

Nebest B.V.

Marconiweg 2
4131 PD Vianen
Postbus 106
4130 EC Vianen

T 085 489 01 00
F 085 489 01 01
E info@nebest.nl
I www.nebest.nl

De Hofbogen te Rotterdam

Managementsamenvatting



Opdrachtgever	DUDOK Hofbogen Rotterdam BV
Documentnummer	40245-MS-01
Versie	3.0
Status	Definitief
Datum	9 juli 2021



BTW NL008929439B01 | HR 23046375

Op al onze werkzaamheden is de 'Rechtsverhouding opdrachtgever - architect, ingenieur en adviseur DNR 2011' van toepassing. Deze voorwaarden liggen op ons kantoor ter inzage en zijn ook in te zien op onze website (www.nebest.nl).



Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

VERIFICATIEFORMULIER

Versie	Datum	Documentnr.	40245-MS-01		
3.0	09-07-2021	Omschrijving	De Hofbogen – Managementsamenvatting		
			Auteurs	Gecontroleerd	Vrijgave
		Naam	[REDACTED]		[REDACTED]
		Handtekening	Digitaal akkoord	Digitaal akkoord	Digitaal akkoord
		Naam	[REDACTED]		
		Handtekening	Digitaal akkoord		
		Naam	[REDACTED]		
		Handtekening	Digitaal akkoord		

VERSIEBEHEER

Versie	Datum	Opmerking
1.0	26-02-2021	1 ^e versie definitief
2.0	26-03-2021	Tabel 2 aangepast. Tekstuele wijziging in Hoofdstuk 4 m.b.t. hechtvlakken stort aansluitingen. Toevoeging invloed belastbaarheid door verhoogde keerwanden en dikkere betonvloeren in Hoofdstuk 6.
3.0	07-09-2021	Aanvullende onderzoeksresultaten 40245-RAP-04 verwerkt. Bevindingen herziene verificatieberekeningen 40245-RAP-02 en 40245-RAP-05 verwerkt.



BTW NL008929439B01 | HR 23046375

Op al onze werkzaamheden is de 'Rechtsverhouding opdrachtgever - architect, ingenieur en adviseur DNR 2011' van toepassing. Deze voorwaarden liggen op ons kantoor ter inzage en zijn ook in te zien op onze website (www.nebest.nl).



Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

3

1 INLEIDING

Het Hofpleinviaduct, beter bekend als de Hofbogen, is het resterende deel van de constructie van de voormalige spoorlijn tussen Rotterdam-Hofplein en Scheveningen. Men is voornemens de bovenzijde van de huidige dakconstructie van de Hofbogen te renoveren en daarnaast te voorzien van een dakpark, waarin onder meer permanente buffering en regulering van regenwater gaat plaatsvinden.

In de voorbereidingsfase is behoefte ontstaan inzicht te verkrijgen in de onderhoudstoestand van de oorspronkelijke constructie van omstreeks 1900, het nieuwere betondek van omstreeks 1960 en de houten paalfundatie en daaruit voortvloeiend de eventuele onderhoudsbehoefte. Daarnaast dient te worden vastgesteld wat de maximaal toegestane dakbelasting is.

In de periode van november 2020 tot en met februari 2021 heeft Nebest B.V. in opdracht van DUDOK Hofbogen Rotterdam B.V. en Gemeente Rotterdam diverse inspecties, beton- en funderingsonderzoeken en constructieve herberekeningen uitgevoerd ter beantwoording van de hiervoor genoemde vraagstukken.

Dit document betreft de managementsamenvatting van de door Nebest uitgevoerde visuele inspecties, beton- en funderingsonderzoeken en constructieve analyses en herberekeningen en is gebaseerd op de volgende documenten:

- 40245-RAP-01 Visuele inspectie
- 40245-RAP-02 Betononderzoek
- 40245-RAP-03 Funderingsonderzoek
- 40245-RAP-04 Aanvullende onderzoeken Emplacement en Station Bergweg
- 40245-UPN-01 Uitgangspuntennota constructieve herberekeningen
- 40245-NOT-01 Toetsing berekening Baas sectie 1.1
- 40245-BER-01 Verificatieberekening viaduct Heer Bokelweg (B1)
- 40245-BER-02 Verificatieberekening boog 22 (B2)
- 40245-BER-03 Verificatieberekening boog 43-44 Teilingerstraat (B3)
- 40245-BER-04 Verificatieberekening boog 57 (B4)
- 40245-BER-05 Verificatieberekening bogen Station Bergweg (B5)
- 40245-BER-06 Verificatieberekening boog 126-127 Bergselaan (B6)
- 40245-BER-07 Verificatieberekening boog 169 (B7)
- 40245-BER-08 Verificatieberekening voorgespannen betondek en randelementen
- 40245-BER-09 Verificatieberekening boog 103 (B8)

2 AANPAK

Het documenten- en tekeningenarchief van de Hofbogen is zeer compleet. Over de volledige lengte van het tracé zijn van zowel de houten paalfundatie, de oorspronkelijke boogconstructies van omstreeks 1900 en het nieuwere betondek van omstreeks 1960 vorm- en/of wapeningstekeningen beschikbaar.

