

EEM Analyse of viaduct Vlijmen-Oost

Johan de Boon



EEM Analyse of viaduct

- Viaduct Vlijmen-Oost
- ASR schade
- Proefbelasting
- Belfa voertuig
- 3D analyse viaduct
- 2D plaat analyse
- E-modulus
- Belastingsgevallen
- Belastingcombinaties
- Proefbelasting
- Doorbuiging
- Tot slot



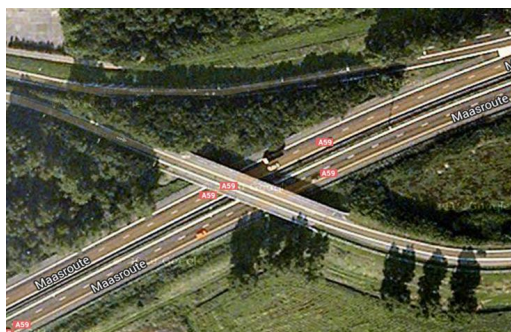
Viaduct Vlijmen-Oost

- Maasroute (A59) met ASR schade
- 10 jaar gemonitord (temp, vocht schade en uitzetting)
- Real life test
- Kosten besparing voor de toekomst



Viaduct Vlijmen-Oost

- Gebouwd 1960 voor levensduur van 80 jaar
- Statisch onbepaald
- Gewapend betonnen dek met 4 overspanningen.
- Lengte 69,6 m Breedte 12,2m hoek snelweg 50 graden

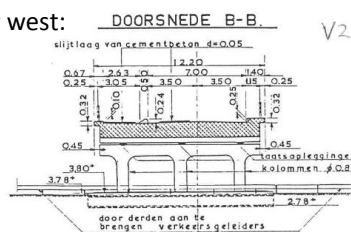


Viaduct Vlijmen-Oost



Originele ontwerp van de brug was van oost naar west:

- Schamprant met hekwerk
- 2 rijbanen
- Keerband
- Fiets/voetpad
- Schamprant met hekwerk



In 2002 gerenoveerd en gewijzigd naar

- Schampkant met hekwerk
- Brede vluchtstrook
- 1 rijbaan
- Schampkant met hekwerk



ASR schade



- Alkali (cement) Silica (zand) Reactie
- Reactie trekt water aan -> gevormde gel gaat zwellen
- Kan leiden tot scheuren, vervormingen en onveilige constructies
- Invloed ASR op sterkte nog vrij onbekend



Proefbelasting

- Non destructief
- Voldoende vertrouwen d.m.v. Numerieke Analyse
- Bereikbaarheid viaduct



Belfa voertuig

Wat is de restcapaciteit van het viaduct en is dit voldoende om nog 40 jaar bruikbaar te zijn?

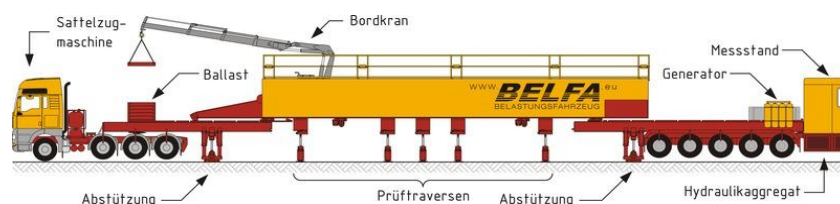
Hoofddoel proefbelasten:

- Aantonen dat draagkracht voldoende is i.c.m. EEM
- Ervaring opdoen

- Belfa (Belastungsfahrzeug)

- Transport 22.5m lang 2.75 m breed
- Eigen gewicht 800 kN
- Belasting direct af te halen (mits nodig)

