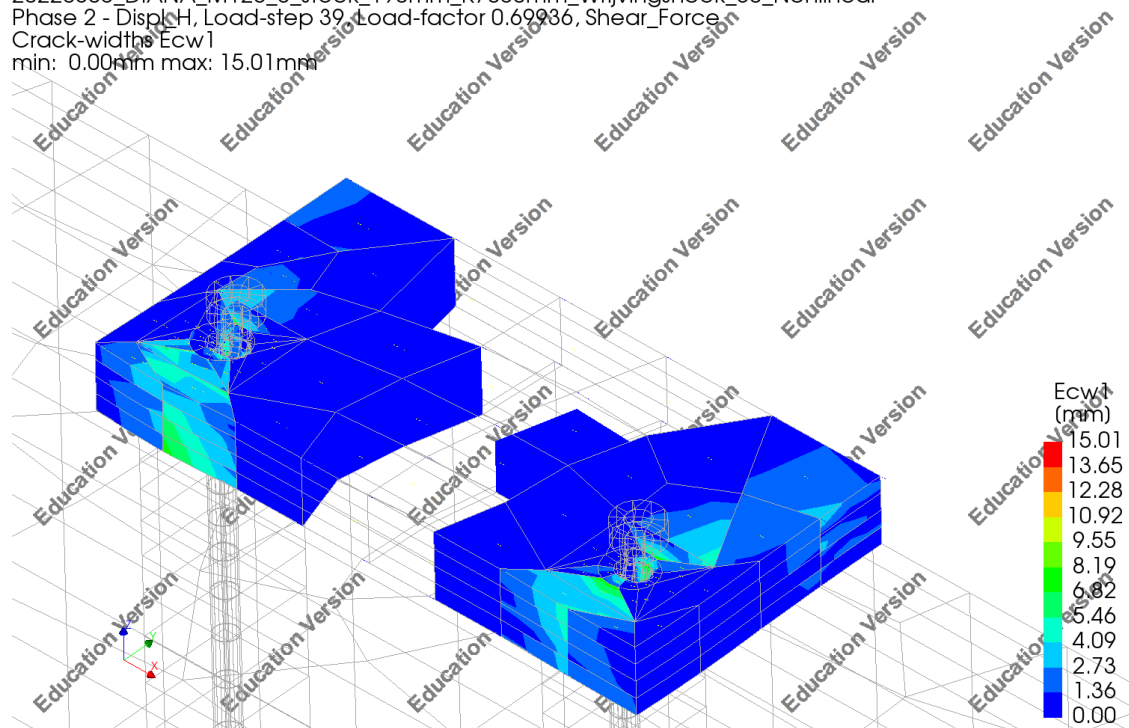
Piola-Kirchhoff Total Stresses SPEq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force

20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
Phase 2 - Displ.H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force
Plastic Strains Epeq
min: 0.00 max: 0.12



