Definitief
Versie 1.0
Mei 2011
166189

Gemeente Amsterdam

Ingenieursbureau

Constructies Stad

Herberekening Brug 117, Raadhuisstraat, Op houtenpalen gefundeerde staalbeton brug

Verlaging van referentieperiode tot 15 jaar voor Brug 117

Auteur

[redacted]

Opdrachtgever

DIVV

Projectnummer

30421

Documentnummer: 166189			
autorisatie	naam	paraaf	datum
opstelling	L. Neijzing		
controle	A. Quansah		
vrijgave	J. Webbers		

Samenvatting

Bij de beoordeling van Brug 117 is uitgegaan van o.a. de Eurocode verkeersbelasting volgens NEN 6706, de grondslagen van het beoordelen van bestaand kunstwerk volgens NEN 8700 en de Nederlandse Praktijk Richtlijnen (ontwerp). Daarbij dient bij de berekeningen uitgegaan te worden van een restlevensduur van 1 jaar (voor de hele brug) en een referentieperiode van 15 jaar (voor wat betreft de verkeersbelasting).

Conclusies herberekening:

Onderdeel	voldoet
Betondek langs	Ja
Betondek dwars	Ja
Stalen liggers	Ja
Fundering (t.o.v. 100 kN)	Nee

Het betonnen dek is voldoende sterk voor de komende periode van 15 jaar. Hiervoor zijn geen maatregelen nodig.

Voor de fundering kan worden geconcludeerd dat de bestaande houtenfundering niet voldoet aan het in de berekening aangenomen paaldraagvermogen voor houtenpalen. De bestaande paalfundering van Brug 117 moet versterkt/vernieuwd worden (waarschijnlijk op de fundering van het landhoofd na) voor de gebruiksperiode van 15 jaar. De brug moet echter van een geheel nieuwe funderingsconstructies worden voorzien wanneer een lange gebruiksperiode is gewenst.

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**4**
1.1.	Projectomschrijving	4
1.2.	Leeswijzer	4
2	**Basisinformatie en uitgangspunten**	**5**
2.1.	Algemene basisinformatie	5
2.2.	Bestaande situatie	5
2.3.	Indeling bestaande brug	6
2.4.	Materialen	7
2.4.1.	Beton	7
2.4.2.	Betonstaal	8
2.4.3.	Stalenliggers	8
2.4.4.	Houtenpalen (landhoofd en pijler)	8
2.5.	Normen, Voorschriften en Richtlijnen	9
2.6.	Software	9
3	**Belastingen en belastingcombinatie**	**10**
3.1.	Permanente belasting Brugdek	10
3.1.1.	Eigen gewicht staalbeton brug	10
3.1.2.	Rustende belasting	11
3.1.3.	Asfalt belasting	11
3.2.	Mobiele belasting Brugdek	12
3.2.1.	Uitgangspunten voor de aan te houden mobiele belasting	12
3.2.2.	Bepaling van ψ-factor behorende bij 15 jaar referentieperiode	12
3.2.3.	Bepaling van correctiefactor $\alpha Q;i$, $\alpha q;i$ $\alpha q;r$ (zie bijlage A)	12
3.2.4.	Verdeling verkeersbelasting over de rijstroken	12
3.3.	Belastingen landhoofd	15
3.4.	Belastingcombinatie brugdek en landhoofd	16
4	**Berekeningen**	**17**
4.1.	Opzet en schematisatie	17
4.2.	Rekenresultaten	20
4.2.1.	Krachtsverdeling bovenbouw	20
4.2.2.	Krachtsverdeling Landhoofd	21
4.3.	Samenvatting rekenresultaten	21
5	**Toetsing brugconstructie op sterkte**	**22**
5.1.	Bovenbouw – brugdek	22
5.1.1.	Betonnen rijplaat	22
5.1.2.	Stalenliggers (profielen BP 320 (HEB) – maatgevend)	22
5.2.	Onderbouw - landhoofd	24
6	**Conclusie en aanbevelingen**	**25**
6.1.	Resultaten uit herberekening van Brug 117	25
6.2.	Resultaten visuele inspectie Brug 117	26

6.3. Conclusie en aanbevelingen Brug 117 26

Bijlage A Onderzoeksrapportage Brug 117
Bijlage B Input voor berekeningen scia engineer
Bijlage C Modellering van brugdek in Scia Engineer (invoer + uitvoer)
Bijlage D Modellering van het landhoofd in Scia Engineer (invoer + uitvoer)
Bijlage E Toetsing van betondoorsnede (D-Bet berekening)
Bijlage F Archieftekeningen Brug 117

1 Inleiding

1.1. Projectomschrijving

Voor het project Onderzoek naar de constructieve veiligheid van de vijf bruggen in de Raadhuisstraat te Amsterdam zal IBA, in opdracht van de Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer (DIVV), het vijftal bruggen herberekenen en beoordelen op hun constructieve veiligheid, conform NEN 8700. Bij de beoordeling van de bruggen 8, 22, 106, 117 en 167 wordt uitgegaan van de in april 2007 verschenen nieuwe norm (NEN 6706) voor verkeersbelastingen op bruggen en viaducten. Het oudste deel van de bruggen zijn omstreeks 1765 gebouwd en sindsdien zijn de bruggen een aantal keren gerenoveerd, aangepast of verbreed

De verkeersbelastingen volgens VOSB 1938 en later ook VOSB 1963 zijn vanaf 1927 aangehouden bij zowel het ontwerp van nieuwe bruggen als het renoveren van de bestaande bruggen. Vergeleken met de verkeersbelastingen van de oude normen zijn de verkeersbelastingen van de nieuwe norm NEN 6706 hoger en het ligt daarom voor de hand dat bij het beoordelen van de bestaande bruggen enige voorzichtigheid moet worden betracht. In NEN 8700 (aangevuld met de naar deze norm verwezen NPR's) zijn de nieuwe rekenregels voor de beoordeling van bestaande bruggen opgenomen. De norm verwijst naar de verkeersbelastingen van de Eurocode – zoals in NEN 6706 zijn voorgeschreven – als de aan te houden verkeersbelastingen in de berekeningen. Verder mag volgens de norm de bestaande brug worden beoordeeld op een gebruiksduur anders dan 100 jaar (de gebruiksduur van nieuwe bouw) met een minimale referentieperiode van 15 jaar.

In dit document wordt onderzocht of Brug 117 over voldoende draagcapaciteit beschikt om de verkeersbelasting volgens NEN 6706 te kunnen dragen. In de nog uit te voeren berekeningen wordt uitgegaan van een restlevensduur van één jaar en een referentieperiode van 15 jaar (voor de verkeersbelasting), e.e.a. conform NEN 8700 de nieuwe norm voor bestaande constructies.

