

ONDERZOEK NAAR HET GEDEELTELIJK INSTORTEN VAN PARKEERGARAGE P1 EINDHOVEN AIRPORT

ir. Gerrie Dieteren, ir. Huibert Borsje – Stufib vergadering 4 oktober 2017



OPZET VAN HET ONDERZOEK

- › Analyse van
 - › de constructie (bouw en opbouw)
 - › de instorting (getuigenverklaringen en CCTV opnamen)
 - › het ingestorte gebouwdeel (identificatie onderdelen in ingestort deel)
- › Falsificatie en verificatie van de wijze van instorten
- › Start en oorzaak van de instorting (op basis van waarnemingen)
- › Constructieve analyse van de oorzaak van de instorting
- › Trigger voor de instorting (waarom op 27 mei 's avonds ingestort)
- › Conclusies van het onderzoek



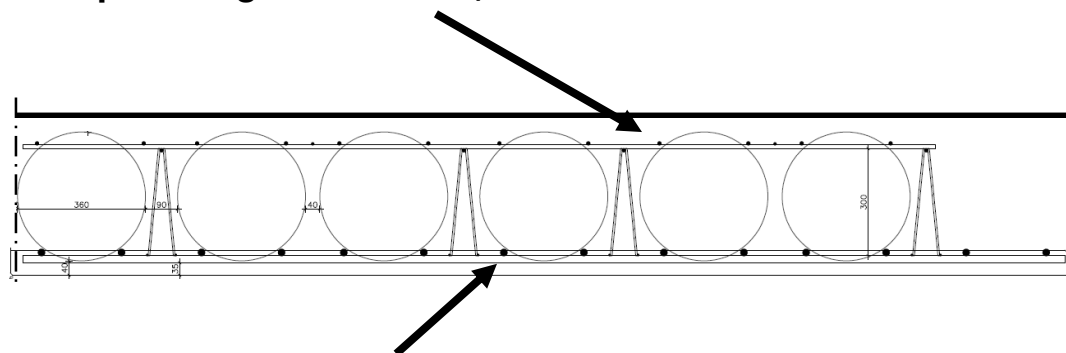
OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE



OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE - BOLLENPLAATVLOER



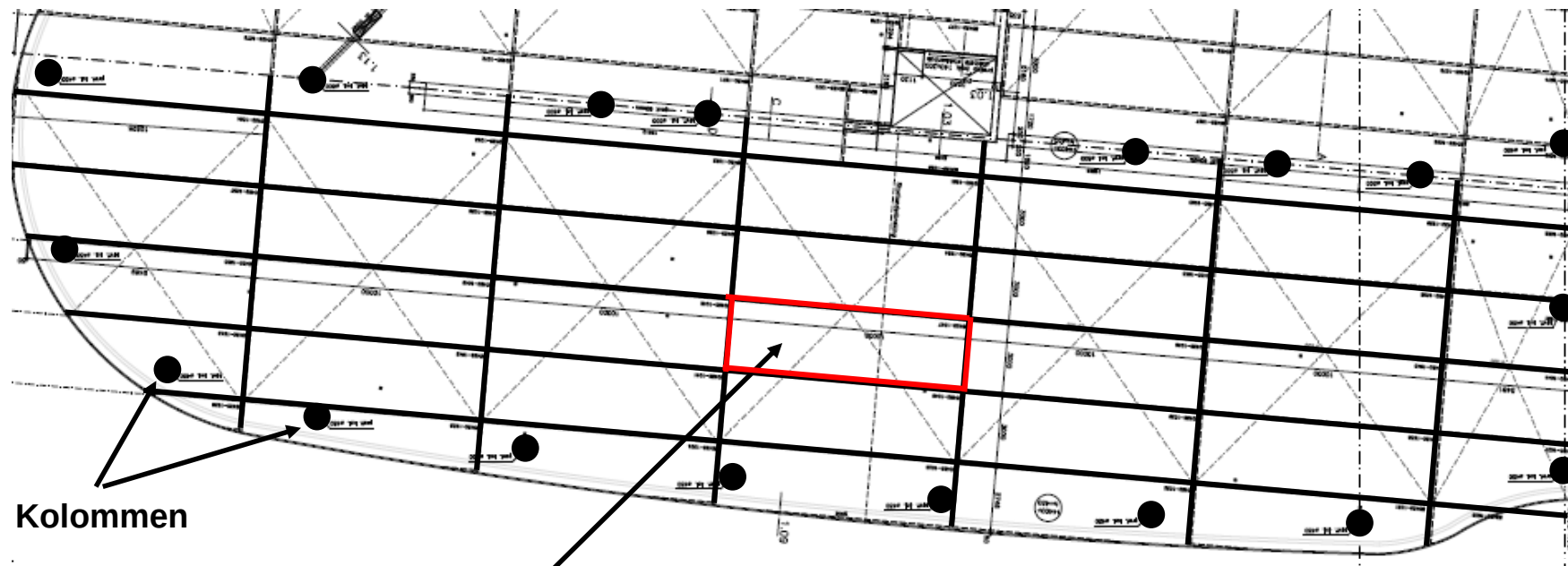
Ter plaatse gestort beton; totale vloerdikte 450 mm



Geprefabriceerde breedplaat van zelfverdichtend beton met daarin kunststof bollen

OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE - BOLLENPLAATVLOER

Dilatatie



Kolommen

Breedplaten van 10x3 m²

ANALYSE VAN DE INSTORTING

- › Verklaring van vier getuigen - unaniem:
 - › Instorting vond plaats van boven naar beneden

- › Opnamen beveiligingscamera's:
 - › Gebouw slechts gedeeltelijk zichtbaar
 - › Bevestiging van verklaring getuigen