Plastic Strains Epeq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force

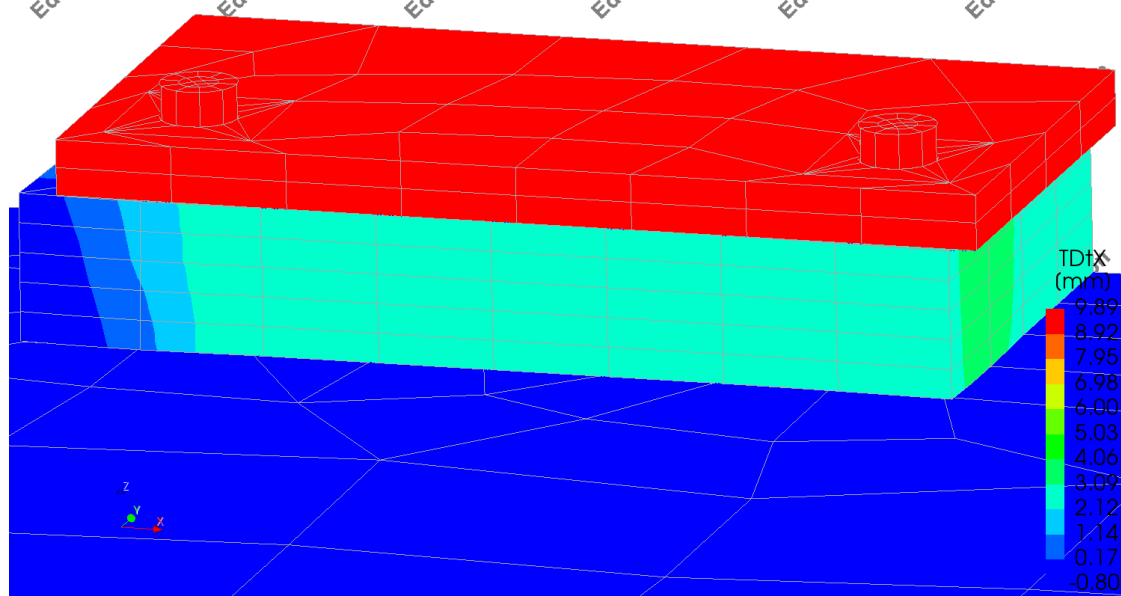
20220503_DIANA_M128_8_steek_190mm_K7030mm_Wrijvingshoek_30_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 39, Load-factor 0.69936, Shear_Force
 Crack-widths Ecw1
 min: 0.00mm max: 15.01mm



Stress-strain diagram top of base-plate

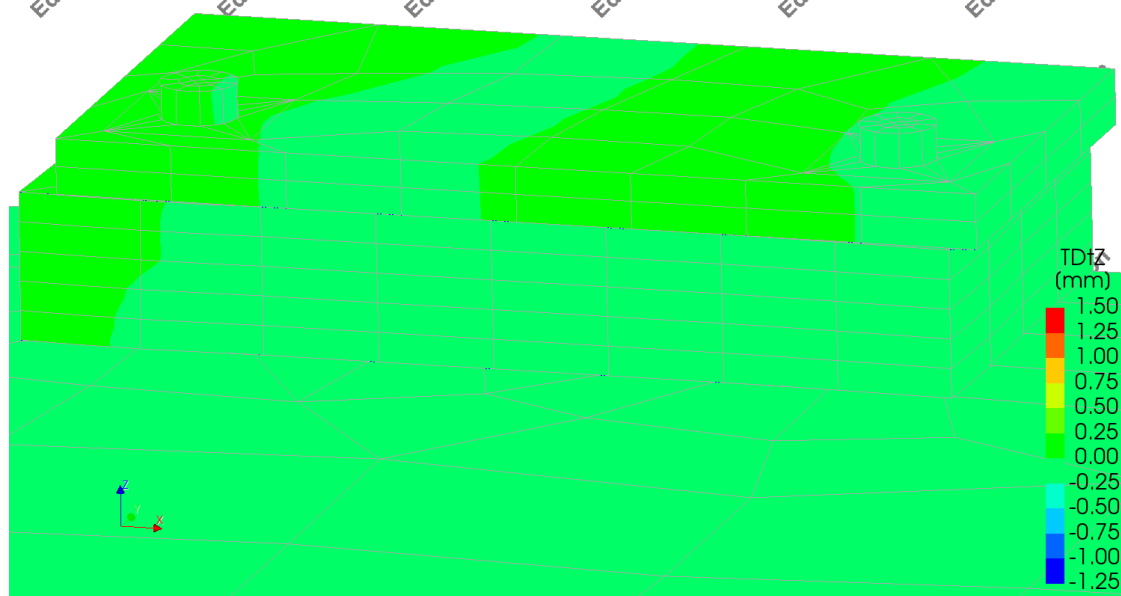
5.4.4. M12 8.8 K30 steek 190 40 mm stelruimte