1.2. Leeswijzer

In dit document is de herberekening van Brug 117 aan de orde gesteld. In hoofdstuk twee worden de uitgangspunten van de berekeningen geformuleerd, hoofdstuk drie gaat in op de belastingen, inclusief de aan te houden verkeersbelastingen. Hoofdstuk vier beschrijft de opzet van de berekening, de computer modellering van de brugconstructie en de rekenresultaten, hoofdstuk vijf behandelt het toetsen van de betondoorsnede. In hoofdstuk zes wordt de conclusie van deze berekening gegeven.

2 Basisinformatie en uitgangspunten

2.1. Algemene basisinformatie

In deze rapportage van de herberekening van Brug 117, is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- Globale herberekening van de vijf bruggen in Raadhuisstraat inclusief Brug 117 (Rapport; document nr. 8462; project nr. 30118, datum 19 oktober 2007) uitgevoerd door IBA;
- Diverse tekeningen van Brug 117 uit Stadsarchief die zijn gevonden na het uitvoeren van archiefonderzoek;
- Onderzoeksrapportages (met projectcode: 11p014, datum 14 april 2011 en status definitief) van de materiaalonderzoeken en de visuele inspecties van de vijf bruggen in Raadhuisstraat die door het onderzoeksbureau Baars-Cipro zijn uitgevoerd.

2.2. Bestaande situatie

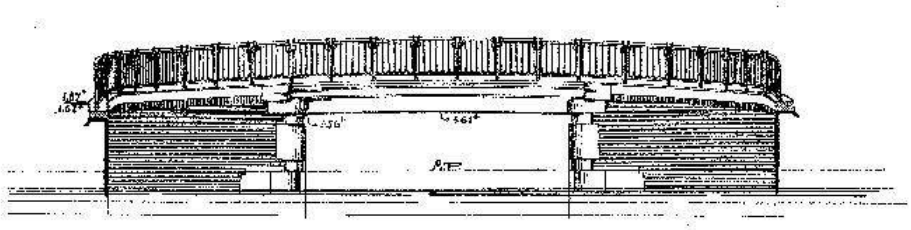
Brug 117 ligt in de Rozengracht en gaat over de Lijnbaansgracht. De brug is een vaste brug en is uitgevoerd in een staalbeton constructie waarin de twee constructieonderdelen niet met elkaar zijn verbonden.



Deze brug is in verschillende fasen gebouwd/uitgebreid en aangepast.
De eerste brug is gebouwd omstreeks 1773, deze brug is in zijn geheel vernieuwd omstreeks 1894. In 1927 is de brug verbreed en zijn er diverse aanpassingen aan de brug gedaan. Omstreeks 1955 is de brug weer verbreed en rond 1980 is het

staal/beton dek ter plaatse van de tramsporen vervangen door een in het werk gestort brugdek.

De brug heeft 1 overspanning en is opgelegd op twee op houtenpalen gefundeerde landhoofden. (uitgevoerd in metselwerk). De brug heeft een overspanning van 9,2 meter. Omdat het brugdek een grote hoek maakt met de landhoofden van ca. 58 graden is de doorvaartbreedte tussen de landhoofden 7,9 meter.



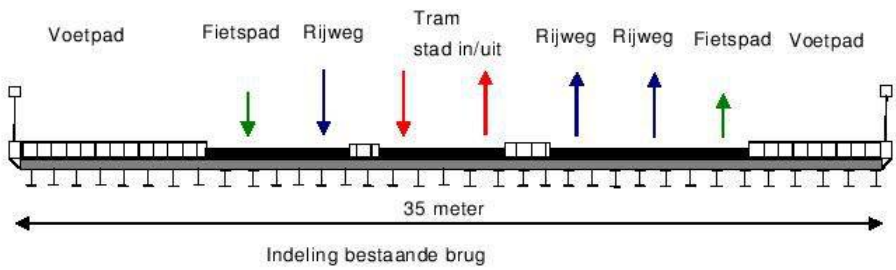
Archieftekening brug 117

2.3. Indeling bestaande brug

Het brugdek is ingedeeld in fiets- en voetgangersstroken (aan weerszijden van de brug), twee rijbanen voor het autoverkeer (in twee richtingen) een strook voor afslaand verkeer en een trambaan. De breedte van het fietspad stad uit verloopt op het brugdek.
De breedte van een voetpad bedraagt 4,3 m en 3,2 m, de fietsstrook bedraagt aan beide zijde maximaal 2,0 m per zijde van de brug. De breedte van een autorijbaan is 3,6 m. en de breedte van de rijbaan en afslagstrook is 7 m. De breedte van de trambaan bedraagt 6,7 m. De brug heeft ook brede middenbermen van respectievelijk 3,8 en 1,9 meter. De totale breedte van de brug is 35 m.



Brugdek indeling brug 117



Indeling bestaande brug

2.4. Materialen

2.4.1. Beton

Voorafgaand aan de constructieve berekening van Brug 117 heeft de firma Baars Cipro (materiaal)onderzoek naar de sterkte van het betonnen dek en de stalenliggers uitgevoerd. Voor het betonnen dek is een aantal monsters uitgenomen en geproefd in een laboratorium ter bepaling van de druk- en treksterktes. De resultaten uit de acht monsters zijn middels statistische berekeningen omgerekend naar de rekenwaarde van de druk- respectievelijk treksterkte (zie bijlage A). De resultaten van het onderzoek tonen aan dat de huidige sterkte van het betonnen dek gelijk is aan die van beton sterkteklasse B45. Hierna wordt voor zowel de berekening van het betondek als het toetsen van de betondoorsnede uitgegaan van betonsterkteklasse B45.

Betondruksterkte	f'_{ck} (N/mm^2)	f'_b(N/mm^2)	f_b(N/mm^2)	E_b(N/mm^2)
C35 / B45	45	27	1,65	33500

2.4.2. Betonstaal

In het betonnen dek zijn zachtstaal wapeningsstaven opgenomen. Voor de staalkwaliteit is uitgegaan van QR24. Conform RBBK versie 1.0 zijn de volgende eigenschappen afgeleid (de uit het onderzoek bepaalde vloeispanning $R_{p0,2}$ en treksterkte R_m van de wapeningsstaven vertonen grote spreiding in de resultaten):

Wapeningsstaal	f_s (N/mm^2)	E_s (N/mm^2)
QR 24	209	200000

Uit de onderzoeksresultaten van Baars Cipro komen de volgende gemiddelde diameters en hart op hart afstanden van de wapening voor.

