Gemeente Amsterdam

Bezoekadres
Weesperstraat 430
1018 DN Amsterdam

Postbus 12693
1890 AR Amsterdam
Telefoon 14 020
amsterdam.nl/ingenieursbureau

Memo

Aan	Verkeer en Openbare Ruimte (V&OR),
Van	a, Ingenieursbureau,
Kopie aan	
Datum	13 december 2018
Ons kenmerk	20614 / Brug 189
Bijlage(n	1 Rapportage funderingsonderzoek Nebest 2 Berekening en toetsing boven- en onderbouw 3 Overzicht functionele beperking rond Brug 189
Onderwerp	Advies functionele beperking rond Brug 189

Brug 189

Opsteller	Goedgekeurd en vrijgegeven	Paraaf	Datum
L. Ha			

Inleiding

Naar aanleiding van geconstateerde scheuren in het metselwerk bij Brug 189 is nader onderzoek uitgevoerd aan de brug. Het onderzoek bestond uit een bureaustudie, een constructieve visuele inspectie en funderingsonderzoek aan de houten palen. Verder is met de resultaten van het onderzoek een herberekening gemaakt van zowel de boven- als onderbouw van de brug.



Afbeelding 1. Aanzichtbrugdek met wegindeling en bovenaanzicht locatie

In deze memo worden de resultaten samengevat en een advies gegeven over de te treffen beheersmaatregelen. Hierbij is onderscheid gemaakt in beheersmaatregelen op de korte termijn en de lange termijn.

Samenvatting

Toetsing veiligheid van de brug

Brug 189 voldoet niet aan het minimaal vereiste wettelijke veiligheidsniveau (afkeurniveau).

	Technische staat	Herberekening op afkeurniveau
Bovenbouw	Goed	Voldoet
Onderbouw	Slecht	Voldoet niet

Door de ernstige aantastingen aan de houten palen zijn deze onvoldoende sterk om de paalbelastingen op te kunnen nemen. Doordat het niet een enkele paal betreft, maar 26 van de 40 onderzochte palen, is de conclusie dat de fundering niet voldoet op afkeurniveau. Wij adviseren de brug op te voeren voor renovatie of vervanging .

Beheersmaatregelen tot aan vervanging brug

In de periode tot aan renovatie of vervanging adviseren wij om op de kortst mogelijke termijn maatregelen te treffen om het risico op acute onveilige situaties te beheersen. Het volledig afsluiten van de brug heeft een grote invloed op de omgeving, waardoor wij, op verzoek van V&OR hebben gekeken naar welk verkeersspectrum op welke delen van de brug nog wel toelaatbaar is, gedurende de periode tot renovatie of vervanging.

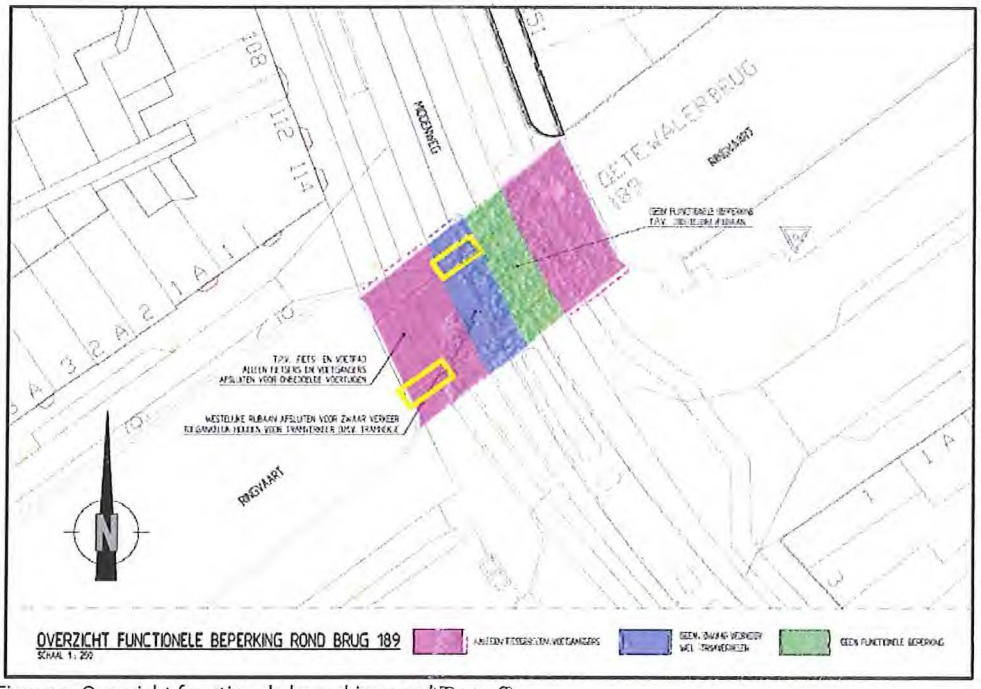
Gelet de staat van het metselwerk en de mogelijk tot herverdeling door brugdek en landhoofd, is acuut bezwijkgedrag, waar geen waarschuwing aan vooraf gaat, naar verwachting voldoende beheerst, mits de volgende beheersmaatregelen worden getroffen:

1. Fiets- en voetpaden afschermen van mogelijke wegverkeersbelasting.
2. De westelijke rijbaan afsluiten voor zwaar vrachtverkeer.

Aanvullend advies

1. Om voortschrijdende schade aan de brug te beperken adviseren wij om een snelheidsbeperking (stapvoets) in te stellen voor al het wegverkeer.
2. Om voorwaarde 2 te borgen adviseren wij om al het wegverkeer te weren van deze rijbaan in verband met handhaving.

In Figuur 1 is een overzicht gegeven van de functionele beperking rond de brug.



