

REALISTISCHE ONTWERPSOFTWARE VOOR VOETPLAATVERANKERING



HILTI



INHOUD

1. Algemeen	1
1.1 Verdeling van krachten in een ankergroep	1
1.2 Capaciteit van bevestigingsmiddelen	2
1.3 Wat wordt bedoeld met ‘voldoende stijf’?	2
2. Theorie tegenover realiteit of oneindig stijf tegenover flexibel en eventuele consequenties	3
2.1 Voetplaatdiktes in de praktijk	3
2.2 Voetplaatdiktes in de praktijk	3
3. Een nieuwe benadering	4
3.1 Huidige procedure	4
3.2 Component-based Finite Element Method (CBFEM)	5
3.3 Is de voetplaat voldoende stijf? Zo kunt u het controleren	5
4. Volgens mijn berekening is mijn voetplaat allesbehalve voldoende stijf! Wat kan ik doen?	5
5. Samenvatting en vooruitzicht	6
Literatuur	7
Auteurs van dit artikel	8

Totaalontwerp van voetplaat en verankering uitgaande van realistisch gedrag. Nieuwe ontwerpsoftware gestoeld op realistische aannames.

Mario Fitz
Jörg Appl
Oliver Geibig
Niels Arendsen

Bij het toepassen van huidige ontwerpregels voor later aangebrachte ankers wordt aangenomen dat de voetplaat oneindig stijf is bij het berekenen van de lasten op de ankers met behulp van de elasticiteitsleer. Er bestaan echter geen duidelijke regels die aangeven wanneer een voetplaat voldoende stijf moet worden geacht. De benodigde validatie van deze aanname aan het eind van het ontwerpproces wordt daarom meestal overgeslagen, met zeer ingewikkelde handmatige berekeningen uitgevoerd of weer ingevoerd in andere software. In dit artikel wordt dit onderwerp uitgebreid behandeld. De huidige ontwerpregels voor later aangebrachte ankers in combinatie met voetplaten die flexibel zijn, d.w.z. niet oneindig stijf, worden nader onderzocht. We kijken ook naar de potentiële consequenties die de aanname van een veronderstelde oneindig stijve voetplaat met zich meebrengt. Tot slot laten we zien op welke manieren een gehele verbinding inclusief profiel, lasverbindingen, verstevigingsribben, voetplaat, ankers en beton kan worden gemodelleerd. Vervolgens kan de verbinding in zijn geheel geëvalueerd en volgens diverse parameters geoptimaliseerd worden. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de eindige-elementenmethode. Bij deze benadering is essentieel dat de gehanteerde aannames van de afzonderlijke componenten in de verbinding elkaar niet mogen tegenspreken. Voor dit doel was in sommige gevallen meer onderzoek en ontwikkeling nodig.

Trefwoorden:

voetplaatontwerp, ankerontwerp, ontwerp bevestigingsmiddelen

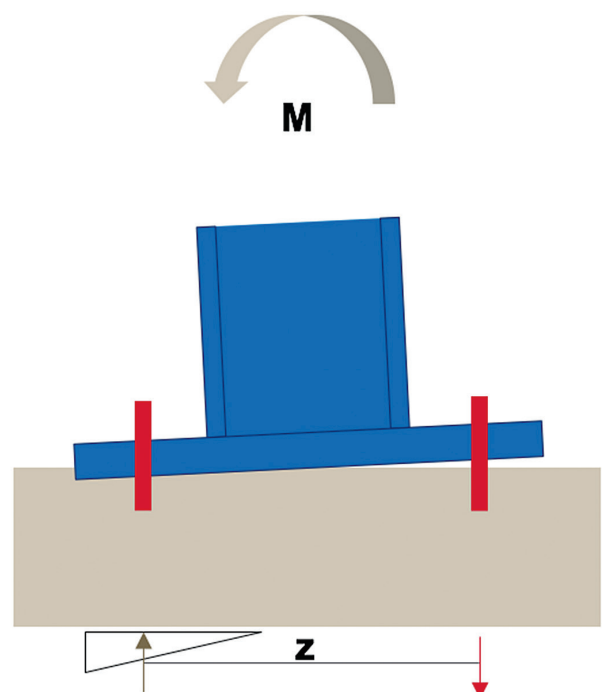
1. Algemeen

Het ontwerp van voetplaten en de bijbehorende ankers in het beton is belangrijk voor ingenieurs en ontwerpers. Moderne bevestigingsmiddelen maken het mogelijk om betonconstructies zwaar te belasten en deze verbindingen moeten met het oog op veiligheid met precisie worden ontworpen. Daarbij is de ingenieur tegenover de eigenaar van het gebouw verantwoordelijk voor een zo economisch mogelijke constructie, d.w.z. dat het bouwwerk zodanig wordt ontworpen dat er maximaal gebruik wordt gemaakt van de mogelijkheden van ankers [1]. Volgens Europese normen [2, 3] moeten de gebruiksgrenstoestand en de uiterste grenstoestand in acht worden genomen, rekening houdend met de optredende belastingen en capaciteiten ($E_d \leq C_d$ en $E_d \leq R_d$).

1.1 Verdeling van krachten in een ankergroep

De krachten die worden uitgeoefend op een anker kunnen worden bepaald volgens de elasticiteitsleer op basis van Eurocode 2 deel 4 [4] of volgens de plasticiteitsleer met behulp van FprCEN/TR 17081 [5]. Bij het berekenen van de trekkrachten op de bevestigingsmiddelen in een groep volgens de elasticiteitsleer is een belangrijke aanname dat de voetplaat vlak blijft onder invloed van interne krachten [4], meestal

aangegeven als een 'voldoende stijve voetplaat'. De verdeling van krachten in een groep bevestigingsmiddelen die blootstaat aan een buigend moment in een stijve voetplaat wordt schematisch weergegeven in afbeelding 1, waarbij wordt aangenomen dat de stijfheid van de ankers in een groep overal gelijk is en af te leiden is uit de E-module ($E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$) en de dwarsdoorsnede van het staal. Tevens wordt aangenomen dat aan het uiteinde, onder de voetplaat, een drie-hoekige betondrukspanningstoestand ontstaat (afbeelding 1). De stijfheid van het beton wordt aangegeven door de elasticiteitsmodule of eenvoudig gezegd met $E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2$ [4]. Ook wordt ervan uitgegaan dat het gedeelte van de verbinding dat onder drukkracht staat, de ankers niet als in trek of druk worden beschouwd, tenzij de ankers met afstandsmontage zijn geconfigureerd. Een eenvoudige variant van de niet-lineaire berekening is de plasticiteitsleer, die geschikt kan worden geacht voor verificatie van de uiterste grenstoestand voor verankering in beton als wordt voldaan [4] aan de voorwaarden van FprCEN/ TR 17081 [5]. Er wordt alleen voldaan aan de evenwichtsvoorwaarden, de compatibiliteitsvoorwaarden worden genegeerd. De plasticiteitsleer gaat ervan uit dat de bevestigingsmiddelen voldoende vervorming vertonen onder trek- en afschuivingslasten [5]. Deze voorwaarde is alleen van kracht voor staalbreuk, vervormbaar staal, kleine speling in openingen en bevestigingsmiddelen met een constante dwarsdoorsnede over de ankerdiepte (bijv. draadstangen) [5]. Als het bevestigingsmiddel geen constante dwarsdoorsnede heeft, moeten materiaalspecifieke en geometrische vereisten in aanmerking worden genomen. Aan deze vereisten wordt niet door alle verkrijgbare verankeringsystemen