	Diameter in mm	H.o.h afstand in mm
Dwarswapening	8	90
Langswapening	8	160

2.4.3. Stalenliggers

Het dek is opgebouwd uit stalenliggers. Uit de resultaten van de trekproef blijkt dat de staalkwaliteit van de liggers gelijk is aan S235. De kerfslagwaarde voldoet niet aan de eisen van constructiestaal S235. Deze waarde is van belang voor vermoeiingsberekeningen. De stalen ligger zijn ingestort in beton en hebben zich in de tijd bewezen op vermoeiing. Voor de sterkte berekening kan veilig gebruikt gemaakt worden van constructiestaal S235JR.

2.4.4. Houtenpalen (landhoofd en pijler)

Er is geen onderzoek verricht naar de fundering van brug 117.In deze rapportage is aangenomen dat het maximale paaldraagvermogen van de houtenpalen 100 kN bedraagt. Er is ook aangenomen dat de aantasting van de houtenpalen nihil is en dat de draagcapaciteit (druk) van de houtenpalen niet wordt overschreden.

Wanneer er echter onderzoeken naar de paalafmetingen, de houtsoort, de tapse toeloop van de paalschacht (van de houtenpalen) en de bacteriële aantasting worden uitgevoerd kan er een nog nauwkeurig paaldraagvermogen worden bepaald.

Voor deze controle berekening wordt aangehouden:
$F_{r;max;punt;d}$ = 100 kN

Gebruikte paalbeddingen *(Deze aanname is gebaseerd op het Amsterdams profiel).*

Grondlaag	Boven-/onderzijde Grondlaag	Dikte laag (m)	Kh (kN/m3)
Wadafzeting (klei, veen)	-1 / -9 m/NAP	8	3000
Zandhoudend klei	-9 / -11 m/NAP	2	8000
Klei en veen	-11 / -13 m/NAP	2	1500
1e zandlaag	-13 / -15 m/NAP	2	25000

2.5. Normen, Voorschriften en Richtlijnen

Naam :	Jaar :	Omschrijving :
NEN 6700	1991	Technische grondslagen voor bouwconstructies. TGB 1990. Algemene basiseisen.
NEN 6702	1991	Technische grondslagen voor bouwconstructies TGB 1990. Belastingen en vervormingen.
NEN 6720	1995	TGB 1990-Voorschriften Beton (TGB 1990) Constructieve eisen en rekenmethoden (VBC 1995).
NEN 6740	1991	TGB 1990- Geotechniek: Basiseisen en belastingen
NEN 6743	1991	TGB 1990- Geotechniek: Berekeningsmethodiek voor funderingen op palen
NEN –EN 1990	2002	Eurocode 0, Grondslagen van het constructieve ontwerp
NEN 6706	2007	TGB 1990, Verkeersbelastingen op Bruggen
RBBK 1.01	2006	Richtlijn Beoordelen Bestaande Kunstwerken
NEN 8700	2009	Grondslagen van beoordeling van een bestaand bouwwerk
NPR		Nederlandse Praktijk Richtlijn

2.6. Software

De volgende computerprogramma's worden in de berekeningen toegepast :

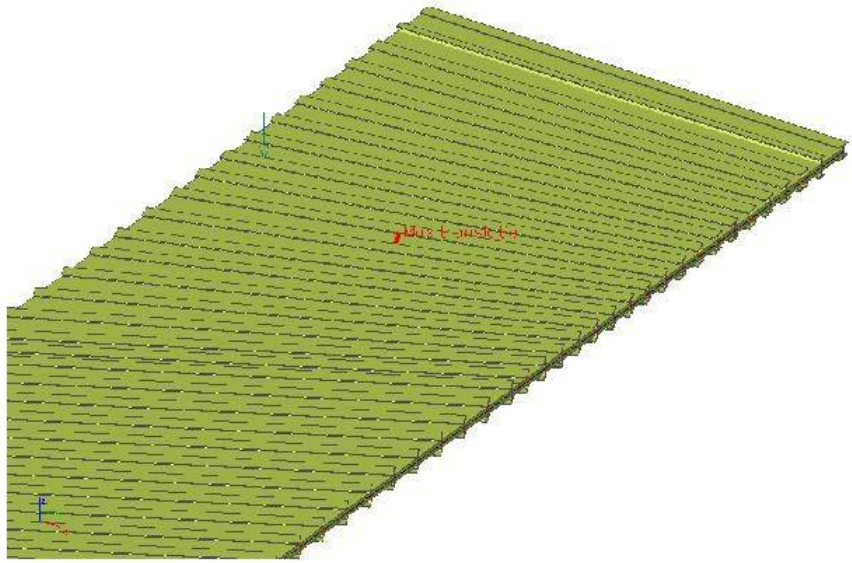
Tabel: programmatuur

Software	Soort berekening	Versienummer /Jaar
D-BET	Doorsnedenberekening	4.2.0
Scia - Engineer	2D- Raamwerk berekening	2008
Mathcad 13	Rekensheet	13

3 Belastingen en belastingcombinatie

3.1. Permanente belasting Brugdek

3.1.1. Eigen gewicht staalbeton brug



Overspanning
Het dek is opgebouwd uit 30 BP32 profielen, 11 DIN 34 profielen 3 INP 42,5 profielen en 2 HeB26 profielen in het dwarsprofiel van de brug en uit een gewapend (constructief) betonnen plaat (dikte is 15 cm) t.p.v. de rijbanen (maatgevend) en 200 mm t.p.v. van het voetpad. Op de gewapende betonplaat is een laag vulbeton (dikte ca. 20 cm) aangebracht. Het model van de bovenbouw is ingevoerd in het rekenprogramma Scia Engineer en is door het programma doorgerekend. Het eigen gewicht van de brug wordt door de belastinggenerator van het programma bepaald. De vernieuwde betonnen trambaanplaat is niet meegnomen in het model. Het staalbetondek is maatgevend voor deze berekening.

3.1.2. Rustende belasting

Op de constructieve betonplaat is een laag vulbeton aangebracht. De dikte van het vulbeton is 0,2 m en is over de hele brug aanwezig. Het volumieke gewicht van vulbeton, $\gamma_{vulbeton}$, is 24 kN/m^3 en het in rekening te brengen gewicht van het vulbeton bedraagt:

$q_{vulbeton}$ = 24 kN/m^3 * 0,2 m = 4,8 kN/m^2

Op het voetpad is een laag tegels aanwezig (bovenop het vulbeton). En langs de rand van het dek is er een blok natuursteen en een leuning aanwezig. Het totale gewicht van respectievelijk tegels, natuursteenblok en leuning samen is uitgesmeerd over de breedte van het voetpad en bedraagt:

$q_{voetpad}$ = 22kN/m^2*0,12m+27kN/m^3*0,3m*0,25m/ 2,5m +1 kN/m / 2,5m = 3,85 kN/m^2

3.1.3. Asfalt belasting

Op de daadwerkelijke rijbaan (breedte 12,0 m) voor het auto- en tramverkeer is een asfaltlaag aangebracht. In de loop der jaren zou de asfaltlaag zijn aangedikt t.o.v. de ontwerpdikte van ca. 5 cm omdat het niet altijd mogelijk of wenselijk is om bij herprofilering van het wegdek het bestaande asfaltpakket helemaal te frezen. In deze berekening is de dikte van asfalt daarom ruim genomen en gelijk gehouden aan 12 cm.

