



Afstudeerrapport

STRATEGISCHE OPLOSSINGEN IN HET KADER VAN DE VERVANGING EN RENOVATIE OPGAVE VAN BRUGGEN EN VIADUCTEN

Auteurs/Studenten:	Dhr. W. W. Jonker en Dhr. R. Imming
Studentnummers:	1091918 en 1090714
Onderwijsinstelling:	Hogeschool Windesheim te Zwolle
Opleiding:	Civiele Techniek
Stage:	Afstudeeronderzoek
Bedrijf:	Rijkswaterstaat
Afdeling:	GPO, Bruggen en Viaducten
Plaats:	Utrecht

Datum: 25 juni 2019

Schoolbegeleiders:	Dhr. E.R. Grendelman en Dhr. P. Bosman
Bedrijfsbegeleiders:	Dhr. D.G. Schaafsma en Dhr. J. van de Boon

Colofon

Titel: Strategische oplossingen in het kader van de vervanging en renovatie opgave van bruggen en viaducten.

Document: Afstudeerrapport
Versie: HBO-kennisbankversie 1.0
Datum: 25-06-19

Student/auteur: Dhr. W. W. Jonker
Studentnummer: 1091918
Student/auteur: Dhr. R. Imming
Studentnummer: 1090714

Hogeschool: Windesheim
Opleiding: Civiele Techniek
Adres: Campus 2
8017 CA Zwolle
Postbus 10090:
8000 GB Zwolle
Telefoon: 088 - 469 99 11

Schoolbegeleider: Dhr. ir. E. R. Grendelman
Schoolbegeleider: Dhr. ir. P. Bosman

Bedrijf: Rijkswaterstaat
Adres: Griffioenlaan 2
3526 LA Utrecht
Postbus 2232
3500 GE Utrecht
Telefoon: 088 - 797 11 11

Bedrijfsbegeleider: Dhr. ir. D.G. Schaafsma
Bedrijfsbegeleider: Dhr. ir. J. de Boon

LET OP!

Dit document betreft een afstudeerrapport geschreven door twee studenten van hogeschool Windesheim te Zwolle in opdracht voor Rijkswaterstaat afdeling bruggen en viaducten.

De inhoud van alle pagina's die zijn gepubliceerd zijn uitsluitend de verantwoordelijkheid van de auteurs (studenten). Uitspraken en meningen die worden geuit zijn strikt die van de auteurs en niet van Rijkswaterstaat.

In het onderzoek is gestreefd naar zo actueel mogelijke informatie. Mocht ondanks deze inspanningen de informatie in het afstudeerrapport onvolledig en of onjuist zijn, dan kunnen wij daarvoor geen aansprakelijkheid aanvaarden.

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport met als onderwerp ‘Strategische oplossingen in het kader van de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten’. Het onderzoek dat is uitgevoerd heeft zich niet specifiek op één brug of viaduct gericht, maar heeft betrekking op alle bruggen en viaducten in het areaal van Rijkswaterstaat. De reden hiervoor is dat keuzes die gemaakt worden voor één brug of viaduct de beste keuze kan zijn voor dat individuele object. Echter kan deze keuze minder gunstig zijn of zelfs nadelige gevolgen hebben wanneer alle bruggen en viaducten worden beschouwd. Dit afstudeerrapport is geschreven in het kader van ons afstuderen aan de opleiding Civiele Techniek aan Hogeschool Windesheim te Zwolle. De afstudeeropdracht is versterkt door Rijkswaterstaat, Grote Projecten en Onderhoud afdeling Bruggen en Viaducten. Van januari 2019 tot en met juni 2019 zijn wij bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van het afstudeerrapport.

In overleg met onze afstudeerbegeleiders Reginald Grendelman, Dick Schaafsma en Johan de Boon hebben wij de onderzoeksvraag van dit afstudeeronderzoek vastgesteld. Onze interesse voor het onderwerp is ontstaan doordat het een actueel probleem is en speelt binnen de gehele civieltechnische sector. Specifiek zijn wij geïnteresseerd in de strategische aanpak van Rijkswaterstaat, omdat zij beheerder zijn van het Hoofdwegennetwerk in Nederland.

Bij het schrijven van het afstudeerrapport is in een aantal hoofdstukken de onderzoeksvraag beantwoord. De oplossingen zijn gevormd door literatuur te raadplegen, maar ook door ideeën uit te wisselen met medewerkers. Om tot een strategie te komen is er overleg geweest met medewerkers van de afdeling Bruggen en Viaducten en assetmanagers uit de regio. Daarnaast hebben we contact gehad met bedrijven die met een soortgelijke vervangingsopgave te maken gehad hebben.

Bij deze willen wij onze begeleiders bedanken voor de begeleiding en ondersteuning tijdens het onderzoekstraject. Ook willen wij de medewerkers van Rijkswaterstaat en de contactpersonen van de bedrijven waar wij onze informatie hebben opgedaan bedanken voor de input die zij geleverd hebben voor ons onderzoek.

Ons afstudeeronderzoek hebben we afgerond met een presentatie en verdediging op hogeschool Windesheim te Zwolle op 13 juni 2019. Voor het onderzoek hebben wij een beoordeling van een 8.0 ontvangen. Na het succesvol afronden van onze HBO-opleiding start Wilco met zijn master aan de Universiteit van Twente en Roy aan de TU in Delft. Mocht u na het lezen van het afstudeerrapport vragen hebben dan kunt u contact met ons openen via LinkedIn: [Wilco Jonker](#) en [Roy Imming](#).

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Wilco Jonker & Roy Imming

Utrecht, juni 2019

Samenvatting

Rijkswaterstaat is als beheerder verantwoordelijk voor het in staat houden van het Rijkswegennetwerk, met bijbehorende bruggen en viaducten in Nederland. Om een constructief veilig, betrouwbaar en beschikbaar netwerk te houden zijn er regelmatig ingrepen nodig middels onderhoud, renovatie en vervanging. Deze ingrepen zijn nodig omdat de bruggen en viaducten in het netwerk verouderen door degradatie van beton of staal en de toename van het verkeer. Daarnaast gaat deze veroudering nog eens sneller doordat de belastingen hoger zijn dan waar destijds op ontworpen is.

Het komt steeds vaker voor dat delen van het netwerk het einde van de technische levensduur bereiken en toe zijn aan vervanging of renovatie. Op korte termijn komt Rijkswaterstaat voor de grootste vervangingsopgave uit de geschiedenis te staan. Dit heeft voornamelijk te maken met de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog. De bruggen en viaducten zijn in een relatief korte periode (tussen 1960 en 1980) gebouwd en bereiken na gemiddeld 80 jaar het einde van de technische levensduur. Dat betekent dat deze bruggen en viaducten tussen 2040 en 2060 het einde van de technische levensduur bereiken. Deze grote vervangingsopgave die wordt verwacht, wordt de Vervanging en Renovatie opgave genoemd. Om een blijvend hoge kwaliteit van het netwerk te garanderen moet er op grootschalige wijze worden ingegrepen. Tegelijkertijd moet de functie van het netwerk behouden blijven, vaak nog met hogere eisen aan beschikbaarheid en betrouwbaarheid. Deze grote opgave van bruggen en viaducten in een korte periode heeft nadelige effecten voor de aspecten: capaciteit, kosten, circulariteit, tijd en hinder.

Om een gelijkmatige spreiding in vervanging en renovatie te kunnen realiseren is een andere strategie nodig. Momenteel wordt iedere brug of viaduct als individueel object beschouwd en worden de belangen van andere bruggen en viaducten achterwege gelaten bij het maken van de keuze tussen vervanging of renovatie. In de regel worden bruggen en viaducten vervangen voor 100 jaar. Dit is een oplossing die hoge kosten met zich mee brengt. Een individuele LCC-beschouwing geeft aan dat renoveren voor 30 jaar gewenst is. Deze oplossing is wat betreft kosten gunstiger. Wanneer het hele areaal wordt beschouwd en op basis hiervan keuze worden gemaakt, kan er voorkomen worden dat alle bruggen en viaducten in dezelfde periode toe zijn aan vervanging of renovatie. Daarnaast zijn de keuzes die nu worden gemaakt van invloed op de Vervanging en Renovatie opgave in de toekomst. Er moet worden voorkomen dat door huidige renovaties nog meer bruggen en viaducten toe zijn aan vervanging of renovatie tussen 2040 en 2060.

In dit onderzoek wordt een nieuwe strategie opgesteld waarin alle bruggen en viaducten als een geheel worden beschouwd. In deze nieuwe strategie is naast het vervangen voor 100 jaar en renoveren voor 30 jaar onderzocht wat het betekent als bruggen en viaducten voor 60 jaar worden gerenoveerd. Dit om meer spreiding aan te brengen in de Vervanging en Renovatie opgave. In de casestudy is deze mogelijkheid voor het versterken van 60 jaar doorgerekend op één object om te toetsen of deze mogelijkheid voldoet en haalbaar is. (bron: Straatman, M., 2018) (bron: Klatter, L., Roebbers, H., Van den Hark, M., 2017)

Abstract

The Ministry of Infrastructure and Water Management (Rijkswaterstaat) is responsible for the maintenance of their national road network and bridges in the Netherlands. To secure a constructively safe, reliable and available network, regular interventions are required through maintenance, renovation and replacement. These interventions are needed because bridges in the network become obsolete due to the decrease in the capacity of concrete or steel and the increase of traffic. In addition, this aging process is even going faster because of the increase of live loads on the objects. Many bridges were not designed to withstand those loads.

In the near future it will be more common for parts of the network to reach their technical lifespan and renovation or replacements will be needed. In the short term, Rijkswaterstaat will be facing the largest Replacement and Renovation task in history. This is mainly due to the reconstruction after the Second World War. The bridges were built in a relatively short period (between 1960 and 1980) and reach the end of their technical lifespan after an average of 80 years. This means that these bridges will reach the end of their technical lifespan between 2040 and 2060. This expected problem is called the Replacement and Renovation task. To guarantee a consistently high-quality network, major actions must be taken. At the same time, the function of the network must be retained, often with higher demands on availability and reliability. All these projects in a short period have negative effects on capacity, cost, circularity, time and nuisance.

A different strategy is needed to get an even spread in replacement and renovation projects. Currently, each bridge is considered as an individual object. All other bridges in the country are left out when making the choice between replacement or renovation. Normally bridges are replaced for 100 years. This is a solution that entails high costs. An individual LCC-assessment indicates that renovation for 30 years is desirable. This solution is more cost-effective. When the total bulk of bridges are considered and a decision is made based on that, it can be prevented that all bridges need replacement or renovation in the same period. In addition, the decisions that are made right now have an impact on the Replacement and Renovation task in the future. It must be prevented that even more bridges are due for replacement or renovation between 2040 and 2060.

In this thesis, a new strategy is drawn up in which all bridges are considered as a bulk. In addition to replacing for 100 years and renovating for 30 years, this new strategy includes an alternative option for strengthening bridges for 60 years. This new strategy also includes an alternative option for strengthening bridges for 60 years. This to bring more spread to the Replacement and Renovation task. In the case study a calculation is made for an option to strengthen a bridge for 60 years to conclude if this option is sufficient and feasible. (Reference: Straatman, M., 2018) (Reference: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

Begrippenlijst

Beheer: Het gepland en financieel verantwoord treffen van maatregelen en activiteiten waarmee de functie beschikbaar blijft. Sommige maatregelen kunnen ook levensduurverleggend zijn.

Beweegbare brug: Brug met een beweegbaar dek.

Einde (technische) levensduur: Einde (technische) levensduur wordt bereikt als er zulke ernstige bouwkundige gebreken zijn of zulke functionele beperkingen dat het beoogde, normale gebruik niet meer verantwoord is. Ingrijpen is dan noodzakelijk. Einde van de economische levensduur kan worden bereikt door (te) hoge onderhoudskosten of gebruikseisen. Einde levensduur kan ook aan de orde zijn bij gewijzigde wet- en regelgeving.

Kunstwerk: Civiel-bouwkundige constructie, niet bestemd voor bewoning. Wordt gebruikt voor een civieltechnisch werk of installatie rond de natte en/of droge infrastructuur dat één of meer functies vervult.

Life Cycle Costing: Een methode om de kosten van een (deel)object over haar gehele levenscyclus vast te stellen en te optimaliseren door middel van het vergelijken van alternatieven die financieel zijn onderbouwd. Iedere investeringsbeslissing kan met behulp van een LCC-analyse worden geoptimaliseerd. Een LCC-analyse geeft een financieel beeld van een object gedurende de gehele levensduur. Hierbij wordt gekeken naar investeringskosten, beheer- en onderhoudskosten en sloopkosten. In een LCC-analyse worden niet alleen de kosten van de investering meegenomen, maar tevens de kosten van instandhouding en soms ook voor onderhoud, vervanging en sloop. In de regel geeft een LCC-beschouwing aan dat een renovatie voor een restlevensduur van 30 jaar optimaal is.

Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport: Overzicht van alle ruimtelijke projecten en programma's waar de Rijksoverheid samen met provincies en gemeentes aan werkt. Het MIRT Overzicht (voorheen Mirt Projectenboek) verschijnt sinds 2007 jaarlijks op Prinsjesdag. Het wordt dan aangeboden aan de Tweede Kamer als bijlage bij de begroting van het Infrastructuurfonds.

Naderend einde levensduur: Periode tussen de vaststelling en het definitieve einde van de levensduur.

Projectendruk: Een of meerdere projecten die met te weinig mensen en middelen in te weinig tijd uitgevoerd moeten worden.

Regulier onderhoud: Omvat alle maatregelen die voorzien zijn bij ingebruikname van de infrastructuur om de functie gedurende de beoogde gebruiksduur te vervullen. Bruggen en viaducten worden over het algemeen aangelegd met een beoogde gebruiksduur van 100 jaar, op basis van de dan beschikbare kennis en volgens de op dat moment geldende normen, richtlijnen, wet- en regelgeving en het dan voorziene gebruik.

Renovatie: Als regulier onderhoud grootschalig en/of frequent wordt (hinder en/of kosten) kan worden gekozen voor aanpassing van de bestaande infrastructuur (in mindere mate vervanging; ook wel levensduurverlengend groot onderhoud genoemd). Er wordt bewust gekozen voor aanpassing op eisen op langere termijn met meestal een aantal jaar levensduurverlenging ten opzichte van de oorspronkelijke beoogde gebruiksduur. Renovatie kan ook een keuze zijn als er nog lang geen sprake is van einde levensduur. Renovatie gebeurt meestal om een levensduurverlenging van 30 jaar te realiseren.

Vaste brug: Kunstwerken in wegen indien deze wegen niet gelijkvloers kunnen of mogen kruisen met andere wegen, spoor- of waterwegen. Vaste brug die een weg over een watergang laat kruisen wordt een brug genoemd.

Vervanging: Investerings die meestal bij het einde van de levensduur worden gedaan om de infrastructuur ook in de toekomst blijvend te laten voldoen aan de nieuwe gebruiksintensiteiten en nieuwe wet- en regelgeving. Vervanging van gehele bruggen en viaducten gebeurt voor een levensduur van 100 jaar.

Viaduct: Kunstwerk over een weg, spoorweg of terreinverdieping/vaste brug die wegen laat kruisen.

Wederopbouw: De Tweede Wereldoorlog vond plaats in de periode 1940-1945, na deze periode vond de wederopbouw plaats. Dit was in de jaren 50 (1950-1959), 60 (1960-1969) en 70 (1970-1979).

Afkortingenlijst en Symbolenlijst

Afkorting	Betekenis	Afkorting	Betekenis
B&V	Afdeling Bruggen en Viaducten	PPO	Programma's, Projecten en Onderhoud
BenO	Beheer en Onderhoud	PRA	Prestatie gestuurde Risico Analyse
CC	Consequence Class	RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
CO ₂	Koolstofdioxide	RAMSSHEEP	Reliability, Availability, Maintainability, Safety, Security, Health, Environment, Economics, Politics
DISK	Data Informatie Systeem Kunstwerken	RBK	Richtlijn Beoordeling Kunstwerken
GPO	Grote Projecten en Onderhoud	ROA	Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen
GVK	Glasvezel Versterkt Kunststof	ROK	Richtlijn Ontwerp Kunstwerken
HSB	Hogesterktebeton	RWS	Rijkswaterstaat
HVWN	Hoofdvaarwegennet	T&N	Afdeling Tunnels en Natte kunstwerken
HWN	Hoofdwegennet	u.c.	Unity Check
HWS	Hoofdwatersysteem	VenR	Vervanging en Renovatie
IenW	Infrastructuur en Waterstaat	VONK	Vervangingsopgave Natte Kunstwerken
LCC	Life Cycle Costs	z.d.	Zonder datum
MIRT	Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport		

(bron: Rijkswaterstaat, 2019)

Symbolen	Eenheden	Betekenis
Q	kN/m	Gelijkmatige belasting
A _b	m ²	Oppervlakte prefab ZIP-ligger
B _{ligger}	m	Breedte prefab ZIP-ligger
T	m	Dikte betreffende druklaag (VVK/beton/asfalt)
Q ₁	kN/m	Verkeersbelasting
Y _{beton}	kN/m ³	Massa gewapend beton
Y _{asfalt}	kN/m ³	Massa asfalt
Y _{vvk}	kN/m ³	Massa VVK dek
L _{veld}	m	Maximale overspanning
M	kNm	Moment
M _{max}	kNm	Maximaal optredend moment
V	kN	Dwarskracht
V _{max}	kN	Maximale optredende dwarskracht
I	mm ⁴	Traagheidsmoment
E	Nmm ²	Elasticiteitsmodulus
u	mm	Doorbuiging
h	m	Laaghoogte
b	m	Breedte
T _{max}	mm ³	Maximale schuifspanning
B _{lijf}	m	Breedte lijfplaat in VVK-sandwich
B _{lijf.ZIP}	m	Breedte lijf ZIP-ligger
S	mm ³	Statisch moment van het afschuivende deel t.o.v. de normaallijn

(bron: Witteveen+Bos, 2016)

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Abstract	5
Begrippenlijst.....	6
Afkortingenlijst en Symbolenlijst.....	8
Figuren en tabellen	11
1. Inleiding.....	14
1.1 Aanleiding	14
1.2 Probleemanalyse.....	14
1.3 Doelstelling	15
1.4 Vraagstelling	16
1.5 Leeswijzer	17
2. Onderzoeksmethoden.....	18
2.1 Operationalisering.....	18
2.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten	19
3. In stand houden van het netwerk.....	21
3.1 Onderscheid tussen Vervanging en Renovatie en Beheer en Onderhoud	21
4. Het probleem van de Vervanging en Renovatie opgave	23
4.1 Vervanging en Renovatie opgave.....	23
4.2 Invloed van keuzes die nu worden gemaakt	24
4.3 Prestatie gestuurde risicoanalyse	25
4.4 Mogelijkheden Vervanging en Renovatie opgave.....	26
4.5 Aspecten die meespelen bij de Vervanging en Renovatie opgave	28
5. Huidige strategie.....	30
5.1 Programma Vervanging en Renovatie.....	30
5.2 Prognoserapport	30
5.3 Beschrijving proces.....	30
6. Gewenste situatie	32
6.1 Capaciteit	33
6.2 Kosten.....	33
6.3 Circulariteit	34
6.4 Tijd.....	35
6.5 Hinder	35
7. Invloed van capaciteit tegenover belasting.....	36
7.1 Toename belasting	37

7.2 Afname capaciteit	38
7.3 Impact belasting en capaciteit op de Vervanging en Renovatie opgave.....	39
8. Verschillende visies op de Vervanging en Renovatie opgave.....	40
8.1 Soortgelijke vervangingsopgaven	40
8.2 Visie van assetmanagers.....	43
9. Alternatieve mogelijkheden	45
9.1 Technische mogelijkheden	45
9.2 Strategische mogelijkheden.....	49
10. Toepassing van alternatieve mogelijkheden	52
10.1 Uitgesloten bruggen en viaducten	52
10.2 Geschikte bruggen en viaducten.....	54
10.3 Keuze technische toepassing	58
11. Strategische toepassing.....	59
11.1 Renoveren viaducten.....	61
11.2 Vervangen viaducten.....	62
11.3 Strategische keuzes voor renoveren, versterken en vervangen.....	62
12. Casestudy viaduct Kornwerderzand.....	64
12.1 Omschrijving casestudy	64
12.2 Systeemspecificatie viaduct Kornwerderzand	67
12.3 Herberekening versterken voor 60 jaar.....	69
13. Conclusies en aanbevelingen.....	83
13.1 Terugkoppeling deelvragen	83
13.2 Conclusie hoofdvraag	84
13.3 Aanbevelingen	84
14. Referenties.....	86
15. Overige referenties	92
16. Bijlagen	93

Figuren en tabellen

Figuren

Figuur 1. Versimpelde weergave pieken VenR opgave (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	15
Figuur 2. Schematisering probleemanalyse met doelstelling	16
Figuur 3. Verschil BenO en VenR (bron: op basis van grafiek van Bakker, H. A., 2017).....	21
Figuur 4. Positionering VenR (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)	22
Figuur 5. Stichtingsjaren bruggen en viaducten (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	23
Figuur 6. Statistische analyse gebruiksduur betonnen bruggen en viaducten	24
Figuur 7. Schematische weergave renoveren 30 jaar (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	24
Figuur 8. Schematische weergave vervangen 80 jaar (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	25
Figuur 9. Prestatie-eisen RAMSSHEEP (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 3 juli)	26
Figuur 10. Conditie-score bruggen en viaducten per decennia (bron: NEN 2767) (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	27
Figuur 11. Aantal bruggen en viaducten met een matig tot slechte conditie (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	28
Figuur 12. Invloed van verschillende aspecten op keuzes VenR	29
Figuur 13. VenR-proces volgens de strategische visie VenR (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)	31
Figuur 14. Gewenste ontwikkelingen (bron: Molenkamp, L., 2019)	32
Figuur 15. Versimpelde weergave gewenste situatie VenR opgave bruggen en viaducten (bron: Rijkswaterstaat, 2019a).....	32
Figuur 16. Kosten VenR opgave bruggen en viaducten	34
Figuur 17. Circulariteit (bron: Rijkswaterstaat, 2019, 30 januari)	34
Figuur 18. Samenhang gebruik-levensduur van een object (Rijkswaterstaat 2019)	36
Figuur 19. Afname capaciteit staal (bron: Rijkswaterstaat, 2019)	38
Figuur 20. Afname capaciteit beton (bron: Heidelberg Cement Group., z.d.)	38
Figuur 21. Impact verkeersbelasting en capaciteit op de VenR opgave (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	39
Figuur 22. Vervangingsinvesteringen (bron: Klatter, L., 2010)	40
Figuur 23. Versimpelde weergave VenR opgave, versterken voor 60 jaar (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	45
Figuur 24. HSB-betonoverlaging (bron: HSB-betonoverlaging op stalen bruggen).....	46
Figuur 25. Plastic Road (bron: PlasticRoad, z.d.)	47
Figuur 26. Opbouw VVK-sandwich (bron: Rook, R., & Lassche, R., 2018).....	48
Figuur 27. Verhouden van de dikte t.o.v. stijfheid, sterke en gewicht (bron: Rook, R., & Lassche, R., 2018)	48
Figuur 28. Circulair (bron: Spanbeton., z.d.)	49
Figuur 29. Prioritering bruggen en viaducten op basis van technische staat	49
Figuur 30. Prioritering op basis van clusteren	50
Figuur 31. Clusteren bruggen en viaducten in één tracé	51
Figuur 32. Corridor gemeente Amsterdam (bron: Kooistra, A., 2019)	51
Figuur 33. Aantal viaducten, vaste bruggen en beweegbare bruggen (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	53
Figuur 34. Aantal bruggen en viaducten beton en staal (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	53
Figuur 35. Plaatconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007).....	54
Figuur 36. Liggerconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007)	55
Figuur 37. Kokerconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007)	55
Figuur 38. T-profielconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007)	55

Figuur 39. Stichtingsjaren betonnen viaducten en bruggen (bron: Rijkswaterstaat, 2007)	56
Figuur 40. Viaducten over RW-conditie slecht tot matig, totaal over RW (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	57
Figuur 41. Conditiecores viaducten over RW (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	58
Figuur 42. Viaducten over RW-conditie slecht tot matig, totaal viaducten en bruggen (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	59
Figuur 43. VenR opgave met toegepaste strategie op viaducten over RW (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)	60
Figuur 44. Strategie toegepast op viaducten over RW	60
Figuur 45. Locatie viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)	64
Figuur 46. Zijaanzicht viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)	65
Figuur 47. Boveaanzicht viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)	65
Figuur 48. Onderaanzicht viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)	65
Figuur 49. Dwarsdoorsnede bovenbouw viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos. ,2016)	66
Figuur 50. Boveaanzicht wapening in druklaag viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos. ,2016)	66
Figuur 51. Strengenpatroon ZIP-ligger (bron: Witteveen+Bos. ,2016)	67
Figuur 52. VVK-panelen (bron: Composite Advantage, z.d.)	69
Figuur 53. Doorsnede VVK-constructieopbouw in vergelijking tot betonnen druklaag	69
Figuur 54. VVK-constructieopbouw Dwarsdoorsnede (links) en langsdoorsnede (rechts) (bron: Zwaaneveldt, O., 2019)	70
Figuur 55. Schematische weergave afschuifwapening in dwarsdoorsnede ZIP-ligger (bron: Witteveen+Bos. ,2016)	70
Figuur 56. Verbinding tussen VVK-dek en ZIP-ligger middels ankerverbinding (bron: Zwaaneveldt, O., 2019)	71
Figuur 57. Verbinding tussen VVK-dek en ZIP-ligger middels deuvel en mortel verbinding (bron: FRP Decks for Movable Vehicle Bridges)	71
Figuur 58. Uniform verdeelde belasting	73
Figuur 59. Krachtverdeling over liggers	73
Figuur 60. Spreiding wiellasten	74

Tabellen

Tabel 1. Methodematrix	18
Tabel 2. Gemiddelde levensduur bruggen en viaducten (bron: Klatter, L., Roebbers, H., Van den Hark, M., 2017)	23
Tabel 3. NEN 2767 conditiescores (bron: NEN 2767)	27
Tabel 4. Aantal per constructietype (bron: Rijkswaterstaat, 2007)	56
Tabel 5. Renoveren plaatviaducten voor 60 jaar	61
Tabel 6. Renoveren voorgespannenliggers met betonnen druklaag voor 60 jaar	61
Tabel 7. Strategische keuze renoveren, versterken en vervangen	63
Tabel 8. Hoofdafmetingen dek viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos. ,2016)	66
Tabel 9. Overzicht wapening in druklaag ten behoeve van toetsingen	67
Tabel 10. Referentieperiode en restlevensduur (bron: Rijkswaterstaat, 2013a)	69
Tabel 11. Belastingfactoren van toepassing op viaduct Kornwerderzand	76
Tabel 12. Belastingcombinaties op viaduct Kornwerderzand	76
Tabel 13. Unity check op viaduct Kornwerderzand	77
Tabel 14. Samenvatting berekening viaduct Kornwerderzand	78

Tabel 15. Betonklasse en dekking viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos, 2016)	79
Tabel 16. Waarden minimale dekkingseisen voor betonstaal (bron: NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016)	80
Tabel 17. Waarden minimale dekkingseisen voor voorspanstaal (bron: NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016)	80
Tabel 18. Technische levensduur afhankelijk van dekking (bron: NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016)	81
Tabel 19. Strategische keuze renoveren, versterken en vervangen.....	84

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Veel civiele kunstwerken in Nederland zijn in een relatief korte periode gebouwd tijdens de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog. Van deze kunstwerken is een groot aandeel brug of viaduct, zie Figuur 5. Omdat de gemiddelde levensduur van een brug of viaduct 80 jaar is, en dus binnenkort einde van de technische levensduur bereiken, wordt er tussen 2040 en 2060 een grote Vervanging en Renovatie (VenR) opgave verwacht. De afdeling Bruggen en Viaducten (B&V) van het organisatieonderdeel “Grote Projecten en Onderhoud” (GPO) wil onderzoeken wat de optimale strategie is om de VenR opgave van bruggen en viaducten aan te pakken.

Omdat te veel bruggen en viaducten op hetzelfde moment te oud worden en het einde van de technische levensduur naderen moeten deze gerenoveerd of vervangen worden. Dit om de constructieve veiligheid te waarborgen en te zorgen dat Rijkswaterstaat (RWS) een betrouwbaar en beschikbaar netwerk behoudt. Binnen RWS zal het vraagstuk: “Hoe kan deze VenR opgave zo uitgevoerd worden dat de constructieve veiligheid gewaarborgd blijft en er een betrouwbaar en beschikbaar netwerk is?” de komende tijd gaan spelen. Binnen deze vraag wil RWS onderzocht hebben welke mogelijke strategie toepasbaar is om de VenR opgave ook gelijkmatig te kunnen spreiden. (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

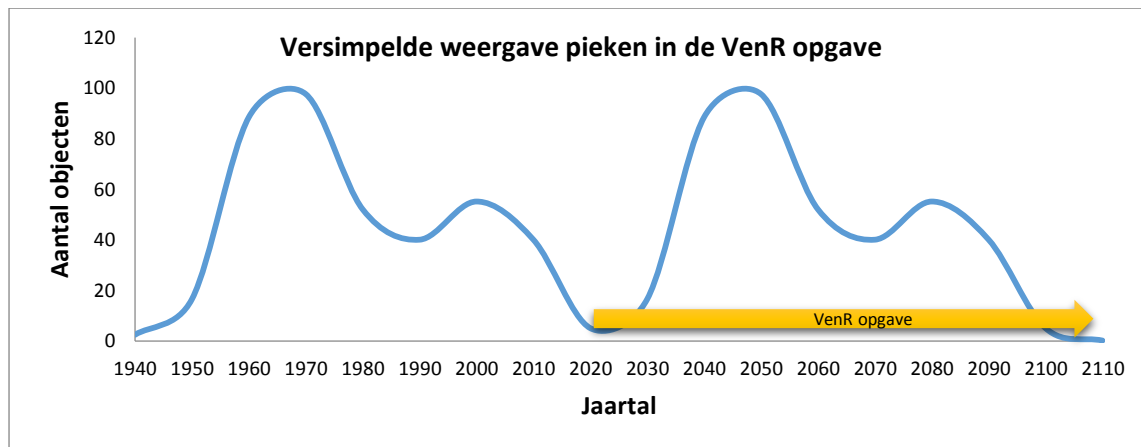
1.2 Probleemanalyse

De komende decennia staat RWS voor een grote vervangingsopgave. Deze vervangingsopgave is de grootste in de geschiedenis van RWS. De reden hiervoor is dat het einde van de technische levensduur in zicht komt voor honderden kunstwerken. Een groot deel van deze kunstwerken zijn bruggen en viaducten. De oorzaak dat veel kunstwerken tegelijkertijd het einde van de technische levensduur bereiken komt omdat er veel bruggen en viaducten in een korte periode gebouwd zijn. Dit heeft voornamelijk te maken met de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog. Dit was in de jaren 60 en 70, in Figuur 1 is dan ook een duidelijke piek te zien in het aantal bruggen en viaducten die zijn aangelegd in deze periode. De gemiddelde levensduur van een brug of viaduct is 80 jaar. Wanneer deze bruggen en viaducten 80 jaar na het stichtingsjaar worden doorgeschoven is er een duidelijke piek te zien. Deze “piek” of “berg” wordt de VenR opgave genoemd. Omdat deze bruggen en viaducten aan het einde van de technische levensduur zijn moet de levenscyclus van het object worden verlengd (renoveren) of opnieuw worden gestart (vervangen). Met Beheer en Onderhoud (BenO) wordt er alleen voor gezorgd dat het object ook daadwerkelijk het einde van de technische levensduur haalt. Wanneer het object het einde van de technische levensduur bereikt wordt er gekozen bij de investeringsbeslissing of het object wordt gerenoveerd of (gedeeltelijk) vervangen. (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

Het probleem waar RWS voor komt te staan is drieledig. Het eerste probleem is deze VenR opgave. Het netwerk in Nederland moet constructief veilig, betrouwbaar en beschikbaar blijven. Dit kan door tijdig objecten te renoveren of te vervangen die het einde van de technische levensduur bereiken. Ten tweede moet er worden geanticipeerd op de toekomst. De verwachting is dat de verkeersintensiteit en verkeersbelasting in de toekomst zal veranderen. Daarom is het belangrijk dat de bruggen en viaducten niet alleen technisch weer langer mee kunnen, maar ook functioneel voldoen aan de gebruikseisen die vandaag de dag worden gesteld aan de objecten. Als laatste is er de schaarse inzet van technische mensen en middelen, door de maatschappelijke ontwikkelingen wordt het steeds moeilijker om arbeidskrachten in de technische sector te vinden. Het gevolg hiervan is een oplopende projectendruk. Echter wordt dit probleem vaak onderkend, omdat het nog niet eerder in Nederland is voorgekomen dat er een tekort is aan technische vakmensen.

Dit samen geeft een probleemstelling die drieledig is:

- VenR opgave: Constructief veilig, betrouwbaar en beschikbaar netwerk;
- Ontwikkelingsopgave: Ook in de toekomst voldoen aan de gebruikseisen;
- Projectendruk: Opgave om mensen en middelen gespreid in te zetten.



Figuur 1. Versimpelde weergave pieken VenR opgave (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

Door het ouder worden van een kunstwerk degradeert het kunstwerk langzaam. De sterkte van het kunstwerk neemt af door verkeersbelastingen en weersinvloeden. Ook de toename van de veiligheidseisen zorgt voor een verlaging van de draagcapaciteit van bruggen en viaducten. Daartegenover heeft het wegennet te maken met een steeds hogere verkeersintensiteit en zwaardere verkeersbelasting dan waarop ontworpen is. De toename van de verkeersbelasting heeft net als de afname van de capaciteit een negatief effect op de bruggen en viaducten. Al deze effecten samen genomen zorgt dat een brug of viaduct sneller aan vervanging of renovatie toe is. Dit onderdeel wordt verder toegelicht in Hoofdstuk 7.

Daarnaast moet er nu al strategisch worden gekeken om te voorkomen dat de bruggen en viaducten die op dit moment toe zijn aan vervanging of renovatie niet ook nog “op de berg” terecht komen. Dit zou kunnen gebeuren als de objecten waar nu een keuze voor gemaakt moet worden allemaal gerenoveerd zouden worden. Dit zou reëel zijn omdat de bruggen en viaducten in de huidige strategie als individueel object worden beschouwd. Voor de meeste bruggen en viaducten is het de beste keuze om te renoveren voor 30 jaar. Wanneer er naar alle bruggen en viaducten wordt gekeken is dit niet de beste keuze. Wanneer op dit moment (2019-2020) bruggen en viaducten gerenoveerd zouden worden voor 30 jaar komen deze in 2050 bovenop de grootste piek van de VenR opgave weer terug.

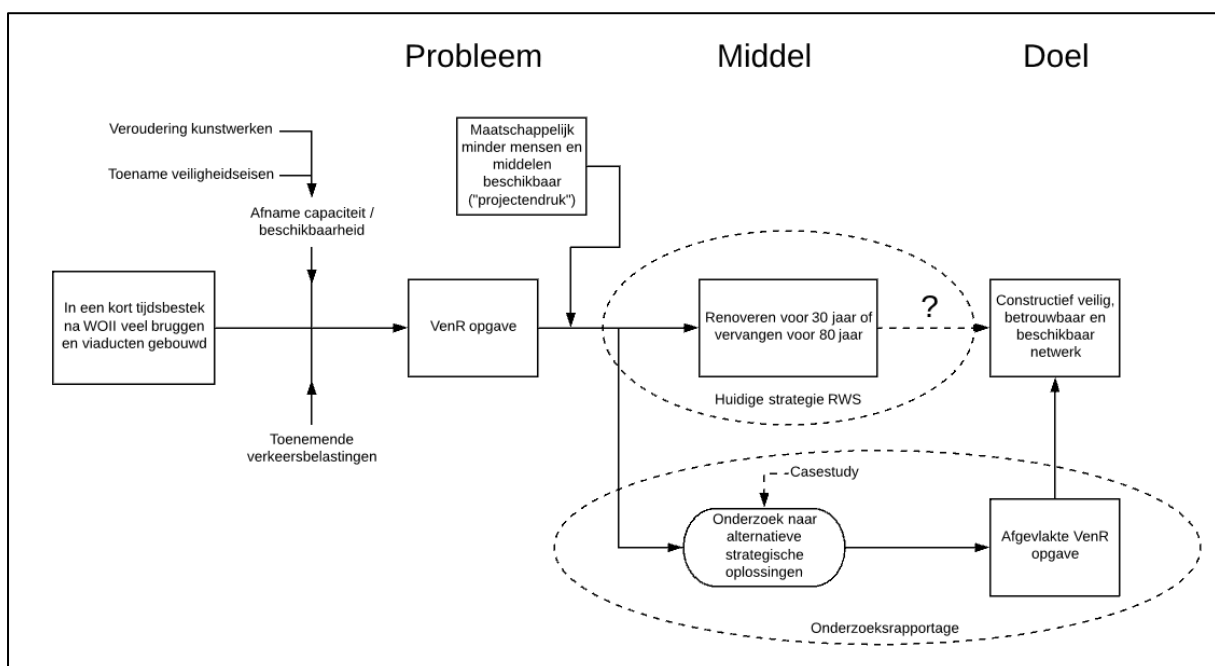
De exacte gegevens van het aantal bruggen en viaducten in de VenR opgave worden verder toegelicht in Hoofdstuk 4.

1.3 Doelstelling

Het doel van RWS is het zorgen voor een constructief veilig, betrouwbaar en beschikbaar netwerk. Dit netwerk moet tevens zo duurzaam en onderhoudbaar mogelijk zijn en voldoen aan de gebruikseisen voor de toekomst. Binnen dit onderzoek is het doel om de VenR opgave gelijkmatig te spreiden om zo ook mensen en middelen gespreid in te kunnen zetten. Met de huidige strategie worden bruggen en viaducten als individueel object beoordeeld. Met deze huidige strategie worden de problemen alleen maar vooruitgeschoven (naar volgende generaties). Om dit te voorkomen moet RWS met een nieuwe strategie komen. Om zo de “pieken en dalen” in de VenR opgave van bruggen en viaducten om te zetten in een gelijkmatig verspreide opgave. Op dit moment zit RWS nog aan het

begin van deze opgave, maar RWS loopt nu al tegen veel problemen aan, terwijl de piek van vervanging en renovatie nog moet komen. Als er niet wordt ingegrepen zal de beschikbaarheid van het netwerk afnemen en zal ook de constructieve veiligheid in het geding komen.

Dit onderzoek heeft als doel het aandragen van een optimale strategie waarbij de pieken en dalen in de VenR opgave worden omgezet tot een gelijkmatig gespreide VenR opgave. Om dit doel te bereiken wordt er een inventarisatie gedaan naar alternatieve mogelijkheden om zo naast het vervangen en renoveren een nieuwe variant toe te passen om meer gelijkmatige spreiding in de VenR opgave te kunnen realiseren. Binnen het onderzoek is een verdiepingsslag gemaakt waarbij één van de alternatieve mogelijkheden is toegepast op één type brug of viaduct. Deze variant is doorgerekend om zo te kunnen onderbouwen of de strategie wel of niet haalbaar zal zijn. Dit alles om het primaire doel, het waarborgen van een constructief veilig, betrouwbaar en beschikbaar netwerk, van RWS te kunnen verwezenlijken. In Figuur 2 is een schema weergegeven waarin het doel omschreven wordt.



Figuur 2. Schematisering probleemanalyse met doelstelling

1.4 Vraagstelling

Voor het onderzoek naar strategische oplossingen in het kader van de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten is de onderstaande hoofdvraag opgesteld. Voor een gestructureerde beantwoording van de hoofdvraag zijn er vijf deelvragen opgesteld.

Hoofdvraag: Met welke strategie kan Rijkswaterstaat de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten gelijkmatig spreiden?

Deelvraag 1: Wat is de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten?

Deelvraag 2: Wat is de impact van de verkeersbelasting in samenhang met de capaciteit op de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten?

Deelvraag 3: Welke alternatieve mogelijkheden zijn er en hoe kunnen deze strategisch worden toegepast om de Vervanging en Renovatie opgave gelijkmatig te spreiden?

Deelvraag 4: Bij welk type brug of viaduct liggen de meeste kansen om een alternatieve mogelijkheid op toe te passen om zo de Vervanging en Renovatie opgave gelijkmatig te spreiden?

Deelvraag 5: Hoe kan de alternatieve mogelijkheid worden toegepast op één type brug of viaduct en is deze mogelijkheid toereikend voor het gelijkmatig spreiden van de Vervanging en Renovatie opgave?

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 Inleiding bevat een introductie van het afstudeerrapport. In deze inleiding is de aanleiding van het onderzoek te vinden samen met de probleemanalyse, bijbehorende doelstelling, hoofdvraag en deelvragen.

Hoofdstuk 2 Onderzoeksmethoden bevat de onderzoeksopzet en geeft inzicht in de gebruikte onderzoeksmethoden en de afbakening van het onderzoek.

Hoofdstuk 3 In stand houden van het netwerk bevat een uitwerking over het verschil tussen de instandhoudingsmogelijkheden: *Beheer en Onderhoud* en *Vervanging en Renovatie*.

Hoofdstuk 4 Het probleem van de Vervanging en Renovatie opgave bevat een uitgebreide toelichting van het probleem. De invloed van de keuzes die nu worden gemaakt en in de toekomst op de VenR opgave en de conditiescores van bruggen en viaducten.

Hoofdstuk 5 Huidige strategie bevat een toelichting wat de huidige strategie is bij het maken tussen de keuzes vervangen en renoveren.

Hoofdstuk 6 Gewenste situatie bevat een toelichting voor de gewenste situatie met betrekking tot gelijkmatige spreiding van de VenR opgave. Daarnaast wordend de nadelige effecten op de aspecten: capaciteit, kosten, circulariteit, tijd en hinder bij een ongelijkmatige spreiding toegelicht.

Hoofdstuk 7 Invloed van capaciteit tegenover belasting bevat een uitleg over de toename van de belasting, de afname van de capaciteit en de invloed hiervan op de VenR opgave.

Hoofdstuk 8 Verschillende visies op de Vervanging en Renovatie opgave bevat uitleg over soortgelijke vervangingsopgaven binnen andere afdelingen, binnen de bouwsector en sectoren buiten de bouw. Daarnaast worden verschillende visies van assetmanagers op de VenR opgave beschreven.

Hoofdstuk 9 Alternatieve mogelijkheden bevat een opsomming van een aantal mogelijke technische oplossingen voor het renoveren voor 60 jaar en bevat een opsomming van een aantal strategische oplossingen voor het gelijkmatig spreiden van de VenR opgave.

Hoofdstuk 10 Toepassing van alternatieve mogelijkheden bevat een onderbouwing voor de keuze van het type object voor de casestudy, met hierin de uitgesloten en geschikte bruggen en viaducten.

Hoofdstuk 11 Strategische toepassing bevat de strategische oplossing voor het gelijkmatig spreiden van de VenR opgave.

Hoofdstuk 12 Casestudy viaduct Kornwerderzand bevat een uitwerking van het type object waarbij de versterkingsmogelijkheid voor 60 jaar is toegepast.

Hoofdstuk 13 Conclusies en aanbevelingen bevat een terugkoppeling per deelvraag en een conclusie op de hoofdvraag. Op basis van het onderzoek zijn hier aanbevelingen gedaan voor een vervolgonderzoek.

2. Onderzoeksmethoden

2.1 Operationalisering

In deze paragraaf is beschreven met welke methoden de deelvragen zijn geoperationaliseerd. In Tabel 1 is een opsomming weergegeven welke methoden zijn toegepast per deelvraag.

	Literatuuronderzoek	Interview/overleg	Casestudy	Tekeningen van een n.t.b. brug of viaduct	Rapportages van andere organisaties
Deelvraag 1	X	X			
Deelvraag 2	X	X			
Deelvraag 3	X	X			X
Deelvraag 4	X	X			
Deelvraag 5	X	X	X	X	X

Tabel 1. Methodematrix

2.1.1 Deelvraag 1

Wat is de VenR opgave van bruggen en viaducten?

Voor de beantwoording van de eerste deelvraag is voornamelijk gebruik gemaakt van informatie uit de database van RWS. De literatuur en gegevens vormen de documenten waarmee de eerste deelvraag beantwoord is. Als literatuur zijn documenten gebuikt die specifiek gericht zijn op het VenR programma binnen RWS. Daarnaast is er gebruik gemaakt van gegevens uit het Data Informatie Systeem Kunstwerken (DISK) van RWS om de stichtingsjaren van de bruggen en viaducten met de bijbehorende conditiescore te onderzoeken. Naast deze literatuur is er ook informatie ingewonnen bij VenR specialisten van de afdeling B&V en de afdeling Tunnels en Natte Kunstwerken (T&N). De afdeling T&N is een afdeling die voor een soortgelijk problemen staat. Wel zijn er twee belangrijke verschillen tussen de afdeling T&N en B&V wat betreft de VenR opgave:

- Afdeling T&N heeft veel minder projecten en dus minder “projectendruk”;
- Bij de afdeling T&N speelt verkeersbelasting op de objecten een kleinere rol.

2.1.2 Deelvraag 2

Wat is de impact van de verkeersbelasting in samenhang met de capaciteit op de VenR opgave van bruggen en viaducten?

Er is vooral gebruik gemaakt van literatuuronderzoek om tot de beantwoording te komen van de tweede deelvraag. Daarin werd data over de verkeersbelasting van vroeger en nu met elkaar vergeleken. Daarmee is de ontwikkeling van de verkeersbelasting in kaart gebracht. Tevens is de degradatie van staal en beton in kaart gebracht. Voor staal komt dit door vermoeiing en voor beton voornamelijk door aantasting van het wapeningsstaal en in mindere mate door aantasting van het beton. Ook is de geschiedenis van deze twee materialen onderzocht. Al deze factoren zijn onderzocht

om tot de conclusie te komen wat de impact is op de VenR opgave van een mogelijke toename van de verkeersbelasting.

2.1.3 Deelvraag 3

Welke alternatieve mogelijkheden zijn er en hoe kunnen deze strategisch worden toegepast om de VenR opgave gelijkmatig te spreiden?

De derde deelvraag gaat inhoudelijk in op de mogelijke oplossingen voor de VenR opgave. Voor de beantwoording van deze deelvraag is er in tegenstelling tot de eerste twee deelvragen niet voornamelijk gebruik gemaakt van literatuuronderzoek. Maar is gebruik gemaakt van de informatie verkregen uit deelvraag 1 en 2. Daarnaast zijn er VenR experts benaderd om een overzicht te krijgen van de alternatieve mogelijkheden en strategieën. Deze experts waren zowel van de afdeling B&V als van andere RWS-afdelingen die tegen hetzelfde probleem aanlopen. Tevens zijn er interviews gehouden met assetmanagers uit verschillende regio's en andere bedrijfstakken zoals de woningbouw. Informatie uit de presentatie gegeven door de Gemeente Amsterdam is gebruikt als input van dit onderzoek, dit omdat deze gemeente een voorloper is met betrekking tot de aanpak van vervangingsopgaven. Ook zijn visies en strategieën uit rapporten van Damen scheepsbouw en de rioleringssector gebruikt.

2.1.4 Deelvraag 4

Bij welk type brug of viaduct liggen de meeste kansen om een alternatieve mogelijkheid op toe te passen om zo de VenR opgave gelijkmatig te spreiden?

Voor de vierde deelvraag is onderzocht op welk type brug of viaduct de alternatieve mogelijkheid voortkomend uit deelvraag drie het beste toegepast kan worden. Deze deelvraag geeft de eerste input voor de casestudy die in deelvraag 5 wordt uitgewerkt. De informatie is verzameld door te overleggen met experts op het gebied van bruggen en viaducten. Daarnaast is literatuur van RWS en andere partijen geraadpleegd. Ook is informatie uit het DISK-programma van RWS gehaald. Dit zijn gegevens die betrekking hebben tot de impact van het aandeel bruggen en viaducten per type op de VenR opgave.

2.1.5 Deelvraag 5

Hoe kan de alternatieve mogelijkheid worden toegepast op één type brug of viaduct en is deze mogelijkheid toereikend voor het gelijkmatig spreiden van de VenR opgave?

De vijfde deelvraag is beantwoord door te toetsen of de alternatieve mogelijkheid ook echt haalbaar en uitvoerbaar is binnen de VenR opgave. Dit is gedaan door op één gekozen type brug of viaduct een casestudy toe te passen. De casestudy is toegepast op de brug of viaduct voortkomend uit deelvraag 4. Er is hoofdzakelijk overlegd met medewerkers die gespecialiseerd zijn op het gebied van materiaaleigenschappen. Daarnaast zijn er overleggen met experts op het gebied van bruggen en viaducten geweest.

2.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

2.2.1 Uitgangspunten

Het onderzoek is gericht op bruggen en viaducten die in het beheer zijn van RWS. De uitkomsten van het onderzoek zijn dan ook gericht op de strategie voor bruggen en viaducten met een hoge verkeersintensiteit op het netwerk. In de casestudy wordt ingegaan op één type brug of viaduct. De verkregen gegevens zullen later ook op andere typen bruggen of viaducten toegepast kunnen worden.

Daarnaast gaat het in het onderzoek om een grote hoeveelheid bruggen en viaducten samen, dus niet om één brug of viaduct. De manier van vervangen en renoveren voor één brug verloopt anders dan wanneer er een groot aantal vervangen of gerenoveerd moet worden. Wanneer er namelijk de keuze gemaakt moet worden tussen renoveren en vervangen voor slechts één brug of viaduct dan wordt er in de meeste gevallen gekozen om te renoveren. Echter wanneer het gaat om een groot aantal bruggen en viaducten is het dan nog steeds strategisch een goede keuze om alles te renoveren? In het onderzoek is dit een belangrijk punt, omdat de keuze voor één brug of viaduct al vaak is gemaakt. Het vervangen en/of renoveren van een groot aantal bruggen en viaducten tegelijkertijd heeft nog nooit eerder plaatsgevonden in de geschiedenis van RWS. Het wordt daarom ook de grootste onderhoudsopgave in de geschiedenis. Voor deze opgave is het “Programma Vervanging en Renovatie” opgericht.

2.2.2 Hoofdafbakening

Om duidelijk in kaart te brengen wat er werd onderzocht is er de onderstaande hoofdafbakening van het project. Hierin staat de belangrijkste afbakening beschreven.

In het onderzoek is het volgende onderzocht:

- Alternatieve mogelijkheden om bruggen en viaducten te vervangen en renoveren;
- Optimale strategie die toepasbaar is om de VenR opgave van bruggen en viaducten gelijkmatig te spreiden;
- Indicatieve berekening van de constructie en toelichting op haalbaarheid en uitvoerbaarheid van één brug of viaduct in de casestudy.

In het onderzoek is het volgende niet onderzocht:

- Het detailniveau van de opbouw van bruggen en viaducten. De constructie ‘brug’ of ‘viaduct’ wordt als één geheel beschouwd, er wordt niet ingegaan op constructieonderdelen. Daarnaast wordt uitgegaan dat de afmetingen per object in hoofdlijnen gelijk aan elkaar zijn;
- Detailuitwerkingen van alle alternatieve mogelijkheden. Slechts één type brug of viaduct is uitgewerkt in de casestudy;
- Detail berekening van de constructie uitgewerkt in de casestudy.

2.2.3 Overige afbakening

Naast de hoofdafbakening is ook de overige afbakening in het project meegenomen.

In het onderzoek is het volgende onderzocht:

- Bruggen (beweegbaar), bruggen (vast) en viaducten met het stichtingsjaar na 1940;
- Inventarisatie methoden die nu gebruikt zijn en eventueel verbeterd zouden kunnen worden;
- Alternatieve methoden, methoden die nu nog niet gebruikt zijn en methoden uit andere vakgebieden;
- Of de alternatieve methoden geschikt zijn en hoe deze het beste toegepast kunnen worden;
- Een globale bepaling van toename verkeersbelasting voor de toekomst.

In het onderzoek is het volgende niet onderzocht:

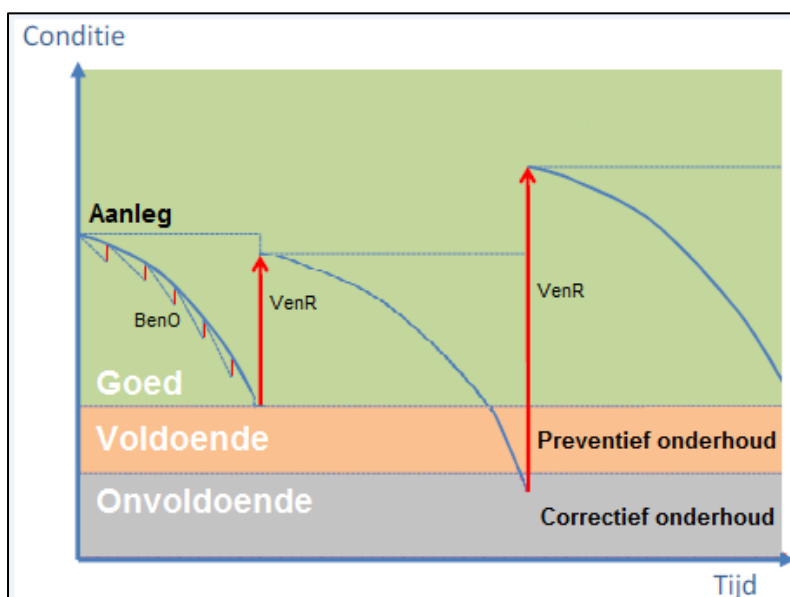
- Tunnels, onderdoorgangen en andere civiele kunstwerken die niet vallen onder: bruggen (beweegbaar), bruggen (vast) en viaducten;
- Bruggen en viaducten met stichtingsjaar voor 1940;
- Bruggen en viaducten die buiten Nederland en buiten beheer van RWS vallen;
- Detail voorspelling/berekening door middel van verkeerskundige modellen van de toename van verkeerbelasting;
- Omschrijving van bouwmethoden in de casestudy.

