

RAPPORT

HSL Zuid

Risicoanalyse betondegeneratie

Klant: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Referentie: T&PBF4341R002F2.0

Versie: 2.0/Finale versie

Datum: 24 augustus 2018



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Leidseveer 4
3511 SB UTRECHT
Netherlands
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 55 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: HSL Zuid

Ondertitel: Risicoanalyse betondegeneratie
Referentie: T&PBF4341R002F2.0
Versie: 2.0/Finale versie
Datum: 24 augustus 2018
Projectnaam: Risicoanalyse
Projectnummer: BF4341
Auteur(s):

Opgesteld door: _____

Gecontroleerd door: _____

Datum/Initialen: 24-08-2018

Goedgekeurd door: _____

Datum/Initialen: 24-08-2018

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Risicoanalyse	4
2.1	Methode	4
2.2	Algemeen	4
3	Classificatie van de Kunstwerken van de HSL	4
4	Informatie Open bakken met stempels (kunstwerk type 6)	6
5	Beschikbare onderzoeken en resultaten	6
5.1	Vervolg onderzoek en maatregelen voor TRN	6
5.2	HSL 2 ^e fase onderzoek betonkwaliteit	6
5.3	Resultaten visuele inspectie Open bak met stempels (type 6)	7
5.4	Resultaten laboratoriumanalyse	7
5.5	Extrapolatie en interpretatie betononderzoek voor risicoanalyse	8
5.6	Extrapolatie en interpretatie reparatie stempels voor risicoanalyse	9
5.7	Input voor risicoanalyse en Monte Carlo analyse	9
6	Conclusie	12

Bijlagen

A1	Onderzoeksaanpak
A2	Invoer kostenberekeningsmodel en Monte Carlo Simulatie
A3	Risicodatabase HSL betondegeneratie
A4	Berekening kosten conform SSK

1 Inleiding

Er zijn afwijkingen van de kwaliteit van het beton in de kunstwerken van de HSL geconstateerd, in eerste instantie voor de Tunnel Rotterdam Noord (TRN) maar vervolgens ook bij andere kunstwerken. Naar dit fenomeen is onder begeleiding van ProRail onderzoek gedaan. Het onderzoek¹ omvat de 215 betonnen kunstwerken in de HSL, waarvan 68 representatieve kunstwerken nader zijn onderzocht in "HSL (2de fase onderzoek beton kwaliteit). Voor de afwijkingen van de gewenste betonkwaliteit geldt dat risico's en kosten niet eenduidig zijn vast te stellen en dat die daarom op basis van een risicoanalyse dienen te worden bepaald.

Voor het eventueel vrijmaken van de financiële middelen voor het op het gewenste kwaliteitsniveau houden van de HSL heeft I&W verzocht deze risicoanalyse uit te voeren en daarbij gebruik te maken van de beschikbare informatie van de onderzoeken die zijn uitgevoerd vanuit ProRail.

Het bepalen van de risico's en de kosten voor afwijkingen in de betonkwaliteit is in eerste instantie door I&W verdeeld in de tranches 1 t/m 3.

Tranche 1

Opstellen van een werk hypothese voor de risicoanalyse

Aanpak van tranche 1 en 2 mede op basis van de bevindingen van TRN

Tranche 2

Risicoanalyse op basis van de werkhypothese voor TRN en de 5 zogenaamde garantie objecten (tunnel Dordtsche Kil, Tunnel Oude Maas, Cutting Galder, Cutting Prinsenbeek en Tunnel Westrik)

Plan van aanpak voor Tranche 3

Tranche 3

Risico analyse van alle kunstwerken van de HSL op basis van de werkhypothese uit tranche 1

De uitvoering van de tranches is gekoppeld aan het beschikbaar komen en de resultaten van onderzoek dat door ProRail wordt uitgevoerd.

Royal HaskoningDHV heeft als onderdeel van tranche 1 een onderzoeksmethode² vastgesteld (BF4341-R001) voor de bepaling van de financiële gevolgen van afwijkingen van de betonkwaliteit. Deze is tevens opgenomen als Bijlage 1. In deze methode kunnen zowel extra (jaarlijkse) kosten voor inspectie of monitoring als ook herstelwerkzaamheden worden opgenomen.

In deze rapportage wordt de risicoanalyse integraal uitgevoerd (dus niet in tranches) waarbij van alle kunstwerken op de HSL de kwaliteit gerelateerd aan beton en de status van de stempels worden meegenomen. Uitgesloten daarvan zijn de reparaties van de stempels op de TRN welke nu (2018) door de aannemer worden uitgevoerd. Op basis van een interpretatie van die informatie zijn een risico analyse en een Monte Carlo analyse uitgevoerd, waarmee de reservering van een (aanvullend) budget bepaald is.

¹ Betreft Eindrapport HSL 2^e fase onderzoek betonkwaliteit uitgevoerd door Royal HaskoningDHV en Movares met kenmerk BF4721R069 en uitgevoerd onder ProRail nummer TN Ref.: 110735.

² Dezelfde methode is gebruikt voor de bepaling van risico's en kosten voor de verplaatsingen/zettingen van 3 kunstwerken in de HSL referentie BF4341-R001-F0.1 van 3 juli 2018

2 Risicoanalyse

2.1 Methode

De methode om de onzekerheden over de status van de kunstwerken en de noodzaak en de omvang van de herstelwerkzaamheden te kwantificeren, is beschreven in Bijlage 1. Dit betreft dezelfde methode welke is aangehouden voor de risicoanalyse van zettingenverplaatsingen.

De uitgangspunten zijn opgenomen in Bijlage 2, deels zijn deze door ProRail verstrekt, deels komen deze uit eerder onderzoek. De invoer van de gegevens voor de risicodatabase is gepresenteerd in Bijlage 3. In Bijlage 4 is de berekening van de investeringskosten conform SSK weergegeven.

2.2 Algemeen

De informatie die momenteel verstrekt is over de afwijkingen van de kwaliteit van het beton van de kunstwerken, is verdeeld naar de volgende aspecten:

- Herstel werkzaamheden en toekomstige controles die zeker nodig zijn.
- Werkzaamheden, die met een nader te bepalen kans nodig zijn.

De specifieke acties die daarvoor per kunstwerk nodig zijn, zijn in hoofdstuk 4 t/m 5 vermeld. Daarnaast is in overleg met ProRail vastgesteld welke onzekerheden de voorgenomen maatregelen bevatten. Deze onzekerheden zijn momenteel moeilijk te kwantificeren, omdat aard en omvang van het benodigd herstelwerk en het tijdstip van voorkomen niet bekend zijn.

De opzet van de reguliere inspecties van de HSL kunstwerken, is voldoende om onverwachte gebeurtenissen tijdig te onderkennen en calamiteiten te voorkomen.

3 Classificatie van de Kunstwerken van de HSL

De kunstwerken voor de HSL zijn gebouwd in de periode 2002-2006 en de uitvoering is verdeeld over 6 contractdelen. In totaal zijn er 215 kunstwerken in de HSL.

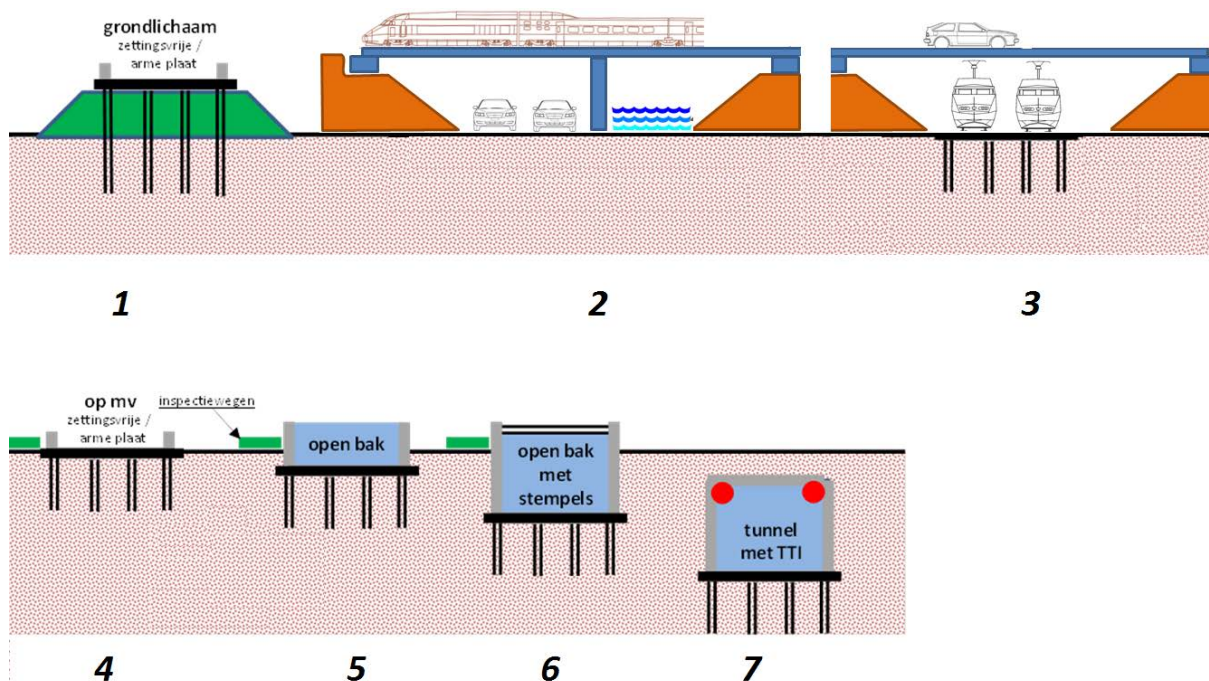
In het kader van de uitvoering van het onderzoek "HSL- 2de fase onderzoek beton kwaliteit" zijn de kunstwerken ingedeeld naar contractdeel en naar type kunstwerk.

De verdeling van de kunstwerken over de verschillende contractdelen is aangegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Aantal kunstwerken per tracé

Tracé	Aantal kunstwerken
I: Noordelijk Holland (NOH)	47
II: Boortunnel onder het Groene Hart (BOT)	4
III: Zuid-Holland Midden (ZHM)	32
IV: Zuid-Holland Zuid (ZHZ)	71
V: Brabant Noord (BrN)	28
VI: Brabant Zuid (BrZ)	33
Totaal	215

De verdeling van de kunstwerken naar types is gedaan op basis van de indeling die in Figuur 1 is opgenomen en die is samengevat in Tabel 2. Deze Figuur 1 wijkt af van de classificatie vermeld in Bijlage 1. Voor de methodiek heeft deze wijziging echter geen gevolgen.



Figuur 1 classificatie kunstwerken HSL

De duikers onder het spoor zijn uit prefab elementen opgebouwd, waarvan bekend is dat de kwaliteit van het beton geen problemen vertoont. Ook is het spoor op die plaatsen los van de duikers gefundeerd en is er daardoor geen wisselwerking tussen de duikers en de baan van de HSL. De duikers zijn daarom in dit onderzoek verder niet in beschouwing genomen.

Tabel 2 classificatie van de kunstwerken HSL

Type	Aantal kunstwerken
1: zettingsvrije/arme plaat op grondlichaam	35
2: spoor kunstwerk (spoor boven langs)	79
3: kunstwerk boven maaiveld (spoor onderdoor)	8
4: zettingsvrije/arme plaat op maaiveld	39
5: open bak	2
6: open bak met stempels	13
7: tunnel met (tunnel) technische installaties	5
8: duikers	34
Totaal	215

4 Informatie Open bakken met stempels (kunstwerk type 6)

Op basis van visuele inspectie en aanvullend (laboratorium) onderzoek is voor het kunstwerk Tunnel³ Rotterdam Noord (TRN) ernstige twijfel ontstaan over de kwaliteit van het beton van het kunstwerk. Nader onderzoek gaf aan dat de problemen vooral betrekking hebben op de stempels in de open delen van de tunnel (type 6). Voor een deel van die stempels valt te betwijfelen of die aan de geplande levensduur voldoen en/of er voldoende zekerheid bestaat na enkele decennia over het veilig functioneren van de stempels tijdens het gebruik van de HSL. De resultaten van de waarnemingen zijn besproken in een 'expertmeeting' waarin ProRail, TNO, SGS Intron en Movares waren vertegenwoordigd. Vanuit deze expertmeeting is aangegeven, dat het vastgestelde schadebeeld is ontstaan door een verhoogde vochtindringing in het de horizontale delen van het beton in combinatie met de (matige) betonkwaliteit. In overleg met de TNO, de aannemer en diverse andere deskundigen is aangegeven, dat de oplossing voor het probleem moet worden gevonden in een methode waarbij de vochtindringing in het beton wordt weggenomen.