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
Displacements TDtX
min: -0.80mm max: 9.89mm



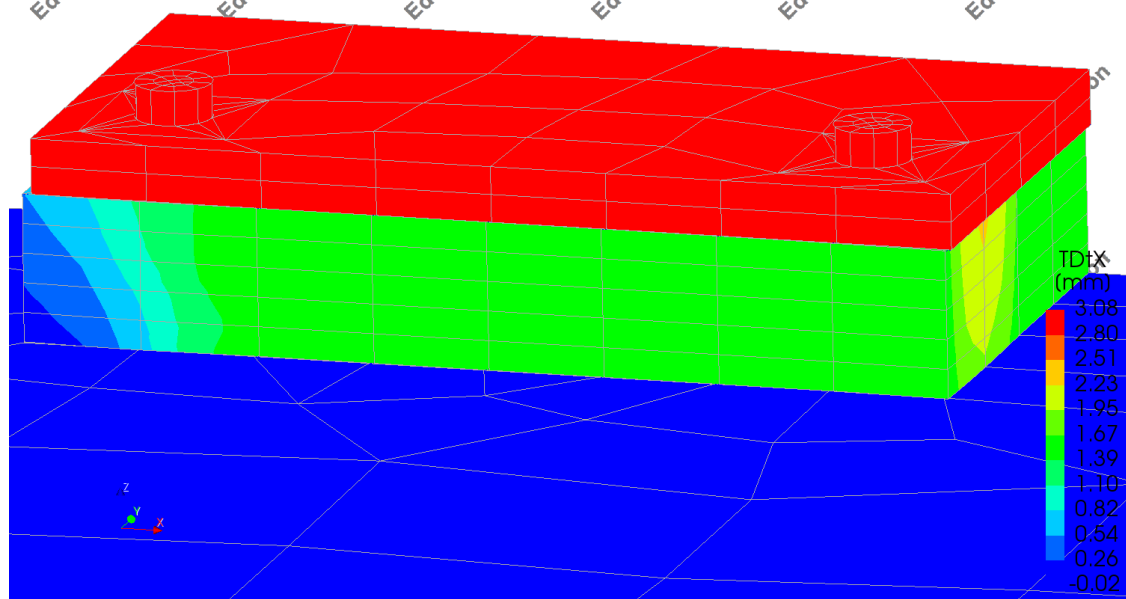
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
Displacements TDtZ
min: -1.25mm max: 1.50mm



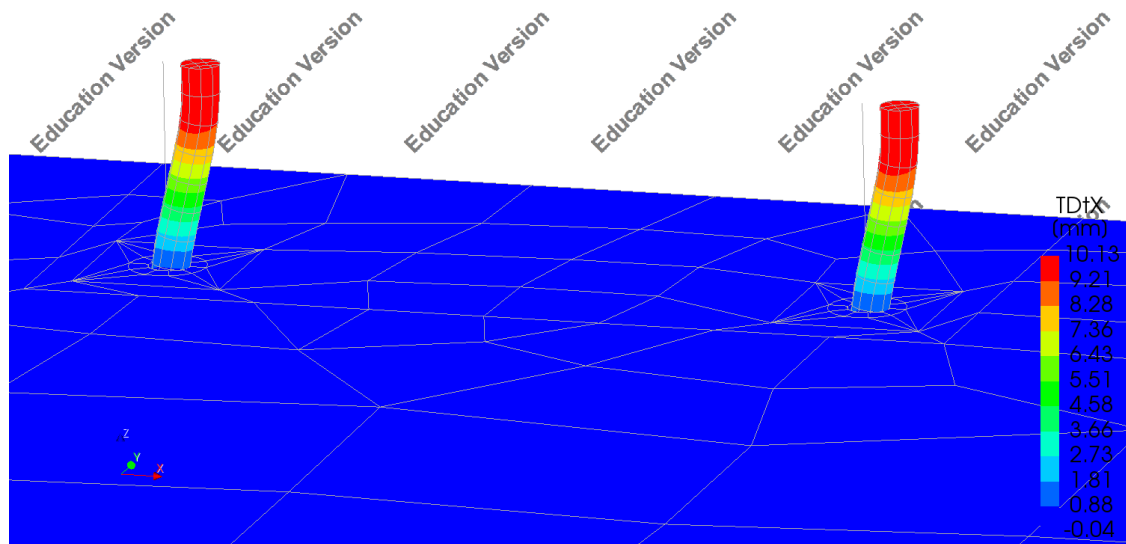
Displacements TDtZ at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 13, Load-factor 0.37662, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: -0.02mm max: 3.08mm