Afbeelding 1. Verdeling van krachten in een ankergroep onderworpen aan een buigend moment.

voldaan. FprCEN/TR 17081 [5] houdt rekening met het gedrag van zowel stijve als flexibele voetplaten. Bij een stijve voetplaat wordt aangenomen dat betondrukkrachten vanaf de buitenste rand van de voetplaat driehoekig zijn verdeeld, waarbij de voetplaat dik genoeg moet zijn om te verzekeren dat deze niet vloeit bij de rand van het gelaste profiel. In het geval van een flexibele voetplaat kan eenvoudig worden aangenomen dat de resulterende betondrukkracht zich ofwel voordoet aan de rand van het opgelaste profiel of dat de ligging ervan overeenkomt met de ligging van de drukkracht in het opgelaste profiel. [6]. Deze aannames blijven aan de veilige kant, met name voor betrekkelijk kleine bevestigingen in verhouding tot de afmetingen van de voetplaat. Over het algemeen blijft [5] beperkt tot toepassing onder trekkracht en/of afschuifbelasting met eenassige buiging.

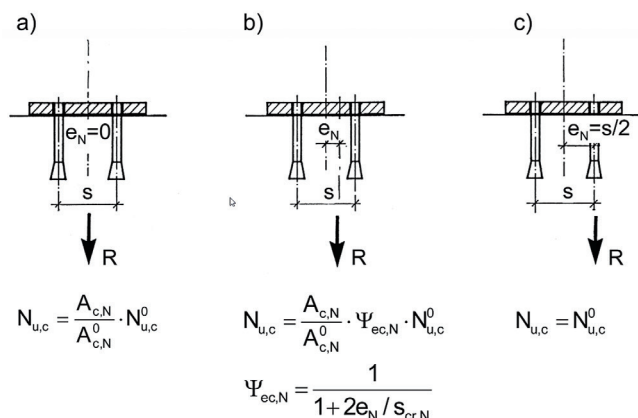
1.2 Capaciteit van bevestigingsmiddelen

De berekening of verificatie van de capaciteit is alleen mogelijk als in het ontwerp rekening wordt gehouden met zowel de lastrichting (trekbelasting, afschuifbelasting, gecombineerde treken afschuifbelasting) en volgens de bezwijkmechanismen [1]. In 1995 heeft het CEB (Comité Euro-International du Beton) een ontwerpmethode [7] gepubliceerd die aan deze vereisten voldoet. Deze methode staat bekend als de CC-methode (Concrete Capacity) en maakt deel uit van de nu geldige ETAG 001 [8] en EOTA TR029 [9] en is ook opgenomen in Eurocode 2 als deel 4 [4]. De oude CUR25 was hier ook op gebaseerd. In de CC-methode wordt aangenomen dat de kracht die ankers uitoefenen op het betonnen oppervlak, berekend worden uit krachten en momenten op de voetplaat, uitgaande van lineair materiaalgedrag van beton en anker (elasticiteitsleer); ook wordt aangenomen dat de voetplaat vlak blijft [1, 4]. Dat met betrekking tot rekenwaarde een voldoende stijve voetplaat is vereist, is expliciet opgenomen in het bereik en impliciet vanuit de factor die in de CC-methode wordt gebruikt om rekening te houden met de invloed van excentriciteit van de resulterende trekbelasting op de bezwijkbelasting van groepen ($\psi_{ec,N}$). Volgens de CC-methode wordt de bezwijkbelasting van de groep berekend volgens [10] voor ongelijkmatige belasting, bijv. buigende momenten die inwerken op de voetplaat of excentrische trekbelasting. Als de resulterende trekkracht R rechtstreeks wordt toegepast op één lijn met het anker en de projectie van de voetplaat wordt genegeerd, komt de bezwijkbelasting van de groep overeen met de waarde van één enkel anker, ongeacht de afstand van elkaar (afbeelding 2c). Als de resulterende trekkracht wordt uitgeoefend op een andere positie binnen de groep (afbeelding 2b) mag worden aangenomen dat de bezwijkbelasting van de groep zich hyperbolische voortzet tussen de extreme situaties a en c. In de CC-methode wordt dit meegenomen via de factor $\psi_{ec,N}$

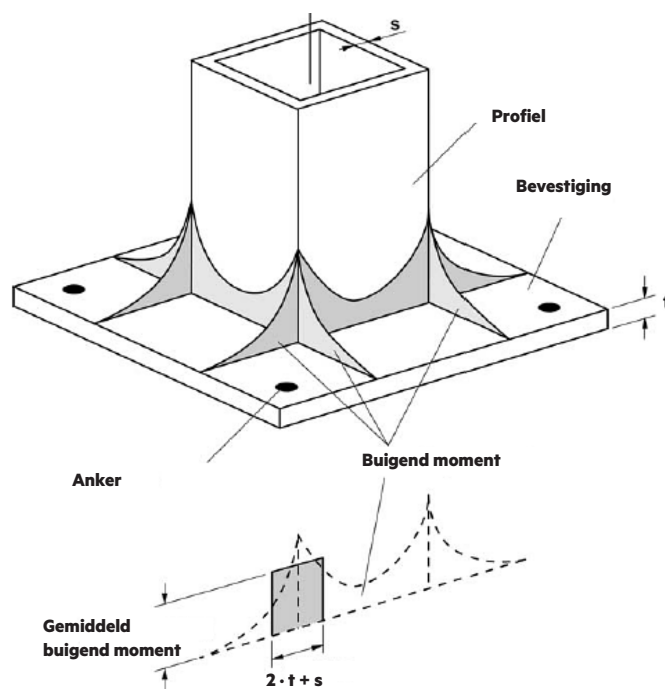
In [1] wordt expliciet genoemd dat de vergelijking voor factor $\psi_{ec,N}$ niet geldt als een flexibele voetplaat wordt gebruikt of als de verdeling van de op de voetplaat inwerkende krachten op de afzonderlijke bevestigingsmiddelen niet is berekend volgens de elasticiteitsleer. Als de capaciteitskant wordt berekend volgens de plasticiteitsleer [5] zijn meerdere beperkingen van toepassing. Naast voorwaarden voor de ductiliteit van bevestigingsmiddelen, verzekert deze rekenmethode dat staalbreuk optreedt voordat de karakteristieke waarde voor uittrekken/doortrekken, betonkegelbreuk, splijten of betonrandbreuk wordt bereikt. In de praktijk kan dit worden gerealiseerd door een verankering te kiezen die lang genoeg is. Dat is de reden dat er meestal grotere afstanden nodig zijn om betonkegelbreuk te voorkomen. Soms is het niet mogelijk een bevredigende oplossing te vinden voor een bevestiging in smalle betondelen.

