Dossier 9316
Constructieve beoordeling van brug 20 te Amsterdam

Rapport 9316-1-0
Herberekening van bestaande brug conform de NEN 8700-serie en Eurocodes op afkeurniveau

16 juni 2016

INHOUD

1	**Inleiding**	**3**
1.1	Opdracht	3
1.2	Leeswijzer	4
2	**Basisinformatie en uitgangspunten**	**5**
2.1	Algemene basisinformatie	5
2.2	Normen en richtlijnen	5
2.3	Computerprogrammatuur	5
2.4	Materialen	6
2.4.1	Beton	6
2.4.2	Betonstaal	6
2.4.3	Constructiestaal	6
3	**Beschrijving constructie en modellering**	**7**
3.1	Algemeen	7
3.2	Brugdek	7
3.3	Onderbouw en fundering	8
3.4	Modellering brugdek	10
3.5	Modellering onderbouw en fundering	11
4	**Belastinggevallen en –combinaties**	**14**
4.1	Belastinggevallen en –combinaties brugdek	14
4.1.1	Algemeen	14
4.1.2	Permanente belastingen	14
4.1.3	Veranderlijke belastingen	14
4.1.4	Belastingfactoren	16
4.1.5	Belastingcombinaties	17
4.2	Belastinggevallen en –combinaties onderbouw	17
4.2.1	Algemeen	17
4.2.2	Permanente belastingen	17
4.2.3	Veranderlijke belastingen	18
4.2.4	Belastingfactoren	19
4.2.5	Belastingcombinaties	19
5	**Resultaten en toetsingen**	**20**
5.1	Resultaten en toetsing brugdek	20
5.2	Resultaten onderbouw	21
6	**Samenvatting en conclusies**	**22**

Bijlage A – Tekeningen brug 20
Bijlage B – SCIA Engineer berekeningsrapportage brugdek
Bijlage C – Bepaling capaciteit onderdelen brugdek
Bijlage D – SCIA Engineer berekeningsrapportage landhoofd
Bijlage E – SCIA Engineer berekeningsrapportage tussenpijler

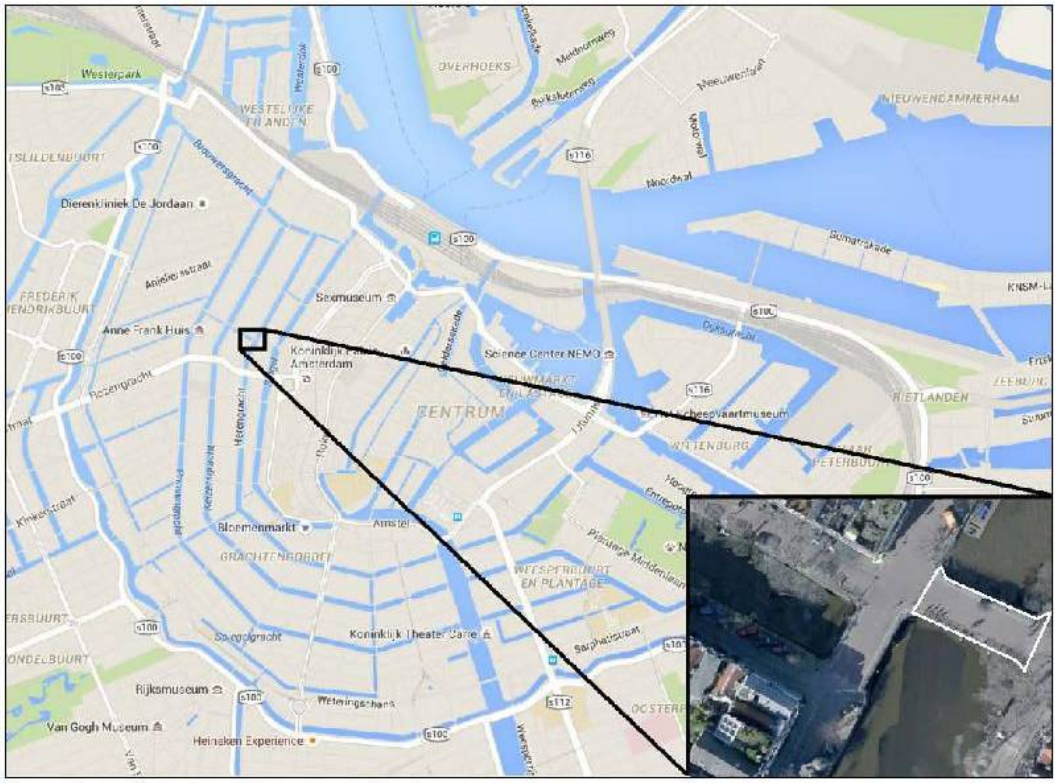
1 Inleiding

1.1 Opdracht

Het Ingenieursbureau van de gemeente Amsterdam (IB) heeft Adviesbureau [redacted] opdracht gegeven om een brug in de binnenstad van Amsterdam te beoordelen aan de hand van een herberekening. De brug, brug 20, overspant de Herengracht ter hoogte van de Leliegracht, zie figuur 1 en figuur 2.

Dit rapport beschrijft de herberekening, welke is uitgevoerd aan de hand van de RBK 1.1 en de Eurocodes, in combinatie met voorschriften uit NEN 8700 en NEN 8701. NEN 8700 geeft de grondslagen voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk en NEN 8701 geeft aanvullingen hierop voor het bepalen van de belasting op bestaande constructies.

De constructie is ingedeeld in gevolgklasse 2 (CC2) en er is uitgegaan van het afkeurniveau conform NEN 8700. Zowel de bovenbouw (het brugdek) als de onderbouw en de fundering (palen) zijn beschouwd. De invloed van vermoeiing is niet meegenomen in de beoordeling. Dit rapport is, op aangeven van de opdrachtgever, opgesteld aan de hand van de standaardindeling voor herberekeningsrapporten van IB.



figuur 1 Locatie en bovenaanzicht brug 20



figuur 2 Aanzicht brug 20 vanaf oostzijde

Op aangeven van de opdrachtgever zijn er bij de beoordeling 3 verschillende belastingsituaties beschouwd. Naast het in de Eurocodes voorgeschreven belastingmodel 1 ('LM1') wordt een situatie beschouwd waarin 80% van dit belastingmodel aanwezig is, zowel van de gelijkmatig verdeelde belasting als de tandemstelsels. Daarnaast wordt nog een derde situatie beschouwd waarin een gelijkmatig verdeelde belasting van 2,5 kN/m^2 aanwezig is, in combinatie met één tandemstelsel van 2 x 200 kN.

De 2 alternatieve belastingsituaties worden beschouwd om de invloed van de verkeersbelastingen op de optredende paalkrachten inzichtelijk te maken. De maatgevende optredende paalbelastingen worden in paragraaf 5.2 voor elke belastingsituatie afzonderlijk vermeld. De toetsing van de bovenbouw is gedaan op basis van LM1, conform de Eurocodes.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de basisinformatie en de uitgangspunten genoemd die van belang zijn voor de herberekening.