Op basis van voorgaande informatie is besloten om voor de gehele HSL een "HSL- 2^{de} fase onderzoek beton kwaliteit" uit te voeren. Er was al eerder vastgesteld dat kunstwerken waar geen vochtindringing plaatsvindt en/ of prefabbeton elementen zijn toegepast, geen schade vertonen. Daarom zijn de gesloten delen van tunnels (type 7) en duikers niet in het onderzoek betrokken.

5 Beschikbare onderzoeken en resultaten

5.1 Vervolg onderzoek en maatregelen voor TRN

In verschillende fasen⁴ heeft een visuele inspectie plaatsgevonden van het kunstwerk TRN (type 6) en zijn monsters genomen en in het laboratorium geanalyseerd. Daaruit is gebleken dat een aanzienlijk deel van de stempels een verontrustend schadebeeld toont.

Uiteindelijk is een visuele inspectie uitgevoerd van alle stempels van de TRN in samenwerking met de aannemer die het kunstwerk heeft gebouwd. Daarbij is het aangetroffen schadebeeld ingedeeld in de klasse 0 tot en met 5, waarbij klasse 0 geen schade betekent en klasse 5 ernstige schade. Op basis van deze indeling is besloten om voor de stempels met schadebeeld klasse 3, 4 en 5 herstelwerkzaamheden uit te voeren.

Het principe om de vochtindringing in de stempels te verminderen en waarschijnlijk zelfs helemaal weg te nemen is uitgewerkt door de aannemer en zal worden toegepast op 38 van de in totaal 145 stempels (26% van de stempels) waar het schade beeld als klasse 3, 4 en 5 is gekenmerkt. Stempels met schadebeeld klasse 1 en 2 (klasse 0 komt niet voor) vallen buiten de herstelmaatregel, maar zullen mee worden genomen in de reguliere inspecties.

5.2 HSL 2^e fase onderzoek betonkwaliteit

Van de 215 kunstwerken behoren er 39 niet tot het type waar de betonkwaliteit een probleem is (34 duikers en 5 gesloten delen van tunnels), zodat er 176 kunstwerken resteren die voor onderzoek in aanmerking komen. Van deze 176 kunstwerken zijn er op basis van een bureau studie 68 (ca 40%) geselecteerd in het kader van het onderzoek "HSL 2e fase onderzoek betonkwaliteit". Omdat type 6 kunstwerken "Open bak met stempels" op basis van de gegevens van TRN het meest risicovol werden

³ Waar in dit document over tunnel wordt gesproken, wordt bedoeld het deel dat aan invloeden van weer en wind is blootgesteld. Het betreft derhalve de open delen bestaande uit de toeritten en/ of de verdiepte bakken met stempels type 6.

⁴ Dit betreft een onderzoek van RIS met referentie RIS430-8/pouc/017 en een inspectie van Royal HaskoningDHV in samenwerking met BAM een visuele inspectie onder referentienummer T&PBE9885-109-100-M01 en T&PBE9885-109-100-M02.

geacht, zijn van dat type alle objecten onderzocht (11 van de 13) ⁵. De verdeling van de types onderzochte kunstwerken is vastgelegd in Tabel 3.

Tabel 3 classificatie van de kunstwerken van HSL 2e fase betononderzoek

Type en aantal kunstwerken	Totaal	Onderzocht
1: zettingsvrije/arme plaat op grondlichaam	35	13
2: spoor Kunstwerk (spoor boven langs)	79	31
3: kunstwerk boven maaiveld (spoor onder door)	8	6
4: zettingsvrije/arme plaat op maaiveld	39	5
5: open bak	2	2
6: open bak met stempels	13	11
7: tunnel met tunnel technische installaties	5	0
8: duiker	34	0
Totaal	215	68

HSL 2e fase onderzoek betonkwaliteit bestond naast een visuele inspectie ook uit het nemen en in het laboratorium onderzoeken van betonmonsters om vast te stellen wat mogelijke oorzaken zijn van visueel vastgestelde schade en omgekeerd, om te bepalen of visueel goed uitziende objecten onderhevig zijn aan niet zichtbare betondegeneratie.

5.3 Resultaten visuele inspectie Open bak met stempels (type 6)

Voor de kunstwerken type 6 zijn geen stempels aangetroffen die een te hoog schadebeeld tonen, dat wil zeggen hoger dan schade klasse 2 volgens de definitie in paragraaf 5.1

Wel blijkt uit de visuele inspectie van het HSL 2^e fase onderzoek betonkwaliteit, dat er soms mosgroei plaatsvindt op de stempels en aan de bovenzijde van de wanden, maar in mindere mate dan bij de TRN. In de aanbeveling voor dit type kunstwerk is daarom een jaarlijkse inspectie voorgesteld van dit type kunstwerk welke gericht is op de constructieonderdelen waar schadebeelden zijn geconstateerd.

Of gedurende de levensduur alsnog wordt vastgesteld dat maatregelen nodig zijn, is op dit moment niet te voorzien.

5.4 Resultaten laboratoriumanalyse

Voor 5 kunstwerken is op basis van de laboratoriumtesten vastgesteld dat er onvoldoende zekerheid bestaat over de wijze waarop degeneratie doormiddel van carbonatatie plaatsvindt. Dit zou kunnen betekenen dat gedurende de levensduur van deze kunstwerken de wapening kan worden aangetast. Het betreft vanuit het onderzoek de volgende type kunstwerken:

- 3 kunstwerken type 2⁶, dit is ca 10% van de 31 onderzochte kunstwerken en ca 4% van de in totaal 79 kunstwerken van dit type.
- 2 kunstwerken type 6⁷, dat is ca 18% van de 11 onderzochte kunstwerken
-

Er is op dit moment nog geen schade vastgesteld, (schadeklasse 0 of 1), maar als de wapening wordt aangetast kan schade klasse 5 optreden. Technisch constructief dient het kunstwerk dan als onveilig te zijn verklaard. Indien schadeklasse 5 optreedt in delen boven het spoor komt daar nog bij dat dit tot

⁵ Vanuit HSL 2^e fase onderzoek betonkwaliteit zijn 11 van de 13 kunstwerken met stempels onderzocht. De ontbrekende 2 zijn de kunstwerken van TRN (Toegang Noord TRN & Toegang Zuid TRN). Deze meenemend zijn alle kunstwerken met stempels van de HSL geïnspecteerd.

⁶ Deelrapport van HSL 2^e fase onderzoek betonkwaliteit met kenmerk BF4721R004, BF4721R041 & BF4721R046

⁷ Deelrapport van HSL 2^e fase onderzoek betonkwaliteit met kenmerk BF4721R013 & BF4721R030

onveilige situaties kan leiden en de veilige berijdbaarheid aantasten. Deze situatie zal in de komende decennia echter nog niet aan de orde zijn.

Voor deze kunstwerken is door de onderzoekers voorgesteld om over ongeveer 10 jaar (bij de reguliere hoofdinspectie) in elk geval een uitgebreider onderzoek (boorkernen onderzoeken in het laboratorium) uit te voeren, om inzicht te krijgen in het tempo van de degeneratie. Tot die tijd is de reguliere inspectie voldoende. Op dit moment is voor deze kunstwerken niet aan te geven of na enkele decennia maatregelen nodig zijn.

5.5 Extrapolatie en interpretatie betononderzoek voor risicoanalyse

Het "HSL 2e fase onderzoek betonkwaliteit" bevat alle type kunstwerken welke voorkomen op de HSL met uitzondering van de duikers en de gesloten tunnels. Ook heeft het onderzoek zich toegespitst op alle zes tracés van de HSL. Om die reden kunnen de resultaten van dat onderzoek geëxtrapoléerd worden naar de gehele HSL.

In Tabel 4 is het aantal kunstwerken uit het betononderzoek afgezet tegen het aantal kunstwerken op de gehele HSL. Tevens zijn in die tabel de bevindingen van het onderzoek samengevat en zijn op basis daarvan aanvullende maatregelen weergegeven waarvan in de risicoanalyse is uitgegaan.

Voor een uitgebreidere verklaring van de aanvullende maatregelen wordt verwezen naar Bijlage 2.

Tabel 4 Vergelijking alle kunstwerken HSL met kunstwerken (kw'n) betononderzoek

Type kunstwerken	Aantal kunstwerken Totaal/ Aantal kunstwerken onderzocht	Resultaat onderzoek	Aanvullende Maatregel	Restrisico
1: zettingsvrije/arme plaat op grondlichaam	35/13	Geen bijzonderheden	geen	geen
2: spoorkunstwerk (spoor boven langs)	79/31	Laboratorium onderzoek: 3 kw'n onzeker vanwege verhoogde carbonatatie	Over ca 10 en 50 jaar opnieuw laboratorium onderzoek bij 8 ⁸ van deze kunstwerken. Percentage gelijk als bij reeds onderzochte kunstwerken.	aanwezig
3: kunstwerk boven maaiveld (spoor onderdoor)	8/6	Geen bijzonderheden	geen	geen
4: zettingsvrije/arme plaat op maaiveld	39/5	Geen bijzonderheden	geen	geen
5: open bak	2/2	Geen bijzonderheden	geen	geen
6: open bak met stempels	13/11 ⁹	Visueel: schadeklasse stempels < 3 Laboratorium onderzoek: 2 kw'n onzeker vanwege verhoogde degeneratie	Jaarlijks inspecteren alle objecten gericht op de onderdelen waar een schadebeeld is geconstateerd. Over ca 10 jaar en 50 jaar opnieuw laboratorium onderzoek bij 4 van deze kunstwerken. Beide kunstwerken onderzocht bij HSL	aanwezig

⁸ 3 van 31 onderzochte kunstwerken (is 10%) hebben een verhoogde carbonatatie, voor alle 79 kunstwerken zou dit dat bij 8 kunstwerken kunnen voorkomen

⁹ Zie hoofdstuk 5.2 : De 2 toeritten van de TRN zijn ook onderzocht.

			2 ^e fase onderzoek betonkwaliteit en beide kunstwerken van TRN.	
7: tunnel met tunnel technische installaties	5/nvt	Niet, omdat voor deze kunstwerken geen problemen zijn vastgesteld.	n.v.t.	n.v.t.
8: duiker	34/nvt	niet, omdat voor deze kunstwerken geen problemen zijn vastgesteld.	n.v.t.	n.v.t.
Totaal	215	68		

5.6 Extrapolatie en interpretatie reparatie stempels voor risicoanalyse

Op basis van de herstelmaatregelen van de TRN en het HSL 2^e fase onderzoek betonkwaliteit dient er voor de risicoanalyse ook te zijn meegenomen dat er in de toekomst nog stempels hersteld moeten worden.

TRN

Voor de TRN wordt verondersteld dat voor een 14-tal stempels in de toekomst nog herstelmaatregelen benodigd zijn. Een onderbouwing hiervoor is weergegeven in Bijlage 2.

Overige kunstwerken

Op basis van de resultaten van het HSL 2^e fase betononderzoek is verondersteld dat in de toekomst voor 17 stempels in de toekomst herstelmaatregelen benodigd zijn. Een onderbouwing hiervoor is weergegeven in Bijlage 2.

In totaal worden voor 14+17=31 stempels maatregelen voorzien. Deze zullen niet allemaal tegelijkertijd optreden en zullen ook niet ieder afzonderlijk worden gerepareerd. De veronderstelling is dat dit in 3 batches gebeurt van elk ca 10 stempels met een interval van ca 10 jaar in de periode 2020 – 2060. Eventueel geconstateerde schades na 2060 worden verondersteld geen effect meer te hebben op de restlevensduur van de kunstwerken tot einde levensduur van de HSL

5.7 Input voor risicoanalyse en Monte Carlo analyse

In Tabel 4 zijn de te nemen maatregelen en de rest risico's aangegeven die op basis van het uitgevoerde onderzoek naar de betonkwaliteit van de kunstwerken van de HSL zijn gedetecteerd.

Er is aangenomen dat de kosten voor reguliere inspectie zijn opgenomen in het budget voor het reguliere onderhoud van de HSL. Daarvan uitgaande dient met de volgende extra kosten te worden gerekend:

1. Inspectie van kunstwerken met stempels

De reguliere inspectie uitgevoerd in opdracht van ProRail omvat een 3-jaarlijkse inspectie van de stempels. In de risicoanalyse wordt het advies van het 2^e fase onderzoek gevolgd om die inspecties jaarlijks uit te voeren voor alle 13 kunstwerken met stempels. Deze activiteiten worden omgezet naar jaarlijkse kosten, die tijdens de resterende levensduur van de HSL nodig zijn.

2. *Reparatie van stempels*

Totaal komen er verdeeld over 13 kunstwerken 491 stempels in de HSL voor, waarvan er 145 onderdeel zijn van de TRN. Momenteel wordt het herstel van 38 van de 145 stempels (26%) van de TRN voorbereid. De kosten voor het herstel van deze 38 worden via de aannemer verrekend en zijn om die reden niet meegenomen in deze risicoanalyse.