Figuur 1. Overzicht functionele beperking rond Brug 189

Beheersmaatregelen t.b.v. waarschuwing

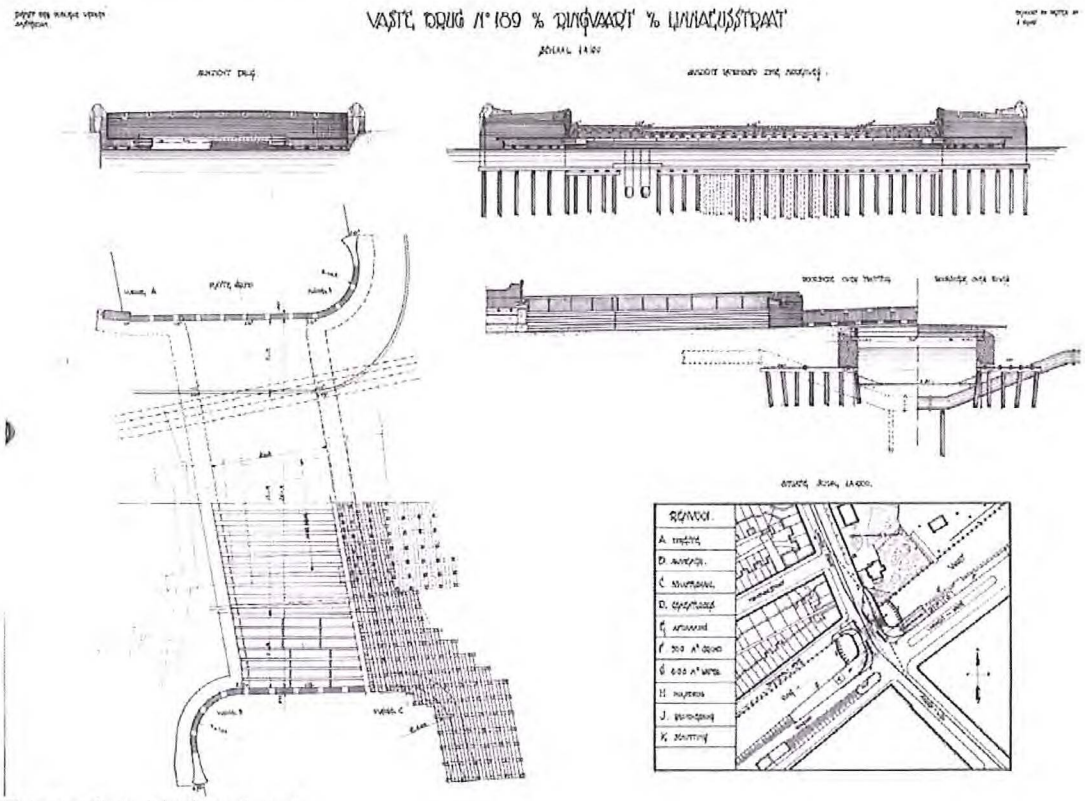
De risico's voor het bezwijken van de onderbouw zijn niet volledig beheerst met alleen de beheersmaatregelen op de korte termijn. Om het gedrag van de constructie op langere termijn in kaart te brengen en te bewaken, moet de brug gemonitord worden. Het doel van de monitoring is om tijdig mutaties van de bestaande schades en het ontstaan van nieuwe schademechanismen te constateren (waarschuwingen), die kunnen leiden tot het bezwijken van de onderbouw.
De volgende beheersmaatregelen dienen ook te worden genomen:

1. Bestaande scheuren monitoren (d.m.v. scheurmeters) met een frequentie van een keer in de twee weken voor de periode van de eerste komende zes metingen. Op grond van deze resultaten bepalen of de frequentie bijgesteld dient te worden. Een limietwaarde is nog niet gegeven omdat het bepalen van een limietwaarde een grote inspanning vergt. Wij adviseren om het besluit tot het bepalen van de limietwaarde af te laten hangen van de waarnemingen (progressie of stilstand van schades/scheurvorming).
2. Door middel van inspecties vaststellen van nieuwe schades. Op grond van de huidige nul-inspectie en de daaruit volgende resultaten, wordt geadviseerd om een herhalingsinspectie over zes maanden uit te voeren. Een limietwaarde voor het aantal nieuwe scheuren en de grootte hiervan zijn net als bij de bestaande scheuren nog niet bepaald. Wij adviseren om het besluit tot het bepalen van de limietwaarden, net als de bij de bestaande scheuren af te laten hangen van de waarnemingen.
3. Materiaalonderzoek doen aan de noordoostelijke overkluizing. Dit betreft een drietal betonboringen en beproeving en een wapeningscan.
4. Satellietmetingen raadplegen om de verticale zettingen te kunnen bepalen.

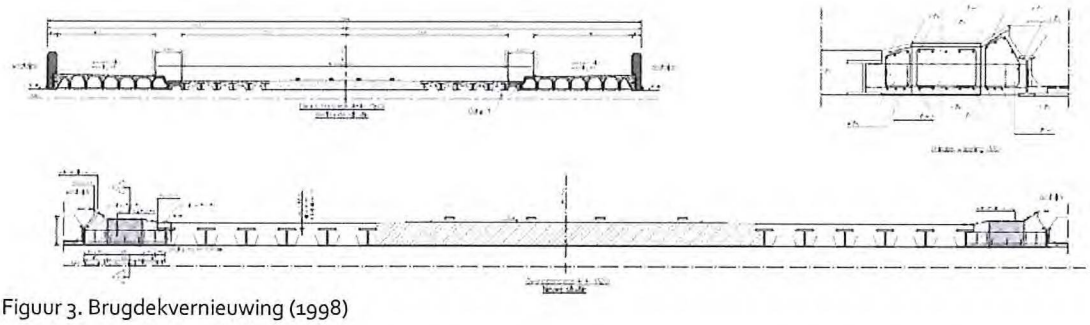
Resultaten onderzoek

Bureaustudie

De bouwtekeningen van de brug zijn in het stadsarchief opgezocht. Brug 189 is oorspronkelijk gebouwd in 1924. In Figuur 2 en Figuur 3 staan de globale doorsneden van de brug met benamingen van de verschillende onderdelen.



