

# Update rekenregels beoordeling bestaande breedplaatvloeren

Aanpassing op basis van resultaten aanvullend onderzoek  
korte koppelstaven en bewezen sterkte analyse

*Naar aanleiding van de gedeeltelijke instorting van de parkeergarage bij Eindhoven Airport zijn in 2019 rekenregels voor de beoordeling van bestaande breedplaatvloeren gepubliceerd. Deze rekenregels zijn nu aangepast, naar aanleiding van aanvullend onderzoek.*

**Uit onderzoek naar de oorzaak van de instorting van de parkeergarage bij Eindhoven Airport blijkt dat vloeren die zijn uitgevoerd met breedplaten in bepaalde gevallen onvoldoende veilig kunnen zijn.** Voor het beoordelen van bestaande breedplaatvloeren zijn rekenregels [1] opgesteld, die beschreven zijn in een stappenplan (hierna Stappenplan 2019 [2]). Naar aanleiding hiervan is door het ministerie van BZK in 2020 een onderzoeksplicht afgekondigd voor CC3-constructies waarin dit type vloeren is toegepast. De betreffende rekenregels waren gebaseerd op de resultaten van tot dan toe in Nederland uitgevoerd onderzoek naar het gedrag van het detail bij de langsnaden tussen twee breedplaten in een breedplaatvloer, waar sprake is van een primaire krachtsoverdracht en een optredend positief moment (fig. 1a).

Zoals aangegeven in [1] was er behoefte om voor kleinere diameters (korte

auteurs



IR. GERRIE  
DIETEREN

TNO

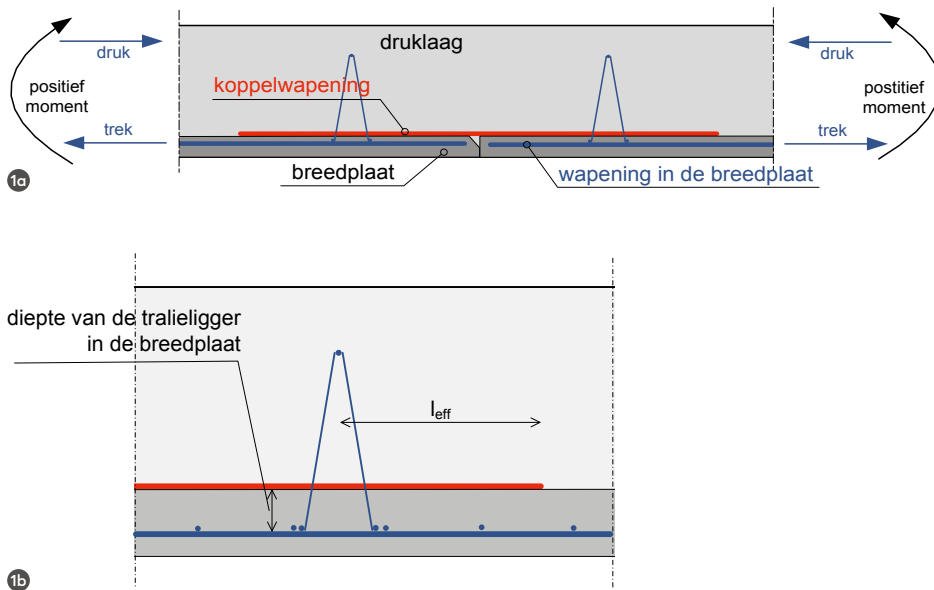


PROF. IR. SIMON  
WIJTE

Adviesbureau  
Hageman / TU/e

verankeringslengtes / effectieve lengte, fig. 1b) aanvullend onderzoek uit te voeren aan langsnaden. Dit omdat er met de in het verleden toegepaste staaflengte sprake kan zijn van een relatief korte doorsteek van de koppelwapening voorbij de tralieliggers. Deze korte lengte kan van invloed zijn op de weerstand van het detail en zodoende de aan te houden rekenregels. Tevens was de afwijkende situatie bij kopvoegen, waarbij de tralieliggers niet parallel lopen aan de voeg maar hier haaks op staan, in het eerder uitgevoerde onderzoek niet experimenteel beschouwd. Daarom is in de afgelopen periode aanvullend experimenteel onderzoek uitgevoerd naar het gedrag bij een korte doorsteek en bij kopvoegen. Daarnaast is gekeken of op basis van een bewezen sterkte analyse [3], onder bepaalde voorwaarden, de beoordeling van vloeren in CC2- en CC1-gebouwen kan worden vereenvoudigd.

Naar aanleiding van de uitgevoerde onderzoeken zijn de rekenregels beperkt



*Er is experimenteel onderzoek uitgevoerd naar het gedrag bij een korte doorsteek en naar het gedrag bij kopvoegen*

aangepast en is het Stappenplan 2019 gerevisieerd tot het Stappenplan 2022 (gepubliceerd begin 2024) [4]. Per 1 juli 2024 is de onderzoeksplicht uitgebreid naar CC2-constructies met een overspanning groter dan 8,5 m. In dit artikel wordt ingegaan op de aangepaste rekenregels. In een afzonderlijk artikel wordt een toelichting gegeven op enkele uitgangspunten van de uitgevoerde bewezen sterkte analyse [5] en wordt de doorvertaling hiervan in de beoordelingsprocedure van het Stappenplan 2022 weergegeven.

### Achtergrond aanvullend experimenteel onderzoek

Tijdens alle uitgevoerde experimenten op naden tussen twee breedplaatvloeren traden er op hoofdlijnen twee soorten bezwijken op: het vloeien van de koppelwapening werd bereikt of het aansluitvlak tussen de breedplaten en de druklaag bezweek voordat vloeien van de koppelwapening kon optreden.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen de volgende bezwijkmechanismen (zie ook kader ‘Wanneer treedt welk mechanisme op?’):

- 1 Bezwijken ongewapend aansluitvlak op aanhechting;
- 2 Bezwijken gewapend aansluitvlak op afschuiving;

- 3 Bezwijken gewapend aansluitvlak door uittrekken van de tralieligger;
- 4 Bezwijken na vloeien van de koppelwapening.