De kosten voor het herstel van de stempels zijn opgegeven door ProRail op basis van het project TRN.

Voor de risicoanalyse wordt uitgegaan dat op termijn op de HSL voor 31 stempels een zelfde behandeling benodigd is als bij de stempels TRN. Hiervan bevinding zich er 14 in de TRN en 17 in de overige 11 kunstwerken met stempels.

Omdat thans geen schade wordt waargenomen wordt aangehouden dat die herstelwerkzaamheden in gelijke delen gespreid in de tijd nodig zijn.

3. *Vervolg Onderzoek aan 12 kunstwerken met een verhoogde carbonatatie diepte.*

Aanvullend onderzoek naar de kunstwerken waar thans een verhoogde carbonatatie diepte is waargenomen is voorzien na 10 jaar en opgenomen voor 12 kunstwerken. Om ook op lange termijn de ontwikkeling van de carbonatatie diepte te volgen, wordt na 50 jaar voor 50% van de kunstwerken dit onderzoek herhaald (6 kunstwerken).

4. *Risico van een reparatie van beton met een verhoogde carbonatatie diepte*

Hoewel niet voorzien, bestaat de mogelijkheid dat er kunstwerken niet de vereiste levensduur zullen bereiken en herstelwerk nodig is. De kans is het grootst dat gezien de thans beschikbare informatie een type 2 of een type 6 constructie dient te worden behandeld. Hierbij is verondersteld dat het gaat om eenmalig type 6 en tweemaal type 2.

Onbekend is waar in de constructie het probleem zich voordoet en in welke mate. Hiervoor is een aanneme gedaan welke is onderbouwd in Bijlage 2. Kleine reparaties aan het beton die ontstaan, worden geacht uit het reguliere onderhoud te worden betaald. Daarbij wordt in de tijd nog wel tweemaal een restrisico toegewezen, het bedrag is onderbouwd in Bijlage 2.

In Bijlage 2 is de input voor de kostenberekening op basis van de SSK-methode en voor de Monte Carlo simulatie gepresenteerd. In de Figuur 2 op de volgende pagina is de input verdeeld over de tijd, op basis van paragraaf 5.5, paragraaf 5.6 en Bijlage 2.

Input Risco-analyse		2020	2040	2060	2070	2110
Stempels	Input\jaartal	<p>Op basis van HSL 2e fase Betononderzoek rekening houdend met herstel van de overige stempels. Dit betreft reparatie 31 stuks, nader te bepalen op basis van jaarlijkse inspectie.</p> <p>Jaarlijkse inspectie a €54.000,- per jaar</p>				
Beton onderzoek	<p>Vervolgonderzoek betonkwaliteit aan 12 kunstwerken. Gebaseerd op HSL 2e fase Betononderzoek. Plus grootschalig onderhoud na aanleiding van uitkomsten</p>	<p>Reparatie 10 stempels a €15.000,- per stuk</p>	<p>Reparatie 10 stempels a €15.000,- per stuk</p>	<p>Reparatie 10 stempels a €15.000,- per stuk</p> <p>Reparatie 11 stempels a €15.000,- per stuk</p>	<p>Geen acties</p>	<p>Geen reparaties</p>
		<p>Onderzoek aan 12 kunstwerken waarvan - 8 type 2 en - 4 type 6 a €15.500,- per kunstwerk</p> <p>Enmalig groot onderhoud aan de wanden van één type 6 kunstwerk a €1.000.000,-</p> <p>Restrisico Versnellen regulier onderhoud aan 3 KW a €100.000,-</p>			<p>Op basis van het onderzoek 2020, vervolgonderzoek aan 6 kunstwerken, nader te bepalen</p> <p>A €15.500,- per kunstwerk</p> <p>Enmalig groot onderhoud aan de pijlers van 2 type 2 en aan de wanden van 1 type 6 kunstwerken a €1.000.000,- per kunstwerk</p> <p>Restrisico Versnellen regulier onderhoud aan 2 KW a €100.000,-</p>	

Figuur 2 Input RA analyse

6 Conclusie

Het totaal van de maatregelen kost globaal € 23.6 miljoen inclusief BTW. In deze post zit globaal € 6.4 miljoen risicoreservering waarvan globaal 3 miljoen aan “scheefte”. Deze scheefte wordt veroorzaakt door de grote onzekerheid (-50% en + 100%) van de herstelkosten die worden verondersteld nodig te zijn aan de pijlers (kunstwerk type 2) en wanden (kunstwerk type 6). Uit de probabilistisch berekening volgt dat met 70% zekerheid kan worden gesteld dat de totale kosten tussen globaal € 15.5 en € 33 miljoen zullen uitkomen met een gemiddelde van de eerdergenoemde € 23.6 miljoen inclusief BTW.

A1 **Onderzoeksaanpak**

De Risicoanalyse HSL Zuid

Onderzoeksaanpak
Beton degeneratie en zettingen/verplaatsingen HSL zuid

Klant: Ministerie Milieu & Infrastructuur

Referentie: T&PBF4341R001F1.0

Versie: 1.0/Finale versie

Datum: 2 oktober 2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Leidseveer 4
3511 SB Utrecht
Netherlands
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 55 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Onderzoeksaanpak Risicoanalyse HSL Zuid

Ondertitel: betondegeneratie en zettingen/verplaatsingen
Referentie: T&PBF4341R001D0.3
Versie: 1.0/Finale versie
Datum: 2 oktober 2017
Projectnaam: RA HSL Zuid
Projectnummer: BF4341
Auteur(s): Ed Antoine, Jack Sip

Opgesteld door: Ed Antoine

Gecontroleerd door: Jack Sip

Datum/Initialen:

Goedgekeurd door: Jack Sip

Datum/Initialen:

Classificatie

Alleen voor intern gebruik



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoudsopgave

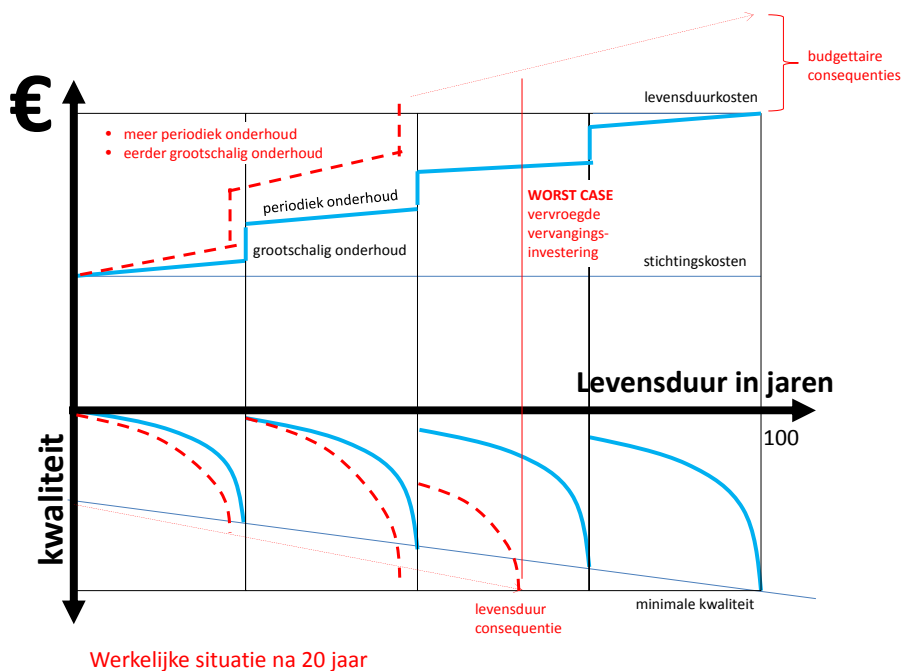
1	Inleiding	2
2	Methodebeschrijving risicoanalyse	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Uitwerking	3
2.3	Onderzochte informatie	4
2.4	Stappenplan Risico analyse	4
2.4.1	Classificatie kunstwerken	5
2.4.2	Inventarisatie schade	6
2.4.3	Risico classificatie	7
2.4.4	Maatregelen	8
2.4.5	Restrisico's	9
2.4.6	Risico database	9
2.5	Verwerken onderzoeksresultaten	10
2.6	Werksessies	11
2.7	Rapportage	11

1 Inleiding

Aan de HSL Zuid baan zijn gebreken geconstateerd, die bestaan uit ongewenste verplaatsingen/zettingen van kunstwerken en uit degeneratie van beton. De oorzaak en de omvang van de gebreken zijn slechts voor een deel bekend, waardoor ook de kosten die voor herstelwerkzaamheden nodig kunnen zijn, niet te bepalen zijn.

RHDHV heeft van het ministerie van I&M opdracht gekregen om op basis van de beschikbare gegevens een risicoanalyse te maken en op basis daarvan een schatting te maken van de kosten. De methode waarop uitvoering wordt gegeven aan de opdracht wordt in dit rapport beschreven.

Het doel van de opdracht is in de volgende figuur schematisch is weergegeven.



figuur 1 Effect van versnelde degeneratie en verplaatsingen op levensduur en kosten van een kunstwerk

2 Methodebeschrijving risicoanalyse

2.1 Inleiding

De wijze waarop risico's en kosten worden bepaald zonder dat volledig inzicht bestaat over de achterliggende schade en de noodzakelijke maatregelen vereist een bijzondere aanpak. Bij een traditionele opzet van een risico evaluatie is te verwachten dat er geen duidelijke resultaten worden bereikt. Dit kan zich uiten in een (te) grote bandbreedte of zelfs geen resultaat bijvoorbeeld als niet kan worden bepaald hoe een beheersmaatregel of herstelwerk uitgevoerd kan worden terwijl de HSL in gebruik is.

Het voorgaande is ook in de aanvraag onderkend, zodat I&M voorstelt het door RWS gebruikte Issue model toe te passen voor Vervanging & Renovatie (V&R).

Centraal in de Issue Analyse Methode staan de 'hoe' en 'waarom' vragen. Deze methode helpt om een logische ordening aan te brengen tussen de verschillende aspecten, de reeds aanwezige informatie en mogelijke resultaten van de lopende onderzoeken.

- het gebrek aan duidelijkheid over de schade zelf (voorafgaand aan de risicoanalyse en op basis van de beschikbare informatie en kennis) en de oorzaak van de schade.
- de gevolgen van de schade; de verschillende risico's die er zijn door betonschade en verplaatsingen; constructief falen en/of losraken van betondelen tijdens de exploitatie.
- het formuleren van mogelijke beheersmaatregelen en deze te classificeren naar effectiviteit op de reductie van schade, kosten en uitvoerbaarheid.
- de impact van het uitvoeren van de beheersmaatregelen op de bedrijfsvoering van de HSL-Zuid te beoordelen, die te kwantificeren in tijd en kosten en die vervolgens onderdeel te maken van de risico analyse.

Hoewel de "schade" mechanismes verschillend zijn, wordt de methode zowel voor zettingen/verplaatsingen als voor beton degeneratie toegepast.

2.2 Uitwerking

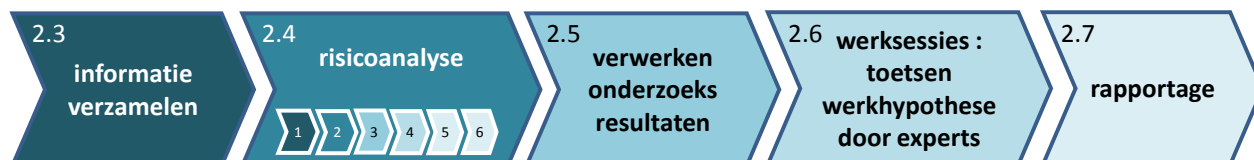
RHDHV heeft de methode uitgewerkt en daarbij rekening gehouden met de door I&M aangegeven tranches voor de uitvoering. Voor de verplaatsingen wordt uitgegaan van één tranche (tranche 1), voor de beton degeneratie zijn de volgende tranches van toepassing:

- tranche 1 betreft het voorbereiden van de risicoanalyse, het formuleren van een eerste initiële werkhypothese betreffende TRN¹ en deze toetsen met een expertgroep in een interactieve sessie.
- tranche 2 betreft het aanscherpen van de initiële werkhypothese en het onderzoek en de risicoanalyse verder uitbreiden naar 5 garantieobjecten. Deze tranche wordt afgesloten met een rapportage.
- tranche 3 betreft het verder uitbreiden van de risicoanalyse naar andere objecten van HSL Zuid.

De scope van het huidige onderzoek omvat tranche 1 en 2. De voorgestelde aanpak is er op gericht dat tranche 3 op vergelijkbare wijze kan worden uitgewerkt en wordt toegevoegd aan de resultaten van tranche 1 en 2.