1.3 Wat wordt bedoeld met 'voldoende stijf'?

Als de krachten die op de bevestigingsmiddelen worden uitgeoefend, berekend worden volgens de elasticiteitsleer en als de bevestigings-



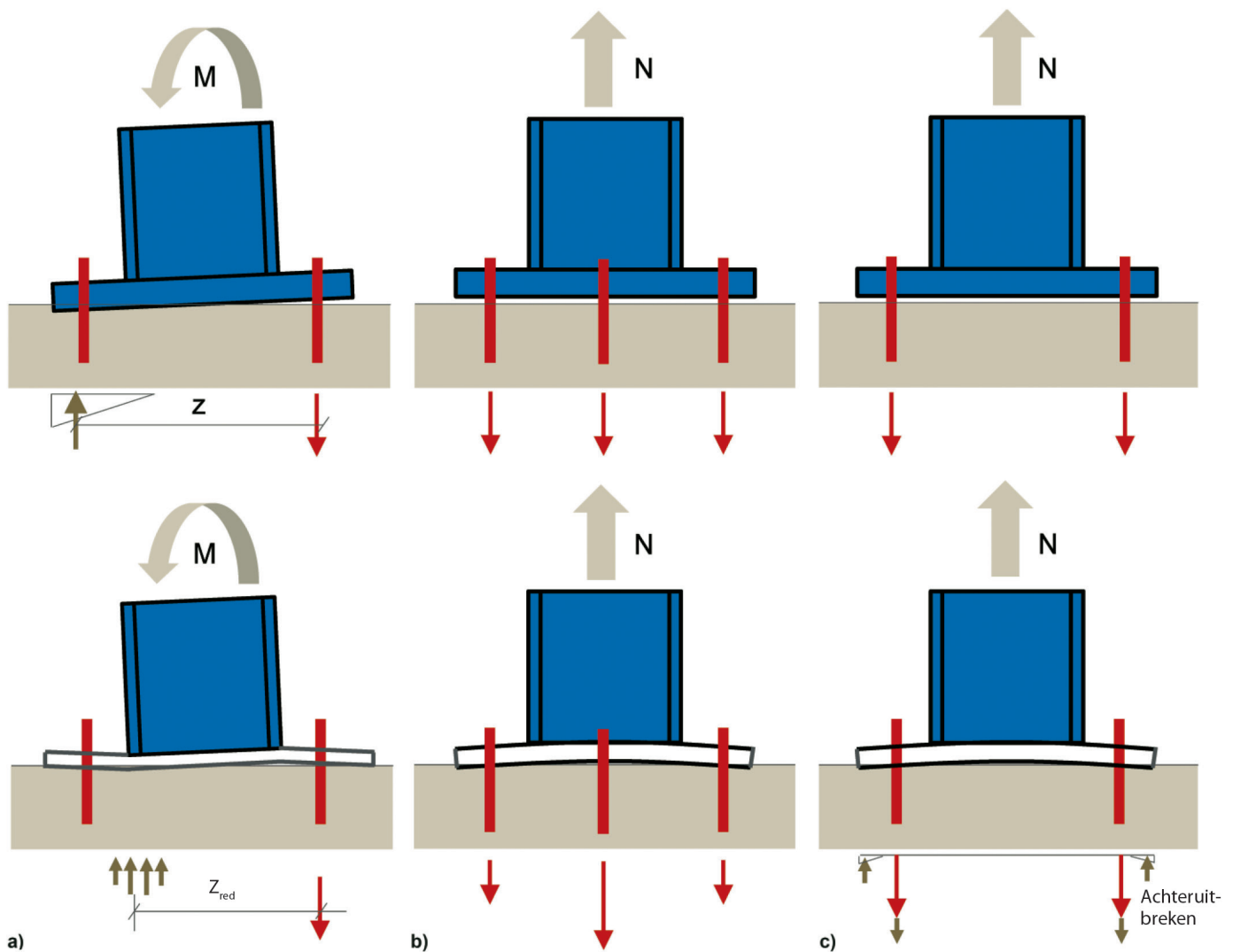
Afbeelding 2. Rekening houden met de excentriciteit van de externe belasting bij de CC-methode [1]



Afbeelding 3. Voldoen aan de eis van een 'voldoende stijve voetplaat' door de buigspanning te beperken, s = dikte van profiel, t = plaatdikte [11]

middelen moeten worden geverifieerd volgens de huidige regelgeving [1,4,8,9], moet de voetplaat voldoende stijf zijn. De auteurs zijn van mening dat er geen uniforme en duidelijke, bindende verklaring bestaat hoe dat te verwezenlijken is.

- Om een voetplaat voldoende stijf te maken, wordt door [11] voorgesteld om de buigspanning in de voetplaat te beperken. In afbeelding 3 wordt aangegeven dat de buigspanning in de voetplaat moet worden gemiddeld over het bereik $2 \cdot t + s$ (t = dikte voetplaat, s = dikte profiel) aan de voorkant van de bevestiging. Als de gemiddelde buigspanning in de stalen plaat minder is dan de vloeigrens, mag worden aangenomen dat de voetplaat voldoende stijf is [11].
- Numerieke [12] en experimenteel verkregen resultaten [13,14,15] geven aan dat het spanningscriterium [11] niet universeel geldig is en onder bepaalde omstandigheden kan leiden tot aanzienlijk hogere ankerbelastingen dan volgens de elasticiteitsleer is berekend.
- In [16] wordt 'voldoende buigvastheid' verklaard met behulp van de verhouding tussen afstand van de rand van het profiel tot de rand van de voetplaat in relatie tot de dikte van de voetplaat.