Uit de beschikbare archiefstukken blijkt dat het Hofpleinviaduct is gerealiseerd in verschillende bouwfasen. Daarnaast is over het tracé sprake van verschillende constructietypes en zeer uiteenlopende overspanningslengtes. Om in het onderzoek rekening te houden met de verschillende bouwfasen en constructietypes is het viaduct onderverdeeld in zes verschillende secties en/of subsecties. Binnen de verschillende (sub)secties is, afgezien van variërende overspanningslengtes, sprake van vergelijkbare constructietypes die zijn gerealiseerd in dezelfde bouwfase.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

4

Voor de bepaling van de maximaal toegestane dakbelasting is per (sub)sectie beoordeeld welke karakteristieke constructiedoorsneden dienen te worden herberekend. Dit heeft geresulteerd in het constructief herberekenen van in totaal negen karakteristieke constructiedoorsneden, waarmee uiteindelijk voor het gehele tracé van de Hofbogen de maximaal toegestane dakbelasting is bepaald.

Voor het hanteren van de juiste uitgangspunten in de verificatieberekeningen zijn ter verificatie en aanvulling van de gegevens uit de beschikbare archiefstukken verschillende onderzoeken uitgevoerd. Hiervoor zijn steekproefsgewijs over de gehele lengte van het tracé beton- en funderingsonderzoeken verricht, waarbij onderzoek is gedaan naar onder andere de bepaling van de werkelijke betonkwaliteiten, verificatie van de toegepaste wapeningsconfiguraties en het vaststellen van de onderhoudstoestand van de houten funderingsonderdelen.

Voor de inventarisatie van de huidige onderhoudstoestand van het betonwerk van het viaduct is een visuele inspectie uitgevoerd. Hierbij zijn alle zichtbare en boven het maaiveld gelegen delen (zowel binnen als buiten) van de oorspronkelijke boogconstructies uit 1905-1907, viaduct Heer Bokelweg, Station Bergweg en het betondek uit 1958 beoordeeld.

In de volgende hoofdstukken worden de belangrijkste bevindingen, onderzoeksresultaten en conclusies kort per onderdeel besproken.

3 VISUELE INSPECTIE

Emplacement (sectie 1.1)

In de periode tussen 2009 en 2014 is het Emplacement onderworpen aan diverse renovatiewerkzaamheden, waarbij onder andere de grootschalige betonschade aan de kolommen en onderzijde van de getoogde vloeren (constructief) is hersteld. Aan de onderzijde van de getoogde vloeren is in de huidige situatie een laag spuitbeton aanwezig.

Aan de binnenzijde van het Emplacement zijn bij veel kolommen oppervlakkige scheuren waargenomen en/of is sprake van een holklinkende reparatielaag. Op vier locaties is lekkage waargenomen.

Onder de huidige perronconstructie is een ruimte aanwezig tussen de perronvloer en de getoogde vloeren die toegankelijk is voor inspectie. Vanuit deze ruimte zijn de onderzijde van de perronvloer en de binnenzijde van de perronwanden zichtbaar. Aan de bovenzijde van de getoogde vloeren onder de huidige perronconstructie is ter plaatse van boog 1 tot en met 11 vastgesteld dat er sprake is van ernstige scheuren en zijn scheurwijdtes tot 10 mm gemeten.

Binnen de verificatieberekening is de invloed van de scheuren op de capaciteit van de constructie nader beschouwd. Om in de verificatieberekening de daadwerkelijke onderhoudstoestand van de constructie mee te laten wegen is middels een aanvullend onderzoek aan de bovenzijde van de bogen op een vijftal locaties de opbouw en constructie vrijgemaakt tot op de bovenzijde van de getoogde vloeren. Aan de bovenzijde van boog 4 en 5 zijn scheuren (scheurwijdte max. 2,5 mm) waargenomen. Aan de bovenzijde van bogen 9, 11 en 14 zijn geen scheuren waargenomen.

Viaduct heer Bokelweg 1974 (sectie 1.2)

De betonconstructie van de viaduct Heer Bokelweg verkeert in een goede staat.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

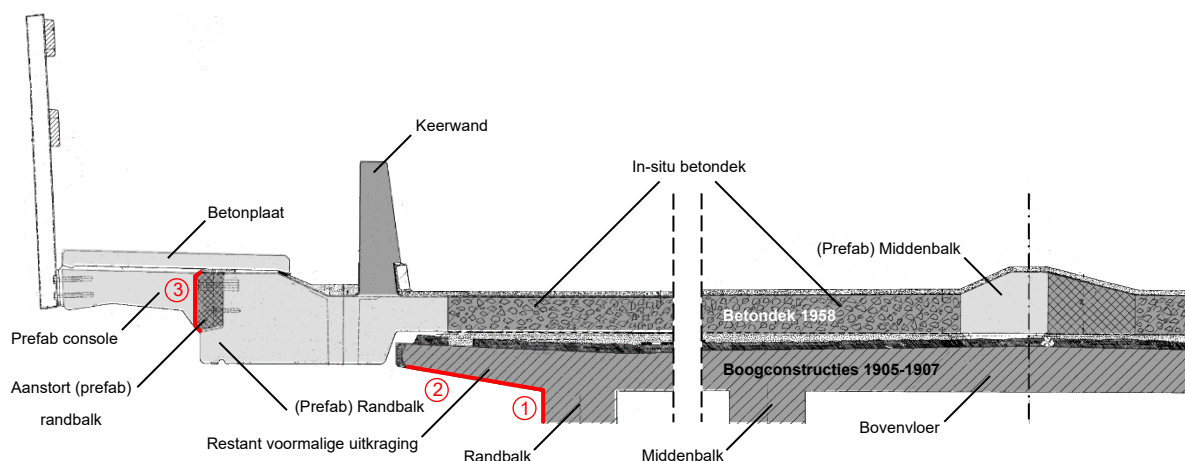
Rapportnummer : 40245-MS-01

5

Oorspronkelijke boogconstructies 1905-1907 en betondek 1958 (sectie 2 en 3)