¹ TRN = Tunnel Rotterdam Noord

De stappen in het onderzoek zijn voor elke tranche vergelijkbaar, de diepgang en scope kunnen veranderen, afhankelijk van de onderzoeksresultaten. Deze stappen zijn in figuur 2 schematisch weergegeven en zijn in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt. De risicoanalyse is nog weer onderverdeeld in 6 stappen welke nader zijn uitgewerkt in hoofdstuk 2.4.



figuur 2 onderzoek stappen betondegeneratie

2.3 Onderzochte informatie

Omdat er zeer veel informatie beschikbaar is en er tal van lopende onderzoeken zijn is besloten geen nieuwe technische onderzoeken te starten. Op basis van bestaande onderzoeken en rapporten is de aanpak in dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

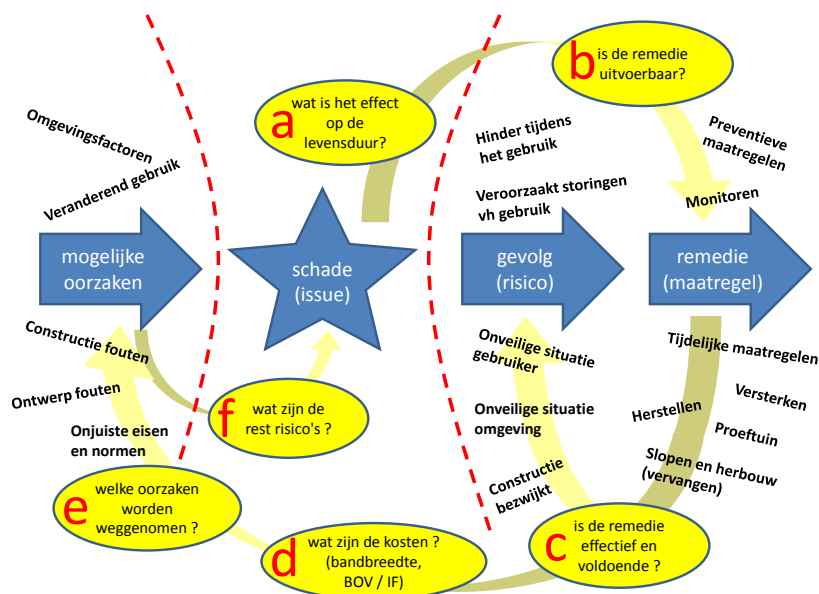
De resultaten van de lopende onderzoeken van ProRail en TNO worden in het najaar van 2017 verwacht. Daarnaast is een vervolg onderzoek voorzien naar de betonkwaliteit van kunstwerken in de HSL. Dit onderzoek is thans in voorbereiding en afronding wordt verwacht medio 2018.

2.4 Stappenplan Risico analyse

RHDHV heeft het volgende concept neergelegd voor de risicoanalyse, zie figuur 3. De risicoanalyse gaat uit van de centrale vraag 'welke kosten zijn nodig om de schade te herstellen en indien mogelijk de oorzaken zoveel mogelijk weg te nemen of te reduceren en wat is het effect hiervan op het in de begroting gereserveerde budget?'.

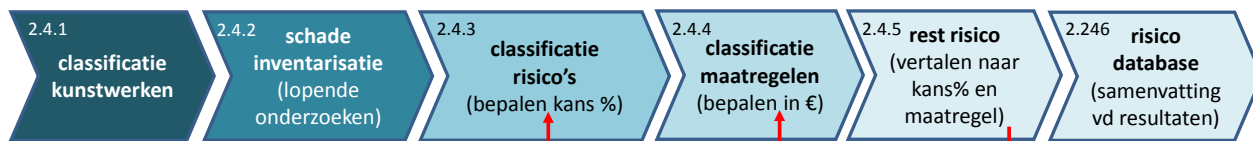
Afhankelijk van de aard, ernst en omvang van de schade worden maatregelen geformuleerd die bij een schadebeeld horen. Elke maatregel wordt beoordeeld op uitvoerbaarheid en effectiviteit. De uitvoerbaarheid wordt in sterke mate bepaald door de bedrijfsvoering en dienstregeling van de HSL waarbij beperkte "tijd slots" beschikbaar zijn voor het uitvoeren van maatregelen. Met de toets op effectiviteit wordt onderzocht of de maatregel daadwerkelijk verdere schade voorkomt of beperkt en welke restrisico's er over blijven.

Als de maatregel uitvoerbaar en effectief is kunnen de kosten in kaart worden gebracht met een inschatting van de bandbreedte en informatie of het periodieke of eenmalige kosten zijn. Tegelijk kan worden gekeken of er mogelijke oorzaken met de maatregel in verband kunnen worden gebracht, of deze mogelijke oorzaken geheel of gedeeltelijk kunnen worden weggenomen en welke restrisico's overblijven. Waarna de cyclus zich weer herhaalt met de vraag 'wat is het effect op het te reserveren budget?'.



figuur 3 concept risicoanalyse

Het voorgaande concept is vertaald in onderstaande stappen, zie figuur 4. Deze stappen zijn in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt.



figuur 4 stappen risicoanalyse

De resultaten van deze analyse worden per stap systematisch verzameld en vastgelegd in een risico database.

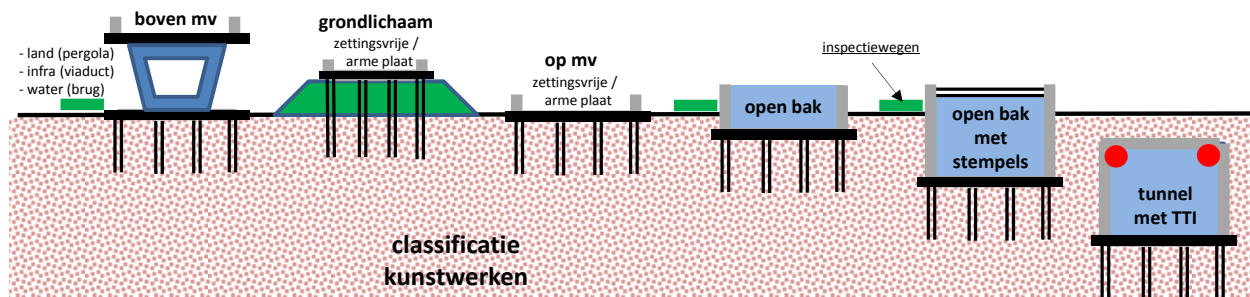
2.4.1 Classificatie kunstwerken

Voor het uitwerken van de beton degeneratie wordt in eerste aanleg een beperkt aantal kunstwerken onderzocht², maar het einddoel is om voor de gehele HSL-Zuid een risicoanalyse te maken. Daartoe is het nodig de kunstwerken en onderdelen van kunstwerken te classificeren. Dit vereenvoudigt de risicoanalyse en maakt het statistisch mogelijk te onderzoeken of er correlaties zijn tussen schadebeelden en (onderdelen) van kunstwerken.

De classificatie van de kunstwerken is in figuur 5 schematisch weergegeven.

Voor verplaatsingen/ zettingen zijn zowel de kunstwerken als de schade mechanismes zo verschillend dat de 3 betrokken kunstwerken elk afzonderlijk worden behandeld.

² In tranche 1 wordt alleen TRN onderzocht en in tranche 2 worden 5 garantie objecten toegevoegd. In tranche 3 worden meer objecten toegevoegd, maar die vallen buiten de scope van de huidige opdracht. In de opzet van de analyse is rekening gehouden met het uitbreiden van het aantal objecten.



figuur 5 schema kunstwerk classificatie

Als voorbeeld bestaat de tunnel Rotterdam Noord (TRN) samengesteld uit 3 verschillende classificaties, (i) open bak, (ii) open bak met stempels en (iii) het gesloten deel (tunnel) met de tunnel technische installaties (TTI). Er kan schade zijn aan de wanden, de stempels, het dek/dak, de Tunnel Technische Installatie (TTI) of aan de omgeving zoals de inspectiepaden etc.

In de risico database zijn de volgende labels opgenomen:

- naam of identificatie van het kunstwerk
- type kunstwerk
- onderdeel van het kunstwerk

Voor de overige objecten geldt dezelfde aanpak.

2.4.2 Inventarisatie schade

Er zijn een aantal lopende onderzoeken van TNO en ProRail naar schadebeelden en eventuele mogelijke oorzaken. Deze onderzoeken zijn nog gaande.

De volgende onderzoeken zijn gaande en waar beschikbaar is aangegeven wat de verwachte datum is waarop de gegevens beschikbaar zullen zijn:

- onderzoek door TNO naar betongeneratie in opdracht van ProRail
- Onderzoek kwaliteit van de betonnen stempels in de TRN, deels in overleg met de aannemer (2016 en eind 2017). Onderdeel van dit werk is een analyse van mogelijke herstelwerkzaamheden.
- De resultaten van de vorige acties zijn input voor het eventueel opzetten van proeftuintjes. Dat zijn methoden om de herstelwerkzaamheden in de praktijk te testen. In de werksessies wordt onderzocht of proeven nodig zijn.
- In de praktijk te testen kap Barendrecht voor zover het de buizen voor de HSL betreft. Dit onderzoek start begin september 2017 in opdracht van ProRail. Afronding is voorzien voor in 2017.
- Grootschalig onderzoek naar geselecteerde objecten van HSL Zuid. De eerste resultaten worden in de eerste helft van jaar van 2018 verwacht.
- Onderzoek door SBR-CURnet in opdracht van ProRail naar de oorzaken van mosgroei. De afronding is rond december 2017 voorzien. Dit onderzoek heeft geen primaire focus voor de risicoanalyse, maar kan secundair inzicht geven op het effect van de voorgestelde maatregelen op mosgroei.

Uit de lopende onderzoeken moet blijken welke onderdelen van de kunstwerken zijn aangetast en wat de mate van aantasting is. De plaats, ernst en omvang van de aantasting zijn van invloed op het risico van het schadebeeld.

De mate van aantasting zal verder worden gestandaardiseerd bij het bestuderen van de onderzoeken. Te denken valt aan de volgende indeling:

- vervuild, geen/geringe oppervlakte schade
- mosgroei, geen/geringe oppervlakte schade
- matig schade: zichtbare scheuren (geen afbreuk aan functionaliteit)
- serieuze schade: beton is geschilderd (functionaliteit kan in gevaar komen als er geen maatregelen worden genomen)
- ernstige oppervlakte schade, de wapening of roestvorming is zichtbaar (functionaliteit in gevaar)

Ook de omvang van de schade is van belang. In de NEN2767 wordt de volgende indeling aangehouden:

Omvangscore	Percentage	Beschrijving
Omvang 1	<2 %	Het gebrek komt <u>incidenteel</u> voor
Omvang 2	2 % tot 10 %	Het gebrek komt <u>plaatselijk</u> voor
Omvang 3	10 % tot 30 %	Het gebrek komt <u>regelmatig</u> voor
Omvang 4	30 % tot 70 %	Het gebrek komt <u>aanzienlijk</u> voor
Omvang 5	≥ 70 %	Het gebrek komt <u>algemeen</u> voor

figuur 6 classificatie schade omvang

In de risico-database zullen de volgende labels worden opgenomen:

- omschrijving van de schade (vervuild, mosgroei, scheuren, afschilvering, wapening zichtbaar etc)
- ernst van aantasting (variërend van geen tot functionaliteit in gevaar in 5 schaalstappen)
- omvang van de aantasting (variërend tussen < 2% en > 70% van het oppervlak in 5 schaalstappen)

2.4.3 Risico classificatie

In de bestaande rapporten voor TRN worden verschillende risico's en maatregelen genoemd. Deze zijn voor de betongeneratie in onderstaande tabel samengevat.

risicogroep	risico	mogelijke gevolg	mogelijke maatregelen
veiligheid	constructieve veiligheid	scheuren	monitoren, schoonmaken, coaten
		aantasting dekking	onderhoud, beton inpakken, reparatie
		betonrot, kans op bezwijken	vervangen, constructief verzwaren
bedrijfsvoering	vergruizen en afbrokkelen beton	losse delen die op trein vallen	inpakken beton
	vergruizen en afbrokkelen beton	Stof in TTI waardoor extra storingen in TTI	inpakken beton betere filters TTI of vaker vervangen
	ARBO veiligheid	gladheid inspectiepaden door gruis	inpakken beton, schoonspuiten paden
imago schade	kortere levensduur	hierdoor meer Buiten Dienst (BD) stellingen a.g.v. extra onderhoud	plannen onderhoud buiten dienstregeling onderdeel eerder vervangen
	State of the art	verlies vertrouwen HSL omzettering	kwaliteit boven geld stellen beperken BD stellingen
	Schoon, geen mos geen graffiti	toename klachten, claims, toename kosten	frequentie onderhoud/schoonmaken vergroten
	Verkeerde interpretatie onderzoeksresultaten	emotie versus ratio	uitvoeren second opinion

figuur 7 risicogroepen

Het is van belang te weten in welke risicogroep een geconstateerde schade zit. Imago schade is hinderlijk en kost geld maar is nog altijd indirect en heeft geen effect op de bedrijfsvoering of veiligheid.