Afbeelding 4. Toename van ankerbelasting (actie) in geval van een flexibele voetplaat: a) reductie van de inwendige arm, b) achteruitbreken, c) beperkte lastenverdeling

Vermoedelijk worden daardoor achteruitbreken te voorkomen.

- Eurocode 2 deel 4 [4] geeft aan dat de vervorming van de voetplaat te verwaarlozen moet zijn in vergelijking met de axiale verschuiving van het anker. Als aan deze eis niet wordt voldaan, moet de vervorming van de voetplaat worden meegenomen in de berekeningen.
- Volgens de meest recente onderzoeken [15] moet voldoende stijfheid of de dikte van de voetplaat worden bepaald volgens twee criteria: een spanningscriterium en een vervormingscriterium. Dat wordt gedaan met de spanningsbeperking volgens [11]. Verder moet het elastisch doorbuigen van de voetplaat onder het vastgestelde belastingeffect beperkt zijn, rekening houdend met de verplaatsing van het anker. [15] geeft aan dat deformatie onder trekkracht vooral afhankelijk is van de stijfheid van het anker in het gebruikte verankeringssysteem.

2. Theorie tegenover realiteit of oneindig stijf tegenover flexibel en eventuele consequenties

2.1 Voetplaatdiktes in de praktijk

De aanname dat de voetplaat niet vervormt onder de op basis van de elasticiteitsleer berekende krachten, is niet altijd gegarandeerd voor de voetplaatdiktes die in de praktijk gebruikelijk zijn. Zoals reeds besproken, wordt bij een voldoende stijve voetplaat onder andere aangenomen dat de resulterende betondrukkracht wordt uitgeoefend

op de buitenste rand van de voetplaat en dat dit leidt tot de inwendige hefboom z (afbeelding 4a bovenaan).

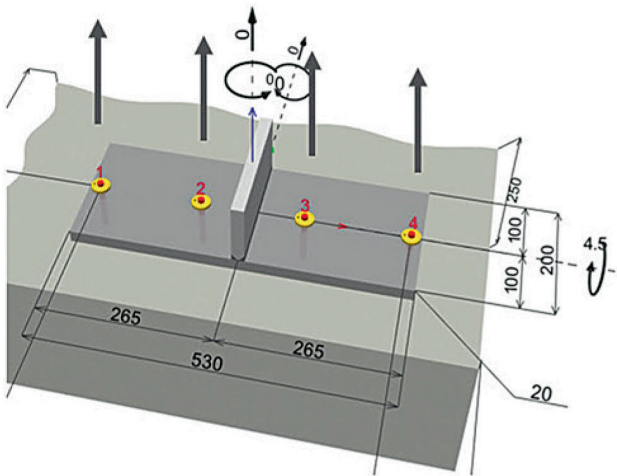
Als echter in tegenstelling tot de aanname een flexibele voetplaat wordt gebruikt, leidt dit tot een vermindering in de hefboom van inwendige krachten en daarmee tot een hogere belasting op de bevestiging, afhankelijk van de stijfheid. In extreme gevallen kan een plastisch scharnier ontstaan in de voetplaat aan de rand van het profiel (afbeelding 4a onderaan) waarbij de resulterende betondrukkracht zich verplaatst naar de rand van het profiel. Als de vorming van een plastisch scharnier in de voetplaat aan de spanningszijde van de verbinding tot aanzienlijke vervorming leidt, kunnen de hoeken van de voetplaat tegen het beton gedrukt worden, wat extra achteruitbrekende krachten opwekt die op hun beurt kunnen leiden tot grotere trekkrachten in de ankers. Dit achteruitbreken kan ook optreden bij grotere uitsteeksels uit de voetplaat, flexibele voetplaten en bij voornamelijk trekbelasting (afbeelding 4b). Door de aanzienlijke vervorming van de belaste voetplaat wordt de lastverdelende werking van de voetplaat teniet gedaan, wat kan leiden tot aanzienlijke overbelasting en het vroegtijdig bezwijken van een anker binnen een groep (afbeelding 4c).

2.2 Voetplaatdiktes in de praktijk

In afbeelding 5 staan ontwerpvoorbeelden van een voetplaat in de praktijk. In dit geval werd de ankerbelasting door de verantwoordelijke ingenieur berekend met behulp van gerenommeerde software en uitgaande van een voldoende stijve voetplaat. De ankerbelasting van

Voldoende stijve voetplaat

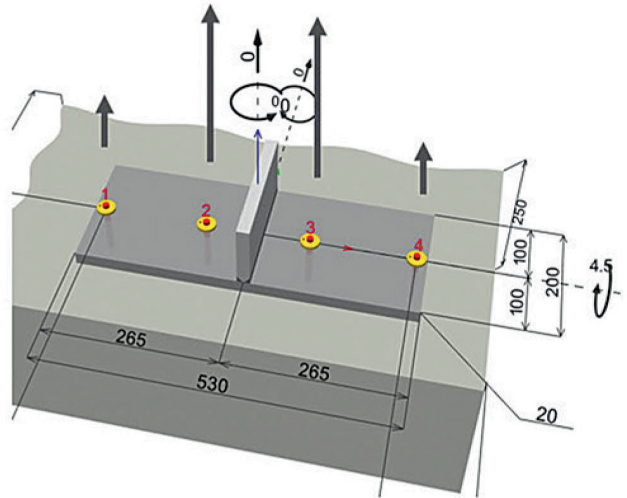
Max F: 12,8 kN



Flexibele voetplaat

Max F: 19,2 kN (+50%)

Reden: voldoende stijve voetplaat is geen geldige aanname!

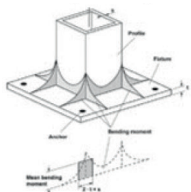


Afbeelding 5. Verschil tussen de berekende ankerbelasting volgens elasticiteitsleer in vergelijking tot de werkelijke ankerbelasting met behulp van eindige elementenmethode.



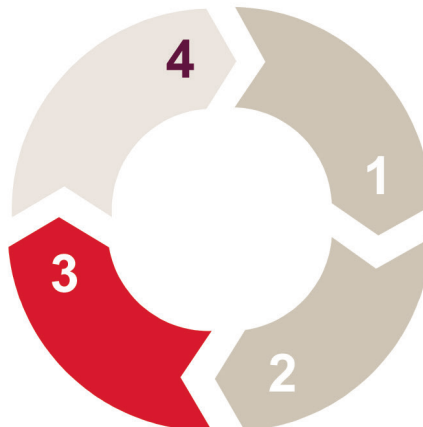
Controleer of de geselecteerde dikte van de voetplaat overeenkomt met de aanname van een voldoende stijve voetplaat uit stap 1). Is dat niet het geval, dan zijn de resultaten niet geldig.