In hoofdstuk 3 is de bestaande constructie getoond en beschreven en wordt de wijze van modelleren toegelicht, waarna in hoofdstuk 4 de gehanteerde belastinggevallen en -combinaties zijn gegeven. In hoofdstuk 5 volgen de resultaten en toetsingen van de herberekening.

Ten slotte zijn in hoofdstuk 6 de conclusies opgenomen.

2 Basisinformatie en uitgangspunten

2.1 Algemene basisinformatie

De volgende informatie is geraadpleegd bij het beoordelen van brug 20:

[1] Diverse tekeningen van brug 20, Stadsarchief Amsterdam
(opgenomen als bijlage A van het voorliggende rapport)
[2] Rapport 26442 'Funderingsinspectie brug 20 + 21 incl. aangrenzende kades - Amsterdam', [redacted] d.d. 02-07-2015

2.2 Normen en richtlijnen

De volgende normen en richtlijnen zijn gehanteerd:

- NEN-EN 1990+A1+A1/C2 (+NB), 'Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp', 2011
- NEN-EN 1991-1-1+C1 (+NB), 'Eurocode 1: Belastingen op constructies – Algemene belastingen', 2011
- NEN-EN 1991-2+C1 (+NB), 'Eurocode 1: Belastingen op constructies – Verkeersbelasting op bruggen', 2011
- NEN-EN 1992-1-1+C2 (+NB), 'Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Algemene regels', 2011
- NEN-EN 1992-2+C1 (+NB), 'Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Bruggen', 2011
- NEN-EN 1993-1-1+C2+C2/A1 (+NB), 'Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Algemene regels', 2014
- NEN-EN 1994-1-1+C1 (+NB), 'Eurocode 4: Ontwerp en berekening van staal- betonconstructies – Algemene regels', 2011
- NEN 8700, 'Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen', 2011
- NEN 8701, 'Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Belastingen', 2011
- RBK 1.1, 'Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken', 2013

2.3 Computerprogrammatuur

De volgende computerprogrammatuur is gebruikt:

- SCIA Engineer versie 15.3; EEM-berekeningen
- Microsoft Word versie 2013; Rapportage
- Microsoft Excel versie 2013; Rekensheets

2.4 Materialen

De volgende materialen, met bijbehorende eigenschappen, zijn toegepast:

Materiaal (toepassing)	Soort (Eurocode equivalent)	Soortelijk gewicht [kN/m³]
Beton (brugdek)	K150 (C8/10)	25,0
Betonstaal (brugdek)	QR22	78,5
Constructiestaal (liggers brugdek)	(S235)	78,5
Overlagingen (vulbeton, tegels, asfalt, etc.)	n.v.t.	23,0
Metselwerk (landhoofden en pijlers)	n.v.t	20,0 / 23,0 (droog / nat)
Hout (planken, kespen, schuifhout, palen)	Dennenhout (C18)	10,0
Grond	n.v.t.	18,0 / 20,0 (droog / nat)

2.4.1 Beton

Het brugdek is in 1962 volledig vervangen. De toegepaste betonsterkteklasse in het brugdek is niet af te leiden uit de beschikbare tekeningen, dus is uitgegaan van de laagste voorgeschreven sterkteklasse uit die periode: K150. Dit komt, conform de Eurocodes, overeen met C8/10. De betondekking is minimaal 25 mm.

2.4.2 Betonstaal

De toegepaste betonstaalsoort in het brugdek is niet af te leiden uit de beschikbare tekeningen, dus is uitgegaan van de laagste voorgeschreven betonstaalsoort uit de bouwperiode: QR22 (f_{yk} = 220 N/mm^2 / f_{yd} = 191 N/mm^2).

2.4.3 Constructiestaal

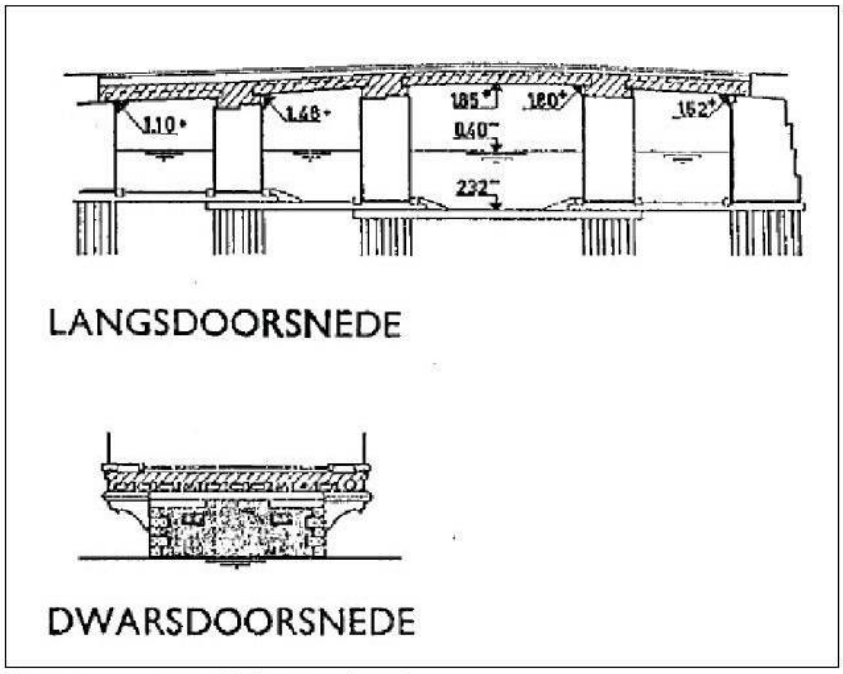
De staalsoort van de liggers in het brugdek is niet af te leiden uit de beschikbare tekeningen. De meest gangbare staalsoort, S235, is hiervoor aangehouden.

3 Beschrijving constructie en modellering

3.1 Algemeen

Brug 20 is oorspronkelijk gebouwd in 1793. In 1886 is de brug verlaagd en verbreed. In 1962 is vervolgens het brugdek vernieuwd. De brug is sindsdien 8,8 m breed en ongeveer 21 m lang. De brug bestaat uit vier overspanningen, zie figuur 3.

Op beide randen van het brugdek is een (relatief zwaar) ijzeren leuningwerk aanwezig. Direct daarnaast bevinden zich trottoirs van ongeveer 1,40 m breed en de middelste 6,00 m van het brugdek is rijbaan.



figuur 3 Zijaanzicht brug 20 (1962)

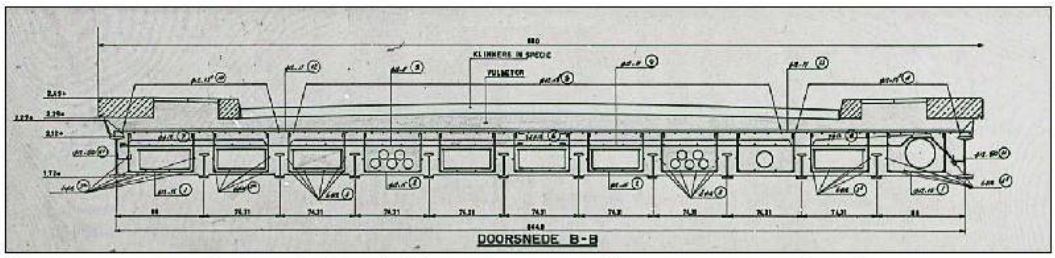
3.2 Brugdek

Van het westen naar het oosten gezien zijn de overspanningen achtereenvolgens 3,22, 3,25, 5,70 en 3,20 m lang.