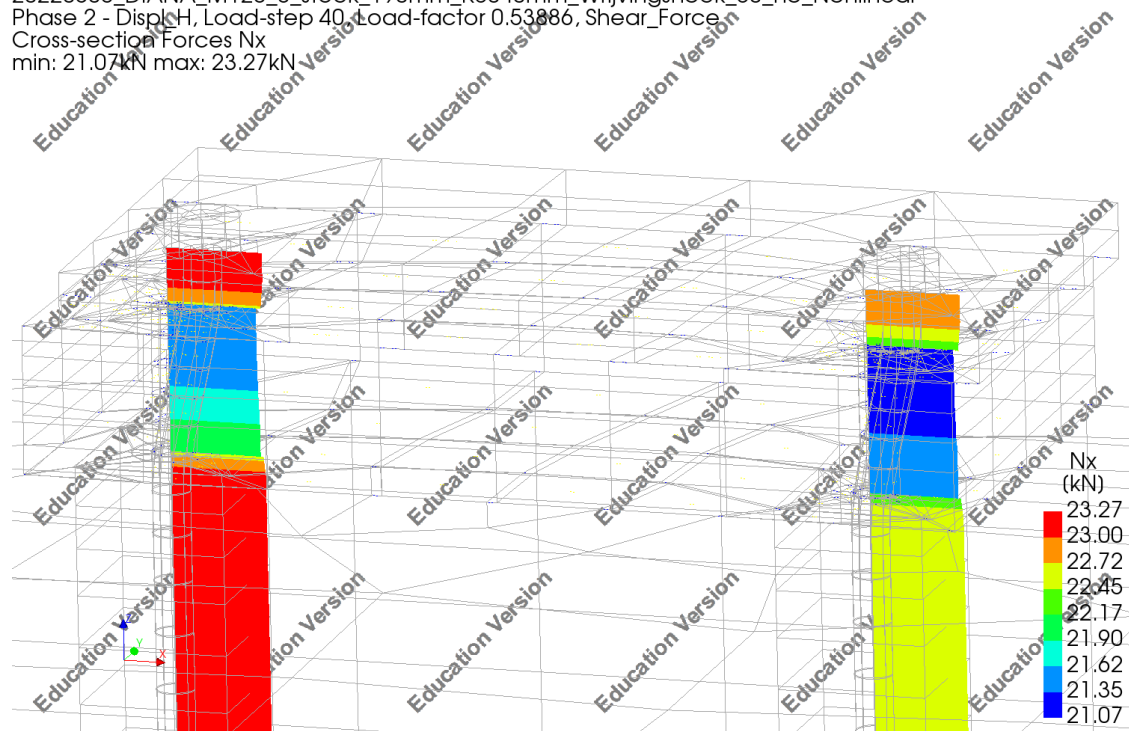
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 13, Load-factor 0.37662, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 41, Load-factor 0.54645, Shear_Force
 Displacements TDtX
 min: -0.04mm max: 10.13mm