3. In stand houden van het netwerk

3.1 Onderscheid tussen Vervanging en Renovatie en Beheer en Onderhoud

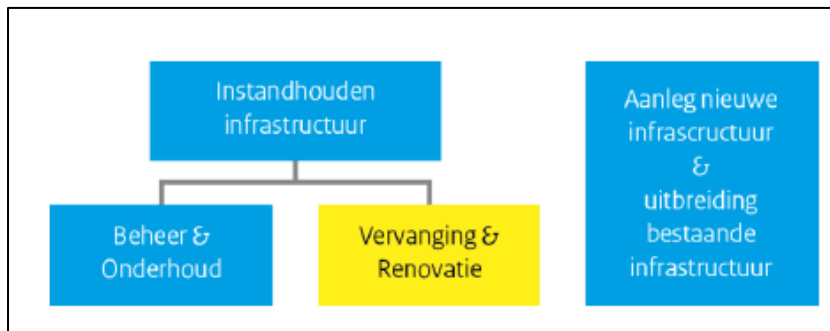
RWS heeft als doel het netwerk in Nederland constructief veilig, betrouwbaar en beschikbaar te houden (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017). Momenteel zijn grote delen van dit netwerk al meer dan 50 jaar in gebruik, met de nodige degradatie tot gevolg. Door de veroudering en het intensiever gebruik komt het steeds vaker voor dat delen hiervan het einde van de technische levensduur bereiken. De functie van het netwerk moet in stand gehouden worden en vaak worden er nog hogere eisen gesteld dan waar oorspronkelijk op ontworpen is. Om het netwerk in stand te houden moeten er ingrepen worden gedaan, door onderhoud uit te voeren of door bruggen en viaducten te renoveren of zelfs te vervangen. Slechts een gedeelte hiervan wordt opgevuld door aanlegprojecten. (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

Het beheer en onderhoud dat wordt uitgevoerd is gericht op het reguleren van het gebruik en omvat alle maatregelen die nodig zijn gedurende de ingebruikname om de beoogde gebruiksduur te vervullen. De onderhoudsmaatregelen die nodig zijn om de beoogde gebruikslevensduur te halen wordt het regulier onderhoud genoemd. Vroeger werden alle ingrepen gerekend tot BenO en bestond er nog geen vervanging en renovatie. Sinds 2012 kwam hier verandering in toen het programma Vervanging en Renovatie werd opgericht. De reden hiervoor was dat de projecten te 'groot' werden voor de werkwijze van het normale BenO. Daarnaast kregen deze projecten een hogere prioritering dat de besluitvorming hierover, net zoals bij aanlegprojecten, onder de verantwoordelijkheid van de minister van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) is komen te vallen. Hierdoor staat de VenR opgave hoger op de agenda. Omdat VenR-projecten in de meeste gevallen minder omvangrijk zijn verloopt de opdrachtverlening niet per object maar geclusterd per tranches. De ingrepen die plaatsvinden onder VenR zijn over het algemeen dus ook groter. Bij vervanging betreft het (meestal) investeringen aan het einde van de levensduur die ervoor zorgen dat er een nieuwe levenscyclus van het object wordt gestart die voldoet aan de nieuwe gebruiksintensiteiten en de nieuwe wet- en regelgeving. Het kan hierbij ook gaan om het gedeeltelijk vervangen door bijvoorbeeld alleen de bovenbouw te vervangen. Bij renovatie daarentegen betreffen het investeringen die zorgen voor een levensduurverlening ten opzichte van de oorspronkelijke beoogde gebruiksduur. Het verschil tussen BenO en VenR is weergegeven in Figuur 3. (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)



Figuur 3. Verschil BenO en VenR (bron: op basis van grafiek van Bakker, H. A., 2017)

Binnen RWS wordt er momenteel duidelijk onderscheid gemaakt tussen *Beheer en Onderhoud* en *Vervanging en Renovatie* wat betreft de organisatiestructuur. VenR is in de begroting ingedeeld in het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT). Dit betekent dat VenR valt onder projectsturing. In tegenstelling tot BenO wat valt onder prestatiesturing. Daarmee is de opdracht voor VenR afgebakend tot het in stand houden van de infrastructuur bij het bereiken van het einde van de technische levensduur. Functionele eisen vallen onder aanleg nieuwe infrastructuur en uitbereiding bestaande infrastructuur. In de praktijk blijkt het lastig te zijn om het onderscheid te houden tussen VenR en BenO. Dit komt doordat zaken vanuit BenO geleidelijk doorlopen naar VenR, maar ook wordt de uitbereiding van infrastructuur vaak meegenomen in VenR. De verschillende soorten activiteiten zijn weergegeven in Figuur 4. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 13 februari)



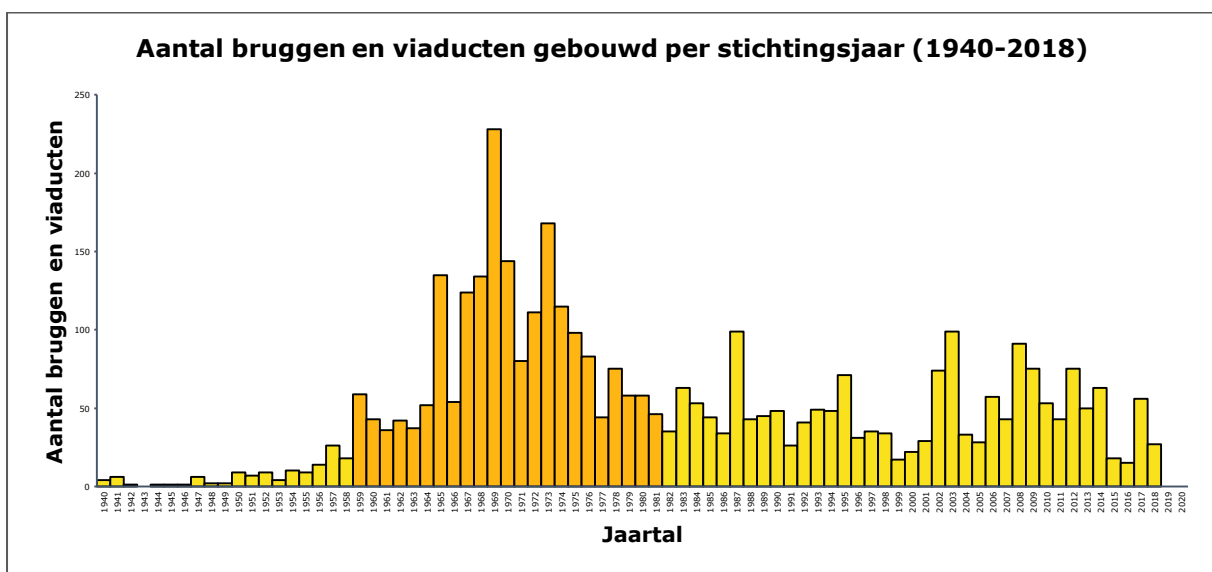
Figuur 4. Positionering VenR (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

4. Het probleem van de Vervanging en Renovatie opgave

4.1 Vervanging en Renovatie opgave

De vervangingsopgave is de grootse in de geschiedenis van RWS. De oorzaak hiervan ligt in de jaren 60 (1960-1969) en 70 (1970-1979) in deze relatief korte periode is een groot aantal bruggen en viaducten aangelegd. Dit heeft voornamelijk te maken met de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog. Naast de wederopbouw speelt ook de aanleg en uitbreiding van het Rijkswegennet een belangrijke rol in de VenR opgave. Zie Bijlage D.1 voor een toelichting van de groei van het Rijkswegennet. (bron: CBS, 2018).

In de periode 1940 tot en met 2018 zijn er in totaal 3924 bruggen en viaducten gebouwd in het areaal van RWS. Wanneer deze bruggen en viaducten worden weergegeven in Figuur 5 is er duidelijk te zien dat de grootste piek ligt in de jaren 60 en 70. In Bijlage A staan de exacte gegevens uitgezet en uitgewerkt per district en per regio. (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 5. Stichtingsjaren bruggen en viaducten (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

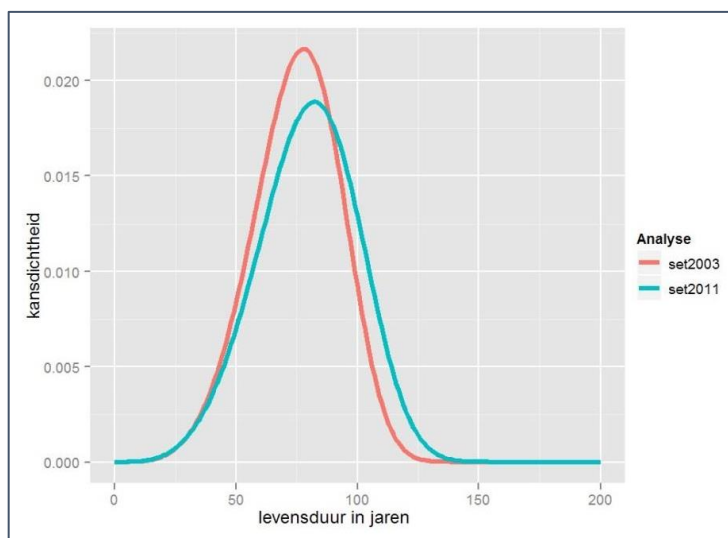
De gemiddelde technische levensduur van bruggen en viaducten wordt in het onderzoek aangehouden op 80 jaar. Echter verschilt de gemiddelde levensduur per type brug of viaduct, maar ook per individuele brug of viaduct kan de levensduur sterk verschillen. Dit heeft te maken met verschillende factoren, voornamelijk met de ligging en de invloed van het weer. De gemiddelde levensduur voor de bruggen en viaducten in het Hoofdwegennet (HWN) en Hoofdvaarwegennet (HVWN) weergegeven in Tabel 2. (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

Gemiddelde levensduur bruggen en viaducten

Kunstwerksoort	Netwerk	Levensduur
Bruggen (beweegbaar)	HWN	80 jaar
Bruggen (beweegbaar)	HVWN	84 jaar
Bruggen (vast)	HWN	80 jaar
Bruggen (vast)	HVWN	92 jaar
Viaducten	HWN	80 jaar

Tabel 2. Gemiddelde levensduur bruggen en viaducten (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

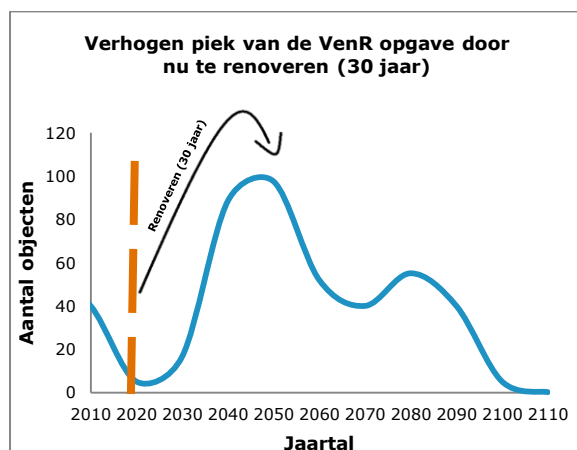
Wanneer de gemiddelde technische levensduur wordt aangehouden op 80 jaar en het aantal bruggen en viaducten per stichtingsjaar deze 80 jaar vooruit worden geplaatst is de VenR opgave van bruggen en viaducten in beeld gebracht. Zie hiervoor Figuur 1, echter in de praktijk zal deze geschetste situatie niet exact verlopen zoals weergegeven. Dit omdat er enige spreiding zit tussen de technische levensduur van bruggen en viaducten. In Figuur 6 is een statistische analyse van de gebruiksduur weergegeven. Hieruit valt op te merken dat het gaat om een erg grote bandbreedte. Het ene object kan het einde van de levensduur 20 jaar eerder bereiken en het andere object 20 jaar later. Dit verschilt per brug of viaduct door weersinvloeden, belastingen en afname van capaciteit. Daarnaast valt op te merken uit Figuur 6 dat de gemiddelde levensduur in de afgelopen jaren iet is toegenomen, van 75 jaar in 2003 naar 80 jaar in 2011. Tussen 2011 en 2015 is deze toename verwaarloosbaar klein (0,2 jaar). Het kan ook voorkomen dat een brug of viaduct nog voor het einde van de technische levensduur wordt aangepast of vervangen. Dit heeft veelal te maken met politieke redenen en verandering van functie. (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)



Figuur 6. Statistische analyse gebruiksduur betonnen bruggen en viaducten

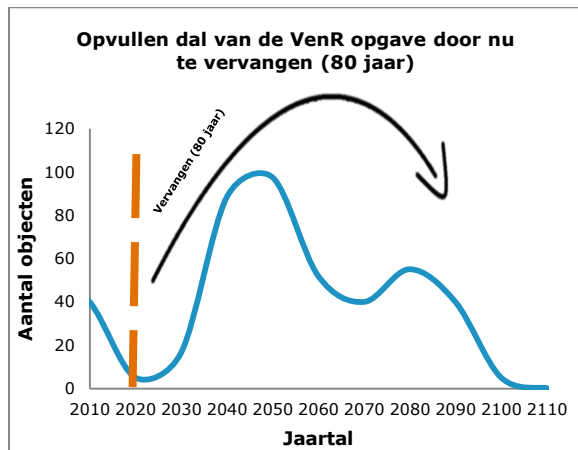
4.2 Invloed van keuzes die nu worden gemaakt

De keuzes die op dit moment worden gemaakt hebben invloed op de VenR opgave. De keuze om op dit moment (2019-2020) vervangen of te renoveren hebben beide invloed op de piek in de VenR opgave van bruggen en viaducten. Wanneer er op dit moment wordt gekozen om te renoveren, dat wil zeggen het verlengen van de technische levensduur voor 30 jaar, dan komen deze in 2050, de grootste piek van de VenR opgave weer terug. Zie Figuur 7.



Figuur 7. Schematische weergave renoveren 30 jaar (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

Wanneer er op dit moment (2019-2020) wordt gekozen om bruggen en viaducten te vervangen voor 80/100 jaar, dan komen deze in 2100 in het dal van de VenR opgave weer terug. Zie Figuur 8. Dit zou positief zijn voor het spreiden van de VenR opgave van bruggen en viaducten. Echter is dit een oplossing die hoge kosten met zich mee brengt. Daarnaast is dit geen toereikende oplossing in de periode van de piek van de VenR opgave (2040 tot 2060), omdat deze bruggen en viaducten in 2120-2140 terugkomen, dit zou weer voor een nieuwe VenR opgave zorgen.



Figuur 8. Schematische weergave vervangen 80 jaar (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

4.3 Prestatie gestuurde risicoanalyse

Voorafgaand aan de investeringsbeslissing waar de keuze wordt gemaakt tussen renoveren of (geheel of gedeeltelijk) vervangen van de infrastructuur (object of systeem) wordt een risicoanalyse van het netwerkdeel op basis van RAMS(SHEEP) gedaan. Hierbij wordt gewerkt volgens de Prestatie gestuurde Risico Analyse (PRA). Hierbij worden de prestatie-eisen gekoppeld aan de functies van het object. Daaronder worden de risico's weergegeven waar de beheersmaatregelen aan gekoppeld worden. De aanpak werkt voor de gehele infrastructuur van ontwerp tot beheer. Prestaties van systemen kunnen worden bepaald aan de hand van de zogenoemde RAMS-aspecten. Deze afkorting staat voor de volgende begrippen:

- **Reliability** (betrouwbaarheid);
- **Availability** (beschikbaarheid);
- **Maintainability** (onderhoudbaarheid);
- **Safety** (veiligheid).

Dit zijn de belangrijkste prestatie-eisen die worden gesteld bij de aanleg, het beheer en het onderhoud van de infrastructuur en bepalen de kwaliteit ervan. Deze belangrijkste prestatie-eisen kunnen aangevuld worden met de volgende aspecten:

- **Security** (beveiliging);
- **Health** (gezondheid);
- **Environment** (milieu);
- **Economics** (economie);
- **Politics** (politiek).

Samen met de RAMS-aspecten vormt dit RAMSSHEEP. In Figuur 9 zijn de prestatie-eisen weergegeven aan de hand van de term: RAMSSHEEP. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 3 juli)

prestatie-eis			
RAMSSHEEP		Security	
Reliability		Health	
Availability		Economy	
Maintainability		Environment	
Safety		Politics	

Figuur 9. Prestatie-eisen RAMSSHEEP (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 3 juli)

4.4 Mogelijkheden Vervanging en Renovatie opgave

Het bereiken van het einde van de technische levensduur van bruggen en viaducten kan niet alleen als probleem worden gezien, maar ook als een kans. Wanneer de levenscyclus van een object wordt verlengd of opnieuw wordt gestart is er juist een mogelijkheid om innovatieve oplossingen toe te passen. Deze mogelijkheden kunnen liggen bij nieuwe materialen, maar ook bij nieuwe bouwmethoden. Wanneer het gaat om het vervangen van een brug of viaduct moet het niet alleen technisch weer tientallen jaren mee kunnen maar het moeten ook functioneel voldoen aan de gebruikseisen die we vandaag de dag aan nieuwe objecten stellen. Dit wordt de strategische visie op vervanging en renovatie genoemd. Door het toepassen van deze strategische visie wordt er geanticipeerd op de toekomst. (bron: Blom, M. C. A., 2013)

4.4.1 Conditie scores bruggen en viaducten

De theoretische conditie van een object is zeer belangrijk om te bepalen wanneer het object vervangen of gerenoveerd moet worden. Objecten als bruggen en viaducten worden doorgaans elke 6 jaar geïnspecteerd. Met behulp van de NEN 2767 wordt er een conditiemeting uitgevoerd. Dit is een checklist waarmee de technische staat van een object bepaalt kan worden van zowel een gebouw als een infrastructureel bouwdeel.

Het doel van de NEN 2767 is het uniform inspecteren en in kaart brengen van de technische staat van objecten. Het uitgangspunt van deze NEN was de behoefte aan een onafhankelijke registratie van de conditie van onroerend goed of infrastructuur. Er kan makkelijk worden vergeleken tussen verschillende condities van objecten omdat elk object zijn eigen conditiescore krijgt. (bron: NEN 2767)

De conditiescore van de NEN wordt weergegeven op een schaal van 1 tot en met 6. Score 1 representeert de nieuwbouwstaat en score 6 de slechtst aan te treffen conditie, zie Tabel 3. Rijkswaterstaat heeft op dit moment geen bruggen of viaducten met de score 6. De belangrijkste conditiescores die betrekking hebben op de VenR opgave zijn conditiescore 4 en 5. Conditie score 4 betekent dat er vaker ingegrepen moet worden door (groot)onderhoud te plegen. Conditie score 5 betekent dat dat er nog vaker ingrepen nodig zijn en het object op onvoorspelbare tijden afgesloten kan worden wanneer de constructieve veiligheid in het geding is. De omschrijving van de conditiescores (NEN 2767) staan uitgewerkt in Bijlage B.

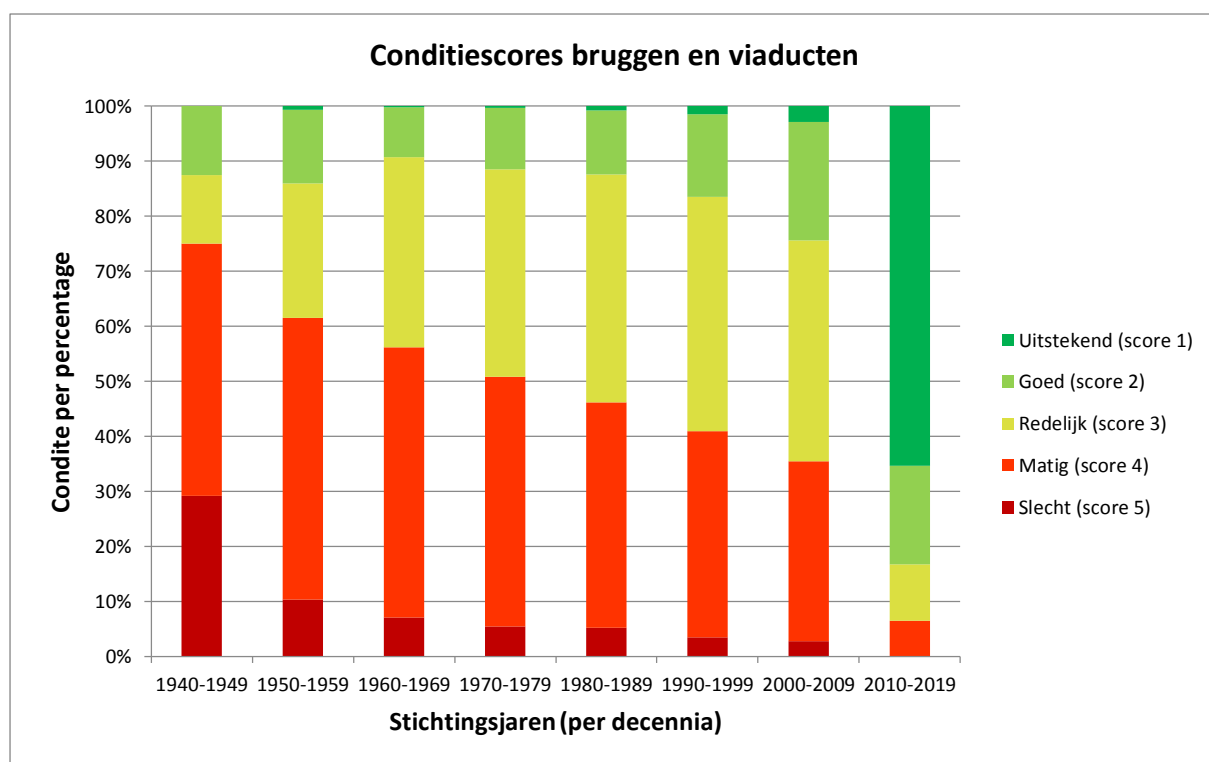
Conditie score	Omschrijving	Toelichting
1	Uitstekende conditie	Incidenteel geringe gebreken
2	Goede conditie	Incidenteel beginnende veroudering
3	Redelijke conditie	Plaatselijk zichtbare veroudering Functievervulling van objecten niet in gevaar

4	Matige conditie	Functieervulling van objecten in gevaar
5	Slechte conditie	De veroudering is onomkeerbaar
6	Zeer slechte conditie	Technisch rijp voor sloop

Tabel 3. NEN 2767 conditiescores (bron: NEN 2767)

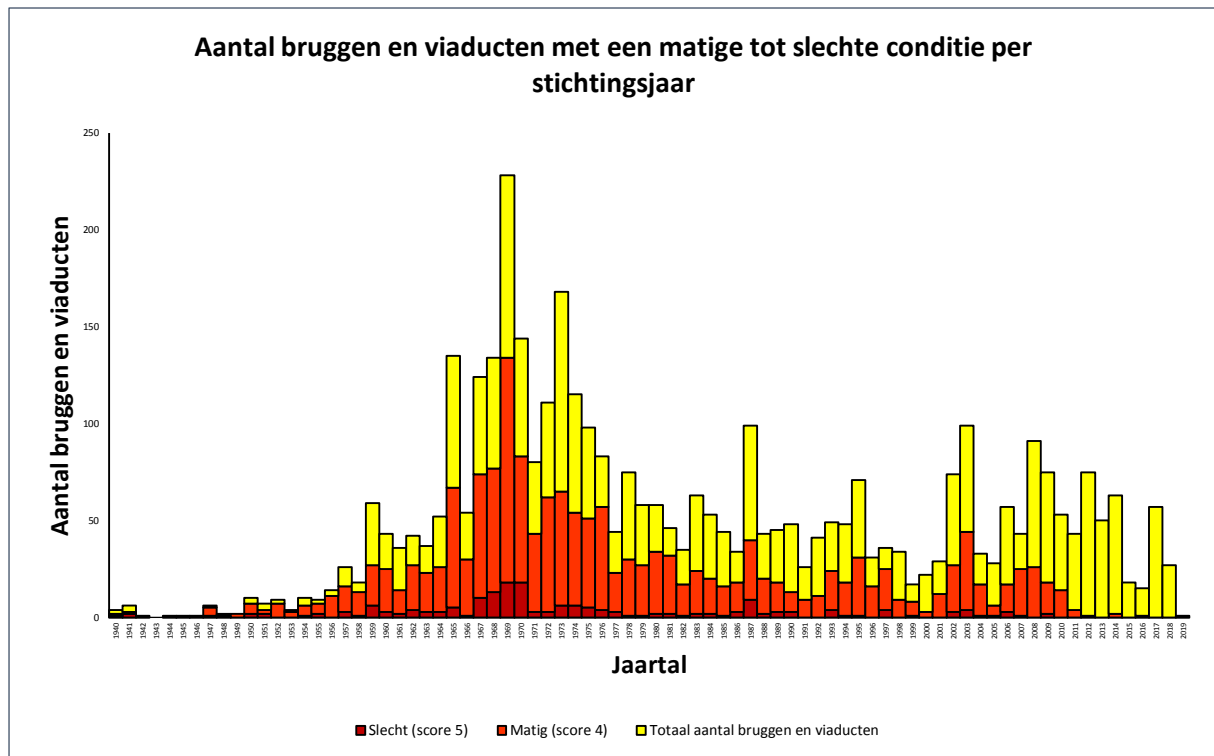
Bijna 50 procent van alle bruggen en viaducten gebouwd voor 1990 heeft een matige tot slechte conditiescore. Dit betekent dat bij deze objecten de functievervulling in gevaar kan komen. De kans dat bruggen en viaducten worden afgesloten voor verkeer is aanwezig wanneer er zich een incident voordoet. Van de bruggen of viaducten gebouwd voor 1950 heeft 75 procent van de objecten een matige tot slechte conditiescore. Dit heeft als oorzaak dat deze objecten bijna het einde van de technische levensduur bereiken. Het merendeel van de bruggen en viaducten gebouwd na 2010 heeft nog een uitstekende conditie. Opvallend is dat er een aantal objecten zijn die nog geen 10 jaar oud zijn, maar al wel een matige conditie hebben. De oorzaken hiervan kunnen liggen bij fouten in materiaalkeuze, ontwerp en/of uitvoering. (bron: NEN 2767)

In Figuur 10 staan de resultaten van de conditiescores per decennia waarin de bruggen en viaducten gebouwd zijn. De resultaten zijn uitgezet op een schaal van 0 procent tot 100 procent. Dit om een goed overzicht te creëren over de conditiescores per bouwperiode. (bron: NEN 2767) (bron: Rijkswaterstaat 2019a)



Figuur 10. Conditie score bruggen en viaducten per decennia (bron: NEN 2767) (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

RWS heeft momenteel meer dan 1700 bruggen of viaducten waarvan de conditie matig tot slecht is. Dat is meer dan 40 procent van alle bruggen en viaducten in Nederland. In Figuur 11 zijn deze objecten weergegeven tegenover het stichtingsjaar. Er is duidelijk een piek van verouderde objecten te zien gebouwd rond de jaren 60 en 70. Deze piek komt overeen met de verwachting van de VenR opgave. (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 11. Aantal bruggen en viaducten met een matig tot slechte conditie (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

Door de veroudering van de bruggen en viaducten neemt de capaciteit van het beton of staal af. Zie Hoofdstuk 7. Door de veroudering gaat de conditie achteruit waardoor ook de conditiescore slechter wordt. Naast degradatie door veroudering door veroudering kan een object ook degraderen ten gevolge van toenemend verkeer, normwijzigingen of onvoldoende onderhoud.

Door een toename van de verkeerintensiteit en een toename van de aslasten nemen de veranderlijke belastingen op het object toe. Dit is een nadelig effect op de levensduur van een object.

Normwijzigingen kunnen zorgen dat er minder grote belastingen op een object mogen worden toegelaten. Dit kan als gevolg hebben dat het object niet meer voldoet aan de eisen die een object vandaag de dag moet hebben.

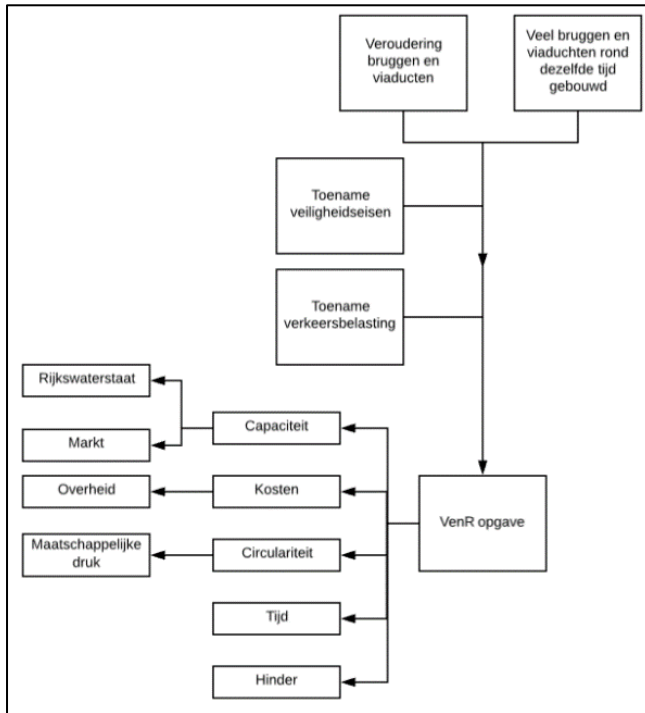
Goed en tijdig onderhoud kan de levensduur van een brug of viaduct tot op zekere hoogte verlengen. Maar het kan de ontwerp levensduur niet eindeloos blijven verlengen. Goed onderhoud houdt vermoeiing van staal niet tegen. Ook houdt goed onderhoud het indringen van chloriden in beton niet tegen. Om dit te realiseren moet er vervanging of renovatie plaats vinden, het starten van een nieuwe levenscyclus of het verlengen hiervan. Allen op deze manier vindt er “verjonging” van het materiaal plaats. Een bezuiniging op de hoeveelheid en kwaliteit van het onderhoud daarentegen heeft daadwerkelijk wel een negatief effect op de levensduur van het object. (bron: NEN 2767) (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

4.5 Aspecten die meespelen bij de Vervanging en Renovatie opgave

Vanuit verschillende aspecten worden er keuzes gemaakt binnen RWS. De belangrijkste aspecten die meespelen voor de keuzes die worden gemaakt binnen de VenR opgave zijn:

- Capaciteit
- Kosten
- Circulariteit
- Tijd
- Hinder

De verschillende aspecten spelen in verschillende mate mee bij een project. Dit komt omdat alle objecten van elkaar verschillen. Zo zijn de keuzes die gemaakt worden sterk afhankelijk van de locatie van het object en de verkeersintensiteit op het object. Echter hebben wel alle keuzes die gemaakt worden invloed op elkaar. In de meeste gevallen wordt een analyse per object gemaakt. In Figuur 12 is weergegeven waar deze aspecten invloed hebben op de keuzes die gemaakt worden binnen de VenR opgave.



Figuur 12. Invloed van verschillende aspecten op keuzes VenR

5. Huidige strategie

5.1 Programma Vervanging en Renovatie

Sinds 2012 is er het programma Vervanging en Renovatie om te anticiperen en proactief in te spelen op bruggen en viaducten die het einde van de technische levensduur bereiken. Stapsgewijs wordt er tot een afgewogen besluit gewerkt door hierin de volgende punten mee te nemen: het proces, inspecties, onderzoek, analyses, duurzaamheid en een meerjarige doorkijk (prognose).

Het programma Vervanging en Renovatie bestaat uit de volgende onderdelen:

- Het Onderzoeksprogramma VenR;
- Het Programma VenR Hoofdwegennet (HWN), Hoofdvaarwegennet (HVWN) en Hoofdwatersysteem (HWS).

Het onderzoeksprogramma VenR richt zich vooral op het voortraject en heeft primair als doel het inzichtelijk maken van de staat van het RWS-areaal met betrekking tot einde technische levensduur. Daarnaast ontwikkelt het onderzoeksprogramma systematieken en kaders om de VenR opgave aan te pakken. En zorgt het voor informatie/factsheets hierover

Het Programma VenR HWN, HVWN en HWS richten zich vooral op het coördineren en ondersteunen van met name het traject van besluitvorming in de plan- en realisatiefase. Op basis van het onderzoeksprogramma worden beslissingen genomen voor de VenR-programma's HWN, HVWN en HWS. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 13 februari)

5.2 Prognoserapport

Het prognoserapport is een eerste stap binnen het proces om een strategische visie op te stellen en wordt opgesteld met input uit het Onderzoeksprogramma. Elke twee jaar wordt er een overzicht gegeven. Deze rapporten vormen daarmee de basis voor de budgetreservering voor de verwachte vervangingsopgave (voor de komende decennia) op de Rijksbegroting. Het prognoserapport van december 2014 was voor RWS de aanleiding om een strategische visie voor het VenR proces op te stellen. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 13 februari)

5.3 Beschrijving proces

5.3.1 Inleiding en doel

Voor het VenR-programma is een proces opgesteld. Dit proces wordt in zes stappen doorlopen. Het doel is het systematischer en planmatiger te werk gaan met VenR en daarnaast het eenvoudiger maken van de besluitvorming. Voor het VenR-proces zijn uitgangspunten opgesteld die aangehouden worden in het proces.

5.3.2 Uitgangspunten

1. Huidige beleidskaders en wet- en regelgeving aanhouden;
2. Besluitvorming vindt plaats op basis van Life Cycle Costs (LCC); RWS brengt ook de LCC-consequenties in beeld, opdat VenR kan worden gewogen op basis van de corridor/systeem functieontwikkeling en eventueel aanleg en BenO;
3. Behoud van functionaliteit op corridor/netwerk(deel)niveau is uitgangspunt. Een wijziging in functionaliteit moet apart worden aangegeven;
4. Er wordt niet buiten de budgettaire kaders getreden.

Tussen de vaststelling en het definitieve einde van de levensduur worden er maatregelen getroffen om de kunstwerken operationeel te houden. Per object worden er voorstellen uitwerkt hoe het

probleem kan worden opgelost volgens LCC-methodiek en aan de hand van de afwegingscriteria en wijze van prioriteren. Hierbij worden de volgende opties uitgewerkt:

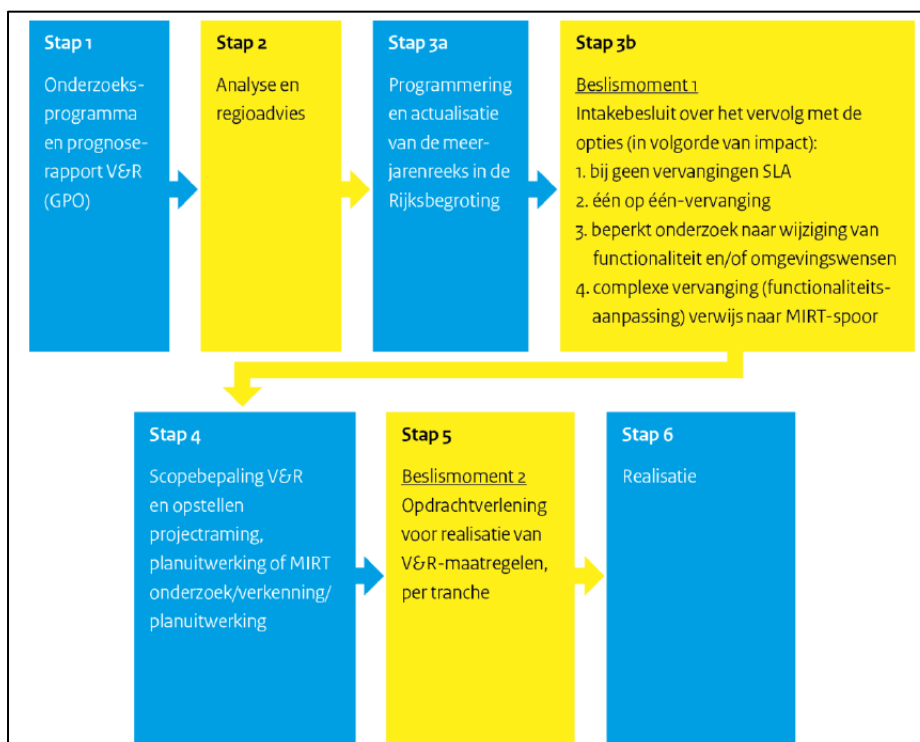
- Niets doen (monitoren, ingrijpen wanneer nodig);
- Frequentere en intensievere controle en onderhoud (schade herstellen, levensduur wordt niet wezenlijk verlengd);
- Gebruiksbeperking hanteren (functionaliteit afbouwen);
- Renoveren;
- Vervangen.

5.3.3 Wijze van prioriteren

Omdat niet alle objecten op hetzelfde moment meegenomen kunnen worden wordt er geprioriteerd. Voor de drie netwerken gelden de volgende gemeenschappelijke criteria:

1. Gestelde kaders bepalen in eerste instantie zowel de noodzaak als de mogelijkheden;
2. Prioriteren op basis van risicosturing volgens de RAMSSHEEP-methodiek, zodat zowel aanleg, BenO als VenR tezamen en in samenhang van het gehele netwerk of systeem worden geprioriteerd;
3. Calamiteiten kunnen leiden tot een andere prioriteitsstelling;
4. Maatregelen om te voldoen aan wet- en regelgeving gaan boven andere maatregelen;
5. Te bereiken synergie met andere maatregelen: Vervanging en Renovatie projecten kunnen tegelijkertijd worden opgepakt met aanlegprojecten, ook van andere overheden, en/of BenO- programmering indien dit leidt tot synergie en kostenbesparing en dit binnen de financiële randvoorwaarden past.

Naast deze gemeenschappelijke criteria zijn er voor de drie netwerken aanvullende netwerkspecifieke afwegingscriteria. Het proces voor het VenR-programma betreffen zes stappen die doorlopen worden. Figuur 13 geeft dit proces schematisch weer. Zie Bijlage C voor een toelichting bij de stappen van het processchema. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 31 augustus)

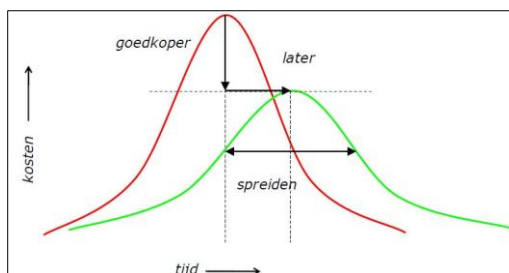


Figuur 13. VenR-proces volgens de strategische visie VenR (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)

6. Gewenste situatie

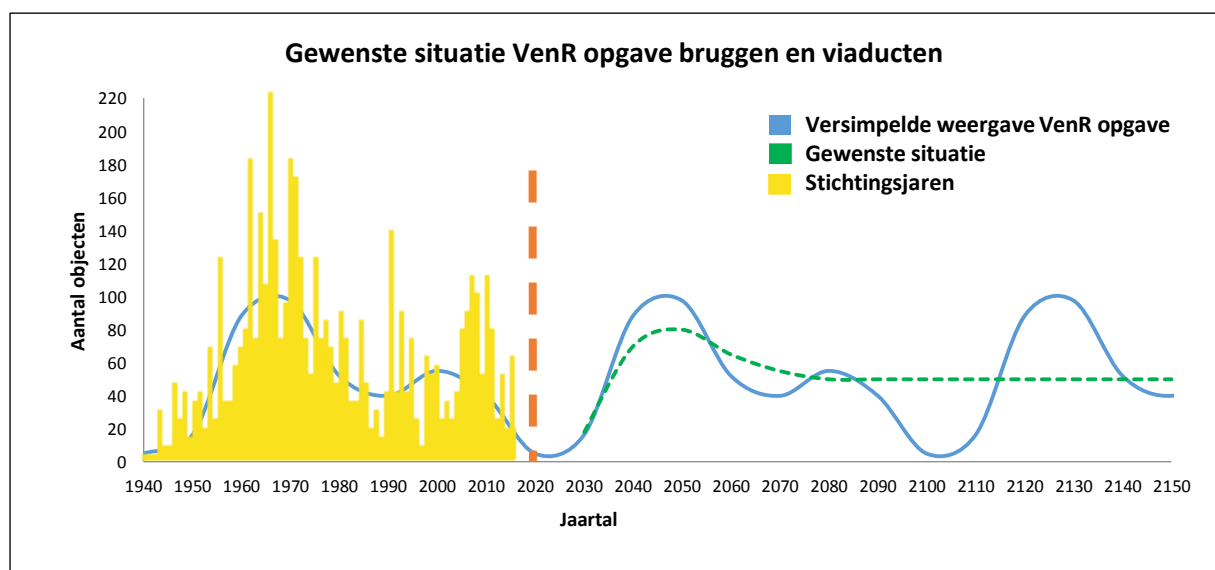
In de huidige strategie vindt de besluitvorming plaats op basis van een LCC-analyse. Het besluit dat wordt genomen is gericht op één brug of viaduct. Belangen van andere bruggen en viaducten worden niet expliciet meegenomen hierin. De keuze die wordt gemaakt voor het object is gunstig voor dat ene object, maar over alle objecten gezien kan dit een minder goede strategische keuze zijn. De keuze die gemaakt wordt kan anders zijn wanneer er naar alle objecten wordt gekeken dan naar één object. Het is gewenst om alle objecten te beschouwen en hieruit een beslissing te nemen die het meest gunstig is voor alle bruggen en viaducten en niet voor één object. De aspecten circulariteit, capaciteit, tijd, hinder en kosten spelen een belangrijke rol in de keuzes.

De gewenste situatie van RWS is dat elk jaar ongeveer hetzelfde aantal bruggen en viaducten vervangen of gerenoveerd moet worden zodat de financiering hiervan dan beter gespreid is. Om een gelijkmatig gespreide VenR opgave te kunnen bewerkstelligen moeten de pieken en dalen uit deze opgave worden gehaald. In Figuur 14 geeft de groene lijn de gewenste ontwikkeling weer. Door het aantal bruggen en viaducten te spreiden over een langere periode geeft dit ook een daling van de kosten op de piek van de VenR opgave. De investeringen zijn gelijkmatiger gespreid. In dit hoofdstuk zal verder toegelicht worden waarom een gelijkmatige gespreide VenR opgave ten goede zal komen voor de aspecten capaciteit, kosten, circulariteit, tijd en hinder. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 31 augustus)



Figuur 14. Gewenste ontwikkelingen (bron: Molenkamp, L., 2019)

In Figuur 15 wordt de VenR opgave versimpeld weergegeven over een gemiddelde periode van 10 jaar met daarin de gewenste situatie weergegeven met de groen stippellijn. De pieken en dalen zijn hierin gelijkmatig gespreid tot een rechte lijn van de te vervangen of te renoveren bruggen en viaducten. (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 15. Versimpelde weergave gewenste situatie VenR opgave bruggen en viaducten (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

6.1 Capaciteit

6.1.1 Capaciteit binnen de bouwsector

Momenteel is er een structureel tekort aan arbeidskrachten binnen de bouwsector. Er zijn in de komende periode duizenden nieuwe arbeidskrachten nodig. De komende periode zal de vraag naar vakmensen groter zijn dan het aanbod. Door de maatschappelijke ontwikkelingen wordt het steeds moeilijker om arbeidskrachten in de technische sector te vinden. De instroom via de opleidingen stijgt, allen duurt het opleiden lang en is het niet genoeg om het personeelstekort af te wenden. (bron: Van der Post, M. , 2018). Door deze schaarse inzet van technische mensen en middelen ontstaat er een steeds groter wordende projectendruk. Dit probleem wordt vaak onderkend omdat het nog niet eerder in Nederland is voorgekomen dat er een tekort is aan technische vakmensen.

Dit personeelstekort heeft een nadelige invloed op de VenR opgave. Omdat er in het piekmoment van de VenR opgave honderden bruggen en viaducten tegelijkertijd aan vervanging of renovatie toe zijn vraagt dit een grote capaciteit van de markt. Echter omdat de capaciteit beperkt is, kunnen niet alle arbeidskrachten in worden gezet op de projecten. Dit leidt weer tot uitstel van de projecten.

Wanneer de VenR opgave van bruggen en viaducten gelijkmatig wordt gespreid ontstaat een stabiele opdrachtenstroom. Als opdrachtgever kan RWS met deze stabielere opdrachtenstroom meer zekerheid creëren voor de marktpartijen. Door een goede verdeling van de capaciteit wordt de markt minder conjunctuurgevoelig en dit zorgt voor een stabiele werkgelegenheid binnen de bouwsector. Door deze zekerheid blijft de sector aantrekkelijk om in te werken. (bron: Doodeman, M. , 2018).

6.2 Kosten

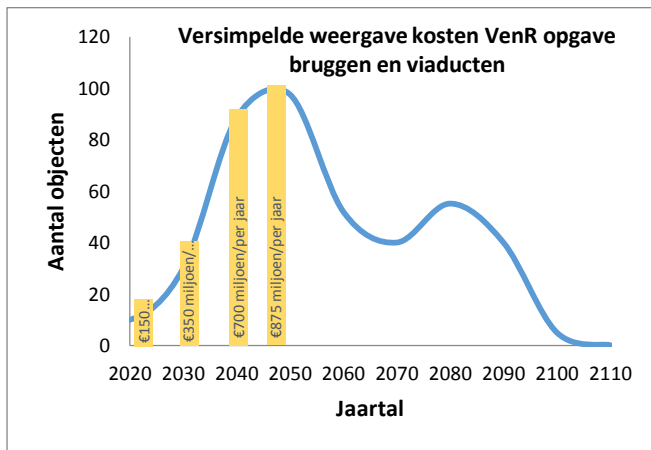
6.2.1 Kosten door hinder

Hinder en kosten hebben een relatie met elkaar. Hinder zal bijna altijd meer kosten veroorzaken. Minder hinder betekent ook minder files op de weg. Files veroorzaken niet alleen ergernis maar ook grote financiële schade. Files kosten Nederland per jaar ongeveer 1,2 miljard. (Bron: NU.nl, 2010) Zie Bijlage D.1 voor de toename van het aantal voertuigverliesuren in de komende jaren. Files en filekosten zullen niet voorkomen kunnen worden door het toepassen van een nieuwe strategie binnen de VenR opgave. Wel kan tijdens de vervanging en renovatie van bruggen en viaducten de hinder verminderd worden door de bouwtijd te verkorten. Hierdoor hebben weggebruikers en omwonende minder lang last van de hinder. (bron: Termaat, G., & Bakker, A. ,2017)

6.2.2 Rijksbegroting

Een direct gevolg van een gelijkmatige gespreide capaciteit is een gelijkmatig gespreid kostenpatroon voor het Rijk. Uit het Rijk zal elk jaar ongeveer dezelfde budgettering vrijkomen. Dit zal ten goede komen voor alle partijen omdat de werkgelegenheid ook beter gespreid is. Het Ministerie IenW heeft in de begroting de komende jaren meer budget beschikbaar gesteld voor onder andere de vervanging en renovatie van infrastructuur. Er wordt ingezet op het verjongen, vernieuwen en verduurzamen van de infrastructuur. De aankomende jaren zal er een budget van € 150 miljoen per jaar in de periode tot 2020 beschikbaar zijn. En na 2020 wordt dit op € 350 miljoen per jaar geschat. Dit budget is bij lange na niet genoeg om in de jaren 2020-2030 de hoge vervangingsopgave op te vangen. De reden hiervoor is dat het aantal bruggen en viaducten dat vervangen of gerenoveerd moet worden verder zal stijgen ten opzichte van het aantal in 2020-2030. De echte piek komt in de periode 2040-2060. Het budget zal dus de aankomende jaren nog hoger moeten zijn. Het spreiden van deze opgave kan helpen om de pieken in de begroting af te vlakken. In Figuur 16 is een versimpelde weergave waarin de mogelijke kosten die de VenR opgave van bruggen en viaducten met zich mee brengt weergegeven. Figuur 16 is gebaseerd op het prognoserapport van RWS. (bron: Klatter, L., Roebbers, H., Van den Hark, M. , 2017) Over de periode na 2030 kunnen nog geen exacte

kosten worden geschat. Op het moment dat de piek in de VenR opgave geweest is zullen de kosten sterk afnemen. (bron: Evofenedex, 2018)

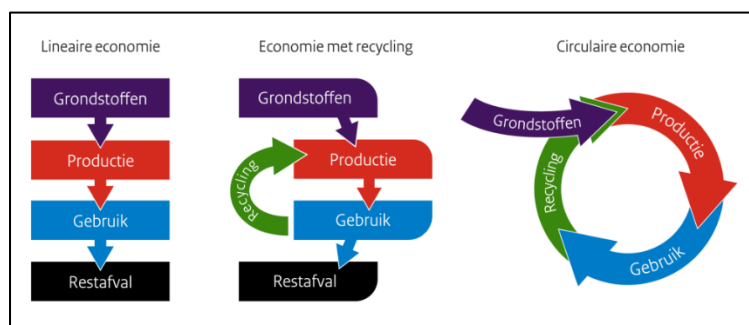


Figuur 16. Kosten VenR opgave bruggen en viaducten

6.3 Circulariteit

6.3.1 Circulariteit

Bij circulariteit gaat het om een circulaire economie waarbij geen afvalproducten ontstaan maar volledig als materiaal terugkomen in de keten. Het is het tegenovergestelde van het traditionele gebruik van producten. Vroeger werden producten aangeschaft, gebruikt en daarna weggegooid. Hierdoor ontstond enorm veel restafval. Dit wordt de lineaire economie genoemd. Na het lineaire proces ontstond recycling. Recycling houdt in dat delen van producten na het gebruik weer verwerkt worden in de productie van nieuwe producten. Het gaat hierbij om hoogwaardig hergebruik van materialen in de bouwsector. Echter bij het recyclen blijft nog steeds een gedeelte restafval over, bij de circulaire economie is er geen restafval meer. Alle materialen worden na gebruik volledig gedemonteerd en later als materialen opnieuw gebruikt. Circulariteit zorgt voor een streven naar een wereld zonder afvalproducten waarbij grondstoffen en producten hun waarde behouden. In Figuur 17 zijn deze drie methoden weergegeven. (bron: Rijkswaterstaat, 2019, 30 januari)



Figuur 17. Circulariteit (bron: Rijkswaterstaat, 2019, 30 januari)

6.3.2 Circulariteit binnen Rijkswaterstaat

RWS heeft als doelstelling om in 2030 circulair te werken, wat een belangrijke tussenstap is naar het circulair zijn in 2050. Onder circulair werken verstaat RWS: werkprocessen en contracten zo inrichten dat we zo weinig mogelijk primaire grondstoffen gebruiken, bestaande materialen hoogwaardig hergebruiken en daardoor zo min mogelijk afval produceren en koolstofdioxide (CO₂) uitstoten. Hoogwaardig betekent bijvoorbeeld oud beton gebruiken als grondstof in de productie van nieuw beton. Oud beton hergebruiken in de fundering van de weg valt hier dus niet onder. Dit valt onder

het laagwaardig hergebruiken. Vandaag de dag worden in de bouwwereld al veel materialen gerecycled, maar op een laagwaardige manier. (bron: Gopie, D., 2018)

6.3.3 Circulariteit binnen de Vervanging en Renovatie opgave

Het enthousiasme en de bereidwilligheid om circulair te werken groeit binnen RWS maar ook daarbuiten. In een aantal projecten zijn er al concrete resultaten geboekt en is er al kennis opgedaan. Toch hapert de ontwikkeling omdat de ambitie onvoldoende wordt overgebracht richting de projecten. Projecten waarbij er in de planfase heel ambitieus gereageerd werd op het onderwerp circulariteit, worden in de realisatiefase toch niet altijd circulair uitgevoerd. (bron: Gopie, D., 2018) Zodra circulariteit voor afwijkingen zorgt in het proces, planning of risico's ziet men in de praktijk toch liever af van dit denkbeeld. Zodra het aantal projecten per jaar te groot wordt, zal de wil en de mogelijkheid om circulair te werken afnemen. De capaciteit binnen RWS en de partners zal gewoonweg te klein zijn om ook in de pieken van de VenR opgave circulair te werken. Marktpartijen krijgen te weinig tijd om innovaties aan te kunnen bieden. Wanneer de VenR opgave gelijkmatig verdeeld is, is er de mogelijkheid om structureel circulair te werken omdat de spreiding in capaciteit van de markt er RWS dan ook beter is. Dit is essentieel om de ambitieuze doelen van 2030 en 2050 te kunnen behalen. RWS zal met meer proefprojecten moeten komen om in de toekomst circulair te kunnen werken. Wellicht kan het onderwijs input bieden naar het creëren van innovatieve ideeën. (bron: Gopie, D., 2018) (bron: Rijkswaterstaat, 2019, 30 januari)

6.4 Tijd

6.4.1 Bouwtijd

Bouwtijd en capaciteit hebben een grote samenhang. Als de capaciteit in de bouwsector toeneemt kan de bouwtijd van bruggen en viaducten korter worden. Simpel gezegd omdat er meer arbeidskrachten op één project zitten kan het proces sneller gaan. Dit kan echter tot op een zeker niveau, er is een optimaal aantal arbeidskrachten nodig om het project zo efficiënt mogelijk te laten verlopen. Een optimaal aantal arbeidskrachten is tevens te krijgen door een goede verdeling in het jaarlijks aantal projecten. Een gelijkmatige spreiding van de VenR opgave kan hieraan bijdragen. Wanneer er eens te kort is aan arbeidskrachten kan dit risico's opleveren voor de VenR opgave van bruggen en viaducten. Omdat er minder arbeidskrachten beschikbaar zijn, duurt een project gemiddeld genomen langer. Doordat deze projecten langer duren kunnen er minder projecten worden gedaan, waardoor het mogelijk is dat niet alle bruggen en viaducten op tijd worden vervangen of gerenoveerd. (bron: Opmeer-Demmers, C., 2018)

In de initiatieffase tot aan de werkvoorbereidingsfase kan, wanneer daar voldoende tijd voor gereserveerd is, meer nagedacht worden over innovatieve/alternatieve oplossingen om in de uitvoeringsfase de bouwtijd te verkorten. Een beter plan vooraf kan zorgen voor besparing op de bouwtijd. Deze besparing hoeft immers niet ten koste te gaan van de kwaliteit. Besparing op tijd heeft ook een positief effect op de kosten en de hinder. (bron: Opmeer-Demmers, C., 2018)

6.5 Hinder

De werkzaamheden die RWS uitvoert in het kader van vervanging of renovatie gaan vrijwel altijd gepaard met hinder voor gebruikers van het hoofd- en vaarwegennet. Maar al deze werkzaamheden zijn wel noodzakelijk om het netwerk betrouwbaar, beschikbaar en veilig te houden. RWS doet er alles aan om hinder zoveel mogelijk te beperken en vraagt marktpartijen om met innovatieve ideeën te komen die daaraan kunnen bijdragen. Hinder veroorzaakt veel files met als bijkomend gevolg dat de CO₂ uitstoot sterk zal toenemen. (bron: Opmeer-Demmers, C., 2018)

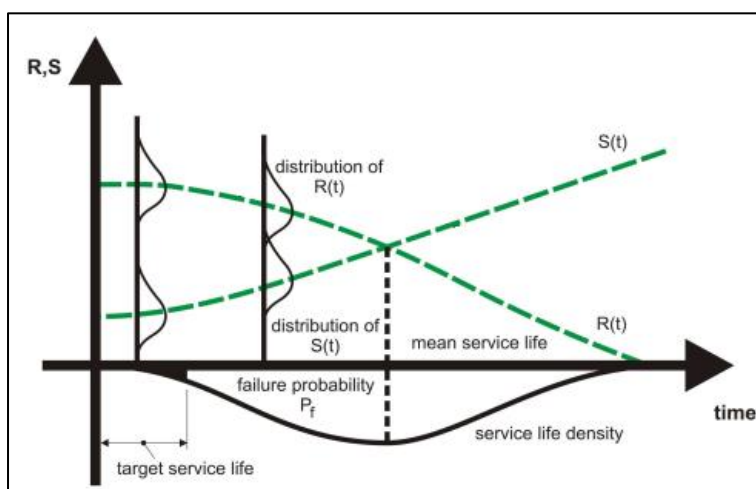
7. Invloed van capaciteit tegenover belasting

De verkeersbelasting en de verkeersintensiteit op het netwerk neemt toe terwijl het netwerk steeds kwetsbaarder wordt vanwege de leeftijd. De bruggen en viaducten die kort na de Tweede Wereldoorlog zijn gebouwd waren destijds ontworpen met de geldende ontwerpnormen voor verkeersbelastingen en gebouwd met de bouw- en materiaalkennis van die tijd. Tegenwoordig is deze kennis beter en zijn de ontwerpnormen scherper. Naast het verouderen van de kunstwerken zijn de verwachtingen van de omgeving ten aanzien van de bereikbaarheid en beschikbaarheid hoog. De uitdaging is om de kwaliteit van het netwerk te vergroten of op zijn minst te borgen. Om te voorkomen dat de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het netwerk afneemt wordt dit deels opgevangen door de aanleg van nieuwe infrastructuur, fysieke aanpassing van bestaande infrastructuur en andere filemaatregelen. Deels wordt dit gedaan door de kunstwerken te verjongen, te vernieuwen en te verduurzamen via het VenR programma. Het grootste risico hierbij is dat dit niet snel genoeg gedaan wordt en het aantal storingen en files toeneemt waardoor de verwachtingen niet waargemaakt worden. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 3 september)

Twee ontwikkelingen beïnvloeden de kwaliteit en betrouwbaarheid van de bruggen en viaducten:

- Ontwikkeling van de belasting;
- Ontwikkeling van de capaciteit/sterkte.

