

Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande bouwwerken opgeleverd na 1999

1 Inleiding

In mei 2017 is een deel van de in aanbouw zijde parkeergarage bij Eindhoven Airport ingestort. De bevindingen bij de onderzoeken naar de oorzaak leidden tot de conclusie dat het in de parkeergarage toegepaste vloertype – breedplaatvloeren waarbij in twee richtingen sprake is van een primaire krachtsafdracht – onvoldoende veilig kan zijn [1,2]. Naar aanleiding van deze conclusie is in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties een informatiedocument opgesteld waarin een stappenplan is opgenomen waarmee voor bestaande betonconstructies¹ met breedplaatvloeren kan worden bepaald of er sprake is van een verhoogd risico met betrekking tot de constructieve veiligheid [3]. Dit informatiedocument is opgesteld in overleg met een door het Ministerie opgestelde klankbordgroep waarin bij de problematiek betrokken partijen vertegenwoordigd zijn. Het beschouwde constructietype, een vlakke vloer, ondersteund door kolommen en vervaardigd met geprefabriceerde breedplaten en een druklaag van ter plaatse gestort beton is een constructietype dat reeds jarenlang veelvuldig is toegepast.

Na het uitbrengen van het informatiedocument is in opdracht van het Ministerie door Hageman begonnen met het uitvoeren van aanvullend onderzoek naar het gedrag van breedplaatvloeren. In het kader hiervan wordt ook experimenteel onderzoek in het Structures Laboratory Eindhoven (van de TU/e) uitgevoerd in opdracht van het Betonhuis. De opzet van het onderzoek en tussentijdse resultaten zijn gedeeld met de klankbordgroep. Het onderzoek is nog gaande en de publicatie van de resultaten wordt binnen afzienbare tijd verwacht.

Op 18 oktober jongstleden heeft de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OvV) het rapport “Bouwen aan constructieve veiligheid” [4] gepubliceerd. In dit rapport wordt voornamelijk ingegaan op de wijze waarop binnen het bouwproces met verantwoordelijkheden wordt omgegaan. De technische oorzaak van het gedeeltelijk bezwijken van de constructie van de parkeergarage wordt beschreven in bijlage C en in hoofdstuk 2 van het rapport. Daarbij is door de OvV gekeken naar de casus van de parkeergarage. Er wordt door de OvV in het rapport niet ingegaan op de situatie bij andere soortgelijke bestaande betonconstructies noch op het hiervoor genoemde stappenplan. Wel wordt in de samenvatting van het rapport door de OvV gesteld dat de focus in het stappenplan verlegd dient te worden van het faalmechanisme naar het ontwerp van de vloer en de detaillering van de plaatnaden.

¹ Er is onderscheid tussen ‘bestaande bouw’ en ‘nieuwbouw’. Bestaande bouw betreft de beoordeling van constructies in reeds vervaardigde, in gebruik zijnde constructies. Bij de beoordeling van nieuwbouw wordt het ontwerp van een nog te vervaardigen constructie getoetst.

In de onderhavige notitie is verslag gedaan van een herbeoordeling van het stappenplan waarbij is nagegaan of, en zo ja op welke wijze het stappenplan in het informatiedocument [3] naar aanleiding van het door de OvV gestelde, zou kunnen worden aangepast om zo het beoogde doel van het stappenplan beter te kunnen bereiken. In het kader van deze herbeoordeling heeft een gesprek plaatsgevonden met de OvV en is er overleg geweest met de leden van door het Ministerie ingestelde klankbordgroep.

2 Bevindingen Technisch Onderzoek OvV

Om na te gaan op welke wijze het stappenplan zou kunnen worden aangepast, zijn hierna eerst de bevindingen van het technische onderzoek van de OvV samengevat. Een uitgebreid verslag van dit technisch onderzoek is opgenomen in [5], dat bestaat uit een rapport van Horvat & Partners, een rapport van SGS Intron en een inleiding met conclusies en een verslag van het veldonderzoek door de OvV.