Om te kunnen spreken van een gewapend aansluitvlak, zoals bij mechanisme 2 en 3, moet de koppelwapening doorsteken tot achter de tralieligger. Bij een proefstuk met een ongewapend aansluitvlak is tijdens het opvoeren van de belasting meestal mechanisme 1 maatgevend. In geval van een gewapend aansluitvlak treedt mechanisme 1 wel op, maar is dit in het algemeen niet het mechanisme dat tot bezwijken leidt.

Inclusief vloeien van de koppelwapening zijn er dus vier (bezwijk)mechanismen die kunnen optreden. Welke er optreedt is onder andere afhankelijk van de effectieve lengte van de koppelstaven achter de tralieligger ( $l_{eff}$ , fig. 1b), of de positie van de tralieligger (diepte in breedplaat) en de ruwheid van het aansluitvlak.

In de uitwerking van de proeven is altijd een analyse voor de verschillende waargenomen mechanismen uitgevoerd. Bij de in [1] beschouwde proeven varieerde de effectieve lengte ( $l_{eff}$ ) van de koppelstaven van 300 tot 750 mm. Dit omdat de focus in eerste instantie lag op koppelstaven met grotere staafdiameters met bijbehorende grotere →

1a Kritisch vloerdetail

1b Diepte van de tralieligger en effectieve lengte ( $l_{eff}$ ) van de koppelwapening

## WANNEER TREEDT WELK MECHANISME OP?

Afhankelijk van de effectieve lengte van de koppelstaven ( $l_{eff}$  in fig. 1b) achter de tralie, ofwel de positie van de tralie en de ruwheid van het aansluitvlak, zijn de volgende bezwijkvormen mogelijk:

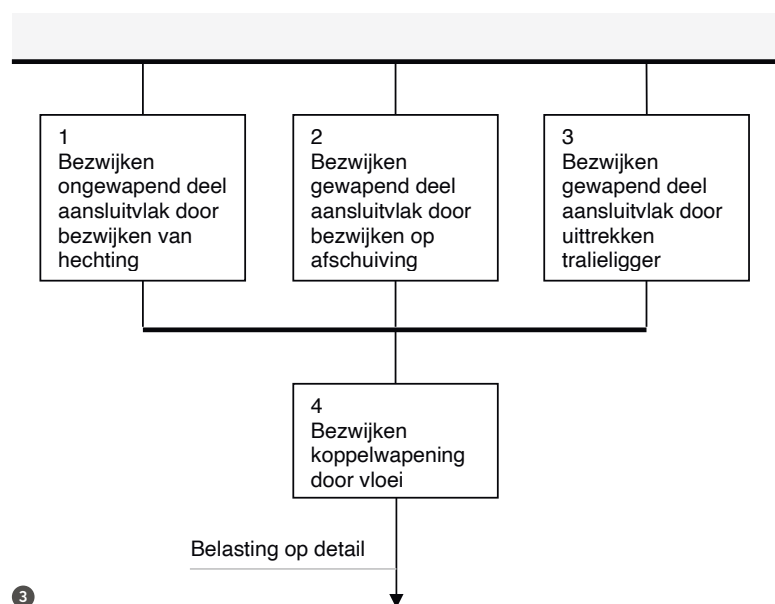
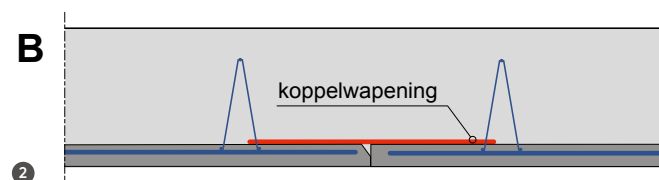
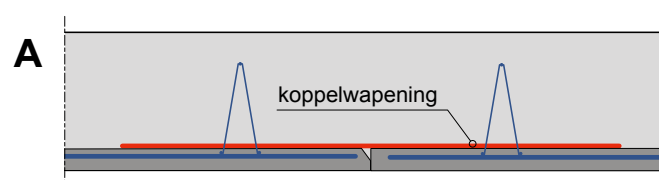
- Voor detailleringwijze A (fig. 2): alle vier de mechanismen
- Voor detailleringwijze B (fig. 2): mechanismen 1 en 4

Het optreden van de mechanismen 1 t/m 3, die alle betrekking hebben op het aansluitvlak, zullen ieder afzonderlijk geen aanleiding geven tot bezwijken van het detail. In de keten staan faalmechanismen 1 t/m 3 daarom parallel geschakeld en vervolgens gezamenlijk in serie met mechanisme 4, het vloeien van de koppelwapening (fig. 3).

verankeringslengte. Mechanisme 1 is zodoende niet als maatgevend mechanisme waargenomen in de toen beschouwde proeven. Tevens is in [1] onderkend dat voor praktijksituaties waarbij de koppelwapening niet of slechts beperkt doorsteekt tot voorbij de tralieligger, er in de literatuur slechts enkele proefresultaten beschikbaar waren. Dit is de reden waarom in het Stappenplan 2019 [2] voor toepassing van de daar gegeven rekenregels is geëist dat de effectieve lengte ten minste 100 mm is. Om voor de in Nederland gebruikelijke detaillering na te gaan of de rekenmodellen voor relatieve korte effectieve lengten van de koppelwapening ook toepasbaar zijn, zijn er aanvullende proeven uitgevoerd [6].

## Onderzoek invloed effectieve lengte koppelstaven langsnaeden

Om na te gaan wat het effect is van een kortere effectieve lengte van de koppelstaven bij langsnaeden zijn er aanvullend vier verschillende proefseries uitgevoerd met telkens drie identieke proefstukken per serie. De belangrijkste parameters per serie zijn in tabel 1 weergegeven. Hierbij is de effectieve lengte van de koppelstaven gevarieerd tussen 0 en 200 mm. De breedplaatvloeren waren uitgevoerd in traditioneel grindbeton C30/37 (breedplaat en druklaag) met een breedplaatdikte van 70 mm. Voor de evaluatie van de proeven is op basis van proefkubussen voor de breedplaten, alsook de druklaag, de druksterkte ten tijde van beproeven bepaald.