Wanneer een brug of viaduct wordt gedimensioneerd wordt er dan ook rekening gehouden met de geldende normen en de hierbij geldende veiligheidseisen. Bij het dimensioneren wordt dan gekeken naar het verkeersmodel. In de Figuur 18 wordt de samenhang tussen gebruik en levensduur van een object schematisch weergegeven. Met de lijn $R(t)$ is de afname van de capaciteit/sterkte weergegeven. In werkelijkheid is deze afname voor elk faalmechanisme anders, de faalmechanismen van staal en beton staan globaal weergegeven in Hoofdstuk 7.2. Naarmate het object ouder wordt dan neemt de faalkans toe. Het punt waar de lijnen $S(t)$ en $R(t)$ elkaar kruisen is de kans op bezwijken 50%. De meeste bruggen en viaducten in de VenR opgave bevinden zich niet meer aan het begin van de curves, maar aan het einde. Dit is waar de lijnen $S(t)$ en $R(t)$ elkaar kruisen. Dit betekent dat er ingrepen middels renovatie of vervanging nodig zijn om de constructieve veiligheid van het object te waarborgen. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 3 september) (bron: Rijkswaterstaat, 2007)



Figuur 18. Samenhang gebruik-levensduur van een object (Rijkswaterstaat 2019)

Waarin:

$R(t)$ = de ontwikkeling van de capaciteit/sterkte van een object is (aantasting of vermoeiing)

$S(t)$ = de ontwikkeling van de belasting van een object (toename verkeer)

7.1 Toename belasting

De verkeersintensiteit is de afgelopen tientallen jaren sterk toegenomen. Er zijn meer vrachtwagens en grotere vrachtwagens bijgekomen en al deze vrachtwagens werden steeds zwaarder beladen gedurende de periode. Hierdoor is de asbelasting (het gewicht per as van een voertuig/ het aantal assen) van vrachtwagens toegenomen met als gevolg een grotere belasting op het wegdek en bruggen en viaducten. Daarnaast zijn de veiligheidseisen voor kunstwerken aangescherpt. Omdat de eisen zijn aangescherpt mogen de toegestane aslasten niet zwaarder worden. Zowel de toenemende verkeersintensiteit als de verkeersbelasting hebben een negatief effect op de conditie van bruggen en viaducten. Dit heeft als gevolg dat er veel objecten de technische levensduur niet halen. In het verkeersmodel worden voor belastingen de volgende punten meegenomen (belastingmodel van een brug of viaduct):

- Voertuigafmetingen;
- Verkeersintensiteiten;
- Onderlinge afstanden tussen de voertuigen;
- Voertuigsnelheden (in verband met dynamica).

Hierbij moet opgemerkt worden dat de vloeiende lijn voor $S(t)$ meestal veel meer een lijn van ups-and-downs is. Voor de ontwikkeling van de verkeersbelasting speelt bijvoorbeeld de economische ontwikkeling een belangrijke rol.

Een toename van de belasting op bruggen en viaducten wordt veroorzaakt door het toenemende gewicht en aantal voertuigen. De bruggen en viaducten waren destijds ontworpen met de geldende ontwerpnormen voor verkeersbelastingen. In die periode waren er dan ook geen problemen, echter in de loop der jaren zijn zowel de verkeersintensiteit als de verkeersbelastingen sterk toegenomen. Wat betreft de verkeersintensiteit is er te zien dat er meer, verder en vaker kilometers worden afgelegd over wegen. Bij de verkeersbelasting is terug te zien dat het laadvolume en het gewicht per voertuig (met name vrachtwagens) is toegenomen de laatste jaren. Deze belasting toename is in Figuur 18 weergegeven met een vloeiende lijn. Echter is deze lijn niet geheel vloeiend, maar afhankelijk van de economie. Een economische crisis zorgt voor een daling van de verkeersintensiteit en de verkeersbelasting, een economische bloei zorgt daarentegen voor een groei van de verkeersintensiteit en de verkeersbelasting.

Verwacht wordt dat het aantal voertuigkilometers in de periode 2018 - 2023 verder zal toenemen van 70 naar 80 miljard voertuigkilometers. (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018). Daarnaast zal het reistijdverlies ook verder oplopen, dit zal meer zijn dan vergeleken met het voertuigkilometers. De oorzaak hiervan is dat er de komende jaren relatief weinig strookkilometers bijkomen, maar het aantal voertuigen wel verder toeneemt. Verwacht wordt dat er een toename is van het vrachtverkeer, hierbij zal het gaan om het aantal maar ook om verandering van het vrachtverkeer in toename van laadvolume en gewicht maar ook truck platooning. In Bijlage D.1 en D.2 wordt de toename verkeersintensiteit en verkeersbelasting verder uitgewerkt. (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2010) (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018)

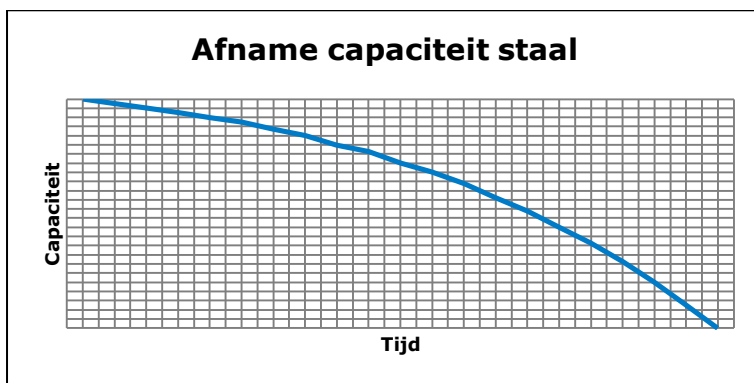
De invloed van een toenemende belasting op bruggen en viaducten is nadelig voor de VenR opgave, dit omdat er meer bruggen en viaducten niet het einde van de technische levensduur halen omdat deze niet zijn ontworpen op deze hoeveelheden en belastingen. Wanneer de belasting op de bruggen en viaducten verder toeneemt worden bij meerdere objecten het einde van de technische levensduur niet gehaald. Dit betekent dat er meer objecten eerder dan verwacht gerenoveerd of vervangen moeten worden.

7.2 Afname capaciteit

In het verkeersmodel worden voor de afname van capaciteit de volgende punten meegenomen (onderdelen van bruggen en viaducten ten aanzien van sterkte, vermoeiing of bruikbaarheid):

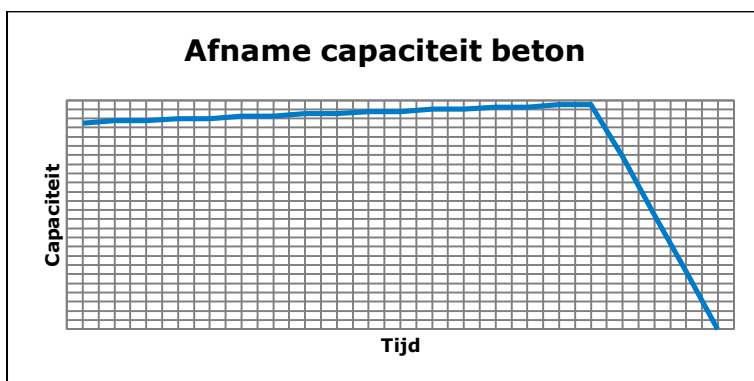
- Details (voegen en opleggingen): wiellasten en wielafmetingen;
- Middelgrote onderdelen (Rijdek): aslasten en aslastconfiguraties;
- Hoofdonderdelen (Hoofddraagconstructies): voertuiggewichten en voertuigconfiguraties.

In Figuur 17 geeft de lijn $R(t)$ de afname van de capaciteit weer. Stalen bruggen verouderen op basis van vermoeiing veroorzaakt door de belasting van verkeer met bijbehorende trillingen. Het faalmechanisme bij staal is dus: vermoeiing. De afname van de capaciteit verloopt bij stalen bruggen zoals weergegeven in Figuur 19. De afname van de capaciteit van stalen bruggen verloopt dus geleidelijk.



Figuur 19. Afname capaciteit staal (bron: Rijkswaterstaat, 2019)

De afname van de capaciteit loopt bij beton anders dan bij staal. Wat betreft beton zal de lijn eerst iets stijgen vanwege sterktetoeename, maar gaat op een bepaald punt (wanneer de wapening begint met corroderen) sterk dalen. Het faalmechanisme bij beton is: betonbreuk door corrosie van het wapeningsstaal. Dit is weergegeven in Figuur 20.



Figuur 20. Afname capaciteit beton (bron: Heidelberg Cement Group., z.d.)

In Bijlage E.1 en E.2 wordt de afname van de capaciteit van respectievelijk staal en beton verder uitgewerkt.

De afname van de capaciteit heeft een negatieve invloed op de VenR opgave. Wanneer de capaciteit het kritieke punt bereikt moet er worden ingegrepen en worden gerenoveerd of vervangen. Wanneer er onderhoud wordt uitgevoerd zal deze lijn weer omhoog gaan. Dit heeft een positief effect op de VenR opgave waardoor er minder snel ingrijpen nodig zijn.

Een normwijziging heeft over het algemeen een negatief effect voor de VenR opgave. Wanneer normen strenger worden betekent dit dat de capaciteit bij het ingaan van de norm sterk zal dalen. Het kan voorkomen dat door het wijzigen van de norm dat bruggen en viaducten die eerst voldeden nu worden afgekeurd. Wanneer er meer viaducten worden afgekeurd betekent dit een toename van het aantal objecten in de VenR opgave.

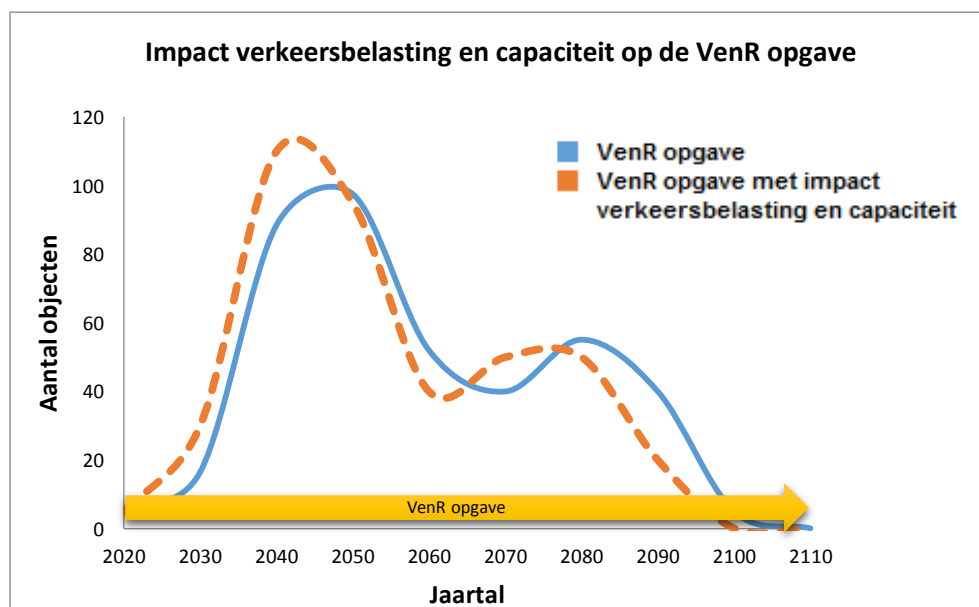
7.3 Impact belasting en capaciteit op de Vervanging en Renovatie opgave.

De toename van de verkeersbelasting en de afname van de capaciteit van de constructie zorgen beiden voor een snellere degradatie van bruggen en viaducten. Een snellere degradatie van de bruggen en viaducten over het gehele areaal beschouwd heeft het volgende effect op de VenR opgave:

- De piek in de VenR opgave komt eerder in de tijd mits er niet meer wordt geïnvesteerd in beheer en onderhoud;
- De piek in de VenR opgave wordt hoger.

De piek zal eerder komen omdat de gemiddelde technische levensduren van de objecten korter wordt. Door de forse toename van de verkeersbelasting en de afname van de capaciteit wordt deze levensduur theoretisch korter. Dit betekent dat de bruggen en viaducten eerder aan vervanging of renovatie toe zijn. Om de technische levensduur van deze constructie toch te behalen zal er meer moeten worden geïnvesteerd in beheer en onderhoud. Wanneer beheer en onderhoud niet meer rendabel is moet er worden gerenoveerd of vervangen.

De piek kan ook hoger uitkomen dan theoretisch het geval is als er niet meer wordt geïnvesteerd in beheer en onderhoud. Dit komt omdat de verkeersbelasting steeds groter wordt door de jaren. De verkeersbelasting krijgt een steeds groter effect op de objecten en indirect ook op de VenR opgave. In Figuur 21 geeft de blauwe lijn de VenR opgave weer zoals deze al eerder is geschetst, de oranje stippellijn geeft een scenario weer waarbij de piek hoger wordt en eerder komt. (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

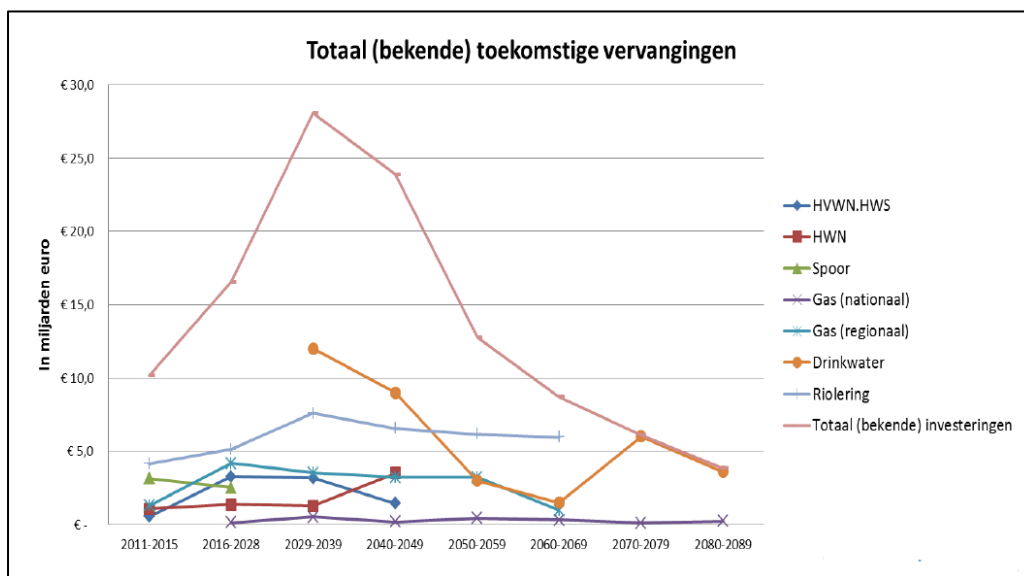


Figuur 21. Impact verkeersbelasting en capaciteit op de VenR opgave (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

8. Verschillende visies op de Vervanging en Renovatie opgave

8.1 Soortgelijke vervangingsopgaven

Vervangingsopgaven zijn niet nieuw, maar komen al jaar en dag voor bij verschillende sectoren. Zo wordt bijvoorbeeld binnen het wagenpark van een leasemaatschappij de oude modellen vervangen door nieuwe duurzame modellen. Denk ook aan de Chinese Muur, deze is al honderden jaren oud en is nog steeds in relatief goede staat doordat er regelmatig renovaties plaats vinden. Op deze manier vindt er verjonging plaats van dit eeuwenoude bouwwerk. De VenR opgave is de grootste opgave uit de geschiedenis van RWS. Soortgelijke opgaven spelen momenteel in bijna de gehele bouwsector. Om deze vervangingsvragen uit te voeren zijn zowel vakmensen als de benodigde hoeveelheid geld vereist. In Figuur 22 is een weergave van de totale kosten die verbonden zijn aan de verschillende vervangingsopgaven.



Figuur 22. Vervangingsinvesteringen (bron: Klatter, L., 2010)

8.1.1 Soortgelijke vervangingsopgaven binnen andere afdelingen van Rijkswaterstaat
Binnen RWS zijn er meerdere afdelingen waar een VenR opgave speelt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de afdeling Tunnels en Natte Kunstwerken (T&N). Bij deze afdeling is al de VONK-systematiek opgesteld: Vervangingsopgave Natte Kunstwerken, zie Bijlage F.1. Omdat de kunstwerken bij de afdeling T&N erg verschillen ten opzichte van bruggen en viaducten is deze systematiek niet direct toe te passen op bruggen en viaducten. (bron: Rijkswaterstaat., (z.d.).a) Hieronder staan punten benoemd die interessant zijn voor de VenR opgave van bruggen en viaducten:

1. Integrale benadering

Een benadering die vanuit de VONK-systematiek wordt meegenomen is de integrale benadering, hierbij wordt er niet één object beschouwd maar wordt ook in relatie met omgeving bekeken.

2. Naast vervangen en renoveren een andere mogelijkheid

Binnen de VONK-systematiek bestaan er een drietal keuzes:

- Vervangen;
- Opwaarderen (renoveren);
- Verminderen aantal kunstwerken (functievervulling door minder objecten).

8.1.2 Soortgelijke vervangingsopgaven binnen de bouwsector

Naast RWS zijn er ook andere overheden zoals provincies, gemeenten en waterschappen die te maken krijgen met een VenR opgave. Dit is zowel op het gebied van bruggen en viaducten als op gebied van andere bouwsectoren. Naast overheden zijn er binnen de bouwsector ook nog andere organisaties zoals woningbouwcorporaties.

8.1.2.1 Vervangingsopgave riolering

De rioleringssector heeft te maken met een vervangingsopgave omdat veel woonwijken na de Tweede Wereldoorlog in een korte periode zijn aangelegd met de bijbehorende riolering. Deze riolering nadert het einde van de technische levensduur. Bij de rioleringssector is al een strategie opgesteld. In Bijlage F.2.1 wordt de vervangingsopgave van riolering verder toegelicht. Hieronder staat de belangrijkste informatie beschreven met de punten die interessant zijn voor de VenR opgave van bruggen en viaducten.

1. Stijging gemiddelde levensduur

De gemiddelde levensduur van een rioolbuis is in de afgelopen jaren gestegen. Dit komt door betere reparatietechnieken. Deze stijging van de gemiddelde levensduur is in beperkte mate terug te zien bij (betonnen) bruggen en viaducten, zie Hoofdstuk 4. Wanneer deze stijging van de levensduur ook bij bruggen en viaducten wordt verwacht zal dit een gunstige uitkomst hebben voor de VenR opgave. Dit omdat het aantal bruggen en viaducten over de tijd meer gespreid zal zijn.

2. Slechtere grondslag

Gemeenten met een slechtere grondslag (zoals veen) hanteren een lagere technische levensduur voor de riolering. Wanneer dit voor bruggen en viaducten wordt meegenomen betekent dit dat er meer rekening gehouden moet worden met de fundering. Bij de afweging om te vervangen of te renoveren dient niet alleen de bovenbouw beschouwd te worden, maar ook moet in de afweging de staat van de onderbouw (fundering) worden meegenomen. Daarnaast betekent dit voor de VenR opgave dat bruggen en viaducten gefundeerde op een slechtere grondslag vaker en eerder vervangen of gerenoveerd dienden te worden vanwege een lagere technische levensduur. Dit houdt in dat er een spreiding van vervanging en renovatie is ten opzichte van de andere bruggen en viaducten.

3. Technisch staat niet de enige reden voor vervanging en renovatie

De aanleiding om riolering te vervangen of te renoveren is vaak niet dat het in slechte staat verkeerd. In de helft van de gevallen wordt riolering al vervangen voordat het einde van de technische levensduur is bereikt. Dit wordt gedaan omdat er zich vaak kansen voordoen om werkzaamheden gelijktijdig uit te voeren. Wanneer dit ook wordt gedaan bij bruggen en viaducten kan dit ten goede komen voor de VenR opgave. Wanneer er flexibeler wordt omgegaan met het vervangen of renoveren wordt de piek in de VenR opgave sterk gereduceerd. Daarnaast heeft het voordelen om in één keer een tracé te renoveren of te vervangen. Minder hinder voor de weggebruiker en lagere kosten omdat er niet meerdere projecten gestart dienen te worden.

4. Geen grote pieken verwacht

De rioleringssector verwacht dat de vervanging in werkelijkheid geen echte pieken laten zien. Dit omdat de levensduur per locatie al verschilt, maar ook omdat de levensduur van delen van het rioleringsstelsel geprobeerd wordt op te rekken. Daarnaast zijn andere aspecten zoals het combineren van werkzaamheden en bepalen wanneer er wel en wanneer er niet

wordt gerenoveerd of vervangen. Voor de VenR opgave wordt ook verwacht dat de pieken in werkelijkheid minder zullen zijn, dit ook vanwege de spreiding in levensduur en omdat de levensduur wordt opgerekt. (bron: Stichting RIONED, 2013) (bron: Stichting RIONED, 2016)

8.1.2.2 Vervangingsopgave woningbouwcorporaties

In de periode van de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog zijn er naast civiele kunstwerken ook een grote hoeveelheid woningen gebouwd. De overeenkomst tussen de woningbouw en RWS is het feit dat er veel objecten gebouwd zijn in de periode kort na de Tweede Wereldoorlog. Maar er is ook een groot verschil, zo wordt er bij RWS een grote piek verwacht wat betreft vervanging en renovatie, dit is niet het geval bij de woningbouw. In Bijlage F.2.2 wordt de vervangingsopgave van de woningbouw verder toegelicht. Hieronder staat de belangrijkste informatie beschreven waarom er geen grote piek zit in de VenR opgave van de woningbouwsector. Daarnaast worden de punten die interessant zijn voor de VenR opgave van bruggen en viaducten beschreven.

1. Verschil in levensduur tussen soortgelijke objecten

De gemiddelde technische levensduur bij woningen bedraagt 120 jaar. Allen kan dit sterk verschillen tussen woningen onderling. Dezelfde type woningen die gebouwd zijn rond dezelfde tijd verschillen in technische staat heel veel van elkaar. De oorzaak hiervan is dat er kort na de Tweede Wereldoorlog een schaarste was aan bouwmaterialen. In sommige gevallen heeft dit goed uitgedaaid en in andere gevallen juist niet. Daarom wordt er een steekproef gedaan bij een aantal soortgelijke woningen om zo een gemiddelde te nemen. Voor de VenR opgave zou dit ook relevant kunnen zijn. Om op deze manier de huidige staat te achterhalen en te vergelijken met soortgelijke objecten.

2. Spreiding bouwperiodes

Een van de belangrijkste redenen dat er geen piek in de VenR opgave wordt verwacht is omdat er momenteel al veel spreiding is wat betreft leeftijdsopbouw van woningen. Over het hele areaal van een woningbouwcorporatie is er dus al voldoende spreiding. Echter lokaal kan het voorkomen dat er een wijk is met woningen uit dezelfde bouwperiode.

3. Acceptatie kwaliteitsdaling

Naast spreiding in bouwperiodes is er binnen woningbouwcorporaties een acceptatie van kwaliteitsdaling. Dit kan betrekking hebben op een daling van de technische kwaliteit of de woonkwaliteit. De reden voor de acceptatie hiervan is dat het niet rendabel kan zijn om te investeren. Woningbouwcorporaties hebben als doel het maken van winst en het leveren van woningen aan een grote doelgroep. Aan het netwerk van RWS worden op dit moment hoge eisen gesteld, wanneer er acceptatie van een kwaliteitsdaling wordt toegestaan door bijvoorbeeld minder zwaar vrachtverkeer toe te staan op (delen van) het netwerk. Wordt de piek in de VenR opgave lager, dit omdat er minder bruggen en viaducten zijn die in technische slechte staat worden gerekend.

4. Vervanging komt bijna niet meer voor

Woningen worden op dit moment vaker gerenoveerd, het vervangen van woningen komt weinig voor. Dit omdat het één op één vervangen van woningen niet interessant is wanneer er wordt gekeken naar de kosten in verhouding met de opbrengsten. Wat betreft de kosten is er eerst een vernietiging van de huidige waarde, met daarop de kosten voor het ontwerp en de nieuwbouw. De opbrengsten uit de verkoopwaarde wegen hier niet tegenop. Wanneer het gaat om het vervangen van één woning voor meerdere kan het juist wel interessant zijn.

Wat betreft de VenR opgave van bruggen en viaducten dient deze afweging wat betreft kosten meegenomen te worden. (bron: persoonlijke communicatie met Jaap van Velp)

8.1.3 Soortgelijke vervangingsopgaven binnen andere sectoren

Niet alleen binnen de bouwsectoren speelt er een VenR opgave, maar ook binnen andere sectoren. Deze sectoren verschillen erg ten opzichte van het beheren, vervangen en renoveren van bruggen en viaducten. Bij veel sectoren gaat het om objecten die aanzienlijk minder lang meegaan dan bruggen en viaducten. Echter zijn in veel van deze sectoren de objecten gestandaardiseerd en uniform, dit betekent dat het vervangen en renoveren van (onder)delen gemakkelijk plaatsvindt. Een voorbeeld van deze standaardisatie is terug te vinden in de scheepsbouw.

8.1.3.1 Vervangingsopgave scheepsbouw

Binnen de scheepsbouw speelt ook een vervangingsopgave, het gaat hierbij echter om het verkorten van de doorlooptijd. In Bijlage F.3.1 wordt de vervangingsopgave van de scheepsbouw verder toegelicht. Hieronder staat de belangrijkste informatie beschreven met de punten die interessant zijn voor de VenR opgave van bruggen en viaducten.

1. Duidelijke verhouding tussen partijen

Binnen de scheepsbouw en de opdrachtgevers zit een duidelijke structuur in de verhouding tussen de partijen. Deze duidelijke verhouding is zichtbaar bij de marine. Hier wordt duidelijk onderheid gemaakt tussen de normsteller, gebruiker en onderhouder. Doordat de verhoudingen tussen deze partijen duidelijk zijn wordt er zo optimaal mogelijk vervangen en gerenoveerd.

2. Standaardiseren en uniformeren

Om de doorlooptijd te verkorten binnen de scheepsbouw en zo de hinder te minimaliseren wordt er gewerkt met het bouwen volgens het modulaire systeem. Dit betekent dat de objecten gestandaardiseerd en geüniformeerd zijn. Op deze manier is de start van een nieuwe ontwerpcyclus niet nodig en kan er bij vervanging of renovatie gemakkelijk objecten worden uitgewisseld. (bron: Van Ede, J., 2015) Wanneer dit modulaire systeem wordt toegepast bij projecten waarbij een brug of viaduct wordt vervangen zijn er verschillende voordelen te behalen. Minder hinder en een korter doorlooptijd bij vervangen en renoveren, een inkoopvoordeel en het verbeteren van ontwerpen.

8.2 Visie van assetmanagers

De assetmanagers beheren de assets, waaronder bruggen en viaducten, die zich in het areaal bevinden. Per areaal verschilt de aanpak, maar ook de VenR opgave. Dit komt mede door de capaciteit per regio, de dichtheid van het wegennetwerk en het type bruggen en viaducten dat zich in het areaal bevindt. In Bijlage G staat informatie over de visie van de assetmanagers verder uitgewerkt. In de onderstaande hoofdstukken staan de belangrijkste punten vermeld.

8.2.1 Afweging tussen vervangen en renoveren

Momenteel wordt de keuze om bruggen en viaducten te vervangen of te renoveren gemaakt op basis van de technische staat en de verandering van functie. De aspecten capaciteit, kosten, circulariteit, tijd en hinder worden meegenomen en afgewogen tegen elkaar. Hieronder worden de aspecten kort toegelicht hoe deze worden meegenomen bij het maken van de keuze tussen vervangen en renoveren. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

1. Capaciteit

- De capaciteit van een brug of viaduct is sterk bepalend en speelt als een van de belangrijkste factoren mee in het besluit tussen vervagen en renoveren.
- Wat betreft de capaciteit van interne medewerkers en marktpartijen wordt weinig tot geen rekening mee gehouden bij het maken van de keuze tussen vervagen en renoveren.

2. Kosten

Kosten spelen een belangrijke rol in het besluit, maar hier hebben de assetmanagers geen invloed op.

3. Circulariteit

Met circulariteit wordt op dit moment niet tot nauwelijks rekening mee gehouden. Dit komt omdat er te weinig capaciteit ligt bij de assetmanagers om deze taak te kunnen vervullen. Wanneer RWS de gestelde doelen voor circulariteit zoals beschreven in Hoofdstuk 6.3 streeft te halen, moet er extra capaciteit komen of extra capaciteit worden vrijgemaakt.

4. Tijd

Wat betreft de doorlooptijd van projecten speelt deze mee in de afweging om te vervangen of te renoveren. De doorlooptijd wordt zo kort mogelijk gehouden om zo hinder te minimaliseren.

5. Hinder

Naast capaciteit is hinder een van de belangrijkste keuzes in de afweging, omdat er zo min mogelijk hinder aangehouden wordt.

8.2.2 Huidige strategie

Op dit moment wordt de keuze tussen vervangen en renoveren genomen op basis van de uitkomsten van een LCC-analyse. Dit wordt per brug of viaduct gedaan, in veel gevallen toont een LCC-analyse aan dat het renoveren voor 30 jaar een goede oplossing is. Veelal wordt er gerenoveerd waar het kan en vervangen waar het moet. Het toekomst gericht beschouwen van het hele areaal wordt niet tot nauwelijks gedaan door assetmanagers. Op dit moment wordt er door de assetmanagers geen strategie gehanteerd wat betreft de komende VenR opgave. Dit komt omdat de assetmanagers vooral gericht zijn op het beheren van het huidige areaal. Op dit moment zijn er te veel onvoorziene omstandigheden die zich voordoen en is de capaciteit te laag om over de VenR opgave na te denken. Op korte termijn worden beslissingen genomen waarbij de focus ligt op het oplossen van problemen die zich op dit moment voordoen.

8.2.3 Gewenste toepassing van strategie

Wanneer er een nieuwe strategie wordt opgesteld zien de assetmanagers hier de volgende punten graag in terug:

- Meer capaciteit zodat het team de beslissingen (van onvoorziene omstandigheden) op korte termijn kan nemen. Maar daarnaast ook het planmatige uit kan voeren, middellange-en lange termijn inzichtelijk maken.
- Gebiedsgericht afstellen, integrale aanpak van het gehele tracé. Niet alleen de desbetreffende bruggen en viaducten maar ook alle andere objecten.
- Het prioriteren op basis van tracé zoals hierboven aangegeven.
- Bij het vervangen van objecten, gestandaardiseerde en uniforme bruggen en viaducten toepassen (modulair ontwerpen).

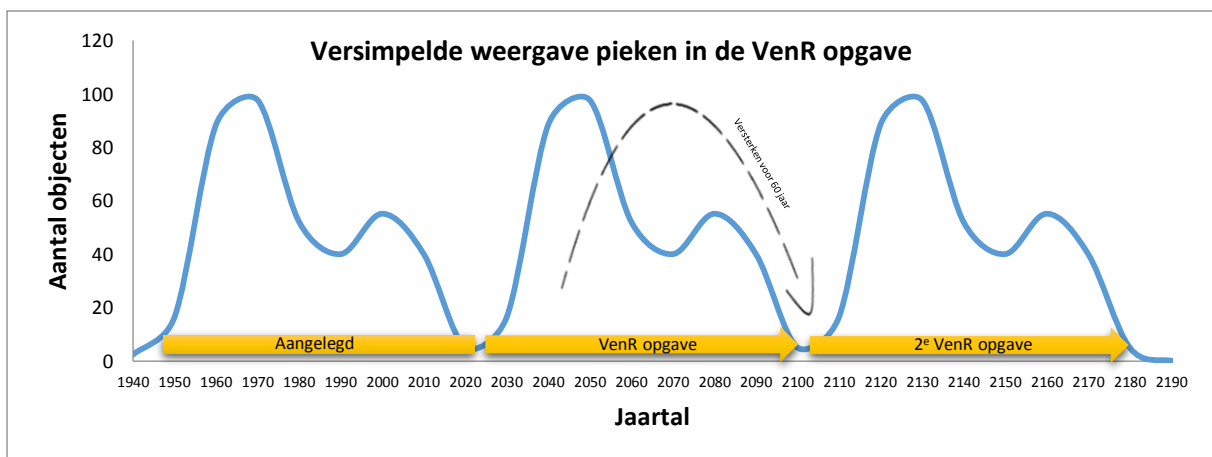
9. Alternatieve mogelijkheden

9.1 Technische mogelijkheden

Het nu beter spreiden van de VenR opgave en het voorkomen van een soortgelijke opgave in de toekomst kan alleen worden gerealiseerd wanneer er een gelijkmatige spreiding komt in het bereiken van het einde van de technische levensduur van bruggen en viaducten. De bruggen en viaducten die al gerealiseerd zijn in de periode kort na de Tweede Wereldoorlog zijn in een relatief korte periode aangelegd. Dit betekent dat deze bruggen en viaducten ook in een relatief korte periode terugkomen zoals aangeven in voorgaande hoofdstukken. Op het moment dat deze objecten het einde van de technische levensduur bereiken moet er beter worden gespreid in het opnieuw naderen van het einde van de technische levensduur. Momenteel zijn er twee opties bij het verlengen van de technische levensduur. Dit zijn het renoveren voor 30 jaar en het vervangen voor 80 jaar. Wanneer de bruggen en viaducten worden vervangen/gerenoveerd voor een dynamische restlevensduur kan er meer spreiding worden gerealiseerd in de VenR opgave van bruggen en viaducten.

Wanneer alle bruggen en viaducten worden vervangen voor 80 à 100 jaar dan ontstaat dezelfde situatie wellicht nog een keer. Er verandert niets aan de VenR opgave. Wanneer alle bruggen en viaducten worden versterkt voor 30 jaar ontstaat dezelfde situatie weer, alleen wordt het ene probleem op het andere gestapeld. Hiervoor moet een goede mix worden gekozen tussen vervangen en versterken. Wanneer er versterkt wordt moet dit niet steeds voor 30 jaar gebeuren, al toont een LCC-analyse op één object misschien wel aan dat dit verstandig is. Een mogelijke optie is om de technische levensduur van bruggen en viaducten voor een langere periode te versterken in plaats van te renoveren voor 30 jaar. Bijvoorbeeld voor een periode van $\frac{1}{2}$ ($30+80$ à 100) = 60 jaar. De vraag hoe deze versterkingsmaatregel er uit zou kunnen zien en of het haalbaar is. Dit wordt toegelicht in het onderstaande hoofdstuk. Een aantal technische mogelijkheden worden kort toegelicht met de bijbehorende voor- en nadelen.

In Figuur 23 is de situatie weergegeven wanneer de bruggen en viaducten uit de eerste VenR piek worden vervangen. Te zien is dat er op deze manier weer een VenR piek ontstaat. Hierbij moet wel een kanttekening worden geplaatst, want er zal een automatische spreiding ontstaan omdat de levensduur van bruggen en viaducten onderling verschilt. Niet elke brug of viaduct is exact na 80 jaar toe aan vervanging of renovatie. Maar in hoofdlijnen is wel te zien dat er in 2100 een dal zit in de VenR opgave. Wanneer de bruggen en viaducten op het moment van de piek in 2040 worden versterkt voor 60 jaar wordt dit dal opgevuld. (bron: Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M., 2017)



Figuur 23. Versimpelde weergave VenR opgave, versterken voor 60 jaar (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

9.1.1 HSB-overlaging

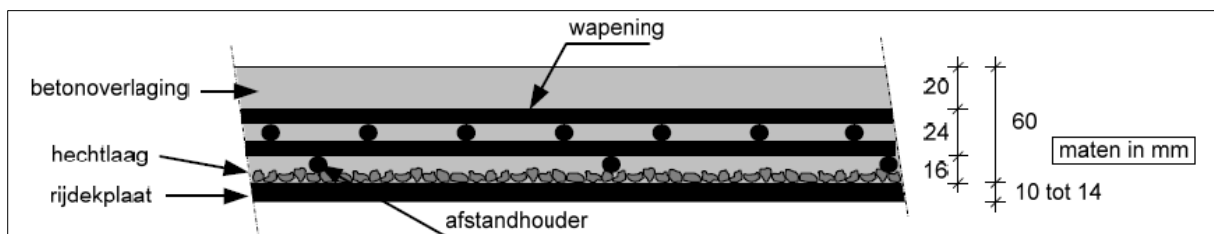
Vervanging en/of Renovatie:	- Renovatie/ Vervanging.
Toepasbaar op:	- Stalen brugdekken.
Voordelen:	- Spanningsreductie staalconstructie; - Dragen verkeersbelasting.
Nadelen:	- Vervanging asfalt door HSB, groter eigengewicht; - Extra versteviging constructie door groter eigengewicht; - Rijdekniveau moet verhoogd worden.

Het doel van een hogesterktebeton (HSB) overlaging is het reduceren van de spanningen in de dekplaat van een orthotrope stalen brugconstructie om zo de restlevensduur van de brug te verlengen en (afhankelijk van de situatie) zwaarder vrachtverkeer over de brug toe te staan.

Omdat een HSB een vervanging is voor het oorspronkelijke asfalt, moet het ook de functie van het asfalt overnemen. Dit betekent het garanderen van een veilige en comfortabele passage van het wegverkeer. Om de benodigde stroefheid te bewerkstelligen wordt er een epoxy slijtlaag bovenop de HSB aangebracht. Ook kan het beton in verlopende diktes worden aangebracht om indien nodig de onvlakheden in de staalconstructie op te vangen. Zie Figuur 24 voor de constructieopbouw.

Het HSB moet in staat zijn de belastingen te dragen ten gevolge van lokale wiellasten, maar ook de belastingen het gevolg van globale vervormingen in de brug. Dit kan worden opgelost door het gebruik van hogesterktebeton (C90/105) met relatief veel wapening. De wapening zal tevens het aantal kripscheuren reduceren en zo de duurzaamheid verhogen.

HSB is net als asfalt geen lichtgewicht materiaal en zal net als asfalt zorgen voor een grote toename van het eigengewicht van een brug. De laagdikte is net als asfalt afhankelijk van de situatie. HSB-overlagingen worden alleen nog maar gebruikt op bruggen met een orthotrope stalen brugdek. (bron: Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.,2009)



Figuur 24. HSB-betonoverlaging (bron: HSB-betonoverlaging op stalen bruggen)

9.1.2 Kunststof (PlasticRoad)

Vervanging en/of Renovatie:	- Renovatie/ Vervanging.
Toepasbaar op:	- Wegconstructies, deklaag bruggen en viaducten (nu alleen nog op fietspaden).
Voordelen:	- Reductie eigengewicht; - Modulair/circulair.
Nadelen:	- Kennis ontbreekt nog; - Hogere kosten dan traditionele oplossingen.

Het toestaan van grotere belastingen op een brug of viaduct zou wellicht mogelijk zijn door het vervangen van zwaardere constructieonderdelen door lichtgewicht oplossingen. Door het traditionele rijdek, dat bestaat uit asfalt of beton te verwijderen en te vervangen door een plastic of composiet onderdeel wordt het eigengewicht van de constructie lichter. Het eigengewicht van dit

constructieonderdeel wordt viermaal zo licht dan wanneer er asfalt of beton wordt toegepast. Een project waarbij gebruik is gemaakt van (gerecycled) plastic om een weg van te realiseren is de PlasticRoad. Doordat er reductie van het eigengewicht van de brug of viaduct plaatsvindt, kunnen er in theorie zwaardere verkeersbelastingen worden toegelaten.

De aanleg van de PlasticRoad kan sneller, eenvoudiger en efficiënter worden gedaan dan wanneer er een traditionele wegconstructie aangelegd moet worden. Dit is te danken aan het feit dat de PlasticRoad bestaat uit prefab onderdelen, die modulair zijn. Dit betekent ook dat onderdelen makkelijk zijn om te wisselen en te vervangen. Doordat de PlasticRoad uit een holle constructie bestaat wordt er gewicht gereduceerd. Naast dit voordeel kan deze holle ruimte worden gebruikt als doorvoer van kabels.

Omdat deze techniek redelijk nieuw is, is er niet veel over bekend. Dit betekent dat dit in het begin hogere kosten met zich mee brengt. Op dit moment wordt het alleen nog maar toegepast op fietspaden. Ook is deze techniek nog niet toegepast op bestaande bruggen/viaducten of andere bestaande constructies.

In Figuur 25 is links een visualisatie weergegeven van de doorsnede van een PlasticRoad, Hierbij is te zien dat de holle ruimte wordt gebruikt voor de doorvoer van kabels. Rechts is de constructie opbouw weergegeven die is toegepast bij de eerste PlasticRoad fietspad. (bron: PlasticRoad, z.d.)

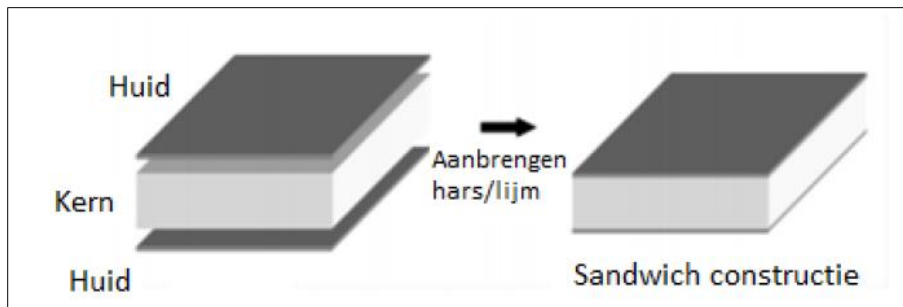


Figuur 25. Plastic Road (bron: PlasticRoad, z.d.)

9.1.3 VVK-sandwichconstructie boven- en onderlagen

Vervanging en/of Renovatie:	- Renovatie.
Toepasbaar op:	- Bruggen en viaducten.
Voordelen:	- Lichtgewicht materiaal t.o.v. troggen; - Bestaand rijdek niveau wordt gehandhaafd; - Weinig verkeershinder.
Nadelen:	- Onbekendheid; - Delaminatie na vallende lading.

Vaak worden composieten met geringe diktes gebruikt in allerlei industrieën. Deze diktes variëren tussen enkele millimeters tot centimeters. In de civiele techniek worden echter vaker grotere diktes gebruikt. Daarom wordt er vaak gebruik gemaakt van een VVK-sandwichconstructie. Deze constructie bestaat uit een lichtgewicht kern met daaromheen twee dunnen huiden. Dit is weergegeven in Figuur 26.



Figuur 26. Opbouw VVK-sandwich (bron: Rook, R., & Lassche, R., 2018)

De boven- en onderlaag is van relatief sterk en stijf materiaal. Deze wordt op afstand van elkaar gehouden door een minder sterke en stijve tussenlaag van een zeer licht materiaal. De lagen worden door middel van hars of lijm aan elkaar bevestigd. Voor zowel de kern als de huiden kunnen er verschillende materialen gebruikt worden. Het toepassen van een sandwichconstructie zorgt voor een gunstige verhouding tussen de stijfheid en het gewicht. Zie Figuur 27.

Relatieve buigstijfheid	1	7.0	37
Relatieve buigsterkte	1	3.5	9.2
Relatief gewicht	1	1.03	1.06

Figuur 27. Verhouden van de dikte t.o.v. stijfheid, sterke en gewicht (bron: Rook, R., & Lassche, R., 2018)

De sandwichconstructie kan als lichtgewicht rijdek dienen maar het kan ook dienen als vervanging van de stalen troggen aan de onderzijde van het brugdek. (bron: Rook, R., & Lassche, R., 2018)

9.1.4 Circulair viaduct

Vervanging en/of Renovatie:	- Vervanging.
Toepasbaar op:	- Bruggen en viaducten met een beperkte overspanning.
Voordelen:	- Circulair; - Lange levensduur; - Snel op te bouwen en te demonteren.
Nadelen:	- Oude kunstwerken (viaducten) volledig gesloopt voor aanleg; - Kennis ontbreekt nog.

Een circulair viaduct is een viaduct dat bestaat uit meerdere betonnen elementen en kan volledig en ongeschonden worden gedomonteerd. Het is simpel in delen te verplaatsen en makkelijk op te bouwen. Op deze manier is er geen afval meer, er zijn geen nieuwe grondstoffen nodig en gebruikte grondstoffen worden op de meest hoogwaardige manier opnieuw gebruikt.

De betonnen elementen, vergelijkbaar met 'LEGO-blokjes' grijpen in elkaar met nokken. Zo worden er meerdere van deze elementen tegen elkaar geplaatst waarna deze met voorspanningskabels op spanning worden gezet. De kabels zijn niet ingestort en de voegen tussen de betonnen elementen kunnen weer loslaten. Door met standaard elementen te werken kan er in de lengte en in de breedte worden gevarieerd.

Een circulair viaduct kan meehelpen de VenR opgave af te vlakken omdat dit een uniform viaduct is wat relatief snel op te bouwen is. Waardoor de bouwtijd verkort kan worden en waardoor er meer viaducten per jaar gebouwd kunnen worden.

Als test is er circulair viaduct gebouwd nabij Kampen, op dit viaduct worden verschillende testen uitgevoerd om meer te weten te kunnen komen over het gedrag van de constructie. Daarnaast is er gestart met een leeromgeving om grootschalige toepassing van circulaire viaducten mogelijk te maken.

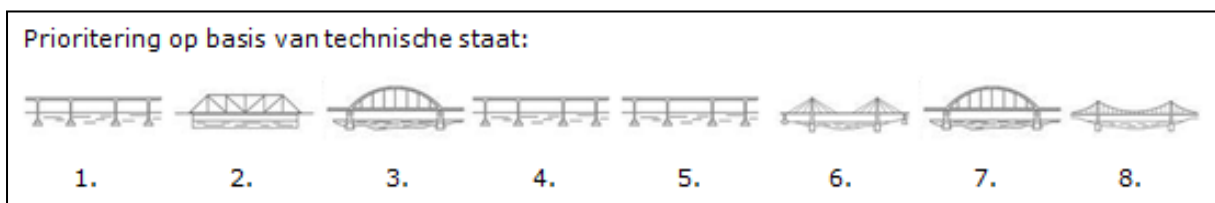
In Figuur 28 is links het eerste uitgevoerde ontwerp van het circulaire viaduct nabij Kampen te zien. Rechts is een los element te zien waarbij de nokken duidelijk zichtbaar zijn. (bron: Spanbeton., z.d.) (bron: Van Hattum en Blankevoort., 2019)



Figuur 28. Circulair (bron: Spanbeton., z.d.)

9.2 Strategische mogelijkheden

Naast technische mogelijkheden zijn er ook strategische mogelijkheden om op een alternatieve manier te renoveren of te vervangen. Tevens kunnen de technische en strategische mogelijkheden gecombineerd worden om de VenR opgave gelijkmatig te spreiden. Het clusteren van bruggen en viaducten bij vervanging en renovatie gebeurt nog te weinig. Momenteel wordt er geprioriteerd op basis van technische staat/noodzaak. Wanneer de constructieve veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het netwerk in het geding komen wordt de desbetreffende brug of viaduct vervangen of gerenoveerd. In Figuur 29 is een voorbeeld weergegeven waarbij acht bruggen zijn geselecteerd die vervangen of gerenoveerd moeten worden. Hierbij is nummer één in de meest slechte staat en dient als eerste van de acht bruggen en viaducten gerenoveerd of vervangen te worden.



Figuur 29. Prioritering bruggen en viaducten op basis van technische staat

Wanneer tijdig inzichtelijk is wanneer welke bruggen en viaducten gerenoveerd of vervangen moeten worden kan dit wellicht geclusterd gebeuren. Naast het prioriteren op basis van technisch staat is het mogelijk om bruggen en viaducten te clusteren. Het clusteren van bruggen en viaducten kan hoofdzakelijk op twee manieren gebeuren:

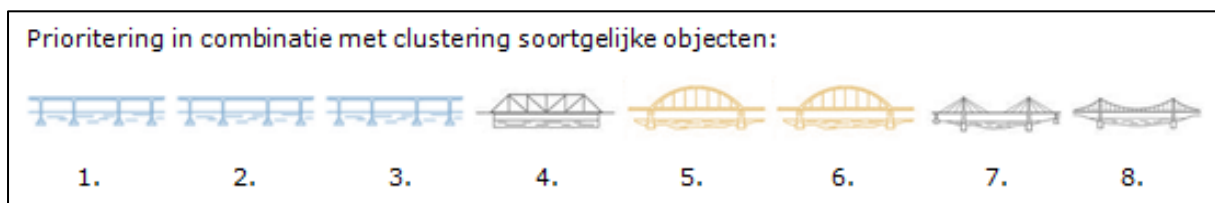
- Het clusteren op basis van type constructie;
- Het clusteren op basis van ligging van de brug of viaduct.

In de onderstaande hoofdstukken worden verschillende strategische mogelijkheden toegelicht en uitgewerkt, met hierbij de voor- en nadelen.

9.2.1 Clusteren op basis van type constructie

Vervanging en/of Renovatie:	- Renovatie/ Vervanging.
Toepasbaar op:	- Soortgelijke kunstwerken (identieke constructieopbouw).
Voordelen:	- Ruimte voor investeringen op het gebied van innovatie.
Nadelen:	- Kleine aannemers krijgen minder kans binnen de aanbesteding.

De verschillende type constructies kunnen worden gecategoriseerd op basis van constructie type. Bij het clusteren op basis van het type constructie van bruggen of viaducten gaat het om soortgelijke objecten waarbij de constructieopbouw (bijna) identiek is. Als voorbeeld is Figuur 30 weergegeven. Hierbij is geprioriteerd op basis van soortgelijke objecten, voortkomend uit de selectie op basis van de technische staat, zie Figuur 29. De betonnen viaducten die op plaats 4 en 5 staan, zijn geclusterd met viaduct op plaats 1. Daardoor schuift de vakwerkbrug van plaats 2 op naar plaats 4. Het gevolg is dat deze brug dus later vervangen of gerenoveerd wordt, terwijl deze wat technische staat betreft hoger op de lijst stond. Door middel van een herberekening of een restrictie op het naar achter geschoven object is dit te compenseren. Wel is er nu voordeel te halen doordat de viaducten tegelijkertijd worden gerenoveerd of vervangen, waardoor er voordeel wat betreft capaciteit, kosten, en tijd gehaald kan worden. Ditzelfde geldt voor de stalen boogbruggen die zijn geclusterd.



Figuur 30. Prioritering op basis van clusteren

Het categoriseren van bepaalde type kunstwerken kan een positief effect hebben op de VenR opgave. Zo kunnen een groot aantal objecten in één keer op de markt aanbesteed worden. Omdat deze bruggen veel op elkaar lijken, lijkt het renovatieplan ook sterk op elkaar. Als een aannemer weet dat ze de komende jaren een groot aantal dezelfde bruggen gaan vervangen of renoveren kunnen ze meer investeren in innovatieve oplossingen qua renoveren of vervangen. Het is geen vereiste dat deze kunstwerken allemaal in hetzelfde traject liggen.

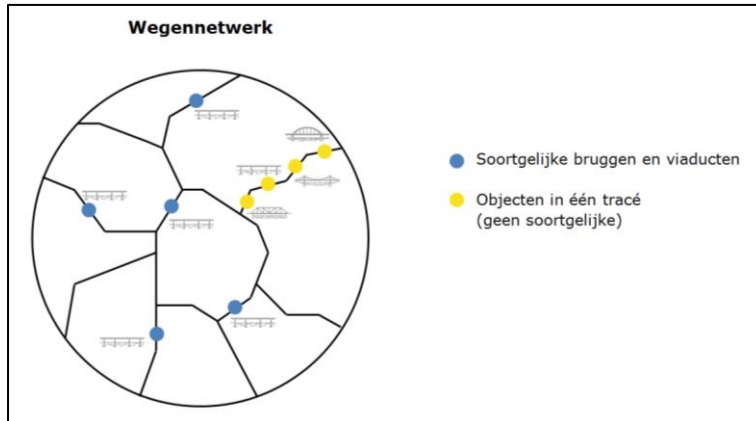
Het eerste kunstwerk zal als proef kunnen dienen voor de innovatie. Dit kan bijvoorbeeld een innovatie van een VVK-brugdek zijn dat een langere levensduur heeft dan 30 jaar. In dit kunstwerk zal dus ook meer geïnvesteerd worden. Maar dit zal een voordeel bieden voor de kunstwerken die later in het renovatieproces komen. En uiteindelijk kan de extra investering zich terugverdienen voor de aannemer.

Echter een nadeel van het clusteren van bepaalde type kunstwerken is dat de kleinere marktpartijen minder kans maken om een opdracht uit te kunnen voeren. Kleinere marktpartijen hebben minder budget en kunnen over het algemeen grotere opdrachten niet winnen bij een aanbesteding.