Door SGS Intron zijn diverse betontechnologische aspecten onderzocht. Op basis van onderzochte monsters die uit de restanten zijn genomen, concludeert zij dat:

- de verdichting van het beton van de druklaag redelijk tot goed is;
- de druksterkteontwikkeling van het beton van de druklaag ondanks de lage temperaturen ten tijde van het storten, in lijn met de verwachting was;
- dat de verticale scheuren in het beton zijn ontstaan nadat het beton verhard was;
- de bovenzijde van de breedplaten glad is en veel luchtballen vertoont, dat de top laag van het beton van de breedplaten ontmengd is en dat dit tot een significant minder sterke hechting tussen het beton van de breedplaten en het in-situ beton van de druklaag leidt.

Uit het veldonderzoek concludeert de OvV ten aanzien van het bezwaken vloerdeel onder andere dat:

- er geen aanwijzingen zijn voor twijfel over de aanwezige wapening in de bezwaken vloer;
- de bezwaken vloerdelen zijn gevallen zoals in [1] is beschreven;
- er significante verschillen zijn in de aanhechting tussen de breedplaten en het in situ beton van de druklaag.

Horvat & Partners heeft onderzoek uitgevoerd met als doel om een antwoord te geven op de vraag wat de technische oorzaak was van de gedeeltelijke instorting. De door Horvat & Partners geformuleerde conclusies kunnen als volgt worden samengevat:

- het bezwijken van de vloer is begonnen in het midden van de overspanning van de vierde verdiepingsvloer omdat de vloer daar onvoldoende in staat was het optredende buigende moment te weerstaan;
- het bezwijken is begonnen bij de verbinding tussen twee breedplaten, als een voortschrijdende afschuiving, dan wel onthechting, van de breedplaat vanaf de plaatnaad; dit uitte zich in het ‘afpellen’ van de breedplaat van de druklaag en vervolgens breuk waarbij het breukvlak passerende tralieliggers uit de breedplaat trok en de uiteinden van de koppelwapening uit de druklaag werden getrokken;
- de factoren die hebben bijgedragen aan het opgetreden faalmechanisme zijn:
 - de ruim onvoldoende lengte van de koppelwapening;
 - een gebrek aan goed verankerde dwarswapening, in de vorm van tralieliggers, die de breedplaten met de druklaag verbindt;

- de beperkte aanhechting tussen de breedplaat en de druklaag.
- dat deze omstandigheden tot een instorting konden leiden, is het gevolg van het ongebruikelijk vloerontwerp dat uitgaat van gedraaide prefab breedplaten; de breedplaatvloer is bij de parkeergarage toegepast op een manier waarvoor hij oorspronkelijk niet bedoeld was.

Op basis van deze conclusies heeft de OvV de resultaten van het technisch onderzoek beschreven middels een samenvatting en conclusies. Onderstaande teksten zijn zowel in de inleiding van [5] als in bijlage C van [4] opgenomen:

“De Raad concludeert dat de gedeeltelijke instorting van het parkeergebouw het gevolg is van de ontwerpkeuze om de bollenplaten een kwartslag te draaien ten opzichte van wat gebruikelijk is. Deze ontwerpkeuze leidde tot een kwetsbaar vloerontwerp.”

“Door de ontwerpkeuze met gedraaide platen ontstond een kwetsbaar vloerontwerp, waarbij de krachtsafdracht afhankelijk was van verschillende elementen (de koppelwapening, tralieliggers en aanhechting tussen betonlagen), die ieder afzonderlijk konden falen. Uit onderzoek blijkt dat:

- i) de lengte van de koppelwapening onvoldoende was;*
- ii) de tralieliggers hun constructieve functie niet of zeer beperkt konden vervullen;*
- iii) de aanhechting beperkt was door ontmenging van het zelfverdichtend beton.*

De combinatie van bovengenoemde factoren leidde er uiteindelijk toe dat de vloer bezweek onder zijn eigen gewicht en de temperatuurbelasting.”

In de Samenvatting en beschouwing van het OvV rapport [4] is alleen de bevinding ten aanzien van de lengte van de koppelwapening opgenomen. De constructieve functie van de tralieligger en de beperkte aanhechting zijn hierin niet opgenomen. Wel stelt de OvV in de Samenvatting en beschouwing dat de gebrekkige hechting niet de oorzaak, maar het gevolg was van het toegepaste vloerontwerp.