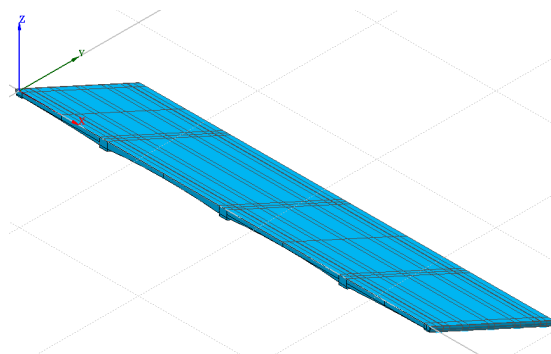
max proeflengte 18m
belastbaar tot 1400kN



3D analyse viaduct

Dit om voldoende vertrouwen te geven dat

- De Belfa het viaduct op kan
- De Belfa proefbelasting kan uitvoeren
- Brug open kan blijven voor het verkeer
- Wat de te verwachte resultaten van de proefbelasting zijn



3D analyse viaduct

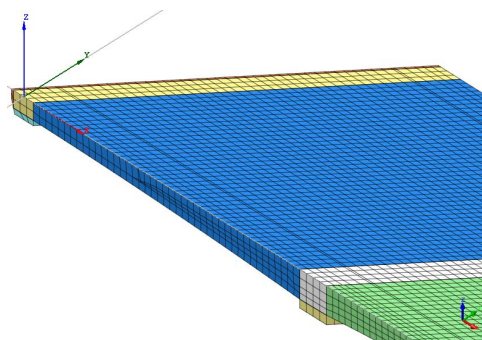
Opgebouwd uit

- HX24L (8 knoops isoparametrische blok elementen)
- TE12L (4 knoops 3 zijdes isoparametrische piramide elementen)

Zijkant gemodelleerd -> uitgetrokken in breedte richting

Overall mesh 30 cm

- Meerdere elementen over de hoogte
- Fijnere mesh beter



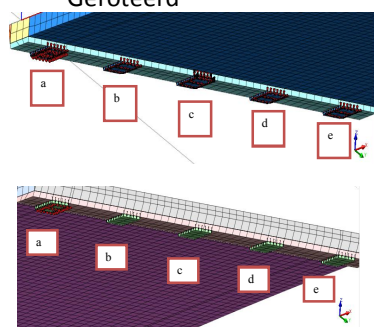
3D analyse viaduct

Eindbalken

Blokken hoge E-modulus met r.v.w.

Ondersteuning anders dan werkelijkheid:

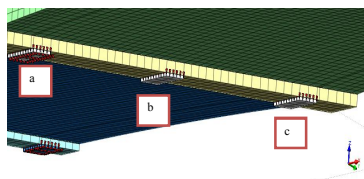
- Smaller
- Geroteerd



3D analyse viaduct

Middenbalken

Blokken hoge E-modulus met r.v.w.



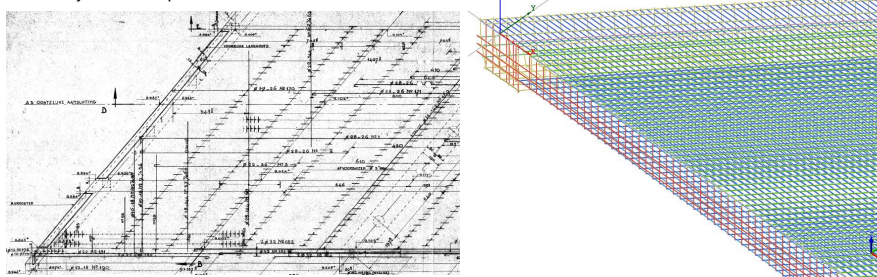
3D analyse viaduct

Mesh voor de helft ivm, symmetrie en tijd.

Boven en onderwapening in breedte i.p.v. y-richting

- Hoeveelheid werk
- Niet logisch lijkt één of meerder knik in staven van rond 28

Vb: een wapeningsstaaf beneden bij middenbalk in y richting, op een diepte van 1.185 vanaf de bovenkant en bij de eindbalk. Waar ie dan ongeveer eindigt heb je een hoogte van 0,585 m wat betekent dat de wapeningsstaaf buiten je beton loopt.