*De in rekening te brengen hoeveelheid wapening die het aansluitvlak doorkruist is begrensd*

**Tabel 1** Overzicht van beproefde proefstukken [7]

proefstuk	effectieve lengte [mm]	nabewerkt oppervlak	verdere omschrijving
T25-T27	0	nee	$h = 250$ mm, druklaag C30/37, koppelwapening $\varnothing 10-75$
T28-T30	100	nee	$h = 250$ mm, druklaag C30/37, koppelwapening $\varnothing 10-75$
T31-T33	200	nee	$h = 250$ mm, druklaag C30/37, koppelwapening $\varnothing 10-75$
R4-R6	100	ja	$h = 250$ mm, druklaag C30/37, koppelwapening $\varnothing 10-75$

Bij een deel van de proeven werd waargenomen dat er twee weerstandniveaus zijn te onderscheiden (fig. 4). Nadat de maximale weerstand wordt bereikt, valt de weerstand snel terug. Daarna is er een tweede niveau dat enigszins constant blijft bij een toenemende vervorming tot daadwerkelijk bezwijken optreedt.

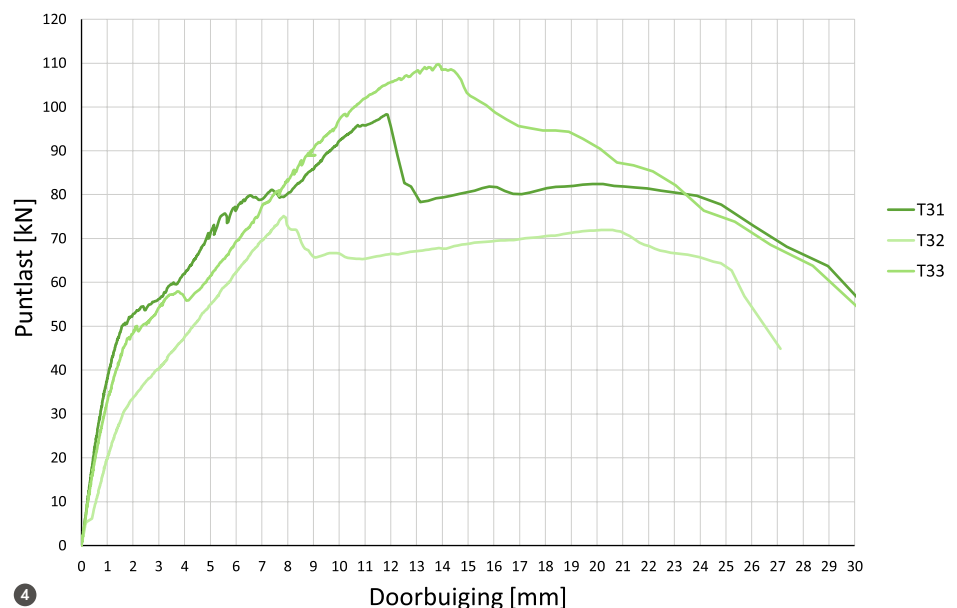
Dit gedrag is ook beschreven in [1] en [8], waarbij is beschreven dat het niveau met een minder ductiel vervormingsgedrag, hier het maximale niveau, wordt ontleend aan mechanisme 2 (afschuifsterkte) en het tweede, hier lager gelegen niveau, aan mechanisme 3 (uittrekken tralieligger).

### Evaluatie proefresultaten voor langsvoegen

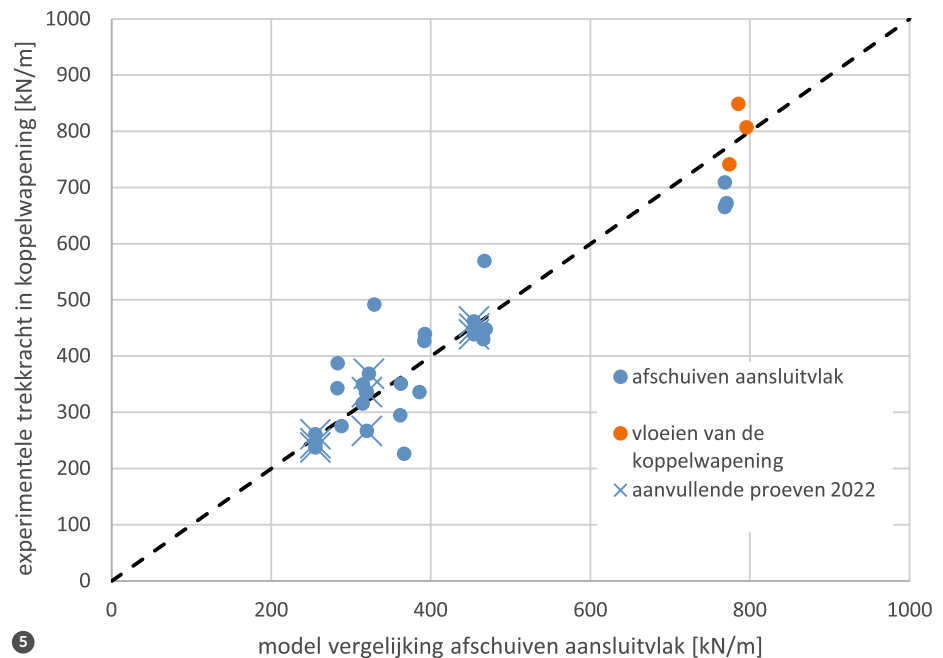
**Afschuiven van het aansluitvlak (mechanisme 2)** Voor de evaluatie van de nieuwe proeven met de in [1] afgeleide rekenregels,

is voor mechanisme 2 (afschuiven van het aansluitvlak) uitgegaan van de maximaal in de proef bepaalde optredende kracht in de koppelwapening. Voor mechanisme 3 (uittrekken tralieligger) is in die gevallen waar een tweede (lagere) niveau werd waargenomen, uitgegaan van dit lagere tweede niveau. Voor de voorspelling van de weerstand voor beide mechanismen is in eerste instantie uitgegaan van de rekenregels zoals gegeven in [1] en [2]. Voor de vergelijking met de proeven zijn de rekenregels uiteraard aangepast om de gemiddelde waarde van de weerstand te bepalen.