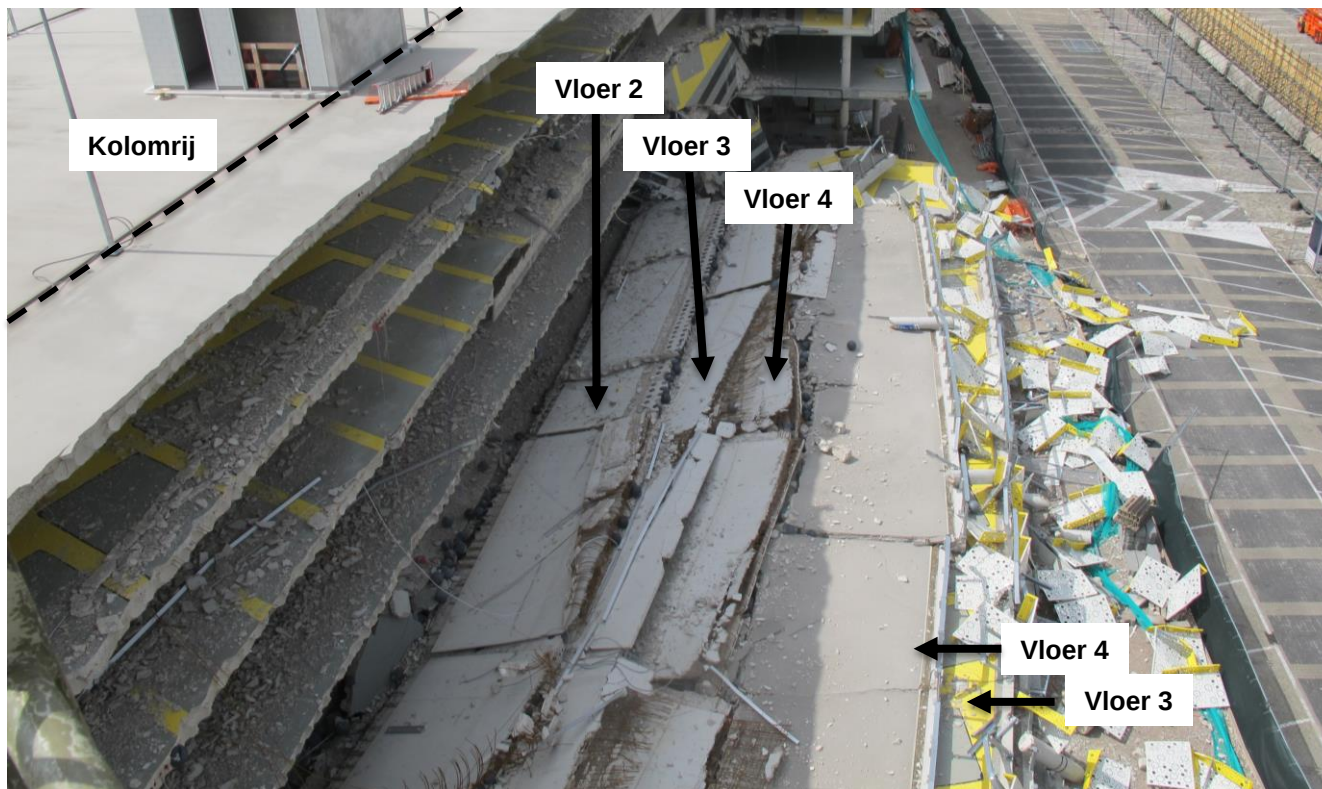
- › Vloeren draaien omlaag om buitenste kolomrij