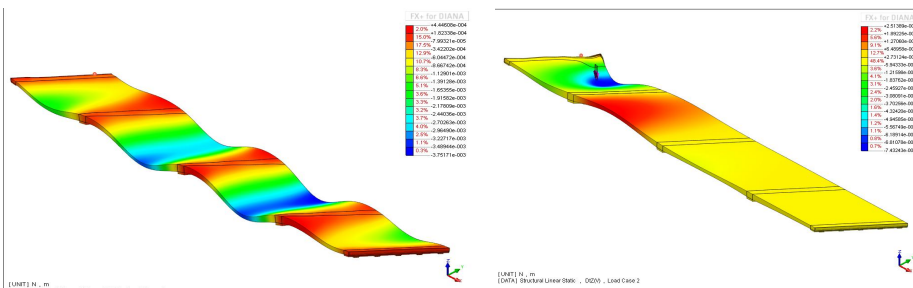


3D analyse viaduct

Zakkingen

- Eigen gewicht
- Wielprint

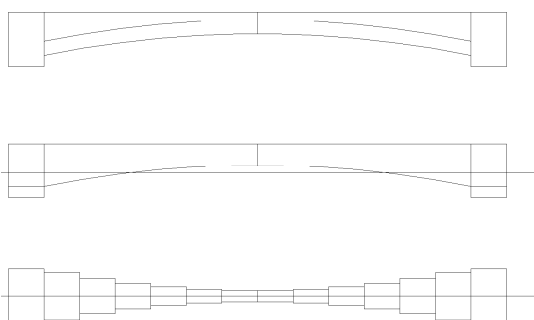
Interne krachten weergeven was niet mogelijk.



3D analyse viaduct

Enkele problemen ontstonden:

- Niet voldoende tijd voor volledig 3D model
- Momenten en dwarskrachten samengestelde elementen met verschillende dikte (Diana 6.4.4)
 - Neutrale lijn verschillend over de hoogte



2D plaat analyse

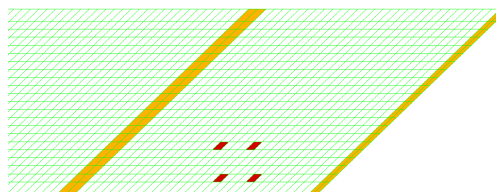
2D plaat element over een lijn

- Minder precieze schematisatie viaduct
- Wel momentenlijn etc

CQ40S elementen, 8 knoops kwadratische isoparametrische gekromde plaat elementen

Mesh formaat

- Destijds door TNO bepaald
- Ondersteuningen correcte plaats (als knoop)
- Wielprint



E-modulus

Voor constructieve analyse

- Gem gemeten cylinder druk sterkte van het beton is $F_{cm}=60,5\text{N/mm}^2$
- Eurocode met ASR geeft $E_{cm} = 37,75 \text{ Mpa}$

Tno rapportage maakte gebruik van 10 Mpa, 30% aannemelijk want:

- Vanwege lange termijn kruip
- Vele aanwezige scheuren

$$E_{cm} = 22 * \left[\frac{F_{cm}}{10} \right]^{0,3}$$

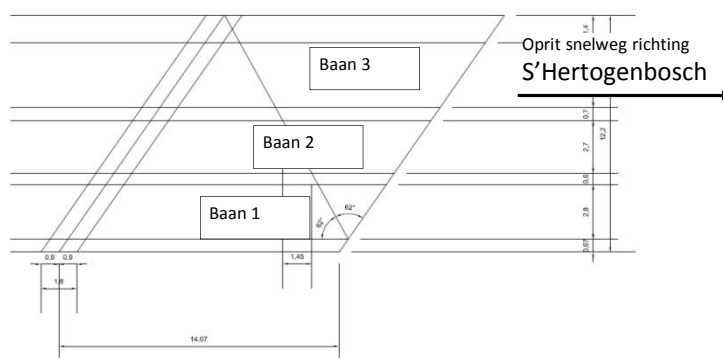
$$E_{cm} = 22 * \left[\frac{60,5}{10} \right]^{0,3}$$