Het gewicht van asfalt, q_{asfalt} = 23 kN/m^3 * 0,12 m = 2,76 kN/m^2.

3.2. Mobiele belasting Brugdek

3.2.1. Uitgangspunten voor de aan te houden mobiele belasting

- De huidige rijbaanindeling is aangehouden;
- Tabel 3 van NEN 6706 is van toepassing, aantal vrachtwagens per jaar per rijstrook (van de drukbereden rijstrook) is 20.000, $\alpha_{Q1} = \alpha_{qi} = 0,90$;
- Totale breedte voor wegverkeer bedraagt 12,0 m;
- De referentieperiode voor de mobiele belasting is verlaagd tot 15 jaar;
- Minimum randafstand van het autoverkeer bedraagt 4,3 m (breedte van trottoir; totale breedte is: 17,9 m + 2*4,3 m = 26,5 m);
- De h.o.h. afstand van de staalliggers is even groot genomen en bedraagt 0,75 m.

3.2.2. Bepaling van ψ-factor behorende bij 15 jaar referentieperiode

Aantal vrachtwagens, $n_a = 20.000$
Beschouwde referentieperiode, $t = 15$ jaar
Vereiste referentieperiode nieuwbouw, $T = 100$ jaar
Conform Bijlage C van NEN 6706 geldt:

$$\psi_t := \left(\frac{\ln(n_a \cdot t)}{\ln(n_a \cdot T)} \right)^{0.45} \qquad \psi_t = 0.939$$

3.2.3. Bepaling van correctiefactor αQ;i, αq;i αq;r (zie bijlage A)

$\eta_{Q;1}$ =	**0,90**
$\eta_{Q;2}$ =	**1,00**
$\eta_{Q;3}$ =	**1,00**
$\eta_{q;1}$ =	**0,90**
$\eta_{q;2}$ =	**0,90**
$\eta_{q;3}$ =	**0,90**
$\eta_{q;r}$ =	**0,80**

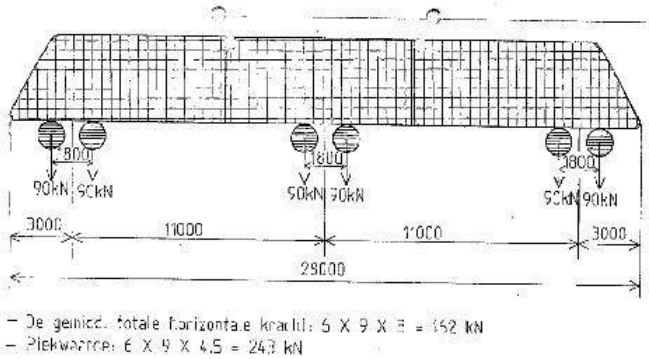
3.2.4. Verdeling verkeersbelasting over de rijstroken

Aantal rijstroken van de rijbaan voor gemengd verkeer, n = 14,0 m / 3 m = 4 rijstroken en een reststrook van 2,7 m (Trambaan inbegrepen).

Voetgangersbelasting
Aan weerskanten van rijbaan zijn er 2 fiets- en voetgangers paden. De breedte is 2 maal 4,3 m en voetgangersbelasting bedraagt 5 kN/m^2. De momentaan-/combinatiefactor is 0,5.

(Auto)verkeersbelasting
1e rijstrook: Q_1 = 300 kN/as; q_1 = 9 kN/m^2
2e rijstrook: Q_2 = 200 kN/as; q_2 = 2,5 kN/m^2
3e rijstrook: Q_3 = 100 kN/as; q_3 = 2,5 kN/m^2
4e rijstrook: q_4 = 2,5 kN/m^2 (resterend oppervlak)
De wiellast wordt verdeeld over een oppervlak van 1,12m x 2,00m.

Trambelasting
Uitgegaan is van het nieuwe tram materieel van 6 assen (type EE-779-B).
Aantal assen = 6
Aslast, P = 90 kN
Afstand tussen assen = 1,8 m en 9,2 m (afwisselend c.q. om-en-om)
Lengte = ca. 28 m



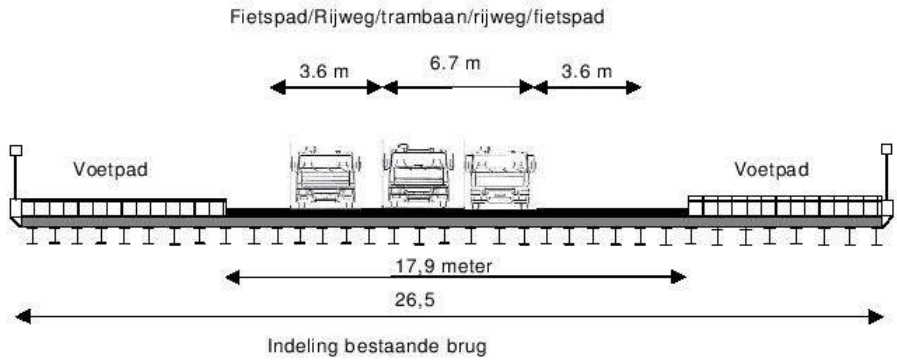
De in rekening te brengen reductiefactor bij de mobiele belastingen is gelijk aan:

$\psi_{mobiel;tot;Q;i} = \psi_t * \alpha Q;1 = 0,845$ → 0,939 * 0,9 = 0,845
$\psi_{mobiel;tot;q;i} = \psi_t * \alpha q;i = 0,845$ → 0,939 * 0,9 = 0,845
$\psi_{mobiel;tot;q;r} = \psi_t * \alpha q;r = 0,845$ → 0,939 * 0,8 = 0,751
De mobiele belasting wordt gereduceerd door de belasting te vermenigvuldigen met deze factor.

Variantenstudie – mogelijke combinaties autoverkeer en trams

De brug is gebruikt door een gemengd verkeer van fietsers / auto's / vrachtwagens en trams. Aan weerszijden liggen de trottoirs (breedte 4,3m) die door voetgangers worden belast. In deze berekening is de maatgevende verkeers-belasting bepaald uit 3 varianten van de belastingen van de auto's en trams.