Figuur 2. Overzicht brug (1924)



Figuur 3. Brugdekvernieuwing (1998)

De brug dateert uit 1924. In 1998 is het brugdek lokaal vernieuwd, waarbij de fundering is gehandhaafd. Ter plaatse van de rijweg en trambaan is het brugdek vernieuwd met een gewapend betonnen plaat. De fundering is al bijna 100 jaar oud en bestaat uit houten palen. Onder de brug ligt aan de oostzijde een verdiepte zinker. Ter plaatse van de zinker zijn geen palen aanwezig. De wand van het landhoofd is hier lokaal overkluisd met een betonnen plaat.

Technische staat

Conclusie inspectie en materiaalonderzoek uitgevoerd door Nebest:

Op basis van de uitkomsten van de houtmonsteranalyse kan worden gesteld dat het toegepaste hout in matige staat verkeert. Van de 40 geanalyseerde monsters zijn er slechts 14 zonder (ernstige) vorm van aantasting, 19 van de palen hebben zelfs een lage druksterkte dan 5 N/mm2. Ter referentie: de onaangetaste palen hebben een druksterkte van ca. 14 tot 18 N/mm². De aantasting zal naar verwachting de komende 30 jaar toenemen met enkele millimeters.

Tijdens de visuele inspectie is in beide landhoofden een verticale scheur aangetroffen. Deze scheuren zijn vrijwel gespiegeld in beide landhoofden aangetroffen in het midden van de brug. De scheurwijdtes van de scheuren bedragen 18 mm voor het noordelijke landhoofd en 5 mm voor het zuidelijke landhoofd.

In het brugdek zelf, ter hoogte van de scheuren in de landhoofden, zijn geen scheuren aangetroffen. Er zijn wel gewicht toenemende aanpassingen aan het brugdek verricht (onder andere aanpassingen voor de trambaan), waardoor mogelijk (oorspronkelijke) scheuren niet meer waarneembaar of aanwezig zijn. Er zijn wel op meerdere locaties lekkagesporen aanwezig ter plaatse van de aansluiting tussen stalen liggers en landhoofden.

Herberekening

Het brugdek voldoet op afkeurniveau waarbij gerekend is met autoverkeer op het brugdek.
De onderbouw voldoet echter niet op afkeurniveau door de ernstige aantasting van de houten palen. De gevoeligheid van de verkeersbelasting op de paalbelasting is gecontroleerd om te kunnen bepalen wat de toename is op de totale paalbelasting. Hiermee kan gekeken worden wat nog wel toelaatbaar is aan verkeer op de brug. In onderstaande tabel zijn de maatgevende paalbelastingen weergegeven bij de verschillende combinaties.

Tabel 1. Paalbelastingen per belastingcombinatie

	Eigen gewicht brug + perm. bel	LM_1 (autoverkeer)	BM_4 (fietsers + voetgangers)	Trambelasting / autoverkeer zonder zwaar verkeer
Paalbelasting gem. eerste 2 rijen palen	**90 kN**	**140 kN***	**100 kN***	**100 kN***

** De paalbelastingen zijn inclusief het eigen gewicht van de brug en de permanente belastingen.*

Ter plaatse van het zuidelijk landhoofd is een overkluizing aanwezig in de vorm van een betonnen plaat met daarop ca. 2,2 m dekking grond. De wapening van de overkluizing aan de zuidzijde is bekend en de constructie is hiermee getoetst. Uit de berekening blijkt dat de betonnen plaat constructief voldoende sterk is.

Uit de resultaten van de herberekening en de technische staat van de houten palen blijkt dat bij 26 van de 40 palen de capaciteit bij het omslagpunt onvoldoende is. Het risico op bezwijken waar geen waarschuwing aan vooraf gaat is groter als de paalkop onvoldoende sterk is. Om de gevoeligheid hiervan te bepalen is per houtmonster de capaciteit aan de kop bepaald en getoetst aan de paalbelastingen behorende bij de verschillende situaties, zie Tabel 2.

Tabel 2. UC-waarden toetsing houten paalfundering; huidige situatie, functionele beperking en eigen gewicht brug