ANALYSE VAN DE INSTORTING

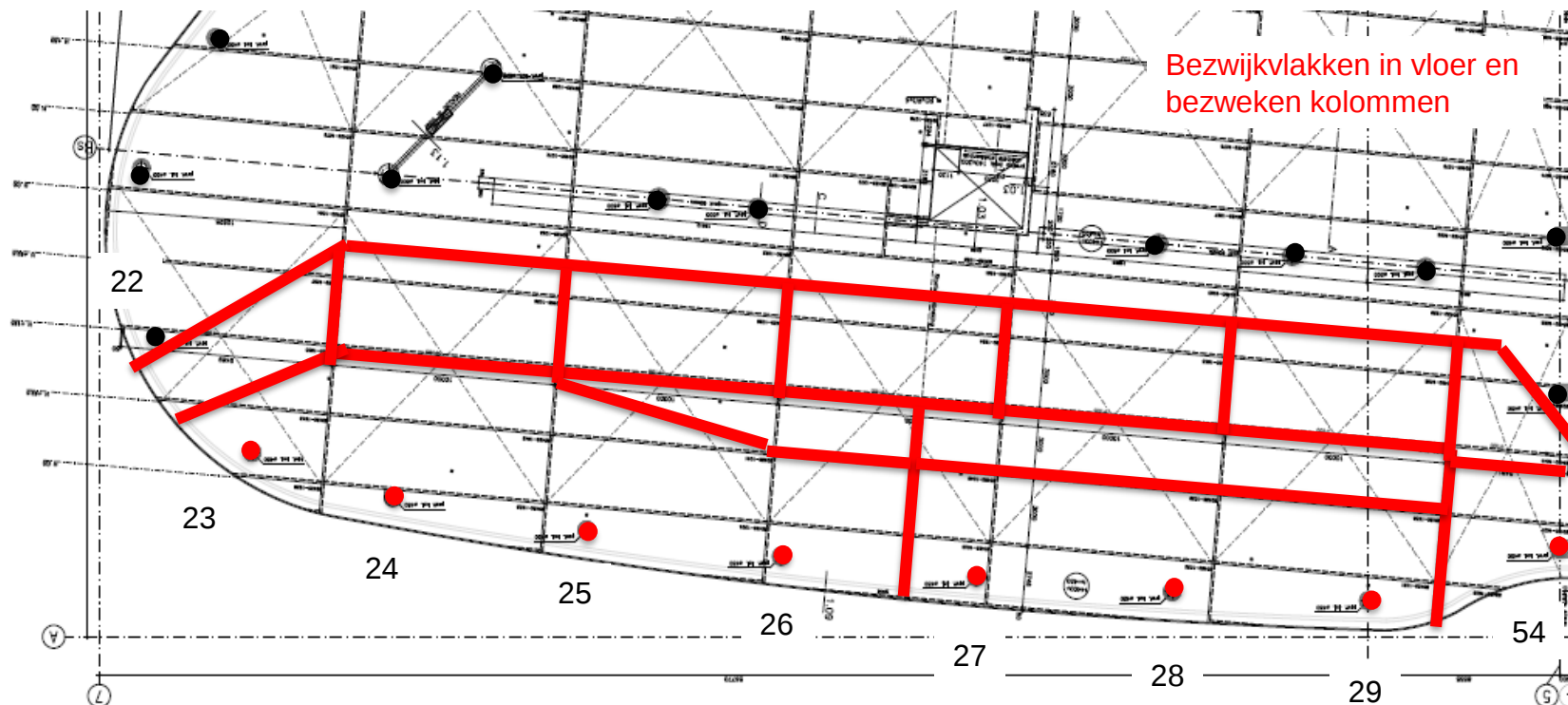


48618

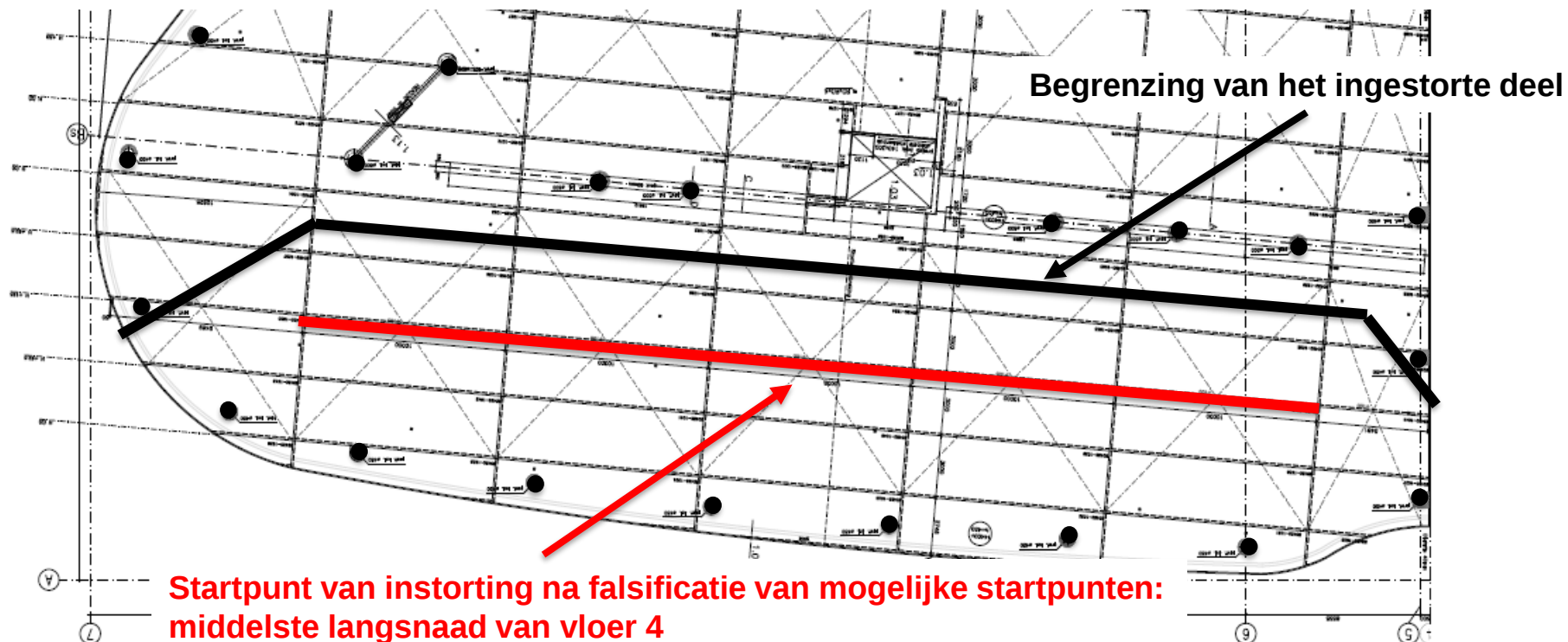
OVERZICHT VAN HET INGESTORTE DEEL



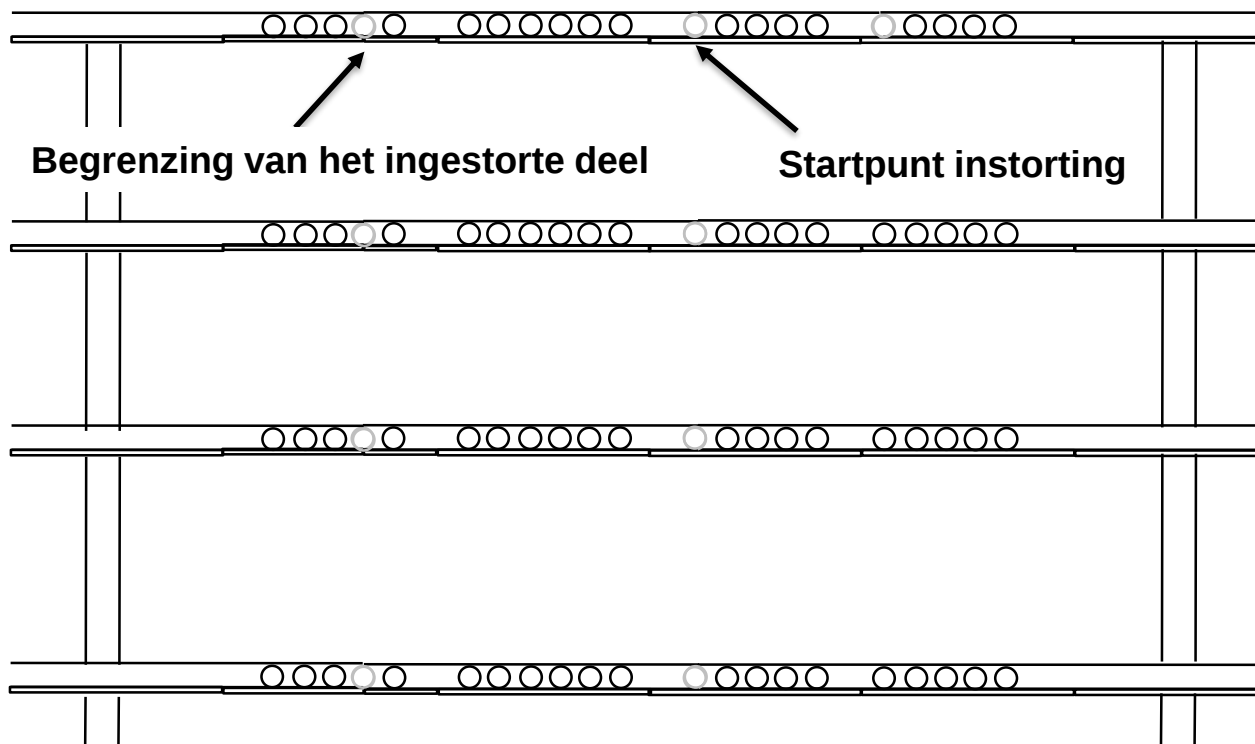
ANALYSE VAN HET INGESTORTE DEEL



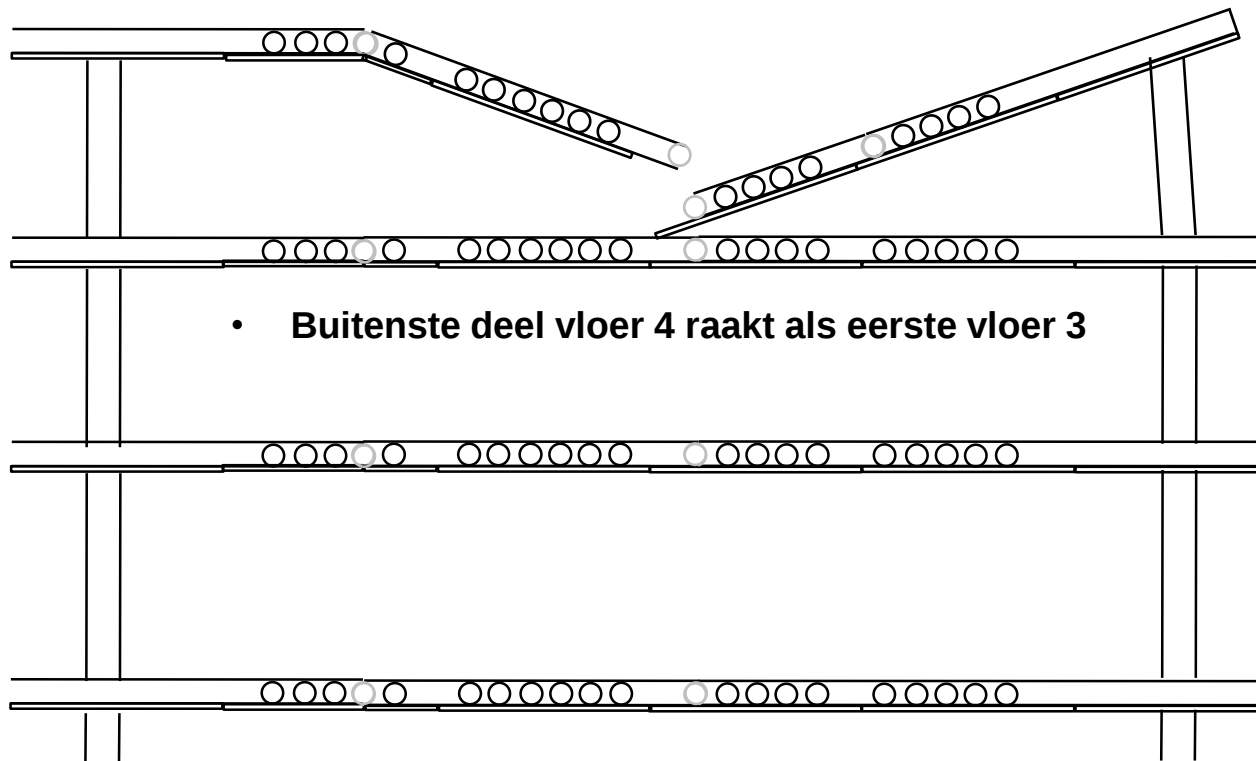
WIJZE VAN INSTORTEN - FALSIFICATIE



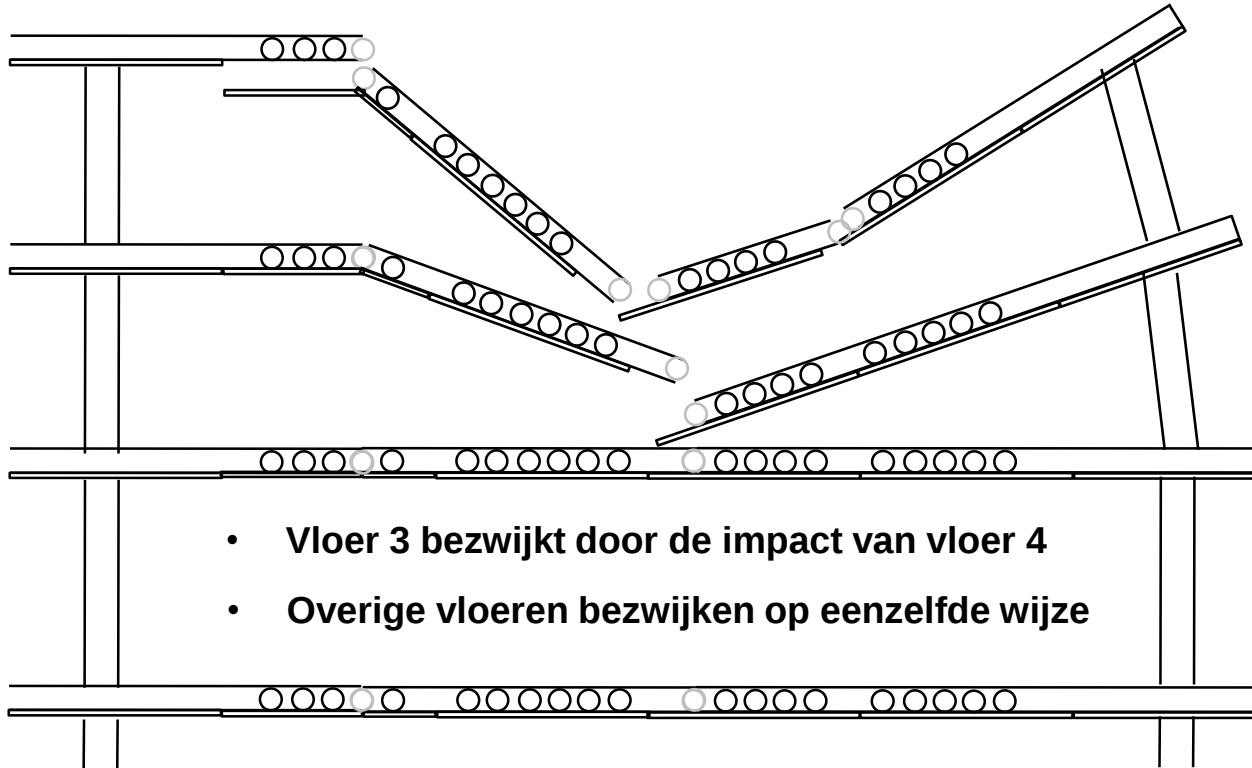
WIJZE VAN INSTORTEN - VERIFICATIE



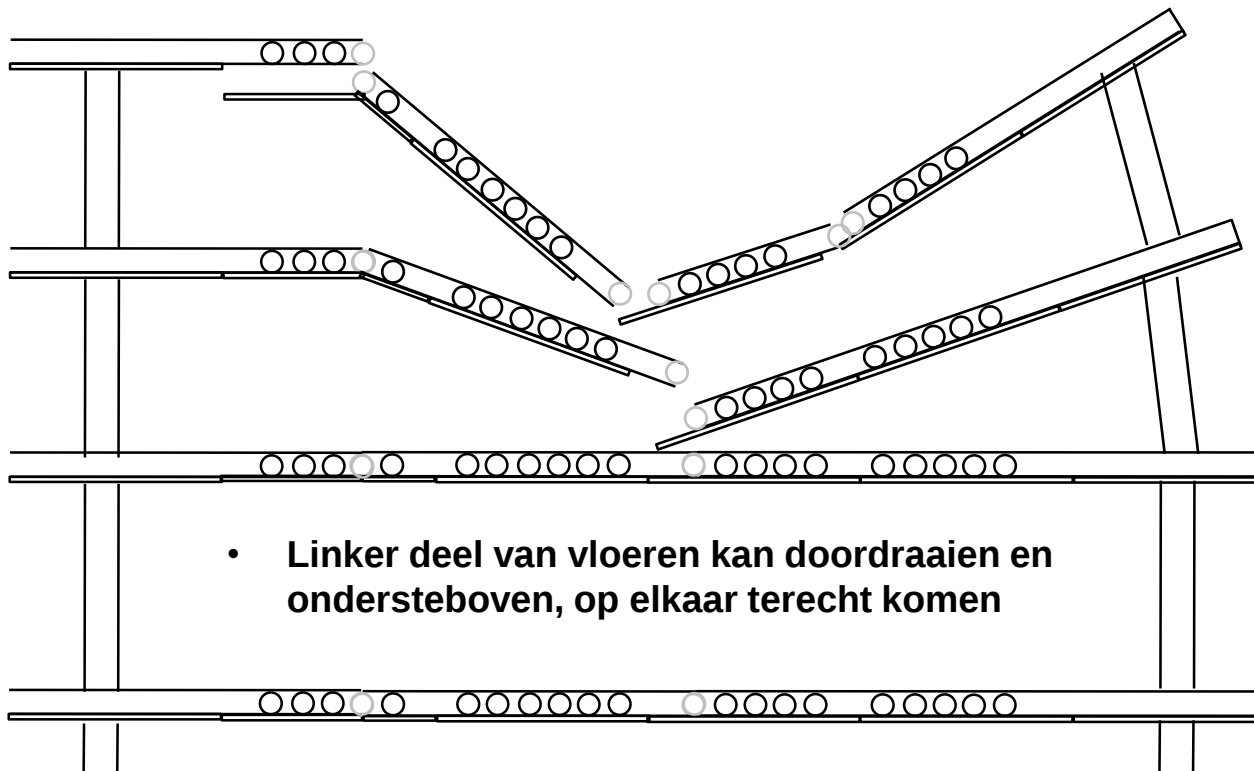
WIJZE VAN INSTORTEN - VERIFICATIE



WIJZE VAN INSTORTEN - VERIFICATIE



WIJZE VAN INSTORTEN - VERIFICATIE

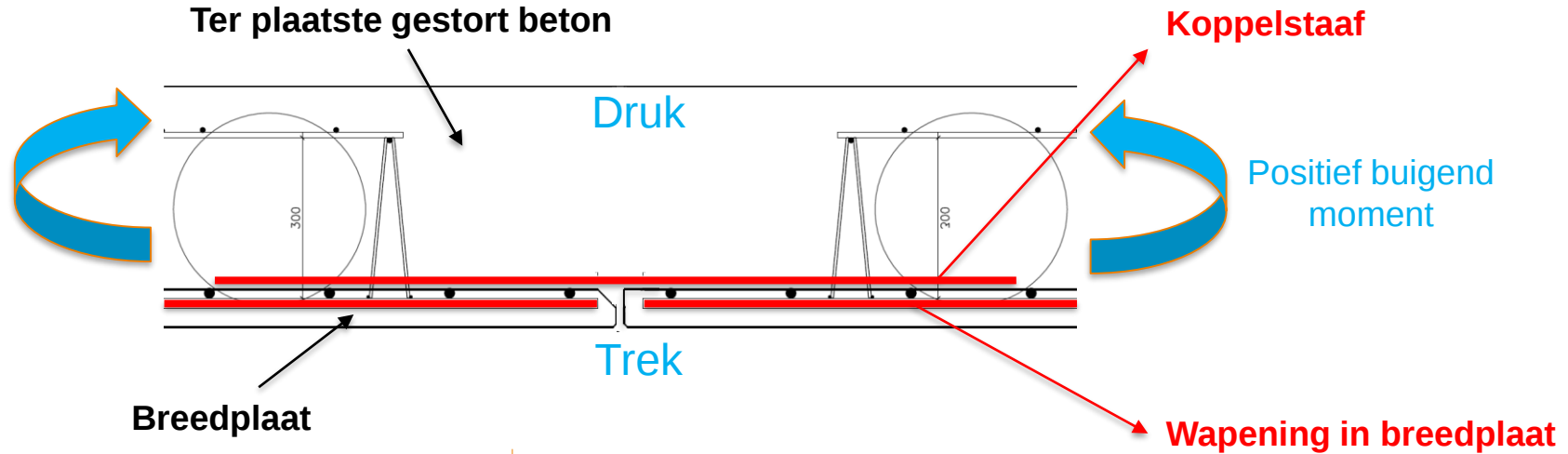


-
- Figure A2.1.20
- Rapportage constructu