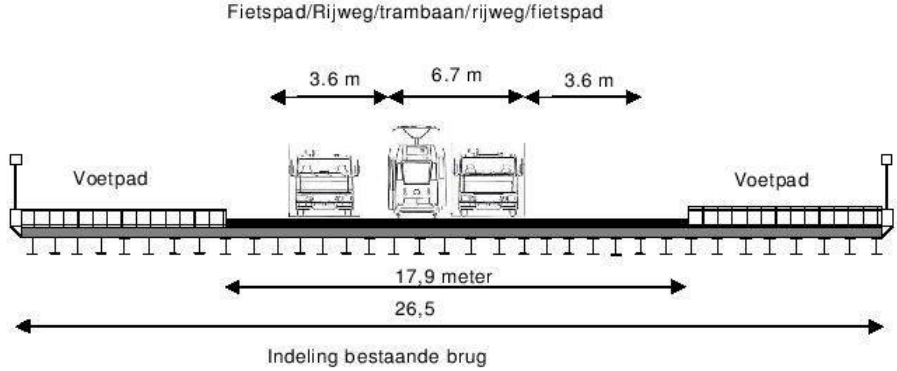
Variant 1: Variant 1 bestaat uit de laststelsels van LM 1 van NEN 6706 waarin zijn verwerkt de reductiefactoren $\alpha_{Q1} = \alpha_{qi}$ = 0,9 (alleen bij de aslast van 300 kN en de gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting) en een $\psi_{t=15jaar}$ van 0,94 voor de in deze berekening aangehouden referentieperiode van 15 jaar.



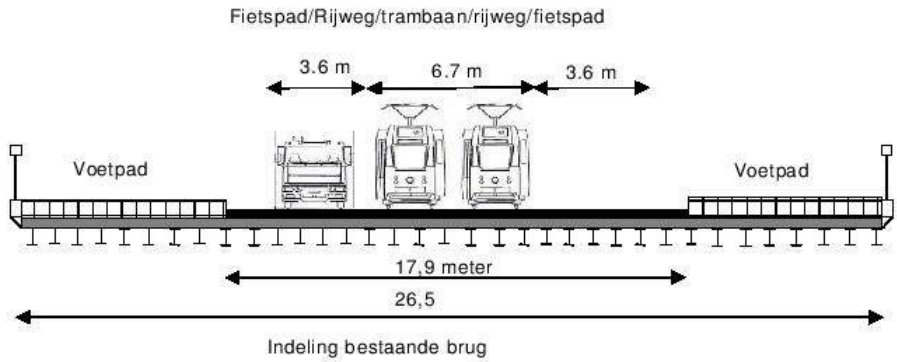
Voor variant 1 blijft de huidige wegindeling van toepassing waarbij wagen 2 en 3 over de trambaan rijden.

De breedte van het te bereiden brugdek (rijbaan + trambaan) is 13,9 meter. Wanneer we deze breedte delen door een theoretische rijbaanbreedte van 3 meter dan kunnen er 4 theoretische rijbanen op het brugdek komen. In de NEN 6706 wordt dan gesteld dat er bij meer als 3 rijbanen een factor van 1,15 voor toekomstige herindeling van de brug. Voor deze brug moet de levensduur van 15 jaar worden beschouwd voor de huidige situatie en wordt er niet gekeken naar toekomstige herindeling. Hierdoor wordt de factor van 1,15 niet meegenomen in de berekening.

Variant 2: Variant 2 bestaat uit twee (van de drie) laststelsels van LM 1 van NEN 6706 waarin de reductiefactoren zijn verwerkt. Eén tram (in de tegenovergestelde richting) vormt het derde laststelsel op de brug.



Variant 3: Variant 3 bestaat uit één (van de drie) laststelsels van LM 1 van NEN 6706 waarin de reductiefactoren zijn verwerkt en twee trams (in de tegenovergestelde richtingen).



Indeling bestaande brug

Conclusie varianten
Voor de brug kan uit ervaring worden gesteld dat variant 1 maatgevend is voor de berekening van de maatgevende belasting. De Load Models uit de nieuwe norm NEN 6706 zijn maatgevend boven de genoemde trambelastingen,
Voor deze berekening wordt alleen gerekend met variant 1.

3.3. Belastingen landhoofd

Voor het landhoofd gelden de volgende belastingen.

Metselwerk belasting wand vertikaal
Soortelijk gewicht metselwerk: γ_m = 17 kN/m^3, Hoogte wand landhoofd: 3,210 m
$Q_{v;metselwerk;rep}$ = 2,51 x 17 = 42,7 kN/m^2

Omdat Scia engineer de verticale belasting uit de wand conservatief benaderd wordt deze als q belasting ingevuld zodat deze waarde wordt gespreid over de fundering. In Scia wordt de het e.g. van het metselwerk op 0 gesteld.

Overige onderdelen van de constructie van het landhoofd worden door scia engineer bepaald.

Asfaltbelasting vertikaal
Soortelijk gewicht asfalt: γ_m = 23 kN/m^3, Dikte asfalt pakket: 0,12 m
$Q_{v;rep}$ = 0,12 x 23 = 2,76 kN/m^2

Grondbelasting vertikaal
Soortelijk gewicht grond: γ_m = 18 kN/m^3, Hoogte wand landhoofd: 3,210 m
$Q_{v;rep}$ = 2,51 x 18 = 45,2 kN/m^2

Grondbelasting horizontaal

k_a = 0,33 (De constructie is in de loop der jaren onderhevig aan verplaatsingen waardoor de actieve gronddruk (k_a) (i.p.v. de neutrale gronddruk, k_n) geactiveerd is;

Qv * 0,33 = 14,9 kN/m^2 + 0,33 * 2,76 = 15,8 kN/m^2
De driehoeksbelasting loopt van bovenzijde 0,91 kN/m^2 naar onderzijde 15,8 kN/m^2.

De belastingen uit het brugdek worden als Qlast gemodelleerd op de vloer van het landhoofd. In bijlage D is te zien hoe deze belastingen worden omgerekend naar een Qlast op de vloer.

Mobiele belastingen achter het landhoofd
Vertikaal - Qmobiel = 20 kN/m^2
Horizontaal – Ka * Qmobiel = 0,33 * 20 = 6,6 kN/m^2

3.4. Belastingcombinatie brugdek en landhoofd

Conform NEN-EN 1990 (Eurocode 0) en NPR is vergelijking 6.10b van toepassing bij de fundamentele belastingcombinatie. De brug is ingedeeld in Gevolgklasse 2 (gelijk aan veiligheidsklasse 3 van de TGB-series NEN 6700) met een restlevensduur van 1 jaar (conform NEN 8700). Volgens tabel A1.2(B) en A1.2(C) – Belastingsfactoren (γ) voor de uiterste grenstoestand STR en GEO kunnen de volgende belastingfactoren worden aangehouden bij de berekeningen:

UGT.