9.2.2 Clusteren op basis van ligging brug of viaduct

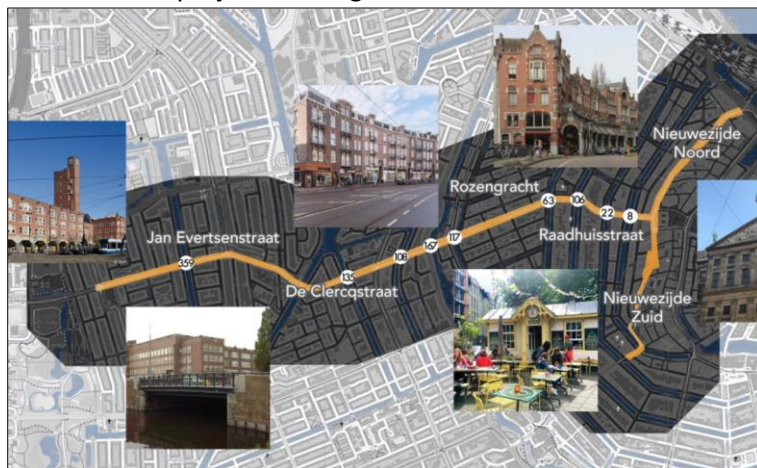
Vervanging en/of Renovatie:	- Renovatie/ Vervanging.
Toepasbaar op:	- Alle kunstwerken op hetzelfde traject.
Voordelen:	- Alle kunstwerken kunnen tegelijkertijd aangepakt worden; - Lange onderhoudsvrije periode.
Nadelen:	- Veel hinder rond het traject.

Naast het clusteren op basis van type constructie is het mogelijk om te clusteren op basis van de ligging van het object. Zo kunnen objecten die vlak bij elkaar liggen of in dezelfde Rijksweg liggen (zelfde corridor) tegelijkertijd worden vervangen of gerenoveerd. Zie Figuur 31.



Figuur 31. Clusteren bruggen en viaducten in één tracé

Het voordeel van het vervangen of renoveren van alle objecten in dezelfde corridor is dat er maar eenmalig een stremming is. Daarnaast liggen er kansen om dan ook alles te vervangen of te renoveren in het traject. Van windscherm tot aan fundering kan worden aangepakt. Een voorbeeld hiervan is een project dat de gemeente Amsterdam uitvoert. Zie Figuur 32.



Figuur 32. Corridor gemeente Amsterdam (bron: Kooistra, A. ,2019)

De gemeente Amsterdam voert één van de projecten op eenzelfde wijze uit. Hierbij wordt één volledige toegangsweg richting het centrum afgesloten. In deze corridor worden alle bruggen en eventueel overige objecten vervangen of gerenoveerd. Het is noodzakelijk om met meerdere/ alle kunstwerken in het traject tegelijkertijd aan de slag te gaan om de doorlooptijd van het project zo kort mogelijk te houden. Het nadeel is dat het hele traject tijdens de doorlooptijd dan ook deel of zelf geheel gestremd raakt. Dit zal veel hinder voor het wegverkeer veroorzaken. (bron: Kooistra, A. ,2019)

10. Toepassing van alternatieve mogelijkheden

Van de in totaal 4000 bruggen en viaducten zijn niet alle objecten geschikt om de alternatieve mogelijkheden op toe te passen. Zo kunnen objecten uitgesloten worden vanwege het feit dat het een monument is, een te grote overspanning heeft, een bijzonder/complex object is of een alternatieve mogelijkheid niet rendabel is omdat er maar een beperkt aantal van dit soort type bruggen of viaducten zijn. Onderzocht is bij welk type brug of viaduct de meeste kansen liggen om alternatieve mogelijkheden op toe te passen, waarbij de gewenste strategie uitgevoerd kan worden om zo de VenR opgave gelijkmatig te spreiden. Hieronder wordt toegelicht welke bruggen en viaducten worden uitgesloten en welke worden aanbevolen om een alternatieve mogelijkheid op toe te passen.

10.1 Uitgesloten bruggen en viaducten

Specifieke of complexe bruggen en viaducten worden niet meegenomen in de casestudy. Wanneer er bruggen en viaducten niet vergelijkbaar zijn met andere bruggen en viaducten en het dus om een specifiek object gaat, is de manier waarop dit vervangen of gerenoveerd wordt ook object specifiek. De volgende specifieke objecten worden niet meegenomen in de casestudy:

- Monumenten;
- Strategische bruggen en viaducten;
- Beweegbare bruggen;
- Stalen bruggen;
- Bruggen en viaducten met een grote overspanning.

Enkele voorbeelden zijn de Waalbrug (monumentaal), de van Brienenoordbrug (strategisch, grote overspanning en beweegbaar) en de Galecopperbrug (strategisch, grote overspanning en van staal).

10.1.1 Monumenten

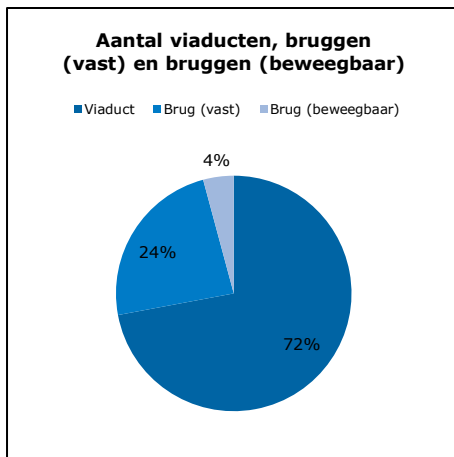
RWS is beheerder van ruim 2200 civieltechnische kunstwerken ouder dan 1966. Hiervan hebben er een aantal een hoge cultuurhistorische waarde. Van dit aantal zijn er 44 bruggen met een monumentale status (kleurcodering rood of oranje in DISK). Wanneer er werkzaamheden worden uitgevoerd aan deze monumenten is het “Kader monumenten” van toepassing. Dit betekent dat bij de instandhouding van het object het object in de originele staat gehouden moet worden. Dit betekent dat het vrijwel onmogelijk is om alternatieve methoden te gebruiken bij het vervangen of renoveren. Monumenten worden daarom niet meegenomen in de casestudy. Zie Bijlage H voor meer informatie. (bron: Rijkswaterstaat. ,2018, 20 september) (bron: Rijkswaterstaat., 2014)

10.1.2 Strategische bruggen en viaducten

Strategische bruggen zijn de grote vaste bruggen (over water) in het HWN. Deze objecten worden niet meegenomen omdat deze een belangrijke functie hebben in het wegennetwerk, waarbij ten tijde van vervanging of renovatie gebruik wordt gemaakt van de reguliere mogelijkheden omdat alternatieve mogelijkheden te risico vol zijn. Deze alternatieve mogelijkheden zich eerst bewezen moeten hebben bij niet strategische objecten. (bron: Rijkswaterstaat. ,2017, 17 augustus)

10.1.3 Beweegbare bruggen

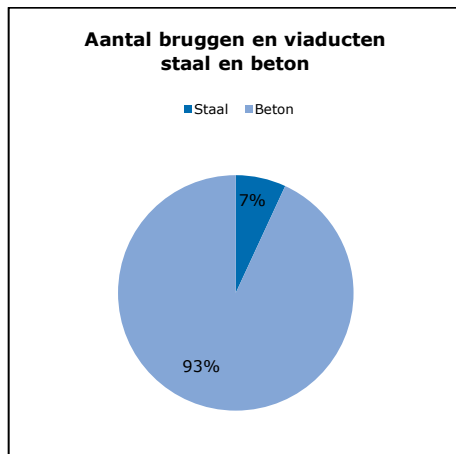
Wanneer het areaal van RWS wordt opgedeeld in de drie categorieën: viaducten, bruggen (vast) en bruggen (beweegbaar) is te zien dat 72% van alle objecten wordt geclassificeerd als viaduct, 24% als vaste brug en maar 4% als beweegbare brug, zie Figuur 33. Omdat het aandeel beweegbare bruggen klein is, en dus van beperkte invloed zijn op de VenR opgave, worden deze niet meegenomen in het de casestudy. (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 33. Aantal viaducten, vaste bruggen en beweegbare bruggen (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

10.1.4 Stalen bruggen

Wanneer er wordt geclassificeerd op materiaal is er te zien dat 93% van de bruggen en viaducten van beton zijn. Slechts 7% is van staal. Voor de casestudy is het dus niet relevant om te kijken naar stalen bruggen, zie Figuur 34. (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 34. Aantal bruggen en viaducten beton en staal (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

10.1.5 Bruggen en viaducten met een grote overspanning

Vanwege een variatie in Rijkswegbreedte en de breedte van vaarwegen en watersystemen is er ook een variatie in overspanningen van bruggen en viaducten. Met overspanning wordt bedoeld de afstand tussen twee steunpunten. De overspanning lengtes worden in Nederland grofweg als volgt ingedeeld:

- Korter dan 30 meter
- 30 tot 50 meter
- 50 tot 100 meter
- 100 tot 200 meter
- Langer dan 200 meter

De materiaalkeuze en overspanningslengte zijn nauw met elkaar verbonden. Bruggen met een overspanning van meer dan 50 meter zijn over het algemeen stalen bruggen. In Bijlage I is bovenstaande informatie nader toegelicht. Bruggen met een overspanning groter dan 50 meter worden vanwege de materiaalkeuze en complexiteit van de renovatie niet meegenomen in de strategie. (bron: Romeijn, A., 2002)

10.2 Geschikte bruggen en viaducten

10.2.1 Soortgelijke bruggen en viaducten

Naast het onderscheid dat te maken is wat betreft beton en staal, is er bij een betonnen brug of viaduct onderscheid te maken in verschillende typen draagconstructie. In totaal worden 23 verschillende typen betonnen hoofddraagconstructie onderscheiden. Deze zijn ruwweg in te delen in vijf categorieën:

- Plaatconstructie;
- Liggerconstructie;
- Kokerconstructie;
- T-profielconstructie.

Bij deze vier categorieën wordt in het kort aangegeven wat de specifieke constructies binnen de categorie zijn. Ter illustratie is bij elk type een foto en een schematische tekening van de dwarsdoorsnede opgenomen. (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

Plaatconstructie

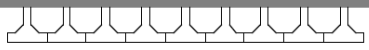
Plaatconstructies zijn de meest voorkomende betonnen hoofddraagconstructies, zie Tabel 4. Platen van gewapend beton die niet voorgespannen zijn moeten worden getoetst op slankheid omdat deze te dun kunnen zijn gedimensioneerd ten opzichte van de overspanning. Het gaat hierbij in veel gevallen om oudere constructies. De uitvoering van de plaat, de hoeveelheid wapening en de locatie waar de wapening is aangebracht heeft grote invloed op de te verwachten resterende levensduur. Zie Figuur 35 voor een plaatconstructie. (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

Foto plaatconstructie	Dwarsdoorsnede
	

Figuur 35. Plaatconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

Liggerconstructie

Een liggerconstructie bestaat uit dicht naast elkaar geplaatste voorgespannenliggers met daarop een betonnen druklaag. In totaal zijn er zeven verschillende typen liggers. Een groot deel van de liggerconstructies moet constructief beoordeeld worden. De wijze van beoordelen is afhankelijk van het specifieke type ligger. Sommige liggers moeten geheel nagerekend worden, andere typen dienen alleen gecontroleerd te worden op de aanwezigheid van dwarskrachtwapening. Zie Figuur 36 voor een liggerconstructie. (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

Foto liggerconstructie	Dwarsdoorsnede
	

Figuur 36. Liggeerconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

Kokerconstructie

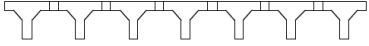
Een kokerconstructie bestaat uit een koker met daarboven een rijdek. De kokerconstructies komen in de meeste gevallen voor bij grotere overspanningen. Het grootste gedeelte van deze kokerliggers moet constructief nader worden beoordeeld. Zie Figuur 37 voor een kokerconstructie. (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

Foto kokerconstructie	Dwarsdoorsnede
	

Figuur 37. Kokerconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

T-profielconstructie

Dit constructietype bestaat uit liggers die op grotere afstand van elkaar geplaatst zijn. Het rijdek verbindt de liggers tot één geheel. Bij de constructieve beoordeling van T-profielen is de mate van optimalisatie maatgevend voor de te verwachten resterende levensduur. Zie Figuur 38 voor een T-liggerconstructie. (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

Foto T-profielconstructie	Dwarsdoorsnede
	

Figuur 38. T-profielconstructie (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

10.2.2 Aantal per constructietype

Wanneer het aantal bruggen en viaducten met een betonnen hoofddraagconstructie is opgesplitst in de verschillende constructietypen is een sterke verdeling te zien. Van alle bruggen en viaducten met een betonnen hoofddraagconstructie bestaat 57% uit plaatconstructies 26% uit liggerconstructies, 7% uit kokerconstructie en 10% uit T-profielconstructies. In Tabel 4 is deze opsplitsing weergegeven per categorie waarin:

- HWN (in RW): Kunstwerken in de Rijksweg (behorend tot het Hoofdwegenet);
- HWN over RW: Viaducten over de Rijksweg (niet behorend tot het Hoofdwegenet);
- Vaarwegen/watersystemen: Bruggen over het Hoofdvaarwegenet en Hoofdwatersystemen.

Aantal per constructietype betonnen hoofddraagconstructie

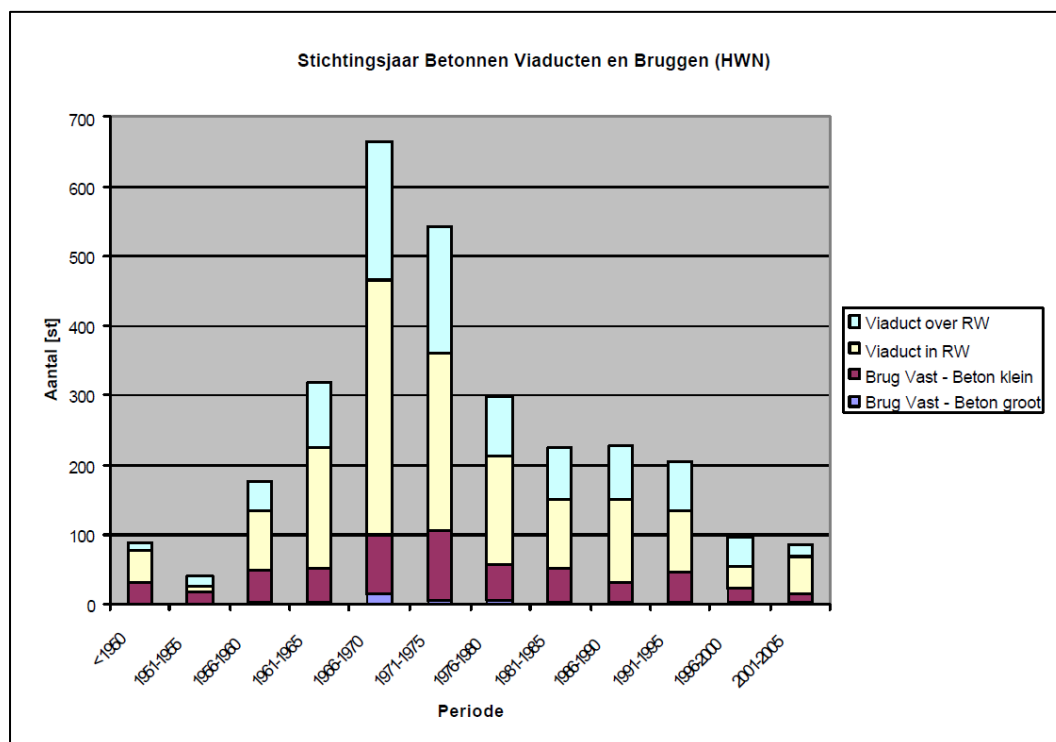
Categorie	Platen	Liggers	Kokers	T-profielen	Totaal
HWN in RW	425	207	62	74	768
HWN over RW	159	75	17	10	261
Vaarwegen/watersystemen	48	9	4	23	84
Totaal	632	291	83	107	1113

Tabel 4. Aantal per constructietype (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

De bovenstaande gegevens komen uit het technische rapport Inventarisatie Kunstwerken. Slechts een selectie van de 4000 bruggen en viaducten uit het gehele areaal van RWS zijn meegenomen. Echter geeft dit wel een representatief beeld van de verdeling naar constructietype. (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

10.2.3 Ligging bruggen en viaducten

Opgesplitst naar categorie geeft dat 69% van de bruggen en viaducten in de Rijksweg ligt, 23% over de Rijksweg en 8% over vaarwegen of watersystemen, zie Tabel 4. In Figuur 39 is een opsplitsing gemaakt bij bruggen en viaducten in de categorieën op basis van de stichtingsjaren.



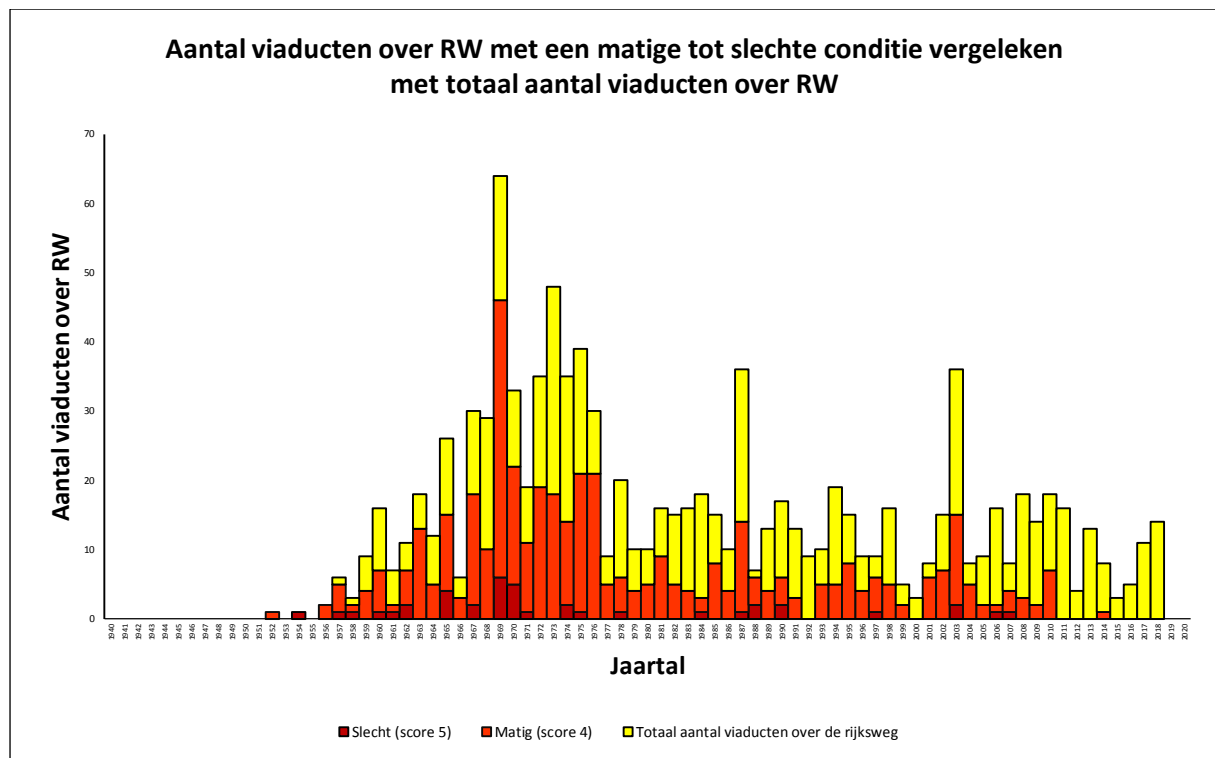
Figuur 39. Stichtingsjaren betonnen viaducten en bruggen (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

In Figuur 39 is te zien dat in de periode 1960 - 1980 naar verhouding de meeste viaducten zijn gebouwd. Hierbij zijn de aantallen per jaar genomen. Het percentage per type constructie dat toegepast is verschilt niet tussen objecten die gebouwd zijn in de Rijksweg of over de Rijksweg.

Het grootste gedeelte ligt in de Rijksweg, een kleinere hoeveelheid ligt over de Rijksweg. Van de bruggen en viaducten komt het grootste gedeelte voor als plaat, zo ook bij de viaducten over de Rijksweg. In de casestudy worden de objecten over de Rijksweg uitgewerkt. Hoewel er een groter aandeel is in objecten in de Rijksweg, wordt de keuze gemaakt om objecten over de Rijksweg uit te werken. Dit omdat de alternatieve mogelijkheden allereerst op bruggen en viaducten met een kleinere overspanning en een mindere urgentie worden gebruikt als pilot. Wanneer dit succesvol blijkt kan dit bij grotere objecten ook worden uitgevoerd. (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

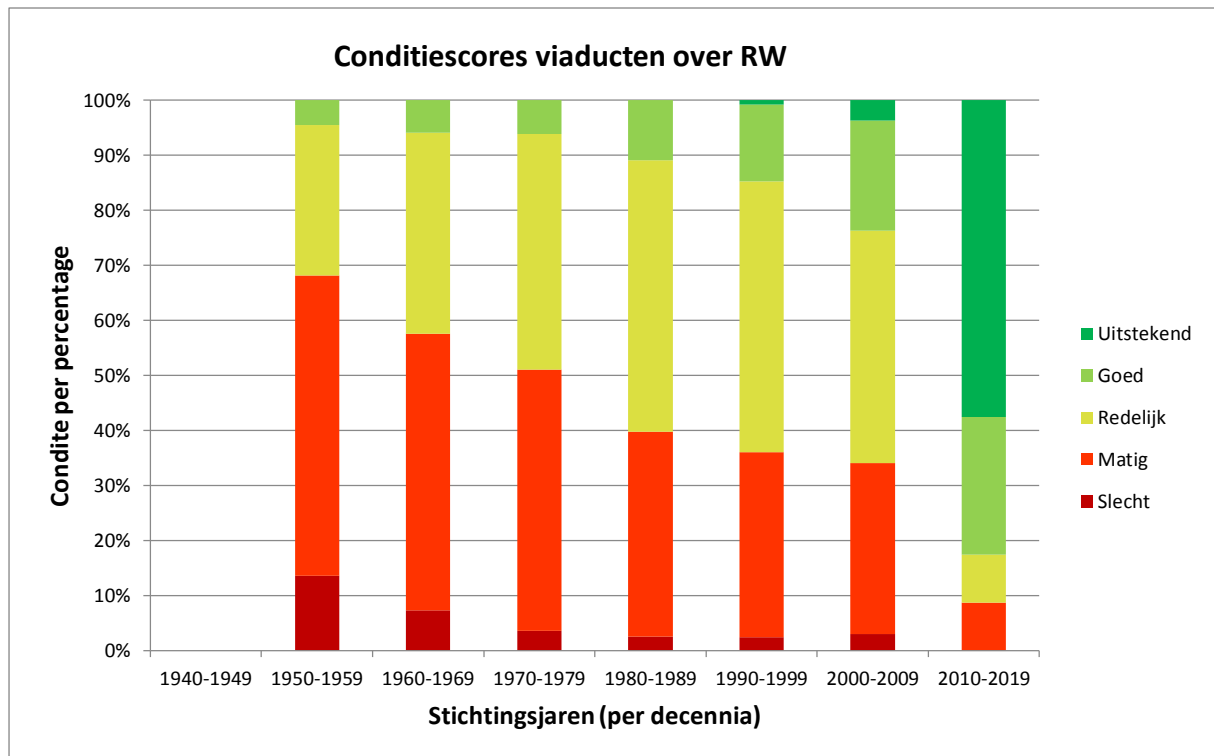
10.2.4 Conditiecores en spreiding ten opzichte van de Vervanging en Renovatie opgave

In Hoofdstuk 4.4.1 is weergegeven dat van de ongeveer 4000 bruggen en viaducten er 1700 zijn waarvan de conditie matig tot slecht is. Ruim 400 van deze 1700 matig tot slechte zijn viaducten over de Rijksweg. Dit is ruim 23% van alle bruggen en viaducten die een matig tot slechte conditie hebben. In Figuur 40 is weergegeven het aantal viaducten over de Rijksweg met een matige tot slechte conditie vergeleken met het totaal aantal viaducten over de Rijksweg.



Figuur 40. Viaducten over RW-conditie slecht tot matig, totaal over RW (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

Deze conditiescores zijn uitgezet net zoals in Hoofdstuk 4.4.1 maar nu met alleen de viaducten over de Rijksweg. (Zie Figuur 41) Hierin valt te zien dat bijna de helft van de viaducten over de Rijksweg een matige tot slecht kwaliteit heeft. De resultaten uit Figuur 41 komen bijna volledig overeen met de conditiescores van alle bruggen en viaducten (Figuur 10). Het enige grote verschil is dat er tussen 1940 en 1949 geen viaducten over de Rijksweg zijn aangelegd. Er is ook duidelijk een piek van verouderde objecten te zien gebouwd rond de jaren 60 en 70. Deze piek komt overeen met de VenR opgave van alle bruggen en viaducten en ook met de totale VenR opgave van RWS.



Figuur 41. Conditie scores viaducten over RW (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

10.3 Keuze technische toepassing

10.3.1 Keuze type brug of viaduct

In de casestudy wordt een betonnen viaducten over de Rijksweg uitgewerkt. Een groter aantal van de viaducten ligt in de Rijksweg. Maar omdat dit vaak grotere overspanningen betreft en belangrijkere wegen zijn, zijn deze niet meegenomen in het onderzoek. Omdat alternatieve manieren voor renoveren voor 60 jaar niet eerder zijn toegepast is er gekozen om eerst de minder belangrijke viaducten te onderzoeken.

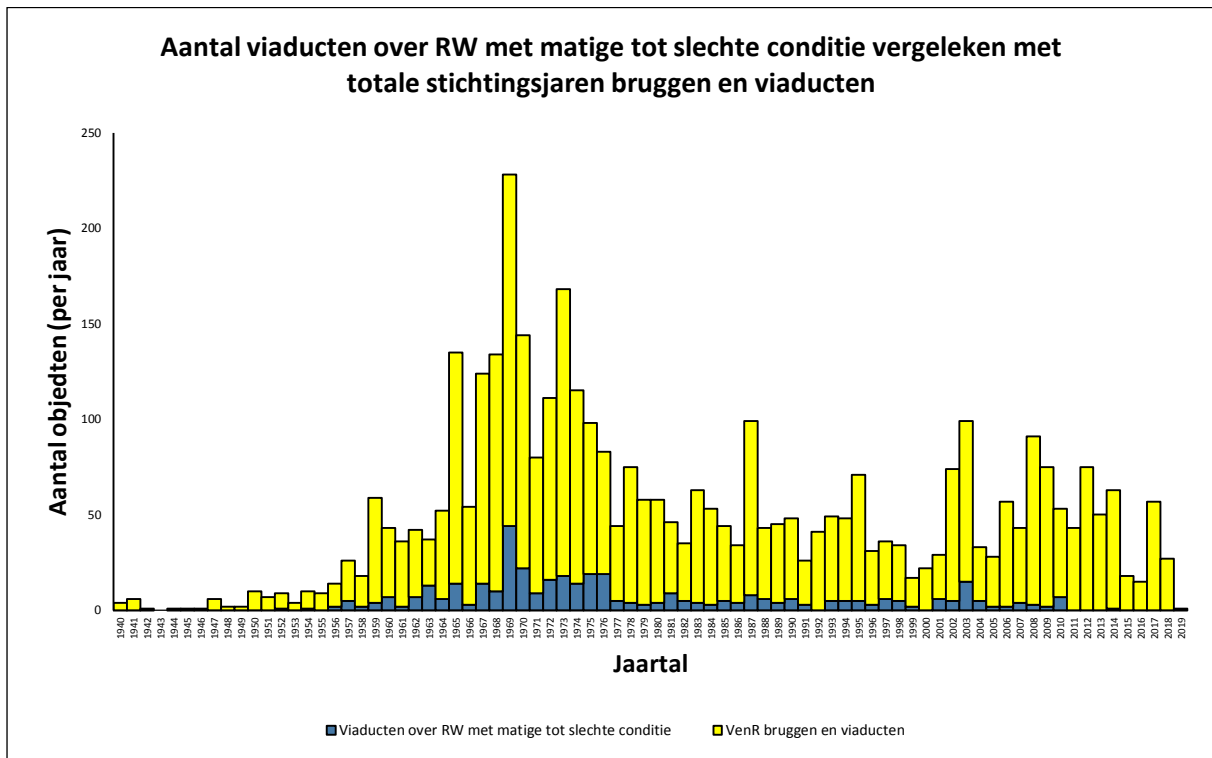
Specifiek is er gekozen voor viaducten met een prefab liggerconstructie met daarover een betonnen druklaag. Dit is niet het grootste aandeel in de VenR opgave van viaducten zoals in Hoofdstuk 10.2.2 is beschreven maar voor de casestudy is voor viaducten met een liggerconstructie gekozen. De reden hiervoor is dat van dit type viaduct een herberekening beschikbaar is. Wel moeten zowel liggerconstructies als plaatconstructies onderzocht worden op renovatiemogelijkheden voor 60 jaar. Voor beide type constructies moet immers een oplossing worden bedacht om ze voor 60 jaar.

10.3.2 Keuze type alternatieve mogelijkheid

In Hoofdstuk 9.1 zijn de alternatieve technische mogelijkheden toegelicht. Een oplossing om een technisch levensduur voor renoveren van 60 jaar te halen wordt onderzocht of dit haalbaar is met VVK. Er is voor VVK gekozen omdat RWS graag de mogelijkheden onderzocht wil hebben op het gebied van VVK omdat dit een innoverende oplossing kan zijn in het verlengen van de levensduur van een object. Daarnaast is dit nieuwe materiaal al toegepast bij bruggen met een kleine overspanning (voetgangers-en fietsbruggen). Het principe van een VVK-sandwichconstructie is kort weergegeven in Hoofdstuk 9.1.3 In de casestudy wordt een mogelijkheid getoetst om de betonnen druklaag van de liggers te verwijderen en te vervangen door een lichter VVK dek. Een lichter dek kan positieve gevolgen hebben voor de levensduur van het viaduct.

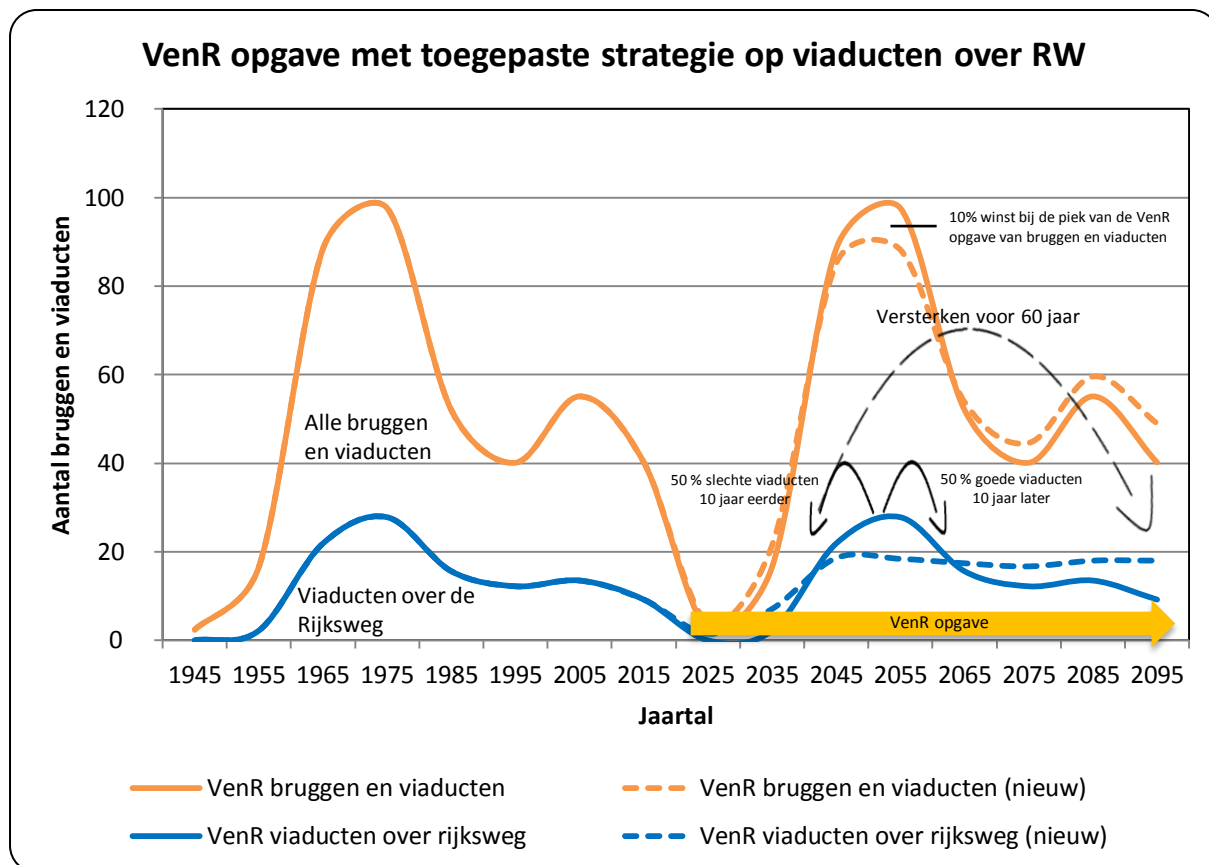
11. Strategische toepassing

De 400 viaducten over de Rijksweg met een matig tot slechte conditie zijn in Figuur 42 uitgezet tegenover de totale hoeveelheid gebouwde bruggen en viaducten. In Figuur 42 lijkt dit maar een klein gedeelte van de totale VenR opgave. Op basis van dit onderzoek wordt echter geconcludeerd dat met deze 400 van de 4000 bruggen en viaducten de meeste winst valt te behalen voor het gelijkmatig spreiden van de VenR opgave. Totaal zijn er rond de 1000 viaducten over de Rijksweg. Hiervan heeft 60 % een matige tot slechte conditie. (bron: NEN 2767) (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 42. Viaducten over RW-conditie slecht tot matig, totaal viaducten en bruggen (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

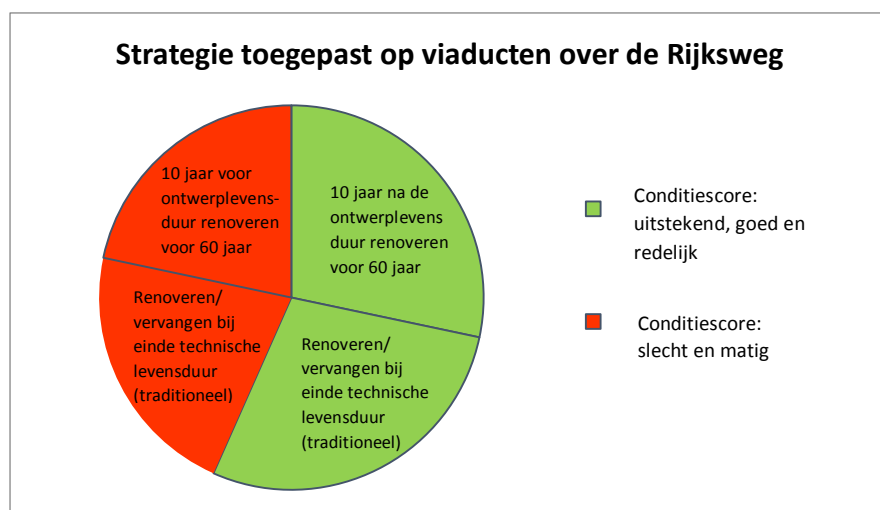
De strategie die wordt gehanteerd is als volgt: van de viaducten over de Rijksweg met een conditiescore slecht tot matig wordt 50% de komende jaren voor 60 jaar gerenoveerd. De oorspronkelijke ontwerplevensduur hiervan moet gemiddeld 10 jaar worden ingekort. Dit betekent dus dat er de viaducten nog voor het halen van de technische levensduur uit voorzorg al worden gerenoveerd. Voor het viaduct op zichzelf is dit niet de beste oplossing maar over het totaal zal dit ten goede komen voor de VenR opgave. De viaducten die worden gerenoveerd moeten worden gerenoveerd voor een technische levensduur van 60 jaar in plaats van 30 jaar. Dit om ervoor te zorgen dat deze viaducten niet in het grootse piekmoment van de VenR opgave terugkomen. De andere 50% procent met een conditiescore van slecht tot matig worden vervangen of gerenoveerd bij het halen van het einde van de technische levensduur. Van de viaducten met een conditiescore uitstekend, goed en redelijk wordt 50% door extra te investeren in beheer en onderhoud 10 jaar uitgesteld. De technische levensduur wordt dus met 10 jaar opgerekt. Hierdoor zijn deze viaducten pas aan vervanging of renovatie toe na het grote piekmoment. De andere 50% met een conditiescore uitstekend, goed en redelijk wordt vervangen of gerenoveerd wanneer het viaduct het einde van de technische levensduur bereikt. De invloed van deze strategie op de VenR berg is weergegeven in Figuur 43. (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 43. VenR opgave met toegepaste strategie op viaducten over RW (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

In Figuur 44 is de verdeling weergegeven van het aantal viaducten over de Rijksweg dat eerder of later wordt vervangen/gerenoveerd dan de technische levensduur.

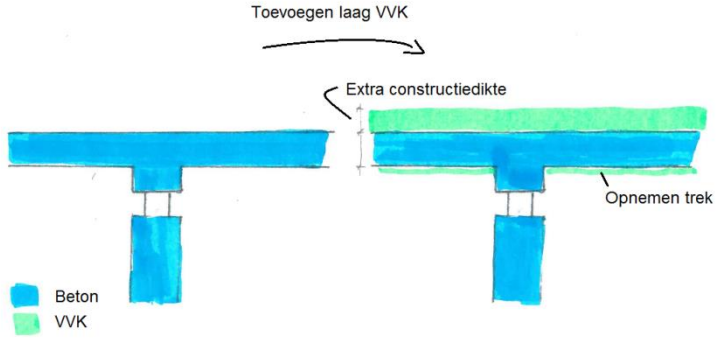
- Van de slechte viaducten (conditiescore slecht en matig) wordt 50% 10 jaar voor de ontwerplevensduur (80 jaar) gerenoveerd/versterkt voor 60 jaar. De andere 50% wordt bij het bereiken van de technische levensduur gerenoveerd voor 30 jaar of vervangen voor 80 jaar;
- Van de slechte viaducten (conditiescore uitstekend, goed en redelijk) wordt 50% 10 jaar na de ontwerplevensduur gerenoveerd/versterkt voor 60 jaar. De andere 50% wordt bij het bereiken van de technische levensduur gerenoveerd voor 30 jaar of vervangen voor 80 jaar.



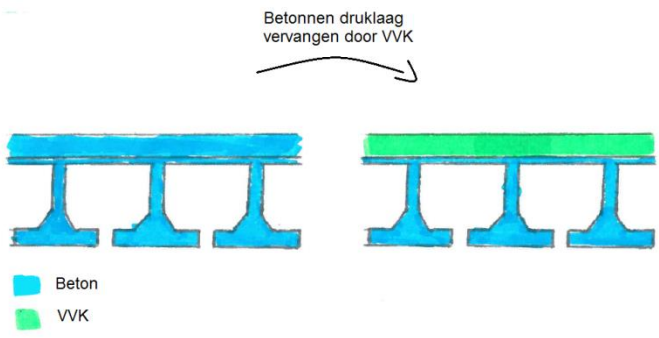
Figuur 44. Strategie toegepast op viaducten over RW

11.1 Renoveren viaducten

Het aantal kokerconstructies en T-profielconstructies is zeer beperkt. In de strategie worden deze niet gerenoveerd voor 60 jaar, maar voor 30 jaar gerenoveerd of vervangen voor. Dit omdat de opbrengsten van het renoveren voor 60 jaar niet opwegen tegen de investeringen. In Tabel 5 wordt het versterken van de plaatconstructie met VVK of GVK (Glasvezel Versterk Kunststof) toegelicht en in Tabel 6 wordt het versterken van de voorgespannen ligger met betonnen druklaag toegelicht. In de casestudy wordt de variant uit Tabel 6 verder uitgewerkt.

Plaatviaducten	
Aantallen:	61%
Oplossingen:	Het toepassen van VVK/GVK-bovenkant (extra constructiedikte) onderkant (trek)
Voordelen:	- Grootste aantal objecten van dit type; - Toename constructiedikte, stijvere constructie.
Nadelen:	- Eigengewicht neemt toe door toevoeging VVK; - In het werk gestort, daardoor veel verschil tussen objecten; - Zwakste schakel is de hechting tussen grout (tussen VVK en beton) en beton.
Schets:	

Tabel 5. Renoveren plaatviaducten voor 60 jaar

Voorgespannenliggers met betonnen druklaag	
Aantallen:	29%
Oplossingen:	Betonnen druklaag vervangen door VVK
Voordelen:	- Prefab, daardoor weinig verschil tussen objecten; - Makkelijk verwijderen bovenste druklaag; - Reduceren eigengewicht, vervangen van beton door VVK.
Nadelen:	- Na verwijderen druklaag, lastig koppelen ligger en druklaag (wapening); - Minder aantal objecten dan aantal plaatviaducten.
Schets:	

Tabel 6. Renoveren voorgespannenliggers met betonnen druklaag voor 60 jaar

11.2 Vervangen viaducten

Een deel van de viaducten zal vervangen worden in plaats van gerenoveerd of versterkt. Voor de viaducten die worden vervangen wordt geadviseerd om deze te vervangen aan de hand van een gestandaardiseerd en uniform ontwerp. Omdat de meeste viaducten over de Rijksweg veel op elkaar lijken qua overspanning en functie kunnen deze viaducten ook op een modulaire manier ontworpen en gebouwd worden. Voordelen van een modulair viaduct zijn:

- Kennis over dit viaduct is hoog;
- Bouwtijd korter;
- (Ontwerp)kosten lager;
- Mogelijkheid tot circulair werken.

Omdat hetzelfde type viaduct wordt geproduceerd/gebouwd wordt de kennis van de marktpartijen optimaal benut, niet ieder viaduct dient ontworpen en berekend te worden. Hierdoor kunnen bouwfouten bespaard blijven en ontwerpkosten verlaagd worden.

Een gestandaardiseerd viaduct geeft ook de mogelijkheid om circulair te kunnen werken. Er is veel ruimte voor innovaties en verbeteringen van het ontwerp omdat er wordt geleerd van voorgaande fouten. Wanneer de mogelijkheid er is om circulair nieuw te bouwen zal in de toekomst de keuze om nieuw te bouwen wellicht beter zijn dan renoveren. De technische levensduur van een nieuwbouw viaduct is een stuk hoger dan een gerenoveerde wat de VenR opgave in de toekomst ten goede kan doen.

11.3 Strategische keuzes voor renoveren, versterken en vervangen

In de casestudy wordt gekozen om de viaducten te versterken voor 60 jaar en niet te renoveren voor 30 jaar. Dit om te realiseren dat de viaducten niet tijdens het piekmoment van de VenR opgave opnieuw toe zijn aan vervanging of renovatie. Dit geldt met name voor de objecten die voor het behalen van het einde van de technische levensduur worden versterkt. De objecten die 10 jaar na de technische levensduur worden uitgevoerd worden na de piek vervangen of gerenoveerd, waardoor een spreiding van renoveren voor 30 en 60 jaar wenselijk is. De strategie die wordt toegepast in de casestudy is daarnaast ook gebaseerd op de conditiescores van de viaducten.

Door alleen het toepassen van de strategie waarbij een groot gedeelte van de viaducten wordt versterkt voor 60 jaar wordt de VenR opgave niet opgelost. Om tot een oplossing te komen moeten er ook strategische beslissingen worden genomen voor de overige bruggen en viaducten, waarin de keuze voor renoveren, versterken en vervangen wordt meegenomen.

Bruggen en viaducten die worden vervangen of gerenoveerd dienen niet terug te komen op het moment van de piek in de VenR opgave. Dit is op het moment dat er relatief veel bruggen en viaducten toe zijn aan vervanging en renovatie. Zoals beschreven wordt er uitgegaan van een levensduur van 80 jaar. Piekmomenten zullen hierdoor in de volgende periodes zijn:

- 1960-1979 +80 jaar = 2040-2059
- 2040-2059 +80 jaar = 2120-2139

Wenselijk is dat de objecten vervangen of gerenoveerd moeten worden gedurende een periode dat er relatief weinig bruggen en viaducten gebouwd zijn. Dit zijn de periodes op het moment van een dal. Deze dal periodes zijn:

- 2010-2029 +80 jaar = 2090-2109
- 2090-2109 +80 jaar = 2170-2189

Om zoveel mogelijk bruggen en viaducten te renoveren en vervangen in een dal periode moet er een strategische keuze worden gemaakt wanneer een brug of viaduct wordt gerenoveerd, versterkt of vervangen. Deze verhouding van renoveren, versterken en vervangen is uitgewerkt in Tabel 7.

Hierin is met de optie 'aan te bevelen' weergegeven welke keuze in de desbetreffende periode het beste kan worden toegepast. Dit kan eventueel worden afgewisseld met de optie 'aan/af te raden', dit om een gevarieerde verdeling te creëren. De optie 'af te raden' geeft weer dat keuze in de desbetreffende periode geen slimme zet is. Dit omdat de brug of viaduct dan terugkomt op het moment van een volgende piek in de VenR opgave.

Strategische keuze per periode voor renoveren, versterken of vervangen

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110
Renoveren (30 jaar)										
Versterken (60 jaar)										
Vervangen (80 jaar)										

Aan te bevelen
 Aan/af te raden
 Af te raden

Tabel 7. Strategische keuze renoveren, versterken en vervangen

Zoals blijkt uit de Tabel 7 is met alleen de twee opties renoveren (30jaar) en vervangen (80jaar) niet mogelijk genoeg gelijkmatige spreiding te creëren. Wanneer hier een derde variant bij komt kan er meer spreiding worden gerealiseerd. Dit is met de optie versterken voor 60 jaar.

12. Casestudy viaduct Kornwerderzand

12.1 Omschrijving casestudy

In de casestudy wordt een constructieve herberekening gedaan van het viaduct Kornwerderzand. In deze herberekening wordt getoetst of het haalbaar is om de betonnen druklaag te vervangen voor een VVK-dek, waarbij de constructie wordt versterkt voor 60 jaar. Het gaat hierbij om een indicatieve berekening, het betreft geen uitgebreide herberekening. Met deze indicatie wordt de haalbaarheid van de strategie uit Hoofdstuk 11 onderbouwd.

12.1.1 Basisgegevens constructie

Het viaduct Kornwerderzand (code: 10B-001-08), met stichtingsjaar 1974 is gelegen nabij de Lorentzsluizen in de Afsluitdijk, zie Figuur 45. Zie Figuur 46 voor het zijaanzicht, Figuur 47 voor het bovenaanzicht van het dek en Figuur 48 voor onderaanzicht van de liggers. Het viaduct gaat over de Rijksweg A7 en bestaat uit 3 statische bepaalde velden van 31 meter. In de huidige situatie biedt het viaduct plaats aan 2 rijstroken. De constructie valt in gevolgklasse CC3 van NEN-EN 1990. De opbouw van het viaduct is als volgt:

- De bovenbouw van dit viaduct bestaat uit 3 statisch bepaalde dekken, waarbij ieder dek is opgebouwd uit prefab liggers (Spanbeton) met een betonnen druklaag. De prefabliggers zijn intern onderling gekoppeld met 4 in-situ dwarsdragers per dek, namelijk 2 einddwarsdragers en 2 tussendwarsdragers. De prefab randliggers en tussendwarsdragers zijn voorzien van nagerekt staal. De overige prefab liggers zijn voorzien van voorgerekt staal. De druklaag en de einddwarsdragers zijn traditioneel gewapend;
- De onderbouw bestaat uit 2 landhoofden en 2 tussensteunpunten, allen in het werk gestort.

De conditiescore (zoals beschreven in Hoofdstuk 4.4.1) is conditiescore 5. Dit betekent dat dit viaduct een slechte conditie heeft waarbij het verouderingsproces bijna onomkeerbaar is geworden.



Figuur 45. Locatie viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)



Figuur 46. Zijaanzicht viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)



Figuur 47. Bovenaanzicht viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)

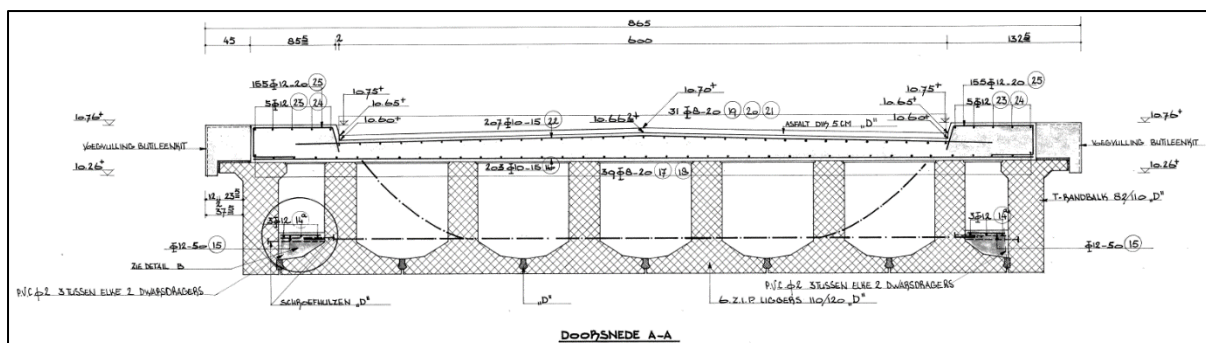


Figuur 48. Onderaanzicht viaduct Kornwerderzand (bron: Streetsmart, 2019)

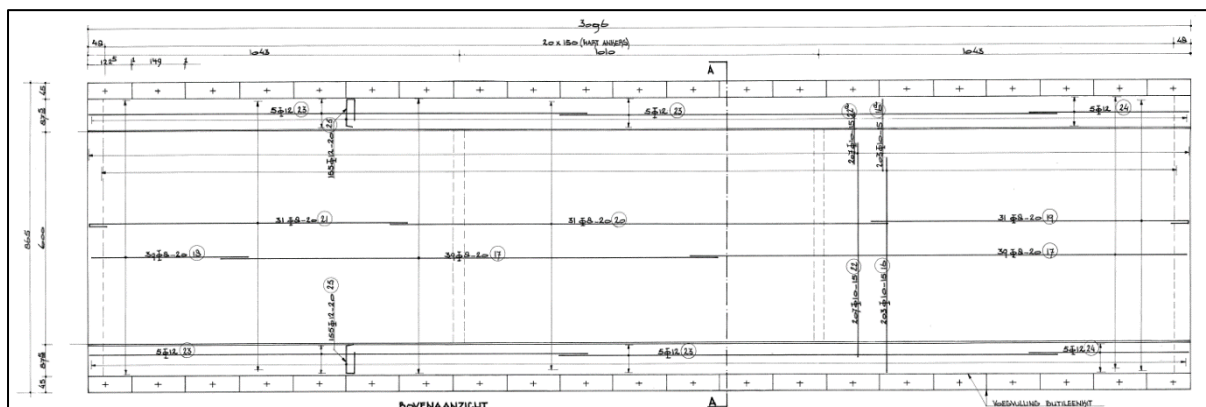
In Tabel 8 zijn de belangrijkste afmetingen van het dek van het viaduct weergegeven. Deze gegevens zijn aangehouden in de berekening. Figuur 49 toont een dwarsdoorsnede van de bovenbouw (dek) van het viaduct. De 6 middenliggers zijn voorzien van voorgerekt staal. De 2 randliggers beschikken beiden over nagerekt staal. Figuur 50 toont een bovenaanzicht van de bovenbouw (dek) van het viaduct. (bron: Witteveen+Bos, 2016)

Onderdeel	Afmeting/waarde	Opmerking
Hoogtematen wegdek		
Bovenzijde asfalt	NAP + 10,70 m	Ter plaatse van as rijweg
Bovenzijde asfalt	NAP + 10,65 m	Ter plaatse van schampkanten
Hoogtematen betondek		
Bovenzijde inspectiepad	NAP + 10,76 m	
Bovenzijde druklaag	NAP + 10,66 m	Ter plaatse van as rijweg
Bovenzijde druklaag	NAP + 10,60 m	Ter plaatse van schampkanten
Dikten betondek		
Maximale dikte druklaag	0,23 m	Ter plaatse van as rijweg
Minimale dikte druklaag	0,17 m	Ter plaatse van schampkanten
Lengten		
Lengte van ieder dek	30,96 m	
Maximale lengte overspanning	30,50 m	Gemeten van hart oplegging tot hart oplegging
Breedten		
Breedte dek totaal	8650 mm	
Breedte wegdek	6000 mm	Tussen geleiderails
Breedte schampkant	1325 mm	

Tabel 8. Hoofdafmetingen dek viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos, 2016)



Figuur 49. Dwarsdoorsnede bovenbouw viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos, 2016)



Figuur 50. Bovenaanzicht wapening in druklaag viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos, 2016)

Tabel 9 geeft een kort overzicht van de wapening in de druklaag.

Onderdeel	Wapening (mm)
Langswapening, onder	Ø8-200 (FeB 40)
Langswapening, boven	Ø8-200 (FeB 40)
Dwarswapening, onder	Ø10-150 (FeB 40)
Dwarswapening, boven	Ø10-150 (FeB 40)

Tabel 9. Overzicht wapening in druklaag ten behoeve van toetsingen

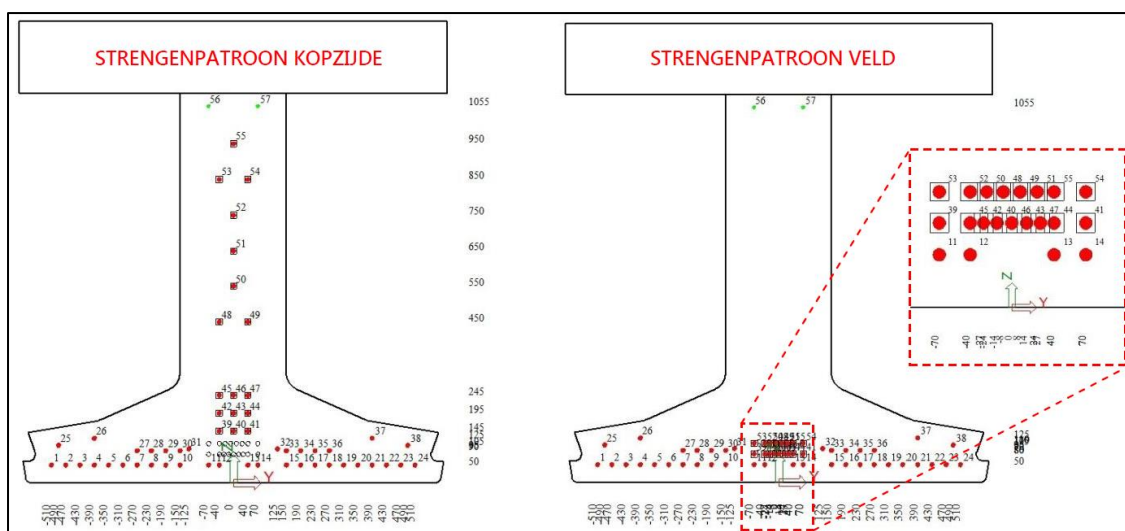
In het dek zijn 4 dwarsdragers aanwezig, zoals aangegeven in afbeelding hierboven:

- 2 gewapende einddwarsdragers ter plaatse van de opleggingen (breedte dwarsdrager 460 mm);
- 2 voorgespannen tussendragers, beide op 10,45 m vanaf kopse zijde van het dek (breedte dwarsdrager 350 mm).