$$E_{cm} = 37750 \text{ N/mm}^2$$

Belastingsgevallen

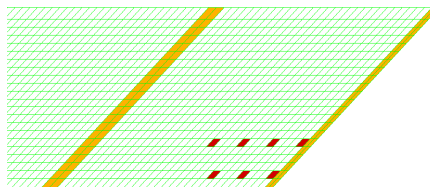
Tijdens belasten moet het veilig zijn voor verkeer om te passeren

- Indeling in 3 rijbanen, 3 is voor verkeer
- Belfa stap voor stap geplaatst



Belastingsgevallen

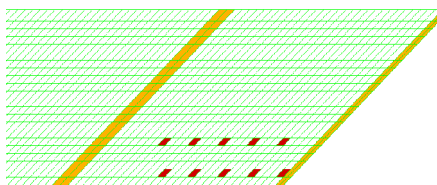
- Eerst achteruit over baan 2
- terug
- Achteruit over baan 1
1D afstand
- Gepositioneerd
- Plaatsen kraan



Force	500.000	N
Carried by	10	faces
Force per face	50.000	N
Area face	268375	mm ²
Wheel print	0.18630647	N/ mm ²

Belastingsgevallen

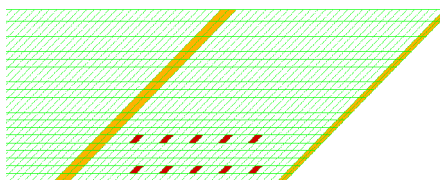
- Eerst achteruit over baan 2
- terug
- Achteruit over baan 1
1D afstand
- Gepositioneerd
- Plaatsen kraan



Force	500.000	N
Carried by	10	faces
Force per face	50.000	N
Area face	268375	mm ²
Wheel print	0.18630647	N/ mm ²

Belastingsgevallen

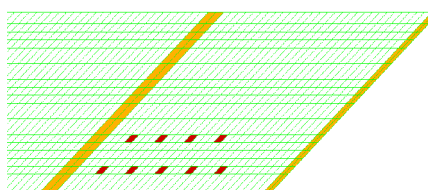
- Eerst achteruit over baan 2
- terug
- Achteruit over baan 1
1D afstand
- Gepositioneerd
- Plaatsen kraan



Force	500.000	N
Carried by	10	faces
Force per face	50.000	N
Area face	268375	mm ²
Wheel print	0.18630647	N/ mm ²

Belastingsgevallen

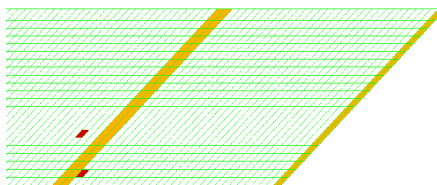
- Eerst achteruit over baan 2
- terug
- Achteruit over baan 1
1D afstand
- Gepositioneerd
- Plaatsen kraan



Force	500.000	N
Carried by	10	faces
Force per face	50.000	N
Area face	268375	mm ²
Wheel print	0.18630647	N/ mm ²

Belastingsgevallen

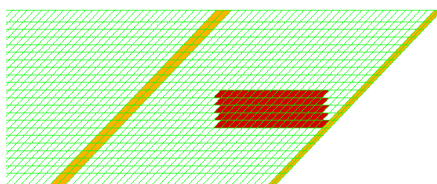
- Eerst achteruit over baan 2
- terug
- Achteruit over baan 1
1D afstand
- Gepositioneerd
- Plaatsen kraan



Force	500.000	N
Carried by	2	faces
Force per face	250.000	N
Area face	268375	mm ²
Wheel print	0.93153237	N/ mm ²

Belastingsgevallen

- Eerst achteruit over baan 2
- terug
- Achteruit over baan 1
1D afstand
- Gepositioneerd
- Plaatsen kraan
 - Zorgt voor uniforme verdeling van de verdeelde verkeersbelasting, uit norm bestaande constructies.