Bel. Comb.	Blijvende belastingen (Perm.)		Mobiel bel.	Overige ver.bel.
	Ongunstig	Gunstig		
Vgl. 6.10b	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$	$\gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,1}$
Gevolg kl. 2	1,10	0,90	1,15	1,30

In de BGT bedraagt de belastingsfactor 1,0 voor alle belastinggevallen.

Maatgevende combinaties:
UGT: 1,1*(E.gwt. + Asfalt + Rustende bel.) + 1,15*Mob.bel.*ψ +1,3*Tram.bel.
BGT: 1,0*(E.gwt. + Asfalt + Rustende bel.) + 1,0*Mob.bel.*ψ + 1,0*Tram.bel.

(Bij de mobiele belasting is ook de combinatiewaarde fiets- en voetgangersbelasting inbegrepen).

4 Berekeningen

4.1. Opzet en schematisatie

Bovenbouw

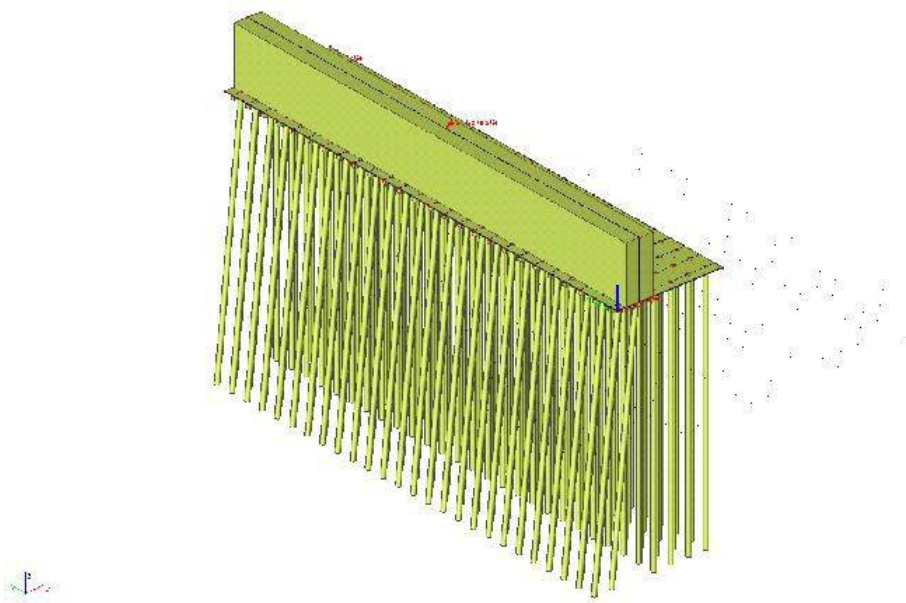
Brug 117 is uitgevoerd als staalbeton brugdek en is ondersteund door twee metselwerk landhoofden. De stalenliggers zijn t.p.v. de koppen ingestort in beton. De liggers zijn hierdoor niet vrij opgelegd maar verend ingeklemd wat een gunstig effect heeft op de veldmomenten. De betonnen rijplaat kan in dwarsrichting worden verdeeld in 3 delen. Ter plaatse van de trambaan is het brugdek vernieuwd met een dikke gewapende betonnen constructie welke afwijkt van de andere delen. Deze aanpassing is recent uitgevoerd waardoor deze niet kritisch is in de constructie. Deze plaat wordt dan ook niet getoetst. Ter plaatse van de rijbanen en het voetpad bestaat de constructie uit een slanke betonnen plaat welke over de liggers loopt. Deze plaat is hier doorgaand over de liggers uitgevoerd. Tussen de betonplaat en de stalenliggers zijn geen deuvels toegepast en betekent dus dat het beton niet samenwerkt met de stalen liggers. De dikte van het constructieve beton is slechts 15cm.



In het rekenprogramma Scia Engineer zijn het brugdek en het landhoofd gemodelleerd en doorgerekend. Voor het betonnen dek is gerekend met een gescheurde doorsnede (zowel in de langs- als in de dwarsrichting van de brug. Voor de afleiding van de orthotrope eigenschappen van de gescheurde doorsnede zie bijlage B). De liggers zijn verend verbonden met het landhoofd. Voor deze berekening is een veer aangenomen van 0,5 MN/rad

Landhoofd

Het landhoofd is opgebouwd uit een metselwerk gewichtsmuur, een houtenvloer van ca. 8cm dik, houtenkespen en ronde houtenpalen. De gewichtsmuur is 132 m dik en ca. 2,51 m hoog, de breedte is ca. 35 m en 30 m. De diameter van de houtenpalen is ca. 25 cm en de lengte van de palen is ca. 12 m. (eerste zandlaag). De palen staan ca. h.o.h. 1,0 meter uit elkaar. Het model van het landhoofd is ingevoerd in Scia Engineer en doorgerekend. De maximum paalbelasting wordt hiermee bepaald.



Schematisch Rekenmodel Landhoofd

De belastingen op het landhoofd zijn deels afkomstig van de bovenbouw (oplegreacties, zie bijlage E) en deels van de gronddruk achter de gewichtsmuur. De berekening is uitgevoerd op grond van de volgende uitgangspunten:

- De gewichtsmuur (metselwerk) is geen buigligger maar ontleent zijn stijfheid aan de aanwezige afschuifstijfheid en zijn gewicht;
- De constructie is in de loop der jaren onderhevig aan verplaatsingen waardoor de actieve gronddruk (k_a) (i.p.v. de neutrale gronddruk, k_n) geactiveerd is;
- Het brugdek fungeert als een stempelconstructie voor het landhoofd. In de berekening van het landhoofd is een horizontaal slappe veer aangebracht op het niveau van de oplegging. De veer is ontleend aan de rekstijfheid van de

stalenliggers (h.o.h afstand is 0,75 m), de bijdrage van het beton is verwaarloosd ($k_h = ¾*EA/L_{totaal}$ / h.o.h. afstand van de liggers);
- De grondbedding langs de paalfundering is afgeleid uit de sonderingen en is geschat uit de formule: $k_h * D = 3q_c$. Hier is k_h de grondbedding, D is de equivalente middellijn van de paal en q_c is de conusweerstand;
- Een bovenbelasting van 20 kN/m^2 is in rekening gebracht.