Ten behoeve van de herbeoordeling van het stappenplan heeft op 12 november jongstleden een gesprek plaatsgevonden met medewerkers van de OvV. De OvV heeft tijdens het gesprek een toelichting gegeven op haar onderzoek. Daarbij is door de OvV aangegeven dat zij uitsluitend onderzoek hebben gedaan naar de casus van de parkeergarage en geen andere bestaande constructies hebben beschouwd. Naar aanleiding van het gesprek heeft de OvV aanvullend het artikel [6] overlegd.

3 Analyse

3.1 Inleiding

De OvV merkt op dat de focus van het stappenplan verlegd dient te worden naar het ontwerp van de vloer en de detaillering van de plaatnaden. Hierna worden deze twee aspecten nader beschouwd.

3.2 Het ontwerp

In het rapport van de OvV wordt ingegaan op de krachtsafdracht in de bollenplaatvloer, zie hiervoor figuur 1. In het betoog en middels de figuur wordt de indruk gewekt dat de krachtsafdracht bij een gebruikelijk ontwerp van een als vlakke plaatvloer toegepaste breedplaatvloer zich zou gedragen als bij een moerbint-kinderbintconstructie waarbij de krachtsafdracht eerst plaatsvindt in de

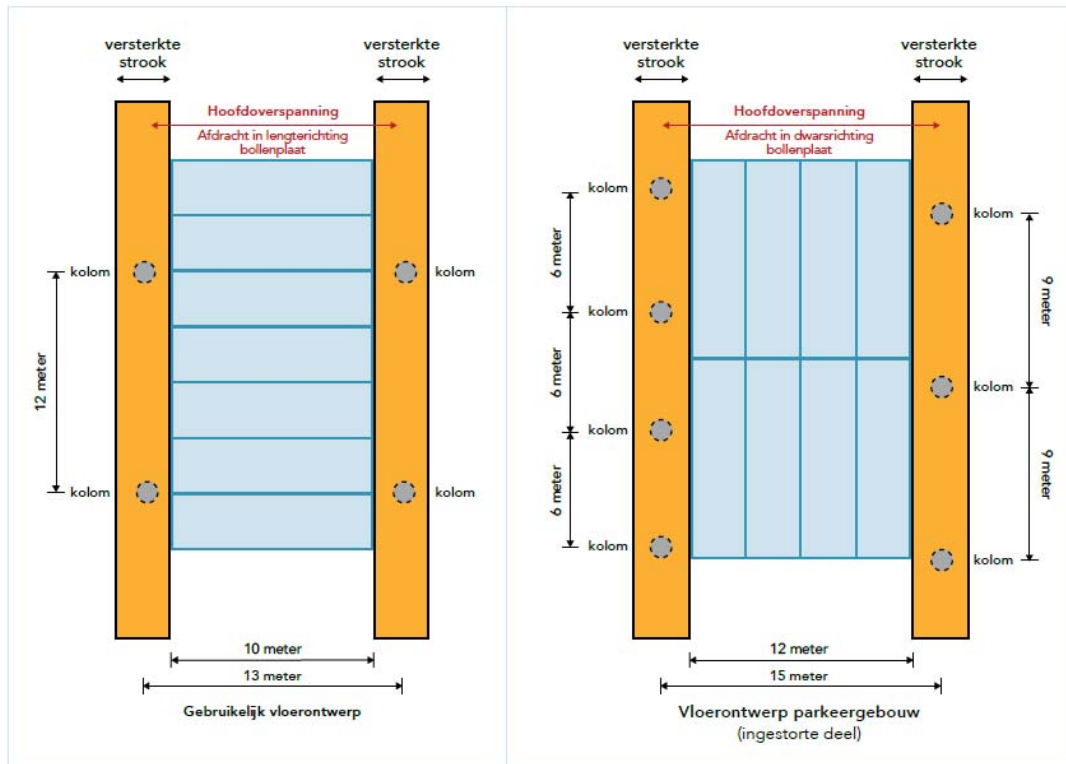
lengterichting van de tussenliggende breedplaten en vervolgens via versterkte stroken naar de kolommen wordt vervolgd. Dit is geen juiste voorstelling van zaken. De krachtsverdeling in een vlakke plaatvloer dient volgens de geldende regelgeving (artikel 5.5(7) van de door het Bouwbesluit 2012 aangestuurde NEN-EN 1992-1-1) te worden bepaald met behulp van de lineaire-elasticiteitstheorie. Dit is ook het geval als de vloer is vervaardigd met breedplaten. De naden tussen de afzonderlijke breedplaten hebben op de krachtsverdeling geen significante invloed.