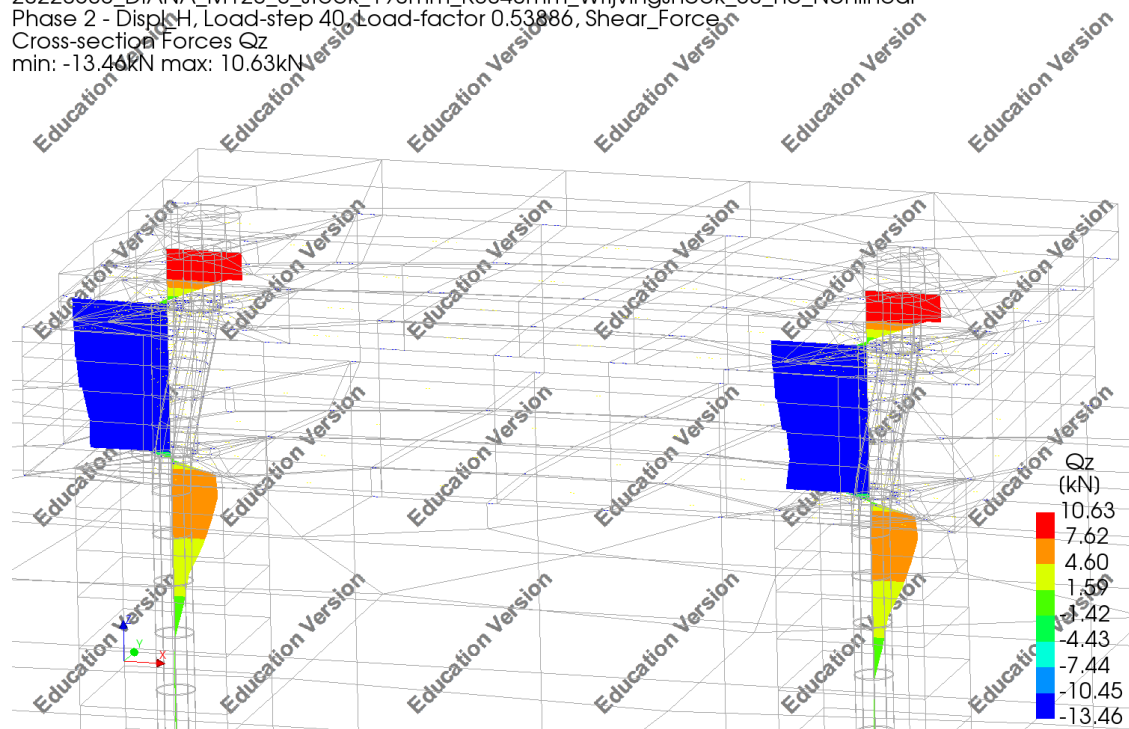
Displacements TDtX at Phase 2 - Displ_H, Load-step 41, Load-factor 0.54645, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
 Cross-section Forces Nx
 min: 21.07kN max: 23.27kN