Het rekenmodel is vooral gebruikt om optimale verdeling van de belastingen over de palen te bepalen. De verticale belastingen uit de gewichtsmuur (inclusief eigen gewicht van de muur) worden uitgesmeerd over de dikte van de muur en op de houtenvloer (direct onder de muur) gebracht. Dit om te voorkomen dat de houtenvloer slechts lokaal langs de hartlijn (systeemlijn) van de muur wordt belast door de verticale belastingen uit de muur. In het programma is de gewichtsmuur ingevoerd als een betonwand die dezelfde elasticiteitsmodulus en hetzelfde volumieke gewicht heeft als een metselwerk.

4.2. Rekenresultaten

4.2.1. Krachtsverdeling bovenbouw

De krachtsverdeling in het brugdek is berekend m.b.v. Scia Engineer. De stalenliggers zijn doorgaand boven de tussenpijlers ingevoerd en doorgerekend door het programma. Ter plaatse van de tussenpijlers zijn de liggers voorzien van een rotatieveer die in staat is een beperkt buigend moment op te nemen. De constructieve betonplaat is in het model ingevoerd als een plaat met orthotrope materiaaleigenschappen. Het beton is in beide richtingen als gescheurd constructief deel beschouwd. Hierdoor is het grootste deel van de belastingen afgedragen naar de stalenliggers. De rekenwaarde van de optredend buigende momenten in zowel de betonplaat als de stalenliggers worden hieronder weergegeven (voor de invoer en uitvoer van Scia Engineer wordt verwezen naar bijlage C).

Momenten en krachten uit Scia engineer. (tussen haakjes aangepaste waarden)

			Momenten (kNm, U.G.T.)			
Deel	constructie	snede	mxD-	mxD+	myD-	Vz (kN)
Bovenbouw	Betonnen Rijplaat	Langs(veld)	10,7			
		Langs(stpt)		-4,0		51
		Dwars			16,2	
	Stalen-liggers	midden			207	
		eind			-105	109

Momenten reduceren:
Herverdeling toepassen 20% maximaal conform NEN 6720.
Afstand d vanaf het steunpunt de gemiddelde momenten bepalen.

Dwarskracht reduceren:
De dwarskrachtpieken zijn heel lokaal en bevinden zich ter plaatse van de steunpunten. De dwarskracht wordt bekeken per meter en op een afstand d van de oplegging. Vx is maatgevend voor de controle.

Maximum veldmoment in stalenligger, $M_{d;max}$ = 381 kNm
Maximum moment t.p.v. steunpunt, $M_{d;stpt}$ = -0,2 kNm
Maximum dwarskracht, $V_{d;max}$ = 177kN

4.2.2. Krachtsverdeling Landhoofd

De krachtsverdeling in het landhoofd is berekend m.b.v. Scia Engineer. De invoer van het model en de uitvoerresultaten zijn opgenomen in bijlage E.
Deze berekening is uitgevoerd ter bepaling van de maximum paalbelasting onder het landhoofd. Het toetsen van het metselwerk, de houtenvloer en de kespen zijn in deze berekening niet beschouwd.

De maatgevende palen zijn in de 2e palenrij direct onder de gewichtsmuur.

		Momenten (kNm, U.G.T.)			
constructie	snede	mxD-	mxD+	myD-	N (kN)
Landhoofd	Palen				-141

4.3. Samenvatting rekenresultaten

			Momenten (kNm, U.G.T.)			
Deel	constructie	snede	mxD-	mxD+	myD-	Vz / N (kN)
Bovenbouw	Betonnen Rijplaat	Langs(veld)	10,7			
		Langs(stpt)		-4,0		51
		Dwars			16,2	
	Stalen-liggers	midden			381	
		eind			-0,20	177
Onderbouw						
	Land-hoofd	Palen				-176

5 Toetsing brugconstructie op sterkte

5.1. Bovenbouw – brugdek

5.1.1. Betonnen rijplaat

Rijrichting

Veldmoment
Dikte van constructief beton, h = 150 mm
Toegepaste betonstaalwapening 1e laag: Ø8 – 160 mm. C=30 mm
Toegepaste betonstaalwapening 2e laag: Ø8 – 80 mm. C=40 mm

Uit D-Bet doorsnedentoets (zie bijlage F) bedraagt het opneembaar buigende moment in de rijrichting:
M_u = 10.6 kNm/m
Het optredende maximum veld moment M_d = 10,7 kNm (moment per m1 in plaat)
U.C. = M_d / M_u = 1,01 ***Acceptabel***

Dwarskracht betonplaat
V_u = 0,4*1,4 N/mm^2 * 1000 mm * (150mm – 40mm – 8mm -8mm/2)/1000 = 72 kN
V_d = 51 kN
U.C. = 51 kN / 72 kN = 0,71 ***Voldoet***

Dwarsrichting

Veldmoment
Dikte van constructief beton, h = 160 mm
Toegepaste betonstaalwapening 2e laag: Ø8 – 80 mm. C=40 mm

Uit D-Bet doorsnedentoets (zie bijlage F) bedraagt het opneembaar buigende moment in de dwarsrichting:
M_u = 19,0 kNm/m
Het optredende maximum veld moment M_d = 16,2 kNm (na herverdeling met veld)
U.C. = M_d / M_u = 0,85 ***Voldoet***

5.1.2. Stalenliggers (profielen BP 320 (HEB) – maatgevend)

Het maatgevende veldmoment bevind zich in de liggers met de grootste overspanning.

Staalkwaliteit	= S235 (volgt uit onderzoek Baars Cipro)
W_{el}	= 1926000 mm^3
W_{pl}	= 2160000 mm^3
$M_{u;el}$	= 453 kNm (elastische bezwijkcapaciteit)
M_{pl}	= 508 kNm (plastisch moment van liggers)

Optredende momenten en dwarskracht:

$M_{d;max;midden}$	= 381 kNm
$M_{d;stpt}$	= -0,2 kNm

V_d = 177 kN

Toets:
U.C. (midden) = $M_{d;midden}$ / $M_{u;el}$ = 0,84 ***Voldoet***

Dwarskracht
$V_u = (f_s * t_w * h_1 * / \sqrt{3}) / 10^{-3}$ ($t_w = h - 2*T_f$)
➔ (235N/mm^2*11,5mm*279mm/√3) / 1000 = 435 kN > 177 kN ***Voldoet***

5.2. Onderbouw - landhoofd

Palen van het landhoofd
De maximum paalbelasting treedt op in de 2e palenrij onder de gewichtsmuur en bedraagt, $F_{max;d}$ = 113 kN.