De onderhoudstoestand van de geïnspecteerde betonnen constructieonderdelen van de oorspronkelijke boogconstructies uit 1905-1907 en het betondek uit 1958 lopen sterk uiteen en variëren van goed tot zeer slecht. Daarnaast is voor enkele constructieonderdelen tevens variatie in de onderhoudstoestand waarneembaar tussen de verschillende secties (bouwfases).

De voornaamste betonschades concentreren zich aan de zijkanten van de randbalken (1) en de onderzijde van het restant van de voormalige uitkragingen van de bovenvloer (2) van de oorspronkelijke boogconstructies uit 1905-1907 en aan de zijkanten van de aanstorten van de (prefab) randbalken (3) van het betondek uit 1958. De betreffende oppervlakken zijn in figuur 1 met rood aangegeven in een fragment van de standaard dwarsdoorsnede van de Hofbogen.



Figuur 1: Fragment standaard dwarsdoorsnede de Hofbogen – Aanduiding voornaamste schade.

Over het algemeen zijn de betonschades, zowel aan de binnen- als de buitenzijde van de constructie, het gevolg van door carbonatatie geïnitieerde wapeningscorrosie in combinatie met een generiek te lage betondekking en blootstelling aan lekwater over een langere periode.

Wat opvalt is dat de omvang van de huidige betonschade aan constructieonderdelen 1 en 2 (figuur 1) ten zuiden van de Bergweg (circa 20%) vele malen kleiner is dan ten noorden van de Bergweg (circa 80%), waarbij de ernst van betonschade het grootst is bij de straatoverspanningen ter plaatse van de Gordelweg.

In de schades bij de straatoverspanningen ter plaatse van de Gordelweg is de wapening dusdanig aangetast dat sprake is van afname van de wapeningsdiameters. In enkele gevallen is de beugelwapening zelfs volledige doorgeroest. Het is zeer aannemelijk dat er een verband is tussen het uiteenlopende schadebeeld tussen beide bouwfasen en het verschil in de dikte van de (beschermende) laag kunstzandsteenpleister.

De betonschade aan constructieonderdeel 3 (figuur 1) is op ruim 1500 locaties waargenomen en is over de volledige lengte aan weerszijden van het viaduct waarneembaar. Daarbij moet worden vermeld dat de waarnemingen zijn uitgevoerd op afstand vanaf maaiveld. De verwachting is dat wanneer dit deel van de constructie op handafstand zal worden afgeklopt de omvang van de schade met circa 30% zal toenemen. De prefab consoles en de (prefab) randbalken zelf bevatten slechts zeer incidenteel betonschade.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

6

Ondanks de slechte staat waarin enkele constructieonderdelen verkeren, achten wij alle waargenomen schades en overige gebreken goed reparabel. De door ons per constructie(onderdeel) opgestelde hersteladviezen zijn opgenomen in deelrapportage 40245-RAP-02 d.d. 26 februari 2021.

4 BETONONDERZOEK

Constructieopbouw en -afmetingen

Ter verificatie van de beschikbare vormtekeningen zijn van elk van de te herberekenen karakteristieke doorsnedes de constructieopbouw en -afmetingen gecontroleerd.

De constructieopbouw en -afmetingen van de oorspronkelijke boogconstructies uit 1905-1907 corresponderen op hoofdlijnen met de gegevens op de beschikbare archieftekeningen.

Aan de bovenzijde van het Emplacement (luchtpark) is op een vijftal locaties de opbouw van de verschillende grondaanvullingen, betonvloeren en dakafwerkingen gecontroleerd.

Ter plaatse van Station Bergweg is aan de bovenzijde van beide perrons een onderzoek uitgevoerd ter controle van de opbouw van de later aangebrachte systeenvloer. De systeenvloer is opgebouwd uit een holle baksteenvloer (nehobo) over vier gemetselde steunpunten. Onder de vloer is tussen de wanden een holle ruimte met een variërende hoogte (i.v.m. afschot). Op de holle baksteenvloer zijn verschillende afwerkklagen aanwezig zoals bitumineuze dakbedekking, zandcementlaag (20 mm), betonnen ongewapende druklaag, PUR-isolatie en betontegels.

De gemetselde wand aan de westzijde van Station Bergweg betreft een ongeïsoleerde spouwmuur. De wand draagt af op een betonbalk die is opgelegd op het verlengde van de funderingsbalken in de dwarsrichting onder de steunpunten van de bogen. Onder de betonbalk zijn geen extra funderingspalen aanwezig.

De constructieopbouw en -afmetingen van het betondek uit 1958 corresponderen op hoofdlijnen met de gegevens op de beschikbare archieftekeningen. De huidige deklaag is in een latere fase aangebracht en derhalve niet op de beschikbare archieftekeningen weergegeven.