Force	450.000	N
Carried by	75	faces
Force per face	6000	N
Area face	268375	mm ²
Wheel print	0.02235600	N/ mm ²



		Selfweight	Belfa lane 1-A	Belfa lane 1-B	Belfa lane 1-C	Belfa lane 1-D	Belfa lane 2-A	Belfa lane 2-B	Belfa lane 2-C	Belfa lane 2-D	Belfa positioned	Crane on place	Bus lane 3-A	Bus lane 3-B	Bus lane 3-C	Truck lane 4-A	Truck lane 4-B	Truck lane 4-C	Truck moment test	Truck shear test	Bisection force 1	Belfa proofload 1
Load combination ↓		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Selfweight	1	1,05																				
	2	1,05	1,05																			
	3	1,05		1,05																		
	4	1,05			1,05																	
	5	1,05				1,05																
Belfa driving on lane 1	6	1,05					1,05															
	7	1,05						1,05														
	8	1,05							1,05													
	9	1,05								1,05												
Belfa driving on lane 2	10	1,05									1,05											
	11	1,05										1,05	1,05									
	12	1,05													1,25							
	13	1,05															1,25					
Belfa + crane + truck passing by	14	1,05										1,05	1,05					1,25				
	15	1,05											1,05	1,05	1,25							
	16	1,05												1,25								
	17	1,05													1,25							
Belfa + crane + bus passing by	18	1,5																	0,8			
	19	1,5																		0,8		
	20	1,05									0,84	1,05									1,05	
	21	1,05									0,63	1,05									2,1	
Increasing bisection force	22	1,05									0,42	1,05									3,15	
	23	1,05									0,84	1,05					1,25				1,05	
	24	1,05									0,63	1,05					1,25				2,1	
	25	1,05									0,42	1,05					1,25				3,15	
Increasing bisection force + truck passing by	26	1,05									0,4	1,05					1,25					1,05
	27																					1

Belastingscombinaties

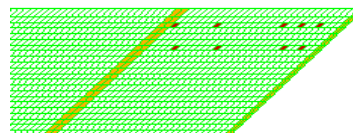
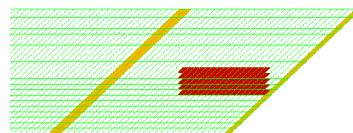
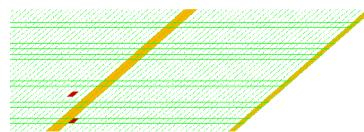
LC 13

- Eigen gewicht
- Belfa op plaats
- Kraan
- Vrachtwagen die voorbij rijdt

Checks uitgevoerd en vergeleken:

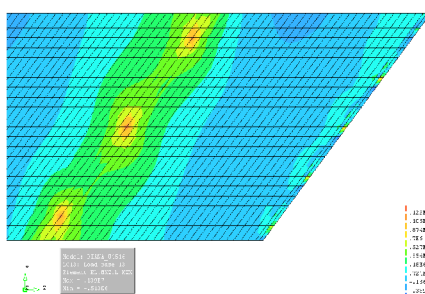
- Gem EEM dwarskracht hoger dan berekende ASR

Check	Unit	Acting Force			Capacity	
		Hand [1]	FEM max	FEM gem	intact	ASR
Punch	kN	100			2873	
Shear force slab passing truck at crossbeam 1	N/mm ²		0.496	0.388	0.47	0.36
Shear force slab passing bus at crossbeam 1	N/mm ²		0.4233	0.3314	0.47	0.36