Het gebruik van een krachtsverdeling op basis van de moerbint-kinderbint benadering is een krachtsverdeling die volgt uit een evenwichtsmethode. Deze krachtsverdeling zal pas als zodanig kunnen optreden na het optreden van scheurvorming die ingegeven wordt door de krachtsverdeling volgens de lineaire-elasticiteitstheorie. Naarmate de krachtsverdeling volgens de evenwichtsmethode meer afwijkt van die volgens de lineaire-elasticiteitstheorie zal de scheurvorming meer omvangrijk zijn.

Het beperken van de scheurvorming in de betonvloer is noodzakelijk voor de duurzaamheid van de constructie en voor het waarborgen van de ponscapaciteit van de vloer ter plaatse van de aansluiting met de kolommen.

Het gevolg van het toepassen van de lineaire-elasticiteitstheorie is dat bij het gebruik van bijvoorbeeld een vierkant stramien, zoals in het linkerdeel van het figuur, de buigende (positieve) momenten in het midden van de overspanning in beide richtingen van een gelijke orde van grootte zijn. Oftewel het moment dat over de plaatnaad tussen de breedplaten moet worden overgedragen is gelijk aan het moment dat in de overspanningsrichting van de breedplaten moet worden overgedragen. Ook hier heeft de breedplaat ter plaatse van de plaatnaad een significant positief moment te weerstaan.

Bij het constructief ontwerp van de vloeren van de parkeergarage, zoals vervaardigd door Opzeeland [7], is gebruik gemaakt van de krachtsverdeling volgens de lineaire-elasticiteitstheorie. De hoeveelheid koppelwapening die ter plaatse van de breedplaten is aangebracht, is afgestemd op de momenten die daar ter plaatse voor de vloer zijn bepaald.



figuur 1 Schets van een gebruikelijk vloerontwerp en het vloerontwerp parkeergebouw (bron: figuur 11 uit [4])

In figuur 1 zijn de verschillende wijzen waarop de breedplaten kunnen worden ingedeeld (het legplan) geschetst. Bij bestaande constructies is het legplan een gegeven. Anders dan bij het ontwerp van nieuwbouw, kan dit niet worden aangepast.

In het stappenplan wordt bij stap 2 aangegeven dat de krachtsverdeling in de vloerplaat moet worden bepaald en dat vervolgens moet worden nagegaan of er ter plaatse van de naad sprake is van positieve momenten. Deze aanwijzing is, tezamen met de geldende regelgeving, voor constructeurs voldoende om te kunnen nagaan of het ontwerp van de vloer en de daaruit volgende krachtsverdeling kan leiden tot de kritische situatie ter plaatse van de naden tussen de breedplaten. Het ontwerp van de vloer wordt daarmee al beschouwd. Een aanpassing van het stappenplan is ten aanzien van dit punt niet nodig.

3.3 Detaillering

Tussen het rapport van de OvV [4] en de eerdere rapporten van TNO en Hageman [1,2] bestaat geen verschil van mening over het gebrek aan capaciteit van de betonvloer ter plaatse van de naad tussen twee breedplaten. Wel is er verschil van inzicht over de meer specifieke aard van het gebrek. De OvV stelt eerst dat er drie elementen zijn die kunnen falen, de verankering van de koppelwepening door een te korte lengte, de verankering van de tralieligger en de aanhechting tussen de bovenzijde van de breedplaat en het ter plaatse gestorte beton. In de samenvatting van het rapport stelt de OvV dat de te beperkte lengte van de koppelstaven de oorzaak is dat de vloeren de aanwezige belasting niet konden dragen. De gebrekkige hechting wordt gezien als gevolg van het gebrek aan het ontwerp.