Schade die invloed heeft op de bedrijfsvoering heeft al een hoger risicoprofiel omdat een verstoring op de dienstregeling tot mogelijke claims kan leiden en schade die invloed heeft op veiligheid heeft het grootste risicoprofiel omdat er naast claims ook een grotere kans op ongevallen is.

In de risico-database zullende volgende labels worden opgenomen:

- risicogroep
- omschrijving van het risico

2.4.4 Maatregelen

De aard van de maatregelen is afhankelijk van de ernst en omvang van de schade en het risicoprofiel. Uit de in 2.4.2³ genoemde onderzoeken komen maatregelen naar voren, die in de risicoanalyse verder geconcretiseerd worden. De kosten van de maatregel kunnen worden bepaald evenals de bandbreedte van de onzekerheid van de kosten.

Dan wordt ook inzicht verkregen in de effectiviteit van een maatregel. Als de effectiviteit beperkt is, dan is het rest risico hoger.

In deze paragraaf wordt de classificatie van de maatregelen uitgewerkt.

maatregel	frequentie	betondegeneratie	effectiviteit	kosten
inspectie	niets doen	periodiek opstellen rapportage	gering	gering
monitoren	periodiek	vergelijkbaar vervolg onderzoek doen	gering	gering
schoonmaken	periodiek	verwijderen vuil en begroeiing	beperkt	matig
coaten	periodiek	schoonmaken en waterdicht maken	matig	matig
inpakken	eenmalig	beton inpakken met kunstroof of epoxy	goed	aanzienlijk
reparatie	eenmalig	beton uithakken en gaten vullen	goed	aanzienlijk
versterken	eenmalig	bestaande onderdelen conserveren en constructieve functie op een alternatieve wijze borgen	maximaal	hoog
vervangen	eenmalig	buiten scope	nvt	nvt
reconstructie	eenmalig	buiten scope	nvt	nvt

figuur 8 overzicht maatregelen

In de risico-database zullen de volgende labels worden opgenomen:

- type maatregel
- frequentie
- effectiviteit
- kosten

³ Noodzaak voor het uitvoeren van proeftuintjes is nog niet gebleken, zodat daar nog geen informatie over bekend zal zijn voor dit project

2.4.5 Restrisico's

Nadat een maatregel is benoemd wordt een inschatting van het restrisico gemaakt. De effectiviteit van de maatregel bepaalt de kans van optreden van het restrisico. Is de effectiviteit laag dan is de kans van optreden van het restrisico hoog. Door dit uit te drukken als een % wordt het restrisico berekend.

2.4.6 Risico database

De resultaten genoemd in de hoofdstukken 2.4.1 t/m 2.4.5 worden samengevat in de volgende risico-database:

naam KW	Kunstwerk		schadebeeld			risicogroep	risico	type	maatregel frequentie	effectiviteit	rest risico	
	type KW	onderdeel	omschrijving	ernst	omvang						risico	risico	omschrijving	kans
TRN	boven mv	wand		gering	incidentieel	veiligheid	omschrijving	inspectie	periodiek	hoog	omschrijving	10%
	- boven land	dak/dek		melig	plaatselijk	bedrijfsvoering		monitoren	eenmalig			
	- viaduct	stempel		serius	regelmatig	imago		schoonmaken				
	- brug	pijler		ernstig	aanzienlijk			coaten				
	op mv	landhoofd			algemeen			impakken				
	open bak							reparatie		laag		
	bak/stempel tunnel							versterken				
						reconstrue						

Figuur 9a risico database

De kosten⁴ en onzekerheid van de verschillende maatregelen (eenmalig en periodiek) en restrisico's worden in onderstaand overzicht samengevat.

maatregelkosten per keer				Tbv probabilistische doorrekening (MonteCarlo analyse)										
EenheidsPrijs	eenheid	aantal	totale kosten	eenmalige kosten		rest risico		periodieke kosten						
				kode	kosten in €	onzekerheid	kode	kosten in €	onzekerheid	KstKode	kosten in €	onzekerheid		
€ 200.000	stuks	1	€ 200.000	Loc_004	€ 200.000	-10%/+25%								
€ 400.000	kans	10%	€ 40.000				Loc_005	€ 40.000	+/- 15%					
€ 15.000	monitor	5	€ 75.000							Loc_007	€ 75.000	+/- 25%		
				TOTAAL		€ 200.000	€ 40.000		€ 75.000					

figuur 9b kosten overzicht

In de risico database staan de beide tabellen als volgt naast elkaar:

Risico database											Tbv probabilistische doorrekening (MonteCarlo analyse)													
naam KW	type KW	onderdeel	omschrijving	schadebeeld ernst	omvang	risicogroep	risico	type	maatregel frequentie	effectiviteit	rest risico kans	EenheidsPrijs	eenheid	aantal	totale kosten	code	rest risico kosten in €	onzekerheid	code	rest risico kosten in €	onzekerheid	code	rest risico kosten in €	onzekerheid
TRN	boven mv	wand		gering	incidentieel	veiligheid	omschrijving	inspectie	periodiek	hoog	omschrijving	€ 200.000	stuks	1	€ 200.000	Loc_004	€ 200.000	-10%/+25%	Loc_005	€ 40.000	+/- 15%	Loc_007	€ 75.000	+/- 25%
	- boven land	dak/dek		melig	plaatselijk	bedrijfsvoering		monitoren	eenmalig															
	- viaduct	stempel		serius	regelmatig	imago		schoonmaken																
	- brug	pijler		ernstig	aanzienlijk			coaten																
	op mv	landhoofd			algemeen			impakken																
	open bak							reparatie		laag														
	bak/stempel tunnel							versterken																
						reconstrue																		
											TOTAAL		€ 200.000	€ 40.000		€ 75.000								

figuur 9c model risicodatabase en kostenoverzicht

⁴De kosten (in deze tabel fictieve getallen) zijn 'direct benoemde kosten' volgens de SSK systematiek. Dat wil zeggen de kosten loon, brandstof, materiaal en materieel zonder BTW en zonder opslagen voor uitvoeringskosten, verzekeringen, winst en risico van de uitvoerder en de kosten voor project begeleiding van de opdrachtgever. In de Monte Carlo simulatie worden deze kosten toegevoegd.

Om de bandbreedte van de kosten van de maatregelen (eenmalig en periodiek) en de restrisico's te bepalen wordt gebruik gemaakt van de SSK methodiek⁵. Hierin worden naast de kosten uit de risicoanalyse (gekleurde cellen), ook de opslagen ingevoerd die de opdrachtnemer en opdrachtgever rekenen voor het uitvoeren van de werkzaamheden. Op basis van de ingevoerde onzekerheden van elke maatregel wordt een Monte Carlo simulatie (probabilistische berekening) uitgevoerd om inzicht te krijgen in de bandbreedte van de totale kosten (de variatie coëfficiënt) van de risicoanalyse. De resultaten worden uiteindelijk op de volgende wijze gepresenteerd, waarbij in de tabel fictieve getallen zijn opgenomen.

Samenvatting kostenraming Risico Analyse Verplaatsingen	eenmalige kosten				rest risico's		Totaal
	Directe kosten Benoemd	Directe kosten Nader te detailleren	Indirecte kosten (opdrachtnemer)	Voorziene kosten	Risicoreservering		
Investeringskosten							
Maatregelen (eenmalige kosten)	€ 5.360.000	€ 804.000	€ 1.944.372	€ 8.108.372	€ 1.941.250	€	10.049.622
Engineeringskosten (ON en OG)	€ 324.335	€ -	€ -	€ 324.335	€ 0	€	324.335
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc)	€ 105.409	€ -	€ -	€ 105.409	€ -	€	105.409
Subtotaal investeringskosten	€ 5.789.744	€ 804.000	€ 1.944.372	€ 8.538.116	€ 1.941.250	€	10.479.366
Objectoverstijgende risico's investeringskosten					€ 1.571.905	€	1.571.905
Investeringskosten deterministisch	€ 5.789.744	€ 804.000	€ 1.944.372	€ 8.538.116	€ 3.513.155	€	12.051.271
Scheefte investeringskosten					€ 525.217	€	525.217
Totaal investeringskosten probabilistisch (exclusief BTW)				€ 8.538.116	€ 4.038.372	€	12.576.488
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)	Inclusief			€ 1.770.868	€ 843.628	€	2.614.497
Investeringskosten inclusief BTW				€ 10.308.984	€ 4.882.000	€	15.190.985
Investeringskosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 1 Jaar						€	15.190.985
Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de investeringskosten tussen: (Inclusief BTW)				€ 12.996.903	en	€	17.385.066
Variatiecoëfficiënt					14%		
Periodieke kosten							
Subtotaal periodieke kosten	€ 400.000	€ 40.000	€ 108.856	€ 548.856	€ 27.443	€	576.299
Objectoverstijgende risico's periodieke kosten					€ 57.630	€	57.630
Periodieke kosten deterministisch	€ 400.000	€ 40.000	€ 108.856	€ 548.856	€ 85.073	€	633.929
Scheefte periodieke kosten					€ -	€	-
Periodieke kosten exclusief BTW				€ 548.856	€ 85.073	€	633.929
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)				€ 115.260	€ 17.865	€	133.125
Periodieke kosten inclusief BTW				€ 664.116	€ 102.938	€	767.054
Periodieke kosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar						€	469.796
Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de levensduurkosten tussen: (Inclusief BTW)				€ 627.054	en	€	907.054
Variatiecoëfficiënt					18%		
Projectkosten inclusief BTW				€ 10.973.100	€ 4.984.938	€	15.958.038

figuur 10 samenvatting kostenraming en Monte Carlo simulatie (fictieve getallen voor presentatie Methode)

2.5 Verwerken onderzoeksresultaten

Nadat de onderzoeken zijn opgeleverd kan per object (TRN, de 5 garantieobjecten en verplaatsingen) een inventarisatie van de schade worden gemaakt. De schades worden in kaart gebracht en geclassificeerd zoals hierboven omschreven. De maatregelen worden verder geconcretiseerd, zowel technisch als financieel zodat ook een beeld ontstaat van de restrisico's. Deze resultaten worden opgenomen in de risico database, zie figuur 9 (a,b,c). Dit alles resulteert in een eerste initiële inschatting van de kosten (zie figuur 10).

Deze informatie (schade beelden, maatregelen, restrisico en kosten) zijn input voor de expertmeeting. Voor de verplaatsingen zijn geen expertmeetings voorzien.

⁵ SSK = Standaard Systematiek Kostenramingen. Deze methode is de gebruikelijke rekenmethode om kosten van Infrastructurale werken te ramen.

2.6 Werksessies

Er zijn twee werksessies voorzien met experts.

1^e werksessie, tranche 1

- Toelichten aanpak en methodiek risico analyse
- Resultaten van de TRN onderzoeken afstemmen met deskundigen
- Bespreken maatregelen en bandbreedte (onzekerheid) van de effectiviteit
- Bespreken restrisico's en bandbreedte
- 2^e inschatting kosten + probabilistische doorrekening

In de eerste werksessie dient TRN als pilot om de werkmethode te toetsen. Mogelijk dat als resultaat de methode nog zal worden verfijnd of aangepast. Inhoudelijk zullen ook de schadebeelden van TRN besproken worden evenals de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen en restrisico's.

Deze bevindingen worden meegenomen in de tweede sessie. In de periode tussen sessie 1 en 2 wordt de risicoanalyse van de 5 garantie objecten (tranche 2) uitgevoerd. Dit vormt de input voor de tweede expertsessie.

2^e werksessie, tranche 2

- Terugkoppeling van de 1^e sessie
- Resultaten onderzoek en risicoanalyse van de 5 garantie objecten afstemmen met deskundigen
- Bespreken mogelijke scenario's van maatregelen
- Voorbereiden eindrapportage, samenvatting en conclusies

2.7 Rapportage

De risicoanalyse en de rapportage ontstaan in een dynamisch proces. De rapportage gaat in stappen. De resultaten van TRN hebben een voorlopig karakter. Uitkomsten van nog lopend onderzoek en van de tranches 2 en 3 kunnen nog tot bijstellingen leiden van tranche 1.