				Huidig gebruik		Functione beperking		Eigen gewicht brug	
				Paalbelasting	UC maatgevend	Paalbelasting	UC maatgevend	Paalbelas	UC maatgevend
LH zuid	voetpad	HM	1	100	0.19	100	0.19	90	0.17
LH zuid	voetpad	HM	2	100	0.23	100	0.23	90	0.21
LH zuid	voetpad	HM	3	100	0.16	100	0.16	90	0.15
LH zuid	voetpad	HM	4	100	0.19	100	0.19	90	0.17
LH zuid	voetpad	HM	5	100	0.95	100	0.95	90	0.85
LH zuid	rijweg oost	HM	6	140	24.74	140	24.43	90	10.26
LH zuid	rijweg oost	HM	7	140	0.30	140	0.30	90	0.20
LH zuid	rijweg oost	HM	8	140	8.94	140	8.96	90	3.69
LH zuid	rijweg oost	HM	9	140	0.61	140	0.61	90	0.39
LH zuid	rijweg west	HM	10	140	0.23	100	0.16	90	0.15
LH zuid	rijweg west	HM	11	140	0.62	100	0.44	90	0.40
LH zuid	rijweg west	HM	12	140	0.49	100	0.35	90	0.31
LH zuid	rijweg west	HM	13	140	0.95	100	0.68	90	0.61
LH zuid	rijweg west	HM	14	140	0.54	100	0.38	90	0.34
LH zuid	rijweg west	HM	15	140	0.86	100	0.62	90	0.55
LH zuid	voetpad	HM	16	100	0.25	100	0.25	90	0.23
LH zuid	voetpad	HM	17	100	38.34	100	35.34	90	17.40
LH zuid	voetpad	HM	18	100	3.79	100	3.73	90	1.48
LH zuid	voetpad	HM	19	100	4.56	100	4.50	90	3.69
LH zuid	voetpad	HM	20	100	4.09	100	4.09	90	3.31
LH noord	voetpad	HM	21	100	0.92	100	0.92	90	0.82
LH noord	voetpad	HM	22	100	0.85	100	0.85	90	0.77
LH noord	voetpad	HM	23	100	1.33	100	1.33	90	1.08
LH noord	voetpad	HM	24	100	0.30	100	0.30	90	0.27
LH noord	voetpad	HM	25	100	0.23	100	0.23	90	0.21
LH noord	voetpad	HM	26	100	0.95	100	0.95	90	0.85
LH noord	rijweg west	HM	27	140	3.66	100	1.87	90	1.51
LH noord	rijweg west	HM	28	140	4.19	100	3.24	90	1.82
LH noord	rijweg west	HM	29	140	0.51	100	0.37	90	0.33
LH noord	rijweg west	HM	30	140	11.24	100	5.73	90	4.64
LH noord	rijweg west	HM	31	140	1.77	100	0.95	90	0.85
LH noord	rijweg west	HM	32	140	0.73	100	0.52	90	0.47
LH noord	rijweg oost	HM	33	140	0.32	140	0.32	90	0.21
LH noord	rijweg oost	HM	34	140	0.39	140	0.39	90	0.25
LH noord	rijweg oost	HM	35	140	0.25	140	0.25	90	0.16
LH noord	rijweg oost	HM	36	140	0.27	140	0.27	90	0.17
LH noord	voetpad	HM	37	100	0.16	100	0.16	90	0.15
LH noord	voetpad	HM	38	100	0.19	100	0.19	90	0.17
LH noord	voetpad	HM	39	100	0.22	100	0.22	90	0.20
LH noord	voetpad	HM	40	100	0.45	100	0.45	90	0.41
				11	28%	10	25%	10	25% UC > 1,0
				11	28%	9	23%	7	18% 0,5 > UC < 1,0
				18	45%	21	53% UC < 0,5	23	58% UC < 0,5

In Figuur 4 is aangegeven bij welke palen de sterkte aan de paalkop is overschreden als er een paalbelasting op komt te staan die daar kan optreden (rode stippen [1]U.C. > 1,0). De palen kleuren oranje als de U.C.-waarden tussen de 0,5 en 1,0 is. De palen met een U.C.-waarde < 0,5 kleuren groen.

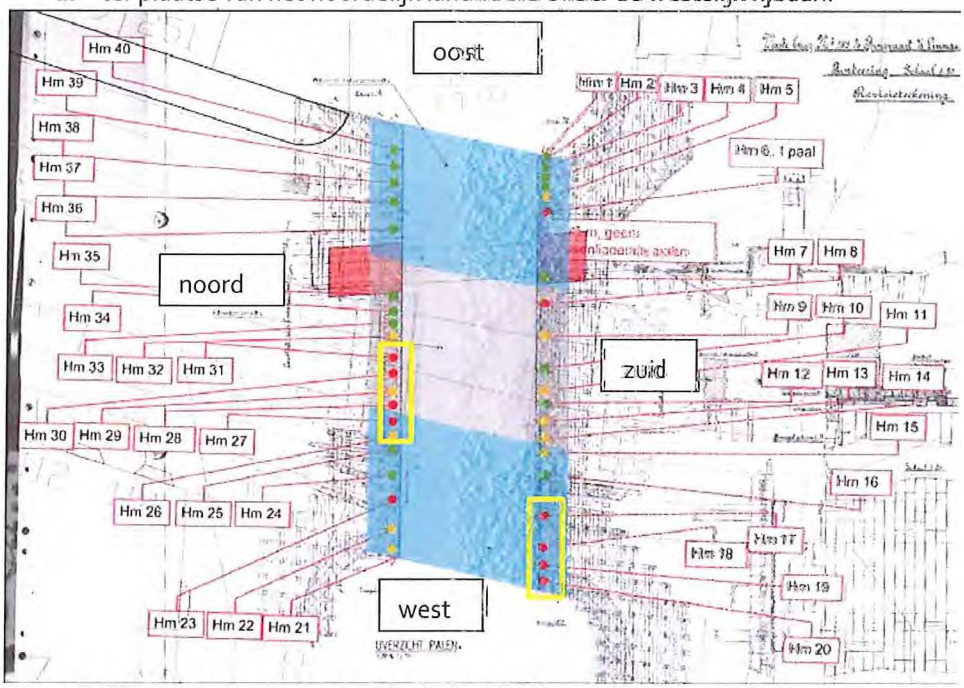
Bij de fiets- en voetpaden is de paalbelasting 100 kN (blauw gearceerd). Ter plaatse van de oostelijk rijweg is de paalbelasting 140 kN onder volledige verkeersbelasting zonder beperkingen en bij de westelijk rijweg is de paalbelasting 100 kN door de trambelasting en autoverkeer zonder zwaar verkeer.

In bovenstaande tabel is een samenvatting gegeven van de U.C.-waarden per paal. Bij de bepaling van deze U.C.-waarden is knik ook meegenomen.