Over het algemeen is aan de bovenzijde van het betondek uit 1958 sprake van een bitumineuze afwerklaag, een ongewapende betonnen deklaag en wederom een bitumineuze afwerklaag. De dikte van dit pakket varieert over het grootste deel van het oppervlak van het betondek tussen de 50 en 80 mm. Tussen boog 45 en 59 is ter plaatse van de westfase sprake van een gewapend betonnen deklaag met een dikte variërend tussen de 150 en 180 mm.

Aansluiting stortnaden betondek 1958

Om te bekijken in hoeverre de stortnaden tussen de verschillende constructieonderdelen van het betondek uit 1958 een rol spelen binnen de huidige mate van lekkage is deze op diverse locaties aangeboord, zodat de aansluiting kon worden beoordeeld.

Met betrekking tot de gecontroleerde aansluitingen van de stortnaden van het betondek uit 1958 is sprake van zeer uiteenlopende bevindingen. Bij de helft van de stortnaden is sprake van een slechte aansluiting tussen het prefab en het in-situbeton, waardoor inwatering mogelijk is. In enkele gevallen was zelfs sprake van een volledig gladde aansluiting, waardoor de twee helften van de betonkern na uitname direct van elkaar afschoven.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

7

Bij drie van de zes slechte aansluitingen is sprake van een enigszins vervuild hechtvlak, wat kan duiden op watertransport. In alle gevallen manifesteren deze zich bij de aansluiting van de prefab middenbalk op het in-situ betondek van de westfase.

Wel dient te worden opgemerkt dat de stornaden onder constante druk worden 'samengeperst' als gevolg van de dwarsvoorspanning in het betondek. Dit verkleint de kans op lekkages aanzienlijk.

Betonkwaliteit

Van alle maatgevende constructieonderdelen van zowel de oorspronkelijke boogconstructies uit 1905-1907 (kolommen, steunpunten, (funderings)balken en vloeren) als het betondek uit 1958 (randbalken en in-situdek) is aan de hand van betonkernen de druk- en splijttreksterkte bepaald.

De resultaten van de druk- en splijttreksterkte zijn gebruikt voor de bepaling van de genormeerde betonsterkteklasse die is aangehouden bij de uitvoering van de verificatieberekeningen. De vastgestelde betonsterkteklassen liggen voor elk van de beproefde constructieonderdelen in de lijn der verwachting.

Voor de constructie van het Emplacement dient, ondanks een proefondervindelijk vastgestelde genormeerde betonsterkteklasse van C25/30, rekening te worden gehouden met een sterk verminderde samenhang van het beton van de getoogde vloeren. Aanvullend onderzoek met monsternamen van betonkernen uit de bovenzijde van de getoogde vloeren heeft aangetoond dat dit voornamelijk geldt voor de onderzijdes van de getoogde vloeren.

Bij de monsternamen van de betonkernen uit de onderzijde van de getoogde vloeren is vastgesteld dat lokaal sprake is van een sterk verminderde samenhang van het beton. Op basis van de uitgevoerde aanvullende monsternamen aan de bovenzijde lijkt van een verminderde samenhang aan de bovenzijde geen sprake te zijn. De sterk verminderde samenhang en scheuren zijn zeer waarschijnlijk het gevolg van de brand waaraan de constructie omstreeks 1940 is blootgesteld. Feit dat aan de onderzijde nog altijd sprake is van inwendige scheuren wekt het vermoeden dat bij het herstel van de onderzijde van de bogen niet overal voldoende diep gesaneerd is.

Onderhoudstoestand wapening betondek 1958

Prefab consoles met lasbusbevestiging

Voor het controleren van de onderhoudstoestand van de lasbusbevestigingen van de prefab consoles van het betondek uit 1958 zijn deze op diverse locaties beperkt destructief vrijgemaakt. Elk van de vrijgemaakte lasbusbevestigingen van de prefab consoles is uitgevoerd zoals weergegeven op de beschikbare archieftekeningen, met uitzondering van de diameter van de lasbussen. Deze bedragen slechts ± 3 cm (± 4 cm op de archieftekening). Bij geen van de lasbusbevestigingen is sprake van noemenswaardige aantasting door corrosie. De lasbusbevestigingen verkeren in goede conditie.

Wartelconstructie Dywidag-staven

Voor het controleren van de onderhoudstoestand van de doorkoppeling van de Dywidag-staven (dwarsvoorspanning) van het betondek uit 1958 zijn deze op diverse locaties beperkt destructief vrijgemaakt. Elk van de vrijgemaakte zogeheten 'wartelconstructies' is omwikkeld met Densoband (vetband) en bevatte derhalve geen noemenswaardige aantasting door corrosie. De 'wartelconstructies' verkeren in goede conditie.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

8

Verificatie wapeningsconfiguraties

Ter verificatie van de beschikbare wapeningstekeningen is op verschillende locaties onderzoek gedaan naar de toegepaste wapening in verschillende constructieonderdelen. De geverifieerde wapeningsconfiguraties van zowel de oorspronkelijke boogconstructies uit 1905-1907 als het betondek uit 1958 corresponderen op hoofdlijnen met de gegevens op de beschikbare archieftekeningen. Op enkele locaties is sprake van afwijkingen van de toegepaste wapeningsdiameters en/of hart-op-hart-afstanden. Met eventuele afwijkingen is rekening gehouden bij de uitvoering van de verificatieberekeningen.