In figuur 5 is de vergelijking tussen de voorspelling (horizontale as) en de proeven (verticale as) gegeven voor mechanisme 2. De nieuwe proeven met een effectieve lengte van 0, 100 en 200 mm zijn gemarkeerd met een kruisje. Als de nieuwe proefresultaten worden toegevoegd aan de dataset van de →



*Voor het uittrekken van de tralieligger is een bovengrens gesteld, afhankelijk van de treksterkte van het beton*



in [1] gehanteerde proeven, blijkt dat de gemiddelde waarde en de variatiecoëfficiënt met de nieuwe proeven nagenoeg gelijk blijven. Zodoende is geconcludeerd dat ook voor korte effectieve lengtes van koppelstaven ( $100 \text{ mm} < l_{\text{eff}} < 300 \text{ mm}$ ) de vergelijking voor mechanisme 2 goed toepasbaar is.

Vervolgens is beoordeeld of ook voor kortere effectieve lengtes (korter dan  $100 \text{ mm}$ ) de vergelijking voor mechanisme 2 toepasbaar is. Hiertoe is gebruikgemaakt van de nieuw uitgevoerde proeven met een effectieve lengte van  $0 \text{ mm}$ . Hierbij is rekenkundig uitgegaan van een effectieve lengte van  $1 \text{ mm}$ . Dit betekent met name dat bij koppelwapening die net voorbij de tralieligger loopt, een volledige bijdrage van het aansluitvlak doorstekende wapening (de tralieligger) in de aanwezig capaciteit wordt verondersteld. In de praktijk zal een effect van door het aansluitvlak doorkruisende wapening al merkbaar zijn bij koppelstaven die op een bepaalde afstand voor het hart van de tralieligger stoppen. Welke afstand dat precies is en hoe deze bijdrage moet worden bepaald, kan op basis van de beschikbare proeven niet exact worden aangegeven. Daarom is gekozen voor een aanpak waarbij mechanisme 2 pas kan worden toegepast als de koppelstaven

(net) voorbij het hart van de tralieligger doorlopen.

De uitgevoerde vergelijking tussen de proeven en het model maakt duidelijk dat ook bij een beperkte waarde voor  $l_{\text{eff}}$  het model toepasbaar is. Er is weliswaar een grotere spreiding in de resultaten, maar zoals in figuur 5 zichtbaar is, wordt de invloed van de effectieve lengte  $l_{\text{eff}}$  op de voorspelling voor alle waarden gemiddeld even goed meegenomen. Op basis van deze vergelijking wordt geconcludeerd dat ook voor lage waarden van  $l_{\text{eff}}$  het mechanisme afschuiven aansluitvlak toepasbaar is.

Bij de beschrijving van dit mechanisme werd in het Stappenplan 2019 [2] echter geen bovengrens aan de hoeveelheid verbindingswapening (de aansluitvlak doorkruisende wapening  $A_{s,v}$ ) gesteld. Ten gevolge daarvan zou, in het geval van een onbeperkte hoeveelheid verbindingswapening, de weerstand van het mechanisme onbeperkt kunnen worden opgevoerd. In dit mechanisme zit echter impliciet ook het mechanisme van de verankering van de koppelwapening achter de verbindingswapening. Dit is bij de beproevingen impliciet meegenomen. Bedacht moet echter worden dat indien de gevonden relatie voor de afschuifsterkte

wordt toegepast buiten het domein van de bij de experimenten beschouwde toegepaste variabelen, zoals de hoeveelheid verbindingswapening, andere mechanismen bepalend kunnen worden. Daarom is een bovengrens bepaald voor de bijdrage van aansluitvlak doorkruisende wapening in de afschuifweerstand.

De bovengrens is gebaseerd op de proefstukken T25-T27 en T28-T30 waarbij geldt  $l_{\text{eff}} \approx 0$  mm resp. 100 mm en  $A_{\text{sv,a}} = 356$  mm<sup>2</sup>/m. Op basis van de maximale spanning in de koppelstaven in de proeven is geconcludeerd dat bij  $l_{\text{eff}} \approx 0$  mm de bijdrage van de tralieligger in de capaciteit 60% bedraagt en er dus een begrenzing nodig is. Beschikbare buitenlandse proeven met lage waarden van  $l_{\text{eff}}$  zijn hierbij buiten beschouwing gelaten, omdat deze minder representatief worden geacht voor de Nederlandse situatie en ook minder goed voorspeld werden met het model.

Voor de grootte van de maximaal in rekening te brengen aansluitvlak doorkruisende wapening  $A_{\text{sv}}$ , is op basis van de proeven T25-T27 en T28-T30 afgeleid dat bij  $l_{\text{eff}} \approx 0$  mm,  $A_{\text{sv,a}}$  gelijk moet zijn aan  $0,4 \times 356 = 142$  mm<sup>2</sup>/m. Bij een effectieve lengte van 100 mm zou dit

356 mm<sup>2</sup>/m moeten zijn. Dit leidt tot de volgende vergelijking:

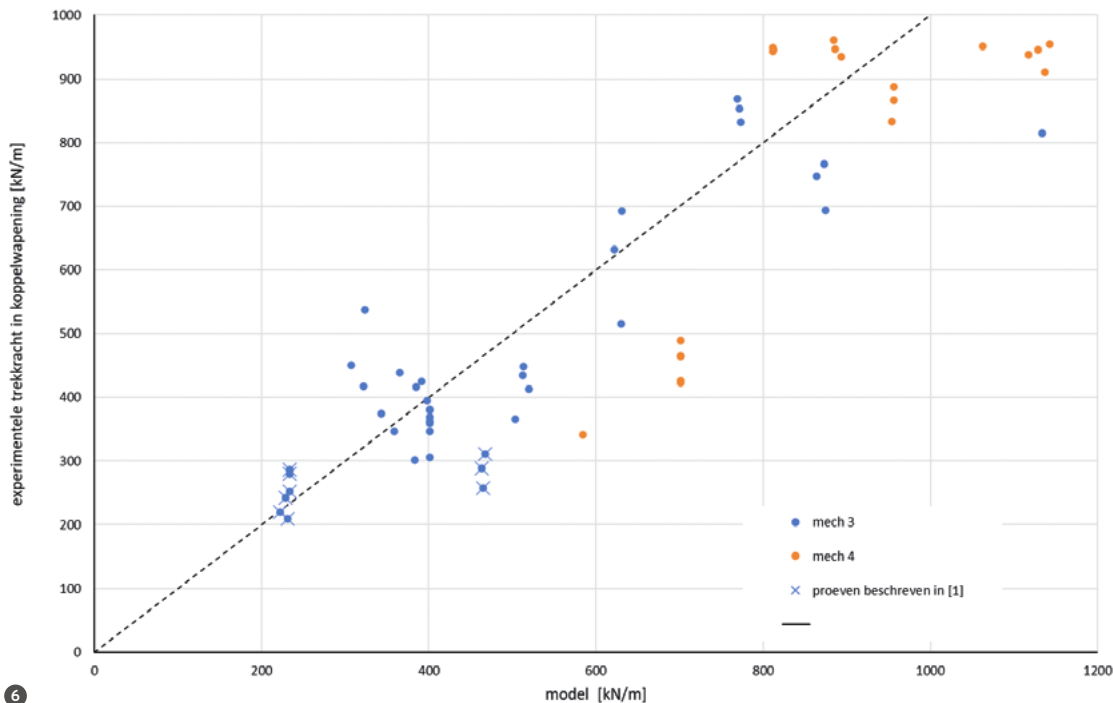
$$A_{\text{sv,a,max}} = 142 + 2,14 l_{\text{eff}} \text{ [mm}^2\text{/m]} \quad (1)$$

met  $l_{\text{eff}}$  in [mm]

### Uittrekken van de tralieligger (mechanisme 3)

Bij de vergelijking van de proefresultaten met de voorspelling volgens het mechanisme 3 (uittrekken tralieligger) bleek dat voor de aanvullende proeven de voorspelde weerstand sterk kon afwijken van de in de proef waargenomen waarden (fig. 6). Geconcludeerd werd dat een aanpassing van de rekenregel nodig was. Een nadere studie van de variabelen in de weerstandsvergelijking maakte duidelijk dat de inbeddingsdiepte van de tralieligger gecombineerd met de treksterkte van beton weliswaar een bepalende factor is voor het uittrekken van de tralieligger (grootte en sterkte van de betonconus hiervan afhankelijk), maar dat hier een bovengrens aan moet worden gesteld.

Bij enkele proeven bleek dat de tralieligger niet werd uitgetrokken, maar dat er sprake was van breken van de diagonalen van de tralieligger. Om dit mee te nemen in de weerstandsbepaling, is er een boven- →



6 Verhouding bezwijkwaarden voor experimenten voorspeld voor mechanisme 3 (uittrekken) en 4 (vloeien van de wapening), beschreven in [1] en [8], uitgezet tegen het experimenteel gevonden trekkracht in koppelwapening

grens toegevoegd. Nadere analyse maakte duidelijk dat met een bovengrens op de factor  $d_t$ , die afhankelijk is van de treksterkte van beton, dit kan worden ondervangen. Daarom is aan de vergelijking op basis van gemiddelde waarden de volgende grenswaarde voor  $d_t$  toegevoegd:

$$d_t \leq \left( \frac{750}{f_{ctm,bp}} \right)^{2/3} \quad (2)$$

Tevens bleek enerzijds dat voor kortere effectieve lengten van de koppelwapening met het model uit 2019 de weerstand werd overschat en anderzijds dat deze weerstand altijd lager was dan de weerstand van mechanisme 2. Daarom is besloten om de toepassing van het weerstandsmodel voor uittrekken van de tralieligger te beperken tot die gevallen waar geldt  $l_{eff} \geq 250\text{mm}$ .

In het Stappenplan 2019 [2] was niet expliciet aangegeven dat de rekenregel voor het uittrekken van tralieliggers gold voor 3D-tralieliggers. De proeven waarop de rekenregel is gebaseerd, waren echter allemaal voorzien van 3D-tralieliggers. Voor het wel of niet uittrekken van de tralieligger is het aantal onderstaven in de tralieligger (één bij 2D en twee bij 3D) van belang, daar deze de grootte van de te activeren betonkegel bepalen. In het Stappenplan 2022 [4] is daarom vereist dat er sprake moet zijn van tralieliggers met twee onderdraden en één bovendraad (3D-tralie).

Noot:

*Voor het mechanisme afschuiven van het aansluitvlak geldt weliswaar ook dat de proeven alleen met 3D-tralieliggers zijn uitgevoerd, maar in de rekenregel wordt de aansluitvlak doorkruisende wapening in rekening gebracht. Hierdoor wordt ook voor 2D-tralieliggers de weerstand correct bepaald.*

#### **Aanpassing semi-probabilistische analyse op basis van probabilistische analyses**

Op basis van de hiervoor gegeven evaluatie van de additionele proeven zijn de rekenregels zoals gegeven in Stappenplan 2019 [2] op enkele punten aangepast (zie verderop onder 'Aanpassing rekenregels in Stappenplan 2022').

Naast de aanpassing op basis van de aanvullende proeven, is naar aanleiding van een uitgevoerde probabilistische analyse [9 en 10] ook gekeken of de semi-probabilistische analyse zoals gegeven in het Stappenplan 2019, verder kan worden geoptimaliseerd voor de beschouwing van gebouwen ingedeeld in CC1 of CC2.