[1] U.C. = Unity Check en geeft de verhouding weer tussen de rekenwaarde van de paalbelasting t.o.v. de rekenwaarde van de capaciteit. Bij U.C. > 1 is de paalbelasting groter dan de capaciteit.

Uit het onderzoek naar de houten paalfundering blijkt dat er twee locaties zijn waar meerdere aangetaste palen gegroepeerd staan. In Figuur 4 zijn deze twee locaties aangegeven met de gele rechthoeken:

1. ter plaatse van het zuidelijk landhoofd onder het fiets- en voetpad;
2. ter plaatse van het noordelijk landhoofd onder de westelijk rijbaan.



Figuur 4. Overzicht toetsing houten paalfundering "Huidige gebruik"

Functionele beperking en toelaatbaar verkeer

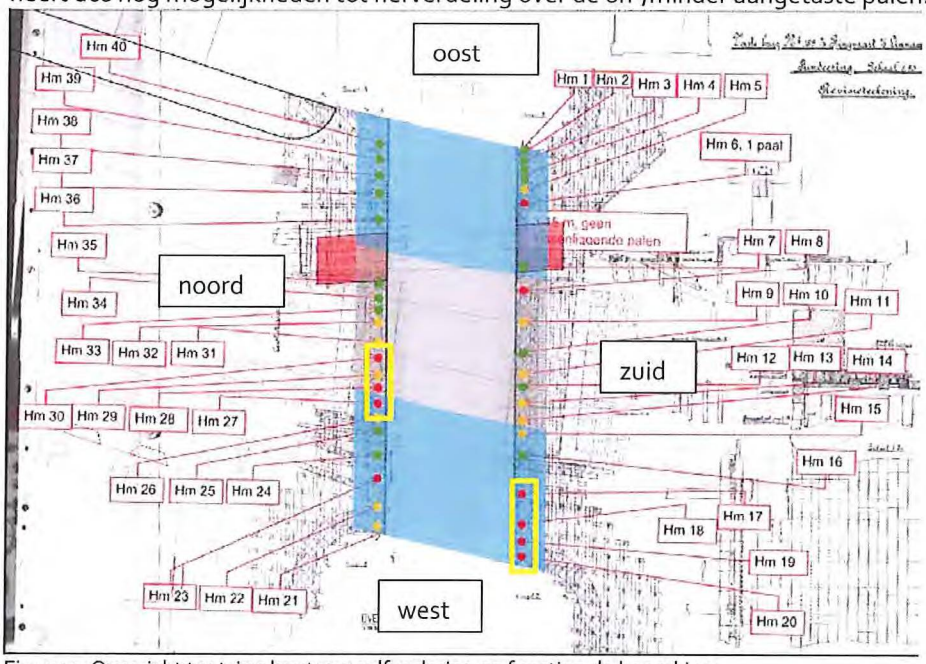
In de periode tot aan renovatie of vervanging adviseren wij om op de kortst mogelijke termijn maatregelen te treffen om het risico op acute onveilige situaties te beheersen. Het volledig afsluiten van de brug heeft een grote invloed op de omgeving, waardoor wij, op verzoek van V&OR hebben gekeken naar welk verkeersspectrum op welke delen van de brug nog wel toelaatbaar is, gedurende de periode tot renovatie of vervanging.

<u>Westelijke rijbaan</u>

In de situatie waarbij er geen verkeerbelasting op de brug staat treedt er een paalbelasting op van ca. 90 kN per paal door het eigen gewicht van de brug. Als er ongelimiteerd autoverkeer over de brug rijdt zal de paalbelasting toenemen tot ca. 140 kN en dat is een toename van 56%. Deze toename is relatief hoog. De paalbelasting in combinatie met door tramverkeer is 100 kN per paal (= 11% toename) en de toename is relatief laag. Om acuut bezwijken van de brug te voorkomen wordt geadviseerd om dit deel van het brugdek functioneel te beperken, waarbij dit deel wordt afgesloten voor zwaar verkeer. Het tramverkeer kan nog wel gebruik maken van het brugdek, gelet op de relatief lage toename op de paalbelasting. In 1998 is het brugdek lokaal vernieuwd ter plaatse van de rijweg en trambaan met een gewapend betonnen plaat. Deze betonnen plaat is relatief stijf en zal helpen bij het herverdelen van de belasting naar de palen.

Westelijk fiets- en voetpad

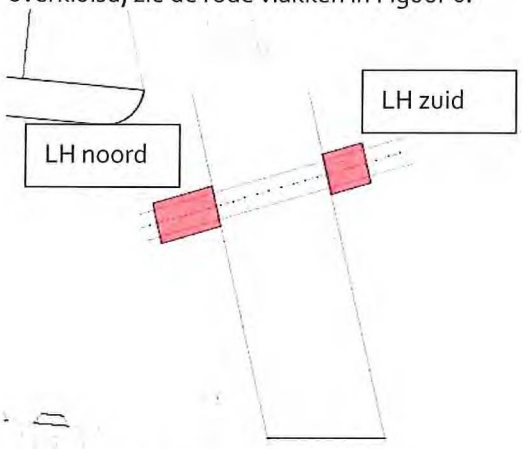
Bij normaal gebruik van de fiets- en voetpaden treedt er een paalbelasting op van ca. 100 kN per paal. Net als bij het tramverkeer is dit een relatief lage toename in de paalbelasting ten opzichte van de situatie zonder verkeersbelasting op de brug. De paalbelastingen zullen hoger zijn als de fiets- en voetpaden onbedoeld worden bereden door zwaar verkeer . Om deze situatie te voorkomen wordt geadviseerd maatregelen te treffen om het fysiek onmogelijk te maken dat (zware) voertuigen op het fiets- en voetpad kunnen staan. Bij de inspectie zijn ter plaatse van de fiets- en voetpaden geen scheuren aangetroffen in het metselwerk. De wand van metselwerk heeft dus nog mogelijkheden tot herverdeling over de on-/minder aangetaste palen.