4 oktober 2017

CONSTRUCTIEVE ANALYSE VAN DE OORZAAK

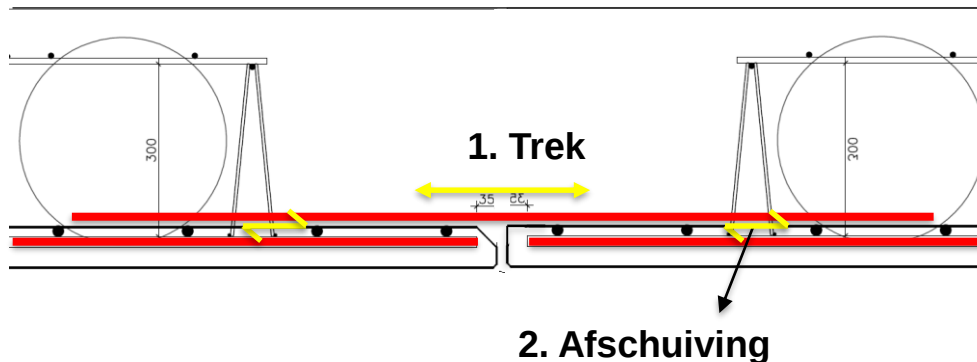
CONSTRUCTIEVE ANALYSE MIDDELSTE LANGSNAAD



CONSTRUCTIEVE ANALYSE MIDDELSTE LANGSNAAD

› Krachtsoverdracht van de ene breedplaat naar de andere:

1. Verankeringslengte van koppelstaven (“Trek”)
 - Koppelstaven moeten voldoende overlap hebben met wapening in breedplaten
2. Krachtsoverdracht vanuit wapening in breedplaat naar koppelstaven (“Afschuiving”)
 - Aansluiting van breedplaat aan ter plaatse gestort beton moet voldoende sterk zijn



CONSTRUCTIEVE ANALYSE - OVERLAPPINGSLASSEN