In Figuur 51 is het strengenpatroon in de ZIP-ligger schematisch weergegeven, waarbij:

- Streng Ø12: 55 stuks (staaloppervlak 86mm² per streng);
- Streng Ø9: 2 stuks (staaloppervlak 49 mm² per streng).

Het zwaartepunt (Ez) bepaald op 76 mm. Het knikpunt van de voorspanning ligt gelijk met de tussendwarsdrager. Dat is op 10,45 m vanaf de kopse zijde van het dek. (bron: Witteveen+Bos. ,2016)



Figuur 51. Strengenpatroon ZIP-ligger (bron: Witteveen+Bos. ,2016)

12.2 Systeemspecificatie viaduct Kornwerderzand

Op basis van de basisspecificatie Vaste Brug zijn de systeemspecificaties opgesteld. De systeemspecificaties zijn opgesteld om bij het vervangen van de betonnen druklaag voor een VVK-dek te voldoen aan de minimaal gestelde eisen voor een viaduct (vaste brug). Op de systeemspecificaties is de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA) van toepassing voor de inrichting van de weg. Daarnaast is het kader Richtlijn Beoordeling Kunstwerken (RBK) van toepassing dit kader bevat richtlijnen en aanvullende eisen voor de beoordeling van bestaande kunstwerken. Op sommige systeem eisen is de RBK van toepassing in combinatie met de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK). Hieronder staan de systeemeisen die van toepassing zijn op het viaduct Kornwerderzand opgesomd:

Eisen uit functieanalyse:

1. Ruimte bieden aan weg boven;
2. Ruimte bieden aan weg onder;
3. (Af-)dragen belastingen.

Eisen uit aspectanalyse:

1. Betrouwbaarheid;
2. Beschikbaarheid;
3. Onderhoudbaarheid;
4. Veiligheid;
5. Omgevingshinder;
6. Duurzaamheid;
7. Vormgeving;
8. Toekomstvastheid;
9. Sloopbaarheid.

Eisen uit raakvlakanalyse:

1. Raakvlak Vaste Brug - Weg (Rijksweg/ wegennetwerk);
2. Raakvlak Vaste Brug - Vandalen/ ongewenste bezoekers;
3. Raakvlak Vaste Brug - Beheerder;
4. Raakvlak Vaste Brug - Kabels en leidingen derden.

Deze systeemeisen staan voor het viaduct Kornwerderzand uitgewerkt in Bijlage J. Het is van belang dat bij het versterken van het viaduct voldaan wordt aan deze systeemeisen. Echter in deze casestudy worden alleen de constructief gereguleerde eisen uitgewerkt, de andere eisen worden niet meegenomen in de casestudy. De casestudy richt zich dus alleen op het constructieve deel, of het wel of niet haalbaar is om het viaduct Kornwerderzand te versterken voor 60 jaar door de betonnen druklaag te vervangen voor een VVK-dek. Hieronder staan deze constructief gereguleerde eisen verder toegelicht die worden meegenomen in de casestudy.

- Dragen van belastingen (SYS-0333)

Eis met betrekking tot het (Af-)dragen belastingen. Het viaduct Kornwerderzand dient alle van toepassing zijnde belastingen conform de eisen van de RBK te kunnen opnemen en afdragen (overgedragen naar de ondergrond). Aangetoond wordt dat de werkende belastingen kunnen worden opgenomen of afgedragen.

- Betrouwbaarheid constructief (SYS-0335)

Eis met betrekking tot betrouwbaarheid. Het viaduct Kornwerderzand dient constructief betrouwbaar te zijn conform de vereiste betrouwbaarheidsgevolgklasse uit de RBK. Aangetoond wordt dat het viaduct voldoet aan de vereiste betrouwbaarheid.

- Technische levensduur vaste brug (SYS-0336)

Eis met betrekking tot beschikbaarheid. Het viaduct Kornwerderzand dient een technische levensduur te hebben van ten minste 60 jaar. De technische levensduur van het systeem conform de normen en richtlijnen RBK. Aangetoond wordt dat de technische levensduur met 60 jaar wordt verlengd voor het viaduct als object.

Bij een versterking valt het te versterken onderdeel (de betonnen druklaag vervangen voor een VVK-dek) onder verbouw. De overige bestaande onderdelen (liggers) dienen te worden beoordeeld op het niveau gebruik. Uit Tabel 10 blijkt dat voor de restlevensduur 30 jaar aangehouden moet worden. Echter wordt in deze situatie beoordeeld of het mogelijk is om het viaduct te versterken voor 60 jaar. Voor de restlevensduur voor zowel de nieuwe constructie (VVK-dek) als voor de bestaande constructie wordt beoordeeld op een restlevensduur van 60 jaar.

	Referentieperiode (jaar)	Restlevensduur (jaar)
Nieuwbouw	100	100
Verbouw	30	30*)
Gebruik	30	30*)
Afkeur	15	1

*) Voor verbouw en gebruik kan projectspecifiek een langere restlevensduur (en referentieperiode) worden overeengekomen

Tabel 10. Referentieperiode en restlevensduur (bron: Rijkswaterstaat, 2013a)

12.3 Herberekening versterken voor 60 jaar

12.3.1 Materiaalopbouw VVK

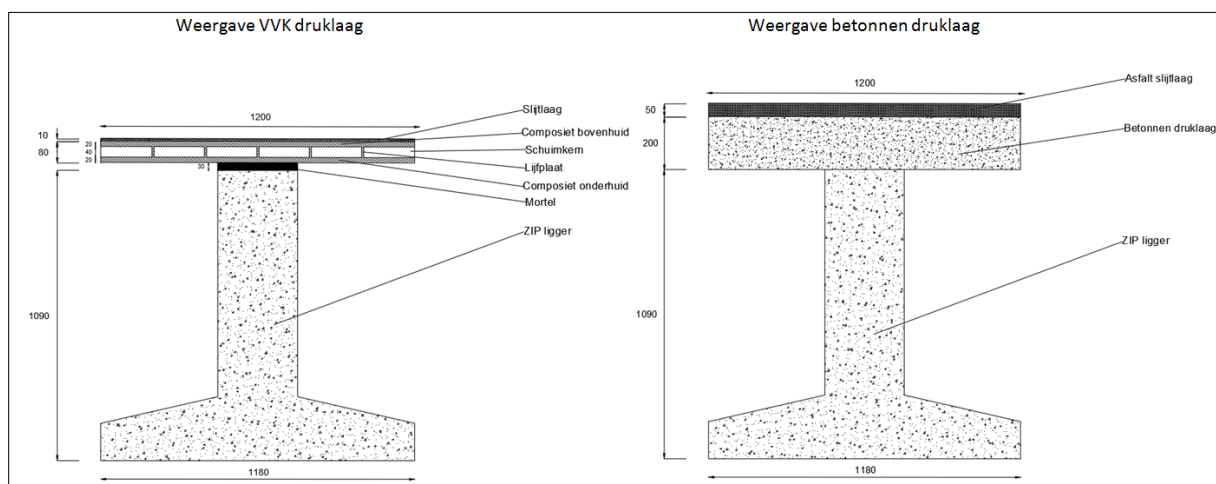
In de casestudy wordt de betonnen druklaag vervangen door VVK-panelen (Figuur 52). Figuur 53 geeft het verschil weer in constructieopbouw wanneer de betonnendruklaag wordt vervangen door een VVK-dek. Gerekend wordt met InfraCore composiet platen, hiervan is een dwarsdoorsnede en langsdoorsnede weergegeven in Figuur 54. Deze platen/panelen bestaan van boven naar beneden uit: een bovenhuid-schuimkern-onderhuid. Op de bovenhuid is een slijtlaag aangebracht, deze slijtlaag is aangebracht in epoxy op de niet-malzijde. Dit omdat de aanhechting op de niet-malzijde beter is, omdat het hier enigszins golvend is. Verder is te zien dat er zich een mortel bevindt tussen het beton en het VVK-paneel. Bij deze verbinding kunnen er in drie combinaties de zwakste schakel:

- Mortel-beton;
- Mortel-VVK;
- Mortel op zichzelf.

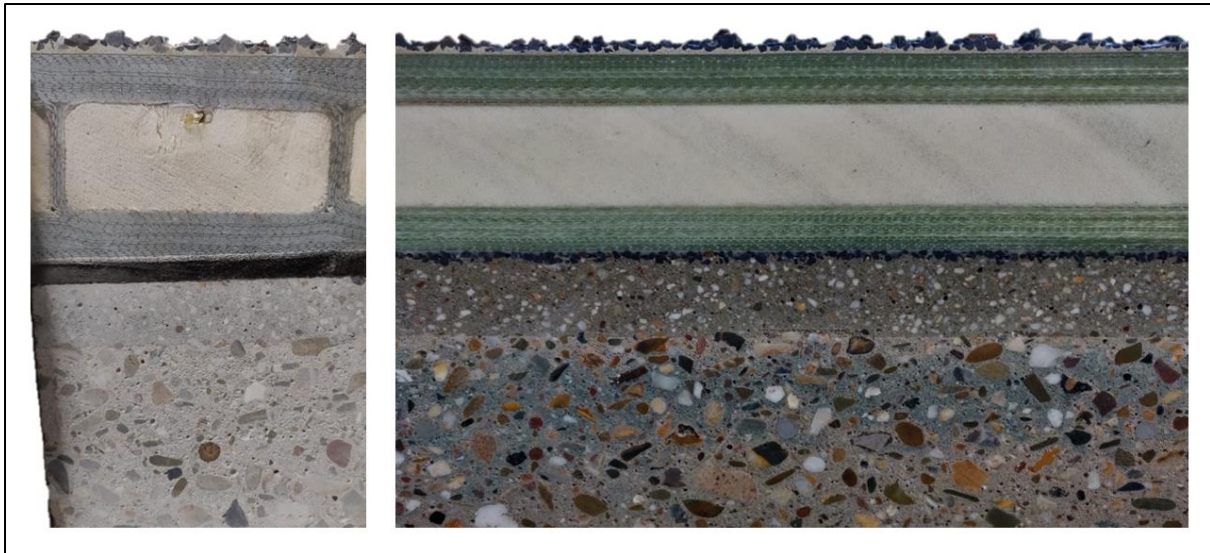
De zwakste schakel hierin is de verbinding tussen de mortel en het beton. De verbinding tussen het VVK-paneel en de betonnen ligger bestaat niet alleen uit mortel, maar zal ook constructief worden verbonden middel een ankerverbinding of een deuvel/mortel verbinding.



Figuur 52. VVK-panelen (bron: Composite Advantage, z.d.)



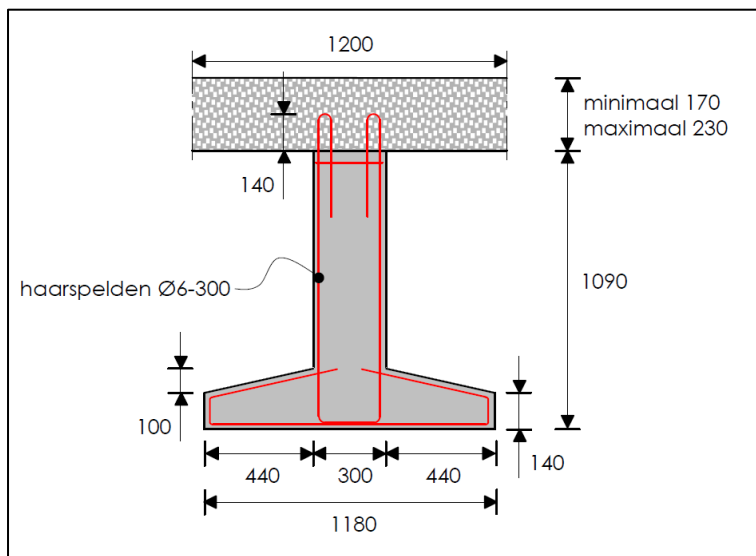
Figuur 53. Doorsnede VVK-constructieopbouw in vergelijking tot betonnen druklaag



Figuur 54. VVK-constructieopbouw Dwarsdoorsnede (links) en langsdoorsnede (rechts) (bron: Zwaaneveldt, O., 2019)

12.3.2 Verbinding VVK-dek en ZIP-ligger

De schuifkrachten tussen de ZIP-ligger en de betonnen druklaag worden met de 4-snedige haarspelden die 300mm hart op hart liggen afgedragen. Zie Figuur 55. Deze constructieve verbinding is getoetst en blijkt niet te voldoen in huidige staat. (bron: Witteveen+Bos, 2016)



Figuur 55. Schematische weergave afschuifwapening in dwarsdoorsnede ZIP-ligger (bron: Witteveen+Bos, 2016)

Wanneer de betonnen druklaag wordt vervagen door het VVK-dek moeten er een constructieve verbinding ontstaan tussen de twee materialen. Deze constructieve verbinding moet de schuifkrachten over kunnen brengen van het VVK-dek naar de betonnen ligger. Door de betonnen druklaag te vervangen voor een VVK-dek is er de mogelijkheid om ook te voldoen aan de eisen voor de constructieve verbinding. De verbinding kan op twee manieren worden uitgevoerd:

- Ankerverbinding tussen VVK-dek en betonnen ligger;
- Deuvelverbinding met mortel tussen betonnen ligger en VVK-dek.

Bij beide varianten dienen eerste de stekken (haarspelden uitstekend uit de ZIP-ligger) af te worden gesneden. De verbinding tussen het VVK-dek en het beton dient waterdicht afgesloten te worden. Dit om chloriden geïnitieerde wapeningscorrosie te voorkomen.

De ankerverbinding tussen het VVK-dek en de betonnen ZIP-liggers kan worden gerealiseerd door in de voorgeboorde gaten in het VVK-dek een anker door te boren. Dit anker wordt in de betonnen ligger geboord. Het anker kan op spanning worden gebracht door dit aan te draaien, middels een bout en moer verbinding. Zie hiervoor Figuur 56. (bron: Zwaaneveldt, O. , 2019)



Figuur 56. Verbinding tussen VVK-dek en ZIP-ligger middels ankerverbinding (bron: Zwaaneveldt, O., 2019)

De deuvelverbinding met mortel kan worden gerealiseerd door deuvels te bevestigen in de betonnen liggers. De VVK-panelen bevatten voorgeboorde kokers die over de deuvels worden geplaatst. Wanneer het paneel op de juiste plek liggen worden de holle ruimtes gevuld met een krimprijke mortel. Op deze wijze ontstaat een constructieve verbinding tussen het VVK-dek en de betonnen liggers. Zie hiervoor Figuur 57. (bron: Composite Advantage, z.d.)



Figuur 57. Verbinding tussen VVK-dek en ZIP-ligger middels deuvel en mortel verbinding (bron: FRP Decks for Movable Vehicle Bridges)

12.3.3 Beoordeling op constructieve veiligheid

Voor de beoordelingen van de constructieve veiligheid wordt gebruik gemaakt van de methode van partiële factoren. Hierbij worden de grenstoestanden geverifieerd met een unity check (u.c.). De u.c. is de verhouding tussen de rekenwaarde van het belastingeffect (Ed) en de rekenwaarde van de weerstand (Rd). De grenstoestand voldoet bij u.c. = $Ed/Rd \leq 1,00$.

Bij de beoordeling wordt alleen de uiterste grenstoestanden beoordeeld, de bruikbaarheidsgrenstoestanden wordt in principe niet beoordeeld. Wel wordt bij de beoordeling van de uiterste grenstoestanden rekening gehouden met de te verwachten verminderde conditie van het viaduct gedurende de restlevensduur.

12.3.4 Opnemen en afdragen belastingen

In onderstaande herberekening wordt conform de gevolklasse CC3 aangetoond dat alle van toepassing zijnde belastingen kunnen worden opgenomen of afgedragen door de constructiewanneer het viaduct wordt versterkt voor 60 jaar. De gevolklasse CC3 wordt aangehouden omdat de bruggen in en over hoofdwegen en hoofdvaarwegen zijn ingedeeld in gevolklasse CC3 (bron: NEN-EN 1990 NB-tabel NB.21).

Belastingen

De onderstaande belastingen hieronder zijn per ligger berekend.

Eigen gewicht ZIP-ligger:

Het eigen gewicht van de ZIP-ligger is met de volgende formule berekend:

$$Q_{\text{ligger}} = A_b \cdot Y_{\text{beton}} = \\ 0,4942 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 12,4 \text{ kN/m}$$

Permanente belasting per ZIP-ligger:

$$Q_{\text{druklaag}} = B_{\text{ligger}} \cdot T_{\text{druklaag}} \cdot Y_{\text{beton}} = \\ 1,2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 6 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{asfalt}} = B_{\text{ligger}} \cdot T_{\text{asfalt}} \cdot Y_{\text{asfalt}} = \\ 1,2 \text{ m} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 23 \text{ kN/m}^3 = 1,4 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{slijtlaag.vvk}} = B_{\text{ligger}} \cdot T_{\text{slijtlaag}} \cdot Y_{\text{asfalt}} = \\ 1,2 \text{ m} \cdot 0,01 \text{ m} \cdot 23 \text{ kN/m}^3 = 0,3 \text{ kN/m}$$

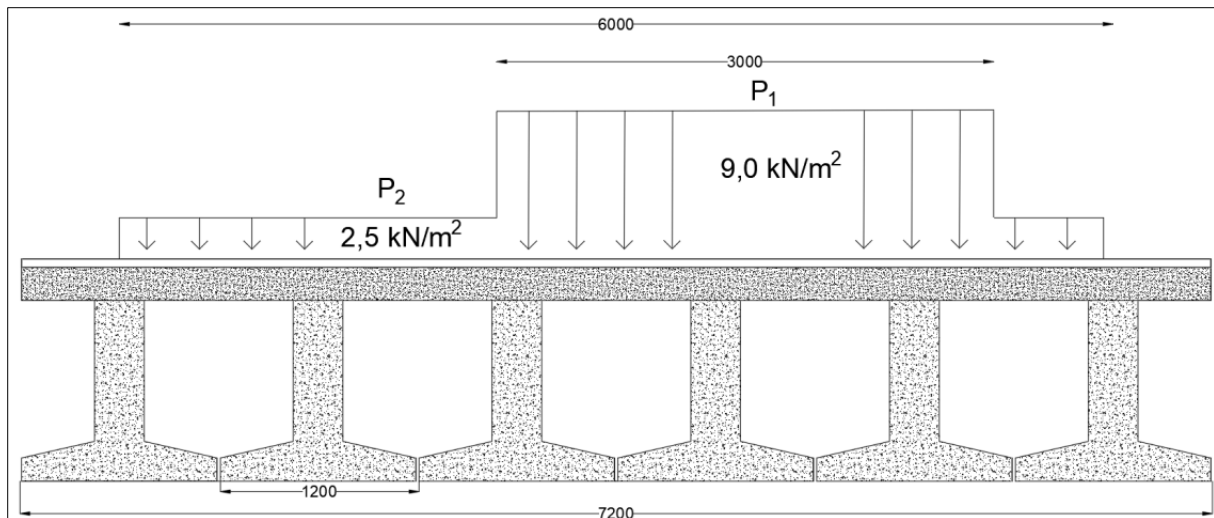
$$Q_{\text{vvk}} = B_{\text{ligger}} \cdot T_{\text{vvk}} \cdot Y_{\text{vvk}} = \\ 1,2 \text{ m} \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 12 \text{ kN/m}^3 = 1,2 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{geleiderail}} = 1,0 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{leuning}} = 1,5 \text{ kN/m}$$

Veranderlijke lijnlast per ZIP-ligger:

De uniform verdeelde belasting van $9,0 \text{ kN/m}^2$ moet over een breedte van maximaal $3,0 \text{ m}$ worden toegepast. Voor de resterende breedte ($6,0 \text{ m}$ rijdek) dient een mobiele belasting van $2,5 \text{ kN/m}^2$ in rekening worden gebracht.



Figuur 58. Uniform verdeelde belasting

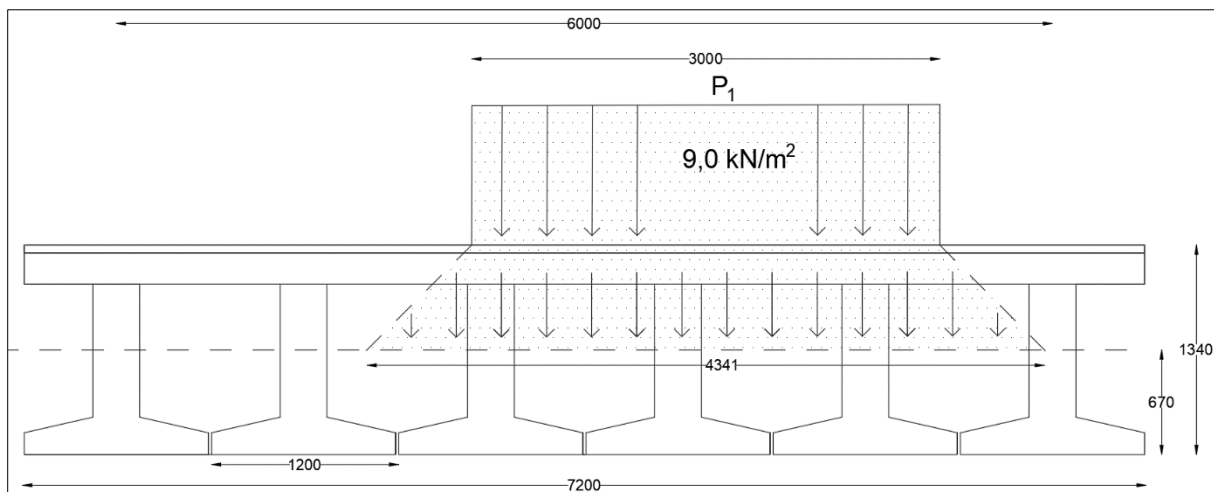
$$Q_1 = (3,0 \text{ m} * P_1) / (3 \text{ m} + 2 * 0,5 * H_{\text{totaal}})$$

$$P_1 = 9,0 \text{ kN/m}^2 - 2,5 \text{ kN/m}^2 = 6,5 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{\text{totaal}} = H_{\text{ligger}} + T_{\text{druklaag}} + T_{\text{asfalt}}$$

$$H_{\text{totaal}} = 1,09 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 1,34 \text{ m}$$

$$Q_1 = (3,0 \text{ m} * 6,5 \text{ kN/m}^2) / (3 \text{ m} + 2 * 0,67 \text{ m}) = 4,49 \text{ kN/m}$$



Figuur 59. Krachtverdeling over liggers

$$4,341 \text{ m} / 1,20 = 3,6 \text{ liggers}$$

De krachten van Q_1 worden door 3,6 liggers opgenomen in het geval van een betonnen druklaag met een asfaltlaag. In het geval met de VVK-laag zijn dit 3,5 liggers omdat de constructiehoogte kleiner is. Dit onderscheid wordt verder verwaarloosd omdat dit geen grote gevolgen heeft in de eindberekening.

$$Q_2 = (B_{\text{wegdek}} * P_2) / (B_{\text{ligger}} * 6)$$

$$Q_2 = (6,0 \text{ m} * 2,5 \text{ kN/m}^2) / (1,2 \text{ m} * 6)$$

$$Q_2 = 2,08 \text{ kN/m}$$

De krachten van Q_2 worden door alle ligger opgenomen.

$$Q_{\text{totaal}} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{\text{totaal}} = 4,49 \text{ kN/m} + 2,08 \text{ kN/m} = 6,57 \text{ kN/m}$$

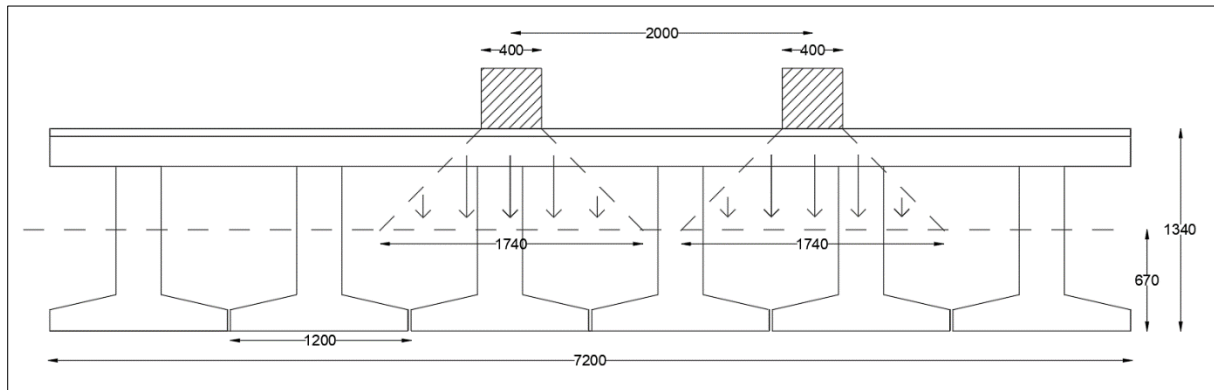
Lijnlast per ligger

$$Q_{\text{totaal}} = Q_{\text{totaal}} / \text{aantal liggers} =$$
$$6,57 \text{ kN/m} / 6 = 1,01 \text{ kN/m}$$

Wielasten per ZIP-ligger:

Voor de spreiding van de wielasten wordt er een hoek van 45 graden aangehouden tot aan het midden van totale constructie hoogte. ($H_{\text{totaal}} = H_{\text{ligger}} + T_{\text{druklaag}} + T_{\text{asfalt}} = 1,34 \text{ m}$)

$$H = 0,5 * 1,34 \text{ m} = 0,67 \text{ m}$$



Figuur 60. Spreiding wielasten

Breedte van één wiel is 0,4 m

$$0,4 + 2 * 0,67 \text{ m} = 1,74 \text{ m}$$

$$1,74 \text{ m} * 2 = 3,48 \text{ m}$$

$$3,48 / 1,2 = 2,9 \text{ liggers}$$

De krachten van de wielasten worden met de constructie met de betonnen druklaag en asfaltlaag door 2,9 liggers opgenomen. Voor de constructie met VVK zijn dit 2,7 liggers. Dit onderscheid wordt verder verwaarloosd omdat dit geen grote gevolgen heeft in de eindberekening.

De 2 x 300 kN aslasten worden in de berekening als 1 puntlast van 600 kN in het midden aangenomen.

$$600 \text{ kN} / 2,9 \text{ liggers} = 206,9 \text{ kN per ligger}$$

Maximale momenten

Moment tgv eigen gewicht ZIP-ligger:

$$M_{\text{max.ligger}} = 1/8 * Q_{\text{ligger}} * L_{\text{veld}}^2 =$$

$$1/8 * 12,4 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 1437 \text{ kNm}$$

Moment tgv permanente belastingen per ZIP-ligger:

$$M_{\text{max.druklaag}} = 1/8 * Q_{\text{druklaag}} * L_{\text{veld}}^2 =$$

$$1/8 * 6 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 698 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{max.asfalt}} = 1/8 * Q_{\text{asfalt}} * L_{\text{veld}}^2 =$$

$$1/8 * 1,4 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 160 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{max.slijtlaag.vvk}} = 1/8 * Q_{\text{slijtlaag.vvk}} * L_{\text{veld}}^2 =$$

$$1/8 * 0,3 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 32 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{max.vvk}} = 1/8 * Q_{\text{asfalt}} * L_{\text{veld}}^2 =$$

$$1/8 * 1,2 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 135 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{max.geleiderail}} = 1/8 * Q_{\text{geleiderail}} * L_{\text{veld}}^2 = \\ 1/8 * 1,0 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 116 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{max.leuning}} = 1/8 * Q_{\text{leuning}} * L_{\text{veld}}^2 = \\ 1/8 * 0,5 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 58 \text{ kNm}$$

Moment tgv voorspanning per ZIP-ligger:

$$M_{\text{voorspanning}} = -259 \text{ kNm (bron: Witteveen+Bos. ,2016)}$$

Moment tgv veranderlijke lijnlast per ZIP-ligger:

$$M_{\text{max lijnlast}} = 1/8 * Q_{\text{leuning}} * L_{\text{veld}}^2 = \\ 1/8 * 1,01 \text{ kN/m} * 30,5^2 \text{ m} = 117 \text{ kNm}$$

Moment tgv wiellasten per ZIP-ligger:

$$M_{\text{max.wiellast}} = 1/4 * F * L \\ 1/4 * 206,9 \text{ kN} * 30,5 \text{ m} = 1577 \text{ kNm}$$

Maximale dwarskracht

Dwarskracht tgv eigen gewicht ZIP-ligger:

$$V_{\text{max.ligger}} = 1/2 * Q_{\text{ligger}} * L_{\text{veld}} = \\ 1/2 * 12,4 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 188 \text{ kN}$$

Dwarskracht tgv permanente belasting per ZIP-ligger:

$$V_{\text{max.druklaag}} = 1/2 * Q_{\text{ligger}} * L_{\text{veld}} = \\ 1/2 * 6,0 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 92 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max.asfalt}} = 1/2 * Q_{\text{asfalt}} * L_{\text{veld}} = \\ 1/2 * 1,4 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 21 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max.slijtlaag.vvk}} = 1/2 * Q_{\text{slijtlaag.vvk}} * L_{\text{veld}} = \\ 1/2 * 0,3 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 4 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max.vvk}} = 1/2 * Q_{\text{vvk}} * L_{\text{veld}} = \\ 1/2 * 1,2 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 18 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max.geleiderail}} = 1/2 * Q_{\text{geleiderail}} * L_{\text{veld}} = \\ 1/2 * 1,0 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 15 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max.leuning}} = 1/2 * Q_{\text{leuning}} * L_{\text{veld}} = \\ 1/2 * 5,0 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 8 \text{ kN}$$

Dwarskracht tgv voorspanning per ZIP-ligger:

$$V_{\text{voorspanning}} = -77 \text{ kN (bron: Witteveen+Bos. ,2016)}$$

Dwarskracht tgv veranderlijke lijnlast per ZIP-ligger:

$$V_{\max, \text{lijnlast}} = 1/2 * Q_{\text{lijnlast}} * L_{\text{veld}} =$$

$$1/2 * 1,01 \text{ kN/m} * 30,5 \text{ m} = 15 \text{ kN}$$

Dwarskracht tgv wiellasten per ZIP-ligger:

$$V_{\max, \text{wiellast}} = 1/2 * F =$$

$$= 1/2 * 206,9 \text{ kN} = 104 \text{ kN}$$

Belastingfactoren

In Tabel 11 staan de belastingfactoren opgesomd, verdeeld in permanent en veranderlijk.

<u>Lijnlasten</u>		[kN/m]	Belastingfactor	Max moment [kNm]	Max dwarskracht [kN]
Eigen gewicht	ZIP-ligger	12,4	1,15	1652	217
Permanent	Betonnen druklaag	6	1,15	802	105
Permanent	VVK-druklaag	1,2	1,15	154	20
Permanent	Asfaltlaag	1,4	1,15	185	24
Permanent	Slijtlaag bij VVK	0,3	1,15	32	4
Permanent	Geleiderail	1,0	1,15	134	18
Permanent	Leuning	0,5	1,15	67	9
Permanent	Voorspanning	-	1,0	-259	-77
Veranderlijk	Verkeer	1,01	1,25	117	15

<u>Puntlast</u>		[kN]	Belastingfactor	Max moment [kNm]	Max dwarskracht [kN]
Veranderlijk	Verkeer	206,9	1,25	1577	104

Tabel 11. Belastingfactoren van toepassing op viaduct Kornwerderzand

Belastingcombinaties

De belastingcombinaties die werken op het viaduct zijn als volgt:

- Combinatie 1: ZIP-ligger met betonnen druklaag
- Combinatie 2: ZIP-ligger met VVK-druklaag

Belastingcombinatie	1 (betonnen druklaag)		2 (VVK-druklaag)	
	Max moment [kNm]	Max dwarskracht [kN]	Max moment [kNm]	Max dwarskracht [kN]
ZIP-ligger	1652	217	1652	217
Betonnen druklaag	802	105		
VVK-druklaag			154	20
Asfaltlaag	185	24		
Slijtlaag bij VVK			32	4
Geleiderail	134	18	134	18
Leuning	67	9	67	9
Voorspanning	-259	-77	-259	-77
Verkeer lijnlast	117	15	177	15
Verkeer wiellast	1577	104	1577	104
Totaal	4275	415	3534	310

Tabel 12. Belastingcombinaties op viaduct Kornwerderzand

Unity check

Alleen de dwarskrachtcapaciteit van de ZIP-ligger is meegenomen in de bezwijkkrachten. Er is geen rekening gehouden met de dwarskrachtcapaciteit van de betonnen druklaag en de VVK-druklaag. Dit omdat de dwarskrachtcapaciteit van een VVK-druklaag niet voldoende bekend is. De dwarskrachtcapaciteit en het bezwijkmoment zijn te vinden in de verificatieberekening viaduct Kornwerderzand. In de berekening zijn de bezwijkkrachten gelijk aangenomen. In de praktijk is waarschijnlijk de bezwijkkracht van een VVK-druklaag lager dan die van beton. Maar de exacte gegevens ontbreken nog.

	1 (betonnen druklaag)		2 (VVK-druklaag)	
	Moment	Dwarskracht	Moment	Dwarskracht
Totale krachten	4275 kNm	415 kN	3534 kNm	310 kN
Bezuijkkrachten	5433 kNm	622 Kn	5433 kNm	622 kN
u.c.	0.79	0.67	0.65	0.50

Tabel 13. Unity check op viaduct Kornwerderzand

Maximale schuifspanning

Maximale schuifspanning met betonnen dek:

Het traagheidsmoment van de constructie is met de onderstaande tabel uitgerekend.

Materiaal	Laagnummer	E [Mpa]	h [mm]	b [mm]	I [mm ⁴]
Asfalt	1	500	50	1200	1,25*10 ⁷
Betonnen druklaag	2	32.000	200	1200	8,0*10 ⁸
ZIP-ligger	3	40.000	1090	1200	5,51*10 ¹⁰
Totaal					5,59*10 ¹⁰

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max} * S}{b_{\text{lijf.ZIP}} * I_{\text{totaal}}}$$

$$S = Arm * A_{\text{afschuif}} = 790 * 300.000 = 2,1 * 10^8 \text{ mm}^3$$

$$A_{\text{afschuif}} = 250 * 1200 = 300.000$$

$$Arm = \frac{1340}{2} + \frac{250}{2} = 790 \text{ mm}$$

$$V_{\max} = 415.000 \text{ N}$$

$$I_{\text{totaal}} = 5,59 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$b_{\text{lijf.ZIP}} = 300 \text{ mm}$$

$$\tau_{\max} = \frac{510.000 * 2,1 * 10^8}{300 * 5,59 * 10^{10}} = 5,2 \text{ N/mm}^2$$

Maximale schuifspanning met VVK dek:

Het traagheidsmoment van de constructie is met de onderstaande tabel uitgerekend.

Materiaal	Laagnummer	E [Mpa]	h [mm]	b [mm]	I [mm ⁴]
Slijtlaag bij VVK	1	500	10	1200	2,5*10 ⁶
Composiet bovenhuid	2	32.000	20	1200	1,0*10 ⁵
Lijfplaat	3	17.000	40	40	4,27*10 ⁴
Composiet onderhuid	4	32.000	20	1200	1,0*10 ⁵
Mortel	5	34.700	30	1200	3,38*10 ⁵
ZIP-ligger	6	40.000	1090	1200	5,51*10 ¹⁰
				Totaal	5,51*10 ¹⁰

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max} * S}{b_{\text{lijf.ZIP}} * I_{\text{totaal}}}$$

$$S = Arm * A_{\text{afschuif}} = 635 * 108.000 = 6,8 * 10^7 \text{ mm}^3$$

$$A_{\text{afschuif}} = 90 * 1200 = 108.000$$

$$Arm = 575 * 125 = 700 \text{ mm}$$

$$V_{\max} = 310.000 \text{ N}$$

$$I_{\text{totaal}} = 5,51 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$b_{\text{lijf.ZIP}} = 300 \text{ mm}$$

$$\tau_{\max} = \frac{369.000 * 6,8 * 10^7}{300 * 5,51 * 10^{10}} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

Samenvatting

In Tabel 14 staan de waarden in combinatie met de u.c. voor gevolgklasse CC3 uitgewerkt.

	Betonnen druklaag	VVK-druklaag
Maximale moment	4275 kNm	3534 kNm
u.c.	0.79	0.67
Maximale dwarskracht	415 kN	310 kN
u.c.	0.65	0.50
Maximale schuifspanning	5,2 N/mm ²	1,2 N/mm ²

Tabel 14. Samenvatting berekening viaduct Kornwerderzand

12.3.5 Technische levensduur voor 60 jaar

Het viaduct Kornwerderzand dient een technische levensduur te hebben van ten minste 60 jaar. Om hieraan te voldoen dient de gehele constructie na het versterken een technische levensduur te behalen van 60 jaar. Het VVK-dek gaat langer dan deze beoogde levensduur mee. Bij de aanpassing van (onderdelen van) het viaduct moeten de overige onderdelen nog een voldoende restlevensduur hebben om (her)gebruik in de nieuwe situatie zinvol te maken. Het viaduct is gerealiseerd in 1974 en heeft een theoretische levensduur van 80 jaar. Dit betekent dat het einde van de theoretische levensduur wordt gehaald in 2054. Op dit moment (2019) is het viaduct 45 jaar oud, wanneer er wordt versterkt voor 60 jaar betekent dit dat alle constructieonderdelen (met uitzondering van het VVK-dek) een technische levensduur bereiken van 105 jaar. Dit zal alleen nog maar meer worden, naarmate de versterkingsmaatregel later plaatsvindt. De belangrijkste factoren bij het verouderen zijn:

- De fundering (betonnen poer onder pijlers en landhoofd);
- Betonnen constructieonderdelen (liggers, pijlers en landhoofden).

Het wegmeubilair (geleiderail en leuning), wegverharding (asfalt) en opleggingen worden buiten beschouwing gelaten omdat dit niet constructieve onderdelen zijn en eerder maatregelen worden genomen. (bron: Rijkswaterstaat, (z.d.)b)

12.2.4.1 Fundering

Bij het verouderen van de fundering kan er zakking optreden ter plaatse van de twee landhoofden en de twee pijlers. Deze zakking kan worden veroorzaakt door het toenamen van de verkeersintensiteit en verkeersbelasting op het viaduct. De pijlers en landhoofden zijn gefundeerd op een betonnen poer. Echter door het verlagen van het eigen gewicht (het soortelijk gewicht van het VVK-dek is de helft lichter dan de betonnen druklaag) neemt de kans op zakking af.

12.2.4.2 Betonnen constructieonderdelen

De eisen in het ontwerpen van betonconstructies zijn gebaseerd op een beoogde levensduur van ten minste 50 jaar. In de voorschriften wordt gesproken van 'een referentieperiode van 50 jaar'. Voor betonnen bruggen is de referentieperiode 80 jaar. Vaak wordt aangenomen dat de levensduur van het beton hiermee ook 50, respectievelijk 80 jaar is, maar strikt genomen is dit niet helemaal correct. De referentieperiode wordt in deze normen namelijk gebruikt om de grootte van de in rekening te brengen piekbelastingen te bepalen. Er wordt niet expliciet gekeken naar de aantastingmechanismen die de constructie bedreigen. (bron: Aeneas Media, 2018)

De huidige verkeersintensiteit op het viaduct bedraagt: totaal per jaar (werkdag) 9800, waarvan vrachtverkeer 1518. Een sterke stijging in het aantal voertuigen wordt niet verwacht. Dit betekent dat de bepaling voor de restlevensduur niet alleen uitgegaan wordt van de optredende piekbelastingen maar de aantastingsmechanismen sterk bepalend zijn op de hoofd draagconstructie. In relatie tot de aantastingmechanismen speelt de omgeving waarin het viaduct moet functioneren een rol. Afhankelijk van de milieuklasse zijn er minimale waarden voor de dekking, in dit geval is de milieuklasse XD3 en constructieklasse S3. In Tabel 15 zijn de waarden van de dekking op de verschillende onderdelen weergegeven. (bron: Witteveen+Bos, 2016)

Constructie onderdeel	In situ/prefab	Betonklasse	Dekking
ZIP-ligger	Prefab	C40/50	25mm (op betonstaal) 35mm (op voorspanstaal)
TRA-ligger (randliggers)	Prefab	C25/30	25mm (op betonstaal) 35mm (op voorspanstaal)
Druklaag	In situ	C20/25	30mm (in situ)

Tabel 15. Betonklasse en dekking viaduct Kornwerderzand (bron: Witteveen+Bos, 2016)

Voor een kortere of langere levensduur kunnen minder strenge of juist strengere eisen nodig zijn. In Nederland is het mogelijk voor het formuleren van prestatie-eisen in relatie tot levensduur van betonconstructies de benadering te kiezen zoals is vastgelegd in CUR-leidraad 1 'Duurzaamheid van constructief beton met betrekking tot chloride-geïnitieerde wapeningscorrosie'. Dit maakt het mogelijk om betonconstructies te ontwerpen op een levensduur van 80, 100 en 200 jaar.

Om een betonconstructie te ontwerpen op een hogere levensduur dient er genoeg dekking aanwezig te zijn om chloriden geïnitieerde wapeningscorrosie te voorkomen. In Tabel 16 en Tabel 17 staan de waarden van de minimale dekkingseisen voor zowel betonstaal als voorspanstaal weergegeven. Voor viaduct Kornwerderzand geldt een constructieklasse S3 en Milieuklasse XD3. Dit betekent dat de minimale dekking op het betonstaal 35mm moet zijn en op voorspanstaal 40mm. Dit betekent dat de

constructie volgens NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016 niet voldoet aan de gestelde eisen. (bron: NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016) (bron: CUR z.d.)

Tabel 4.4N — Waarden van de minimale dekkingseisen, $c_{min,dur}$, met betrekking tot duurzaamheid voor betonstaal volgens NEN-EN 10080

Constructie- klasse	Omgevingseisen voor $c_{min,dur}$ mm						
	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	25
S2	10	10	15	20	25	30	30
S3	10	10	20	25	30	35	35
S4	10	15	25	30	35	40	40
S5	15	20	30	35	40	45	45
S6	20	25	35	40	45	50	50

Tabel 16. Waarden minimale dekkingseisen voor betonstaal (bron: NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016)

Tabel 4.5N — Waarden van de minimale dekkingseisen, $c_{min,dur}$, met betrekking tot duurzaamheid voor voorspanstaal

Constructie- klasse	Omgevingseisen voor $c_{min,dur}$ mm						
	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	15	15	20	25	30	30
S2	10	15	20	25	30	35	35
S3	10	15	25	30	35	40	40
S4	10	20	30	35	40	45	45
S5	15	25	35	40	45	50	50
S6	20	30	40	45	50	55	55

Tabel 17. Waarden minimale dekkingseisen voor voorspanstaal (bron: NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016)

Om een hogere technische levensduur te realiseren moet er een grotere dekking worden toegepast. In Tabel 18 zijn de criteria weergegeven waaraan voldaan moet worden om een hogere technische levensduur te realiseren. Voor een hogere technische levensduur gelden:

- Ontwerplevensduur 100 jaar i.p.v. 50 jaar: vermeerdering met 2 klassen;
- Ontwerplevensduur 75 jaar i.p.v. 50 jaar: vermeerdering met 1 klasse.

Een hogere technische levensduur voor de betonnen constructieonderdelen (met name de ZIP-liggers en TRA-liggers) is niet realistisch omdat de dekking niet voldoet aan de gestelde eisen. (bron: NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2016)

Tabel 4.3N — Constructieve classificatie							
Criterium	Constructieklasse						
	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Ontwerplevensduur 100 jaar	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen
Ontwerplevensduur 75 jaar	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse
Sterkteklasse ^{1), 2)}	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C35/45 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C45/55 vermindering met 1 klasse
Element met plaat-geometrie (plaats van de wapening niet beïnvloed door het bouwproces)	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse
Specifieke kwaliteits-beheersing van de betonproductie gewaarborgd	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse
¹⁾ Aangenomen is dat de sterkteklasse en de w/c-factor met elkaar verband houden. Een specifieke samenstelling (type cement, w/c-factor, fijne vulmiddelen) met de bedoeling een lage permeabiliteit te verkrijgen, mag zijn overwogen. ²⁾ De grens mag zijn verminderd met één sterkteklasse indien luchtinsluiting van meer dan 4 % is toegepast.							
OPMERKING De reductie bij toepassing van kwaliteitsbeheersing mag bijvoorbeeld zijn gebruikt bij prefab elementen waarbij een aantoonbare kwaliteitscontrole op de uitvoering wordt toegepast. In dat geval mag deze reductie niet worden gecombineerd met de reductie van $\Delta\sigma_{dev}$ die (3) van artikel 4.4.1.3 is voorgeschreven. Waarden van de minimale dekking, $c_{min, dur}$, voor betonstaal moeten aan de geamendeerde tabel 4.4N zijn ontleend, welke tabel dan als volgt moet zijn gelezen (normatief):							

Tabel 18. Technische levensduur afhankelijk van dekking (bron: NEN-EN1992-1-1+C2:2011/NB:2016)

In CUR-leidraad 1 wordt beschreven welke kwaliteit van het beton en grootte van de dekking nodig zijn om een ontwerplevensduur van 80, 100 of 200 jaar te bereiken. Hierin wordt de D_{RCM} -waarde gegeven, deze waarde geeft aan hoe makkelijk chloriden het beton binnen kunnen dringen. Hierbij geldt dat een lagere waarde staat voor een dichter beton, dus minder indringing van chloriden. De D_{RCM} -waarde van beton verandert in de tijd. Doordat het beton voortdurend door blijft verhardend wordt het beton steeds dichter en de D_{RCM} -waarde dus steeds lager. Tabellen 1.1, 1.2 en 1.3 voor respectievelijk een ontwerplevensduur van 80, 100 en 200 jaar geven aan in welke omstandigheden met welke dekking voldoen voor de gestelde levensduur. Echter omdat de dekking te klein is voldoet de betonnen hoofdconstructie niet langer dan de gestelde ontwerplevensduur van 80 jaar. (bron: CUR, z.d.)

12.3.4.1 Conclusie levensduur

Uit het inspectierapport instandhoudingsinspectie voor viaduct Kornwerderzand blijkt dat de betonnen hoofdconstructie in goede staat verkeerd (conditiescore 2). Op dit moment vindt er geen wapeningscorrosie plaats. Door afname van de dekking op de wapening kan er wapeningscorrosie optreden met als gevolg dat het beton wordt afgedrukt. Tevens kan vergaande schade leiden tot verminderde constructieve sterkte.

De kans dat wapeningscorrosie optreedt in de toekomst is reëel. Uit het inspectierapport instandhoudingsinspectie viaduct Breezanddijk, ook gelegen nabij de afsluitdijk, blijkt dat de dekking te weinig is. Door het herstellen van de betonschade wordt grootschalige of niet herstelbare schade voorkomen. Wanneer deze aantasting ook plaatsvindt bij het viaduct Kornwerderzand kan middels

dezelfde ingreep deze schade worden hersteld, het vervangen van de liggers is niet direct noodzakelijk. (bron: Rijkswaterstaat, 2010) (bron: Rijkswaterstaat, 2016)

Doordat de betonnen druklaag wordt vervangen door een VVK-dek is er een voordeel te behalen op het indringen van de chloriden. Dit komt doordat het eigen gewicht van de betonnen druklaag hoger is dan het VVK-dek ontstaat er een afname van het eigen gewicht. Doordat de belasting (als gevolg van het eigengewicht) afneemt betekent dit ook dat de scheurwijdte van de scheurtjes in de betonnen ligger afnemen. Doordat de scheurwijdte kleiner wordt, is het lastiger voor de chloriden om het beton binnen te dringen.

Wanneer er toch chloride indring plaatsvindt en dit niet meer op te lossen is door het herstellen van de betonschade omdat er al aantasting van de wapening plaats vindt is het mogelijk om kathodische bescherming toe te passen. Dit zorgt ervoor dat de aantasting van de wapening permanent wordt gestopt.

13. Conclusies en aanbevelingen

13.1 Terugkoppeling deelvragen

1. Wat is de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten?

De VenR opgave is de grootste onderhoudsopgave uit de geschiedenis van RWS. Binnen deze VenR opgave is een groot aandeel brug of viaduct. Deze vervangingsopgave is ontstaan omdat een groot aandeel in een relatief korte periode is aangelegd. Dit heeft voornamelijk te maken met de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog en de aanleg en uitbereiding van het Rijkswegennet. Omdat de gemiddelde technische levensduur van bruggen en viaducten 80 jaar is zijn deze objecten die toen aangelegd zijn in 2040-2059 toe aan vervanging of renovatie. De periode waarin deze objecten gerenoveerd of vervangen moeten worden wordt de VenR opgave genoemd.

2. Wat is de impact van de verkeersbelasting in samenhang met de capaciteit op de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten?

De toename van de verkeersbelasting en de afname van de capaciteit van een constructie zorgen beiden voor een snellere degradatie van bruggen en viaducten. Dit heeft als gevolg dat de objecten eerder toe zijn aan vervanging of renovatie, wat resulteert in een piek in de VenR opgave die eerder komt maar ook hoger wordt. Beide aspecten hebben een negatief gevolg voor de VenR opgave omdat de gewenste spreiding van objecten nog minder wordt.

3. Welke alternatieve mogelijkheden zijn er en hoe kunnen deze strategisch worden toegepast om de Vervanging en Renovatie opgave gelijkmatig te spreiden?

Wanneer de bruggen en viaducten worden vervangen voor 80 jaar ontstaat dezelfde situatie wellicht nog een keer. Wanneer alle bruggen en viaducten worden versterkt voor 30 jaar ontstaat dezelfde situatie weer, alleen wordt het ene probleem op het andere gestapeld. De oplossing hiervoor is het versterken voor 60 jaar om zo de VenR opgave gelijkmatig te spreiden. Om dit te kunnen realiseren zijn er verschillende technische mogelijkheden:

- HSB-overlaging
- Kunststof/PlasticRoad (verlagen eigen gewicht brug of viaduct)
- VVK-sandwich

Echter wanneer de keuze wordt gemaakt voor vervangen, heeft dit voordelen als gestandaardiseerde en uniforme bruggen en viaducten worden toepassen (modulair ontwerpen). Naast deze technische mogelijkheden zijn er nog strategische mogelijkheden dit zijn:

- Clusteren op basis van type constructie
- Clusteren op basis van ligging object

4. Bij welk type brug of viaduct liggen de meeste kansen om een alternatieve mogelijkheid op toe te passen om zo de Vervanging en Renovatie opgave gelijkmatig te spreiden?

De meeste kansen om alternatieve mogelijkheden toe te passen liggen bij objecten met een betonnen hoofd draagconstructie. Omdat alternatieve manieren voor renoveren voor 60 jaar niet eerder zijn toegepast is het risico te groot om dit objecten in de Rijksweg te doen. Daarom ligt de beste toepassingsmogelijkheid bij viaducten over de Rijksweg. Deze viaducten zijn voornamelijk liggerconstructies en plaatconstructies.

5. Hoe kan de alternatieve mogelijkheid worden toegepast op één type brug of viaduct en is deze mogelijkheid toereikend voor het gelijkmatig spreiden van de Vervanging en Renovatie opgave?

De alternatieve mogelijkheid, VVK-sandwich, wordt toegepast in de casestudy door de betonnen druklaag te vervangen voor een VVK-dek. Dit levert reductie van het eigen gewicht op. Het VVK kan

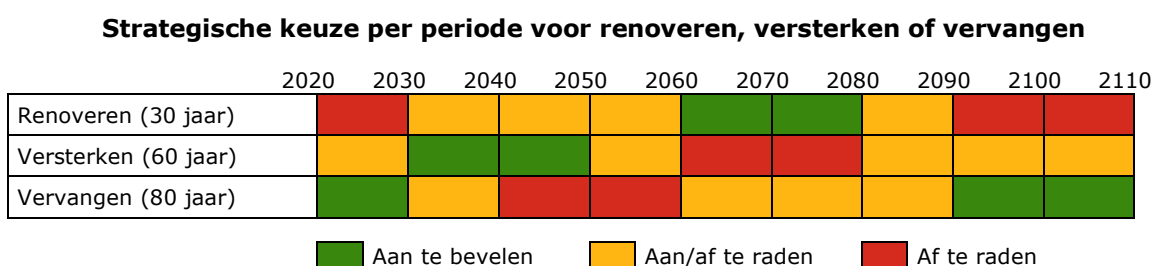
de beoogde 60 jaar mee, voor de betonnen hoofddraagconstructie is er de kans dat er wapeningscorrosie optreedt in de toekomst. Doordat de constructie versterkt is voor 60 jaar is dit een toereikende oplossing voor het gelijkmatig spreiden van de VenR opgave.

13.2 Conclusie hoofdvraag

Met welke strategie kan Rijkswaterstaat de Vervanging en Renovatie opgave van bruggen en viaducten gelijkmatig spreiden?

Om de VenR opgave gelijkmatig te spreiden moet niet elke brug of viaduct als individueel object worden beschouwd middels een LCC-analyse, maar alle objecten als een geheel. Op basis hiervan moet een strategie worden toegepast. Hierbij moet naast de mogelijkheid voor het renoveren voor 30 jaar en het vervangen voor 80 jaar een derde mogelijkheid worden gerealiseerd. Dit is het renoveren/versterken voor 60 jaar.

Bruggen en viaducten die worden gerenoveerd, versterkt of vervangen dienen niet terug te komen op het moment van de piek in de VenR opgave. Wenselijk is dat er pas weer vervanging of renovatie plaatsvindt in een dal van de VenR opgave, een periode dat er weinig objecten vervangen of gerenoveerd moeten worden. In Tabel 19 is per periode uitgezet wat een strategische keuze is, dit is dezelfde tabel als Tabel 7 in Hoofdstuk 11.3.



Tabel 19. Strategische keuze renoveren, versterken en vervangen

Om een strategie te realiseren waarbij wordt versterkt voor 60 jaar is als eerste stap een mogelijkheid uitgewerkt in de casestudy op 400 viaducten (betonnen hoofddraagconstructie) over de Rijksweg met een matig tot slechte conditie. In totaal heeft RWS rond de 1000 viaducten over de Rijksweg. Het volgende advies is hiervoor gegeven:

- Van de slechte viaducten (conditiescore slecht en matig) wordt 50% 10 jaar voor de ontwerplevensduur (80 jaar) gerenoveerd/versterkt voor 60 jaar. De andere 50% wordt bij het bereiken van de technische levensduur gerenoveerd voor 30 jaar of vervangen voor 80 jaar;
- Van de slechte viaducten (conditiescore uitstekend, goed en redelijk) wordt 50% 10 jaar na de ontwerplevensduur gerenoveerd/versterkt voor 60 jaar. De andere 50% wordt bij het bereiken van de technische levensduur gerenoveerd voor 30 jaar of vervangen voor 80 jaar.