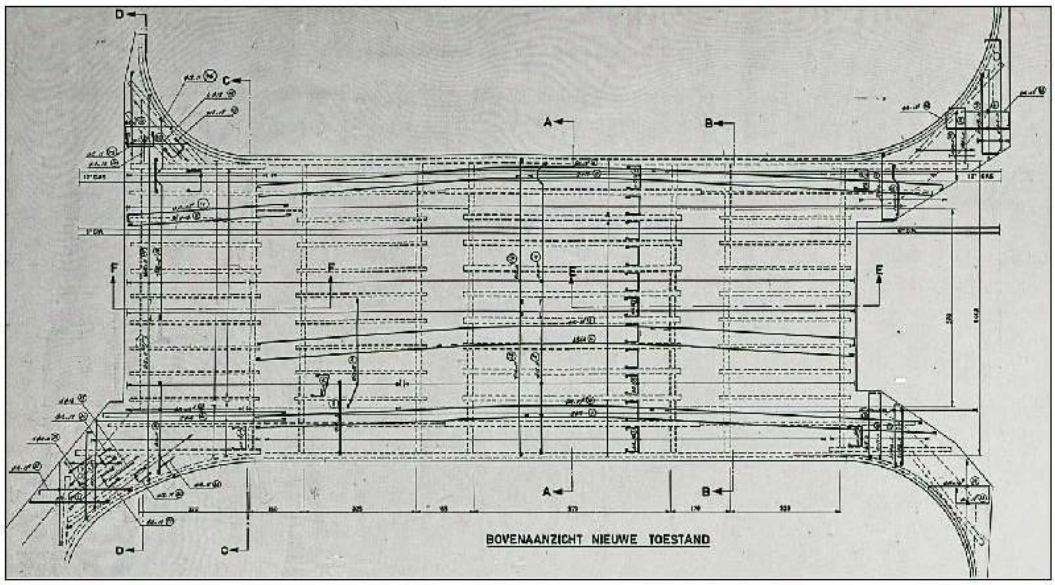
Het brugdek is een staal-betondek bestaande uit 12 stalen liggers met een (gewapend) betonnen dek eroverheen, zie figuur 4. De randliggers zijn overal 400 mm hoog. Ter plaatse van de grootste overspanning zijn de overige hoofdliggers 300 mm hoog. Ter plaatse van de andere, kleinere overspanningen zijn de overige hoofdliggers 233 mm hoog. De profielafmetingen, zoals deze op tekening staan, zijn niet terug te leiden naar (bekende) standaardprofielen. De profielen zijn daarom in SCIA Engineer handmatig ingevoerd met de afmetingen van tekening, zie ook paragraaf 3.4. De hoofdliggers hebben een hart-op-hartafstand van ongeveer 744 mm, bij de randliggers is dit hart-op-hart 880 mm.

Ter plaatse van de tussenpijlers lopen de liggers niet door, maar zijn de hoofdliggers vrij opgelegd. Het (gewapende) betondek is echter wel doorlopend over de tussenpijlers, zie figuur 6. De beide randliggers zijn ter plaatse van de tussenpijlers wel doorlopend / gekoppeld, zie figuur 5.

Ter plaatse van de landhoofden verbreedt het brugdek enigszins, zie figuur 5. Deze 'hoekjes' bestaan uit (extra) stalen liggers, opgelegd op de landhoofden en in de randliggers, met een massief betondek ertussen.



figuur 4 Dwarsdoorsnede brugdek brug 20 t.p.v. middenoverspanning (1962)



figuur 5 Bovenaanzicht brug 20 (1962)

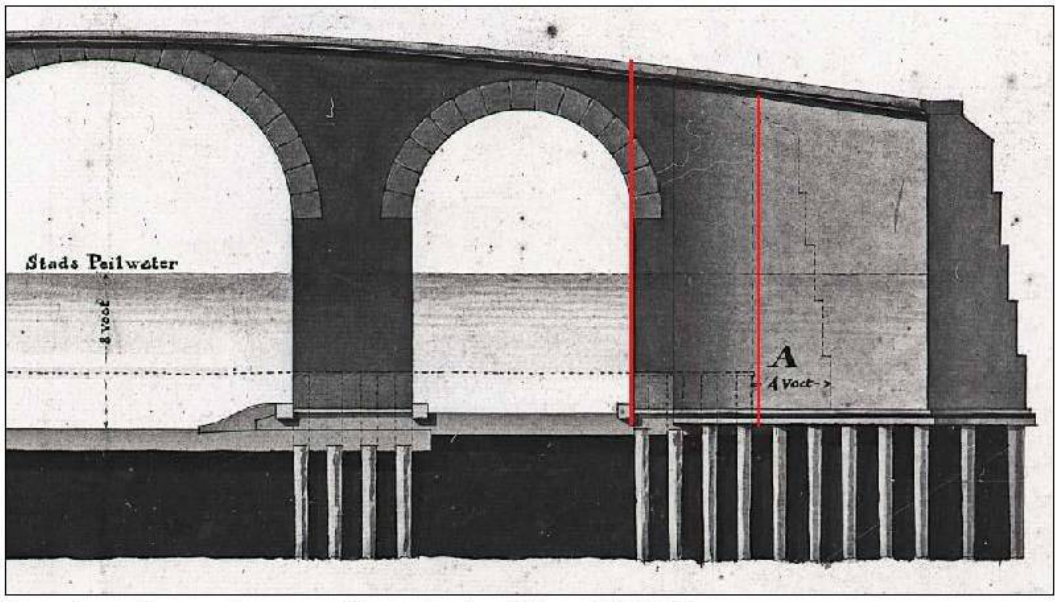
3.3 Onderbouw en fundering

De tussenpijlers zijn metselwerk wanden van 1,6 tot 1,7 m breed. De wanden zijn gefundeerd op een houten vloer op ongeveer NAP -2,30 m. Er zijn per pijler 4 rijen met houten palen (te lood) aanwezig, in de vaarrichting met een hart-op-hartafstand van ongeveer 300 tot 400 mm (bron: [2]). De palen zijn zeer waarschijnlijk aangebracht tot in de 1e zandlaag op ongeveer NAP -15,00 m.