Paalpuntdraagvermogen: $F_{r;max;punt;d}$ = 100 kN.
De maximale paalvoetbelasting, $F_{voet;max;d}$ = 141kN

U.C. = 141 kN / 100 kN = 1,41 *(voldoet niet – 41% overschrijding aan de hand van het aangenomen puntdraagvermogen)*

6 Conclusie en aanbevelingen

6.1. Resultaten uit herberekening van Brug 117

In dit document is de uitvoering van de herberekening van Brug 117 opgenomen. De brug ligt in de route van de Rozengracht – de Clercqstraat en gaat over de Lijnbaansgracht. Het doel van de herberekening van de brug is om na te gaan of Brug 117 gehandhaafd kan worden voor de komende 15 jaar, zonder dat de brug ingrijpend wordt gerenoveerd. De brug is diverse keren aangepast in de periode tussen 1900 en 1925 en geschikt gemaakt voor verkeersklasse B van VOSB 1938. In de jaren 50 is de brug nogmaals verbreed.

Bij de beoordeling van Brug 117 is uitgegaan van o.a. de Eurocode verkeersbelasting volgens NEN 6706, de grondslagen van het beoordelen van bestaand kunstwerk volgens NEN 8700 en de Nederlandse PraktjikRichtlijnen (ontwerp). Daarbij dient bij de berekeningen uitgegaan te worden van een restlevensduur van 1 jaar (voor de hele brug) en een referentieperiode van 15 jaar (voor wat betreft de verkeersbelasting). Dit houdt in dat er, naast het toepassen van reductiefactoren - ψ waarden – bij de dominante mobiele belasting, verlaagde belastingfactoren behorende bij een betrouwbaarheidsindex voor een restlevensduur van 1 jaar (= 2,5) mogen worden gebruikt. In de berekeningen zijn die reductiefactoren en de verlaagde belastingfactoren verwerkt in de rekenresultaten.

Uit het toetsen van de diverse onderdelen van de brug op breukveiligheid blijkt dat het beton in het brugdek voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te nemen. De stalen liggers hebben ook voldoende capaciteit voor het dragen van de belastingen. Hiermee kan worden geconcludeerd dat de bovenbouw (brugdek) voldoende capaciteit heeft om gedurende 15 jaar de verkeersbelasting en de overige belastingen te kunnen dragen.

De houten paalfundering van de landhoofden voldoet niet aan de aangenomen eis van 100 kN. Deze eis is gekozen omdat er geen onderzoek is uitgevoerd naar de funderingen van het landhoofd. De gestelde eis is een waarde waarin een hoop veiligheid is verwerkt omdat er belangrijke gegevens ontbreken in het bepalen van de sterkte van de fundering. Wanneer er onderzoek wordt gedaan naar het type fundering, de bacteriële aantasting en de houtspecificaties dan kan er een nauwkeurig paaldraagvermogen worden bepaald en kan de maximale drukspannings capaciteit worden bepaald. Wanneer er een funderingsonderzoek wordt uitgevoerd dan is de kans aanwezig dat ook na het onderzoek dat de fundering niet voldoet.

6.2. Resultaten visuele inspectie Brug 117

Op basis van de bevindingen van de visuele inspecties die door het onderzoeksbureau Baars-Cipro zijn uitgevoerd en verwerkt in het rapport met projectcode 11p014 zijn de volgende conclusies afgeleid:

- De brug is overbelast;
- Er vindt degradatie in het metselwerk en de stalen profielen plaats a.g.v. ernstige lekkages in de brug;

Voorts is van het rapport het volgende aanbevolen:

- Het uitvoeren van een onderzoek naar eventuele uitspoeling van grond door de scheuren waardoor mogelijk holle ruimtes ontstaan achter de landhoofden;
- Het herstellen betonschades aan het brugdek;
- Uitvoeren van stabiliteitsberekening van het metselwerk;
- Toetsen van de stalenliggers.

Uit de inspectierapportage wordt geconcludeerd dat Brug 117 in een matig tot slechte staat verkeert. In het metselwerk van de ondersteuningsconstructies zijn grote scheuren waargenomen en die duiden op mogelijk overbelasten van de houtenpalen onder de brug.

6.3. Conclusie en aanbevelingen Brug 117

Er wordt geconcludeerd dat de bovenbouw van brug 117 voldoende capaciteit heeft voor de verkeersbelasting volgens NEN 6706 voor een periode van maximum 15 jaar. Voor de fundering kan worden geconcludeerd dat de draagkracht niet voldoet op basis van de huidige aangenomen waarde. De frequentie van de inspectie moet worden opgevoerd tot 1x maandelijks en de huidige rijbaanindeling moet gedurende een periode van 15 jaar worden gehandhaafd.

Het gevraagde veiligheidsniveau van de wettelijk geldende normen wordt gehaald voor het brugdek van brug 117 maar niet voor de fundering van brug 117. Brug 117 voldoet niet meer aan de eisen t.a.v. breukveiligheid en wordt in zijn huidige staat afgekeurd volgens de regels van NEN 8700 omdat de afkeurgrens vaan 15 jaar niet is gehaald. De brug voldoet dus niet aan het minimaal wettelijke veiligheidsniveau. De fundering van de brug moet worden versterkt of geheel worden vernieuwd.

Versterken van houtenpaalfundering

De houten paalfundering voldoet niet aan de eis t.a.v. het paaldraagvermogen. Ook is de kans aanwezig dat de fundering van de pijler niet voldoet nadat er funderingsonderzoek is uitgevoerd. Het gevolg hiervan is dat de fundering van de brug versterkt of vernieuwd moet worden. Er dient een nieuw paalsysteem te worden aangebracht dat de dragende functie overneemt van de bestaande houtenpalen. De bestaande houtenpalen kunnen blijven staan.

Vervangen van huidige brug

De huidige brug kan worden gesloopt en worden vervangen door een geheel nieuw te ontwerpen brug voor een gebruiksduur van 100 jaar. Voor het in bedrijf houden van het tramvervoer zal het nodig zijn om gedurende het eigenlijke bouwen van de nieuwe brug een hulpbrug naast de huidige brug te plaatsen. Hierop kunnen het autoverkeer, het tramverkeer en fietsers worden omgeleid. Het gefaseerde bouwen van de nieuwe brug is ook mogelijk, maar de kosten van het omleggen van de tramsporen kunnen aanzienlijk zijn.

Colofon

Herberekening Brug 117, Raadhuisstraat,
Op houtenpalen gefundeerde staalbeton brug

Tekst
Gemeente Amsterdam
Ingenieursbureau

Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen zonder bronvermelding.

Ingenieursbureau Amsterdam
Weesperstraat 430
Postbus 12693
1100 AR Amsterdam