Naar aanleiding van de stellingen van de OvV kunnen een aantal zaken worden aangevoerd:

1. Bij de rekenkundige bepaling van de benodigde verankeringslengte door Horvat & Partners zijn een aantal factoren voor het vergroten van de basisverankeringslengte toegepast waarvan de achtergrond onduidelijk is of die niet bedoeld zijn voor het beschrijven van de capaciteit van de verankeringslengte. Op de door Horvat & Partners gegeven factor voor “afpellen breedplaat” na zijn deze factoren ook in [1] benoemd. Daarbij werd echter ook aangegeven dat niet alle factoren door middel van onderzoeksresultaten konden worden onderbouwd. Omdat de OvV de nadruk legt op de verankeringslengte van de koppelstaven, is tijdens het gesprek met de OvV op 12 november gevraagd naar de achtergrond voor de toeslag voor “afpellen breedplaat”. De OvV heeft hiervoor aanvullende informatie verstrekt. Dit betreft het artikel [6] waarin een toelichting is gegeven op eisen in de Duitse nationale bijlage bij EN 1992-1-1 voor de hier beschouwde situatie waarbij bij een breedplaatvloer in twee richtingen belastingen worden afgevoerd. Het artikel geeft echter geen duidelijke onderbouwing van het gestelde in het OvV rapport.
2. Juist om de invloed van het eventueel gebundeld zijn van de wapeningsstaven en het direct plaatsen van de wapeningsstaven op de breedplaten te onderzoeken, is besloten het in [2] beschreven experimentele onderzoek uit te voeren. Bij deze experimenten treedt er onthechting op tussen de breedplaat en de druklaag zonder dat er buigtrekscheuren in de druklaag van het beton zijn waargenomen. Door het ontbreken van deze scheuren moet worden gesteld dat bij het uitvoeren van deze proeven de koppelwapening niet effectief op spanning is gekomen en dat de verankering van de koppelwapening niet is getest en daarom ook niet kritisch was.
3. Een inventarisatie van soortgelijke vlakke plaatvloeren met breedplaten in andere bestaande constructies leert dat er ook bij andere constructies dan de parkeergarage geen significant grotere lengten voor de koppelstaven zijn toegepast. Deze detailleringwijze is een gegeven en het stappenplan moet een beoordeling van deze bestaande detailleringwijze bevatten. Het is daarom niet relevant de situatie bij significant grotere verankeringslengten te beschouwen.
4. Bij het uitvoeren van het nieuwe aanvullende onderzoek op andere configuraties van breedplaten, waarbij ook is uitgegaan van eerdere bij bestaande constructies toegepaste lengten van koppelwapeningsstaven, blijkt dat het bezwijken zoals in [2] is beschreven, ook daar voorkomt. Dit weliswaar bij een hogere relatieve belasting. Het bezwijken wordt daarbij ingeleid door het onthechten van het aansluitvlak. Gelijk aan de eerdere experimenten treedt het bezwijken op als de tralieliggers uit de breedplaat worden getrokken, zie foto 1 in de bijlage. Echter er zijn ook proefstukken beproefd waarbij het uiteindelijke bezwijken is ontstaan door het vloeien van het staal van de koppelwapening, zie foto 2 in de bijlage. In die gevallen was de verankeringslengte dus ruimschoots voldoende.