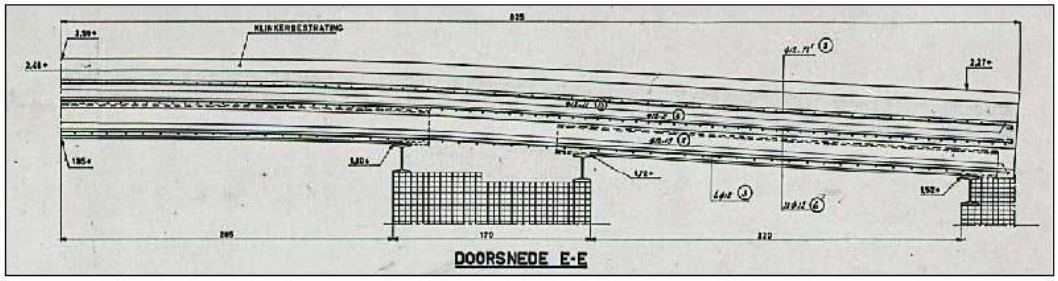
De landhoofden bestaan ook uit metselwerk wanden, maar de breedte is niet direct van tekening af te leiden. Het niveau van de vloer is ongeveer NAP -2,00 m, zie figuur 6. Het aantal rijen palen is niet bekend, maar op basis van figuur 6 lijken de landhoofden ongeveer op eenzelfde wijze als de

pijlers opgebouwd te zijn, met 4 palenrijen onder een breedte van ongeveer 1,7 m (aangeduid met rode lijnen). In de vaarrichting is de hart-op-hartafstand ongeveer 400 mm (bron: [2]).

Ter plaatse van het westelijke landhoofd zijn de liggers van het dek direct opgelegd op het metselwerk. Ter plaatse van de tussenpijlers en het oostelijke landhoofd zijn de liggers van het dek op stalen liggers in dwarsrichting van het brugdek geplaatst, die vervolgens weer op het metselwerk rusten, zie figuur 7. Deze liggers kragen aan beide zijden ongeveer 1,4 m uit, uit de tussenpijlers en het landhoofd, zie figuur 3.



figuur 6 Doorsnede tussenpijler en landhoofd brug 20 (1886)



figuur 7 Langsdoorsnede (halve) brugdek brug 20 t.p.v. tussenpijler (1962)

3.4 Modellering brugdek

Het brugdek is gemodelleerd in het computerprogramma SCIA Engineer. In dit eindige-elementen-programma is een driedimensionaal model van de constructie gemaakt en doorgerekend.

Het brugdek is gemodelleerd als isotrope betonplaten met stalen liggers als ribben. De platen hebben een dikte van 200 mm, zie figuur 4 voor een doorsnede. Rondom en tussen de liggers is nog meer beton aanwezig, maar dit is alleen meegenomen als een additionele belasting, zie hoofdstuk 4. De stalen liggers zijn voorzien van (blok)deuvels. Uit een verkennende beschouwing is gevolgd dat deze niet voldoende capaciteit hebben om de optredende schuifkrachten (volledig) op te nemen, daarom zijn de ribben in het hart van de platen geplaatst en zal belastingafdracht plaatsvinden op basis van de individuele stijfheden van de betonplaten en de stalen liggers. Er is dus geen rekening gehouden met samenwerking tussen beton en staal. Zoals gesteld in paragraaf 3.2 lijken de stalen liggers geen (bekende) standaardprofielen te zijn. De liggers zijn handmatig in SCIA Engineer ingevoerd, met de afmetingen zoals deze op tekening staan.

Het beton is als gescheurd aangenomen. Daartoe is de elasticiteitsmodulus van het beton verlaagd tot 11.000 N/mm^2 en de Poissonverhouding is op 0 gesteld.

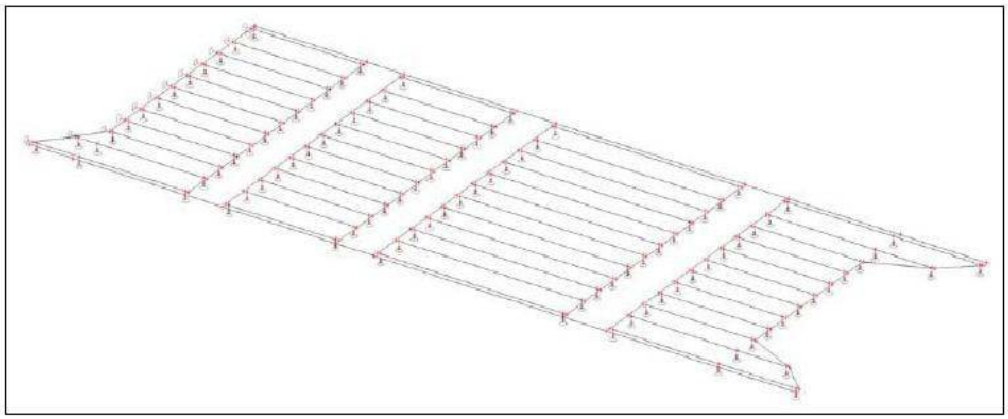
De hoekjes, zoals beschreven in paragraaf 3.2 zijn niet gemodelleerd, maar meegenomen als een additionele belasting. Uit een door Adviesbureau Hageman eerder uitgevoerde herberekening van een soortgelijke brug (brug 21) volgt dat de invloed van deze hoekjes op de totale krachtswerking van het brugdek verwaarloosbaar is.

De liggers lopen niet door over de tussenpijlers. De doorsnede boven de pijlers, tussen de liggers, bestaat daarom alleen uit de betonplaat van 200 mm dik. De randliggers lopen wél door over de tussenpijlers. De invloed hiervan op de totale krachtswerking van het brugdek is gering en is om deze reden niet meegenomen in de modellering.

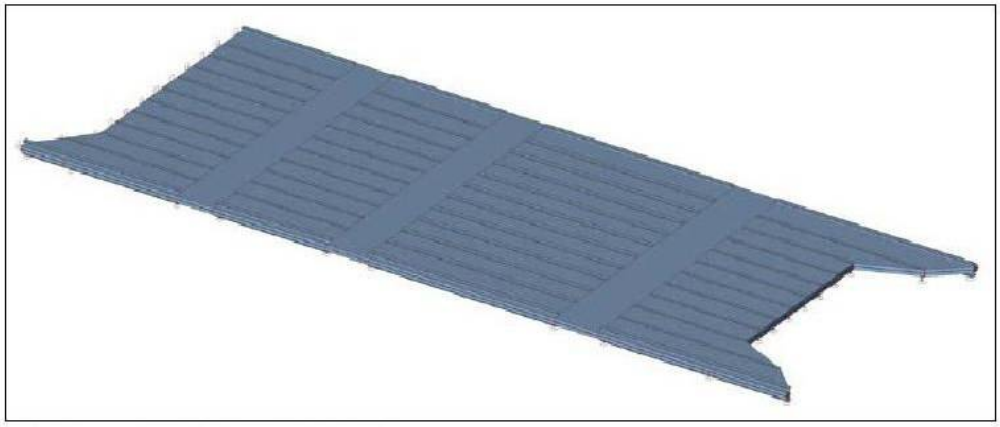
Uit de beschikbare visuele inspectie van de brug ([2]) komen geen schades aan het brugdek naar voren die dusdanig van aard zijn dat ze van invloed worden geacht op het draagvermogen. In de herberekening zijn daarom geen schades meegenomen.