- › Verankeringslengte koppelstaven/overlappingslas in ontwerp berekend voor normale situatie, d.w.z. een in éénmaal gestorte betondoorsnede:
 - › Staven volledig omhuld met beton
 - › Te koppelen staven in één laag aangebracht
 - › Te koppelen staven gelijkmatig verdeeld over de breedte

J. Cairns - Bond and anchorage of embedded steel reinforcement in *fib Model Code 2010*

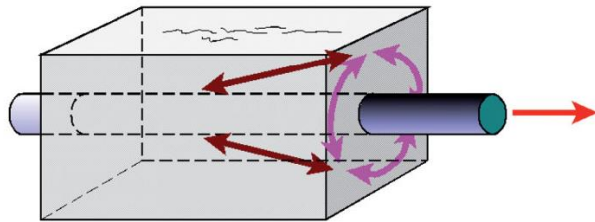


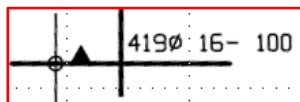
Fig. 1. Splitting mode of bond failure



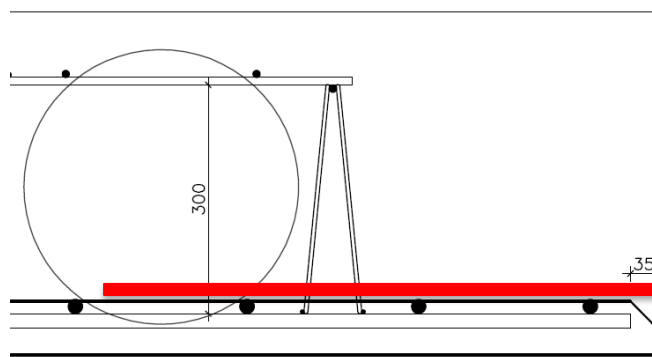
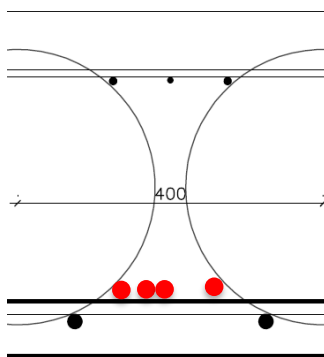
CONSTRUCTIEVE ANALYSE - OVERLAPPINGSLASSEN