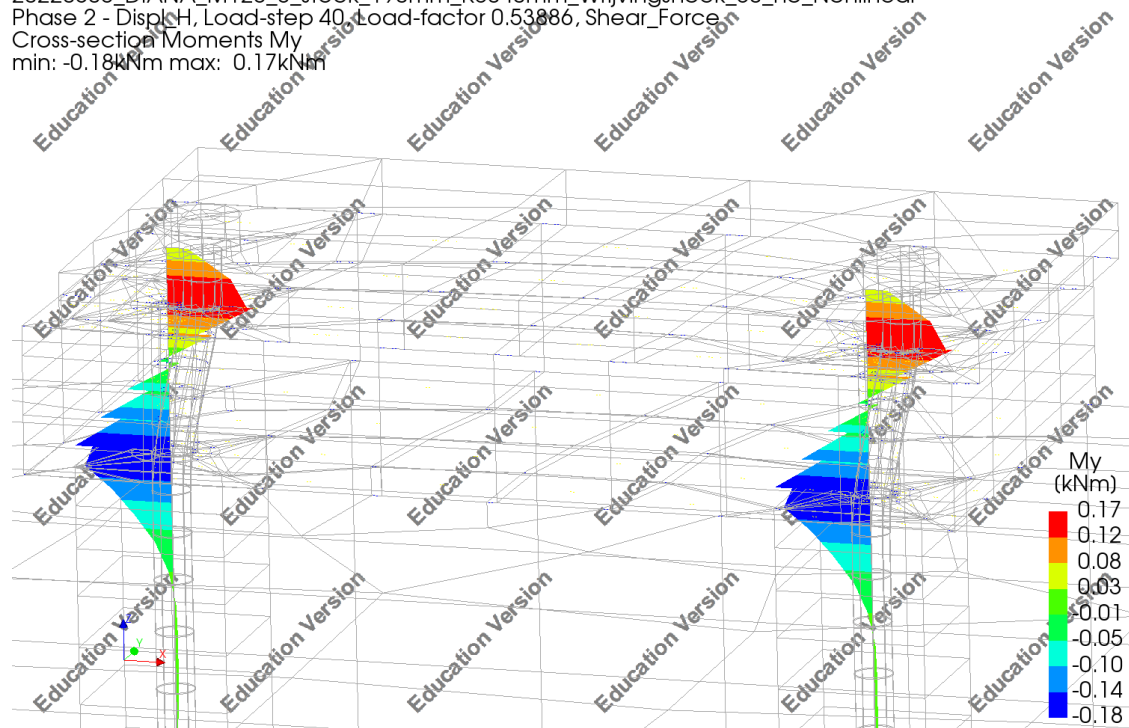
Cross-section Forces N_x at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
 Cross-section Forces Qz
 min: -13.46kN max: 10.63kN



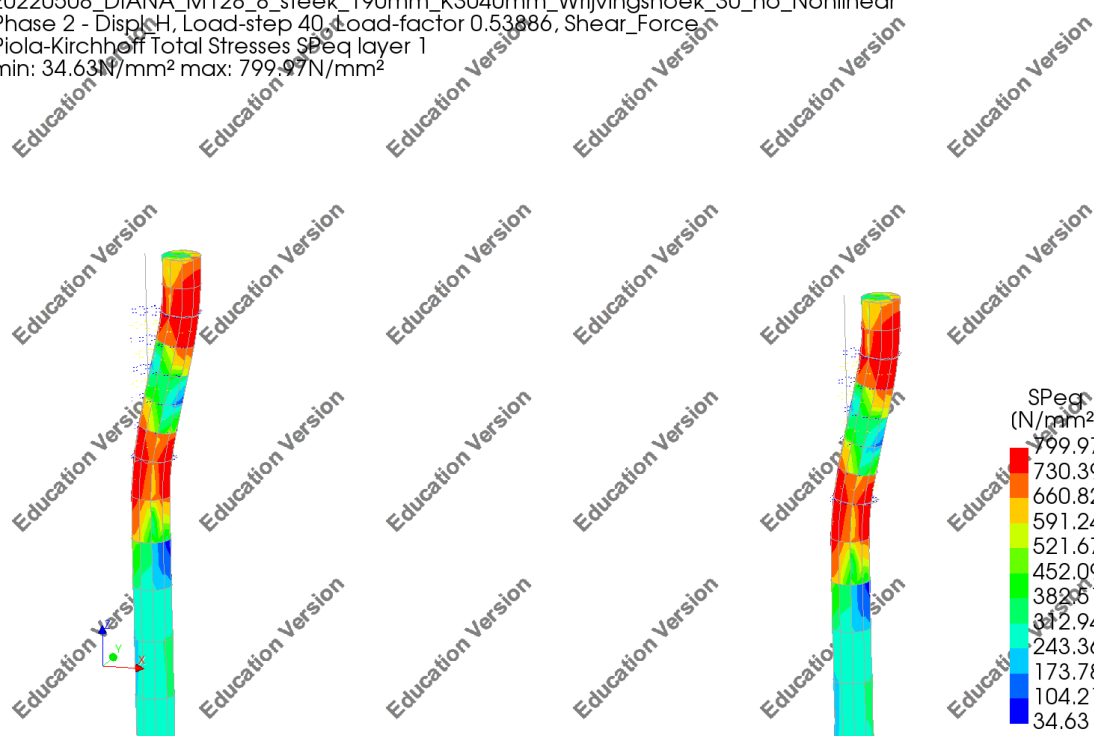
Cross-section Forces Q_z at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
 Cross-section Moments My
 min: -0.18kNm max: 0.17kNm