Ter plaatse van de randen van het brugdek zal, vanwege de aanwezigheid van de uitkragende ondersteuningen, de verticale steun van het brugdek minder zijn dan ter plaatse van het midden van het brugdek. Het exacte verschil is niet rekenkundig aan te tonen, maar om dit effect enigszins in het model te nemen, zijn de ondersteuningen voorzien van een (verticale) veer. Hierbij is, arbitrair, voor de ondersteuningen van de buitende liggers een veerconstante aangehouden die 1/3 lager is dan die van de ondersteuningen van de overige liggers.

Zie figuur 8 en figuur 9 voor grafische weergaven van het model. Voor verdere informatie met betrekking tot de modellering wordt verwezen naar bijlage B van het voorliggende rapport.



figuur 8 Aanzicht model brugdek



figuur 9 Aanzicht model brugdek

3.5 Modellering onderbouw en fundering

De onderbouw is ook gemodelleerd in SCIA Engineer. De onderbouw bestaat uit twee qua opbouw vrijwel identieke landhoofden en drie vrijwel identieke tussenpijlers. Er is een model gemaakt van één (maatgevend) landhoofd en van één (maatgevende) tussenpijler.

Het landhoofd en de pijler zijn zoveel mogelijk gemodelleerd overeenkomstig de, uit de beschikbare tekeningen af te leiden, bestaande opbouw. De metselwerk wanden zijn gemodelleerd met wandelementen, opgebouwd uit 2 lagen: nat metselwerk (onder water en in een capillaire zone tot ongeveer 0,5 m boven het waterpeil) en droog metselwerk (boven de capillaire zone). De lagen verschillen alleen in eigen gewicht.

Uit de beschikbare visuele inspectie van de brug ([2]) komen geen schades aan het metselwerk naar voren die dusdanig van aard zijn dat ze van invloed worden geacht op het draagvermogen (bijvoorbeeld doorgaande verticale scheuren). In de modellering van de onderbouw zijn daarom geen schades meegenomen.

De dikte van de landhoofden en het palenplan ervan zijn niet bekend. Er is aangenomen dat de landhoofden net zo dik zijn als de pijlers; 1,70 m. Deze dikte wordt, net als bij de pijlers, effectief ondersteund door 4 rijen palen, zie ook figuur 6. Voor zowel de landhoofden als de pijlers is een hart-op-hartafstand in de vaarrichting aangehouden van 400 mm. Vaak loopt de houten vloer van de landhoofden nog verder door achter de metselwerk wand. Aangezien niet bekend is in hoeverre dit hier het geval is en aangezien het van geringe invloed op de krachtswerking van de constructie is, is dit niet gemodelleerd.

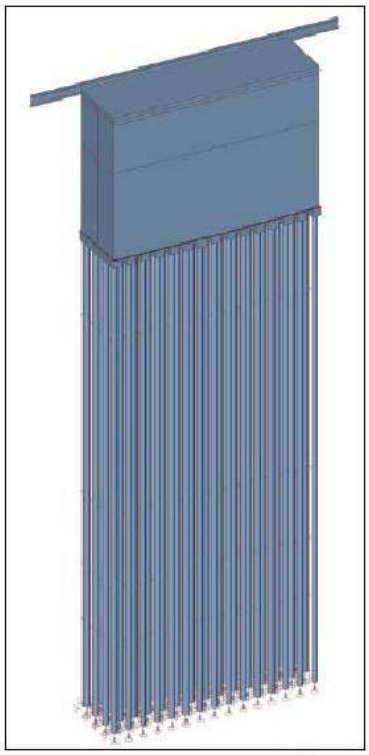
De palen onder de landhoofden en de pijlers zijn houten palen, met zeer waarschijnlijk een taps verloop. Uit de inspectie van de brug ([2]) blijkt dat de diameters van de palen variëren. Op basis van [2] is voor de palen onder de landhoofden een diameter van 160 mm gehanteerd en voor de palen onder de pijlers en diameter van 180 mm. In het voorliggende rapport worden overigens alleen paalbelastingen bepaald en niet paaldraagvermogens; de gemodelleerde paaldiameter is daardoor van geringe invloed op de resultaten.

De palen worden ondersteund door horizontale beddingen langs de paalschacht en een verticale veer onder de paalpunt. Voor de horizontale beddingen zijn, in overleg met de opdrachtgever, de onderstaande beddingsconstanten aangenomen, gebaseerd op een gemiddeld grondprofiel zoals gevonden in het centrum van Amsterdam.

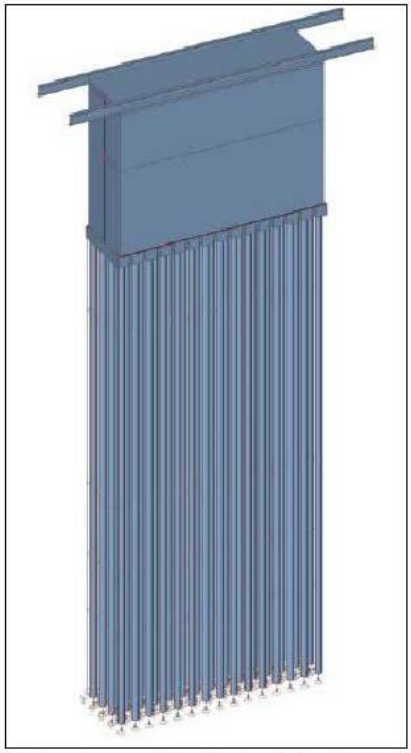
Grondlaag	**Boven-/onderzijde laag [m NAP]**	**Dikte laag [m]**	**$k_{h;rep}$ [kN/m³]**	**$k_{h;d}$ [kN/m³]**
Klei en veen	0,0 / -4,0	4,0	2000	1480
Wadafzettingen	-4,0 / -9,0	5,0	4000	2960
Zandhoudende klei	-9,0 / -11,0	2,0	6000	4440
Klei en veen	-11,0 / -12,6	1,6	1600	1190
1e Zandlaag	-12,6 / verder	-	36000	26670

Voor de verticale veer op de paalpunt is, in overleg met de opdrachtgever, een veerconstante van 75 MN/m aangenomen.

Zie figuur 10 en figuur 11 voor grafische weergaven van de modellen. Voor verdere informatie met betrekking tot de modellering wordt verwezen naar bijlagen D en E van het voorliggende rapport.



figuur 10 Aanzicht model landhoofd



figuur 11 Aanzicht model tussenpijler

4 Belastinggevallen en –combinaties

4.1 Belastinggevallen en –combinaties brugdek

4.1.1 Algemeen

Voor de belastingen op het brugdek is onder andere uitgegaan van de verkeersbelastingen zoals voorgeschreven in de Eurocodes. De berekening is uitgevoerd voor het afkeurniveau.