Voor een populatie van veel voorkomende breedplaatvloerconfiguraties is een vergelijking gemaakt tussen semi-probabilistische beoordeling en een probabilistische analyse voor dezelfde vloer. Het doel was om de semi-probabilistische toets volgens NEN 8700 voor de onderhavige toepassing beter aan te laten sluiten op het bijbehorend probabilistische resultaat. Hiertoe is een (additionele) correctiefactor afgeleid. Aan de hand van de in [10] gerapporteerde analyse is bewezen dat met een correctiefactor van 1,2 een betrouwbaarheid van  $\beta = 2,5$  wordt gevonden bij een Unity Check (UC) = 1,0. Zodoende is geconcludeerd dat, indien sprake is van een ten minste vijf jaar oude constructie, bij ongewijzigd gebruik, met een correctiefactor van 1,2 de weerstand van de mechanismen 2 en 3 mag worden vergroot bij een toets van de constructieve veiligheid. Er is sprake van ongewijzigd gebruik als de functies op de beschouwde vloer niet wijzigen. In het Stappenplan 2022 [4] is dit resultaat verwerkt door de introductie van de factor  $k_\gamma$  in zowel de weerstandsvergelijking voor afschuiven van het aansluitvlak alsook voor uittrekken van tralieliggers.

#### **Kopvoegen**

De hiervoor omschreven onderzoeken hadden betrekking op doorsneden met een positief moment ter plaatse van langsvoegen tussen breedplaten. Echter, ook in doorsneden bij een naad aan het einde van een breedplaat (korte zijde) kan een positief moment optreden. Op deze positie, hierna aangeduid als kopvoegen, zijn tralieliggers aanwezig in de richting loodrecht op de naad die doorlopen tot nabij de naad. In die zin onderscheidt de detaillering bij kopvoegen zich van de detaillering van het kritische detail ter plaatse van langsnaden.

Het beoordelen van de kopvoegen maakt strikt genomen geen onderdeel uit





van de stappen in het stappenplan. Wel is in de beschrijving van het stappenplan aanvullende informatie opgenomen over hoe de weerstand van kopvoegen kan worden bepaald. Tot nu toe is in Stappenplan 2019 [2] voor de weerstandsbepaling aangehaakt bij de reguliere rekenregels uit NEN-EN 1992-1-1 [11]. De vraag was echter of de afstand tussen de tralieliggers, bij gewapende breedplaten maximaal gelijk aan 800 mm, van invloed is op de weerstand van het aansluitvlak bij toepassing van een gelijkmatige verdeling van de koppelwapening. Het zou mogelijk kunnen zijn dat de weerstand van het aansluitvlak, en de daarmee samenhangende effectiviteit van de koppelwapening, niet gelijkmatig over de breedte van de kopvoeg is verdeeld. Om dit te onderzoeken zijn er ook experimenten uitgevoerd op kopvoegen. Dit om meer inzicht te krijgen in het gedrag van breedplaatvloeren bij kopvoegen in het algemeen en de invloed van de verdeling van de tralieliggers in het bijzonder. Er zijn daarvoor twee typen proefstukken ontworpen die beproefd zijn in een vierpuntsbuigproef. Van ieder proefstuktype zijn drie identieke proefstukken beproefd.

De proefstukken KV1-KV3 zijn 1,6 m breed en hebben tralieliggers met een h.o.h.-afstand van 800 mm. De hoeveelheid koppelwapening is zo gekozen, dat op basis van de rekenregels in NEN-EN 1992-1-1 [11] bezwijken van het aansluitvlak mag worden verwacht voordat de koppelwapening gaat vloeien.

De proefstukken KV4-KV6 zijn identiek aan de proefstukken KV1-KV3, alleen de h.o.h.-afstand van de vier tralieliggers is 400 mm

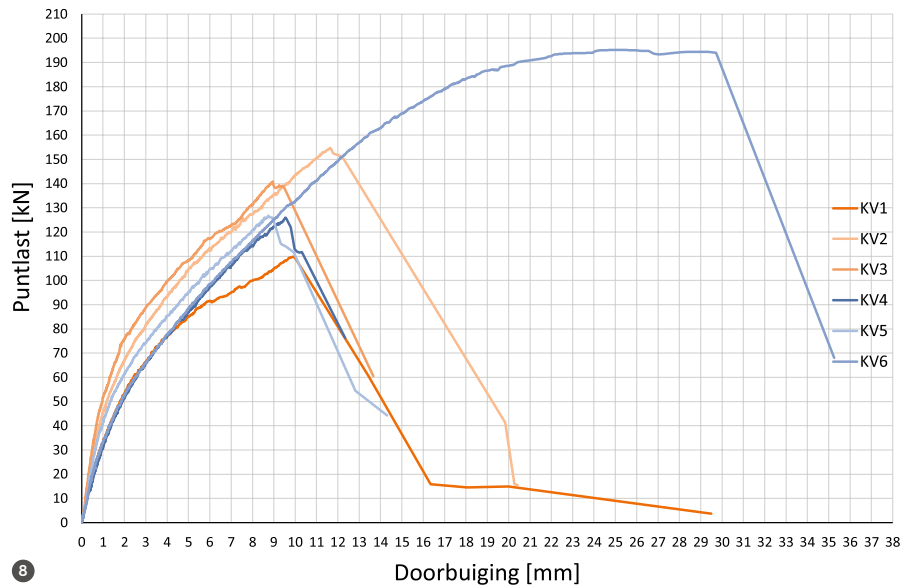
bij een gelijkblijvende totale hoeveelheid wapeningsdoorsnede van de diagonalen in het aansluitvlak. Bij deze proefstukken is daartoe de helft van de diagonalen weggeknipt.

Alle zes proefstukken zijn bezweken door het bezwijken van het aansluitvlak tussen de druklaag en de breedplaat. Het last-ervormingsgedrag van de zes proefstukken is in figuur 8 gegeven. Uit de figuur blijkt dat de proefstukken KV1 tot en met KV5 zich redelijk gelijk gedragen. Bij proefstuk KV6 kon de belasting significant hoger worden opgevoerd (als gevolg van spreiding in materiaaleigenschappen). Deze bereikte het niveau waarbij de wapening gaat vloeien. Toch is ook dit proefstuk bezweken door het bezwijken van het aansluitvlak.

Op basis van de rekenregels uit NEN-EN 1992-1-1 [11] is een gemiddelde waarde van de weerstand per proefstuk voorspeld. De verhouding tussen de voorspelling van de rekenwaarde van de opneembare schuifspanning en de gemiddelde schuifspanning in de proeven, is ordegrrootte gelijk aan die voor langsvvoegen werd gevonden. Er is ook geen significant verschil tussen de proeven met twee tralieliggers en de proeven met vier tralieliggers.