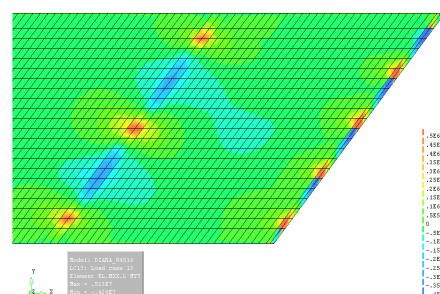


Belastingscombinaties

Mxx, LC13

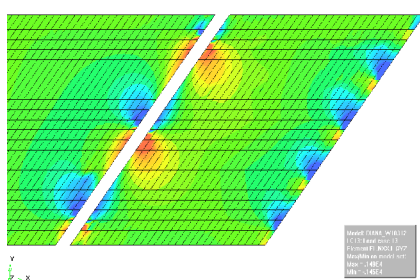


Myy, LC 13

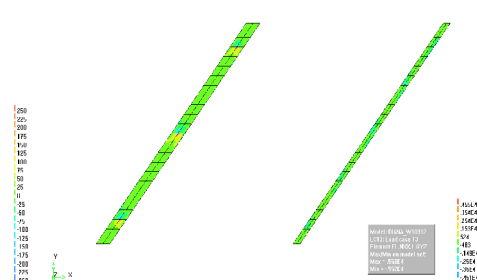


Belastingscombinaties

Qxy, LC13, slabs



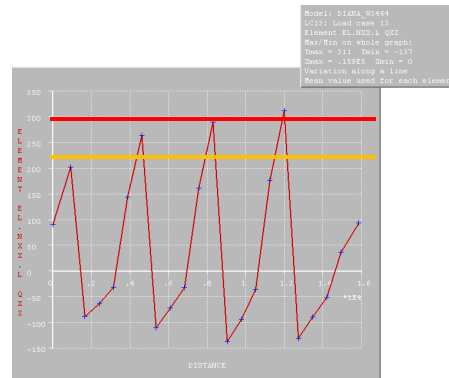
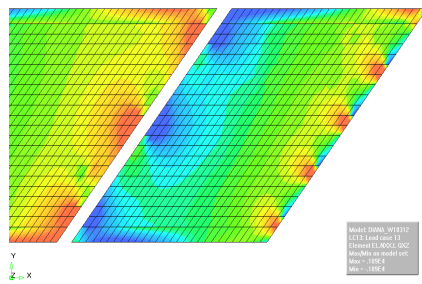
Qxy, LC 13, beams



Belastingscombinaties

Qxz max slab zit rechts tegen de beam aan.

- lijn geplot met deze waarden om kritiek punt te vinden
- Rood is maximale waarde dwarskracht intact
- Oranje is max waarde dwarskracht ASR beschadigd



Belastingscombinaties

Om capaciteitslijn intact viaduct te krijgen:

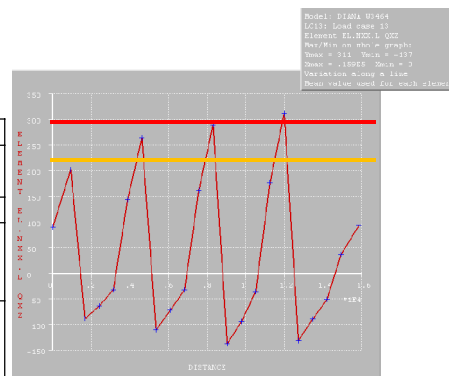
- Vermenigvuldigen met de dikte (0,47*626mm=296N/mm)

Om capaciteitslijn ASR beschadigd viaduct te krijgen:

- 75% van 296N/mm (=222N/mm)

$$\sigma = \frac{V}{b * d}$$

Check	Unit	Acting Force			Capacity	
		Hand [1]	FEM max	FEM gem	intact	ASR
Punch	kN	100			2873	
Shear force slab passing truck at crossbeam 1	N/mm ²		0.496	0.388	0.47	0.36
Shear force slab passing bus at crossbeam 1	N/mm ²		0.4233	0.3314	0.47	0.36