Figuur 5. Overzicht toetsing houten paalfundering na functionele beperking

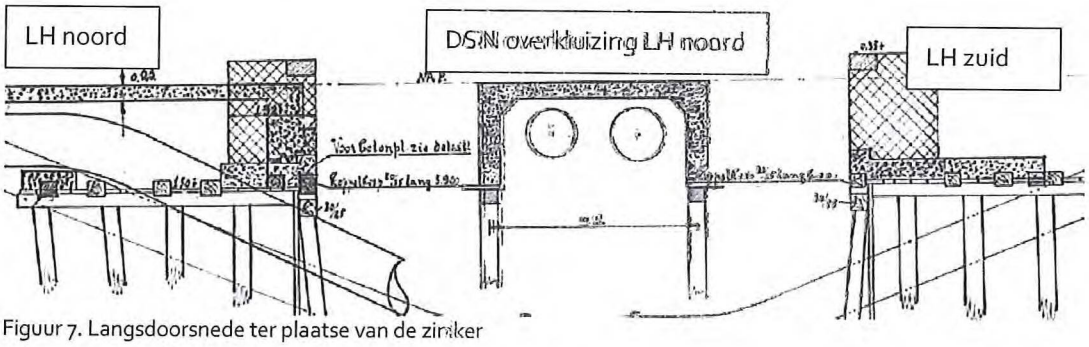
Overkluizingen zinker

Aan de oostzijde van de brug ligt een zinker onder de brug die bij de landhoofden wordt overkluisd, zie de rode vlakken in Figuur 6.



Figuur 6. Locatie zinker en overkluizing

De overkluizingen in de landhoofden zijn verschillend aan de noord- en zuidzijde, zie Figuur 7. Aan de zuidzijde is de zinker overkluist met een betonnen plaat die ter hoogte van de houtenvloer aanwezig is. Deze overkluizing is reeds meegenomen in de berekening van de onderbouw en getoetst. Aan de noordzijde is de zinker overkluist met een betonnen portaal en is er relatief weinig gronddekking op de overkluizing. Het betonnen portaal ligt wel onder de oostelijke rijbaan en wordt daardoor direct belast door de verkeersbelasting op de rijweg, zie Figuur 6. De krachtswerking in deze overkluizing is beschouwd in een apart model om te controleren of het betonnen portaal de verkeersbelasting aankan.

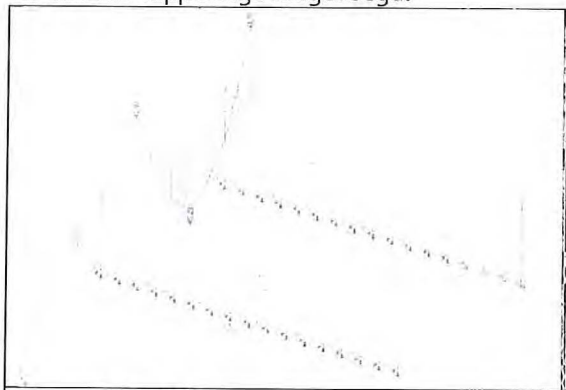
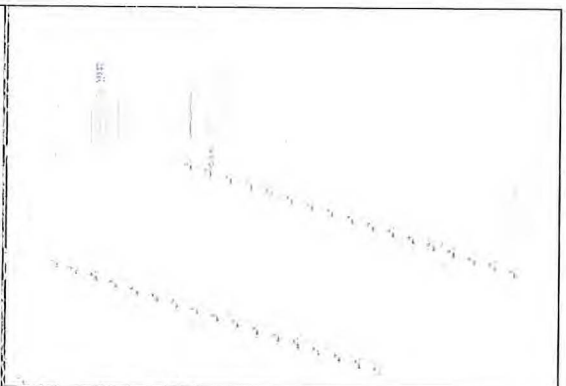


Figuur 7. Langsdoorsnede ter plaatse van de zinker

Er zijn geen wapeningstekeningen aanwezig van het betonnen portaal aan de noordzijde in tegenstelling tot de betonnen plaat aan de zuidzijde. Gezien de overspanning achten we de kans klein dat het portaal ongewapend is. Deze zou ondertussen al bezweken moeten zijn in de situatie met alleen de permanente belastingen en dat is tot op heden nog niet geconstateerd. De aanname is dat het betonnen portaal gewapend is, maar dat de wapening onbekend is.

Berekening overkluizing LH noord

Hieronder zijn de resultaten en toetsing van de berekening van het dak weergegeven. In Bijlage 2 is de SCIA-rapportage toegevoegd.

	
$M_{y;d;max}$ = 45 kNm	$V_{z;d;max}$ = 124 kN

Door het ontbreken van wapeningstekeningen van het betonnen portaal is onbekend wat de momentcapaciteit is. De dwarskrachtcapaciteit van het dak is bepaald met de aanname dat er wapening aanwezig is en dat de dekking op de wapening ca. 30mm is. Met deze aanname[2] wordt de dwarskrachtcapaciteit bepaald van het dak van het portaal. De dwarskrachtcapaciteit is 143 kN waarbij de drukkracht van 50 kN door de gronddruk is meegenomen. Voor de betonkwaliteit is C20/25 aangenomen.

Om het optredend veldmoment van 45 kNm op te kunnen nemen is er minimaal een bepaalde hoeveelheid wapening nodig in de doorsnede: Ø12-100 mm met een staalkwaliteit van QR22 => $M_{y;Rd}$ = 50 kNm, zie bijlage 2 voor de bepaling van de dwarskracht- en momentcapaciteit.