Op basis van deze waarnemingen is geconcludeerd dat de resultaten van de uitgevoerde proeven geen aanwijzing geven dat de aanwijzingen uit Stappenplan 2019 moeten worden aangepast. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat op basis →





8

van de proeven niet kan worden aangegeven of dit ook nog van toepassing is bij een grotere h.o.h.-afstand van de tralieliggers dan 800 mm.

### Aanpassing rekenregels in Stappenplan 2022

In het Stappenplan 2022 [4] zijn de rekenregels voor mechanisme 2 en 3 overeenkomstig de hiervoor in dit artikel aangegeven wijzigingen aangepast. Bij mechanisme 2 is de hoeveelheid aansluitvlak doorkruisende wapening begrensd en bij mechanisme 3 is het effect van de diepte van de tralieligger begrensd en is het toepassingsgebied beperkt tot  $l_{\text{eff}}$  groter dan 250 mm en het gebruik van 3D-tralieliggers. Daarnaast is bij beide de hierboven omschreven factor  $k_y$  toegevoegd.

#### Afschuiven aansluitvlak (mechanisme 2)

De maximale trekkracht in de koppelwapening gebaseerd op de schuifsterkte van het aansluitvlak volgt uit:

$$F_{R,\text{kop},\text{a,d}} = v_{Rd,i} A_{\text{eff}} \quad (3)$$

waarin:

$F_{R,\text{kop},\text{a,d}}$  is de maximale trekkracht in de koppelwapening gebaseerd op de schuifsterkte van het aansluitvlak per breedte  $b$

$$v_{Rd,i} = k_y k_1 \left[ c_{v1} \frac{\sqrt{f_{\text{ck}}}}{\gamma_c} + \rho_a f_{\text{yd}} \mu_v \right] \quad (4)$$

is de schuifsterkte van het effectieve aansluitvlak in MPa

$$A_{\text{eff}} = b l_{\text{eff}} - A_{\text{gbe}}$$

$A_{\text{gbe}}$  is het deel van het binnen  $b \cdot l_{\text{eff}}$  gelegen oppervlak waar door de aanwezigheid van gewichtsbesparende elementen de druklaag niet op de breedplaat aansluit

$k_y = 1,2$  in het geval het beschouwde gebouw is ingedeeld in CC1 of CC2, waarbij de te beoordelen vloerconstructie minimaal vijf jaar functioneert onder de betreffende gebruikscondities (het gebruik van de vloerconstructie in de aflopen minimaal vijf jaar is niet gewijzigd en verandert in de toekomst niet significant)

$k_1 = 1,0$  in de overige gevallen

$k_1 = 1,1$  voor zelfverdichtend beton

$k_1 = 1,2$  voor traditioneel beton

$c_{v1}$  is een factor afhankelijk van het wel of niet bewerkt zijn van het oppervlak van de breedplaat, volgens tabel 2

$f_{\text{ck}}$  is de kleinste waarde van de karakteristieke cilinderdruksterkte van het beton van de breedplaat en de druklaag, in MPa

$\gamma_c = 1,5$

$\rho_a = A_{\text{svd},\alpha} / A_{\text{eff}}$

$$A_{\text{svd},\alpha} = A_{\text{sv}} \sin \alpha \leq A_{\text{sv},\alpha,\text{max}}$$

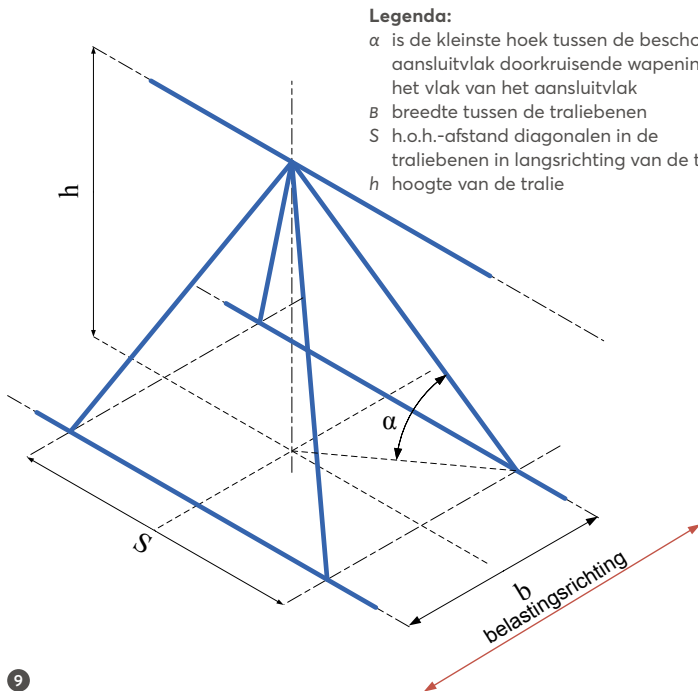
$A_{\text{sv}}$  is het oppervlak van de doorsnede van de aansluitvlak doorkruisende wapening  $\alpha$  is de kleinste hoek tussen de be-

schouwde aansluitvlak doorkruisende wapening en het vlak van het aansluitvlak (fig. 9)

Tabel 2 Oppervlakte ruwheid afhankelijke coëfficiënten

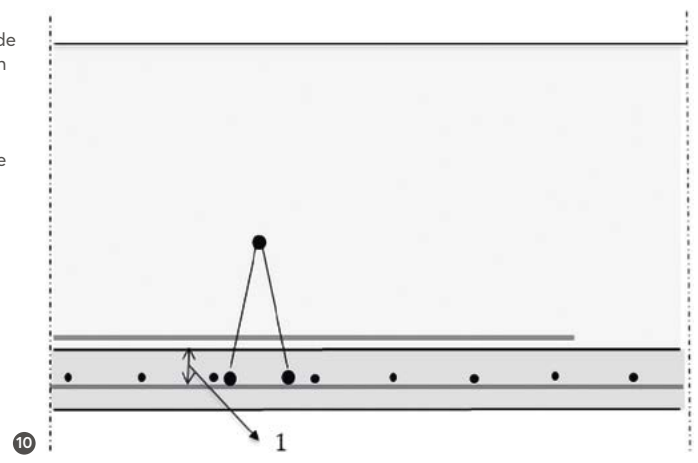
oppervlakteruwheid	$c_{v1}$	$\mu_v$
ruw <sup>1</sup> (bewerkt)	0,15	0,7
glad <sup>1</sup> (niet bewerkt)	0,075	0,6