Plaatspanningen berekenen

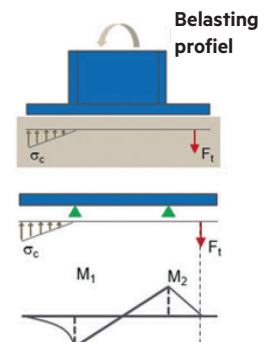


$$\sigma = \frac{6 * M}{b * t^2} \quad \sigma = \frac{M}{w_{el}}$$

$$t_{req} = \sqrt{\frac{6 M_{max}}{b \frac{F_{yd}}{\gamma_{Ms}}}}$$



Verdeling van op voetplaat uitgeoefende belasting over de ankers bij aanname van een **VOLDOENDE STIJVE VOETPLAAT**



Afbeelding 6. Gerealiseerde (stappen 1 tot 3) en noodzakelijke stappen (stappen 1 tot 4) om een voldoende stijve voetplaat volgens EC 2, deel 4 [4] te verzekeren

de identieke voetplaat werd vervolgens berekend door de verantwoordelijke ingenieur onder realistische aannames en met gebruikmaking van niet-lineaire methoden. Wanneer beide resultaten worden vergeleken, zijn er duidelijke verschillen in de maximale anker trekkracht van de afzonderlijke ankers in een groep, verschillen tot wel 50%. Dit resultaat geeft aan dat de voetplaat niet voldoende stijf is. Waarom in het oorspronkelijke ontwerp geen rekening is gehouden met dit gedrag, wordt in de volgende paragraaf uitgebreid uitgelegd.

3. Een nieuwe benadering

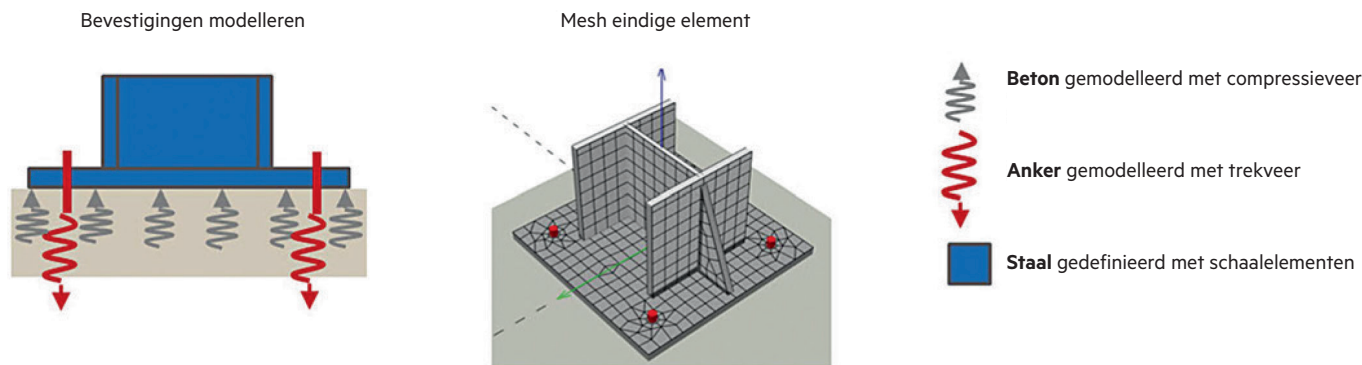
3.1 Huidige procedure

Tegenwoordig worden meestal computerprogramma's gebruikt om bevestigingen met ankers te ontwerpen. Gewoonlijk worden de stappen die in afbeelding 6 in vereenvoudigde vorm zijn weergegeven, door de ontwerpsoftware uitgevoerd op basis van een voldoende stijve voetplaat.

Als eerste stap worden de betondrukkrachten onder de voetplaat berekend volgens de elasticiteitsleer, met driehoekige verdeling van de betondrukspanning en trekkrachten op de bevestigingsmiddelen,

waarbij wordt uitgegaan van een voldoende stijve voetplaat (afbeelding 6, stap 1). Als de gemiddelde buigspanning in de stalen plaat minder is dan het toegepaste spanningscriterium, wordt aangenomen dat de voetplaat voldoende stijf is (op basis van het concept in [11]). De buigspanning van de voetplaat is gemakkelijk vast te stellen met behulp van een ligger op twee of meer steunpunten, waarbij het profiel als steunpunt wordt gebruikt en de betondrukkracht en ankerbelasting als externe belasting (afbeelding 4, stap 2). Deze spanningwaarden worden gebruikt om de benodigde plaatdikte te berekenen. De laatste en absoluut noodzakelijke stap in het controleren of de daadwerkelijke voetplaat zich voldoende stijf gedraagt onder de geëvalueerde belasting, is tot nu toe niet mogelijk of alleen mogelijk met behulp van speciale software die gebaseerd is op niet-lineaire eindige-elementenanalyse. Het is daarom de verantwoordelijkheid van de ingenieur om de niet duidelijk gedefinieerde stijfheid van de voetplaat te verifiëren.

Verder moeten de benodigde aannames, zoals de stijfheid van het anker die volgens [15] een aanzienlijke invloed kan hebben op de ankerbelasting, worden geëvalueerd, aangezien dat nog niet is gebeurd. Gebruik van verplaatsingswaarden op basis van de specificaties in de



Afbeelding 7. Componenten opgenomen in de Hilti PROFIS engineering-Advanced Baseplate [17]

overeenkomende ETA van een bevestigingsmiddel, is niet voldoende en kan ook leiden tot onjuiste ankerbelastingen.

3.2 Component-based Finite Element Method (CBFEM)

Om de daadwerkelijke voldoende stijfheid van de voetplaat en de bevestigingsmiddelen inclusief lasverbindingen en bevestigingen te kunnen beoordelen, is het nodig realistische aannames te doen over het belastings-/vervormingsgedrag van afzonderlijke componenten en daarom moeten evenwichts- en compatibiliteitsvoorwaarden worden meegenomen. Dit is nu mogelijk met de Hilti PROFIS Engineering Suite/Advanced Baseplate [17] op basis van de CBFEM-analyse. Deze eindig-elementenmethode die gebruikelijk is bij stalen constructies geeft een nauwkeurige verificatie van alle componenten in een verbinding. Daarbij wordt de verbinding onderverdeeld in afzonderlijke componenten. Deze afzonderlijke componenten worden beschreven vanuit realistische aannames over het belastings-/vervormingsgedrag respectievelijk spanning/rek-curves. De gedragingen van het totale systeem kunnen dan worden beschreven door de realistische aannames en de verdeling van krachten. In de bovengenoemde software zijn de gebruikte componenten meegenomen voor de gehele verbinding (afbeelding 7): het profiel, eventuele verstevigingsribben, de voetplaat, de lasverbindingen, het anker en het beton.