Onderdeel (beton d=250 mm; Ø12-100)		Optredend		Capaciteit		U.C.	
Maximale dwarskracht	Vd	124	[kN]	143	[kN]	0,87	✓

Gelet het gegeven dat de hiervoor beschreven capaciteit van de plaat/overkluizing is gebaseerd op aannames voor de aanwezige wapening en betonkwaliteit, dient dit zo spoedig mogelijk gecontroleerd te worden middels betonboringen en een wapeningsscan.

Conclusie herberekening
Brug 189 voldoet niet aan het minimaal vereiste wettelijke veiligheidsniveau (afkeurniveau).

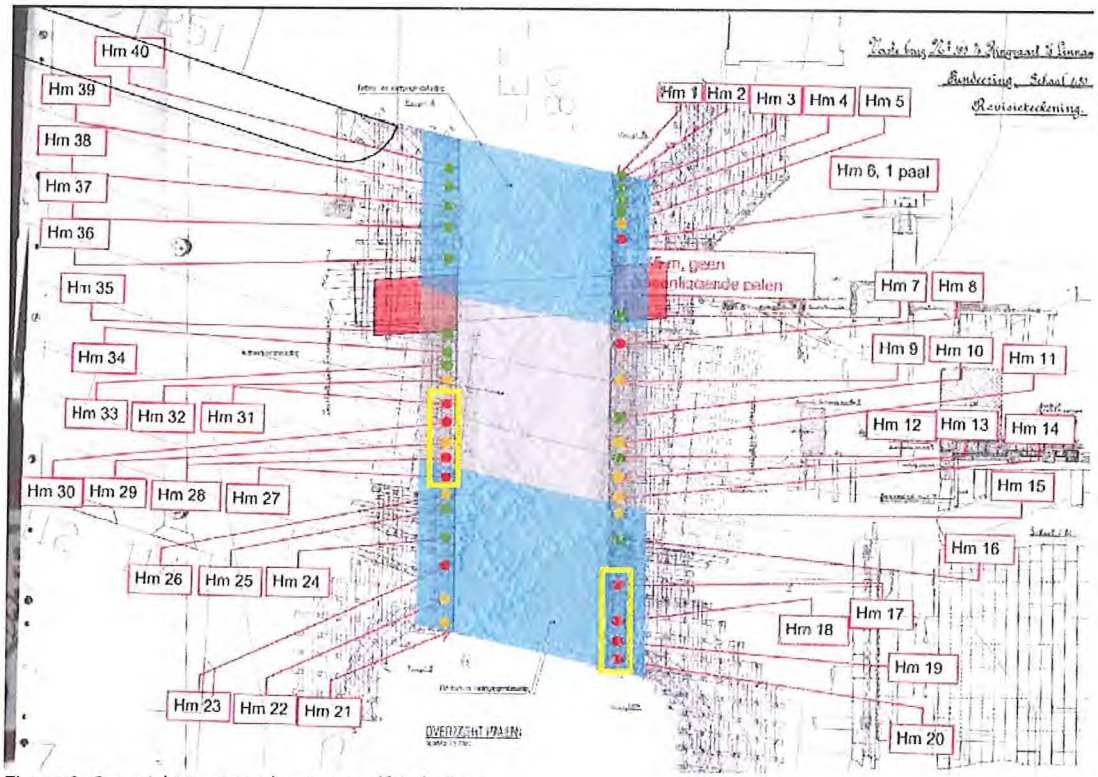
	Technische staat	Herberekening op afkeurniveau
Bovenbouw	Goed	Voldoet
Onderbouw	Slecht	Voldoet niet

Door de ernstige aantastingen aan de houten palen zijn deze onvoldoende sterk om de paalbelastingen op te kunnen nemen (rode stippen). Doordat het niet een enkele paal betreft, maar 27 van de 40 onderzochte palen, is de conclusie dat de fundering niet voldoet op afkeurniveau. In Figuur 8 is het overzicht te zien met de toetsing van de houten paalfundering.

De capaciteit van het betonnen portaal is onbekend, waardoor rekentechnisch niet is onderbouwd dat dit onderdeel voldoet. Bij nader onderzoek (materiaalonderzoek) kan worden bepaald of de minimaal benodigde wapening aanwezig is in de constructie.

Wij adviseren de brug moet op te voeren voor renovatie of vervanging.

[2] Eventueel aanwezige wapening wordt niet meegenomen in het bepalen van de dwarskrachtcapaciteit, maar door deze aanname mag de capaciteit worden bepaald vanuit het voorwaarde van een gewapende betonconstructie, anders dan een ongewapende betonconstructie, waar andere (conservatievere) randvoorwaarden zijn gesteld



Figuur 8. Overzicht toetsing houten paalfundering

Advies

Beheersmaatregelen tot aan vervanging brug

In de periode tot aan vervanging adviseren wij om op de kortst mogelijke termijn maatregelen te treffen om het risico op acute onveilige situaties te beheersen. Het volledig afsluiten van de brug heeft een grote invloed op de omgeving, waardoor op verzoek van V&OR gekeken is naar de marges, zodat bepaald kan worden wat nog wel toelaatbaar is aan verkeer over de brug.