Breedplaatvloer met bollen:

Ontwerp:



Uitvoering:



CONSTRUCTIEVE ANALYSE - AANSLUITVLAK

- › Toetsing volgens:
 - › NEN-EN 1992-1-1
 - › fib – Modelcode 2010

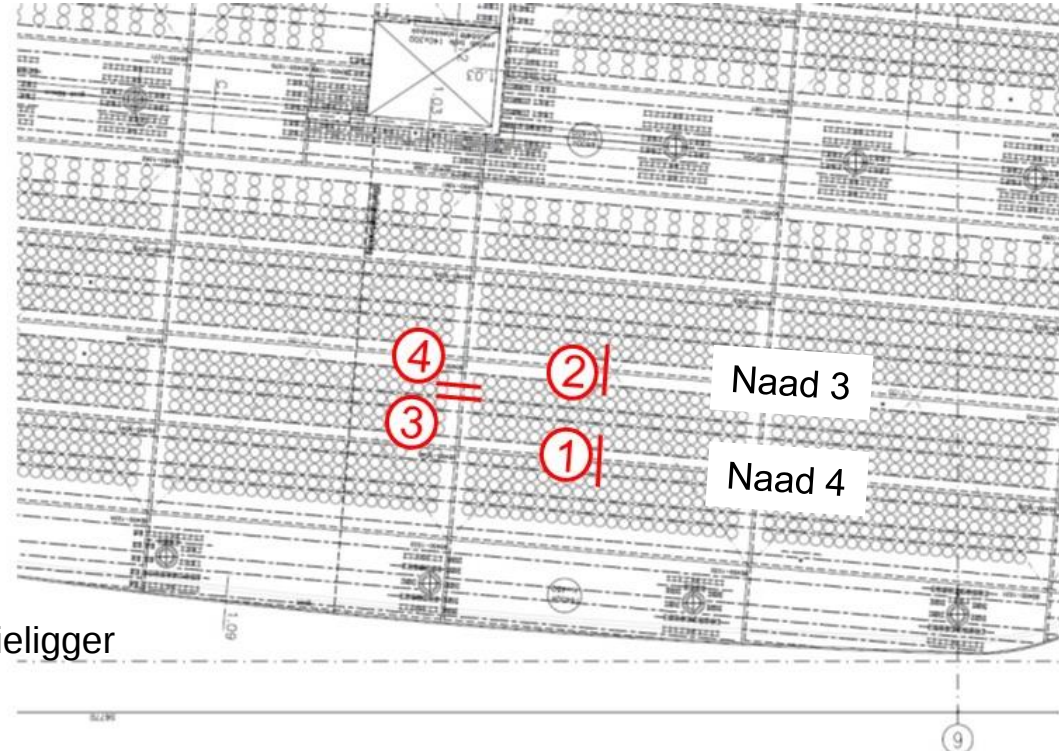
Toetssneden:

Langsnaden

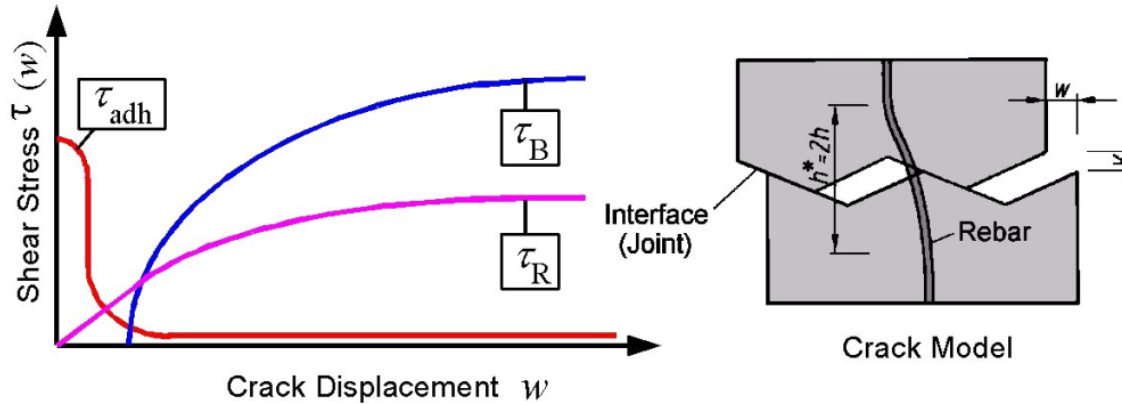
- › 1: Naad 4 (2 bollen in toetsvlak)
- › 2: Naad 3 startpunt bezwijken (1 bol)

Dwarsnaden

- › 3: Toetsvlak met mogelijke bijdrage tralieligger
- › 4: Toetsvlak zonder bijdrage tralieligger



WAAROM TOETSING VOLGENS MODELCODE 2010



$$\tau(w) = \tau_{adh}(w) + \tau_R(w) + \tau_B(w)$$

Adhesion

Shear Friction

Reinforcement

WAAROM TOETSING VOLGENS MODELCODE 2010

MC2010 approach for design of interface shear transfer

- Differentiation rigid / non-rigid behavior
- More precise definition of reinforcement effect

Rigid bond-slip-behaviour

$$v_{Rdi} = c_a f_{ctd} + \mu \sigma_n$$

Non-rigid bond-slip-behaviour

$$v_{Rdi} = c_r \cdot \frac{f_{ck}^{1/3}}{\gamma_c} + \mu \cdot \sigma_{nd} + \kappa_1 \cdot \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) + \kappa_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}} \leq \beta_c \cdot v \cdot f_{cd}$$