A2 Invoer kostenberekeningsmodel en Monte Carlo Simulatie

Bijlage 2: Invoer kostenberekeningsmodel en Monte Carlo Simulatie

1. Inspectie van kunstwerken met stempels

Voorzien was 3-jaarlijkse inspectie van de stempels en geadviseerd is om dat jaarlijks uit te voeren voor alle 13 kunstwerken met stempels

Omdat de inspectie ruim vooraf te plannen is en deels vanaf de bovenzijde kan worden uitgevoerd, wordt uitgegaan van meeliften in een reguliere buitendienststellen tijdens dag uren (mede omdat de kwaliteit van de inspectie bij daglicht beter is)

Kosten per kunstwerk

- | | |
|---|---------------|
| - Voorbereiding (1 dag) V&G, overleg Infrasppeed etc. | €1.000 |
| - 2 inspecteurs/beton deskundige totaal 2 dagen 4x8x€100= | €1.600 |
| - Kosten Infrasppeed incl. veiligheid | €1.200 |
| - Kosten inspectie voertuig 1dgn 1x8x€250 | €2.000 |
| - Rapportage en overleg | <u>€1.500</u> |

Totaal

€6.300 (excl. BTW)

13 kunstwerken 2 keer extra inspecteren per 3 jaar levert jaarlijks:

$$13 * €6.300 * \frac{2}{3} = €54.600 \text{ per jaar}$$

€54.600 per jaar (excl. BTW) voor de gehele levensduur van het project.

2. Reparatie van stempels

In de 13 kunstwerken komen ca 491 stempels voor. Van die stempels komen er in de TRN 145 voor waarvan 38 nu worden gerepareerd op basis van de garantie bepaling door de aannemer.

De kosten voor die stempels bedragen ca per stuk €15.000 volgens de opgave van ProRail. Dit bedrag is gebaseerd op €800.000 bouwkosten, teruggerekend naar directe kosten is bedraagt dit €570.000.

Verdeeld over alle 13 kunstwerken van type 6 zijn er op de gehele HSL 491 stempels. Van die stempels komen er 145 voor in de TRN. Van deze 145 stempels worden er nu (2018) 38 hersteld door de aannemer. Dit betreft 26% van alle stempels aanwezig in de TRN.

Van de overige 107 stempels die niet hersteld worden van de TRN wordt verondersteld dat in de toekomst nog herstelmaatregelen benodigd zijn. Een gelijkwaardig percentage wordt niet verwacht, maar verondersteld wordt 50% van het huidige percentage. Dit betreft 13% (26%*50%) van de overige stempels, waarmee het aantal absoluut 14 bedraagt.

Vanuit het HSL 2e fase onderzoek betonkwaliteit zijn er van de 5 kunstwerken waarbij een verhoogde carbonatatie is aangetroffen er 2 van het type 6, zoals ook beschreven in Tabel 4. Van deze kunstwerken was er één waarbij de verhoogde carbonatatie is waargenomen in het dak, welke karakteristiek vergelijkbaar is met een stempel. Dit betrof de noordelijke toerit BOT. Op de overige kunstwerken zijn er geen verhoogde carbonatatie waarde waargenomen in de onderzochte stempels. Er kan echter niet uitgesloten worden dat dit niet optreedt.

Om die reden wordt verondersteld dat ook het dak nog binnen de gestelde levensduur van de HSL onderhoud nodig heeft. Voor de risicoanalyse is verondersteld dat een degelijke reparatie kan voorkomen bij 10% van de stempels. Dit is ontleend aan het feit dat van de 11 onderzochte kunstwerken in het HSL 2e fase onderzoek er in slechts één kunstwerk een 'stempel' is waargenomen met een verhoogde carbonatatie.

In totaal worden voor $14+17=31$ stempels maatregelen voorzien. Deze zullen niet allemaal tegelijkertijd optreden en zullen ook niet ieder afzonderlijk worden gerepareerd. De verdeling van de behandeling wordt verondersteld plaats te vinden in gelijke delen na respectievelijk 20, 40 en 60 jaar, met een onzekerheid van $-10%/+25%$. Er wordt aangenomen dat na 60 jaar een inschatting gemaakt kan worden van de restlevensduur van alle stempels, waardoor reparatie na 60 jaar niet benodigd is.

3. Vervolg onderzoek aan 12 kunstwerken met een verhoogde carbonatatie diepte.

Per kunstwerken is een uitgebreid onderzoek nodig bestaande uit een inspectie, boringen en lab proeven en een analyse van de resultaten.

Schatting van de Kosten per kunstwerk:

- Voorbereiding, begeleiding, inspectie, rapportage en interpretatie etc.	€10.000
- Boringen	€ 1.000
- Laboratoriumonderzoek	€ 2.000
- Infraspied t.b.v. veiligheid	€ 2.500
Totaal	€15.500

Benodigd:

- na 10 jaar, op basis van 12 kunstwerken $12 * €15.500 = €186.000$
- na 50 jaar nogmaals uitvoeren op de helft (6 stuks) van het aantal kunstwerken. Dus ca €93.000,-

4. Risico van een reparatie van beton met een verhoogde carbonatatie diepte

Hoewel niet voorzien, bestaat de mogelijkheid dat er kunstwerken niet de vereiste levensduur zullen bereiken en herstelwerk nodig is op basis van het vervolgonderzoek naar 12 kunstwerken.

De kans is het grootst dat gezien de thans beschikbare informatie een type 2 of een type 6 constructie moet worden behandeld.

Onbekend is waar in de constructie het probleem zich voordoet en in welke mate. Hiervoor is echter een risicoschatting opgesteld.

Bij een schade aan type 2 kunstwerk is de kans het grootste (op basis van de resultaten van het betononderzoek HSL 2^e fase) dat deze schade zich aan de kolommen zal voordoen. Er wordt aangenomen dat van type 2 er twee kunstwerken grootschalig onderhoud nodig hebben a €1.000.000,- per kunstwerk. Gezien de onbekendheid met de mogelijke schade is voor de kosten een spreiding opgenomen van $-50%/+100%$. De reparaties worden geacht plaats te vinden na 50 jaar (in 2070) als dan opnieuw wordt vastgesteld dat de carbonatatie sneller verloopt dan verwacht in relatie tot de gewenste levensduur van de kunstwerken.

Bij schade aan type 6 is de kans het grootste (op basis van de resultaten van het betononderzoek HSL 2^e fase) dat deze schade zich in de wanden zal voordoen. Er wordt aangenomen dat van type 6 er eenmalig grootschalig onderhoud nodig is a €1.000.000,-.

Voor deze risico benadering is aangehouden om de mogelijke reparaties aan type 6 kunstwerken uit te voeren na het vervolgonderzoek (rond 2030). Dit wijkt af van de verwachtingen dat de eerste decennia geen herstelwerk wordt voorzien vanuit de carbonatatie. De aanname is slechts aangehouden om financiën te alloceren om indien uit het vervolgonderzoek blijkt dat de carbonatatie mogelijk de wapening gaat bereiken voor het einde van de voorziene levensduur, niet te wachten tot herstel werkelijk is vereist maar preventief een ingreep uit te kunnen voeren. De aard van de herstelwerkzaamheden aan de wanden zou het mogelijk kunnen maken dat een preventieve behandeling voordelen biedt om de risico's te beheersen.

Kleine reparaties aan het beton worden geacht uit het reguliere onderhoud te worden betaald. Wel is er nog een budget voor restrisico (€100.000,-) opgenomen, aangezien deze nog wel aanwezig (zie Tabel 4 van de rapportage). Dit restrisico is bedoeld om regulier onderhoud versneld te kunnen uitvoeren. Dit restrisico valt na 10 jaar (rond 2030) voor 3 kunstwerken met een kans van optreden van 25% en valt na 50 jaar (rond 2070) nogmaals voor 2 kunstwerken met een kans van optreden van 50%. De spreiding is in alle gevallen -50%/+100%.

A3 Risicodatabase HSL betondegeneratie

onderdeel	Kunstwerk		maatregel			maatregelkosten per keer				€ in plan			kosten		onzekerheid		rest		onzekerheid													
	type KW	onderdeel	type	frequentie	effectiviteit	EenheidsPrijs	eenheid	aantal	totale kosten	kode	per jaar	periode	onzekerheid	kode	eenmalig	heid	kans	risico	heid	heid												
stempels	type 6 13 kunstwerken	stempels	extra jaarlijkse inspecties (60x) naast de bestaande 3 jaarlijkse inspecties (30x)	jaarlijks	geen	€ 6.300	€/ jaar /KW	780	€ 4.914.000	INSP01 2020-2110	€ 54.600	€ 4.914.000	-10%/+15%	geen onderdeel risicoanalyse					stempels inpakken													
			inpakken van de stempels TRN. 150 x 25% = 38 stempels	eenmalig	goed	€ 15.000	€/ stempel	38	€ -																		geen rest risico					
			inpakken stempels overige KW. 453 x ca 14%* 50% = 31 stempels gedurende de restlevensduur Dwz elke 10 jaar ca 10 stempels	eenmalig	goed	€ 15.000	€/ stempel	31	€ 465.000																				geen rest risico			
verhoogde carbonatatie diepte	type 2 79 kunstwerken	pijlers	nieuw onderzoek na 10 jaar. Vaststellen of de carbonatatie doorzet en in welk tempo. Het risico betreft 10% x 79 KW = 8 KW	eenmalig	geen	€ 15.500	€/ KW	8	€ 124.000	INSP2 2030	€ 124.000	€ 124.000	-10%/+15%	2030T2	€ -	-50%/+100%			pijlers repareren													
			Na 10 jaar mogelijke maatregelen vaststellen	eenmalig	onduidelijk	€ 1.000.000	€/ KW	0	€ -																							
			- oppervlakte reparatie - verstevigen constructie versnellen gepland periodiek onderhoud	eenmalig	onduidelijk	€ 100.000	€/ KW	1	€ 100.000																				RR01	25% € 100.000	-50%/+100%	
			nieuw onderzoek na 50 jaar. Vaststellen of de carbonatatie doorzet en in welk tempo. Het risico betreft 10% x 79 KW = 8 KW	eenmalig	geen	€ 15.500	€/ KW	4	€ 62.000	INSP3 2070	€ 62.000	€ 62.000	-10%/+15%																pijlers repareren			
			Na 50 jaar mogelijke maatregelen vaststellen	eenmalig	onduidelijk	€ 1.000.000	€/ KW	2	€ 2.000.000																							
	type 6 13 kunstwerken	wanden	nieuw onderzoek na 10 jaar. Vaststellen of de carbonatatie doorzet en in welk tempo. Het risico betreft 4 KW, de overige 9 KW zijn goed	eenmalig	geen	€ 15.500	€/ KW	4	€ 62.000	INSP4 2030	€ 62.000	€ 62.000	-10%/+15%	2030T2	€ 1.000.000	-50%/+100%				wanden repareren												
			Na 10 jaar mogelijke maatregelen vaststellen	eenmalig	onduidelijk	€ 1.000.000	€/ KW	1	€ 1.000.000																							
			- oppervlakte reparatie - verstevigen constructie versnellen gepland periodiek onderhoud	eenmalig	onduidelijk	€ 100.000	€/ KW	2	€ 200.000																					RR02	50% € 200.000	-50%/+100%
			nieuw onderzoek na 50 jaar. Vaststellen of de carbonatatie doorzet en in welk tempo. Het risico betreft 3 KW	eenmalig	geen	€ 15.500	€/ KW	2	€ 31.000	INSP5 2070	€ 31.000	€ 31.000	-10%/+15%																	wanden repareren		
			Na 50 jaar mogelijke maatregelen vaststellen	eenmalig	onduidelijk	€ 1.000.000	€/ KW	1	€ 1.000.000																							
			- oppervlakte reparatie - verstevigen constructie versnellen gepland periodiek onderhoud	eenmalig	onduidelijk	€ 100.000	€/ KW	0	€ -											RR04	50% € -	-50%/+100%										
TOTAAL												€ 5.193.000		€ 4.465.000		€ 175.000																

A4 **Berekening kosten conform SSK**

Risico Analyse beton degeneratie

Project

Projectnaam: [HSL Zuid Risicoanalyse](#)
 Deelprojectnaam: [verplaatsingen](#)
 Opdrachtgever: [Min Milieu en Infrastructuur](#)
 Projectmanager: [Jack Sip](#)
 Projectleider: [Ed Antoine](#)

Raming

Opsteller: [Ed Antoine](#)
 Afdeling: [Infrastructuur](#)
 Datum: [22-8-2018](#)
 Status: [Concept](#)

Betrouwbaarheidsinterval LU

[70%](#)

Toetsing

Toetsers ext: [Rob de Boer, Prorail](#)
 Datum: [0-1-1900](#)

Archivering

Nummer kostenrapportage: [Verwijzing naar](#)
 Bestandsnaam raming: [SSK_DHV_805 20160705_HH_DB_02_HSL_RA_v04def_1](#)
 Locatie (map) opgeslagen raming: [C:\Users\nl01236\Documents\Projecten\BF4341 RA HSL z](#)

Paraaf interne toetsers:

Paraaf externe toetsers: [Paraaf](#)
 Paraaf projectleider: [Paraaf](#)
 Paraaf manager: [Paraaf](#)

Paraaf projectleider: [Paraaf](#)
 Paraaf manager: [Paraaf](#)

Modelversie:
[SSK_DHV_801 20160329.xlsm](#)