Potentiële hechtsterkte

Ter controle van de staat van de betonnen ondergrond waarop bij de voorgenomen dakrenovatie nieuwe reparatie- of afdichtingslagen zullen worden aangebracht, is op diverse locaties de potentiële hechtsterkte van de ondergrond onderzocht. Over het algemeen kan voor de bovenzijde van elk van de prefab consoles, (prefab) randbalken en het in-situdek van het betondek uit 1958 worden gesproken over een goede potentiële hechting met het oppervlak.

Om bij het in de toekomst aanbrengen van nieuwe afwerkklagen aan de bovenzijde van voornoemde constructieonderdelen voldoende hechting te realiseren, zal veel aandacht moeten worden besteed aan het verwijderen van de oude bitumineuze en cementgebonden afwerkklagen.

5 FUNDERINGSONDERZOEK

Algemeen

Op basis van het verrichte onderzoek, zoals weergegeven in rapport 40245-RAP-03 d.d. 26 februari 2021, komen wij tot een funderingstechnische beoordeling van sectie 2 en 3 van de Hofbogen. Aan de beoordeling is een indicatieve funderingstechnische handhavingstermijn gekoppeld. Voorwaarde hiervoor is dat de grondwaterdekking op het funderingshout voldoende is en blijft.

Sectie	Funderingstechnische classificatie	Omschrijving	Handhavingstermijn (jaren)
2	Voldoende	Binnen 25 jaar zijn geringe onderlinge zakkingsverschillen te verwachten.	> 25 jaar
3	Redelijk	Binnen 25 jaar zijn onderlinge zakkingsverschillen te verwachten (houd rekening met aanvullende zakkingsverschillen en extra scheuren), verhoging belasting niet mogelijk.	15 - 25 jaar

Tabel 1: Funderingstechnische handhavingstermijn conform de F3O-richtlijn.

De weergegeven omschrijving hoort conform de F3O-richtlijn bij de toegekende funderingstechnische classificatie. Voor de onderbouwde mogelijkheden voor belastingverhoging van de constructie in beide secties wordt verwezen naar de verificatieberekeningen, zoals opgenomen in de rapportages 40245-BER-01 tot en met 40245-BER-09 d.d. 26 februari 2021.

Advies

Wij adviseren de grondwaterdekking op het funderingshout nauwkeurig te monitoren door het plaatsen van grondwaterpeilbuizen dicht langs de funderingsconstructie aan weerszijden van het traject, waarbij de onderlinge afstand tussen de buizen niet meer dan 100 meter bedraagt.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

9

Daarnaast adviseren wij het zakkingsgedrag van de Hofbogen te monitoren door middel van nauwkeurigheidswaterpassingen. Hiertoe kunnen meetboutjes in de constructie worden bevestigd die met een nulmeting nauwkeurig worden ingemeten ten opzichte van NAP. Door deze boutjes jaarlijks opnieuw in te meten (meetnauwkeurigheid +/- 0,5 mm) wordt inzicht verkregen in het actuele zakkingsgedrag van de Hofbogen.

Per herhalingsmeting dient een bondig rapport te worden opgesteld, waarin de zakking per meetpunt wordt opgenomen en de meetresultaten worden omgerekend naar zakking per jaar. Bij meerdere metingen van hetzelfde punt kan de zakking in de tijd grafisch worden weergegeven. Zo kan worden bepaald of er een verschil in zakkingsnelheden tussen de verschillende punten bestaat, maar ook of de gemeten zakkingsnelheden toe- of afnemen.

Om beter inzicht te verkrijgen in de progressie van de bacteriële aantasting wordt geadviseerd om, zeker in sectie 3, over circa tien jaar op dezelfde locaties een herhaalde funderingsinspectie uit te voeren.

Toelichting op relevante bevindingen en meetresultaten

Eerder uitgevoerde onderzoeken

Er zijn twee eerdere onderzoeken naar de fundering onder de Hofbogen bekend. Het onderzoek uit 1956 concludeert dat “geen redenen gevonden zijn zich over de fundering zorgen te maken”.

Het onderzoek uit 2005, waarbij tevens laboratoriumonderzoek naar de kwaliteit van het funderingshout is uitgevoerd, concludeert dat “indien de omstandigheden van met name het niveau van het grondwater zich niet wijzigen, de verwachting is dat de komende 25 jaar de toestand van de fundering niet wijzigt.”.

Grondwaterpeilbuisgegevens

Uit de geraadpleegde peilbuizen langs het traject, afgezet tegen de aanleghoogtes zoals gemeten bij de funderingsinspecties, wordt opgemaakt dat op meerdere locaties langs het traject een risico op droogstand of een kleine grondwaterdekking bestaat. Sommige grafieken duiden op een (te) laag grondwaterpeil in het verleden dat inmiddels is hersteld, maar andere grafieken tonen een toenemende kans op droogstand van het funderingshout. Voor een duurzaam behoud van het spoorwegviaduct is het van belang dat houten funderingsonderdelen ook in de toekomst voldoende onder het grondwater staan.

Visuele inspecties

Uit de visuele inspecties zijn geen noemenswaardige funderingsgerelateerde schades aan de hoofd-draagconstructie van de Hofbogen naar voren gekomen. Wel zijn aan de aanbouwen in de Vijverhofstraat diverse ernstige funderingsgerelateerde schades en scheefstanden geconstateerd. Deze zijn niet meegenomen in de beoordeling van de fundering van de Hofbogen, maar zijn wel zo ernstig dat de constructieve veiligheid van de aanbouwen in het geding komt.