De resultaten van het nieuwe aanvullende nieuwe onderzoek onderbouwen dat niet de verankeringslengte van de koppelwapening de oorzaak is voor de geringe capaciteit van het detail maar de onvoldoende capaciteit van het aansluitvlak en de tralieligger gezamenlijk om in de situatie bij het maximale moment de krachten uit de koppelwapening over te dragen naar de wapening in de breedplaat. Het is daarom nog steeds relevant om vooral bij breedplaten waar sprake is van een beperkte hechting tussen de breedplaat en het ter plaatse gestorte beton naar de krachten in het aansluitvlak te kijken, zoals beschreven in stappen 4 en 5 van het stappenplan. Volgens het stappenplan wordt overigens de berekende capaciteit van de verbinding mede bepaald door de lengte van de aanwezige koppelstaven. In het stappenplan wordt daarmee de detaillering van de plaatnaden al goed beschouwd. Een aanpassing van het stappenplan is ten aanzien van dit punt niet nodig.

Het voorgaande laat onverlet dat er bij het ontwerp van nieuwe constructies er voldoende aandacht moet zijn voor alle aspecten die van invloed zijn op de volgens de regelgeving benodigde verankeringslengten.²

4 Samenvatting en conclusie

Naar aanleiding van het gedeeltelijk bezwijken van de parkeergarage bij Eindhoven Airport heeft de Onderzoeksraad voor Veiligheid in oktober 2018 een rapport [4] uitgebracht. In dit rapport is een opmerking opgenomen dat de focus van het Stappenplan, zoals dat door het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties middels [3] is gepubliceerd, verlegd dient te worden naar het ontwerp van de vloer en de detaillering van de plaatnaden. Op verzoek van het Ministerie is nagegaan of, en zo ja hoe dit gedaan zou kunnen worden. Ten behoeve daarvan heeft een gesprek plaatsgevonden met de OvV en is er overleg geweest met de leden van de door het Ministerie ingestelde klankbordgroep. Ook is gebruik gemaakt van de resultaten die inmiddels bekend zijn uit het nieuwe aanvullende onderzoek dat lopende is en dat meer inzicht geeft in de constructieve veiligheid van bestaande constructies met breedplaatvloeren.

De relevantie van de bevindingen uit het OvV-rapport over het ontwerp van de vloer van de parkeergarage en de detaillering van de plaatnaden voor de beoordeling van bestaande bouw, zoals in het stappenplan wordt gedaan, zijn beschouwd.

Als het gaat om het ontwerp wordt geconcludeerd dat de bevindingen van de OvV geen aanleiding geven voor aanpassingen van het stappenplan omdat het stappenplan (stap 2) al het ontwerp van de vloer en het legplan als uitgangspunt neemt bij de bepaling van de krachtsverdeling in de vloer en de ter plaatse van de breedplaatnaden optredende positieve momenten.

Ten aanzien van de detaillering van de plaatnaden wordt geconcludeerd dat op basis van de nu bekende gegevens er geen reden is om in het stappenplan andere zaken nader te beschouwen dan de krachten in het aansluitvlak, zoals dat nu reeds in het stappenplan wordt gedaan (stappen 4 en 5). De resultaten van nieuw aanvullend onderzoek bevestigen dat de verankeringslengte van de koppelwapening ter plaatse van de plaatnaden niet maatgevend is voor de beoordeling van de sterkte van bestaande gebouwen. Op basis hiervan kan ook geconcludeerd worden dat er geen reden is om resultaten van onderzoeken die overeenkomstig het stappenplan zijn uitgevoerd, te herzien.

Rijswijk, 5 december 2018

Prof.ir. S.N.M. Wijte

² Aanwijzingen voor nieuwe constructies zijn opgenomen in VARCE 12 [8] waarin constructeurs door de NEN subcommissie TGB Betonconstructies gewezen worden op het toepassen van bestaande regels uit NEN-EN 1992-1-1 voor het beschouwde detail.