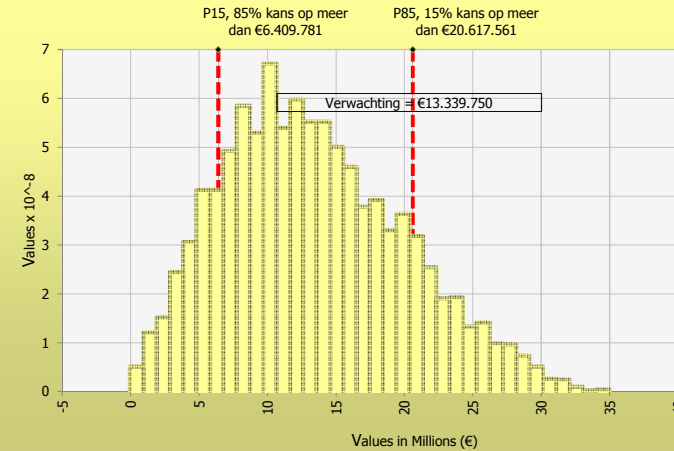
Samenvatting kostenraming		<----- eenmalige kosten ----->			rest risico's		
<i>Risico Analyse beton degeneratie</i>					Voorziene kosten	Risicoreservering	Totaal
	Directe kosten Benoemd	Directe kosten Nader te detailleren	Indirecte kosten (opdrachtnemer)				
Investeringskosten							
Maatregelen (eenmalige kosten)	€ 4.465.000	€ 669.750	€ 1.619.706	€ 6.754.456	€ 175.000	€	6.929.456
Engineeringskosten (ON en OG)	€ 270.178	€ -	€ -	€ 270.178	€ 0	€	270.178
Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc)	€ 87.808	€ -	€ -	€ 87.808	€ -	€	87.808
Subtotaal investeringskosten	€ 4.822.986	€ 669.750	€ 1.619.706	€ 7.112.442	€ 175.000	€	7.287.442
Objectoverstijgende risico's investeringskosten					€ 1.093.116	€	1.093.116
Investeringskosten deterministisch	€ 4.822.986	€ 669.750	€ 1.619.706	€ 7.112.442	€ 1.268.116	€	8.380.558
Scheefte investeringskosten					€ 2.667.132	€	2.667.132
Totaal investeringskosten probabilistisch (exclusief BTW)				€ 7.112.442	€ 3.935.248	€	11.047.690
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)	Inclusief			€ 1.475.173	€ 816.887	€	2.292.061
Investeringskosten inclusief BTW				€ 8.587.615	€ 4.752.136	€	13.339.750
Investeringskosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar						€	2.884.784
<i>Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de investeringskosten tussen: (Inclusief BTW)</i>				€ 6.409.781	en	€	20.617.561
<i>Variatiecoëfficiënt schatting (+/-) bij deterministische benadering</i>					49%		
Periodieke kosten							
Subtotaal periodieke kosten	€ 5.193.000	€ 519.300	€ 1.413.223	€ 7.125.523	€ 356.276	€	7.481.799
Objectoverstijgende risico's periodieke kosten					€ 748.180	€	748.180
Periodieke kosten deterministisch	€ 5.193.000	€ 519.300	€ 1.413.223	€ 7.125.523	€ 1.104.456	€	8.229.979
Scheefte periodieke kosten					€ 293.482	€	293.482
Periodieke kosten exclusief BTW				€ 7.125.523	€ 1.397.938	€	8.523.461
BTW (maar niet over heffingen, leges, e.d.)				€ 1.496.360	€ 293.567	€	1.789.927
Periodieke kosten inclusief BTW				€ 8.621.883	€ 1.691.505	€	10.313.388
Periodieke kosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar						€	2.080.529
<i>Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de levensduurkosten tussen: (Inclusief BTW)</i>				€ 9.084.941	en	€	11.610.468
<i>Variatiecoëfficiënt</i>					11%		
Projectkosten inclusief BTW				€ 17.209.498	€ 6.443.641	€	23.653.138
Projectkosten inclusief BTW (contante waarde), discontovoet van 5,5% en looptijd van 100 Jaar						€	4.965.313

Probabilistische resultaten investeringskosten

inklappen

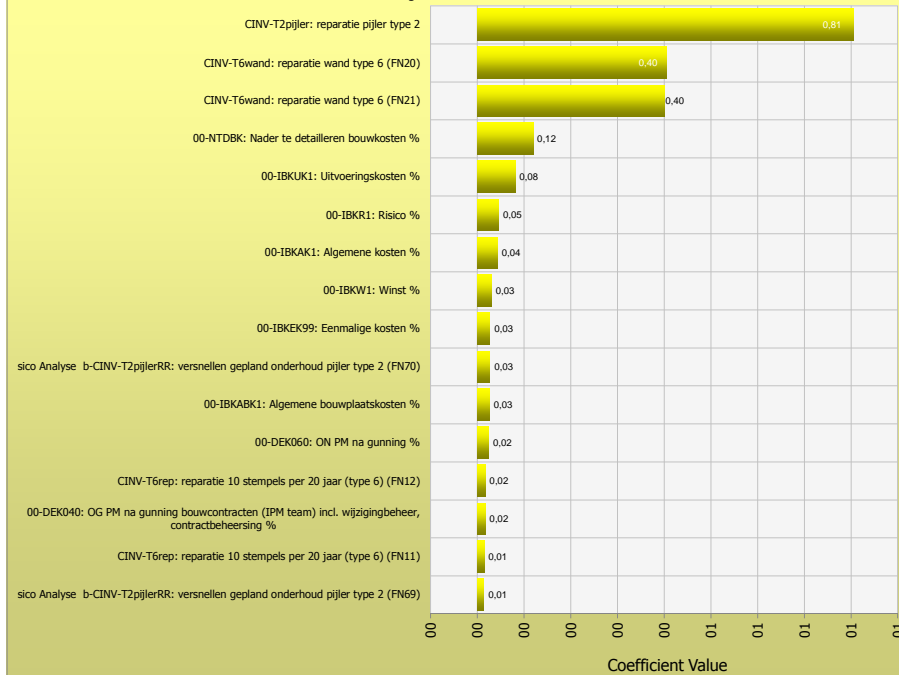
Resultaten Probabilistische Raming (incl. BTW)	Afhankelijke berekening
Subtotaal investeringskosten	€ 8.799.365
Objectoverstijgende risico's investeringskosten	€ 1.319.905
Probabilistische investeringskosten = gemiddelde (Mu_waarde, μ)	€ 13.339.750
Variatiecoëfficiënt investeringskosten (σ / μ * 100%)	49%
Standaardafwijking investeringskosten (σ)	€ 6.569.229
P100, maximum waarde (investeringskosten met 0% kans op overschrijding)	€ 35.005.300
P1 (investeringskosten met 99% kans op overschrijding)	€ 1.543.073
P5 (investeringskosten met 95% kans op overschrijding)	€ 3.646.243
P10 (investeringskosten met 90% kans op overschrijding)	€ 5.196.332
P15 (investeringskosten met 85% kans op overschrijding)	€ 6.409.781
P50 (investeringskosten met 50% kans op overschrijding) = mediaan	€ 12.621.121
P85 (investeringskosten met 15% kans op overschrijding)	€ 20.617.561
P90 (investeringskosten met 10% kans op overschrijding)	€ 22.408.330
P95 (investeringskosten met 5% kans op overschrijding)	€ 25.467.704
P99 (investeringskosten met 1% kans op overschrijding)	€ 29.596.054
Scheefte investeringskosten (exclusief BTW)	€ 2.667.132

Histogram investeringskosten => Afhankelijke berekening (incl. BTW)



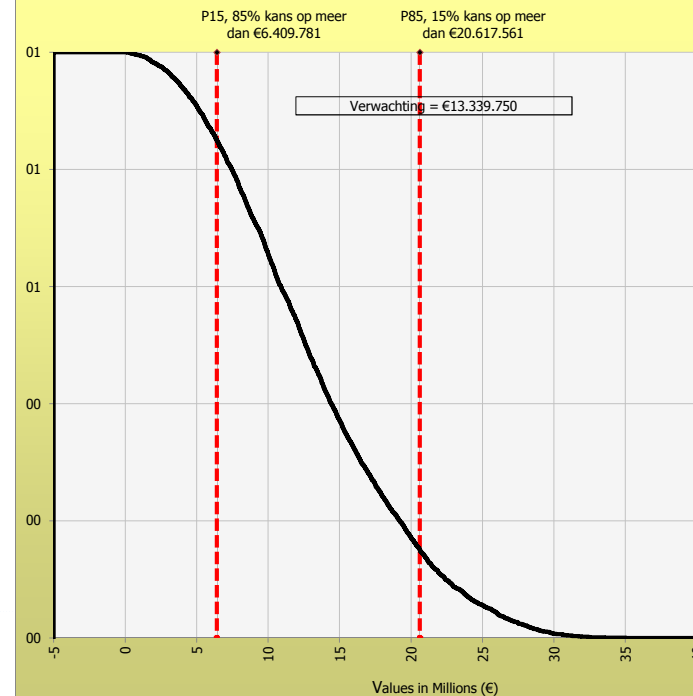
Abbeelding 1. Histogram van de investeringskosten

INV_Hvd*Prijs_Ind
Regression Coefficients



Abbeelding 2. Risicobijdragen investeringskosten

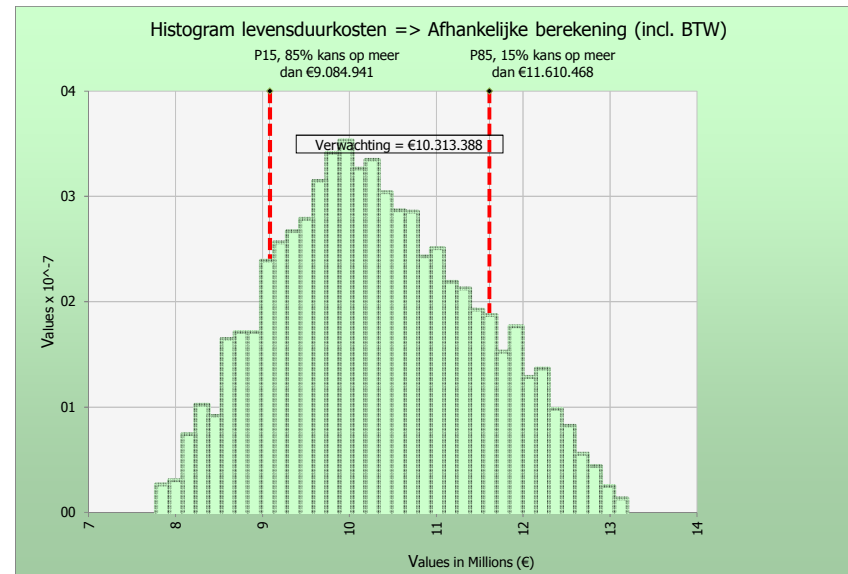
S-curve van de investeringskosten => Afhankelijke berekening (incl. BTW)



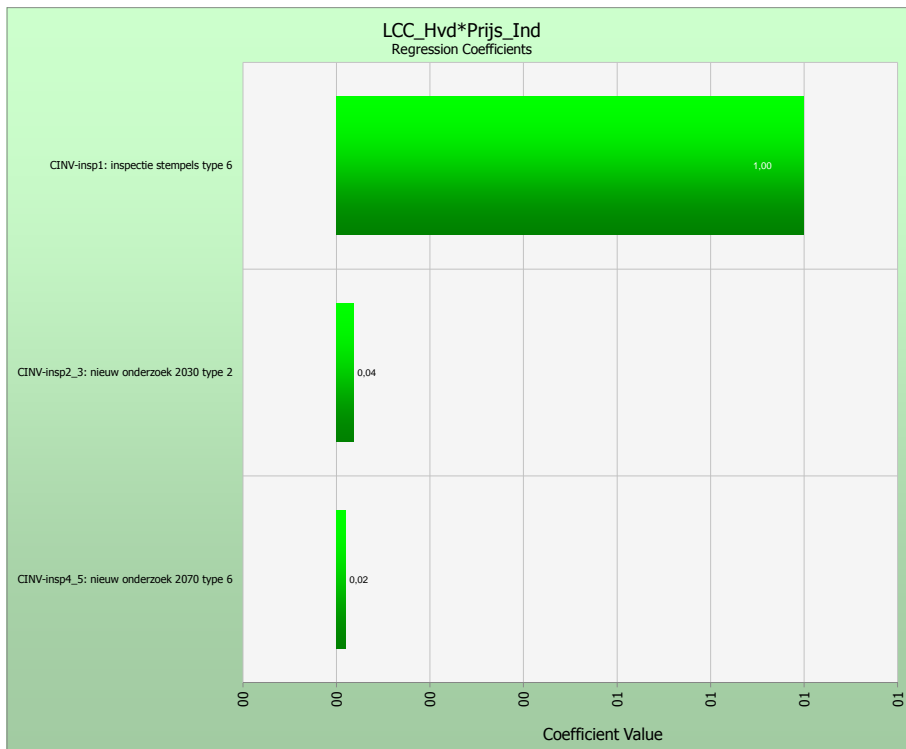
Abbeelding 3. Kansverdelingsfunctie van de investeringskosten