Er is uitgegaan van een wegindeling zoals in de huidige situatie, zie figuur 2. Op aangeven van de opdrachtgever is aangenomen dat de trottoirs niet berijdbaar zijn en dat het deel tussen de trottoirs volledig vrij berijdbaar is door verkeer. Tevens is op aangeven van de opdrachtgever voor het aantal vrachtwagenpassages per jaar (N_{obs}) uitgegaan van maximaal 200.

De volgende belastinggevallen zijn in het model in rekening gebracht; zie bijlage B voor grafische weergaven van deze belastingen in het model. De invloed van wind, horizontaal en verticaal, is verwaarloosbaar geacht en is daarom niet meegenomen in de belastinggevallen. De invloed van horizontale remkrachten is wel meegenomen, in de belastinggevallen van de onderbouw.

4.1.2 Permanente belastingen

BG0: Eigen gewicht constructie
Het eigen gewicht van het gemodelleerde deel van de constructie: wordt door SCIA Engineer berekend.

BG1: Eigen gewicht van resterende beton
Het eigen gewicht van het niet-gemodelleerde deel van de constructie, zoals beschreven in paragraaf 3.4. Deze belasting is ingevoerd als lijnlasten op de stalen liggers van 1,5 kN/m ↓ en 2,0 tot 3,0 kN/m ↓ ter plaatse van de 'hoekjes'.

BG2: Rustende belastingen uit overlagingen en leuningwerk
Het eigen gewicht van de verschillende overlagingen (vulbeton, asfalt, etc.) die op tekening zijn weergegeven. Deze belastingen zijn ingevoerd als gelijkmatig verdeelde belastingen:

- T.p.v. trottoirs: 0,30 m x 23 kN/m^3 = 6,9 kN/m^2 ↓
- T.p.v. rijbaan: 0,20 m x 23 kN/m^2 = 4,6 kN/m^2 ↓

Op de beide randen van de brug is een relatief zwaar leuningwerk toegepast. Hiervoor is een gewicht van 200 kg/m aangenomen. Deze belasting is ingevoerd als een lijnlast van 2,0 kN/m ↓.

4.1.3 Veranderlijke belastingen

BG3: Verkeersbelasting BM4 – mensenmassa
Belasting ten gevolge van een mensenmassa op het brugdek. Deze belasting is ingevoerd als een gelijkmatig verdeelde belasting op het gehele dek van 5,0 kN/m^2 ↓.

BG4: Verkeersbelasting – UDL op trottoirs
Belasting op trottoirs die gecombineerd wordt met LM1. Deze belasting is reeds voorzien van de combinatiefactor en is ingevoerd als 5,0 kN/m^2 x 0,4 = 2,0 kN/m^2 ↓.

BG5: Verkeersbelasting LM1 – UDL met rijstrook 1 aan de noordzijde
Belasting behorende bij LM1; gelijkmatig verdeelde belasting ter plaatse van rijstroken 1 en 2, in het geval dat rijstrook 1 de noordelijke rijstrook is. Deze belasting is ingevoerd als:

- T.p.v. rijstrook 1: 9,0 kN/m^2 ↓
- T.p.v. rijstrook 2: 2,5 kN/m^2 ↓

BG6: Verkeersbelasting LM1 – UDL met rijstrook 1 aan de zuidzijde
Zelfde als hierboven omschreven, maar in het geval dat rijstrook 1 de zuidelijke rijstrook is.

BG7: Verkeersbelasting LM0 – UDL aangepast LM
Zelfde als hierboven omschreven, maar in het geval van het door de opdrachtgever voorgeschreven aangepaste belastingmodel; 'LM0'. Zowel ter plaatse van rijstrook 1 als rijstrook 2 wordt hier een UDL van 2,5 kN/m^2 ↓ toegepast.

BG8 t/m BG59: Verkeersbelasting LM1 – tandemstelsels met rijstrook 1 aan de noordzijde
Belasting behorende bij BG5; tandemstelsels ter plaatse van rijstroken 1 en 2, in het geval dat rijstrook 1 de noordelijke rijstrook is. De belasting is met behulp van de lastengenerator in SCIA Engineer op verschillende posities op de rijstroken aangebracht. Er is rekening gehouden met lastspreiding onder een hoek van 45 graden tot aan het hart van het brugdek. Deze belasting is ingevoerd als:

- T.p.v. rijstrook 1: 4 vlaklasten van elk: 150 kN / (1,0 m x 1,0 m) = 150 kN/m^2 ↓
- T.p.v. rijstrook 2: 4 vlaklasten van elk: 100 kN / (1,0 m x 1,0 m) = 100 kN/m^2 ↓

BG60 t/m BG111: Verkeersbelasting LM1 – tandemstelsels met rijstrook 1 aan de zuidzijde
Zelfde als hierboven omschreven, maar behorende bij BG6, in het geval dat rijstrook 1 de zuidelijke rijstrook is.

BG112 t/m BG163: Verkeersbelasting LM0 – tandemstelsels met rijstrook 1 aan de noordzijde
Zelfde als hierboven omschreven, maar behorende bij BG7, in het geval dat rijstrook 1 de noordelijke rijstrook is.

BG164 t/m BG215: Verkeersbelasting LM0 – tandemstelsels met rijstrook 1 aan de zuidzijde
Zelfde als hierboven omschreven, maar behorende bij BG7, in het geval dat rijstrook 1 de zuidelijke rijstrook is.

Opmerking: Uit belastinggevallen BG8 t/m BG215 is handmatig een aantal belastinggevallen geselecteerd, die zorgen voor maatgevende momenten dan wel dwarskrachten in het brugdek. De overige belastinggevallen zijn, om het model niet onnodig groot te maken, uit het model verwijderd.

4.1.4 Belastingfactoren

De belastingfactoren zijn aangehouden voor afkeurniveau, conform NEN 8700:

Vergelijking	Permanente belastingen ongunstig	gunstig	Veranderlijk Verkeer	Veranderlijk Wind
6.10a	1,10	0,90	1,10 x Ψ_0	1,30 x Ψ_0
6.10b	1,10	0,90	1,10 (x Ψ_0)	1,30 (x Ψ_0)

Opmerking: *Voor de voorgeschreven situatie zijn belastingcombinaties met de factoren volgens vergelijking 6.10b altijd maatgevend. Vergelijking 6.10a is daarom verder niet beschouwd.*

Combinatiefactoren / momentaanfactoren

Belastingen	Ψ_0
Verkeer (LM1)	0,80
Mensenmassa (LM4)	0,00

Correctiefactoren / reductiefactoren

De toegepaste correctiefactor voor een referentieperiode van minder dan 100 jaar is 0,990 en de toegepaste trendreductiefactor ten opzichte van het jaar 2060 is 0,965, beide conform NEN 8701 en bij een aangenomen invloedslengte van 10 m. Deze factoren mogen worden toegepast op de verticale belastingen door wegverkeer (LM1).

Daarnaast mag op de verticale belastingen door wegverkeer ook de correctiefactoren α_{Q1}, α_{q1} en α_{qr} worden toegepast, conform NEN-EN 1991-2/NB. Uitgaande van het, door de opdrachtgever opgegeven, aantal vrachtwagenpassages per jaar (N_{obs}) van maximaal 200 volgt een waarde van: α_{Qi} en $\alpha_{Qi} = 0,94$.