CONSTRUCTIEVE ANALYSE - AANSLUITVLAK

› Toetsing volgens NEN-EN 1992-1-1

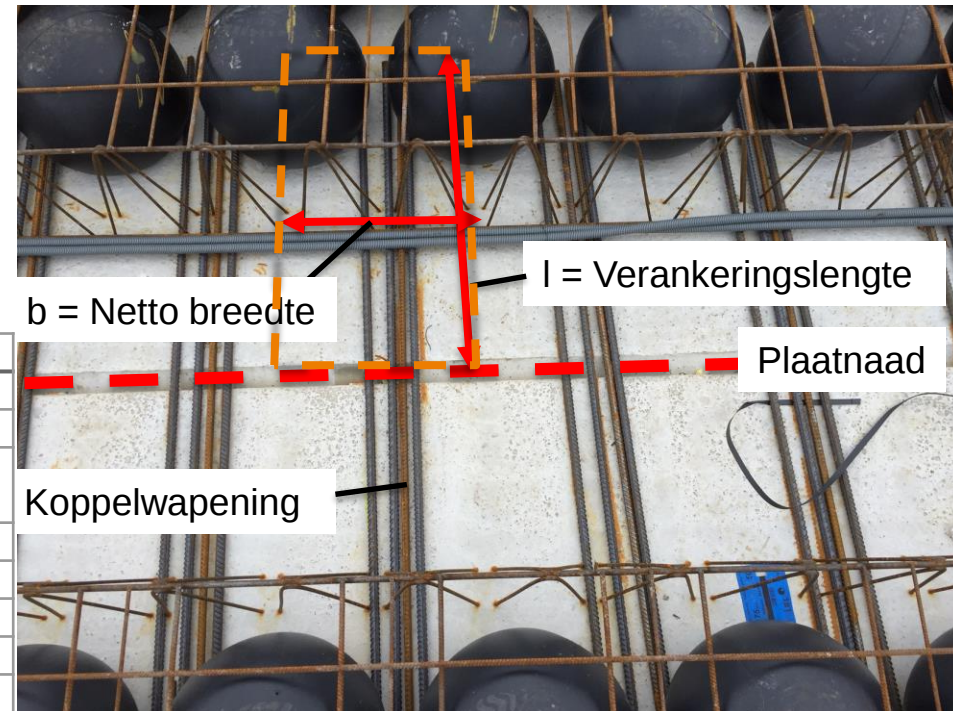
Uitgangspunten:

› $f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$; $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$

› Aansluitvlak: “glad” ; $c=0,2$; $\mu = 0,6$

› Opp. reductie /bol = 31102 mm^2

	Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4
l [mm]	775	775	625	625
b [mm]	400	400	450	450
Aantal bollen	2	1	½	½
Tralieliggers	10/6/6			geen
	8*ø6	8*ø6	8*ø6	-
α	60	60	60	-
Koppelwapening	3ø16 + 1ø10	4ø16	3ø12	3ø12

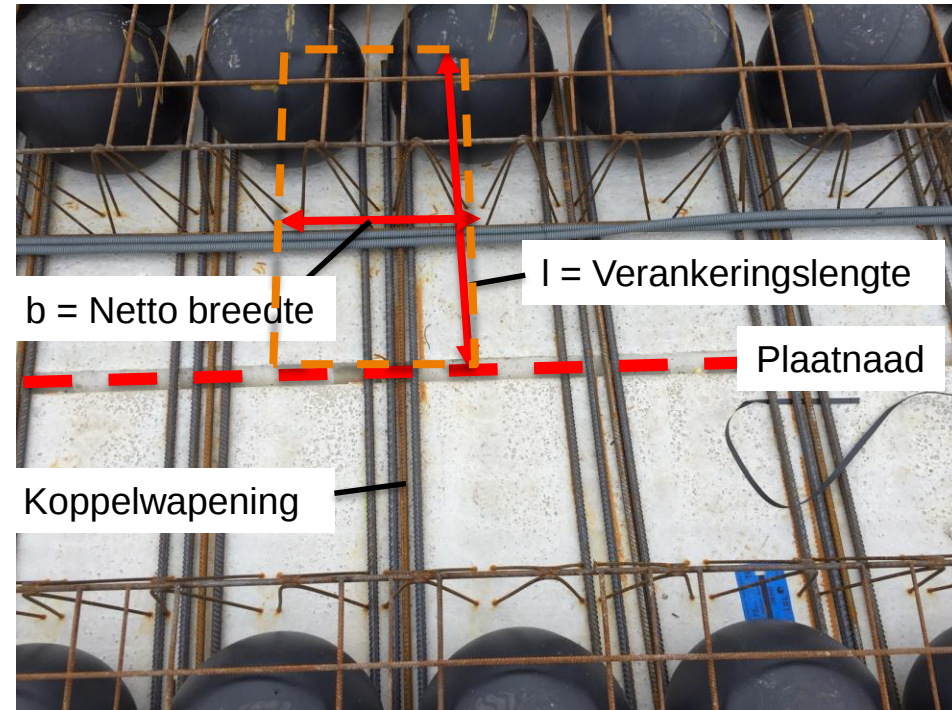


CONSTRUCTIEVE ANALYSE - AANSLUITVLAK

- › Toetsing volgens ModelCode 2010

Uitgangspunten:

- › $f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$; $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$
- › Aansluitvlak: "smooth"
 $c_a=0,2$ / $c_r=0$; $\kappa_1=0,5$; $\kappa_2=1,1$; $\mu = 0,6$
- › Overige parameters gelijk aan EN 1992-1-1



CONSTRUCTIEVE ANALYSE - AANSLUITVLAK

Ontwerpwaarden volgens NEN-EN 1992-1-1

Snedes		1	2	3	4
EN1992-1-1					
V_{Rdi}	[MPa]	0,50	0,48	0,49	0,30
V_{Rdi}	[kN]	124	134	130	80
V_{Edi}	[kN]	297	350	148	148
V_{Edi} / V_{Rdi}	[-]	2,38	2,61	1,14	1,85

Ontwerpwaarden volgens *fib* ModelCode2010

Snedes		1	2	3	4
ModelCode 2010		Rigid bond-slip			
τ_{Rdi}	[MPa]	0,30	0,30	0,30	0,30
V_{Rdi}	[kN]	74	84	79	79
V_{Edi}	[kN]	297	350	148	148
V_{Edi} / V_{Rdi}	[-]	3,99	4,18	1,85	1,85
		Non-rigid bond-slip			
τ_{Rdi}	[MPa]	0,15	0,13	0,14	-
V_{Rdi}	[kN]	38	38	38	-
V_{Edi}	[kN]	297	350	148	-
V_{Edi} / V_{Rdi}	[-]	7,88	9,30	3,92	-

CONSTRUCTIEVE ANALYSE - AANSLUITVLAK

- › **Koppelstaven liggen gebundeld / dicht bij elkaar**
 - › → onvoldoende omhulling → minder effectief
- › **Constructief gezien is betonsterkte bij “schrikken” maatgevend**
 - › → bij onvoldoende betonsterkte resulteert schrikken in onthechting van het aansluitvlak tussen ter plaatse gestort beton aan prefab schil => blijvende sterktereductie
- › **Breedplaatvloeren in zelfverdichtend beton zonder nabewerking**
 - oppervlakte classificatie “glad” of “zeer glad”?
- › **Tralieliggers relatief ver van rand gelegen**
 - effectiviteit tralieliggers mogelijk lager dan in ontwerpformules aangehouden
- › **Verankeringsdiepte tralieliggers**
 - › → effectiviteit tralieliggers bij dekking < $\emptyset$