Door middel van het toepassen van deze strategie kan de piek van de VenR opgave met 10% gereduceerd worden. Tevens worden het dal na deze piek opgevuld.

13.3 Aanbevelingen

Het tot stand brengen van een optimale strategie om de VenR opgave gelijkmatig te spreiden blijkt lastig te zijn. De oorzaak hiervan is dat er meerdere factoren meespelen in de afwegingen die gemaakt worden om te vervangen of renoveren. Na dit onderzoek zal er dan ook nog zeker veel aandacht besteed moeten worden aan het opstellen van een optimale strategie. Het blijft een

doorlopend proces. Er wordt geadviseerd om een vervolgonderzoek te doen naar strategische oplossingen in het kader van de VenR opgave van bruggen en viaducten. De volgende adviezen kunnen meehelpen om deze VenR opgave gelijkmatig te spreiden:

- Rijkswaterstaat zal niet meer elk object individueel moeten beoordelen door middel van een LCC-analyse. Bij de beslissing om een brug of viaduct te vervangen of renoveren moet de invloed op het hele areaal worden meegenomen. Er moet op basis van alle bruggen en viaducten een beslissing worden genomen. Een LCC-analyse kan een advies geven om te renoveren voor 30 jaar terwijl dit helemaal niet gunstig is voor de VenR opgave;
- Rijkswaterstaat moeten onderzoeken op welke manieren bruggen en viaducten gerenoveerd/versterkt kunnen worden voor 60 jaar of meer. Dit door één of meerdere van de alternatieve mogelijkheden (beschreven in dit onderzoek) verder te onderzoeken en uit te werken. Als voorbeeld de toepassing van VVK zoals uitgewerkt in de casestudy.
- Rijkswaterstaat moet vervolgonderzoek doen naar strategische oplossingen. Dit kunnen strategieën zijn beschreven in dit onderzoek, maar ook eventuele opties die niet beschreven staan in dit onderzoek. Een voorbeeld is het uitwerken van de strategie om te versterken voor 60 jaar met VVK zoals in de casestudy. Deze optie onderzoeken en uitwerken voor andere typen bruggen en viaducten;
- Rijkswaterstaat zal bij het vervangen van bruggen en viaducten (vaker) moeten kiezen voor een gestandaardiseerd en uniform ontwerp. Dit om te kunnen profiteren van de voordelen die het modulair bouwen op de lange termijn met zich meebrengt;
- Rijkswaterstaat moet meer informatie in DISK plaatsen en actueel houden. Zoals gegevens over datums wanneer klein en groot onderhoud heeft plaats gevonden, maar ook wanneer renovatie en (gedeeltelijke) vervanging heeft plaats gevonden.

14. Referenties

- [1.] Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.. (2009). HSB-betonoverlaging op stalen bruggen. Geraadpleegd van <http://www.infrasite.nl/documents/overheden/148/hsb-betonoverlagingen-20op-20stalen-20bruggen.pdf>
- [2.] Aeneas Media. (2018, 30 november). Ontwerplevensduur van een betonconstructie. Geraadpleegd op 9 mei 2019, van <https://www.betonlexicon.nl/O/Ontwerplevensduur%20van%20een%20betonconstructie>
- [3.] Baarda, B. (2014). Dit is onderzoek!: Handleiding voor kwantitatief en kwalitatief onderzoek (2e druk). Groningen: Noordhoff.
- [4.] Bakker, H. A. (2017). Gastcollege Westenberg, Onderhoudscyclus en schadebeelden bouwmaterialen [Illustratie].
- [5.] Blok, R. (2015). Tabellen voor Bouwkunde en Waterbouwkunde (10e ed.). Amersfoort Nederland: ThiemeMeulenhoff.
- [6.] Blom, M. C. A. (2013, 21 maart). Beslisnota (Procesmatige Spelregels Programma Vervanging en Renovatie).
- [7.] Bruggenstichting. (2002). Evolutie van de verschijningsvorm van vaste bruggen vanaf 1940. Geraadpleegd op 8 april 2019 van <https://www.bruggenstichting.nl/index.php/tijdschrift/inhoud-bruggen/bruggen-2002/bruggen-2002-december/evolutie-van-de-verschijningsvorm-van-vaste-bruggen-vanaf-1940>
- [8.] CBS. (2018, 2 juli). Lichte groei aantal wegvoertuigen. Geraadpleegd op 20 maart 2019, van Rijkswaterstaat. (26 september Inventarisatie Kunstwerken (bruggen, tunnels en viaducten). Geraadpleegd van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31200-XII-5-b1.pdf> 2007).
- [9.] Composite Advantage. (z.d.). FRP Decks for Movable Vehicle Bridges (Rocks Village Swing Bridge, Massachusetts) [Foto]. Geraadpleegd op 14 mei 2019, van https://cdn2.hubspot.net/hubfs/457166/marketing_and_web_documents/Presentations%20and%20Lookbooks/CA%20FRP%20Deck%20for%20Rocks%20Village%20Swing%20Bridge.pdf
- [10.] CROW. (z.d.). CROW 156. Geraadpleegd van <http://kennisbank.crow.nl/KennisModule>
- [11.] CUR. (z.d.). CUR Leidraad 1 (Duurzaamheid van constructief beton met betrekking tot chloride-geïnitieerde wapeningscorrosie). Geraadpleegd op 9 mei 2019, van <http://www.cur-aanbevelingen.nl/archief/cur-leidraad-1.222632.lynkx>
- [12.] Cyclomedia. (z.d.). Street Smart. Geraadpleegd op 7 mei 2019, van <https://streetsmart.cyclomedia.com/dashboard>
- [13.] De Weerd, P. (2017, 21 maart). Wat is platooning? Geraadpleegd op 26 april 2019, van <https://www.logistiek.nl/distributie/artikel/2017/03/wat-is-platooning-101153746?vakmedianet-approve-cookies=1>
- [14.] Doodeman, M. (2018, 27 november). Bouw heeft 94.000 mensen nodig. Geraadpleegd op 14 februari 2019, van <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2018/11/bouw-heeft-94-000-vakmensen-nodig-waar-halen-we-die-vandaan-101267264>.

- [15.] Evofenedex. (2018, 6 November). Masterplan voor onderhoud en renovatie infrastructuur hard nodig. Geraadpleegd op 27 februari 2019 van <https://www.evofenedex.nl/kennis/actualiteiten/masterplan-voor-onderhoud-en-renovatie-infrastructuur-hard-nodig>
- [16.] Gopie, D. (2018, 12 maart). Duurzaamheid. Geraadpleegd op 11 februari 2019, van <http://corporate.intranet.rws.nl/Search.aspx?SearchTerm=Duurzaamheid>
- [17.] Grit, R. (2015). Projectmanagement: Projectmatig werken in de praktijk (7e druk). Groningen: Noordhoff.
- [18.] Heidelberg Cement Group. (z.d.). Druksterkteontwikkeling. Geraadpleegd op 18 maart 2019, van <https://www.cbr.be/nld/druksterkteontwikkeling>
- [19.] Hogeschool Windesheim Zwolle. (2018). SHL Afstudeeronderzoek 2018-2019. Studiehandleiding Afstudeeronderzoek. Zwolle: Auteur.
- [20.] Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM). (2018, oktober). Kerncijfers Mobiliteit 2018 (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid | KiM). Geraadpleegd van <https://www.kimnet.nl/publicaties/rapporten/2018/10/30/kerncijfers-mobiliteit-2018>
- [21.] Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2010, oktober). Mobiliteitsbalans 2010 (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid). Geraadpleegd van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-84353.pdf>
- [22.] Klatter, L. (2010). Inventarisatie vervangingsinvesteringen. Eindrapport. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- [23.] Klatter, L., Roebers, H., Van den Hark, M. (2017). Prognoserapport 2016, Vervanging en Renovatie. Prognoserapport. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- [24.] Kooistra, A. (2019, 7 maart). Amsterdamse opgave Bruggen en Kademuren, Programmatische aanpak [Presentatie WOW-vervanging kunstwerken gemeente Amsterdam]. Geraadpleegd op 2 april 2019, van [https://platformwow.nl/verslagen/terugblik-vervangingsopgaven-van-kunstwerken-hoe-voorkom-je-genua-den-haag-den-bosch-en-zwolle-5131?utm_source=Platform\)WOW&utm_medium=E-mail&utm_campaign=Verslag](https://platformwow.nl/verslagen/terugblik-vervangingsopgaven-van-kunstwerken-hoe-voorkom-je-genua-den-haag-den-bosch-en-zwolle-5131?utm_source=Platform)WOW&utm_medium=E-mail&utm_campaign=Verslag)
- [25.] Molenkamp, L. (2019, 28 maart). Gewenste ontwikkeling vervangingsopgaven van kunstwerken [Presentatie WOW-vervanging kunstwerken provincie Overijssel]. Geraadpleegd op 2 april 2019, van [https://platformwow.nl/verslagen/terugblik-vervangingsopgaven-van-kunstwerken-hoe-voorkom-je-genua-den-haag-den-bosch-en-zwolle-5131?utm_source=Platform\)WOW&utm_medium=E-mail&utm_campaign=Verslag](https://platformwow.nl/verslagen/terugblik-vervangingsopgaven-van-kunstwerken-hoe-voorkom-je-genua-den-haag-den-bosch-en-zwolle-5131?utm_source=Platform)WOW&utm_medium=E-mail&utm_campaign=Verslag)
- [26.] Morgo Aluminium B.V.. (z.d.). In dynamisch belaste constructies. Geraadpleegd van http://www.morgo.nl/pdf/morgoaluminium_toegepast_in_dynamisch_belaste_constructies.pdf
- [27.] Movares. (2017, 14 juli). Controle herberekening Kornwerderzand.
- [28.] NEN. (z.d.). NEN 2767. Geraadpleegd van <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Conditiekening.htm>
- [29.] NEN. (z.d.). NEN 6786. Geraadpleegd van <https://connect.nen.nl/Standard/PopUpHtml?RNR=3532128&search=&Native=1&token=da8eac30-bea0-4d13-9f8f-e64582c30c65>

- [30.] NEN. (z.d.). NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2016 nl. Geraadpleegd op 9 mei 2019, van <https://connect.nen.nl/Standard/Detail/222111?compId=14507&collectionId=0>
- [31.] NU.nl. (2010, 3 december). Files kosten Nederland tot 1,2 miljard euro. Geraadpleegd op 8 mei 2019, van <https://www.nu.nl/nuzakelijk-overig/2393526/files-kosten-nederland-12-miljard-euro.html>
- [32.] Opmeer-Demmers, C. (2018, 27 november). Strategie en aanpak. Geraadpleegd op 18 februari 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Kennis_en_Expertise/Kennisvelden/Organisatie_Ondersteunend/Bedrijfsvoering/Communicatie/Corporate_Communicatiedossiers/Vervanging_en_Renovatie/Strategie_en_aanpak/
- [33.] Plastic Road. (z.d.). Plastic Road. Geraadpleegd op 11 april 2019, van <https://www.plasticroad.eu/>
- [34.] Rijksoverheid. (2016, 12 januari). Woningvoorraad naar bouwjaar en woningtype. Geraadpleegd op 11 april 2019, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl2166-woningvoorraad-naar-bouwjaar-en-woningtype>
- [35.] Rijkswaterstaat. (2007, 26 september). Inventarisatie Kunstwerken (bruggen, tunnels en viaducten). Geraadpleegd van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31200-XII-5-b1.pdf>
- [36.] Rijkswaterstaat. (2010). Inspectierapport Instandhoudingsinspectie Beheerobjectcode: 10B-001-08 (Kornwerderzand). Geraadpleegd van http://rws-ipvw-dsk001/NET/rapporten/RisicoSchadebeeldRapportage.aspx#P47dcb0f808e846cc97bfafef996c564c_14_xA
- [37.] Rijkswaterstaat. (2013). Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken (Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand kunstwerk bij verbouw, gebruik en afkeur). Geraadpleegd van https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/RBK%201.1%5B1%5D_tcm174-346193_tcm21-12358.pdf
- [38.] Rijkswaterstaat. (2013, oktober). Productbeschrijving RISK [Productbeschrijving]. Geraadpleegd op 18 maart 2019.
- [39.] Rijkswaterstaat. (2014, 18 november). Kader monumenten (Kader voor werkzaamheden aan kunstwerken met een monumentale). Geraadpleegd van https://files.kennisplein.intranet.minienm.nl/6/0/607223/Kader_Monumenten.pdf
- [40.] Rijkswaterstaat. (2015, 17 juli) Nota bestuur, strategische Visie Vervanging en Renovatie Bijlage A. Toelichting op het prognoserapport
- [41.] Rijkswaterstaat. (2016). Inspectierapport Instandhoudingsinspectie Beheerobjectcode: 10C-300-01 (Breezanddijk). Geraadpleegd van http://rws-ipvw-dsk001/NET/rapporten/RisicoSchadebeeldRapportage.aspx#P47dcb0f808e846cc97bfafef996c564c_12_363
- [42.] Rijkswaterstaat. (2017, 17 augustus). Wat is de staat van onze bruggen? Geraadpleegd op 16 april 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Actueel/Nieuwsarchief_2017/Nieuwsarchief_Rijkswaterstaat/2017.07.10/Wat_is_de_staat_van_onze_bruggen.htm

- [43.] Rijkswaterstaat. (2017, 18 december). Advisering zwaar transport. Geraadpleegd op 19 maart 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Organisatie/Organisatieonderdelen/Grote_Project_en_en_Onderhoud/Directies_en_afdelingen/Directie_Techniek_en_Technisch_Management/Instandhouding_Constructies_en_Onderhoud/Advisering_Zwaar_Transport/
- [44.] Rijkswaterstaat. (2017, 21 augustus). Memo (Advies viaducten Afsluitdijk).
- [45.] Rijkswaterstaat. (2018, 13 februari). Programma Vervanging en Renovatie. Geraadpleegd op 8 maart 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Projecten/Overig/Programma_Vervanging_en_Renovatie/
- [46.] Rijkswaterstaat. (2018, 20 september). Bouwhistorische onderzoeken voor kunstwerken. Geraadpleegd op 16 april 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Kennis_en_Expertise/Kennisvelden/Leefomgeving/Cultuurhistorie_Archeologie_en_Landschap/Cultuurhistorie/Bouwhistorische_onderzoeken_voor_kunstwerken/
- [47.] Rijkswaterstaat. (2018, 25 oktober). Programma's VenR Hoofdwegennet en VenR Hoofdvaarwegennet en Hoofdwatersysteem. Geraadpleegd op 8 maart 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Projecten/Overig/Programma_Vervanging_en_Renovatie/Programmas_VenR_Hoofdwegennet_en_VenR_Hoofdvaarwegennet_en_Hoofdwatersysteem/
- [48.] Rijkswaterstaat. (2018, 3 juli). Sturen op prestaties met RAMS. Geraadpleegd op 8 maart 2019, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/werkwijzen/werkwijze-in-gww/sturen-op-prestaties-met-rams.aspx>
- [49.] Rijkswaterstaat. (2018, 3 september). Robuust netwerk. Geraadpleegd op 19 maart 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Organisatie/Organisatieonderdelen/WestNederland_Zuid/WNZ_evenementenagenda/2018.08.31/10_sep_Introductie_ROBUUST_NETWERK.htm
- [50.] Rijkswaterstaat. (2018, 31 augustus). Strategische visie Vervanging en renovatie. Geraadpleegd op 8 maart 2019, van http://corporate.intranet.rws.nl/Projecten/Overig/Programma_Vervanging_en_Renovatie/Waarom_een_programma_Vervanging_en_Renovatie/Strategische_visie_Vervanging_en_renovatie/
- [51.] Rijkswaterstaat. (2019a). Areaal Kunstwerken en oevers. Data Informatie Systeem Kunstwerken (DISK) [Databestand]. Utrecht: Rijkswaterstaat
- [52.] Rijkswaterstaat. (2019b). Basisspecificatie (Vaste Brug). Geraadpleegd van <https://werkwijzer.cf-prod.intranet.rws.nl/index.html>
- [53.] Rijkswaterstaat. (2019, 30 april). RWS Afkortingen. Geraadpleegd op 6 mei 2019, van https://wiki.cf-prod.intranet.rws.nl/index.php?title=RWS_Afkortingen
- [54.] Rijkswaterstaat. (2019, 30 januari). Afval bestaat niet Nederland circulair Geraadpleegd op 27 februari 2019, van http://intranet.minienm.nl/Organisatie/Directies/DCO/DCO_intern/Nieuws/IenW_Nieuws/2019.01.30/Afval_bestaat_niet_Nederland_circulair.htm
- [55.] Rijkswaterstaat. (z.d.). De Vervangingsopgave Natte Kunstwerken: Toekomst gericht werken aan vervanging en renovatie. Geraadpleegd op 8 april 2019, van

http://corporate.intranet.rws.nl/Content/Media/4ec50a19-87d1-4b6f-96f0-8ea0e0530e4c/LAA_7947_Vonk%20Brochure_def.pdf

- [56.] Rijkswaterstaat. (z.d.). DISK (VenR functioneel Paspoort). Geraadpleegd van <http://rws-ipvw-dsk001/NET/rapporten/FunctioneelPaspoort.aspx>
- [57.] Romeijn, A. (2002). Evolutie van de verschijningsvorm van vaste bruggen vanaf 1940. Geraadpleegd op 8 april 2019, van <https://www.bruggenstichting.nl/images/bruggen2002/dec-Evolutie.pdf>
- [58.] Rook, R., & Lassche, R. (2018). Renovatie stalen brugdekken met een VVK-sandwichconstructie (scriptie). Geraadpleegd van <https://www.windesheim.nl/onderzoek/-/media/files/windesheim/research-publications/lectoraatsrapportstalenbrugdekking.pdf>
- [59.] Siemens. (2018, 2 december). What is a SN-Curve. Geraadpleegd op 18 maart 2019, van <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Testing-Knowledge-Base/What-is-a-SN-Curve/ta-p/355935>
- [60.] Spanbeton. (z.d.). Eerste circulaire viaduct geplaatst bij Kampen. Geraadpleegd op 6 maart 2019, van <https://www.spanbeton.nl/nl/news/item/eerste-circulaire-viaduct-geplaatst-bij-kampen/>
- [61.] Stichting RIONED. (2013). Riolerings in beeld (Benchmark rioleringszorg 2013). Geraadpleegd van https://www.riool.net/product?p_p_id=56_INSTANCE_mMVC0oT1LO5D&p_p_lifecycle=0&_56_INSTANCE_mMVC0oT1LO5D_groupId=20182&_56_INSTANCE_mMVC0oT1LO5D_articleId=207095
- [62.] Stichting RIONED. (2016). Het nut van stedelijk waterbeheer (Monitor gemeentelijke watertaken 2016). Geraadpleegd van https://www.riool.net/c/document_library/get_file?uuid=720b0c23-b640-4545-9180-754901baea98&groupId=20182&targetExtension=pdf
- [63.] Straatman, M. (2018, 8 maart). De toekomst van de weg - Grootste onderhoudsopgave ooit. Geraadpleegd op 31 januari 2019, van <https://werkenbij.rijkswaterstaat.nl/interviews/rijkswaterstaat-van-start-met-grootste-onderhoudsopgave-ooit>
- [64.] Initiatiegroep SUREbridge. (2019). Experimentele onderbouwing van toepassing van het SUREbridge-systeem (Interpretatie van de testresultaten) (versie 3).
- [65.] Technisch Weekblad. (2018, 8 maart). Rijkswaterstaat van start met grootste onderhoudsopgave ooit. Geraadpleegd op 8 maart 2019, van <https://www.technischweekblad.nl/partnercontent/rijkswaterstaat-van-start-met-grootste-onderhoudsopgave-ooit/item11458>
- [66.] Termaat, G., & Bakker, A. (2017, 8 december). Files kosten Nederland fortuin [Persbericht]. Geraadpleegd op 17 februari 2019, van <https://www.telegraaf.nl/nieuws/1406569/files-kosten-nederland-fortuin>
- [67.] Uffelen, K. (2012). Herbestemming van een Monument in Beton. Geraadpleegd van <https://pure.tue.nl/ws/files/46912855/749368-1.pdf>
- [68.] Van der Post, M. (2018, 26 november). Bouw heeft 53000 mensen nodig. Geraadpleegd van <https://www.bouwendnederland.nl/nieuws/15504574/bouw-heeft-53000-mensen-nodig>

- [69.] Van der Velde, J. (2019, 28 maart). Vervangingsinvesteringen [Presentatie WOW-vervanging kunstwerken provincie Overijssel]. Geraadpleegd op 2 april 2019, van [https://platformwow.nl/verslagen/terugblik-vervangingsopgaven-van-kunstwerken-hoe-voorkom-je-genua-den-haag-den-bosch-en-zwolle-5131?utm_source=Platform\)WOW&utm_medium=E-mail&utm_campaign=Verslag](https://platformwow.nl/verslagen/terugblik-vervangingsopgaven-van-kunstwerken-hoe-voorkom-je-genua-den-haag-den-bosch-en-zwolle-5131?utm_source=Platform)WOW&utm_medium=E-mail&utm_campaign=Verslag)
- [70.] Van Ede, J. (2015, 12 oktober). Smart Customization bij Damen Shipyards. Geraadpleegd op 8 april 2019, van https://www.procesverbeteren.nl/selectie_methodes/Damen_Shipyards_Smart_Customization.php
- [71.] Van Hattum en Blankevoort. (2019, 14 januari). Staatssecretaris IenW opent eerste circulaire viaduct - Van Hattum en Blankevoort. Geraadpleegd op 8 maart 2019, van <https://www.vhbinfra.nl/nl/over-ons/nieuws/detail/staatssecretaris-ienw-opent-eerste-circulaire-viaduct>
- [72.] Verver, M. W., & Fraaij, A. L. A. (2004). Materiaalkunde (3e ed.). Groningen, Nederland: Wolters-Noordhoff.
- [73.] Vlaams Ministerie van Mobiliteit en Openbare Werken; Departement Mobiliteit en Openbare Werken; Technisch Ondersteunende Diensten; Expertise Beton en Staal (EBS). (z.d.). Cursus bruginspecteur (Hoofdstuk 1.6 Betonschade). Geraadpleegd van http://www.expertisebetonenstaal.be/sites/default/files/atoms/files/H%201.6%20%20betonschade_0.pdf
- [74.] Witteveen+Bos. (2016, 11 december). Verificatieberekening viaduct Kornwerderzand.
- [75.] Zwaaneveldt, O. (2019). Verbinding Beton-mortel-composiet (scriptie).

15. Overige referenties

Gesprekken

- Dick Schaafsma, Rijkswaterstaat GPO over VenR opgave (januari – juni 2019)
- Johan de Boon, Rijkswaterstaat GPO over VenR opgave (januari – juni 2019)
- Reginald Grendelman, Hogeschool Windesheim over VenR opgave (januari – juni 2019)
- Peter Bosman, Hogeschool Windesheim over VVK (maart – juni 2019)
- Roland Buysse, Rijkswaterstaat Noord-Nederland over assetmanagement (maart 2019)
- Koen Janssen, Rijkswaterstaat Oost Nederland over assetmanagement (april 2019)
- Arjen Ros, Copernicos Groep over bruggenmodel (april 2019)
- Jaap van Velp, Haag Wonen over assetmanagement woningbouw (april 2019)
- Guus de Puijsselaar, Rijkswaterstaat Noord-Nederland over assetmanagement (april 2019)
- Paul Monsma, Rijkswaterstaat West Nederland over assetmanagement (april 2019)

Deelname/bezoek aan excursies/bijeenkomsten

- Ontbijtsessie Vervangingsopgaven van kunstwerken, Platform WOW (maart 2019)
- Bezoek projectlocatie Reevesluiscomplex nabij Kampen, circulair viaduct (mei 2019)

16. Bijlagen

Bijlage A. Aantallen gegeven DISK

A.1 Totaal areaal

De exacte gegevens van het aantal bruggen en viaducten die gebouwd zijn in de periode 1940 tot en met 2018 zijn in Tabel 20 weergegeven.

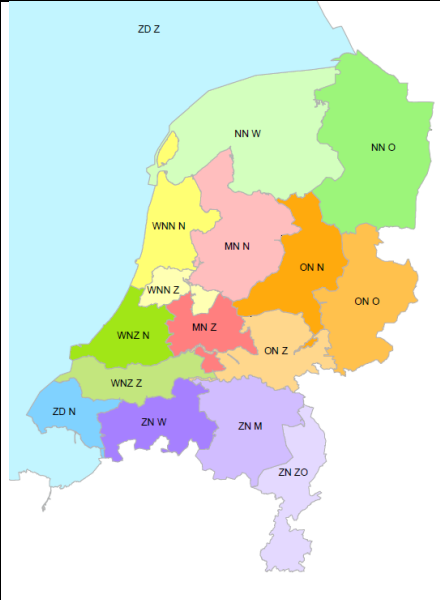
Aantal bruggen en viaducten gesticht 1940-2018

Jaartal	Aantal gesticht	Jaartal	Aantal gesticht	Jaartal	Aantal gesticht	Jaartal	Aantal gesticht
1940	4	1960	43	1980	58	2000	22
1941	6	1961	36	1981	46	2001	29
1942	1	1962	42	1982	35	2002	74
1943	0	1963	37	1983	63	2003	99
1944	1	1964	52	1984	53	2004	33
1945	1	1965	135	1985	44	2005	28
1946	1	1966	54	1986	34	2006	57
1947	6	1967	124	1987	99	2007	43
1948	2	1968	134	1988	43	2008	91
1949	2	1969	228	1989	45	2009	75
1950	9	1970	144	1990	48	2010	53
1951	7	1971	80	1991	26	2011	43
1952	9	1972	111	1992	41	2012	75
1953	4	1973	168	1993	49	2013	50
1954	10	1974	115	1994	48	2014	63
1955	9	1975	98	1995	71	2015	18
1956	14	1976	83	1996	31	2016	15
1957	26	1977	44	1997	35	2017	56
1958	18	1978	75	1998	34	2018	27
1959	59	1979	58	1999	17	2019	0

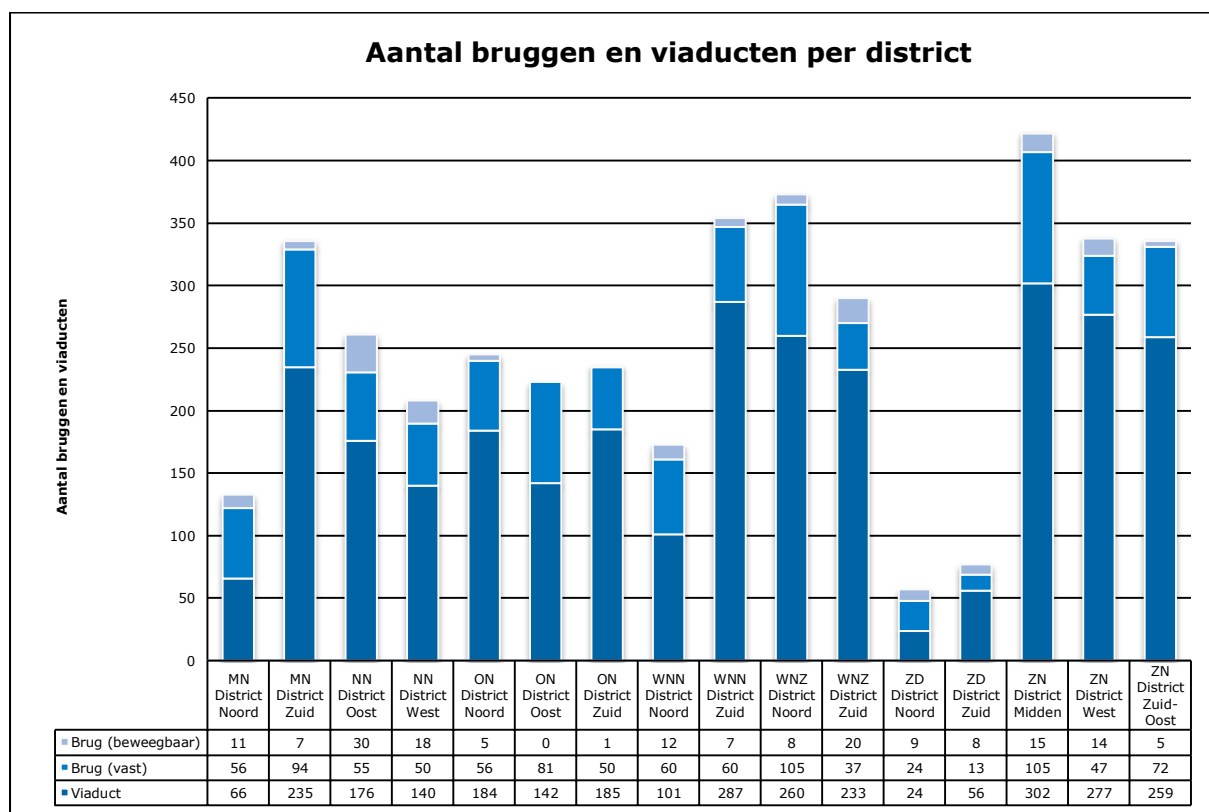
Tabel 20. Aantal bruggen en viaducten per stichtingsjaar (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

A.2 Districten

Wanneer het hele areaal van RWS wordt beschouwd is te zien dat het areaal opgedeeld is in 16 regiogebieden. In Tabel 21 en Figuur 61 is weergegeven hoe de verdeling van het aantal bruggen en viaducten eruitziet per district.

Aantal bruggen en viaducten per district				
	Viaduct	Brug (vast)	Brug (beweegbaar)	Totaal
 MN District Noord	66	56	11	133
MN District Zuid	235	94	7	336
NN District Oost	176	55	30	261
NN District West	140	50	18	208
ON District Noord	184	56	5	245
ON District Oost	142	81	0	223
ON District Zuid	185	50	1	236
WNN District Noord	101	60	12	173
WNN District Zuid	287	60	7	354
WNZ District Noord	260	105	8	373
WNZ District Zuid	233	37	20	290
ZD District Noord	24	24	9	57
ZD District Zuid	56	13	8	77
ZN District Midden	302	105	15	422
ZN District West	277	47	14	338
ZN District Zuid-Oost	259	72	5	336
Totaal	2927	965	170	4062

Tabel 21. Aantal bruggen en viaducten per district (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



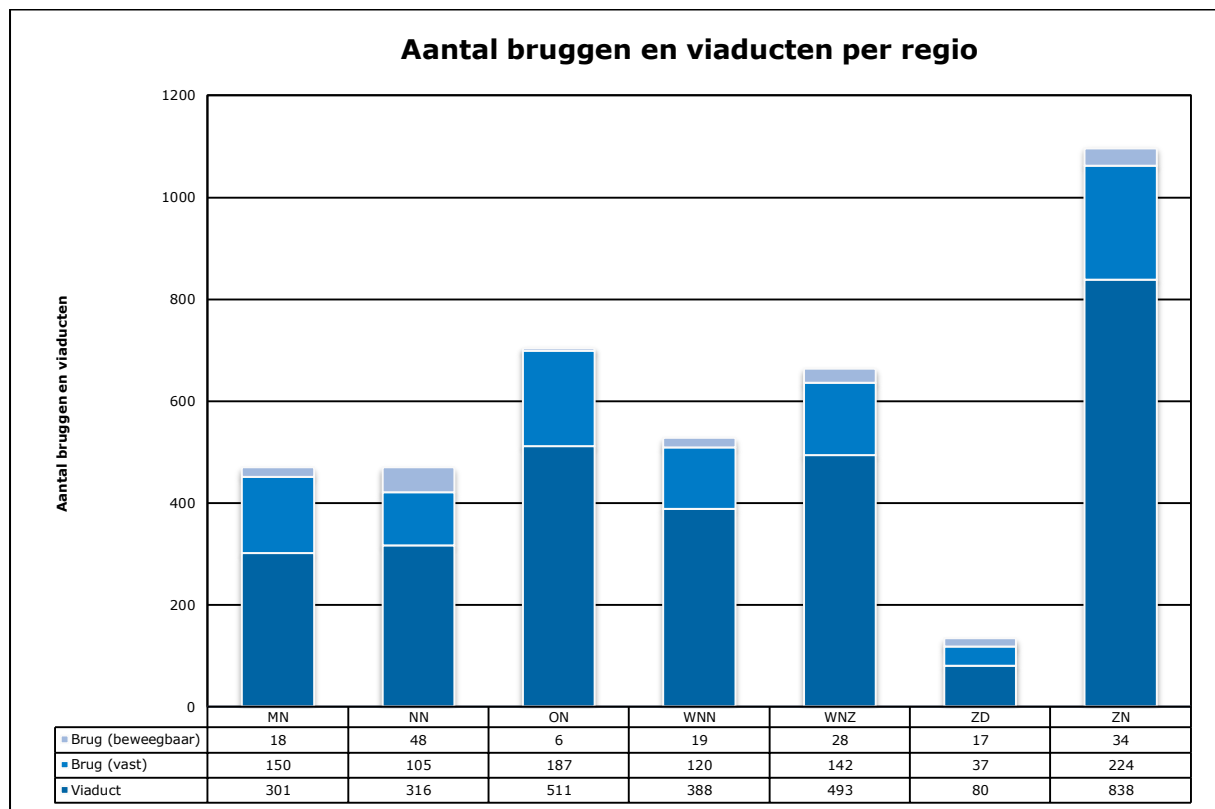
Figuur 61. Aantal bruggen en viaducten per district (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

A.3 Regio's

Veel districten uit de regio's werken samen en voeren het assetmanagement veelal samen uit als regio. Dit resulteert erin dat er op papier 16 regiogebieden zijn, maar in de praktijk 7 regio's worden gehanteerd. De onderlinge structuur wat betreft assetmanagement verschilt per regio. In Tabel 22 en Figuur 62 is weergegeven hoe de verdeling van het aantal bruggen en viaducten eruitziet per regio.

Aantal bruggen en viaducten per regio				
	Viaduct	Brug (vast)	Brug (beweegbaar)	Totaal
MN	301	150	18	469
NN	316	105	48	469
ON	511	187	6	704
WNN	388	120	19	527
WNZ	493	142	28	663
ZD	80	37	17	134
ZN	838	224	34	1096
Totaal	2927	965	170	4062

Tabel 22. Aantal bruggen en viaducten per regio (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)



Figuur 62. Aantal bruggen en viaducten per regio (bron: Rijkswaterstaat, 2019a)

Bijlage B. NEN 2767

Omschrijving per conditiescore

De conditiescore wordt bepaald door de omvang, de intensiteit en de ernst van de geconstateerde gebreken. In de hieronder staande omschrijvingen worden omvang en ernst in algemene zin verwoord. Voor intensiteit is bij het noemen van gebrekenvoorbeelden uitgegaan van gemiddelde intensiteit.

Conditie score 1 – Geen of zeer beperkte veroudering

Gebreken aan afwerkklagen, materialen, onderdelen en constructies als gevolg van veroudering komen niet voor. Installaties functioneren storingsvrij waardoor de bedrijfszekerheid is gewaarborgd. Bedrijfsonderbrekingen als gevolg van uitval van installaties enz. vinden niet plaats. Gebreken in de vorm van lichte mechanische beschadigingen of van esthetische aard kunnen incidenteel worden aangetroffen. Verder kunnen goed uitgevoerde reparaties voorkomen. Ten aanzien van het totale gebrekenbeeld geldt dat bouw- en installatiedelen in een uitstekende en vakkundig uitgevoerde staat verkeren

Conditie score 2 – Beginnende veroudering

Gebreken aan bouw- en installatiedelen in de vorm van materiaal aantasting en veroudering van afwerkklagen, materialen, onderdelen en constructies komen incidenteel voor. Installaties functioneren, op een enkele uitzondering na, storingsvrij waardoor de bedrijfszekerheid is gewaarborgd. Bedrijfsonderbrekingen als gevolg van uitval van installaties enz. vinden nagenoeg niet plaats. Gebreken, zoals verweringsverschijnselen, worden slechts plaatselijk gesignaleerd. De bouw- of installatiedelen kunnen zichtbare vuilaanslag (milieu) vertonen. Ten aanzien het totale gebrekenbeeld geldt dat de bouw- en installatiedelen als goed kunnen worden beoordeeld. Dit duidt op een goed ontwerp, goede detaillering, alsook een gedegen uitvoering en montage.

Conditie score 3 – Verouderingsproces is plaatselijk op gang gekomen

Bouw- en installatiedelen vertonen plaatselijk gebreken aan afwerkklagen, materialen, onderdelen en constructies. Een enkel probleem met vocht en tocht kan het gevolg zijn. Het functioneren van de installaties kan een enkele keer worden verstoord. De gebreken hebben geen invloed op het functioneren van het bouw- of installatiedeel. Het bedrijfsproces wordt niet geschaad. Gebreken, in de vorm van verwerking enz., kunnen plaatselijk tot regelmatig voorkomen. Regelmatig kunnen goed uitgevoerde en duurzame reparaties worden vastgesteld. Ook kunnen plaatselijk reparaties met minder geschikte middelen zijn uitgevoerd. Een bouw- of installatiedeel kan in zijn geheel een zichtbare vuilaanslag (milieu) vertonen. Ten aanzien van het totale gebrekenbeeld wordt de technische staat als redelijk gekwalificeerd. De kwaliteit van de toegepaste materialen en/of gebreken in ontwerp, detaillering en uitvoering speelt hierin een rol van betekenis.

Conditie score 4 – Het verouderingsproces heeft het bouw- of installatiedeel regelmatig in zijn greep

Bouw- en installatiedelen vertonen regelmatig gebreken aan afwerkklagen, materialen, onderdelen en constructies. Plaatselijk kunnen storingen in het functioneren van het bouw- of installatiedeel optreden. Overlast en onbruikbaarheid van bouw- en installatiedelen (bijvoorbeeld als gevolg van lekkages) kunnen zich per jaar enkele keren voordoen. Het aantal storingen bij de installaties neemt toe. De bedrijfszekerheid van installaties is matig gewaarborgd. Er kunnen bedrijfsonderbrekingen

voorkomen. Ten aanzien van het totale gebrekenbeeld worden de bouw- en installatiedelen als matig beoordeeld. Dit kan mede worden veroorzaakt door fouten in materiaalkeuze, ontwerp en/of uitvoering.

Conditie score 5 – Het verouderingsproces is min of meer onomkeerbaar geworden

Bouw- en installatiedelen vertonen in aanzienlijke mate gebreken aan afwerkklagen, materialen, onderdelen en constructies. De primaire functies van onderdelen die het functioneren van bouw- of installatiedelen beïnvloeden, zijn dan niet meer gewaarborgd. Het functioneren van de installaties is niet meer gewaarborgd. Regelmatig kunnen bedrijfsonderbrekingen plaatsvinden. Het totale gebrekenbeeld van de bouw- en installatiedelen is slecht. Oorzaak zijn de structurele gebreken in de materialen, het ontwerp en/of de uitvoering. Er treden regelmatig storingen op in het functioneren van het bouw- of installatiedeel.

Conditie score 6 – Maximaal gebrekenbeeld

De conditie van bouw- en installatiedelen is zo slecht dat het niet meer te classificeren is onder conditie 5. Er is sprake van een maximaal gebrekenbeeld en voortdurend treden storingen op in de functie vervulling van bouw- en installatiedelen.

Bijlage C. Toelichting bij de stappen van het processchema

1. Onderzoeksprogramma en prognoserapport

Het Onderzoeksprogramma VenR stelt een prognoserapport op om een realistische inschatting te kunnen maken van de benodigde middelen voor de vervangingsopgave over een lange periode. Voor de begrotingsraming op de lange termijn maakt het onderzoeksprogramma gebruik van statistiek (objecten hebben een bepaalde gemiddelde ontwerplevensduur). Voor de middellange termijn wordt het verouderingsgedrag van bepaalde typen objecten onderzocht om zo algemene uitspraken te kunnen doen over de te verwachten maatregelen en kosten. En voor de korte termijn wordt het resultaat van instandhoudingsinspecties vertaald naar noodzakelijke VenR-maatregelen en bijbehorende kostenramingen. Verder worden er binnen het onderzoeksprogramma diverse onderzoeken uitgevoerd gericht op de staat van ons areaal, maar ook op innovatieve oplossingen. Deze zijn ook beschreven in het prognoserapport.

2. Regio-analyse (voorheen analyse en regioadvies)

Waar het onderzoeksprogramma VenR is belegd bij GPO, is de regio-analyse bedoeld als visie van de regionale diensten op wat wenselijk is. Deze processtap is te vergelijken met een verkenning bij aanlegtrajecten. De regio-analyse vindt niet plaats in opdracht van beleid, maar is onderdeel van de vroegste fase van het omgevings- en assetmanagement van regionale diensten. Ook hiervoor zijn inspecties, constructieve berekeningen en instandhoudingsplannen belangrijke bronnen. Tegelijkertijd gaat het ook om de functionele wensen van regionale diensten op het gebied van bereikbaarheid, veiligheid en duurzame leefomgeving en de wensen van omgevingspartijen.

Een verkenning bij VenR is overigens veel eenvoudiger dan een MIRT-verkenning. Liefst ligt het resultaat al op de plank in de vorm van een netwerkschakelplan. En zelfs als dat niet het geval is, kan een regionale analyse veelal binnen een half jaar gereed zijn, zodat dit bij spoedeisende vervangingen geen vertraging oplevert voor de realisatie.

3a. Programmering in de Rijksbegroting

Op basis van het tweejaarlijkse prognoserapport maakt het ministerie van IenW een langetermijnplanning voor vervanging en renovatie.

3b. Beslismoment 1

Het is niet vanzelfsprekend dat elke opgave leidt tot planuitwerking voor VenR. Eenvoudige opgaven kunnen met instemming van beleid meteen worden gerealiseerd. Is een MIRT-besluit over functionele uitbreiding nodig, dan kan planuitwerking in het MIRT-spoor worden opgedragen. Dit is vaak een langdurig traject. Het moment van einde levensduur is voor de planning van het MIRT-spoor dan ook een belangrijke randvoorwaarde, anders is er alsnog een extra renovatie nodig. Ook kan de keuze worden gemaakt (of kan het een noodzakelijke consequentie zijn) om onderhoudsmaatregelen uit te voeren als een maatregel niet in een tranche wordt opgenomen.

4. Scopebepaling en planuitwerking

De planuitwerking begint met een definitiefase waarin uit de nog openstaande varianten de scope wordt bepaald. Dit is geen formeel beslismoment. Maar als de onderlinge verschillen groot zijn, is het verstandig om beleid erbij te betrekken en niet te wachten tot het realisatiebesluit. De scope wordt uitgewerkt in een concrete raming en planning.

5. Opdracht voor realisatie

Bij Beslismoment 2 besluit beleid – op voordracht van DG RWS - over de opdracht aan RWS tot realisatie van een volgende tranche of project, op basis van een uitgewerkte scope en kostenraming.

6. Realisatie

De realisatiefase is niet nieuw en hoeft hier geen toelichting. Dankzij de tijdige voorbereiding in de planfase is de bij de start helder en treden er tijdens de realisatiefase geen grote kostenstijgingen of vertragingen meer op. (bron: Rijkswaterstaat, 2015, 17 juli)

Bijlage D. Toename belasting op bruggen en viaducten

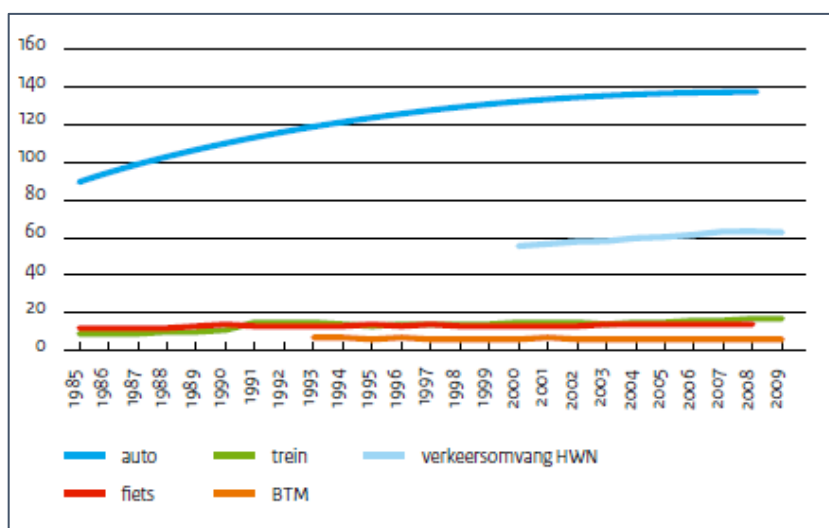
D.1 Toename verkeersintensiteit

D.1.1 Vroeger tot nu

In Nederland is er een ontwikkeling te zien in de verkeersintensiteit. De verkeersintensiteit geeft aan hoeveel rijdende voertuigen in een bepaald gebied op een bepaalde tijd zijn.

De ontwikkeling van de verkeersintensiteit begon bij de aanleg van het HWN in Nederland dat zijn oorsprong vindt rond 1930. Het eerste Rijkswegenplan is vastgesteld in 1927. Dit plan bevatte een door heel Nederland vertakt netwerk van bestaande en nog aan te leggen wegen. Deze wegen werden alleen opengesteld voor gemotoriseerd verkeer. Pas in 1960 kreeg het autoverkeer een omvangrijk karakter. Toen reden er een half miljoen auto's door het land. In Figuur 63 is te zien dat de mobiliteit in Nederland tussen 1985 en 2000 sterk toenam. Sinds 2000 stijgt het aantal kilometers dat mensen afleggen minder hard en sinds 2007 lijkt dit aantal min of meer stabiel te blijven. In de periode tussen 1985 en 2009 nam de mobiliteit van Nederlanders met ongeveer 40 procent toe. Vooral de autokilometers namen in de afgelopen decennia toe. Het woon-werkverkeer is voor een derde deel verantwoordelijk voor die toename. Vanaf 2000 is de groei van het autoverkeer zelfs bijna geheel aan het woon-werkverkeer toe te schrijven. (bron: CBS, 2018).

Tegelijkertijd met de verkeersintensiteit namen ook de veiligheidseisen toe. De kans op falen van het netwerk moest steeds kleiner worden. Het wegennet is door de jaren een belangrijke transportmogelijkheid geworden. Het risico op uitvallen van bepaalde trajecten moet worden uitgesloten.

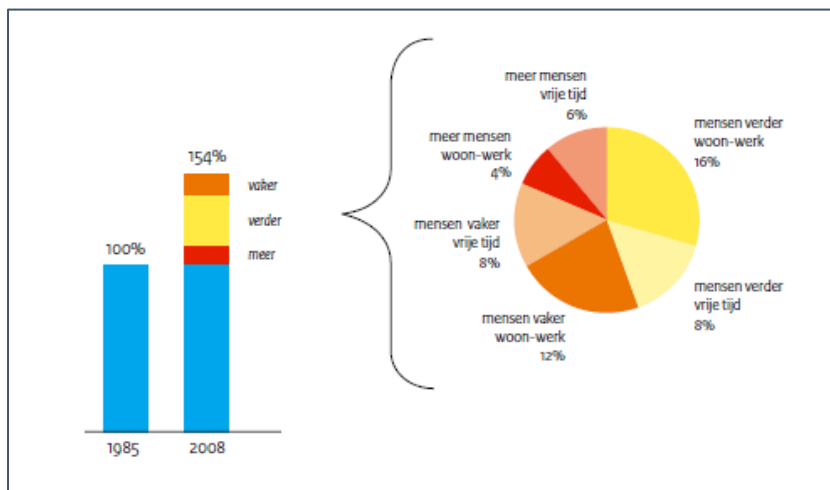


Figuur 63. Ontwikkeling reizigerskilometers naar vervoerwijzen, 1985 – 2009 (in miljarden reizigerskilometers) (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2010)

De toename van het autoverkeer komt niet doordat mensen minder met het openbaar vervoer reizen of minder vaak de fiets pakken. De verdeling over de verschillende vervoerswijzen is in de afgelopen 35 jaar nauwelijks veranderd. Ruim de helft van alle verplaatsingen gaat per auto, een kwart met de fiets en ongeveer één op de twintig met het openbaar vervoer. In het weekend staan er op het HWN minder files. Dat komt niet doordat er dan veel minder auto's op de weg zijn, maar door een grotere spreiding van het gebruik over de dag. Op zaterdag is er namelijk bijna evenveel autoverkeer als op een doordeweekse dag. Op een gemiddelde zondag is er de helft minder autoverkeer op de weg. De toename van het autoverkeer kan in theorie worden teruggebracht tot drie hoofdaspecten die zorgen voor deze groei:

1. Meer: door bevolkingsgroei neemt het aantal mensen dat verplaatsingen maakt toe;
 2. Verder: doordat bijvoorbeeld werknemers steeds verder van hun werk wonen, neemt per werkende de gemiddelde reisafstand voor woon-werkverkeer toe;
 3. Vaker: dit effect kan ontstaan doordat een groter deel van de bevolking deelneemt aan een activiteit, en/of doordat men op individueel niveau vaker deelneemt aan een activiteit.
- Daarnaast kan nog onderscheid worden gemaakt naar motieven, bijvoorbeeld tussen woon-werkmobiliteit en vrijetijdsverplaatsingen.

Deze drie effecten staan visueel weergegeven in Figuur 64:



Figuur 64. Ontwikkeling reizigerskilometers naar vervoerwijzen 1985 – 2009 (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2010)

Daarnaast is te zien dat de gemiddelde woon-werkafstand en de gemiddelde snelheid gedurende de jaren steeds verder is opgelopen:

- In 1985 bedroeg de gemiddelde woon-werkafstand met de auto 15 kilometer en werd er gemiddeld 41 km/uur gereden;
- In 2008 bedroeg de gemiddelde woon-werkafstand met de auto 22 kilometer en werd er gemiddeld 47 km/uur gereden.

Een toename van de gemiddelde snelheid heeft te maken met de sterke verbetering van het wegennet. Anderzijds is het feit dat de langere woon-werkafstanden voor een groot deel worden afgelegd op het HWN waarop een hogere snelheid met de auto mogelijk is.

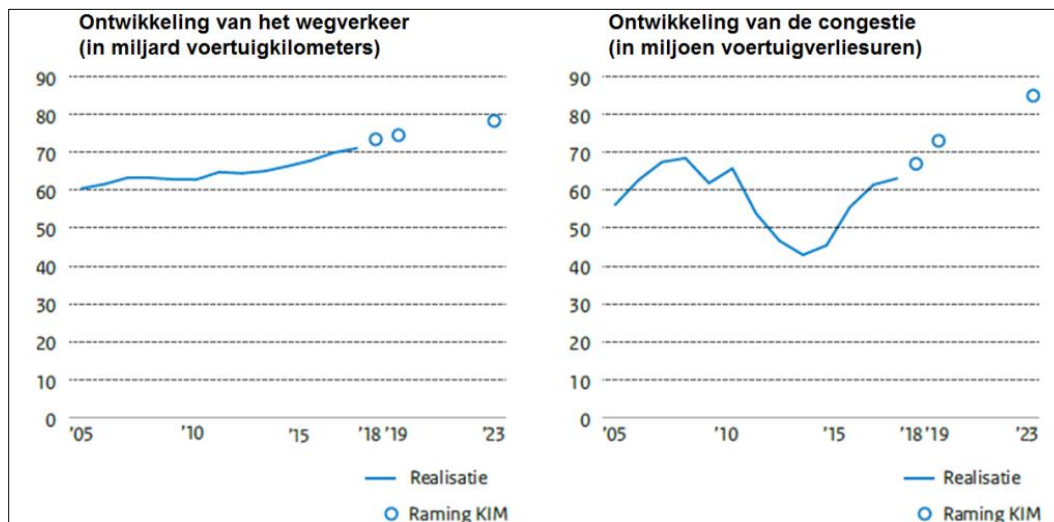
Sinds 2007 lijkt het autogebruik zich te stabiliseren. Dit is ook zichtbaar op het HWN in Nederland, waar de verkeersomvang sinds 2007 niet meer toeneemt. Tussen 2008 en 2009 is een kleine afname van de belasting van het HWN zichtbaar: ongeveer 1 procent. Daarentegen is de congestie op het HWN in die periode wel fors afgenomen. (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2010)

D.1.2 Toekomst

In 2017 heeft het gebruik van auto, fiets en openbaar vervoer zich ontwikkeld in een lijn met de langjarige trends vanaf 2005. De verwachting is dat deze lijn zich ook door zal zetten in de komende jaren. De aandelen van de verschillende vervoerwijzen in de totale mobiliteit zijn nagenoeg gelijk gebleven tussen 2005 en 2017.

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) heeft een voorspelling opgesteld van de te verwachten toename van mobiliteit op de middellange termijn: 2018 – 2023. Het toekomstbeeld is

dat er steeds meer reizigerskilometers met het spoor worden afgelegd en dat de luchtvaart groeit. Daarnaast blijft het wegverkeer ook groeien zoals is weergegeven in Figuur 65.



Figuur 65. De ontwikkeling van het wegverkeer en van de congestie op het HWN in de nabije toekomst (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018)

Door de groei van het wegverkeer zal ook het reistijdverlies oplopen. De belangrijkste verklarende factor achter de toename van het reistijdverlies is dat het bruto binnenlands product tussen 2017 en 2023 met 11 procent groeit. Ondanks de geplande uitbreiding van de capaciteit op het HWN nemen de reistijdverliezen op het HWN toe. In de periode van 2018 tot en met 2023 komen er op het HWN relatief minder strookkilometers bij dan in de afgelopen jaren. In 2023 kunnen de reistijdverliezen 35 procent hoger liggen dan in 2017.