Probabilistische resultaten levensduurkosten

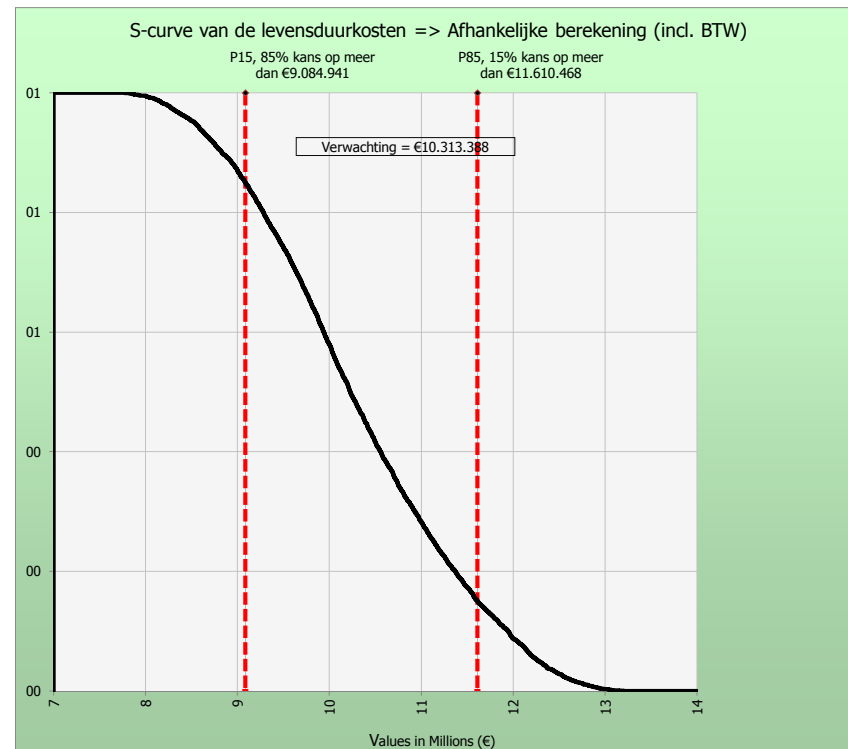
Resultaten Probabilistische Raming (incl. BTW)	Afhankelijke berekening
Subtotaal periodieke kosten	€ 9.052.977
Objectoverstijgende risicoreservering levensduurkosten	€ 905.298
Deterministische levensduurkosten = modus (T_waarde)	€ 9.958.275
Scheefte periodieke kosten	€ 355.113
Probabilistische levensduurkosten = gemiddelde (Mu_waarde, μ)	€ 10.313.388
Variatiecoëfficiënt levensduurkosten (σ / μ * 100%)	11%
Standaardafwijking levensduurkosten (σ)	€ 1.137.858
P0, minimum waarde (levensduurkosten met 100% kans op overschrijding)	€ 7.776.228
P100, maximum waarde (levensduurkosten met 0% kans op overschrijding)	€ 13.198.562
P1 (levensduurkosten met 99% kans op overschrijding)	€ 8.098.610
P5 (levensduurkosten met 95% kans op overschrijding)	€ 8.533.966
P10 (levensduurkosten met 90% kans op overschrijding)	€ 8.832.239
P15 (levensduurkosten met 85% kans op overschrijding)	€ 9.084.941
P50 (levensduurkosten met 50% kans op overschrijding) = mediaan	€ 10.227.369
P85 (levensduurkosten met 15% kans op overschrijding)	€ 11.610.468
P90 (levensduurkosten met 10% kans op overschrijding)	€ 11.945.399
P95 (levensduurkosten met 5% kans op overschrijding)	€ 12.268.858
P99 (levensduurkosten met 1% kans op overschrijding)	€ 12.799.671
Scheefte levensduurkosten (exclusief BTW)	€ 293.482



Abbeelding 4. Histogram van de levensduurkosten



Abbeelding 5. Risicobijdragen levensduurkosten



Abbeelding 6. Kansverdelingsfunctie van de levensduurkosten

Actief? Risico Analyse beton degeneratie		VARIANT 1				Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %	
Code	Omschrijving post	Hvd	Ehd	Prijs			L (%)	U (%)	L (%)	U (%)
Maatregelen (eenmalige kosten)										
CINV-T6rep	reparatie 10 stempels per 20 jaar (type 6)	10,00	stempel	€ 15.000,00	€	150.000,00	0%	0%	10%	25%
CINV-T6rep	reparatie 10 stempels per 20 jaar (type 6)	10,00	stempel	€ 15.000,00	€	150.000,00	0%	0%	10%	25%
CINV-T6rep	reparatie 10 stempels per 20 jaar (type 6)	11,00	stempel	€ 15.000,00	€	165.000,00	0%	0%	10%	25%
leeg	.....	0,00	-	€ -	€	-	0%	0%	0%	0%
object pijlers type 2										
CINV-T2pijler	reparatie pijler type 2	0,00	pijler	€ 1.000.000,00	€	0,00	0%	0%	50%	100%
CINV-T2pijler	reparatie pijler type 2	2,00	pijler	€ 1.000.000,00	€	2.000.000,00	0%	0%	50%	100%
leeg	.....	0,00	-	€ -	€	-	0%	0%	0%	0%
CINV-T6wand	reparatie wand type 6	1,00	wand	€ 1.000.000,00	€	1.000.000,00	0%	0%	50%	100%
CINV-T6wand	reparatie wand type 6	1,00	wand	€ 1.000.000,00	€	1.000.000,00	0%	0%	50%	100%
leeg	.....	0,00	-	€ -	€	-	0%	0%	0%	0%
00-BDBK	Benoemde directe bouwkosten				€	4.465.000,00				
00-NTDBK	Nader te detailleren bouwkosten %	15%	%	€ 4.465.000,00	€	669.75000	30%	30%		
00-DBK	Directe bouwkosten				€	5.134.750,00				
00-IBKEK99	Eenmalige kosten %	2,0%	%	€ 5.134.750,00	€	102.69500	50%	50%		
00-IBKEK	Totaal eenmalige kosten			€		102.695,00				
00-IBKABK1	Algemene bouwplaatskosten %	2,0%	%	€ 5.134.750,00	€	102.69500	50%	50%		
00-IBKUK1	Uitvoeringskosten %	12,0%	%	€ 5.134.750,00	€	616.17000	30%	20%		
00-IBKAK1	Algemene kosten %	8,0%	%	€ 5.956.310,00	€	476.50480	25%	10%		
00-IBKW1	Winst %	2,0%	%	€ 6.432.814,80	€	128.65630	50%	50%		
00-IBKR1	Risico %	3,0%	%	€ 6.432.814,80	€	192.98444	50%	50%		
00-IBKB1	Bijdrage RAW %	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€	-	0%	0%		
00-IBKB2	Bijdrage FCO %	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€	-	0%	0%		
00-IBK	Indirecte bouwkosten			31,5% t.o.v. dir.bouwkost	€	1.619.705,54				
00-VBK	Voorziene bouwkosten				€	6.754.455,54				
object	Stempels type 6				€	-				

Actief?	Risico Analyse beton degeneratie		VARIANT 1		Totaal	Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %			
Code	Omschrijving post	Hvd	Ehd	Prijs		L (%)	U (%)	L (%)	U (%)		
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
object	pijlers type 2			€	150.000						
CINV-T2pijlerR	versnellen gepland onderhoud pijler type 2	25,0%	pijler	€	200.000,00	€	50.000,00	0%	0%	50%	100%
CINV-T2pijlerR	versnellen gepland onderhoud pijler type 2	50,0%	pijler	€	200.000,00	€	100.000,00	0%	0%	50%	100%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
object	wanden type 6			€	25.000						
CINV-T6wandR	versnellen gepland onderhoud type 6	25,0%	wand	€	100.000,00	€	25.000,00	0%	0%	50%	100%
CINV-T6wandR	versnellen gepland onderhoud type 6	50,0%	wand	€	-	€	-	0%	0%	50%	100%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€	-	€	-	0%	0%	0%	0%
00-NBORBK	Niet benoemd objectrisico bouwkosten %	0,0%	%	€	6.754.455,54	€	0,00	50%	50%		
00-RBK	Rest Risico's maatregelen					€	175.000,00				
					2,6% t.o.v. voorz. bouwkost						
00-BK	Maatregelen (eenmalige kosten) Risico Analyse beton degeneratie					€	6.929.455,54				

OG/ON Engineering

00-DEK040	OG PM na gunning bouwcontracten (IPM team) incl. wijzigingbeheer, contractbeheersing %	2,0%	%	€	6.754.455,54	€	135.08911	25%	25%		
00-DEK060	ON PM na gunning %	2,0%	%	€	6.754.455,54	€	135.08911	50%	25%		

00-EK	Engineeringkosten (ON en OG) Risico Analyse beton degeneratie					€	270.178,22				
					3,9% tov directe bouwkosten						

Overige bijkomende kosten

00-DOBK010	Leges&heffingen voortvloeiend uit vergun.aanvragen aannemer %	1,0%	%	€	6.754.455,54	€	67.54456	50%	25%		
00-DOBK015	Verzekeringspremie (CAR, ontwerp, aansprakelijk, e.d) aannemer %	0,3%	%	€	6.754.455,54	€	20.26337	30%	30%		
00-DOBK020	Kosten kabels & leidingen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	6.754.455,54	€	-	0%	0%		
00-DOBK025	Communicatiekosten niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	6.754.455,54	€	-	0%	0%		
00-DOBK030	Compenserende maatregelen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€	6.754.455,54	€	-	0%	0%		

Actief? Risico Analyse beton degeneratie		VARIANT 1		Totaal		Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %	
Code	Omschrijving post	Hvd	Ehd	Prijs		L (%)	U (%)	L (%)	U (%)
00-DOBK035	Mitigerende maatregelen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€ -	0%	0%		
00-DOBK040	Ruimen niet gesprongen explosieven niet via D&C-contract %	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€ -	0%	0%		
00-DOBK045	Archeologische opgravingen niet via D&C-contract %	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€ -	0%	0%		
00-DOBK050	Planschade %	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€ -	0%	0%		
Leeg	.....	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€ -	0%	0%		
Leeg	.....	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€ -	0%	0%		
Leeg	.....	0,0%	%	€ 6.754.455,54	€ -	0%	0%		
00-BDOBK	Benoemde directe overige bijkomende kosten				€ 87.807,92				
00-NTDOBK	Nader te detailleren overige bijkomende kosten %	0,0%	%	€ 87.807,92	€ -	0%	0%		
00-DOBK	Directe overige bijkomende kosten				€ 87.807,92				
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0%	0%
Leeg	.....	-	-	€ -	€ -	0%	0%	0%	0%
00-IOBKEK	Eenmalige kosten %	0,0%	%	€ 87.807,92	€ -	0%	0%		
00-IOBKAK	Algemene kosten %	0,0%	%	€ 87.807,92	€ -	0%	0%		
00-IOBKW	Winst %	0,0%	%	€ 87.807,92	€ -	0%	0%		
00-IOBKR	Risico %	0,0%	%	€ 87.807,92	€ -	0%	0%		
00-IOBK	Indirecte overige bijkomende kosten	0,0% t.o.v. dir. overige bijk.kost			€ -				
00-VOBK	Voorziene overige bijkomende kosten				€ 87.807,92				
HideMe	Do not put anything on this horizontal line								
Leeg	.....	0,0%	k*g	€ -	€ -			0%	0%
Leeg	.....	0,0%	k*g	€ -	€ -			0%	0%
Leeg	.....	0,0%	k*g	€ -	€ -			0%	0%
00-NBOROBK	Niet benoemd objectrisico overige bijkomende kosten %	0,0%	%	€ 87.807,92	€ -	0%	0%		
00-OBK	Overige bijkomende kosten (verzekeringen etc) Risico Analyse beton degeneratie	1,3%	toV directe bouwkosten		€ 87.807,92				

<input checked="" type="checkbox"/> Actief?		Risico Analyse beton degeneratie			Totaal		Spreiding hvd %		Spreiding prijzen %	
Code	Omschrijving post	VARIANT 1		Prijs		L (%)	U (%)	L (%)	U (%)	
		Hvd	Ehd							
00-INV	Investeringskosten Risico Analyse beton degeneratie			€	7.287.441,68	Ingevul d	Ingevul d	Ingevul d	Ingevul d	
	Investeringskosten Risico Analyse beton degeneratie (gekapitaliseerd)			€	241.314,72					