De totale reductiefactor wordt daarmee: $\alpha_{red} = 0,90$.

Het door de opdrachtgever gespecificeerde belastinggeval, in de voorliggende rapportage 'LM0' genoemd, is niet voorzien van deze extra reductie.

4.1.5 Belastingcombinaties

De volgende combinaties zijn in SCIA Engineer ingevoerd met behulp van verschillende (al dan niet exclusieve) lastgroepen:

Combinaties	BG0	BG1	BG2	BG3	BG4	BG5	BG6	BG7	BG8 t/m 59	BG60 t/m 111	BG112 t/m 163	BG164 t/m 215
BGT – LM4	1,00	1,00	1,00	1,00								
BGT – LM1 (RS1 noord)	1,00	1,00	1,00		1,00	0,90			0,90			
BGT – LM1 (RS1 zuid)	1,00	1,00	1,00		1,00		0,90			0,90		
BGT – LM1 80% (RS1 noord)	1,00	1,00	1,00		1,00	0,72			0,72			
BGT – LM1 80% (RS1 zuid)	1,00	1,00	1,00		1,00		0,72			0,72		
BGT – LM0 (RS1 noord)	1,00	1,00	1,00		1,00			1,00			1,00	
BGT – LM0 (RS1 zuid)	1,00	1,00	1,00		1,00			1,00				1,00
UGT – LM4	1,10	1,10	1,10	1,10								
UGT – LM1 (RS1 noord)	1,10	1,10	1,10		1,10	0,99			0,99			
UGT – LM1 (RS1 zuid)	1,10	1,10	1,10		1,10		0,99			0,99		
UGT – LM1 80% (RS1 noord)	1,10	1,10	1,10		1,10	0,79			0,79			
UGT – LM1 80% (RS1 zuid)	1,10	1,10	1,10		1,10		0,79			0,79		
UGT – LM0 (RS1 noord)	1,10	1,10	1,10		1,10			1,10			1,10	
UGT – LM0 (RS1 zuid)	1,10	1,10	1,10		1,10			1,10				1,10

Opmerking: *0,72 = 0,80 x 0,90*
0,99 = 1,10 x 0,90
0,79 = 1,10 x 0,72

4.2 Belastinggevallen en –combinaties onderbouw

4.2.1 Algemeen

De volgende belastinggevallen zijn in de modellen in rekening gebracht; zie bijlagen D en E voor grafische weergaven van deze belastingen in de modellen.

4.2.2 Permanente belastingen

BG1: Eigen gewicht constructie
Het eigen gewicht van het gemodelleerde deel van de constructie: wordt door SCIA Engineer berekend.

Van die delen die zich onder water bevinden is het eigen gewicht dusdanig verlaagd, dat de invloed van de opwaartse waterdruk daarin is meegenomen.

BG2: Gronddrukken (horizontaal)
Belastingen door de aanwezigheid van het grondpakket achter de landhoofden, hierbij is een uniforme bovenbelasting op het maaiveld aangenomen van 10 kN/m^2. Het maaiveld bevindt zich ongeveer 0,5 m boven de bovenzijde van het landhoofd. Voor de horizontale gronddruk is uitgegaan van een neutrale gronddrukfactor van 0,5.

De horizontale gronddruk loopt op van p_h = 9,5 kN/m^2 ➔ aan de bovenzijde van het landhoofd tot 27,1 kN/m^2 ➔ op de waterlijn en uiteindelijk 51,1 kN/m^2 ➔ aan de onderzijde van het landhoofd.

Deze belastingen zijn niet aanwezig bij de tussenpijlers.

4.2.3 Veranderlijke belastingen

BG3: Belastingen uit het brugdek met LM1 volledig en rijstrook 1 aan de zuidzijde
De oplegreacties volgend uit het model van het brugdek zijn overgenomen. Door de iets langere overspanningen van het brugdek aan de zuidzijde is deze situatie (gering) maatgevend met betrekking tot optredende paalbelastingen.

Deze belastingen zijn reeds voorzien van belastingfactoren.

BG4: Belastingen uit het brugdek met LM1 voor 80% en rijstrook 1 aan de zuidzijde
De oplegreacties volgend uit het model van het brugdek zijn overgenomen.

Deze belastingen zijn reeds voorzien van belastingfactoren.

BG5: Belastingen uit het brugdek met LM0 en rijstrook 1 aan de zuidzijde
De oplegreacties volgend uit het model van het brugdek zijn overgenomen.

Deze belastingen zijn reeds voorzien van belastingfactoren.

BG6: Rembelasting uit het brugdek (horizontaal)
Horizontale belastingen ten gevolge van remkrachten zijn niet beschouwd in het model van het brugdek. Deze worden wel beschouwd voor de onderbouw. De totale horizontale rembelasting op het brugdek, behorende bij BG3, is maximaal:

F_{rem} = 0,6 x 2 x 0,90 x 300 kN + 0,1 x 0,90 x 9 kN/m^2 x 3 m x 21 m = 375 kN ➔.

Er wordt aangenomen dat deze belasting gelijkmatig kan verdelen over de onderbouw. Dit resulteert in, en is ingevoerd als, een lijnlast op de bovenrand van de landhoofden en tussenpijlers van:

375 kN / 5 / 5,7 m = 14 kN/m ➔.

BG7: Rembelasting uit het brugdek (horizontaal)
De totale horizontale rembelasting op het brugdek, behorende bij BG4, is maximaal:

F_{rem} = 0,80 x 375 kN = 300 kN ➔.

Dit resulteert in, en is ingevoerd als, een lijnlast op de bovenrand van de landhoofden en tussenpijlers van:

300 kN / 5 / 5,7 m = 11 kN/m ➔.

BG8: Rembelasting uit het brugdek (horizontaal)
De totale horizontale rembelasting op het brugdek, behorende bij BG5, is maximaal:

F_{rem} = 0,6 x 2 x 200 kN + 0,1 x 2,5 kN/m^2 x 3 m x 21 m = 255 kN ➔.

Dit resulteert in, en is ingevoerd als, een lijnlast op de bovenrand van de landhoofden en tussenpijlers van:

255 kN / 5 / 5,7 m = 9 kN/m ➔.

4.2.4 Belastingfactoren

Zie paragraaf 4.1.4.

4.2.5 Belastingcombinaties

De volgende combinaties zijn in SCIA Engineer ingevoerd met behulp van verschillende (al dan niet exclusieve) lastgroepen:

Combinaties	BG1	BG2	BG3	BG4	BG5	BG6	BG7	BG8
UGT – LM1	1,10	1,10	1,00			0,88		
UGT – LM1 80%	1,10	1,10		1,00			0,88	
UGT – 'LM0'	1,10	1,10			1,00			0,88

Opmerkingen: *0,88 = 1,10 x 0,8 (Ψ_0)*
BG2 is niet aanwezig bij de tussenpijlers.
BG3 t/m BG5 zijn reeds voorzien van belastingfactoren.