De fundering is het meest kritisch ter plaatse van twee locaties, zie gele omkadering in Figuur 8**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**:

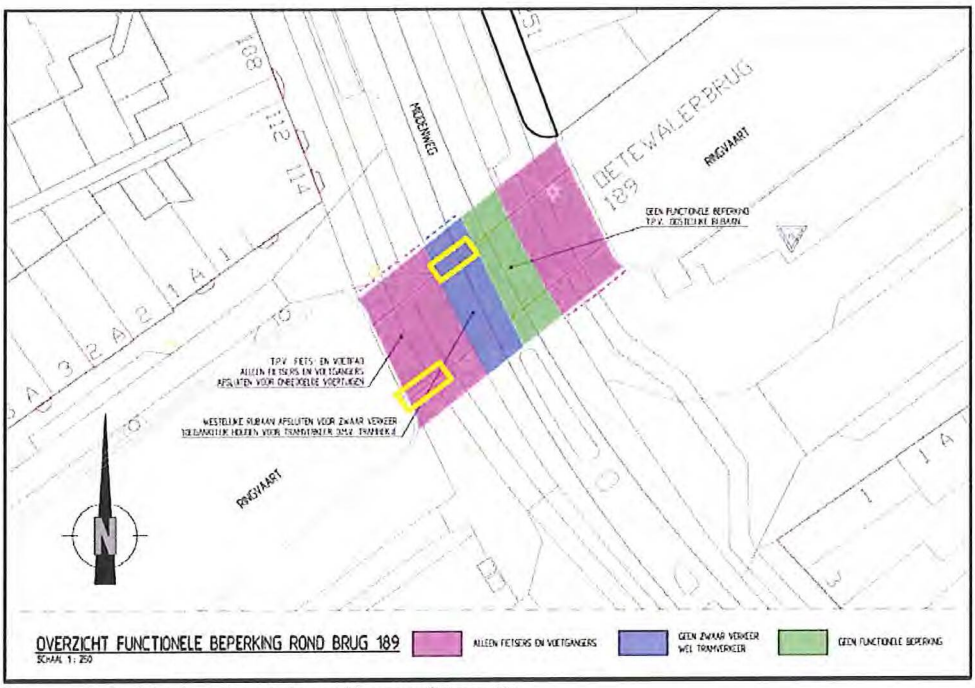
1. ter plaatse van het zuidelijk landhoofd onder het fiets- en voetpad;
2. ter plaatse van het noordelijk landhoofd onder de westelijk rijbaan.

Hier zijn meerdere palen naast en mogelijk achter elkaar, onvoldoende sterk en bestaat de kans dat bezwijken van een enkele paal kan leiden tot het acuut bezwijken van een hele groep palen (domino-effect). Naar verwachting zal dit niet optreden, zonder een waarschuwing vooraf, mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

1. Fiets- en voetpaden afschermen van mogelijke wegverkeersbelasting.
2. De westelijke rijbaan afsluiten voor zwaar vrachtverkeer.

Aanvullend advies

1. Om voortschrijdende schade aan de brug te beperken adviseren wij om een snelheidsbeperking (stapvoets) in te stellen voor al het wegverkeer. Het verlagen van de snelheid heeft een gunstig effect op de paalbelastingen omdat de dynamische factor verlaagd kan worden van ca 1,4 naar 1,0.
2. Om voorwaarde 2 te borgen adviseren wij om al het wegverkeer te weren van deze rijbaan in verband met handhaving.

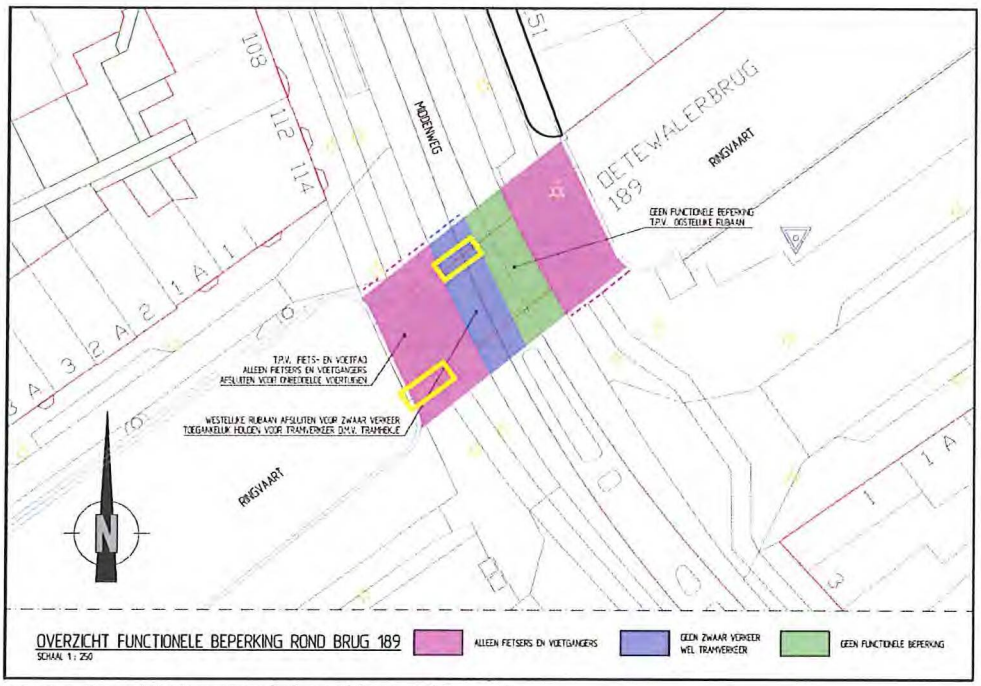


Figuur 9. Overzicht functionele beperking rond Brug 189

In bovenstaand figuur is een overzicht gegeven van de functionele beperking rond de brug.

Aanvullend advies

1. Om voortschrijdende schade aan de brug te beperken adviseren wij om een snelheidsbeperking (stapvoets) in te stellen voor al het wegverkeer. Het verlagen van de snelheid heeft een gunstig effect op de paalbelastingen omdat de dynamische factor verlaagd kan worden van ca 1,4 naar 1,0.
2. Om voorwaarde 2 te borgen adviseren wij om al het wegverkeer te weren van deze rijbaan in verband met handhaving.



Figuur 9. Overzicht functionele beperking rond Brug 189

In bovenstaand figuur is een overzicht gegeven van de functionele beperking rond de brug.