<sup>1</sup> Classificaties van oppervlakken zoals gegeven in 6.2.5 (2) van NEN-EN1992-1-1+C2/A1:2015 [11]



**Legenda:**

- $\alpha$  is de kleinste hoek tussen de beschouwde aansluitvlak doorkruisende wapening en het vlak van het aansluitvlak
- $B$  breedte tussen de traliebenen
- $S$  h.o.h.-afstand diagonalen in de traliebenen in langsrichting van de tralie
- $h$  hoogte van de tralie



**Legenda**

- 1 = diepte van de tralieligger,  $d_t$

9

$\geq 45^\circ$   
 $\leq 135^\circ$   
 $A_{sv,a,max} = 1,42 + 2,14 l_{eff} [mm^2/m]$  met  $l_{eff}$  in [mm]  
 $f_{yd}$  is de rekenwaarde van de vloeigrens van de aansluitvlak doorkruisende wapening, in MPa  
 $\mu_v$  is een factor afhankelijk van de ruwheid, volgens tabel 2  
 $b$  is de breedte van de beschouwde doorsnede  
 $l_{eff}$  is de grootste lengte van de aanwezige koppelwapening vanaf het hart van de eerste tralieligger of andere aansluitvlak doorkruisende wapening, gezien vanaf de naad (fig. 1)

**Uittrekken van de tralieligger (mechanisme 3)**

De maximale trekkracht in de koppelwapening, gebaseerd op het uittrekken van tralieliggers met twee onderdraden en één bovendraad (3D-tralie), waarbij  $l_{eff}$  ten minste gelijk is aan 250 mm (fig. 1), volgt uit:

$$F_{R,kop,b,d} = 2 k_v f_{ctd,bp} d_t^{1,5} k_2 k_3 \quad (5)$$

waarin:

- $F_{R,kop,b,d}$  is de maximale trekkracht in de koppelwapening gebaseerd op het uittrekken van de tralieligger, in kN/m
- $f_{ctd,bp}$  is de rekenwaarde van de trek-

sterkte van het beton van de breedplaat, in MPa  
 $d_t$  is de diepte van de onderzijde van de tralieligger ten opzichte van de bovenzijde van de breedplaat in mm (fig. 10)

$$k_2 = \left( \frac{350}{f_{ctd,bp}} \right)^{2/3} \leq 1,0$$

$$k_3 = \frac{56 - \emptyset_{koppel}}{40} \geq 0,9 \text{ en } \leq 1,1$$

$k_v = 1,2$  in het geval het beschouwde gebouw is ingedeeld in CC1 of CC2, waarbij de te beoordelen vloerconstructie minimaal vijf jaar functioneert onder de betreffende gebruikscondities

$= 1,0$  in de overige gevallen  
 $l_{eff}$  is de grootste lengte van de aanwezige koppelwapening vanaf het hart van de eerste 3D-tralieligger, in mm (fig. 1)

$\emptyset_{koppel}$  is de diameter van de koppelwapening die bepalend is voor  $l_{eff}$  in mm

De diepte van de 3D-tralieligger,  $d_t$ , mag zijn bepaald uit de dikte van de breedplaat minus de som van de toegepaste dekking aan de onderzijde van de breedplaat en de dikte van de wapening in de breedplaat waarop de tralieliggers zijn geplaatst. ●

**LITERATUUR**

- 1 Adviesbureau Hageman. (2019-01). Rapport 9780-1-0, Voorstellen voor en achtergronden bij rekenregels voor beoordeling van bestaande bouw. Rijswijk.
- 2 Adviesbureau Hageman. (2019-02). Notitie 20-5-2019 "Stappenplan beoordeling bestaande gebouwen met breedplaatvloeren". Rijswijk.
- 3 Steenbergen, R., & Vrouwenfelder, T., Update rekenregels en beoordelingsprocedure bestaande breedplaatvloeren. *Cement* 2024/4.
- 4 Stappenplan beoordeling bestaande gebouwen met breedplaatvloeren 2022. Delft: TNO / Adviesbureau ir. J.G. Hageman (incl. erratum), 2022.
- 5 Dieteren, G., Wijte, S., Vereenvoudigde beoordelingsprocedure bestaande breedplaatvloeren. *Cement* 2024/4.
- 6 TNO 2022-R10320: Bewezen sterkte breedplaatvloeren - Analyse resultaten experimentele onderzoeken. Delft: TNO / Adviesbureau Hageman, 2022.
- 7 TU/e Bouwkunde - Structures Laboratory Eindhoven. Meetrapport 4-puntsbuigproeven op breedplaatvloeren. Eindhoven: TU/e, 2021.
- 8 Wijte, S., & Dieteren, G., Rekenregels beoordeling bestaande breedplaatvloeren. *Cement* 2019/4.
- 9 Steenbergen, R., Dieteren, G., Vries, R. D., Borsje, H., Vrouwenfelder, T., & Wijte, S. TNO-2022-R10122 Probabilistische kwantificering van de veiligheid van bestaande breedplaatvloeren. Delft: TNO.
- 10 Steenbergen, R., Dieteren, G., Wijte, S., Vrouwenfelder, T., & Vries, R. d. (2022). TNO 2022 R12219 - Aanvullende achtergrondinformatie bij stappenplan beoordeling breedplaatvloeren. Delft: TNO, 2022.
- 11 NEN-EN 1992-1-1+A1:2015, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regel en regels voor gebouwen.

9 Hoek  $\alpha$  bij een 3D-tralieligger  
 10 Diepte van de tralieligger