5 Resultaten en toetsingen

5.1 Resultaten en toetsing brugdek

De berekeningsrapportage van het brugdek, inclusief alle relevante resultaten, is opgenomen als bijlage B van het voorliggende rapport. De berekeningen van de doorsnedecapaciteiten van verschillende doorsneden van het brugdek zijn opgenomen als bijlage C. Een overzicht van de resultaten is opgenomen in de volgende paragrafen.

Overspanningen van ~3,2 m

Onderdeel		Optredend		Capaciteit		U.C.	
Moment ligger midden	My	78	[kNm]	75	[kNm]	1,04	✓
Dwarskracht ligger midd.	Vz	94	[kN]	239	[kN]	0,39	✓
Moment betonplaat dwarsrichting (boven)	MyD+	11	[kNm/m]	29	[kNm/m]	0,38	✓
Moment betonplaat dwarsrichting (onder)	MyD-	22	[kNm/m]	29	[kNm/m]	0,75	✓
Dwarskracht betonplaat dwarsrichting	vy	54	[kN/m]	70	[kN/m]	0,77	✓

Overspanning van 5,7 m

Onderdeel		Optredend		Capaciteit		U.C.	
Moment ligger midden	My	168	[kNm]	193	[kNm]	0,87	✓
Dwarskracht ligger midd.	Vz	105	[kN]	386	[kN]	0,27	✓
Moment randligger	My	144	[kNm]	348	[kNm]	0,41	✓
Dwarskracht randligger	Vz	73	[kN]	670	[kN]	0,11	✓
Moment betonplaat dwarsrichting (boven)	MyD+	11	[kNm/m]	29	[kNm/m]	0,38	✓
Moment betonplaat dwarsrichting (onder)	MyD-	22	[kNm/m]	29	[kNm/m]	0,75	✓
Dwarskracht betonplaat dwarsrichting	vy	54	[kN/m]	70	[kN/m]	0,77	✓

Doorsnede boven steunpunt

Onderdeel		Optredend		Capaciteit		U.C.	
Moment betonplaat (boven)	MxD+	29	[kNm/m]	38	[kNm/m]	0,76	✓
Dwarskracht betonplaat	vx	46	[kN/m]	65	[kN/m]	0,71	✓

Uit de toetsingen volgt dat het brugdek op alle gecontroleerde punten aan de eisen voldoet. Er is een geringe overschrijding van de capaciteit (u.c. = 1,04) gevonden bij de binnenste liggers van de 3 kleinere overspanningen (L = ~3,2 m) van de brug. Gezien de (zeer) conservatieve aanname dat geen enkele deuvel functioneert en dat belastingafdracht plaatsvindt op basis van de individuele stijfheden van de betonplaten en de stalen liggers, wordt deze overschrijding acceptabel geacht. Zie ook de toelichting in paragraaf 3.4.

5.2 Resultaten onderbouw

De berekeningsrapportages van het maatgevende landhoofd en de maatgevende tussenpijler, inclusief alle relevante resultaten, zijn opgenomen als bijlagen D en E van het voorliggende rapport. Op aangeven van de opdrachtgever zijn de maatgevende paalbelastingen voor de 3 beschouwde belastingsituaties gegeven, maar deze zijn niet getoetst.

Een overzicht van de resultaten is hierna opgenomen. Hierbij is de maximale paalkracht gegeven, en ter informatie ook een gemiddelde maximale paalkracht van één rij en van twee rijen palen (gezien in de dwarsrichting van de pijler dan wel het landhoofd, dus één rij bestaat uit 4 palen).

Tussenpijlers

Onderdeel		Maximaal		Gemiddeld 1 rij		Gemiddeld 2 rijen	
Paalbelasting LM1	F_p	65	[kN]	62	[kN]	61	[kN]
Paalbelasting LM1 80%	F_p	58	[kN]	54	[kN]	54	[kN]
Paalbelasting 'LM0'	F_p	55	[kN]	51	[kN]	50	[kN]

Landhoofden

Onderdeel		Maximaal		Gemiddeld 1 rij		Gemiddeld 2 rijen	
Paalbelasting LM1	F_p	45	[kN]	32	[kN]	32	[kN]
Paalbelasting LM1 80%	F_p	40	[kN]	29	[kN]	29	[kN]
Paalbelasting 'LM0'	F_p	37	[kN]	29	[kN]	29	[kN]

Opgemerkt wordt dat de dikte van de landhoofden en het palenplan ervan niet bekend zijn. Er is aangenomen dat de landhoofden net zo dik zijn als de pijlers; 1,70 m. Deze dikte wordt, net als bij de pijlers, effectief ondersteund door 4 rijen palen, zie figuur 6. Voor zowel de landhoofden als de pijlers is een hart-op-hartafstand in de vaarrichting aangehouden van 400 mm (bron: [2]).

Uit een door Adviesbureau [redacted] eerder uitgevoerde herberekening van een soortgelijke brug (brug 21) volgen aanzienlijk hogere paalbelastingen. Echter, brug 20 was oorspronkelijk een hogere brug met metselwerk bogen. Om deze reden zijn meer palen per pijler dan wel landhoofd toegepast (4 rijen in plaats van 3 rijen per ondersteuning) en worden dus lagere paalbelastingen gevonden.

6 Samenvatting en conclusies

Het Ingenieursbureau van de gemeente Amsterdam (IB) heeft Adviesbureau [redacted] opdracht gegeven om een brug in de binnenstad van Amsterdam te beoordelen aan de hand van een herberekening. De brug, brug 20, overspant de Herengracht ter hoogte van de Leliegracht.

In het voorliggende rapport is de herberekening beschreven, welke is uitgevoerd aan de hand van de RBK 1.1 en de Eurocodes, in combinatie met voorschriften uit NEN 8700 en NEN 8701. De resultaten van de herberekening, die is uitgevoerd voor het afkeurniveau, zijn als volgt:

- Uit de toetsingen volgt dat het brugdek op alle gecontroleerde punten aan de eisen voldoet. Er is een geringe overschrijding van de capaciteit (u.c. = 1,04) gevonden bij de binnenste liggers van de 3 kleinere overspanningen (L = ~3,2 m) van de brug. Gezien een conservatieve aanname bij de modellering wordt deze overschrijding acceptabel geacht.
- Op aangeven van de opdrachtgever zijn de maatgevende paalbelastingen voor 3 verschillende belastingsituaties gegeven, maar deze zijn niet getoetst. De maatgevende paalbelastingen zijn, per belastingsituatie, weergegeven in paragraaf 5.2 van de voorliggende rapportage.

Rijswijk, 16 juni 2016.

[redacted]

Bijlage A – Tekeningen brug 20

Bijlage B – SCIA Engineer berekeningsrapportage brugdek

Bijlage C – Bepaling capaciteit onderdelen brugdek

Bijlage D – SCIA Engineer berekeningsrapportage landhoofd

Bijlage E – SCIA Engineer berekeningsrapportage tussenpijler