Scheefstandsmetingen

Uit de lintvoegwaterpassingen zijn geen noemenswaardige scheefstanden gebleken. De grootst voorkomende horizontale rotatie is 1:250, een scheefstand die wordt beoordeeld als ‘klein’ en hooguit van architectonische betekenis.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

10

De meeste verticale scheefstanden worden herleid naar een niet-waterpas gebouwde constructie. Wanneer bijvoorbeeld beide kopse kanten van een pijler naar voren hellen (richting de straat), wordt geconcludeerd dat niet het bouwdeel maar slechts de zijden uit het lood staan. Als ook geen scheuren aanwezig zijn, wordt in dat geval de verticale scheefstand niet gerelateerd aan het functioneren van de fundering. In sectie 3 zijn wel enkele matige verticale scheefstanden (tot 1:200) geconstateerd die zich aan beide zijden van een bouwdeel uiten. Derhalve worden de loodmetingen in sectie 3 als matig beoordeeld.

Kwaliteit funderingsmetselwerk en -beton

In geen van de inspectieputten zijn schades aan het funderingsmetselwerk of -beton vastgesteld.
Funderingsinspecties

Bij de funderingsinspecties zijn geen gebreken vastgesteld die van invloed zijn op het functioneren van de fundering.

Houtmonsteranalyse

Uit de houtmonsteranalyses blijkt een opvallend verschil in houtkwaliteit tussen sectie 2 en sectie 3. Hoewel in beide secties alle heipalen van vurenhout zijn, blijkt in sectie 2 (enkele jaren ouder) hooguit matige bacteriële aantasting aanwezig te zijn, waardoor geen sprake is van een zachte schil of noemenswaardige uitbreiding daarvan in de komende 30 jaar. In sectie 3 is in een meerderheid van de palen sprake van ernstige tot zeer ernstige bacteriële aantasting, waarbij de verwachting is dat de zachte schil zich ook in de komende 30 jaar verder uitbreidt. Een mogelijke verklaring hiervoor is te vinden in de bestekken, zie paragraaf 5.1 van 40245-RAP-03 Funderingsonderzoek. In het bestek voor sectie 2 worden specifiek vers gekapte palen benoemd. In het bestek voor sectie 3 is hier niet specifiek om gevraagd.

Hoewel de peilbuisgegevens op meerdere locaties wijzen op een risico op droogstand, is in geen van de houtmonsters schimmelaantasting aangetroffen. Daarbij wordt opgemerkt dat de paalkoppen in sectie 3 volgens bestek 20 tot 30 cm in het beton zijn gestort, waardoor de paalmonsters een stuk lager ten opzichte van de paalkop zijn genomen dan in sectie 2.

Draagkracht paalhout

Uit de paalberekeringen, voor elke paal berekend met de hoogst optredende paalbelasting en negatieve kleeft in die sectie, blijkt dat de houtspanning in de paalkoppen in alle gevallen onder de maximaal toelaatbare waarde blijft.

In sectie 2 wordt de toelaatbare houtspanning ter hoogte van het omslagpunt in de huidige situatie bij 2 van de 15 palen overschreden, in sectie 3 is dit bij 5 van de 13 palen het geval. Over 30 jaar wordt de toelaatbare houtspanning ter hoogte van het omslagpunt bij 4 van de 15 palen in sectie 2 overschreden, in sectie 3 is dit bij 5 van de 13 palen het geval maar wordt de houtspanning ook over het gemiddelde overschreden.

Berekeningen ter hoogte van het omslagpunt zijn onzeker door de vele aannames over bijvoorbeeld de tapsheid van de palen, de hoogte van het omslagpunt en de optredende negatieve kleeftbelasting. Bovendien zijn alle palen nu getoetst op de hoogst voorkomende paalbelasting én negatieve kleeft, namelijk die op de randpalen. De palen die niet aan de rand van de constructie staan ondervinden aanzienlijk minder negatieve kleeftbelasting door de groepering van de palen.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

11

Geotechnische draagkracht

De geotechnische draagkracht wordt voor de huidige situatie op basis van bewezen sterkte als voldoende beoordeeld.

Aanvullend bodemonderzoek Emplacement

De belastbaarheid van het Emplacement werd bij een eerste beoordeling ernstig beperkt door het kleine aantal beschikbare sonderingen die (mogelijk) geen representatief beeld gaven van het geotechnisch draagvermogen. Derhalve zijn rondom het Emplacement zeven sonderingen uitgevoerd. Met behulp van deze sonderingen is een nauwkeuriger en gunstiger resultaat voor het paal draagvermogen bepaald.

6 VERIFICATIEBEREKENINGEN

Met berekeningen is de constructieve veiligheid van het gehele kunstwerk getoetst, waarbij rekening is gehouden met een in de toekomst aan te brengen belasting op het dak. Deze belasting zal een permanent karakter hebben. Omdat de draagconstructie van de Hofbogen uit diverse componenten bestaat (paalfundatie, kolompijlers, dek et cetera), is per component de toelaatbare belasting bepaald. Op deze wijze kunnen de 'zwakke schakels' worden herkend en kan bij een eventueel herstel of versterking hier de nadruk op worden gelegd.