CONSTRUCTIEVE ANALYSE – AANSLUITVLAK

INSCHATTING CAPACITEIT VERSUS OPTREDEND

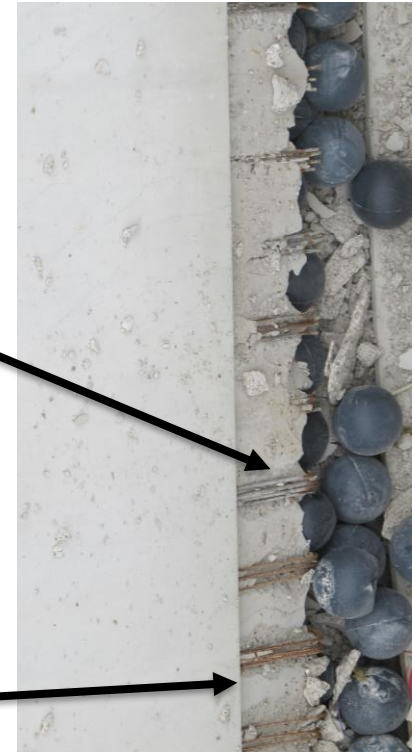
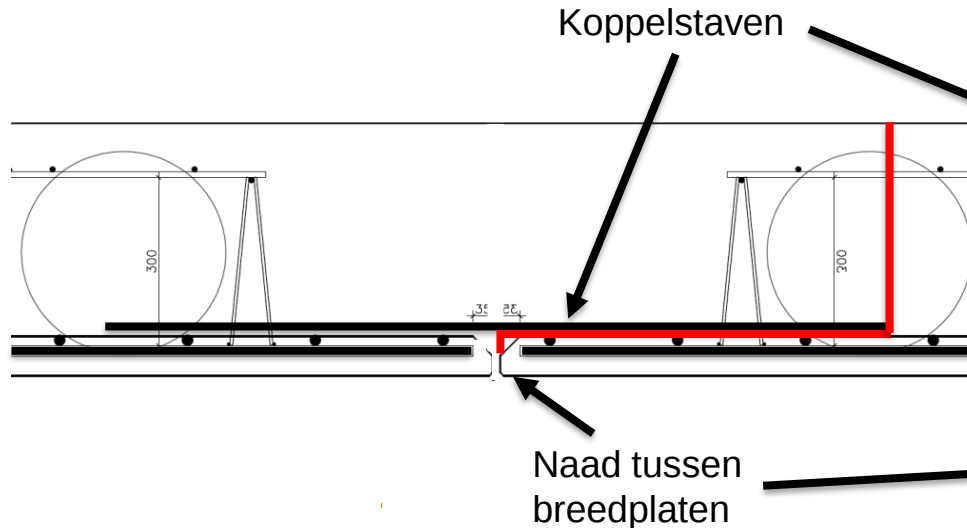
		Snede 1	Snede 2
Falen			
$V_{E,Perm}$	[kN]	145	160
$V_{E,temp}$	[kN]	35	51
$V_{E,max}$	[kN]	180	211
		Rigid bond slip	Rigid bond slip
Gemiddelde			
τ_{Rmi}	[MPa]	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0
V_{Rmi}	[kN]	124 – 248	139 – 279
$V_{E,max} / V_{Rmi}$	[-]	1,45 – 0,73	1,52 – 0,76

RESULTAAT VAN DE CONSTRUCTIEVE ANALYSE

- › Van de twee genoemde mechanismen was de sterkte van het aansluitvlak (2) maatgevend
- › De sterkte van het aansluitvlak voldeed niet aan de geldende normen (NEN-EN 1992-1-1 en aanvulling hierop voor bollenplaatvloeren via CUR Aanbeveling 86)
- › Beoordeling situatie ten tijde van de instorting (exclusief veiligheidsfactoren):
 - › Het falen van het aansluitvlak onder aanwezige belasting (permanent en temperatuur) was zeer goed mogelijk
- › Sterk bepalende factor voor de sterkte van het aansluitvlak was het gebruik van zelfverdichtend beton voor de breedplaten én het niet opruwen van dat beton

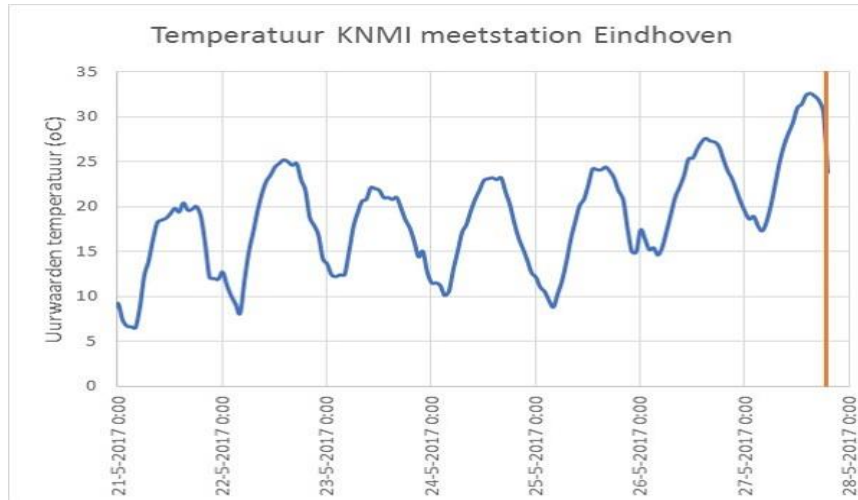
START VAN DE INSTORTING IN MIDDELSTE LANGSNAAD

- › Aansluitvlak ter plaatse gestort beton aan niet-opgeruwd, zelfverdichtend beton van breedplaat was niet in staat om optredende belasting op te nemen → breedplaat scheurt los
- › Aan einde koppelstaven gaat scheur verticaal omhoog → vloer bezwijkt



TRIGGER - TEMPERATUURBELASTING

- › 27 mei was de warmste dag sinds het storten van de vloer van de 4e verdieping
- › Zoninstraling resulteert in temperatuursverschil over de dikte van de vloer
- › Dit temperatuursverschil resulteert in extra trekspanningen in de onderzijde van de vloer
- › De extra trekspanningen zullen de trigger zijn geweest voor de instorting



EINDCONCLUSIES

Waar:

- › De instorting is gestart nabij de middelste langsnaad van de vloer van de 4^e verdieping

Waarom:

- › De oorzaak is vrijwel zeker het niet kunnen overbrengen van de trekkracht in de wapening van de ene breedplaat naar de andere breedplaat
- › Vrijwel zeker is de capaciteit van het aansluitvlak tussen het ter plaatse gestort beton en de breedplaat onvoldoende geweest
- › Er zijn geen aanwijzingen voor andere technische oorzaken welke tot de gedeeltelijke instorting van de constructie hebben geleid

Wanneer:

- › De trigger voor de instorting is vrijwel zeker de opwarming van de bovenzijde van de vloer van de 4^e verdieping door zoninstraling



› **BEDANKT VOOR UW AANDACHT**

Voor meer inspiratie:
TIME.TNO.NL

TNO innovation
for life