Bronnen

- 1 TNO, Onderzoek naar de technische oorzaak van de gedeeltelijke instorting van de in aanbouw zijnde parkeergarage P1 Eindhoven Airport, TNO 2017 R11127, Delft 22-9-2017;
- 2 Adviesbureau Hageman, Bezwijken parkeergarage Eindhoven Airport – Analyse naar de oorzaak, Rapport 9663-1-0, Dossier 9663, Rijswijk, 25-9-2017.
- 3 Adviesbureau Hageman; Onderzoek constructieve veiligheid breedplaatvloeren in bestaande bouwwerken opgeleverd na 1999, Notitie 5-10-2017, Dossier 9780; Rijswijk, 5 oktober 2017;
- 4 Onderzoeksraad voor Veiligheid; Bouwen aan constructieve veiligheid – Lessen uit instorting parkeergebouw Eindhoven Airport, Den Haag, oktober 2018;
- 5 Onderzoeksraad voor Veiligheid; Technisch onderzoek parkeergebouw Eindhoven Airport – Bijlage C van het rapport Bouwen aan constructieve veiligheid, Den Haag, oktober 2018;
- 6 Furche, J. en Bauermeister, U, Flachdecken in Elementbauweise mit Gitterträgern - Hinweise zur Anwendung nach Eurocode 2, Beton- und Stahlbetonbau 109, Heft 11, 2014;
- 7 BV Adviesburo Opzeeland, Berekening 2015.1591 4B1/4B4, 4^e verdiepingsvloer – bouwdeel B, Vlijmen, 23-11-2016;
- 8 Cement, VARCE 12 - Detaillering aansluitvlak breedplaatvloeren - Vraag 39 - Aansluitvlak breedplaatvloeren, <https://www.cementonline.nl/varce-12-detaillering-aansluitvlak-breedplaatvloeren>, 28-9-2017.

Bijlage



foto 1 Bezijken door het door het onthechten van het aansluitvlak
(bron: Structures Laboratory Eindhoven TU/e)

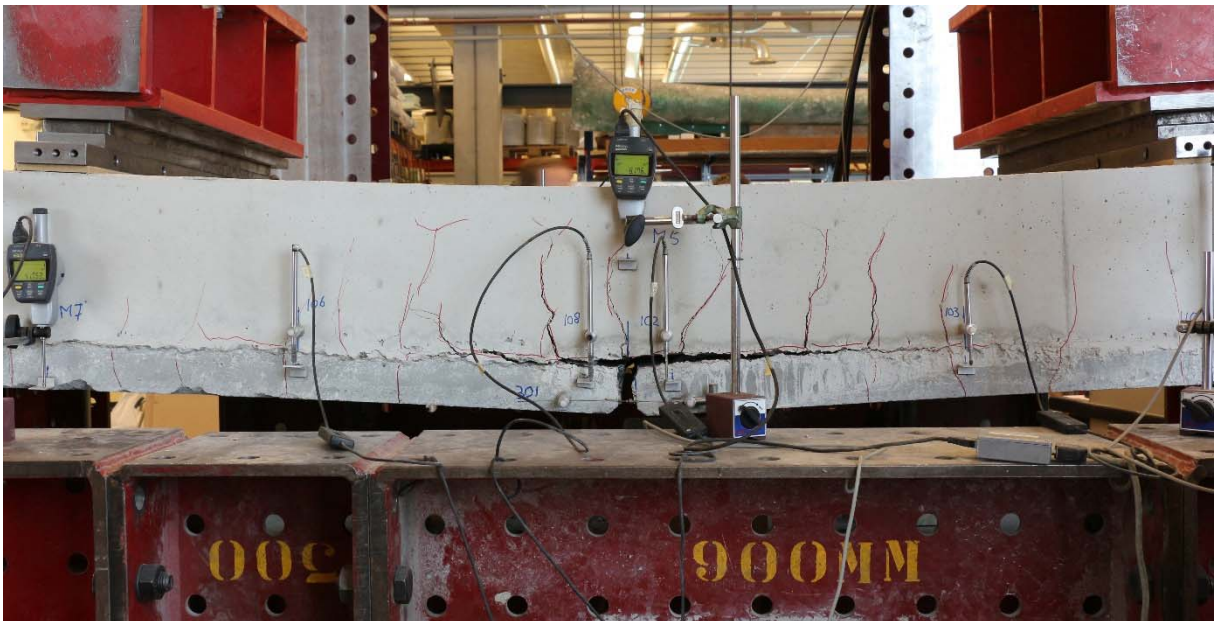


foto 2 Bezijken door vloeien van staal van de koppelwapening
(bron: Structures Laboratory Eindhoven TU/e)