Onderstaande tabel geeft per beschouwde constructie de maximaal toelaatbare extra permanente dakbelasting weer per toetsingscriteria. Hierbij is de resterende capaciteit weergegeven na het in rekening brengen van de in de uitgangspunten opgestelde belastingen (reeds aanwezige permanente belastingen en variabele belasting). De genoemde waarden zijn zonder belastingfactor (deze is al verwerkt in de berekening) en kunnen daardoor aan derden worden opgegeven als een 'niet te overschrijden' extra permanente belasting. De geadviseerde waarden in de laatste kolom zijn ook aangegeven op het overzicht in bijlage 1.

Locatie		Geotechnisch draagvermogen	Sterkte hout fundatie	Sterkte hout paal	Sterkte steunpunten	Sterkte overspanning	Duurzaamheid overspanning	Advies
B1	Bokelweg	16			16	18	16	15
B2	Emplacement	4,3	23	33	26	75		4,0
B3	Teilingerstraat	11	24	39		13		10
B4	Boog 57	16	29	39		13		13
B4a	Bogen inclusief aanbouw	12	26	36				12
B5	Station Bergweg	14		2,0		13		2,0
B6	Bergselaan	10	12	14		20		10
B7	Boog 169	11		8,9		22		9,0
B8	Boog 103	19		13		12		12

Tabel 2: Overzicht toelaatbare extra permanente dakbelasting, in kN/m², afgerond op twee significante cijfers.

De toelaatbare belasting geldt als permanente belasting en wordt gecombineerd met een variabele belasting van 5,0 kN/m² op het dak van de bogen en 4,0 kN/m² onder de dichte bogen. Uit de tabel

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

12

volgt dat de belastbaarheid van het deel van de Hofbogen ten zuiden van Station Bergweg over het algemeen wordt begrensd door het geotechnische draagvermogen van de houten palen. Ten noorden van het station wordt de belastbaarheid begrensd door de constructieve sterkte van de houten palen. Het viaduct Heer Bokelweg heeft een uitzonderingspositie en zal niet maatgevend zijn voor een aan te brengen dakbelasting.

Het rond 1958 aangebrachte voorgespannen dekdeel is niet bepalend voor de dakbelasting, maar wel voor de toelaatbare belasting op de uitkragende voetpaden. De maximaal toelaatbare belasting is $3,9 \text{ kN/m}^2$ gelijkmatig verdeeld of een geconcentreerde belasting van $1,6 \text{ kN}$. Een versterking of aanpassing van het uitkragende vloerdeel ligt hier voor de hand.

Bij het aanbrengen van grond, substraat of overige materialen moet voorkomen worden dat één overspanning volledig wordt belast en de andere overspanning geheel niet. Het verschil tussen beide overspanningen mag niet groter zijn dan 5 kN/m^2 . In de praktijk zal dit betekenen dat het materiaal laagsgewijs aangebracht moet worden.

De toelaatbare extra permanente belastingen gegeven in tabel 2 gelden voor de huidige situatie.

- Wanneer de ballastkering wordt verhoogd met 50, 200 of 400 kg/m gaat dit ten koste van de belastbaarheid. De reductie op de belastbaarheid is respectievelijk 0,15; 0,60; $1,2 \text{ kN/m}^2$. Deze waarden zijn bepaald door de lijnlast om te rekenen naar een vlaklast bij een breedte van 6,6 m.
- Voor de begane grondvloeren is gerekend met een gemiddelde dikte van 275 mm beton. Wanneer de vloer dikker is wordt de belastbaarheid van het dak gereduceerd met $1,9 \text{ kN/m}^2$ per 100 mm hoogte betonvloer. Deze waarde is bepaald met een gewicht van 25 kN/m^3 voor het beton en een breedte van 5,1 m onder de bogen en 6,6 m binnen de ballastkeringen. De reductie kan alleen worden toegepast wanneer de vloer hoger is. Wanneer de vloerdikte lager is kan de belastbaarheid niet worden verhoogd omdat dit effect niet lineair is. De reductie voor dikkere vloeren is conservatief. De reductie van de belastbaarheid geldt alleen voor B4, B4a, B7 en B8, omdat de dikte van de vloer van de begane grond verwaarloosbaar is bij de grotere overspanningen.