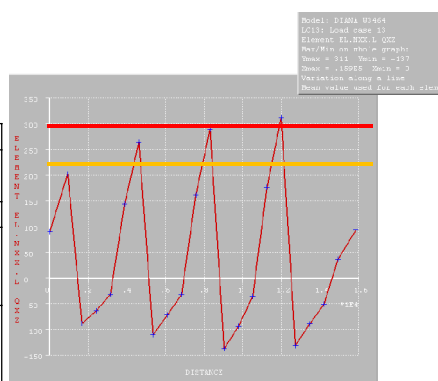
Belastingscombinaties

Vrij conservatief:

- 2 elementen ipv 3 voor gemiddelde
- 75% is conservatief ervaringsgetal (nog weinig over bekend)
- Design waarden van belastingen

Voldoende vertrouwen in testen met de Belfa

Check	Unit	Acting Force			Capacity	
		Hand [1]	FEM max	FEM gem	intact	ASR
Punch	kN	100			2873	
Shear force slab passing truck at crossbeam 1	N/mm ²		0.496	0.388	0.47	0.36
Shear force slab passing bus at crossbeam 1	N/mm ²		0.4233	0.3314	0.47	0.36



Proefbelasting

Nu Belfa veilig op plek, kan de proefbelastingen plaatsvinden:

- Buigend moment check
- Dwarskracht capaciteit check
- 2 Wielprint check



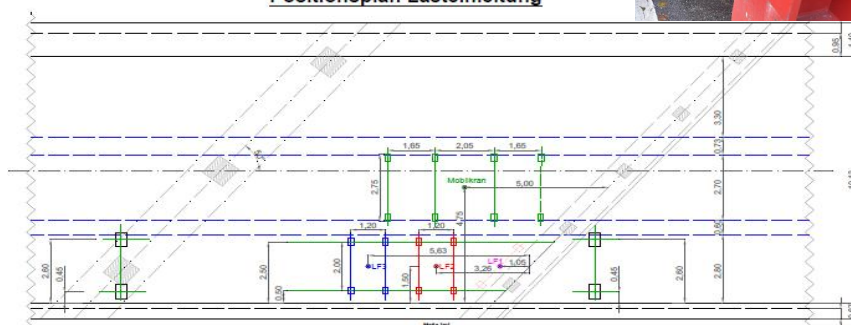
Proefbelasting

Nu Belfa veilig op plek, kan de proefbelastingen plaatsvinden

- Buigend moment check
- Dwarskracht capaciteit check
- 2 Wielprint check



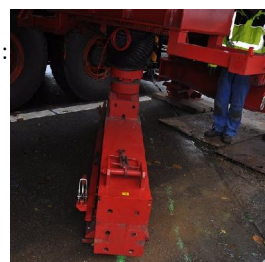
Positionsplan Lasteinleitung



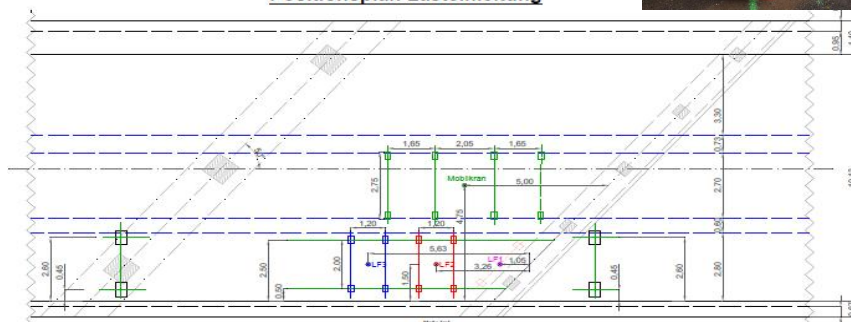
Proefbelasting

Nu Belfa veilig op plek, kan de proefbelastingen plaatsvinden:

- Buigend moment check
- Dwarskracht capaciteit check
- 2 Wielprint check



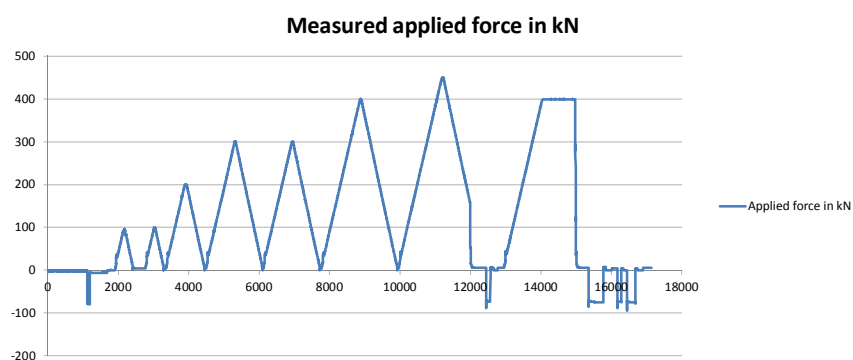
Positionsplan Lasteinleitung



Proefbelasting

Buigend moment check

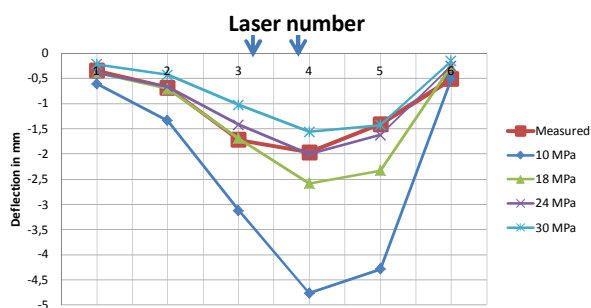
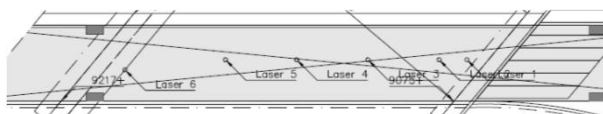
- Doorbuiging proefbelasting met EEM analyse
- Bevind constructie in lineair gebied?
- Belasting vasthouden om doorbuiging te meten



Doorbuiging

Exacte laser locatie is met lineaire interpolatie bepaald

- 10 Mpa
- 30 Mpa
- Vergrotingsfactor
 - 18 Mpa
 - 24 Mpa



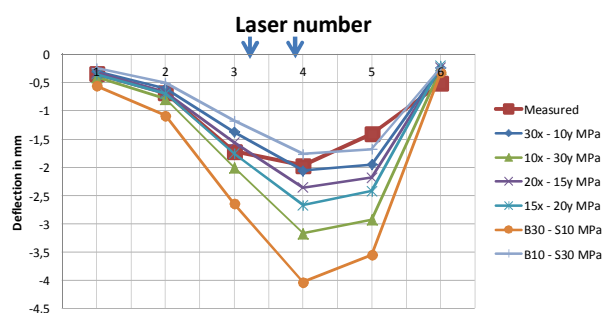
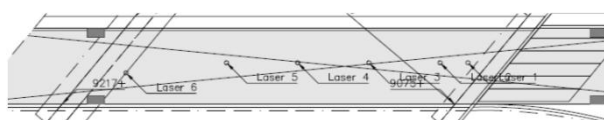
Doorbuiging

Gevarieerde E-modulus,

- X en Y-richting
- Beams en slabs

- 30x-10y Mpa
- B10 – S30 Mpa

Geen reden te suggereren dat E-modulus verschilt in de richtingen.



Tot slot

De proefbelasting is goed verlopen,

- Het viaduct is nog steeds intact
- Het verkeer had nauwelijks hinder aan ondervonden
- Het model tov de metingen leverde redelijke resultaten op

- Voor de toekomst wellicht een standaard procedure te maken voor dit soort type viaducten?