Hoewel de mobiliteit sinds 1985 sterk is toegenomen, fluctueert deze van jaar tot jaar en is er statistisch gezien een bepaalde onzekerheid rondom het niveau van het jaarlijkse mobiliteitscijfer. Een economische crisis zorgt voor een daling in de mobiliteitscijfers een economische bloei zorgt daarentegen weer voor een groei. (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018)

D.2 Toename verkeersbelasting

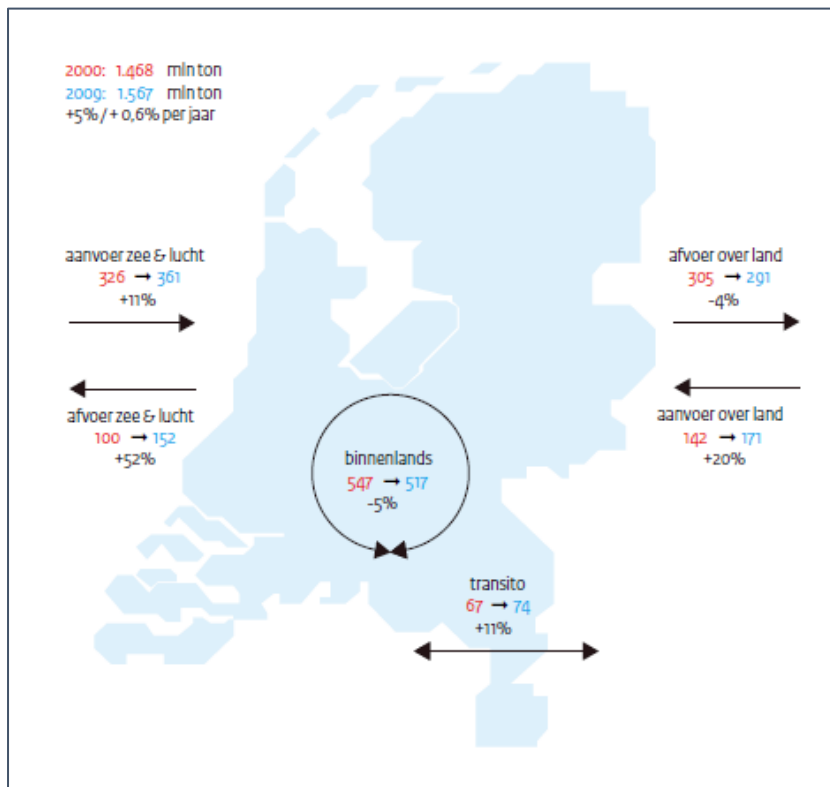
D.2.1 Vroeger tot nu

Het transport van goederen op het HWN wordt gedaan door vrachtverkeer. Het vrachtverkeer vormt de rekenwaarde voor de belasting op bruggen en viaducten en de slijtage daarvan. Het vrachtverkeer heeft in de loop der jaren een ontwikkeling door gemaakt. Zo is het laadvolume en het gewicht per vrachtwagen toegenomen. Hieronder staan de belangrijkste ontwikkelingen opgesomd: (bron: Rijkswaterstaat, 2007)

- In 1960 was de maximale aslast 8 ton en was het gewicht van de zwaarste gebruikelijke combinatie (trekkend voertuig met oplegger) 32 ton. 50 ton combinaties waren gering;
- In 1970 is de maximale aslast vergroot naar 10 tot en werd de zwaarste gebruikelijke combinatie 36 ton. 50 ton combinaties waren gering;
- In 1990 had de meest voorkomende trekker-oplegger combinatie een gewicht van 40 ton. Ook het aandeel 50 ton combinaties was al sterk toegenomen;
- Van 1990 tot 2000 is er een trend te zien dat vrachtwagen korter en zwaarder zijn geworden. Veel 50 ton combinaties. Toename massa "solo" voertuigen;
- Tegenwoordig is een trekker-oplegger combinatie van 46 ton gangbaar. Ook weegt een groot aantal combinaties meer dan 50 ton.

Van 2000 tot 2009 groeide het goederenvervoer met 5 procent. Dat is minder dan 1 procent per jaar. Tussen 1970 en 1985 trad een groei op van gemiddeld 1,3 procent per jaar, tussen 1985 en 2000 was dat nog 2 procent per jaar. De oorzaak van deze dalende trend is dat Nederland zijn inkomen steeds meer verdient in de dienstverlening en minder met de productie van goederen. Dat er meer duurdere producten van hogere kwaliteit worden gemaakt speelt ook een rol. Hierdoor stijgt de omzet in geld, maar niet in hoeveelheid te vervoeren producten.

Het goederenvervoer daalde in 2009 door de crisis met 12 procent. Het goederenvervoer over de weg nam in 2009 met 90 miljoen ton af (-13 procent). De sterkste afname was te zien bij de binnenvaart en het spoorvervoer (-17 procent). Zie Figuur 66.



Figuur 66. Goederenstromen in Nederland in 2000 en 2009 (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2010)

Tussen 2000 en 2009 groeide de economie in Nederland gemiddeld met 1,3 procent per jaar, in totaal met 12 procent. In de tussenliggende jaren is sprake geweest van versnelling en vertraging van de economische groei en in 2009 zelfs van een krimp van de economie. In 2001 en 2002 was er maar een zeer beperkte economische groei, terwijl 2006 en 2007 een meer dan gemiddelde groei kenden. Deze patronen van groeiversnelling en -vertraging komen ook duidelijk terug in de ontwikkeling van het goederentransport. Zowel in het totaal vervoerde gewicht als in de ladingtonkilometers op Nederlands grondgebied. Ladingtonkilometer is een meeteenheid voor de vervoersprestatie, overeenkomend met de verplaatsing van 1000 kilogram lading over een afstand van 1 kilometer. Economische groei en krimp hebben sterke invloed op het goederentransport en dus ook op de verkeersbelasting. In een jaar met economische groei neemt de verkeersbelasting meer toe dan in een jaar met economische krimp. (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2010)

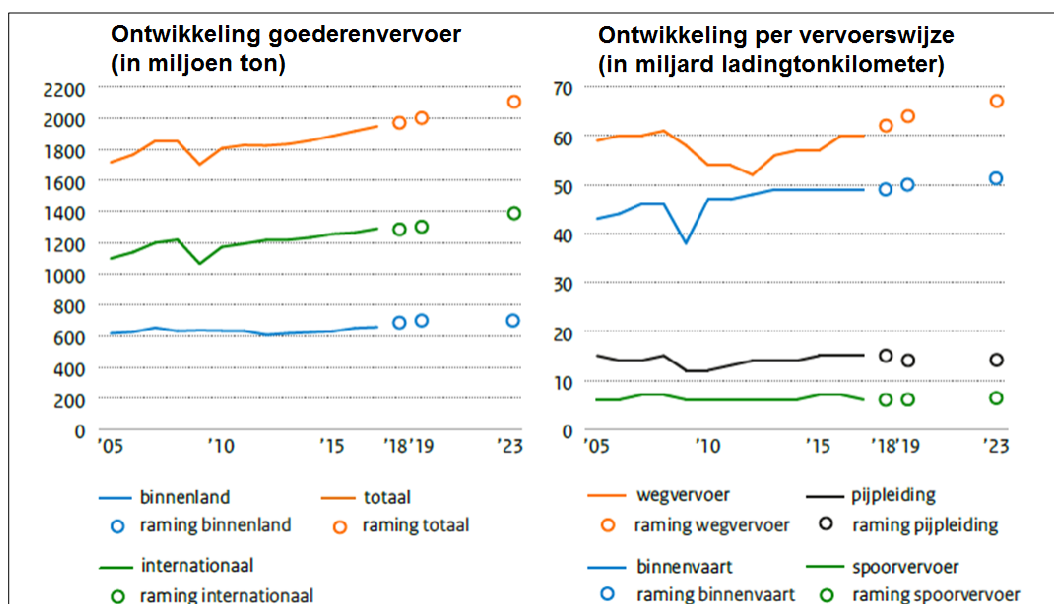
Het goederentransport groeide in 2017 met 1,6 procent tot 1,95 miljard ton, de hoogste waarde ooit. Daarnaast valt in 2017 op dat de internationale aanvoer over land toenam met 6,4 procent. De internationale aanvoer nam bij alle vervoerwijzen toe.

D.2.2 Toekomst

Het KiM heeft een voorspelling opgesteld van de te verwachten toename van mobiliteit op de middellange termijn: 2018 – 2023. Voor goederenvervoer betekent dit dat het groeit ondanks toenemende onzekerheden.

Voor de periode 2018-2023 verwacht het KiM voor het vervoerd gewicht in het binnenlands goederenvervoer een groei van gemiddeld 1,5 procent per jaar en voor het internationale vervoer een groei van gemiddeld 1,2 procent per jaar. Dit resulteert in een toename van 10 respectievelijk 8 procent tussen 2017 en 2023. Zie Figuur 67.

Tussen 2017 en 2023 groeit de vervoersprestatie in ladingtonkilometers bij het wegvervoer naar verwachting het sterkst met gemiddeld 1,9 procent per jaar. Het spoorvervoer groeit met gemiddeld 1,1 procent per jaar en de binnenvaart met 0,9 procent per jaar. (bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018)



Figuur 67. Ontwikkeling goederenvervoer per stroom en per vervoerswijze op Nederlands grondgebied bron: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018)

Naast de toename van het gewone vrachtverkeer is er een explosieve groei te zien bij het aantal adviesaanvragen dat wordt afgehandeld voor exceptionele transporten. Voor 1998 waren nog enkele honderden aanvragen op jaarbasis, in 2008 was het aantal gestegen tot boven de 2000 aanvragen. Inmiddels is dit doorgegroeid naar 3000 aanvragen per jaar.

Onder exceptioneel transport (zwaar of bijzonder transport) wordt gerekend: een transport dat afwijkt van de in de Wegenverkeerswet en het Voertuigreglement vastgestelde eisen en voorwaarden. Er zijn over het algemeen drie vormen van exceptioneel transport, namelijk:

1. Overschrijding van het toelaatbare volume;
2. Overschrijding van de toelaatbare massa (hierbij spreken we van zwaar transport);
3. Overschrijding van het toelaatbare volume en massa.

Voor exceptioneel transport wordt zolang de aanvraag betrekking heeft op volume en/of op de totale massa (massa voertuig en lading) een beoordeling gedaan door het RDW. Hierbij moet het gaan om een massa kleiner dan 100 ton en/of de aslasten kleiner zijn dan 12 ton. Wanneer totale massa groter dan 100 ton en/of de aslasten groter dan 12 ton. Wordt dit ter beoordeling bij RWS GPO gelegd. De beoordeling van de aanvraag door GPO houdt in dat de bruggen en viaducten die in

de route liggen constructief worden beoordeeld in relatie tot de veiligheid en duurzaamheid. (bron: Rijkswaterstaat, 2017, 18 december)

De toename van het aantal zware transporten heeft vooral een negatief effect op stalen bruggen. Vermoeiing is een grote factor in het degraderen van een stalen brug. Een toename in het totaalgewicht van een vrachtwagen, bijvoorbeeld door langere vrachtwagencombinaties, heeft vooral negatieve effecten op betonnen bruggen. Beide factoren zullen daarom ook een negatief effect op het areaal betekenen. Binnen de VenR opgave moeten dus beide aspecten worden meegenomen. Omdat de meeste bruggen en viaducten in Nederland van beton zijn gemaakt zal het totaalgewicht van de vrachtwagens een groot effect leveren op de kunstwerken.

Ook zijn er nieuwe ontwikkelingen wat betreft innovaties in de transportsector. Een voorbeeld hiervan is truck platooning. Bij truck platooning zijn vrachtauto's elektronisch aan elkaar gekoppeld waarbij de voorste truck de snelheid en route bepaalt. De andere trucks volgen automatisch zonder dat daar de hulp van de chauffeur voor nodig is. Truck platooning moet zorgen voor meer ruimte op de weg. Door vrachtwagens dichter op elkaar te laten rijden ontstaat een betere doorstroming. Op deze manier wordt ook de CO₂-uitstoot teruggedrongen en het levert interessante besparingen op voor het bedrijfsleven. Echter het nadeel hiervan op bruggen en viaducten is dat de belasting vele malen hoger wordt, omdat er grotere belastingen komen te staan op deze objecten. (bron: De Weerd, P. , 2017)

Bijlage E. Afname capaciteit van bruggen en viaducten

E.1 Afname capaciteit staal

Vrijwel alle bruggen in het Nederlandse hoofd- en onderliggend wegennet zijn gemaakt van beton of staal. Bruggen of brugonderdelen van vezel versterkte kunststoffen zijn bezig aan een sterke opmars maar worden momenteel alleen toegepast op relatief kleine verkeers-, fiets- of loopbruggen en vooral in het onderliggende wegennet. Dit betekent dat de bruggen en viaducten die in het VenR programma voorkomen vrijwel allemaal bestaan uit het materiaal beton, staal of een combinatie van beide. De veroudering van de bruggen en viaducten gaat gepaard met de degradatie van de materialen.

E.1.1 Opbouw stalen brug:

Stalen bruggen bestaan doorgaans uit een stalen rijvloer (een stalen dekplaat met daaronder troggen) die worden ondersteund door stalen elementen in langsrichting (de hoofdliggers of het hoofddraagstelsel) en in dwarsrichting (de dwarsdragers). De verkeersbelasting, het eigen gewicht en andere belastingen worden afgedragen naar de opleggingen en onderbouw door de hoofddraagconstructie. De verbindingen tussen de verschillende onderdelen van de brug worden gerealiseerd door het toepassen van lassen of bouten en bij relatief oude bruggen ook door klinknagels.

E.1.2 Beheer en Onderhoud stalen bruggen

BenO wordt uitgevoerd bij alle bruggen en viaducten. Bij stalen bruggen spitst dit onderhoud zich specifiek toe op het herstellen van de conservering, aangebracht ter bescherming tegen corrosie. Ook richt dit periodiek onderhoud zich bij relatief oude bruggen, op het monitoren scheurvorming door vermoeiing.

Om de verkeersveiligheid van het stalen rijdekken te waarborgen worden er inspecties uitgevoerd. Voor deze inspecties is het onderdeel Rijdek Inspectie Stalen Kunstwerken (RISK) actief binnen RWS. RISK zorgt binnen de VenR opgave voor:

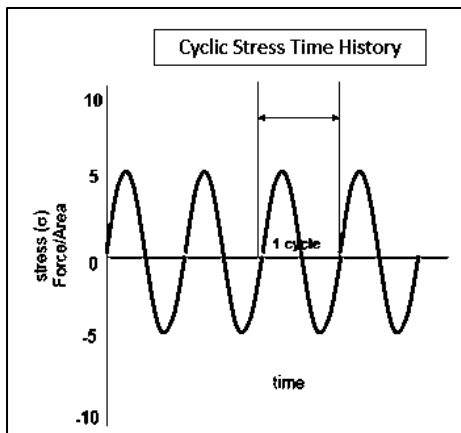
- Garanderen verkeersveiligheid;
- Onderzoek;
- Analyseren (inspectie)gegevens;
- Repareren.

Toegepaste inspectietechnieken zijn Visueel Boven en - Onder, Ultra Soon, TOFD, Crack Pec. Na renovatie inspecteert RISK nog eenmaal om te zien hoe het rijdek zich verhoudt. Daarna vindt de overdracht plaats en komt de brug terug in het areaal van desbetreffende regio. Beweegbare bruggen gaan direct na renovatie terug naar de regio. Indien na inspectie is gebleken dat er een reparatie uitgevoerd dient te worden, regelt RISK dit ook. (bron: Rijkswaterstaat, 2013, oktober)

E.1.3 Vermoeiing

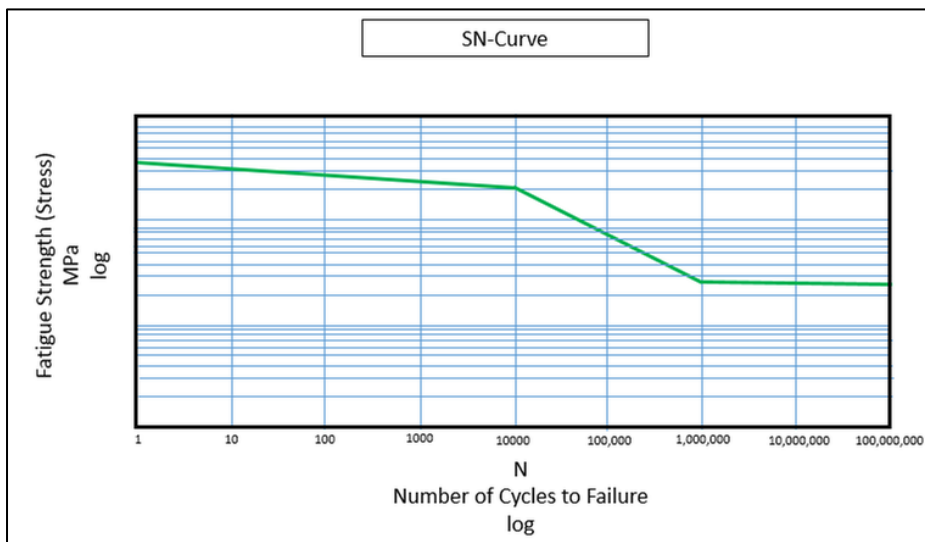
Stalen bruggen verouderen door de belasting van verkeer en bijbehorende trillingen. Hierdoor treden er scheurtjes op in het stalenrijdek en draagconstructie. Door toename van zwaarder en intensiever verkeer versnelt het verouderingsproces. In de jaren 60 en 70 zijn er honderden bruggen en viaducten gebouwd veel van deze bruggen zijn stalen bruggen. Deze stalen bruggen zijn op basis van de toen geldende inzichten en normen primair op sterkte ontworpen. Met het aspect vermoeiing (scheurvorming door wisselende belasting) is toen geen rekening gehouden. Deze wisselende belasting ook wel dynamische belasting genoemd (een belasting waarvan de grootte in de tijd varieert). Een wisseling van belasting is weergegeven in Figuur 68. Het gedrag van materialen bij een

wisselende belasting wordt bepaald door de werkelijke spanningsverdeling in de dwarsdoorsnede van het onderdeel. Vermoeiing van het onderdeel ontstaat door een ongelijkmatige spanningsverdeling. Het materiaal is niet bestand tegen deze spanningspieken en resulteert in microscheurtjes die uiteindelijk tot een vermoeiingsbreuk leiden.



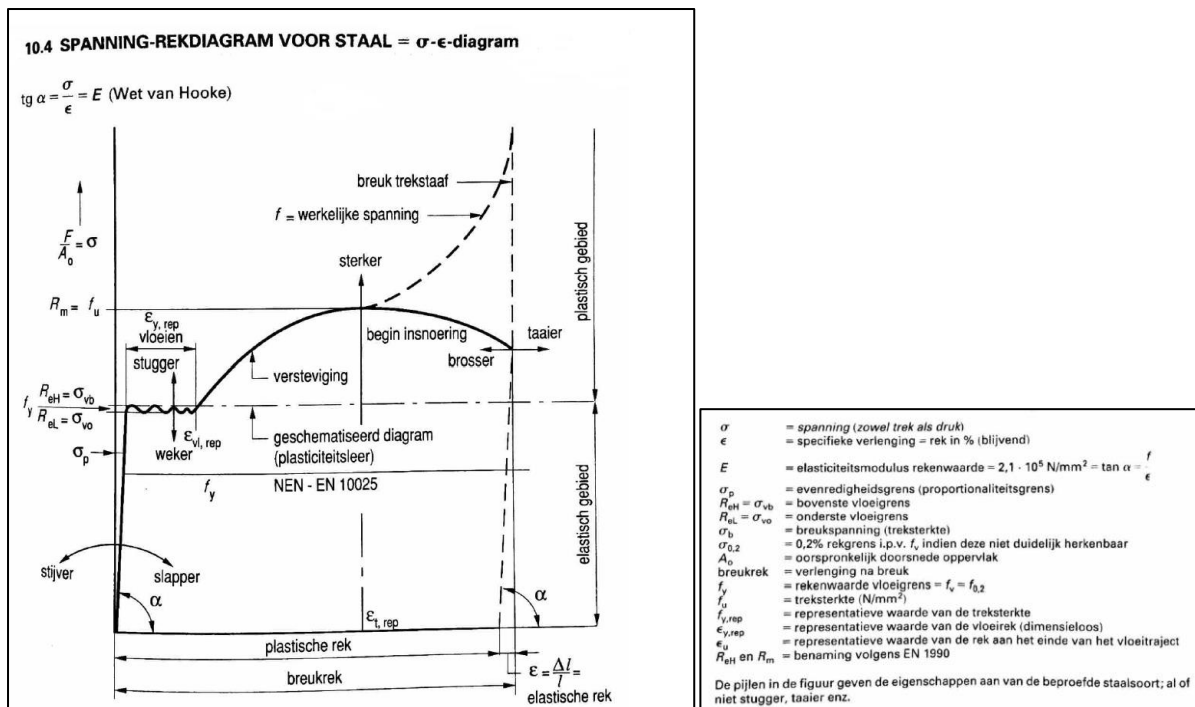
Figuur 68. Dynamische belasting van staal (bron: Siemens, 2018)

De vermoeiingssterkte ligt beduidend lager dan de maximaal toelaatbare spanning bij statisch belaste onderdelen. De Wöhlerkromme (SN-Curve) van staal blijkt na circa 1.000.000 (10^6) spanningswisselingen horizontaal te lopen. Dit betekent dat wanneer een stalen constructie wordt belast met een maximale wisselende belasting de levensduur oneindig verondersteld mag worden. In de SN-Curve wordt de breukspanning weergegeven (S) in verhouding tot het aantal belastingwisselingen (N). Zie Figuur 69.



Figuur 69. Breukspanning bij staal ten gevolge van belastingwisselingen (bron: Siemens, 2018)

Bij wisselende belaste constructies kan vermoeiing een belangrijke rol spelen. De verhouding tussen eigen gewicht en veranderlijke belasting is in deze gevallen vaak laag. De verhouding tussen minimale en maximale spanning ten gevolge van belasting wisselingen is dan groot. Hierdoor kan vermoeiing al vrij snel maatgevend zijn in het ontwerptraject. Vermoeiingsscheuren ontstaan meestal daar waar zich hoge spanningsconcentraties voordoen. Het materiaal breekt bij een relatief lage spanning. Dit is ver onder de vloeigrens. In Figuur 70 is het spanning-rekdiagram voor staal weergegeven met daarin de vloeigrens. (bron: Blok, R. , 2015)



Figuur 70. Spanning-rekdiagram voor staal (bron: Blok, R., 2015)

Door de explosieve groei van het vrachtverkeer op het HWN neemt de vermoeiing op objecten toe. Bij het ouder worden van een brug of viaduct blijkt de vermoeiing een steeds bepalender factor te zijn voor het degraderen van de stalen rijdekken. In sommige gevallen ook voor het hoofddraagsysteem.

De degradatie door vermoeiing kan reden zijn tot ingrijpende reparaties en maatregelen. Verder kan een aanscherping van normen in de loop der jaren reden zijn tot aanpassingen van de brug. Een tweede reden voor renovatie is een wens tot aanpassing van de huidige functionaliteit van de brug. Zo kan een capaciteitsuitbreiding van de brug of een gewenste vergroting van de doorvaarhoogte reden zijn voor aanpassingen aan de huidige constructie om dit te faciliteren.

Met de kennis en normering van tegenwoordig wordt er rekening gehouden met de vermoeiingsaspecten waardoor nieuwe stalen bruggen de levensduureis van 100 jaar halen. Dezelfde kennis en normering (en inmiddels ervaring) wordt gehanteerd bij de renovatie van bestaande stalen bruggen. Dit om de degradatie door vermoeiing in het rijdek en de hoofddraagconstructie tegen te gaan. Bij deze renovaties wordt een levensduurverlenging van 30 jaar nagestreefd.

E.1.4 Geschiedenis staalconstructies

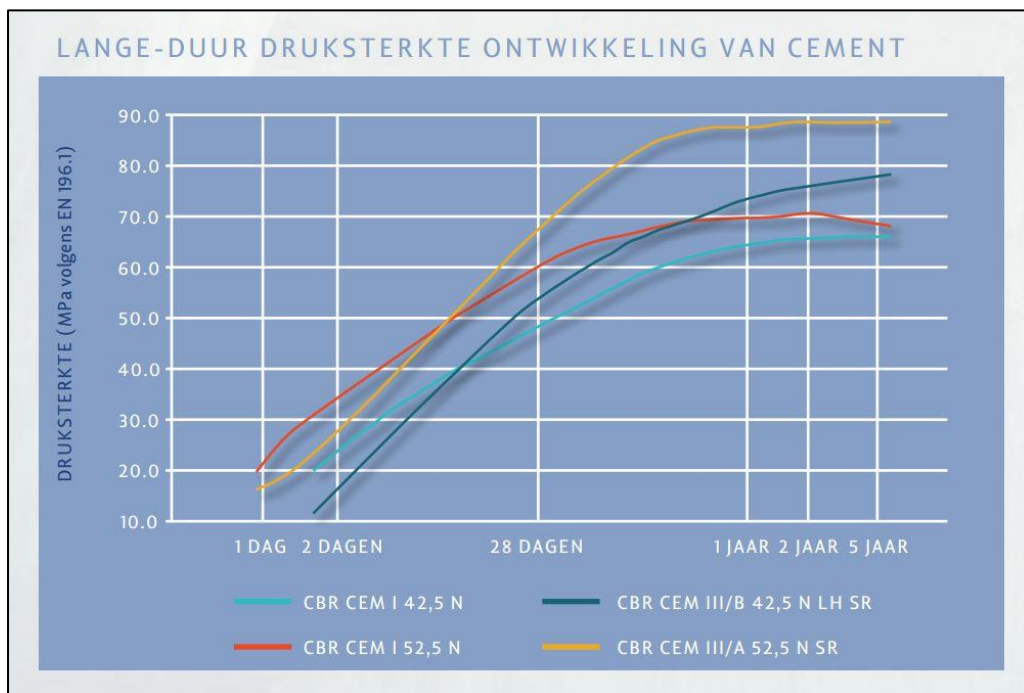
De staalkwaliteit heeft zich de afgelopen eeuw niet veel verbeterd. Zo is bijvoorbeeld de maximale spanning in het staal redelijk stabiel gebleven. Wel moet er rekening gehouden worden met de gebruikte verbindingen in het staal en de vermoeiing van het staal.

In de periode van 1940 tot 2000 hebben zich een aantal ontwikkelingen afgespeeld op het gebied van verbindingsmiddelen van staal. Voor de Tweede Wereldoorlog werden bijna alle verbindingen in bruggen geklonken en gebout. Naarmate de kwaliteit van de lasverbindingen beter werd kwam deze techniek in opkomst. Na de oorlog zijn vooral stalen bruggen gebouwd met lasverbindingen. (bron: Romeijn, A., 2002)

E.2 Afname capaciteit beton

E.2.1 Sterkte ontwikkeling beton

De periode waarin de sterkteontwikkeling van cementen wordt gemeten volgens de Europese Cementnorm EN 197-1, bedraagt tot 28 dagen na het moment van aanmaken. Maar ook in de 1 à 2 jaar daarna neemt de sterkteontwikkeling nog toe. Uit meetresultaten blijkt dat cementsoorten verschillend presteren ten opzichte van elkaar. Verschillen worden veroorzaakt door de samenstelling en de fijnheid van de cementen. Heel duidelijk zichtbaar wordt dat bijvoorbeeld hoogovencementen in het begin trager reageren dan portlandcementen. Maar de hoogovencementen hebben een relatief grotere na-verharding en bereiken daarmee een hogere eind druksterkte. Het bestanddeel cement heeft het grootste aandeel in de toename van de druksterkteontwikkeling van beton. Zie Figuur 71. (bron: Heidelberg Cement Group, z.d.)



Figuur 71. Lange-duur druksterkte ontwikkeling van cement (bron: Heidelberg Cement Group, z.d.)

Gedurende de jaren zal de druksterkte van beton nog iets toenemen. Tot op een gegeven moment het beton bezwijkt. Beton kan bezwijken door verschillende belastingen. De indeling van de verschillende schademechanismen bij gewapend beton zijn hieronder tweeledig ingedeeld:

- Directe aantasting van beton door inwendige of uitwendige oorzaken;
- Indirecte aantasting van beton door aantasting van de in het beton opgenomen wapening.

De aantasting van gewapend beton vindt plaats ten gevolge van fysische, fysisch-chemische of chemische processen.

E.2.2 Schade aan beton door directe aantasting

De directe aantasting van beton kan geschieden door inwendige of uitwendige oorzaken.

- Onder aantasting van beton door inwendige oorzaken wordt verstaan: aantasting veroorzaakt door stoffen die reeds in het uitgangsmengsel aanwezig zijn. Het belangrijkste fenomeen is de alkalisilicareactie (ASR). De alkali-silicareactie is een reactie van reactief silica met alkaliën. Hierbij ontstaan gelvormige reactieproducten (alkali-silicagel) die poriënwater kunnen absorberen en daardoor zwellen. Als gevolg hiervan ontstaan inwendige spanningen

die bij een te hoge spanning het beton zullen doen scheuren. Naast ASR kunnen zich nog andere mechanismen voordoen die aanleiding geven tot degradatie.

- De schade van beton door uitwendige oorzaken wordt onderverdeeld in mechanische schade, vorstschade (al dan niet in combinatie met dooizouten) en schade te wijten aan scheikundige aantasting.

E.2.3 Schade aan beton door indirecte aantasting

De indirecte aantasting van gewapend beton houdt in dat het beton niet rechtstreeks wordt beschadigd. Bepaalde stoffen zijn niet agressief voor het beton, maar wel voor de wapening. Zolang die stoffen de wapening niet kunnen bereiken, zal ook het beton geen schade lijden.

E.2.3.1 Carbonatatie

Vrije kalk in het beton wordt door zuren uit de lucht wordt omgezet in andere verbindingen. CO_2 uit de lucht veroorzaakt zogenoemde carbonatatie. Hierbij wordt de vrije kalk in het beton omgezet in kalkproducten die oplosbaar zijn en met water uit het beton naar buiten treden. Bij carbonatatie verliest beton zijn samenhang, maar wordt ook de voor het wapeningsstaal beschermende vrije kalk langzaam weggenomen. Indien steeds meer poriën ontstaan, dus als de deklaag (wapeningsdekking) steeds poreuzer wordt, zullen ook zuurstof en water het wapeningsstaal kunnen bereiken. Het beschermende basische milieu van de vrije kalk is verdwenen en het staal gaat corroderen (roesten). Roest heeft een groter volume en drukt makkelijk de deklaag af, waarna verdere destructie volgt. Betonaantasting is het dus functieverlies door carbonatatie gevolgd door roestvorming.

De carbonatatie door CO_2 gaat niet snel. Er wordt eerst het moeilijke oplosbare CaCO_3 gevormd volgens: $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

E.2.3.2 Corrosie

Staal blootgesteld aan klimatologische omstandigheden gaat roesten door een reactie van het ijzer met zuurstof en water. Indien een van beide elementen ontbreekt zal geen corrosie optreden

E.2.3.3 Chlooraantasting

Indien in poreus beton ook chloor kan binnendringen wordt de corrosie van het wapeningsstaal versneld en versterkt. Zelfs zonder carbonatatie worden de passiverende ijzerzouten op het staal door chloor afgebroken, een vorm van putcorrosie treedt daarbij in het wapeningsstaal op. (bron: Verver, M. W., & Fraaij, A. L. A. , 2004)

E.2.4 Geschiedenis kubusdruksterkte

De betonkwaliteit is net als de wapeningskwaliteit de afgelopen eeuw flink toegenomen. In de Nederlandse betonvoorschriften van 1912 werd een gemiddelde kubusdruksterkte van 21 N/mm^2 gehanteerd. Ook werd er rond de tijd gewerkt met een veiligheidsfactor van rond de 6,0. Vandaag de dag ligt de betonkwaliteit ruim een keer zo hoog terwijl de veiligheidsfactor een keer zo laag is geworden. Theoretisch is dus het beton van vroeger niet beter of slechter dan het beton dat nu gebruikt wordt. Daaruit kan geconcludeerd worden dat de kubusdruksterkte (inclusief veiligheidsfactoren) van de objecten van RWS ongeveer hetzelfde is. Zie Tabel 23. (bron: Uffelen K. , 2012)

Norm	Gemiddelde kubusdruksterkte (in N/mm ²)	Toelaatbare drukspanning (in N/mm ²)	Rekenwaarde druksterkte (in N/mm ²)	Veiligheidsfactor		
				γ_{mat}^*	γ_{bel}	γ_{totaal}
GBV 1912	15,8 – 26,3	3,0 – 4,0	-	-	-	5,3 – 6,6
GBV 1918	26,3	4,0	-	-	-	6,6
GBV 1930	21,0	4,0	-	-	-	5,3
GBV 1940	15,8 – 26,3	4,0 – 6,0	-	-	-	4,0 – 4,4
GBV 1950	15,8 – 26,3	4,0 – 6,0	-	-	-	4,0 – 4,4
GBV 1962	16,8 – 31,5	4,0 – 7,5	-	-	-	4,2 – 4,3
VB 1974	37,5 – 67,5 [#]	-	18,0 – 36,0 [#]	1,9 – 2,1	1,7	3,2 – 3,6
VB 1984	37,5 – 67,5 [#]	-	18,0 – 36,0 [#]	1,9 – 2,1	1,7	3,2 – 3,6
VBC 1995	33,0 – 73,0 [#]	-	15,0 – 39,0 [#]	1,9 – 2,2	1,2 – 1,5	2,6 – 3,0
EC 2012	38,0 – 63,0 [#]	-	16,7 – 30,0 [#]	2,1 – 2,3	1,2 – 1,5	2,8 – 3,1

[#] Bij deze waarden zijn slechts enkele sterkteklassen beschouwd.

Tabel 23. Kubusdruksterkte beton 1912 t/m 2012 (bron: Uffelen K., 2012)

E.2.5 Geschiedenis treksterkte wapeningsstaal

De treksterkte van wapeningsstaal is de afgelopen eeuw niet echt toegenomen. In de Nederlandse betonvoorschriften van 1912 werd een gemiddelde treksterkte in het staal van 435 N/mm² gehanteerd. De veiligheidsfactor op dit staal was gemiddeld 4,8. Tegenwoordig is de gemiddelde treksterkte 540 N/mm² met een veiligheidsfactor van 1,8. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in oudere kunstwerken relatief veel wapening zit in vergelijking met nieuwe kunstwerken. Zie Tabel 24. (bron: Uffelen K., 2012)

Norm	Gemiddelde treksterkte (in N/mm ²)	Toelaatbare trekspanning (in N/mm ²)	Rekenwaarde treksterkte (in N/mm ²)	Veiligheidsfactor		
				γ_{mat}^*	γ_{bel}	γ_{totaal}
GBV 1912	370 – 500	80 – 100 [#]	-	-	-	4,6 – 5,0
GBV 1918	360	120	-	-	-	3,0
GBV 1930	370 – 600	120 – 210	-	-	-	2,7 – 3,5
GBV 1940	350 – 600	120 – 190 [#]	-	-	-	2,6 – 2,9
GBV 1950	340 – 660	130 – 240 [#]	-	-	-	2,6 – 2,8
GBV 1962	340 – 580	130 – 260 [#]	-	-	-	2,2 – 2,6
VB 1974	340 – 580	-	190 – 435	1,3 – 1,8	1,7	2,2 – 3,1
VB 1984	340 – 580	-	190 – 435	1,3 – 1,8	1,7	2,2 – 3,1
VBC 1995	340 – 580	-	190 – 435	1,3 – 1,8	1,2 – 1,5	1,8 – 2,4
EC 2012	500 – 580	-	350 – 435	1,3 – 1,4	1,2 – 1,5	1,8 – 1,9

[#] In deze normen werd er voor de toelaatbare trekspanning onderscheid gemaakt tussen balken en platen. In dit overzicht worden de toelaatbare spanningen bij balken beschouwd.

Tabel 24. Treksterkte wapeningsstaal 1912 t/m 2012 (bron: Uffelen K., 2012)

Bijlage F. Soortgelijke vervangingsopgaven

F.1 Soortgelijk vervangingsopgaven binnen andere RWS-afdelingen

Niet alleen binnen de afdeling B&V speelt de VenR opgave, maar ook binnen andere afdeling speelt het probleem dat veel objecten verouderen en daarmee einde technische levensduur naderen. Een gerelateerde afdeling waar een soortgelijke opgave speelt is de afdeling Tunnels en Natte Kunstwerken (T&N). Inmiddels zijn er ruim 650 natte kunstwerken in het HVWN en het HWS. Bij deze kunstwerken vindt veroudering plaats en toename van het gebruik, net zoals bij bruggen en viaducten. Binnen de afdeling T&N is in 2015 het project Vervangingsopgave Natte Kunstwerken (VONK) opgeleverd. Het belangrijkste doel van dit project was het ontwikkelen van een nieuwe systematiek. Met deze systematiek kunnen de programmering van vervangingen en renovaties en de daarvoor benodigde begrotingsreservering beter worden onderbouwd.

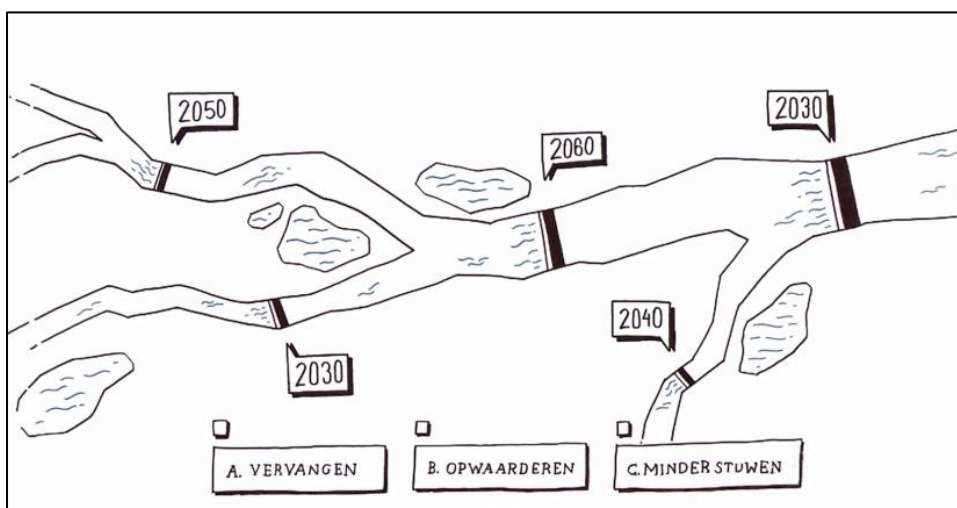
De systematiek van VONK bestaat uit drie hoofdonderdelen:

1. Gevoeligheidstest Natte Kunstwerken

Om de totale vervangingsopgave in beeld te brengen wordt een inschatting gemaakt voor het einde levensduur van de kunstwerken. Hiervoor is de gevoeligheidstest natte kunstwerken ontwikkeld. Per kunstwerk wordt een inschatting van zowel de technische einde levensduur als de functionele technische einde levensduur gemaakt.

2. Systeemgerichte en integrale benadering

De natte kunstwerken worden door toepassing van de systematiek niet alleen afzonderlijk, maar ook in relatie tot omgeving bekeken. Er wordt beoordeeld wat er op de lange termijn nodig is om de kunstwerken te laten functioneren. Dit kan betekenen dat een kunstwerk een-op-een wordt vervangen. Maar het kan tot gevolg hebben dat er functionaliteit wordt toegevoegd of dat een kunstwerk overbodig wordt. De drie verschillende keuzes die gemaakt kunnen worden staan weergegeven in Figuur 72. Dit figuur geeft een rivier weer met daarin een vijftal kunstwerken (stuwen).



Figuur 72. Opstellen mogelijke vervangingsstrategieën (bron: Rijkswaterstaat, (z.d.)a)

3. Dialoog met de omgeving

In een vroegtijdig stadium wordt de dialoog aangegaan met de omgeving van het kunstwerk. Bijvoorbeeld met overheden, belanghebbenden en marktpartijen. Zo wordt er beter geanticipeerd op de daar levende wensen en kansen. Eventuele andere 'natte' vraagstukken die in een gebied spelen, kunnen dan in samenhang worden aangepakt.

Met behulp van de geïmplementeerde VONK-systematiek worden de vervangingsopgaven vroegtijdig gesignaleerd en vastgesteld. Hierdoor worden de vervangingen en renovaties slimmer en efficiënter geprogrammeerd, wordt de kans op onvoorziene maatregelen en budgetoverschrijdingen verder beperkt. (bron: Rijkswaterstaat, (z.d.)a)

F.2 Soortgelijk vervangingsopgaven binnen de bouwsector

Binnen de bouwsector speelt de VenR opgave binnen verschillende overheden. Deze overheden zijn net zoals RWS-beheerder van de kunstwerken in het areaal. De volgende overheden hebben of krijgen te maken met een VenR opgave:

- Provincies;
- Gemeentes;
- Waterschappen.

Deze overheden hebben diverse kunstwerken in het beheer, waaronder bruggen (en viaducten). Naast deze kunstwerken zijn er ook andere objecten in het beheer. Zo valt bijvoorbeeld de riolering onder het beheer van gemeentes. De vervangingsopgave binnen de rioleringsbranche staat uitgewerkt in Hoofdstuk F.2.1 van de Bijlage.

Naast deze overheden zijn er nog enkele partijen die objecten in het beheer hebben die niet gerekend worden tot kunstwerken. Bedrijven binnen de bouwsector zoals:

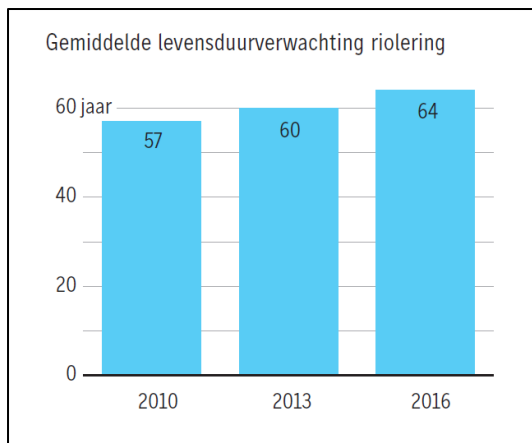
- Woningbouwcorporaties;
- Energieleveranciers;
- Drinkwaterbedrijven.

Het gaat hier bij de energieleveranciers om de gasleidingen die in het beheer zijn en bij de drinkwaterbedrijven om de waterleidingen. Daarnaast is in Hoofdstuk F.2.2 van de Bijlage de vervangingsopgave van de woningbouw verder uitgewerkt.

F.2.1 Vervangingsopgave riolering

Binnen de rioleringssector doet een soortgelijk probleem zich voor wat betreft vervanging en renovatie. Kenmerkend is dat veel woonwijken zoals: naoorlogse wijken en Vinex wijken in een relatief korte periode zijn gebouwd. Bij de aanleg van deze wijken is ook het riool in deze zelfde relatief korte periode aangelegd. De gemiddelde levensduurverwachting van een rioolbuis is 64 jaar. Deze leeftijd is gestegen ten opzichte van voorgaande jaren zie Figuur 73. Dit komt mede door betere reparatietechnieken is de levensduurverwachting van een rioolbuis gestegen. Echter kan de leeftijd van het riool per gemeente en per locatie verschillen.

- Gemeenten met een slechtere grondslag (veen) hanteren een lagere technische levensduur;
- Kleine gemeenten (10.000 inwoners) handteren een levensduur van 60 jaar terwijl grotere gemeenten (>100.000 inwoners) een levensduur van 69 jaar hanteren. Kleinere gemeenten vervangen dus vaker het riool dan grote gemeenten. Uitsplitsing naar mate van stedelijkheid leidt tot slechts kleine verschillen.

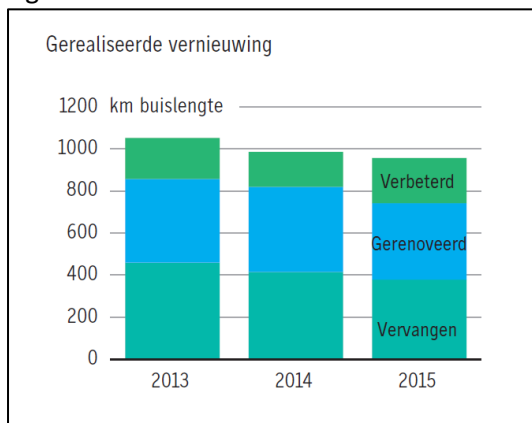


Figuur 73. Toename levensduurverwachting riolering (bron: Stichting RIONED, 2013)

De ingrepen vervangen en renoveren zorgen er voor dat riolering weer als nieuw functioneert met een volledig technische levensduur. Naast de mogelijkheden tot renovatie en vervanging bestaat er bij riolering nog een derde variant, het verbeteren.

- Renovatie is het herstel van het oorspronkelijk functioneren, waarbij de gemeente een ingrijpende toestandswijziging doorvoert, zodat zij de technische staat van nieuwaanleg evenaart. (In de oude leiding een nieuwe leiding aanbrengen zonder graafwerkzaamheden.)
- Vervanging is het herstel van het oorspronkelijke functioneren, waarbij de gemeente het bestaande object verwijdert en een nieuw gelijkwaardig object terugplaatst. (De buis opgraven en daarvoor in de plaats komt een gelijke nieuwe buis in de grond.)
- Verbeteren is het aanpassen van het oorspronkelijke functioneren, waarbij het bestaande object vervangen wordt door een groter of anders werkend systeem. (De buis wordt opgegraven en daarvoor in de plaats komt een groter of anders werkend systeem.)

Bij de gerealiseerde vernieuwingen wordt een aandeel gerenoveerd, vervangen en verbeterd. Zie Figuur 74.



Figuur 74. Gerealiseerde vernieuwing riolering (bron: Stichting RIONED, 2013)

F.2.1.1 Aanleiding tot vervangen

Gemeenten hanteren voor hun rioolsystemen een verwachte (technische) levensduur. Dit is een prognose gebaseerd op ervaringskennis, die zij in de beheersystemen gebruiken om aan te geven wanneer ruwweg vervanging en renovatie aan de orde komen. Het moment van daadwerkelijke vervanging van systeemonderdelen baseren gemeenten op praktijksignalen over toestand en functioneren, zoals uit rioolinspecties. Van de gemeenten toetst 86% of de ingrepen daadwerkelijk nodig zijn aan de hand van het classificatiesysteem van NEN 3399 voordat er daadwerkelijk wordt ingegrepen. Om zo onnodige ingrepen te voorkomen. Kleine gemeenten doen dit minder vaak dan

grote gemeenten. Bij grote gemeenten is de toestand van de riolering vaker de hoofd- of enige reden voor vervanging dan bij de kleine gemeenten.

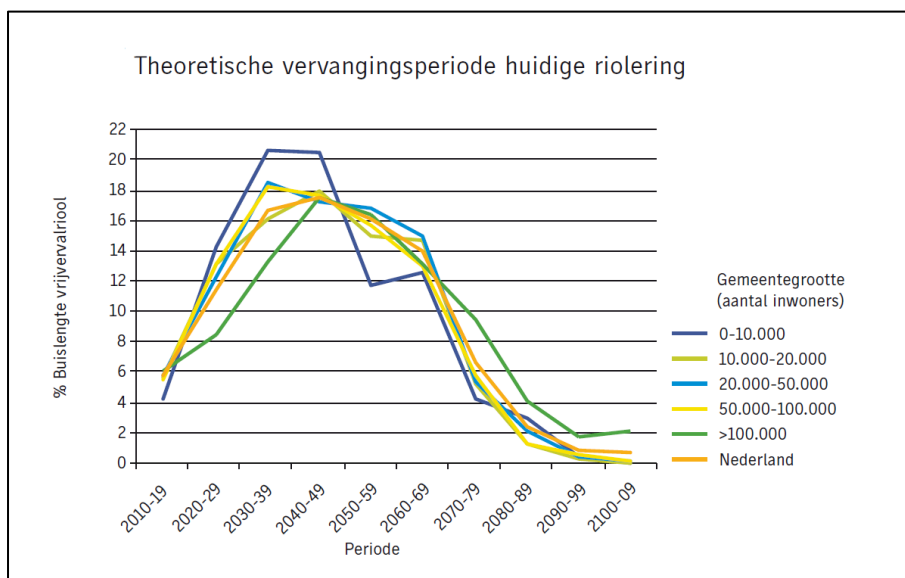
De aanleiding om het riool te vervangen of te renoveren is vaak niet dat het in slechte staat verkeerd. Ongeveer de helft van de rioolvervangingsprojecten vindt plaats op grond van andere aanleidingen dan alleen de riolering. Soms vervangen gemeenten de riolering voordat de technische levensduur is verstreken. Dat gebeurt als zich kansen voordoen om werkzaamheden gelijktijdig uit te voeren (bijvoorbeeld omdat de weg wordt vervangen of opnieuw wordt ingericht) of als stelselverbeteringen noodzakelijk zijn. In gemiddeld 11% van de gevallen is riolering zelfs helemaal geen aanleiding, maar wordt toch werk-met-werk gecombineerd om te voorkomen dat de weg in de toekomst opnieuw open moet.

F.2.1.2 Piek in vervanging

Doordat veel riolering in een relatief korte periode is aangelegd, ontstaat in de toekomst een piek in de hoeveelheid te vervangen riolering. Door bij de leeftijdsverdeling de gehanteerde technische levensduur op te tellen ontstaat theoretisch de inschatting van toekomstige vervanging, meestal per tijdvak van tien jaar.

Voor het decennium 2020-2030 bijvoorbeeld komt uit de berekening een theoretische benodigde vervanging van 11%, wat betekent dat puur op basis van aanlegjaar jaarlijks 1,1% van de vrijvervalriolering aan vervanging toe zou zijn.

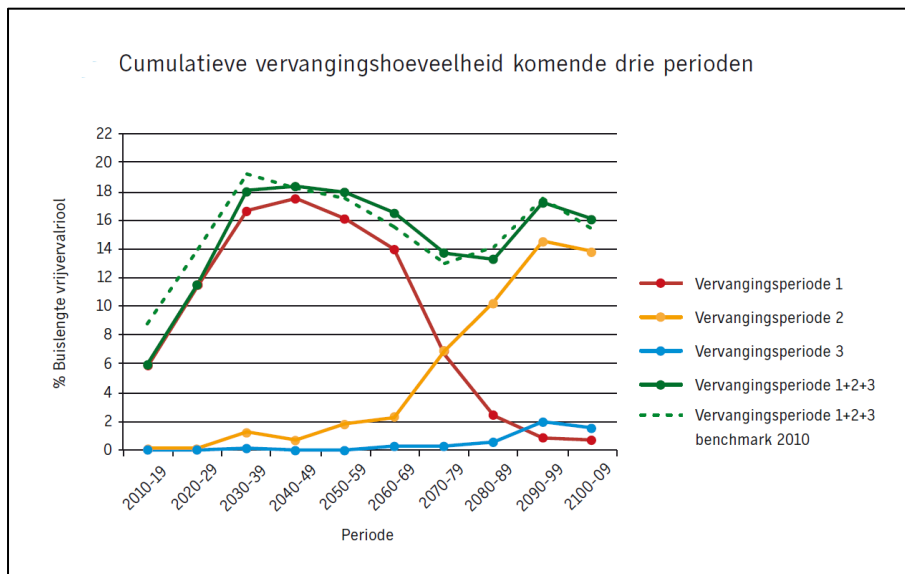
Het verschil tussen kleine gemeentes en grote gemeentes is in de grafiek te zien. De vervangingspiek komt voor de kleine gemeenten, vanwege hun relatief smalle leeftijdsverdeling, vrij scherp rond 2040. Met toenemende gemeentegrootte wordt de gemiddelde vervangingspiek vlakker en verschuift gaandeweg verder in de tijd. Zie Figuur 75.



Figuur 75. Vervangingsperiode riolering (bron: Stichting RIONED, 2013)

Door de drie grafieken van toekomstige vervangingshoeveelheden voor alle gemeenten op te tellen, ontstaat een indicatie van de totale hoeveelheid vervanging en renovatie per decennium in de komende eeuw. Dit is weergegeven met de groen lijn uit Figuur 76. Deze lijn geeft weer dat rond 2050 een vervangingspiek ontstaat van ruim 1,8% van het stelsel per jaar. Vervolgens neemt richting 2080 de hoeveelheid vervanging iets af tot 1,3% per jaar, waarna rond 2100 opnieuw een piek wordt bereikt op bijna 1,8% per jaar. De groen stippellijn geeft een voorspelling weer uit 2010, te zien is dat

de pieken wat meer afgevlakt zijn. Dit komt door de stelselgroei en vervanging/renovatie van riolen in de afgelopen jaren.



Figuur 76. Vervangingshoeveelheid in drie perioden (bron: Stichting RIONED, 2013)

Binnen de rioleringsector wordt verwacht dat de vervanging in werkelijkheid geen echte pieken laten zien, omdat:

- Het vervangingsverloop is gebaseerd op een gemiddelde levensduur met een grote spreiding;
- Gemeenten proberen de gemiddelde levensduur op te rekken;
- Gemeenten proberen werk enigszins gelijkmatig te spreiden;
- Andere aspecten medebepalend zijn voor de keuze van het moment van vervanging/renovatie, zoals wegwerkzaamheden, wijkvernieuwing en uitbreiding/verbetering van de riolering.

F.2.1.3 Wat moet er veranderen

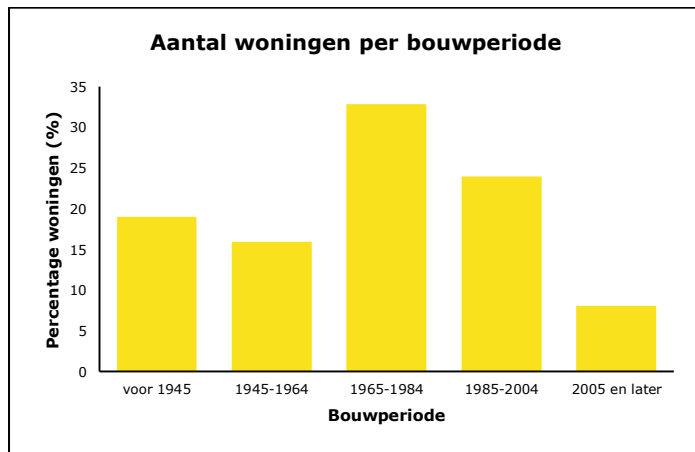
Bij een gemiddelde levensduur van 60 jaar zouden gemeenten bij gelijkmatige verdeling in de tijd van de oorspronkelijke aanleg jaarlijks circa 1,7% van de riolering moeten vervangen of renoveren. Per jaar vernieuwen gemeenten 1,0% van de leidingen, in 2013 was dit nog 0,87%. Om de riolering in goede staat te houden, moet met het stijgen van de gemiddelde leeftijd het vernieuwingstempo op termijn geleidelijk omhoog. Om het toenemende aantal werkzaamheden uit te kunnen voeren zijn vakmensen nodig. Echter door bezuinigingen, vergrijzing en lage instroom van jonge mensen dreigt een (toenemend) tekort aan vakmensen. (bron: Stichting RIONED, 2013) (bron: Stichting RIONED, 2016)

F.2.2 Vervangingsopgave woningbouwcorporaties

Net zoals bij RWS is er ook binnen de woningbouw terug te zien dat er veel woningen gebouwd zijn na de Tweede Wereldoorlog. De overeenkomsten zijn dat beide zich binnen de bouwsector begeven en dus overeenkomsten maar ook verschillen hebben. Binnen de woningbouw is een wisselend figuur te zien in de leeftijdsopbouw

Van alle woningen is 19,1% gebouwd vóór 1945, naar verhouding zijn van deze vooroorlogse woningen weinig corporatiewoningen. Na de Tweede Wereldoorlog is niet meteen een sterke piek te zien in het aantal woningen dat gebouwd is. In de periode 1965-1984 zijn de meeste woningen

gebouwd namelijk 32,9%. Na deze periode is de bouw van woningen weer wat gedaald. De gemiddelde leeftijdsopbouw van woningen is weergegeven in Figuur 77.