De voetplaat, het daarop gelaste profiel en de verstevigingsribben rondom de lasverbindingen worden beschreven met inachtneming van de materiaaleigenschappen volgens EN 1993-1-1 [3] of EN 1993-1-5 [18], gemodelleerd volgens de Eindige Elementenmethode en voorzien van een elastisch-plastisch (lasverbindingen) of elastisch-plastisch lineair materiaalmodel (profiel, verstevigingsribben en voetplaat). De reactie van het beton wordt geformuleerd op basis van de betoneigenschappen volgens EN 1992-1-1 [2], waarbij veerstijfheid van het beton gebaseerd is op het Winkler-Pasternak-model. Het belastings-/vervormingsgedrag van de ankers, dat een aanzienlijke invloed heeft op de grootte van de ondersteunende krachten, werd bepaald in een onderzoeksproject bij Hilti waarbij rekening werd gehouden met voorspanning, materiaal van het anker en wrijvingscoëfficiënt. Aangetoond is dat de ankerstijfheden die in sommige gevallen werden verkregen, aanzienlijk afwijken van de waarden in de bijbehorende goedkeuringsdocumenten. Dat komt omdat de verplaatsingswaarden van de bevestigingsmiddelen die in de betreffende documenten/beoordelingen gepubliceerd zijn, via een andere ideeënleer werden verkregen (maximale verplaatsingswaarden) dan wat vereist is voor het vaststellen van de rigiditeit van de bevestigingsmiddelen voor het ontwerp van de voetplaat (minimale verplaatsingswaarden).

3.3 Is de voetplaat voldoende stijf? Zo kunt u het controleren

Terwijl eerder geen controle werd uitgevoerd naar de daadwerkelijke voldoende stijfheid van de voetplaat, wordt dit nu gedaan aan het einde van het berekeningsproces met behulp van de eerder genoemde

de Hilti PROFIS Engineering-software [17]. De ankerbelasting die is berekend volgens de elasticiteitsleer (methode I) wordt vergeleken met de ankerbelasting die rekening houdt met evenwichts- en compatibiliteitsvoorwaarden op basis van realistische aannames over belastings-/vervormingsgedrag en de spanning/rek-curves van de afzonderlijke componenten (methode II), uitgaande van een voldoende stijve voetplaat (afbeelding 8). Door de ankerbelasting van beide methodes te vergelijken, kan de kloof tussen theorie (voldoende stijve voetplaat) en praktijk in de software worden bepaald.

Om de invloed van een hogere ankerbelasting op de totale bezwijkbelasting van de groep bevestigingsmiddelen vast te stellen, werden testwaarden opnieuw berekend met behulp van de Hilti-evaluatiesoftware samen met de Hilti-voetplaatmodule [17].

Afbeelding 9 toont experimenteel vastgestelde gemiddelde bezwijkbelastingen van anker groepen ($N_{u, \text{test}}$) [11,13,14,15] in verhouding tot de berekende bezwijkbelasting, rekening houdend met de elasticiteitsleer ($N_{u, \text{theorie}}$) als functie van het meest belaste anker uit de groep op basis van niet-lineaire aannames [17] in relatie tot de berekende waarde van het zwaarst belaste anker, bepaald op basis van de elasticiteitsleer [17]). Deze tests houden rekening met anker groepen met vier en negen ankers onder eenassige en tweeassige buiging in ongescheurd beton. In de test werden ingestorte bouten en achteraf geïnstalleerde ankers gebruikt. De plaatdiktes die werden gebruikt, waren berekend met behulp van het spanningscriterium van [11] maar daarnaast werden opzettelijk lagere plaatdiktes getest. De weergave in afbeelding 9 is bedoeld om te schatten welk effect een afwijking van het zwaarst belaste anker van een groep, berekend volgens de elasticiteitsleer, heeft op de belastingscapaciteit van de gehele groep. Op basis van de beschikbare testwaarden is te zien dat bij een afwijking van de belasting op het meest belaste anker van een groep van ongeveer 10% - tussen voldoende stijve en realistische aannames - de gemiddelde bezwijkbelasting van de bevestigingen in de groep overeenkomt met de gemiddelde bezwijkbelasting die is berekend volgens de elasticiteitsleer. Dat betekent dat in geval van ongeveer 10% afwijking in de ankerbelasting tussen de voldoende stijve plaat en de flexibele plaat, in de tests geen negatieve invloed op de belastingscapaciteit kon worden waargenomen.

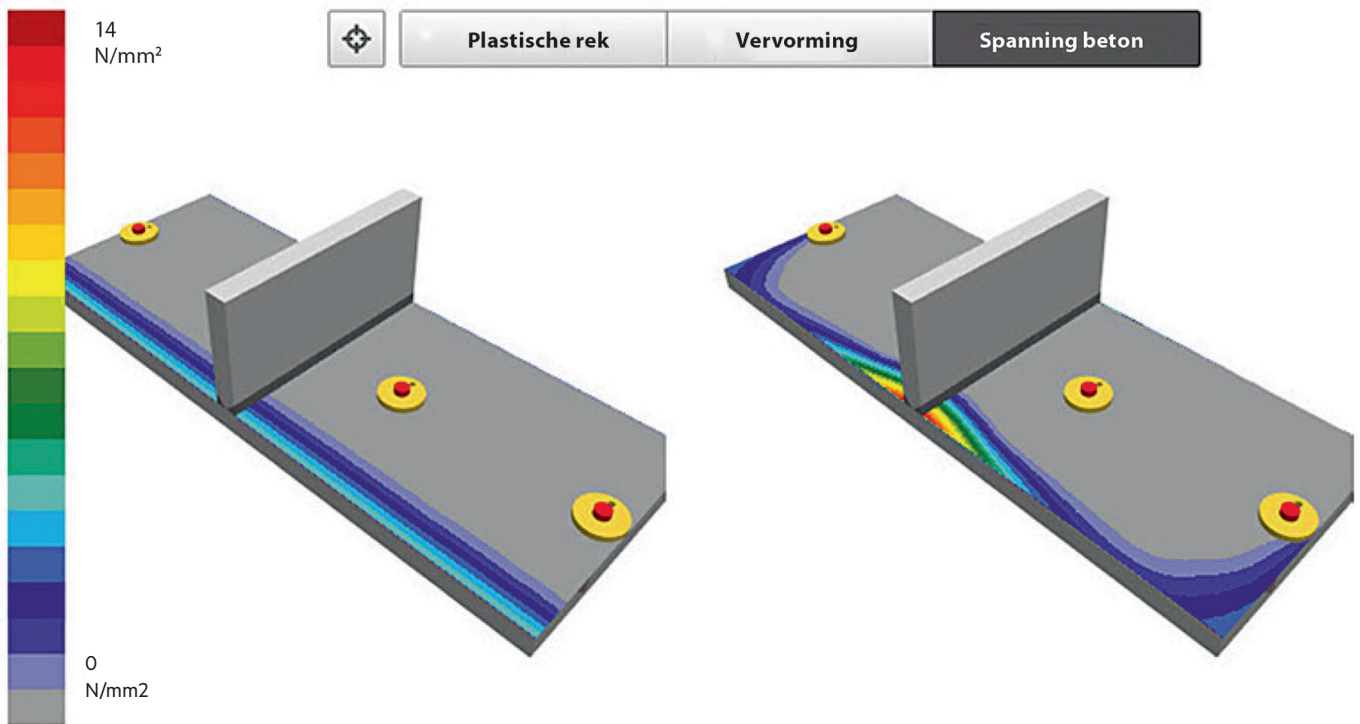
Aan de hand van de vergelijking van de voldoende stijve en de realistische voetplaat in combinatie met bovenstaande onderzoeken, moet de ingenieur in staat zijn te beoordelen welke verkrijgbare voetplaatdiktes niet in tegenspraak zijn met de geldende richtlijnen.