Cross-section Moments My at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
 Piola-Kirchhoff Total Stresses SPEq layer 1
 min: 34.63N/mm² max: 799.97N/mm²



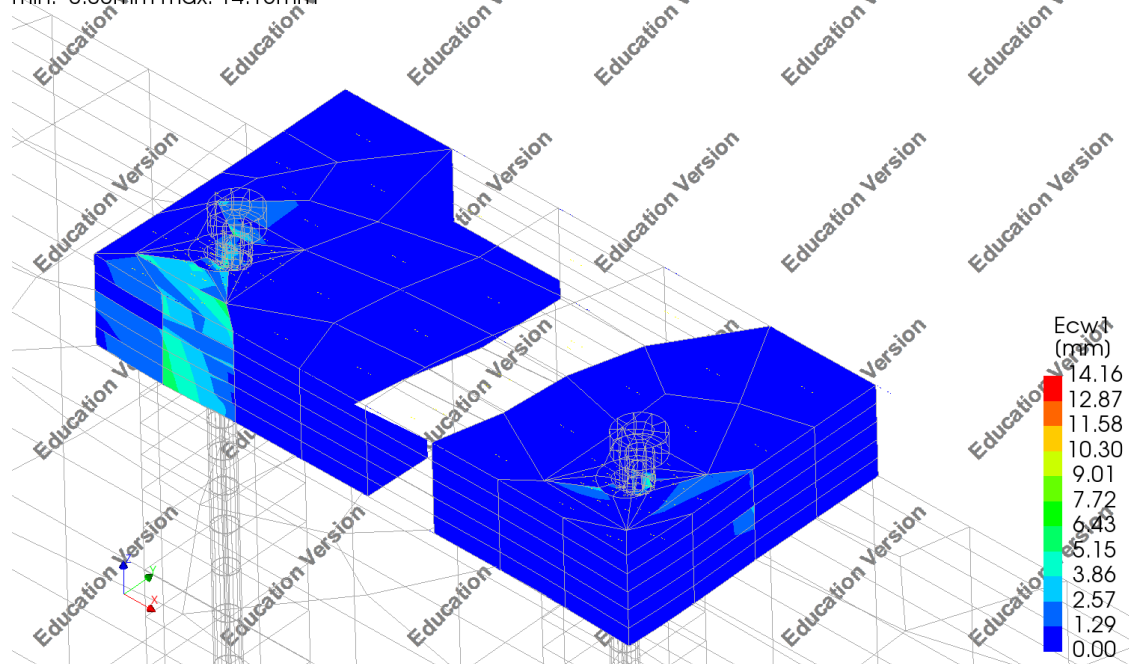
Piola-Kirchhoff Total Stresses SPEq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
 Plastic Strains Epeq
 min: 0.00 max: 0.12