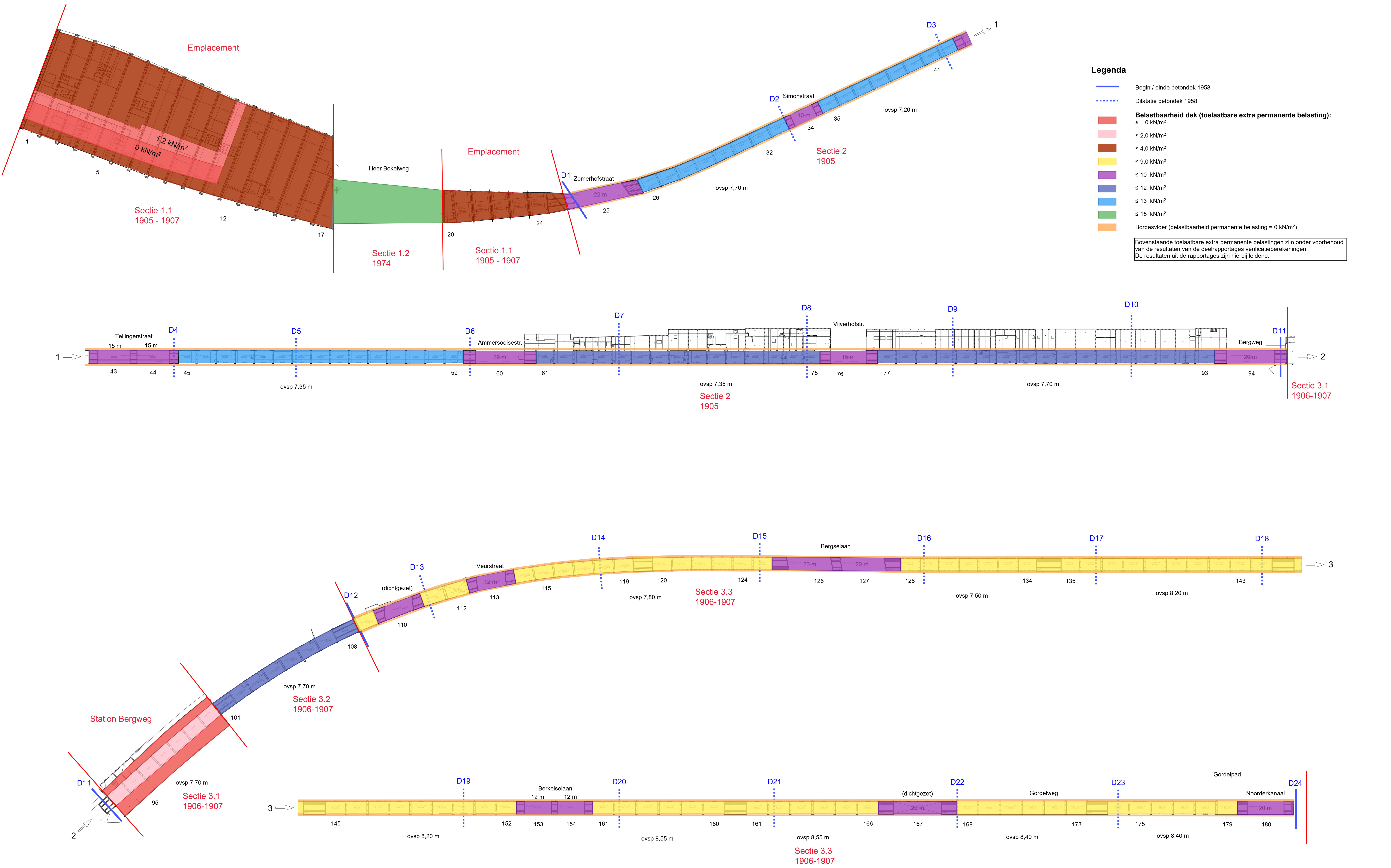
De in tabel 2 genoemde waarden zijn de grenzen van constructieve (bezwijk)veiligheid. Wanneer deze belasting daadwerkelijk wordt aangebracht, zal dit tot gevolg hebben dat de betonnen draagconstructie iets zal vervormen. Dit kan beperkte scheurvorming veroorzaken in de pleisterlagen die zijn aangebracht op het beton. Dit moet niet worden gezien als een voorteken van bezwijken maar als een te verwachten reactie van de draagconstructie op de aangebrachte extra belasting. Om die reden wordt geadviseerd herstelwerk aan het pleisterwerk vooraf in te calculeren.

Naar aanleiding van het aanvullende nader onderzoek voor station Bergweg is de berekening herzien. De aanvullende informatie heeft niet geleid tot gunstigere uitgangspunten voor de verificatieberekening van de perronvloeren en het paal draagvermogen. Conservatieve uitgangspunten met betrekking tot het bepalen van de paalkrachten in de berekening zijn iets bijgesteld waardoor een belastbaarheid van $2,0 \text{ kN/m}^2$ op de spoorbak mogelijk wordt geacht. In de nieuwe situatie kan bijvoorbeeld worden gedacht om de spoorbak dicht te zetten met een vlonderconstructie. De huidige perronvloeren hebben echter onvoldoende capaciteit om de variabele belasting van 5 kN/m^2 op te nemen. Geadviseerd wordt om de vloer te versterken met een gewapende druklaag van 80 mm dik met een wapeningsnet #Ø8-150 B500B.

Titel : De Hofbogen te Rotterdam

Rapportnummer : 40245-MS-01

Bijlage 1 Overzichtstekening belastbaarheid dak De Hofbogen



Legenda

- Begin / einde betondek 1958
- Dilatatie betondek 1958
- Belastbaarheid dek (toelaatbare extra permanente belasting):**
 - ≤ 0 kN/m²
 - ≤ 2,0 kN/m²
 - ≤ 4,0 kN/m²
 - ≤ 9,0 kN/m²
 - ≤ 10 kN/m²
 - ≤ 12 kN/m²
 - ≤ 13 kN/m²
 - ≤ 15 kN/m²
- Bordesvloer (belastbaarheid permanente belasting = 0 kN/m²)

Bovenstaande toelaatbare extra permanente belastingen zijn onder voorbehoud van de resultaten van de deelrapportages verificatieberekeningen. De resultaten uit de rapportages zijn hierbij leidend.