4. Volgens mijn berekening is mijn voetplaat allesbehalve voldoende stijf! Wat kan ik doen?

Als het verschil tussen de berekende ankerbelasting volgens methode I (elasticiteitsleer) en methode II (realistische aannames) significant is,

Ankerontwerpcodes zijn uitsluitend van toepassing op de berekening van de capaciteit van een ankergroep onder aanname van een voldoende stijve ankerplaat. De functie 'flexibele berekening' geeft de basis om te beoordelen of een ankerplaat zoals door u gespecificeerd, kan worden beschouwd als vrijwel voldoende stijf volgens Eurocode/AISC-ontwerp.

[Klik hier voor meer bijzonderheden](#)



Equivalent voldoende stijve ankerplaat (EEM)

Flexibele ankerplaat (EEM)

Trekrachten anker

Anker 1	12,9 kN	7,6 kN (-41%)
Anker 2	12,9 kN	19,3 kN (50%)
Anker 3	12,9 kN	7,6 kN (-41%)
Anker 4	12,9 kN	19,3 kN (50%)

Voetplaat plastische rek (max)

Geen

0%

Vervorming voetplaat (max)

Geen

0,9 mm

Als u op 'Bevestigen' klikt, bevestigt u dat u de ankerplaat heeft gespecificeerd (dikte 20 mm) en dat u geïnformeerd bent over de implicaties die gebruik van de functie voor flexibele berekening heeft. Druk op 'Annuleren' als u niet verder wilt gaan met deze beoordeling of als de door u aangegeven ankerplaat als niet voldoende stijf genoeg wordt beoordeeld.

Annuleren

Bevestigen

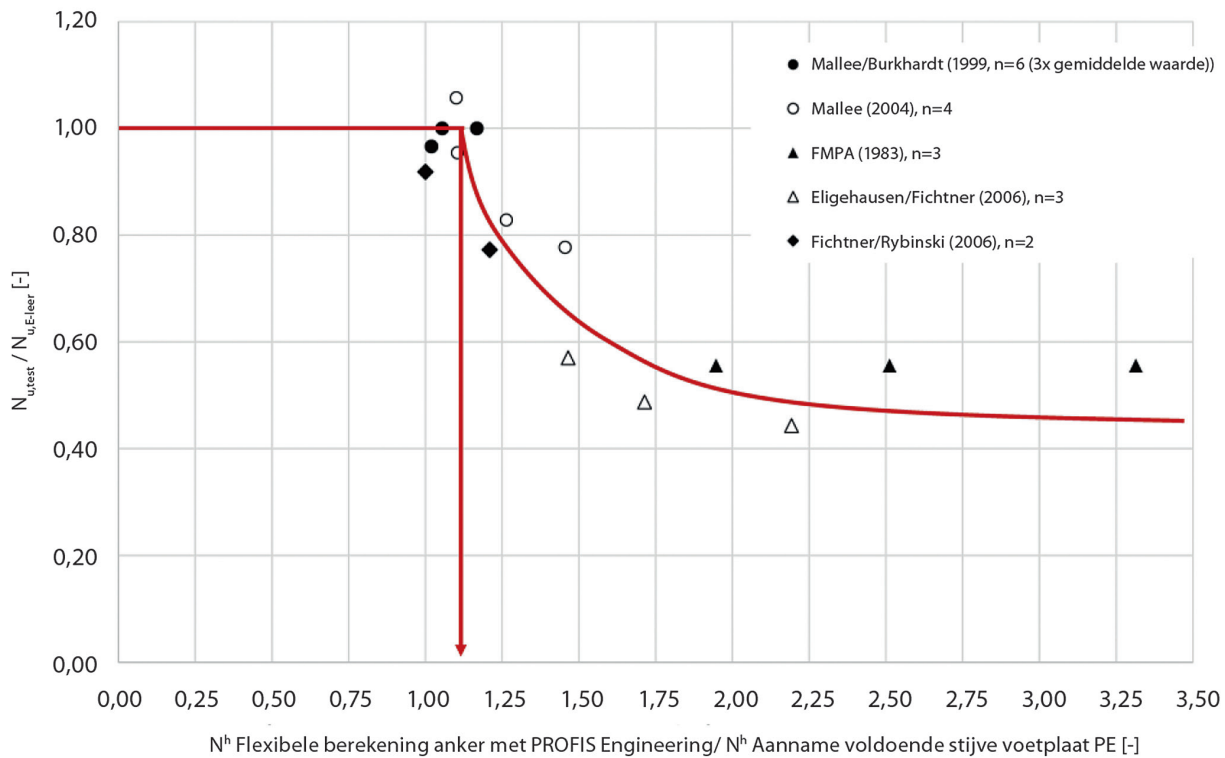
Afbeelding 8. Vergelijking van de belasting op ankers, berekend volgens methode I (voldoende stijve bodemplaat) en methode II (realistische aanname, flexibele voetplaat)

is de gebruikte voetplaat flexibel. In dat geval kan de gebruiker verschillende maatregelen nemen, die ook met de software of voetplaat-module [17] kunnen worden berekend, om te komen tot de geldige aannames van methode I. Dat zijn onder andere: de afmetingen van het opgelaste profiel vergroten om buigen in de plaat te verminderen, de uitsteeksels in de voetplaat verminderen om achteruitbreken te minimaliseren, de dikte van de voetplaat vergroten of verstevigingsribben gebruiken. Een minder stijf verankeringsstelsel kan ook de ankerbelasting verminderen. Een andere benadering is om te zorgen dat staalbreuk optreedt voordat de capaciteit voor uittrekken/door-trekken, betonkegelbreuk of spleten (betongerelateerd falen) wordt

bereikt. Over het algemeen kan dit worden bereikt door de juiste lengte te kiezen voor de verankering.