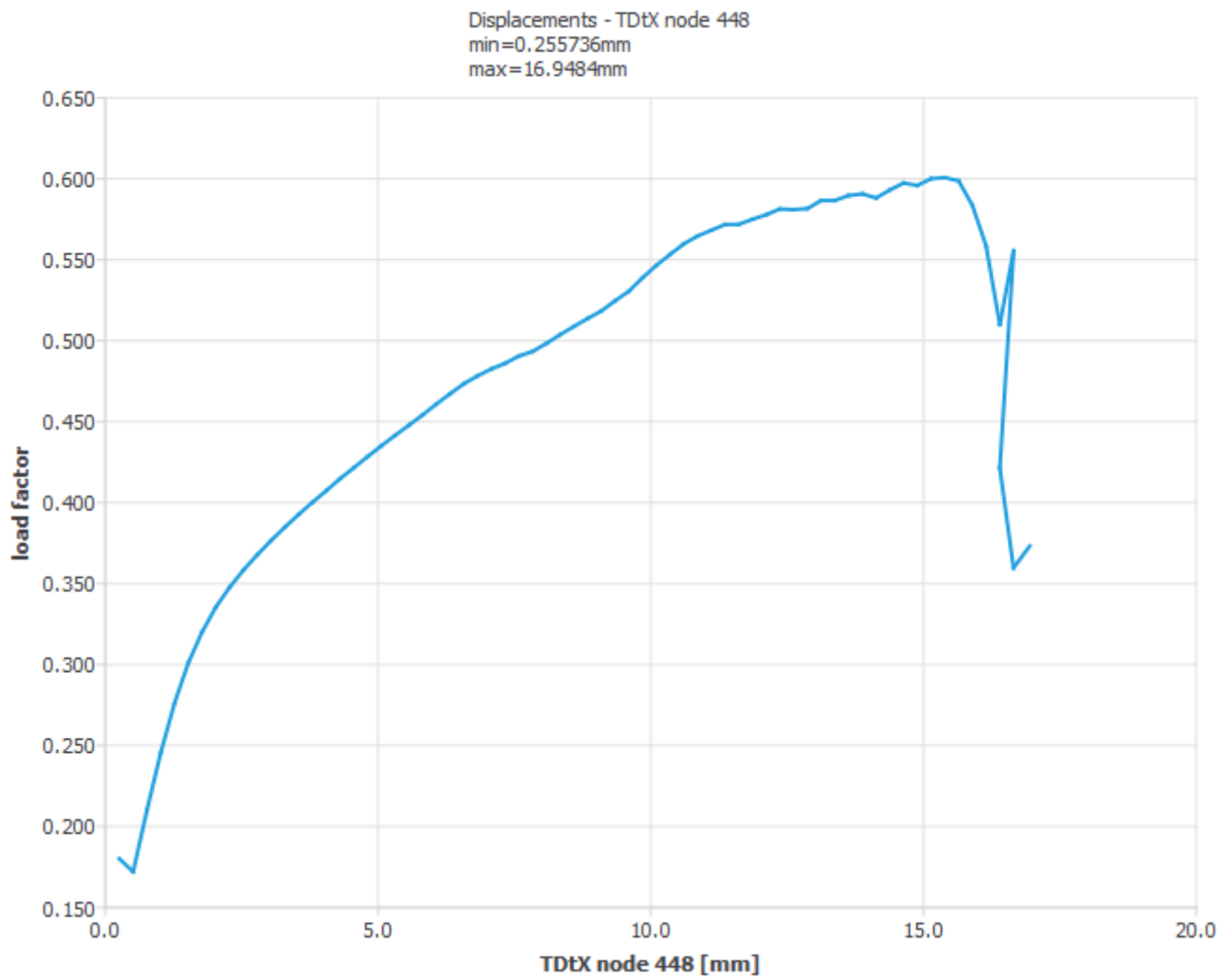


Plastic Strains Epeq at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force

20220508_DIANA_M128_8_steek_190mm_K3040mm_Wrijvingshoek_30_no_Nonlinear
 Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force
 Crack-widths Ecw1
 min: 0.00mm max: 14.16mm



Crack-widths Ecw1 at Phase 2 - Displ_H, Load-step 40, Load-factor 0.53886, Shear_Force



Stress-strain diagram top of base-plate