5. Samenvatting en vooruitzicht

In dit artikel is de uitdaging om realistische aannames te hanteren voor alle grensvoorwaarden bij de evaluatie van voetplaten, uitgebreid behandeld. De huidige ontwerpregels voor ankers in combinatie met voetplaten die flexibel zijn, d.w.z. niet absoluut voldoende stijf, zijn nader bekeken. We hebben ook gekeken naar de mogelijke consequenties van een incorrecte aanname van een voldoende stijve



Afbeelding 9. Toename van ankerbelasting (actie) in geval van een flexibele voetplaat: a) reductie van de inwendige arm, b) krachten t.b.v. achteruitbreken, c) beperkte lastenverdeling

voetplaat. Tot slot hebben we laten zien op welke manieren een complete verbinding inclusief profiel, lasverbindingen, verstevigingsribben, voetplaat, ankers en beton in één stap kan worden gemodelleerd, ontworpen en geoptimaliseerd. Voor dit doel was in sommige gevallen meer onderzoek en ontwikkeling nodig.

Daarmee gaat Hilti voort op de weg die is ingeslagen en in de markt gezet, om met de PROFIS Engineering Suite voor ingenieurs en ontwerpers een software te ontwikkelen die kan worden geïntegreerd in de workflow en de softwareomgeving en die naast zekerheid ook tot een duidelijk betere transparantie leidt. Daarnaast kan de efficiëntie van voetplaatontwerpen aanzienlijk worden verhoogd. Ons doel is om voor ingenieurs de ankerkrachten te berekenen en dat de Hilti software zorgt voor de volledige en verifieerbare verificatie van de voetplaat. Meer ideeën voor aanvullende functies en mogelijkheden staan al op de agenda voor de verdere ontwikkeling van Profis Engineering.

Literatuur

- [1] Eligehausen R., Mallée, R., Silva, J.: Anchorage to concrete construction. Berlin: Ernst & Sohn 2006
- [2] Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings; German version EN 1992-1-1:2004 + AC:2010
- [3] Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings; German version EN 1993-1-1:2005 + AC:2009
- [4] Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings for use in concrete; German version prEN 1992-4:2013
- [5] European Committee for Standardization: Design of fastenings for use in concrete - Plastic design of fastenings with headed and post-installed fasteners, German version FprCEN/TR 17081: 2016
- [6] Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints; German version EN 1993-1-8:2005 + AC:2009
- [7] Comité Euro-International du Béton (CEB): Design of fastenings in concrete. CEB Bulletin 226, pp. 1-144, Lausanne 1995
- [8] ETAG 001, Annex C: Design methods for anchorages (3rd amendment), European Organisation for Technical Approvals (EOTA), Brussels, 2010
- [9] EOTA TR 029: Design of bonded anchors (amendment September 2010), European Organisation for Technical Approvals (EOTA), Brussels, 2010
- [10] Riemann, H.: Das erweiterte k-Verfahren für Befestigungsmittel, Bemessung an Beispielen von Kopfbolzenverankerungen. Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 12, pp. 808-815: 1985
- [11] Mallée, R.; Riemann, H.: Ankerplattenbefestigungen mit Hinterschnittdübeln. Bauingenieur 65, pp. 49-57, Springer VDI-Verlag, 1990
- [12] Schneider, H.: Zum Einfluss der Ankerplattensteifigkeit auf die Ermittlung der Dübelkräfte bei Mehrfachbefestigungen. Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Landesstelle für Bautechnik 1999
- [13] Forschungs- und Materialprüfungsanstalt (FMFA): A Belastungsversuche an einbetonierten Kopfbolzengruppen. University of Stuttgart 1983
- [14] Mallée, R.: Versuche mit Ankerplatten und unterschiedlichen Dübeln. Fischerwerke 2004
- [15] Fichtner, S.: Untersuchungen zum Tragverhalten von Gruppenbefestigungen unter Berücksichtigung der Ankerplattendicke und einer Mörtelschicht. Faculty of Civil and Environmental Engineering of the University of Stuttgart 2011
- [16] Tennessee Valley Authority: TVA Civil Design Standard DS-C1.7.1, page 25, Knoxville, 1984
- [17] Hilti PROFIS Engineering with add-on: base plate module: [https:// profisengineering.hilti.com/](https://profisengineering.hilti.com/)
- [18] Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements; German version EN 1993-1-5:2006 + AC:2009

Auteurs van dit artikel

- DI Mario Fitz B.Sc. Feldkircherstrasse 100 FL-9494 Schaan mario.fitz@hilti.com
- Dr. Jörg Appl Hiltistrasse 6
DE-86916 Kaufering joerg.appl@hilti.com
- Dr. Oliver Geibig Hiltistrasse 2
DE-86916 Kaufering
oliver.geibig@hilti.com
- Ir. Niels Arendsen Leeuwenhoekstraat 4
2652 XL Berkel en Rodenrijs niels.arendsen@hilti.com

Deze herdruk is een vertaling van het originele Duitse rapport:

Fitz, M., Appl, J. and Geibig, O. (2018), Wirklichkeitsnahe und vollständige Bemessung von Ankerplatten einschließlich der Befestigungsmittel - neue Bemessungssoftware auf Basis wirklichkeitsnaher Annahmen. Stahlbau, 87: 1179-1186. doi:10.1002/stab.201800036.





STRUCTURAL ENGINEERING SOFTWARE

Engineeringsoftware om uw
voetplaatverbindingen
te optimaliseren



Oplossingen voor elke fase van het ankerontwerpproces.

Of het nu gaat om het uitvoeren van ankerberekeningen of het genereren van stuklijsten, onze BIM/CAD-geïntegreerde software biedt ondersteuning bij berekeningen, specificaties en installatie om elke fase van uw bevestigingsprojecten aan te pakken. Meer informatie? Neem dan contact met ons op!