Figuur 77. Aantal woningen per periode (bron: Rijksoverheid, 2016)

De gemiddelde levensduur die wordt gehanteerd voor een woning bedraagt 120 jaar. Per type woning en per bouwperiode kan deze levensduur verschillen. Zo is er een verschil te zien bij vroeg naoorlogse woningen (1945-1965). Ten tijde van de bouw van deze woningen was er materiaal schaarste, waardoor de kwaliteit van deze woningen minder is. Echter is dit niet terug te zien bij iedere woning, in sommige gevallen heeft het slecht uitpakket en in andere gevallen weer niet. Dit is sterk verschillend per woning, daarom zijn inspecties van de woningen noodzakelijk om zo de huidige staat te achterhalen. Op basis van het bouwjaar valt dus niet te zeggen of de woning al op korte termijn gerenoveerd of vervangen moet worden.

Mede hierdoor wordt er binnen de woningbouw geen sterke piek verwacht wat betreft de vervangingsopgave. De twee belangrijkste redenen waarom er geen piek wordt verwacht in de vervangingsopgave zijn:

- Momenteel al veel spreiding wat betreft bouwperiodes en per woning is de staat anders;
- Acceptatie van kwaliteitsdaling woningen.

Op dit moment is er al veel spreiding wat betreft de leeftijdsopbouw van woningen. Het komt voor dat er lokaal (per wijk) wel een vervangingsopgave is. Dit komt omdat grotere woonwijken uit dezelfde bouwperiode komen en dus dezelfde leeftijdsopbouw hebben. Echter als geheel wordt dit niet als een probleem gezien, omdat er al relatief veel spreiding in de leeftijdsopbouw zit. Daarnaast is er binnen de woningbouw acceptatie van slechtere kwaliteit woningen. Door deze acceptatie ontstaat er ook spreiding.

De reden dat woningbouwcorporatie kwaliteitsdaling toestaan heeft te maken met de investeringskosten in de woning. Bij sommige woningen is het niet rendabel genoeg om hierin te investeren omdat dit uiteindelijk te weinig oplevert. Het voordeel is dat er woningen beschikbaar zijn voor een bredere doelgroep. Zo zijn er studenten die over het algemeen een lagere kwaliteitsstandaard hebben dan bijvoorbeeld gezinnen. Wanneer er wordt gekeken naar de kwaliteit van een woning wordt dit opgesplitst in de volgende twee vormen van kwaliteit:

- Technische kwaliteit (constructie onderdelen zoals, dak, voegen, stenen, etc.);
- Woonkwaliteit (aantal kamers, indeling woning).

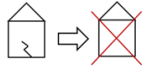
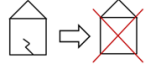
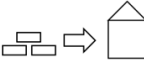
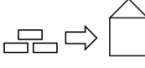
Het nadeel wanneer de kwaliteit daalt is dat ook de prijs daalt, met ook tot gevolg daling van het rendement. Het grootste verschil tussen RWS en woningbouwcorporaties is dat een

woningbouwcorporatie gericht is op winst en het leveren van woningen voor een grote doelgroep. RWS heeft juist als doel een betrouwbaar en beschikbaar netwerk handhaven. Zo zal een woningcorporatie een mindere kwaliteit toestaan, zolang er winst te behalen valt. Bij RWS ligt dit anders, daarbij is het doel om te zorgen dat het aanbod aan verkeer de bruggen en viaducten veilig kan passeren en dit zonder stremming (files) van verkeer. (bron: persoonlijke communicatie met Jaap van Velp)

F.2.2.1 Vervangen of renoveren

Bij de woningbouwcorporaties is de grootste slooperperiode voorbij, dit betekent dat er de komende periode weinig woningen worden vervangen en juist meer gerenoveerd. De belangrijkste reden hiervoor zijn de kosten die het vervangen van woningen met zich mee brengt. Het slopen en het nieuwbouwen van woningen kost in verhouding met wat het uiteindelijk oplevert veel. In Figuur 78 is een rekenvoorbeeld weergegeven, in dit voorbeeld is uitgewerkt waarom het voor woningbouwcorporaties niet aantrekkelijk is om woningen 1-op-1 te vervangen. Wanneer de woning vervangen gaat worden moet eerst de woning op diezelfde plaats gesloopt worden. Het slopen van een woning betekent het vernietigen van de waarde van dat object. Daarnaast brengt het slopen ook nog de nodige kosten met zich mee. Na het slopen kan een nieuwe woning worden gebouwd op dezelfde plaats. Bij het bouwen van een nieuwe woning zijn er kansen om nieuwe innovatie oplossingen toe te passen (denk aan dubbel glas, warmwaterpomp etc.) echter koste het bouwen van een nieuwe woning het nodige. Na de bouw kan de woning verkocht worden. Dit levert in de meeste gevallen minder op dan de kosten die gemaakt zijn voor het slopen en het nieuwbouwen van een woning. (bron: persoonlijke communicatie met Jaap van Velp)

Wanneer er voor één woning meerdere worden teruggeplaatst, kan dit juist wel aantrekkelijk zijn voor woningbouwcorporaties. Echter is het niet altijd mogelijk vanwege, locatie, kosten en politiek. Wanneer er één woning wordt gesloopt en hiervoor in de plaats bijvoorbeeld drie woningen terugkomen wordt de waarde van die ene woning nog steeds vernietigd. Daarna worden er hiervoor in de plaats nieuwe woningen teruggebouwd. Het bouwen van een gestapelde woning is wat betreft kosten wat anders dan één woning. Deze verschillen zijn niet meegenomen in het voorbeeld. Met dit voorbeeld is duidelijk gemaakt dat het bij woningbouwcorporaties draait om kosten en dat het vervangen van woningen niet altijd opweegt tegen de kosten van het renoveren.

Het vervangen van woningen							
1-op-1 vervangen	Kosten	Aantal	Totale kosten	3-op-1 vervangen	Kosten	Aantal	Totale kosten
 Vernietiging huidige waarde	€80.000	100 st.	€8.000.000	 Vernietiging huidige waarde	€80.000	100 st.	€8.000.000
 Nieuwbouw kosten	€80.000	100 st.	€8.000.000	 Nieuwbouw kosten	€80.000	300 st.	€24.000.000
 Verkoop waarde	€150.000	100 st.	€15.000.000	 Verkoop waarde	€150.000	300 st.	€45.000.000
Opbrengst (verlies):			€-1.000.000	Opbrengst (winst):			€13.000.000

Figuur 78. Voorbeeld vervangen van woningen

Woningbouwcorporatie kiezen vanwege deze reden vaak voor het renoveren van woningen. In sommige gevallen wordt er nog wel gekozen voor het vervangen. Dit kan dan de volgende redenen hebben:

- Het vergroten van het aantal woningen zoals beschreven in het voorbeeld;
- Woningen zijn in dusdanig slechte staat dat vervanging de enige optie is;
- Impuls geven aan een gebied/omgeving;
- Behoud van een goede positie in de woningmarkt, divers aanbod aan woningen houden;
- Politieke overwegingen (gemeentes).

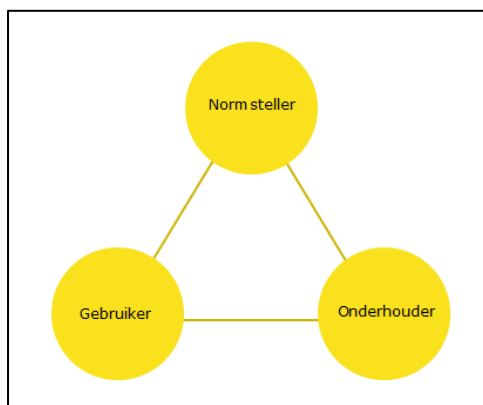
Wanneer het voorbeeld uit Figuur 78 wordt vergeleken met de keuzes die RWS maakt is het volgende te zien: Woningbouwcorporaties willen woningen vervangen voor meer capaciteit. RWS wil ook meer capaciteit maar dan in de vorm van een bredere brug of viaduct (dus meer capaciteit) om zo meer verkeer over het object te kunnen laten gaan. (bron: persoonlijke communicatie met Jaap van Velp)

F.3 Soortgelijk vervangingsopgaven binnen andere sectoren

Niet alleen binnen de bouwsector komen VenR opgaven voor, maar ook buiten deze sector. Zo wordt bijvoorbeeld binnen het wagenpark van een leasemaatschappij de oude modellen vervangen door nieuwe duurzamere modellen. Ditzelfde wordt gedaan bij andere verhuurbedrijven, door afschrijving van producten worden de oudere exemplaren vervangen door nieuwere. Naast deze verhuurbedrijven zijn er ook objecten die minder snel geproduceerd worden en waar ook eerder renovatie plaats vindt dan het omwisselen van het object. Dit is vooral terug te zien bij vliegtuigen en schepen. In Hoofdstuk F.3.1 van de Bijlage wordt als voorbeeld de vervangingsopgave binnen de scheepsbouw nader toegelicht.

F.3.1 Scheepsbouw

Binnen de scheepvaartindustrie speelt ook de problematiek van de VenR opgave. Als er specifiek wordt gekeken naar de marine is duidelijk te zien dat er een structuur is wat betreft de keuzes die gemaakt worden voor vervanging en renovatie van schepen. Zie Figuur 79. Allereerst is er de normsteller die het budget vrij maakt voor de vervanging en renovatie van de schepen. Daarnaast is er de gebruiker die wensen afgeeft met betrekking tot het aantal vaardagen, het gebied waar het schip zal varen en de benodigde ruimte van het schip. Naast deze twee partijen is er de onderhouder die ervoor zorgt dat met het beschikbare budget wordt voldaan aan de eisen van de gebruiker. Tussen deze drie partijen zit een verhouding/onderlinge spanning. Zo wil de gebruiker zoveel mogelijk vaardagen maken en de normsteller wil zoveel mogelijk halen uit het beschikbaar gestelde budget. Echter zal de onderhouder met het probleem komen dat voor alle eisen die gesteld zijn door de gebruiker niet haalbaar zijn met het beschikbare budget. Daarnaast is de gebruiker de partij die in het nieuws komt, wat betreft de acties die verricht worden. Wanneer er in het nieuws komt dat de gebruiker weinig vaardagen kan maken doordat het onderhoud lang duurt zal er als snel de schuld naar de onderhouder worden geschoven.



Figuur 79. Verhouding normsteller, gebruiker en de onderhouder

Dit is hetzelfde als bij RWS, hier wordt de gebruiker vertegenwoordigd door weggebruikers, de normsteller door ministerie IenW en de onderhouder door RWS. Maar binnen de scheepsbouw is er een manier waardoor de hinder sterk beperkt wordt en de kwaliteit ook vooruitgaat. De wens van de klant is om een zo kort mogelijke levertijd te hebben en het schip ook naar eigen wens te kunnen samenstellen. Eerder was de combinatie van deze twee wensen niet mogelijk, dit omdat de bouw van een serieus schip minstens een jaar duurt.

De oplossing van scheepsbouwer Damen was het creëren van een voorraad van losse componenten, met deze buffer kunnen schepen binnen enkele maanden op klantwens worden geassembleerd. Het bouwen met een voorraad zorgt ervoor dat er scheepsonderdelen op voorraad zijn, wat weer resulteert in een kortere levertijd. Het kan worden gezien als een doos met grote legoblokken, een buffer waaruit schepen naar wens van de klant gebouwd kunnen worden. Het op voorraad bouwen van gestandaardiseerde basismodellen wordt configure-to-order genoemd. Het tegenovergestelde van Lean manufacturing waarbij zo min mogelijk voorraden en pas iets just-in-time wordt gemaakt nadat dit is besteld. Omdat alle componenten zijn gestandaardiseerd is het bouwen van een schip op deze manier geen onbekend project meer, maar een voorspelbaar proces. Bij deze onbekende projecten (prototypes) komen vaker kinderziektes voor dan bij configureerbare standaardschepen. In het configureerbare proces worden kleine series hetzelfde geproduceerd, waarna er een verbetering wordt uitgevoerd. Dit betekent dus dat de kwaliteit van het product steeds vooruitgaat. Vergelijkbaar met de opéénvolging van de Golf I tot en met VII.

Het modulaire bouwsysteem van Damen, dat ook voordelen biedt als reparaties nodig zijn, vertoont veel overeenkomsten met de auto-industrie. Bij de auto-industrie wordt een basismodel gekozen die naar eigen behoefte is aan te kleden. Er is echter ook een groot verschil. Een bedrijf zoals Toyota bouwt geen enkel chassis voordat een klant dit heeft besteld en heeft hiermee een Lean productie. Bij scheepsbouw is deze Lean productielijn niet mogelijk, dit omdat er in minder grote hoeveelheden schepen worden gebouwd. Daarnaast kan een auto in een paar dagen in elkaar worden gezet, maar bij een schip kan dit niet. (bron: Van Ede, J. , 2015)

Voordelen:

- Kortere levertijden dan bij traditionele scheepsbouw;
- Inkoopvoordeel;
- Betere kwaliteit door verbeteringen van kinderziektes.

Nadelen:

- Meer risico, omdat er veel kapitaal nodig is (ongeveer de helft van de omzet).

Bijlage G. Visie van assetmanagers

Bij assetmanagement draait het om het managen van de assets die in het beheer zijn. Deze bedrijfsmiddelen/objecten zijn voor de assetmanagers van RWS de kunstwerken. Per regio zijn er meerdere assetmanagers die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor de objecten in het eigen areaal. Voor de assetmanagers zijn de volgende punten belangrijk om te weten van de kunstwerken:

- Welke objecten er in beheer zijn;
- Wat de staat is van deze objecten;
- Wat de kosten, prestaties en risico's zijn;
- Wanneer er (groot) onderhoud, vervanging of renovatie nodig is;
- Wat de lange termijn programmering zal zijn.

Tussen de regio's zit een verschil wat betreft de visie op en de aanpak van de VenR opgave. Dit komt mede door de capaciteit per regio, de dichtheid van het wegennetwerk en de typen kunstwerken die zich in het areaal bevinden.

G.1 Afweging tussen vervangen en renoveren

De bruggen en viaducten in het beheer van RWS worden iedere zes jaar individueel geïnspecteerd. Uit deze inspecties volgt een rapport van de technische staat van het object. Aan de hand van de technische staat volgt een advies wat betreft de eventuele ingrepen die nodig zijn om het einde van de technische levensduur te halen. Ingrepen die nodig zijn kunnen bestaan uit klein onderhoud of groot onderhoud. Daarnaast kunnen er grotere ingrepen nodig zijn omdat het einde van de technische levensduur is bereikt. Er wordt dan de keuze gemaakt om het object te vervangen of te renoveren. De keuze of een brug of viaduct vervangen of gerenoveerd moet worden hangt af van hoofdzakelijk twee factoren:

- Technische staat;
- Verandering van functie.

Het kan zich voordoen dat andere overheden (provincies, gemeenten, waterschappen) beheerder zijn van de weg die over een brug of viaduct gaat die in het beheer is van RWS. Het gaat hierbij dan om wegen die niet in het HWN liggen (bruggen en viaducten niet in de Rijksweg). De belangen van deze overheden kunnen verschillen met de belangen van RWS. Het kan voorkomen dat deze overheden de weg willen verbreden, maar voor RWS kan hier geen noodzaak bij liggen. In overleg worden dan belangen en of werkzaamheden gecombineerd. Dit kan erin resulteren dat een brug of viaduct in plaats van gerenoveerd wordt vervangen of verbreed, mogelijke kosten zijn dan voor de andere partij. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

Nadat uit inspecties blijkt dat een object vervangen of gerenoveerd dient te worden, moet er nog de keuze worden gemaakt tussen deze opties. Op dit moment wordt nog zoveel mogelijk gehanteerd: "Renoveren waar het kan en vervangen wanneer de functie niet meer voldoet, of vanuit politiekbelang wordt een andere keuze gemaakt."

Bij het maken van de keuze tussen vervangen of renoveren worden verschillende aspecten tegen elkaar afgewogen. De volgende aspecten zijn naast politieke voorkeuren de belangrijkste afwegingen:

- Capaciteit;
- Kosten;

- Circulariteit;
- Tijd (bouwtijd);
- Hinder.

G.1.1 Capaciteit

De toename van het verkeer is voor de assetmanagers een sterk bepalende factor voor het maken van de keuze tussen vervanging of renovatie. De capaciteit van het verkeer dat over een brug of viaduct gaat heeft dus veel invloed.

Wat betreft de capaciteit van interne medewerkers als zowel externe medewerkers (de markt) wordt nog niet dusdanig rekening gehouden bij het maken van de keuze om een object te renoveren of te vervangen. De assetmanagers zorgen dat de constructieve veiligheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het netwerk in het areaal gewaarborgd wordt. Daartoe worden er objecten opgegeven op basis van de technische staat die meegenomen moeten worden met het groot onderhoud, of zoals hier van belang voor vervanging of renovatie. De keuze wordt niet gemaakt door de assetmanagers of het object wordt vervangen of gerenoveerd. Dit wordt besloten door de afdelingen GPO en PPO. Wel wordt er de wens uitgesproken vanuit bijvoorbeeld capaciteit als er verandering nodig zijn (uitbereidingen, grotere bredere brug).

G.1.2 Kosten

Kosten spelen een duidelijke rol bij het maken van de keuze, maar neemt niet de overhand. De kostenafweging wordt niet vanuit de assetmanagers gemaakt, hier wordt enkel aangegeven met welke objecten wat moet gebeuren. Andere afdelingen zoals contracten en de kostenpoule hebben hier invloed op. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

G.1.3 Circulariteit

Met circulariteit wordt niet tot nauwelijks rekening gehouden vanuit de assetmanagers. Dit omdat deze taak niet bij de assetmanagers ligt, de voornaamste taak ligt bij het waarborgen van de constructieve veiligheid en het behouden van een betrouwbaar en beschikbaar netwerk. Op welke wijze er gebouwd wordt heeft hier geen invloed is en wordt dus automatisch als minder belangrijk aangemerkt. Vanuit de assetmanagers is er echter geen bezwaar tegen het circulaire bouwen, het wordt het juist wel aangemoedigd en het wordt graag teruggezien in de projecten. Echter mag dit niet ten koste gaan van de kwaliteit. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

G.1.4 Tijd

De doorlooptijd van projecten wordt bij voorkeur zo kort mogelijk gehouden, dit in combinatie met hinder. Door de bouwtijd zo kort mogelijk te houden blijft de hinder ook beperkt. Echter wordt deze keuze niet alleen gemaakt door assetmanagers, deze keuze kan ook in samenspraak met andere overheden genomen worden, omdat deze medebeheerder zijn van het object. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

G.1.5 Hinder

Wat betreft hinder wordt het advies van de assetmanagers meegenomen. Bijvoorbeeld in de gebieden waar de dichtheid van het wegennetwerk beperkt is, zal hinder groot zijn doordat de omleiding wat betreft kilometers groot is. In de gebieden met een hoge wegendichtheid is de omleiding niet groot, maar neemt de druk op de overige beschikbare wegen toe. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

G.2 Huidige en gewenste strategie assetmanagers

Op dit moment wordt er door de assetmanagers geen strategie gehanteerd wat betreft de komende VenR opgave. Dit komt omdat de assetmanagers vooral gericht zijn op het beheren van het huidige areaal. Op dit moment zijn er te veel onvoorziene omstandigheden die zich voordoen, er komen te veel “konijnen uit de hoge hoed” op dit moment. Waardoor er op korte termijn beslissingen genomen moeten worden. Door het “blussen van brandjes” is er weinig tijd voor de visie van bruggen en viaducten op de lange termijn.

Daarnaast is er te weinig capaciteit om na te denken over een strategie voor de VenR opgave. Wel gaat er rekening gehouden worden met de objecten die nu aan het einde van de technische levensduur zijn, om bij de keuze wellicht vaker te gaan voor het vervangen in plaats van renoveren. Dit om te voorkomen dat deze objecten over 30 jaar, in de piek van de VenR opgave, weer toe zijn aan vervanging of renovatie. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

G.2.1 Communicatie met andere arealen

Het hele areaal van RWS is op papier ingedeeld in 16 regiogebieden, in de praktijk werken de districten uit de regio samen waardoor er 7 regio's worden aangehouden. Zie hiervoor Bijlage A. Onderling wordt er dus samengewerkt tussen de verschillende districten per regio. Echter wordt er door de assetmanagers niet tot nauwelijks een strategie met andere regio's afgestemd. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

G.2.2 Prioritering van bruggen en viaducten

Het clusteren van objecten wordt in sommige gevallen wel meegenomen door assetmanagers. Zoals in Hoofdstuk 9 is toegelicht zijn er meerdere mogelijkheden om te clusteren. Op dit moment wordt er geprioriteerd op basis van technische staat. Per regio selecteren de assetmanagers een aantal bruggen en viaducten die in slechte technische staat zijn. Deze objecten worden dan meegenomen om vervangen of gerenoveerd te worden. Andere mogelijkheden zijn het clusteren op basis van type constructie en op basis van ligging. Assetmanagers hebben de voorkeur bij het clusteren voor objecten in één tracé(corridor) die dichtbij elkaar voorkomen. Het clusteren van deze objecten is voordeliger wat betreft capaciteit, kosten en tijd. Het nadeel hiervan is dat op deze manier grote projecten op de markt komen. Veelal als er andere overheden bij betrokken zijn, wordt het idee van het clusteren niet altijd als positief aangemerkt. Dit omdat lokale overheden de kleinere en/of lokale marktpartijen een kans willen geven. Met de grote geclusterde projecten is het voor deze partijen bijna niet mogelijk om deze opdrachten uit te voeren. Voor het clusteren van soortgelijke objecten wordt (bijna) niet gedaan. Dit omdat de meeste objecten zich te ver uit elkaar begeven. Er wordt op dit moment vanuit de assetmanagers niet op gestuurd. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

G.2.3 Toepassing van innovatieve oplossingen

De assetmanagers kunnen geen eisen stellen aan het aantal innovatieve oplossingen die in het areaal worden toegepast bij de vervanging en renovatie. Dit wordt vanuit PPO en GPO in de projecten meegenomen. Vanuit de assetmanagers is er bijvoorbeeld wel de wens voor een gestandaardiseerd object. Een modulaire brug of viaduct. Op dit moment zijn er veel verschillende typen objecten in de arealen. De meeste objecten verschillen wat betreft constructie van elkaar. Het kost veel tijd om ieder object te beoordelen op constructie onderdelen en de gedragingen hiervan. Wanneer objecten hetzelfde zijn is er meer bekend. Daarnaast is het makkelijk om een “voorraad” te hebben zodat bij renovatie, een onderdeel makkelijk en snel vervangen kan worden. (bron: persoonlijke communicatie met Paul Monsma, Koen Janssen, Roland Buysse en Guus de Puijsselaar)

Bijlage H. Monumenten

Wanneer het gaat om een monument is te vinden in DISK. Dit wordt aangegeven met een kleurencodering:

Rood: Kader verplicht
Oranje: Kader verplicht
Geel: Kader aan te bevelen
Groen: Kader niet van toepassing

Rode kunstwerken zijn kunstwerken met een (zeer) hoge cultuurhistorische waarde die beschermd zijn vanuit de Monumentenwet of provinciale of gemeentelijke monumentenverordening, en op basis daarvan vergunningplichtig zijn. Bij werkzaamheden (in het kader van regulier beheer en onderhoud, vervanging, renovatie, aanpassing, wijziging of overdracht) aan rode objecten is bij een vergunningsaanvraag een bouwhistorisch onderzoek verplicht. Oranje kunstwerken hebben ook een (zeer) hoge cultuurhistorische waarde. Echter dient hiervoor alleen een omgevingsvergunning aangevraagd te worden. Echter wanneer de objecten planologisch beschermd zijn (dus opgenomen zijn in het bestemmingplan en op cultuurhistorische waardenkaarten staan) is een bouwhistorisch onderzoek vaak ook een onderdeel van de vergunningaanvraag. Bij gele objecten is het kader monumenten niet verplicht omdat dit kunstwerken zijn zonder eigen bijzondere cultuurhistorische waarde. Maar het is wel aan te raden om bij deze objecten het kader op toe te passen, omdat deze objecten die in het totaal van een ensemble, complex of tracé wel specifieke cultuurhistorische kwaliteiten hebben.

Momenteel zijn nog niet voor alle kunstwerken met een hoge cultuurhistorische waarde bouwhistorische onderzoeken beschikbaar, terwijl er de komende jaren relatief veel werkzaamheden uitgevoerd worden aan de rode en oranje objecten. Vanuit het onderzoeksprogramma VenR wordt er in samenwerking met het organisatieonderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving samengewerkt aan het project Bouwhistorische Onderzoeken Civieltechnische Kunstwerken. De rapporten van de bouwhistorische onderzoeken worden opgenomen in DISK.

Omdat voor deze monumenten een andere regeling bestaat voor het vervangen of renoveren worden deze 44 bruggen uitgesloten van de casestudy. Dit vanwege de regelgeving die hieraan verbonden zit en keuzevrijheden wat betreft vervangen of renoveren sterk beperkt. (bron: Rijkswaterstaat, 2018, 20 september) (bron: Rijkswaterstaat, 2014)

Bijlage I. Materiaalkeuze en overspanningslengtes

De overspanningslengtes worden in Nederland grofweg als volgt ingedeeld:

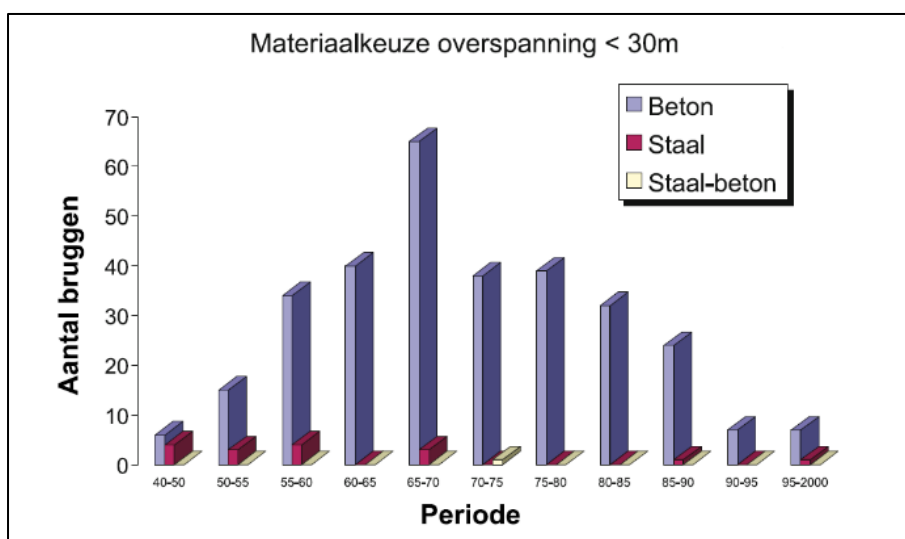
- Korter dan 30 meter
- 30 tot 50 meter
- 50 tot 100 meter
- 100 tot 200 meter
- Langer dan 200 meter

De materiaalkeuze en overspanningslengte zijn nauw met elkaar verbonden. Hier onder staan de belangrijkste kenmerken beschreven:

Overspanningslengte 0 tot 50 meter

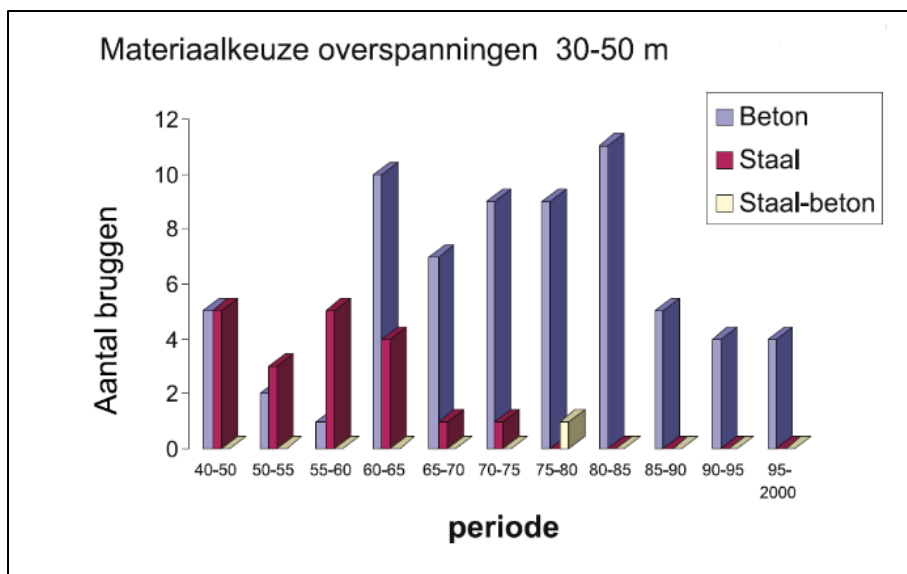
Het grootste gedeelte van deze bruggen zijn betonnen bruggen. In de periode 1940 tot 1960 bestaat een groot gedeelte van de gebouwde bruggen uit staal. Dit nam vanaf 1940 al geleidelijk af. Vanaf 1960 is een enorme piek te zien in het aantal betonnen bruggen. Overeenkomstig met de piek in de VenR opgave.

Vaste bruggen met een overspanning groter dan 30 meter zijn over alle bouwperiodes gezien gemaakt van beton. Een duidelijke piek wat betreft het aantal is te zien in de periode vanaf 1960 tot 1970. Zie Figuur 80. (bron: Romeijn, A. , 2002)



Figuur 80. Materiaalkeuze overspanning <30m (bron: Romeijn, A., 2002)

Vaste bruggen met een overspanning tussen de 30 en 50 meter zijn over het algemeen kort na de Tweede Wereldoorlog gemaakt van staal, in de bouwperiodes hierna zijn de meeste van beton gemaakt. Zie Figuur 81. (bron: Romeijn, A. , 2002)

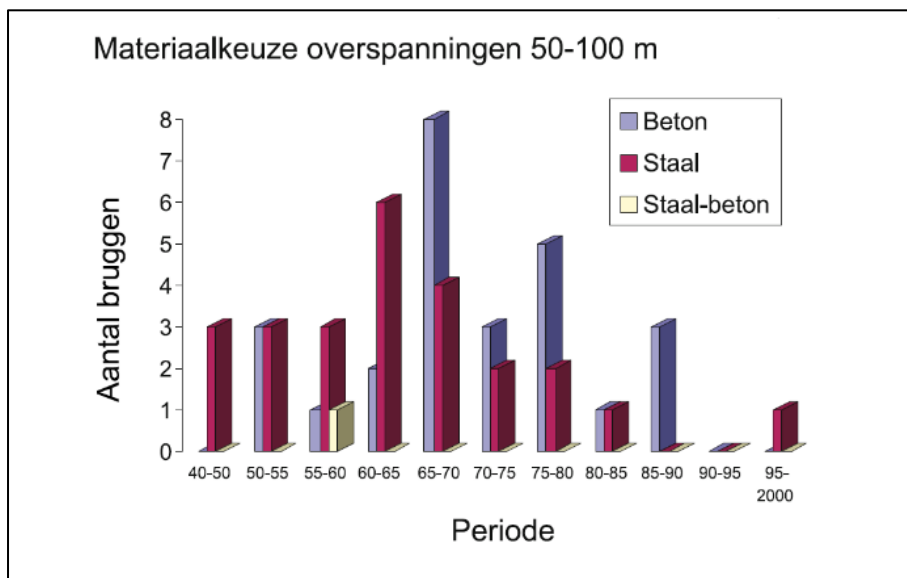


Figuur 81. Materiaalkeuze overspanning 30-50m (bron: Romeijn, A., 2002)

Overspanningslengte 50 tot 200 meter

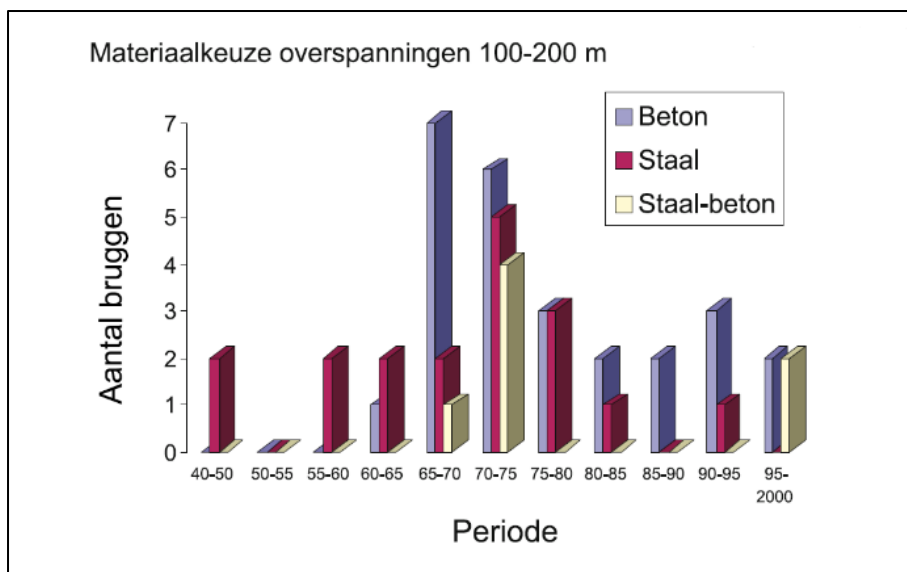
Bij overspanningen van 50 tot 200 meter is er een variatie aan materiaalkeuze te zien. De ene helft bestaat uit betonnen bruggen en de andere helft uit stalen bruggen. Daarnaast valt op dat bij deze overspanningslengtes ook gebruik wordt gemaakt van een combinatie tussen staal en beton. In de periode 1960 - 1970 is een grote piek te zien overeenkomstig met de piek in de VenR opgave.

Vaste bruggen met een overspanning tussen de 50 en 100 meter zijn kort na de Tweede Wereldoorlog vooral gemaakt van staal, met af en toe enkele betonnen bruggen. Zie Figuur 82. (bron: Romeijn, A. , 2002)



Figuur 82. Materiaalkeuze overspanning 50-100m (bron: Romeijn, A., 2002)

Vaste bruggen met en overspanning tussen de 100 en 200 meter zijn vooral vanaf 1965 gebouwd, bij deze overspanningslengtes valt erop dat er ook gebruik wordt gemaakt van de combinatie tussen staal en beton. Zie Figuur 83. (bron: Romeijn, A. , 2002)

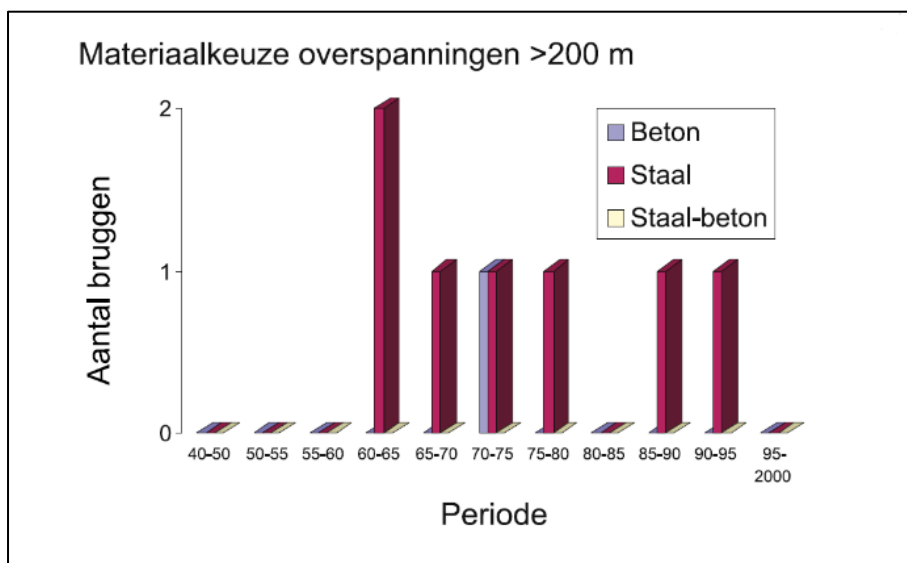


Figuur 83. Materiaalkeuze overspanning 100-200m (bron: Romeijn, A., 2002)

Overspanningslengte 200 meter en meer

Overspanningen groter dan 200 meter bestaan (bijna) allemaal uit stalen bruggen.

Vaste bruggen met een overspanning groter dan 200 meter zijn vooral gebouwd vanaf 1960 en eigenlijk allemaal stalen objecten. Zie Figuur 84. (bron: Romeijn, A. , 2002)



Figuur 84. Materiaalkeuze overspanning >200m (bron: Romeijn, A., 2002)

Bijlage J. Systeemspecificatie casestudy viaduct Kornwerderzand

J.1 Eisen uit functieanalyse

Ruimte bieden aan weg boven			
SYS-0331	Ruimte bieden over		
VB_eis001	De Vaste Brug dient ruimte te bieden aan de overgaande verbinding weg.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	SYS-0334 - VB_eis004
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Voldoet aan ROA Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten, waarmee wordt aangetoond dat de verbinding past op het systeem Vaste Brug en daarbij voldoet aan de aan de verbinding gestelde eisen (zoals bijvoorbeeld de ROA).		
Stakeholder(s):		Brondocument:	Viaduct Kornwerderzand
Notities voor intern gebruik:	Op het viaduct dient voldoende ruimte beschikbaar te zijn voor de overgaande verbinding: - het profiel van vrije ruimte als karakteristiek van de gebruikers; - overgaande weg met alle bijbehorende onderdelen, zoals wegverharding, voertuigkering, verlichting, bebakening, bewegwijzering, verkeerskundige draagconstructies; - overige onderdelen, zoals geluidsschermen, kabels en leidingen; - benodigde ruimte in verband met bijvoorbeeld zicht, onderhoudbaarheid enzovoort.		

Ruimte bieden aan weg onder			
SYS-0332	Ruimte bieden onder		
VB_eis002	De Vaste Brug dient ruimte te bieden aan de onderdoorgaande verbinding weg.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	SYS-0334 - VB_eis004
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Voldoen aan ROA Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten, waarmee wordt aangetoond dat de onderdoorgaande verbinding past onder het systeem Vaste Brug en daarbij voldoet aan de aan de verbinding gestelde eisen (zoals bijvoorbeeld de ROA).		
Stakeholder(s):		Brondocument:	Viaduct Kornwerderzand
Notities voor intern gebruik:	Onder het viaduct dient voldoende ruimte beschikbaar te zijn voor de onderdoorgaande verbinding; - onderdoorgaande weg met alle bijbehorende onderdelen, zoals wegverharding, voertuigkering, verlichting, bebakening, bewegwijzering, verkeerskundige draagconstructies en overige onderdelen, zoals geluidsschermen, kabels en leidingen en het profiel van vrije ruimte als karakteristiek van de gebruikers; - benodigde ruimte in verband met bijvoorbeeld zicht, onderhoudbaarheid enzovoort.		

(Af-)dragen belastingen			
SYS-0333	Dragen van belastingen		
VB_eis003	De Vaste Brug dient alle van toepassing zijnde belastingen conform de eisen van de RBK te kunnen opnemen en afdragen.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	SYS-0334 - VB_eis004 SYS-0335 - VB_eis005
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Berekening Criterium: Voldoen aan RBK		

	Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten, waarmee wordt aangetoond dat alle op de Vaste Brug werkende belastingen kunnen worden overgedragen naar de ondergrond. Voor een bestaande Vaste Brug is de RBK eventueel in combinatie met de ROK van toepassing.
Stakeholder(s):	Brondocument: [RTD 1006 Richtlijn Beoordelen Kunstwerken (RBK), 1.1/ 2013]
Notities voor intern gebruik:	Van toepassing zijnde belastingen volgen uit: - een analyse van het object; - Bouwbesluit en op basis daarvan de RBK en daarin opgenomen normatieve verwijzingen; Van toepassing zijnde belastingen zijn belastingen zoals: - mobiele belastingen (verticaal en horizontaal (remkrachten); - gewicht overgaande verbinding (verhardingsconstructies); - gewicht onderdelen overgaande verbinding (verlichting, bermbeveiliging en dergelijke en de belastingen daarop); - eigen gewicht object; - belastingen vanuit de atmosfeer (wind-, sneeuwbelasting, temperatuur). Voor informatie met betrekking tot de ondergrond geldt de Wet basisregistratie ondergrond waaronder het door Rijkswaterstaat en haar opdrachtnemers uitvoering geven aan de gebruikspllicht, de aanleverplicht, de meldplicht en de onderzoeksplicht met betrekking tot gegevens die in de Landelijke Voorziening BRO (komen te) staan.

J.2 Eisen uit aspectenanalyse

Betrouwbaarheid			
SYS-0334	Betrouwbaarheid profiel van vrije ruimte		
VB_eis004	De Vaste Brug dient ruimte te bieden conform de vereiste bruikbaarheidseis uit de [RBK].		
Bovenliggende eis(en):	SYS-0333 - VB_eis003 SYS-0332 - VB_eis002 SYS-0331 - VB_eis001	Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Type V&V-methode: Criterium: Toelichting op aanpak V&V:	Ontwikkelingsfase Review Toetsen aan paragraaf 4.1 A.2.4.2/ RBK-hoofdstuk 1 Analyse ontwerpdocumenten, waarmee wordt aangetoond dat de Vaste brug aan de vereiste betrouwbaarheid voldoet.	
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1006 Richtlijn Beoordelen Kunstwerken (RBK), 1.1/ 2013] [RTD 1001 Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK), 1.4/ 2017]
Notities voor intern gebruik:	In de toetsing van het Profiel van vrije ruimte (PVR) dienen vervormingen als gevolg van in de ROK vastgelegde belastingen te worden meegenomen.		

Betrouwbaarheid			
SYS-0335	Betrouwbaarheid constructief		
VB_eis005	De Vaste Brug dient constructief betrouwbaar te zijn conform de vereiste betrouwbaarheidsgevolgklasse uit de [RBK].		
Bovenliggende eis(en):	SYS-0333 - VB_eis003	Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Type V&V-methode: Criterium: Toelichting op aanpak V&V:	Ontwikkelingsfase Review Voldoen aan RBK Analyse ontwerpdocumenten, waarmee wordt aangetoond dat de Vaste brug aan de vereiste betrouwbaarheid voldoet.	

Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1006 Richtlijn Beoordelen Kunstwerken (RBK), 1.1/ 2013]
Notities voor intern gebruik:	Voor verbouw en gebruik geldt de RBK.		

Beschikbaarheid			
SYS-0336	Technische levensduur Vaste brug		
VB_eis006	De Vaste Brug dient een technische levensduur te hebben van ten minste 60 jaar.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	SYS-0337 - VB_eis007
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Voldoen aan [RBK] paragraaf 1.5 Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten waarbij de technische levensduur van het systeem Vaste Brug wordt aangetoond conform de normen en richtlijnen [RBK].		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1006 Richtlijn Beoordelen Kunstwerken (RBK), 1.1/ 2013]
Notities voor intern gebruik:	Bestaand kunstwerk gelden (rest)levensduren conform de RBK.		

Beschikbaarheid			
SYS-0344	Beschikbaarheid kruisende verbindingen tijdens realisatie		
VB_eis027	De (Vaar-)Weg dient tijdens de realisatie van het werk onder de Vaste Brug minimaal een profiel van vrije ruimte (PVR) te hebben van [NTB].		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Opgenomen in ontwerpdocumenten Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten V&V-moment: Realisatiefase Type V&V-methode: Meting Criterium: Vastgesteld profiel van vrij ruimte tijdens realisatie. Toelichting op aanpak V&V: Meting volgens Productspecificaties 'Doorrijprofielen kunstwerken en portalen'.		
Stakeholder(s):		Brondocument:	
Notities voor intern gebruik:	Deze eis is alleen van toepassing bij bestaande verbindingen. Projectsamenwerkend dient invulling gegeven te worden aan deze eis.		

Beschikbaarheid			
SYS-0337	Technische levensduur componenten		
VB_eis007	De technische levensduur van de verschillende constructiedelen van de Vaste Brug dient ten minste te voldoen aan: • Voegovergangen conform [RTD 1007-2]; • Opleggingen: 25 jaar.		
Bovenliggende eis(en):	SYS-0336 - VB_eis006	Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Voldoen aan RTD 1007-2:		

	Eisen voor voegovergangen		
	Toelichting op aanpak V&V:	Analyse ontwerpdocumenten waarmee aangetoond wordt dat het betreffende onderdeel de minimale technische levensduur heeft.	
	V&V-moment:	Realisatiefase	
	Type V&V-methode:	Certificering	
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1007-3 Geluidseisen voegovergangen, 1.0/ 2013]
Notities voor intern gebruik:	Mogelijk zijn er project specifiek nog onderdelen waaraan levensduureisen worden gesteld zoals leuning en conserveringen		

Onderhoudbaarheid			
SYS-0338	Onderhoud, wijze van onderhouden		
VB_eis008	De Vaste Brug dient gedurende de gehele levensduur op een veilige en acceptabele wijze geïnspecteerd en onderhouden te kunnen worden.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	SYS-0339 - VB_eis009 SYS-0340 - VB_eis010
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Gefundeerde conclusie Toelichting op aanpak V&V: Opstellen ontwerpdocumenten en bijbehorend beheer en onderhoudsplan op basis waarvan geconcludeerd kan worden dat inspecties en onderhoud op een eenvoudige, veilige en ergonomisch verantwoorde en voor de beheerder acceptabele wijze kan plaatsvinden.		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1003 Richtlijn Ontwerp Inspectie- en Onderhoudsvoorzieningen (concept), 0.2/ 2011]
Notities voor intern gebruik:	* Zodra RTD1003 (Ontwerp van inspectie- en onderhoudsvoorzieningen van vaste bruggen) gereed is, dient het systeem te voldoen aan deze richtlijn. Deze richtlijn is ook gericht op een veilige manier van onderhoud mogelijk maken.		

Onderhoudbaarheid			
SYS-0339	Inspectiepaden		
VB_eis009	De Vaste Brug dient per rijdek aan beide zijden ruimte te bieden aan een inspectiepad van ten minste 500 mm breed en [NTB] mm hoog tussen voertuigkering en leuning.		
Bovenliggende eis(en):	SYS-0338 - VB_eis008	Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Aanwezigheid inspectiepad conform eis Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten, waarmee wordt aangetoond dat het systeem Vaste Brug ruimte biedt aan de benodigde inspectiepaden.		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1003 Richtlijn Ontwerp Inspectie- en Onderhoudsvoorzieningen (concept), 0.2/ 2011]
Notities voor intern gebruik:	Op- en onder de Brug/Viaduct dient ruimte te zijn voor het veilig inspecteren van het systeem. Uitzonderingen hierop zijn mogelijk onderdoorgangen waarbij voertuigkeringen in de vorm van geïntegreerde barrières worden toegepast. Ten behoeve van het veilig inspecteren dien in een dergelijke situatie verkeersmaatregelen te worden genomen.		

Onderhoudbaarheid

SYS-0340 Onderhoud onderdelen Vaste Brug met een kortere levensduur dan 60 jaar			
VB_eis010	Onderdelen van de Vaste Brug met een levensduur korter dan 100 jaar dienen eenvoudig inspecteerbaar, onderhoudbaar en vervangbaar te zijn.		
Bovenliggende eis(en):	SYS-0338 - VB_eis008	Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Aantonen van de eis Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten, waarmee aangetoond wordt dat het betreffende onderdeel: - inspecteerbaar is waarbij de wegen in de vereiste mate beschikbaar zijn; - onderhoudbaar is waarbij de wegen in de vereiste mate beschikbaar zijn; - vervangbaar is zonder sloop van andere onderdelen.		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1003 Richtlijn Ontwerp Inspectie- en Onderhoudsvoorzieningen (concept), 0.2/2011]
Notities voor intern gebruik:	* Zodra RTD1003 (Ontwerp van inspectie- en onderhoudsvoorzieningen van vaste bruggen) gereed is, dient het sys-teem te voldoen aan deze richtlijn. Deze richtlijn is ook gericht op een veilige manier van onderhoud mogelijk maken. De mate van beschikbaarheid van de wegen tijdens inspectie en/of onderhoud is mogelijk opgenomen in eisen aan het syteem Weg.		

Onderhoudbaarheid			
SYS-0341 Vandalismebestendigheid graffiti			
VB_eis011	Alle voor graffitijsputters, zonder hulpmiddelen bereikbare oppervlakken van de Vaste Brug dient voorzien te zijn van een anti-graffiticoating.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Aantoonbaarheid Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten, waarmee wordt aangetoond dat op bereikbare betonoppervlakken een effectieve antigrffiti bescherming wordt aangebracht.		
	V&V-moment: Realisatiefase Type V&V-methode: Site Acceptance Test (SAT) Criterium: Graffiti verwijderbaar Toelichting op aanpak V&V: Certificering, test		
Stakeholder(s):		Brondocument:	
Notities voor intern gebruik:	Onder bereikbare oppervlakken wordt verstaan die oppervlakken die zonder hulpmiddelen bereikbaar zijn vanaf het maaiveld. Deze eis nader invullen in overleg met de beheerder van het object.		

Veiligheid			
SYS-0351 Zichtlijnen			
VB_eis013	De Vaste Brug dient zichtlijnen te bieden voor passanten waardoor ze de ruimte en de route kunnen overzien.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review		

	Toelichting op aanpak V&V:	Keuzes met betrekking tot zichtlijnen vastgelegd in ontwerpdocumenten en Integraal Veiligheidsplan.
Stakeholder(s):		Brondocument:
Notities voor intern gebruik:	Eis met name voor onderdoorgangen.	

Veiligheid		
SYS-0353	Verlichten	
VB_eis014	De Vaste Brug dient slecht verlichte ruimte te voorkomen.	
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Analyse ontwerpdocumenten met betrekking tot verlichting. Toelichting op aanpak V&V: Aspect verlichten en gemaakte keuzes opgenomen in ontwerpdocumenten en Integraal Veiligheidsplan	
Stakeholder(s):		Brondocument:
Notities voor intern gebruik:	Eis met name voor onderdoorgangen.	

Veiligheid		
SYS-0354	Veiligheidsschermen	
VB_eis015	De Vaste Brug dient voorzien te zijn van veiligheidsschermen, conform [RTD 1022].	
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Aanwezigheid risicoanalyse [Handreiking Risico-inventarisatie stenengooien] en zonodig ontwerp op basis van [RTD 1022]. Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten waarmee door middel van risicoanalyse en zo nodig ontwerp wordt aangetoond dat aan de eis wordt voldaan.	
Stakeholder(s):		Brondocument: [RTD 1022 Richtlijnen Veiligheidsschermen, 1.0/ 2015]
Notities voor intern gebruik:	Veiligheidsschermen toepassen op basis van risicoanalyse in overleg met de beheerder.	

Veiligheid		
SYS-0356	Afvoeren hemelwater	
VB_eis016	Hemelwater op en onder de Vaste Brug dient afgevoerd te zijn conform [RTD 1008].	
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Toelichting op aanpak V&V: Berekening hemelwaterafvoer ----- V&V-moment: Realisatiefase Type V&V-methode: Inspectie Criterium: Aanwezigheid hemelwaterafvoer in overeenstemming met berekening	

Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1008 Richtlijn Ontwerp Hemelwaterafvoer van wegen en kunstwerken. Zolang RTD 1008 nog niet gereed is geldt: rapport nr. 22 Regenwaterafvoer, deel 2, afvoergoten en putten uit 1990.]
Notities voor intern gebruik:	Zodra RTD1008 (Richtlijn Ontwerp Hemelwaterafvoer van wegen en kunstwerken) gereed is, dient het systeem te voldoen aan deze richtlijn. Vooralsnog zijn de Regenduurlijnen Buishand en Wijgaard (KNMI, 2007) opgehoogd met 30% voor rond 2050; Rijkswaterstaat – Dienst Verkeer en Scheepvaart, maart 2012, het rapport nr. 22 Regenwaterafvoer, deel 2, afvoergoten en putten van toepassing en de RTD 1010 Standaarddetails voor betonnen bruggen met betrekking tot hemelwaterafvoer (SD-HWA-01, 02 en 03) van toepassing. Mogelijk projectspecifiek aanvullende eisen stellen aan de aansluiting op het riool of op een infiltratievoorziening.		

Veiligheid			
SYS-0357	Leuningen		
VB_eis017	De Vaste Brug dient ter plaatse van niveauverschillen voorzien te zijn van een afscheiding conform het [Bouwbesluit].		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Aanwezigheid en aard leuningen daar waar nodig		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[BB Bouwbesluit 2012, 2011]
Notities voor intern gebruik:	Veelal vindt afscheiding plaats door middel van een leuning of hekwerk. Eisen hieraan (hoogte, spijlafstanden en dergelijke) volgen uit het Bouwbesluit. Mogelijk worden tussen brugdekken roosters toegepast.		

Omgevingshinder			
SYS-0360	Geluidsemissie voegovergangen		
VB_eis020	Voegovergangen van de Vaste Brug dienen geluidsarm te zijn conform de [RTD 1007-3 Geluidseisen Voegovergangen].		
Bovenliggende eis(en):	SYS-0372 - VB_eis042	Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Geluidseis (RTD 1007-3) Toelichting op aanpak V&V: Analyse van ontwerp aan de hand van RTD 1007-1 Meerkeuzematrix Voegovergangen en RTD 1007-3 Geluidseisen Voegovergangen. V&V-moment: Realisatiefase Type V&V-methode: Meting Criterium: Geluidmeting vergelijken met geluidseis		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1007-3 Geluidseisen voegovergangen, 1.0/ 2013] [RTD 1007-1 Meerkeuzematrix (MKM) voegovergangen (met factsheets), 1.0 / 2013]
Notities voor intern gebruik:	Verificatie gaat uit van aantoonbaarheid vooraf door het toetsen van de geluidsemissie van een type voegovergang (zie RTD 1007-1) aan de geluidseis (RTD 1007-3). Controle met geluidmetingen na realisatie is enkel van toepassing indien er gereede twijfel is aan de geluidsemissie van een voegovergang.		

Duurzaamheid			
SYS-0361	Voorkomen aantastingsmechanismen		
VB_eis021	Aantastingsmechanismen die de restlevensduur van onderdelen van de Vaste Brug kunnen verkorten dienen te zijn voorkomen dan wel te zijn bestreden conform de [ROK], [RTD 1002] eis 8.8 (9) t/m (11) en [RTD 1009].		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Documentbeoordeling/ Documentinspectie / Review Criterium: ROK, RTD1002 eis 8.8. (9) t/m (11) en RTD 1009 V&V-moment: Realisatiefase Type V&V-methode: Inspectie Criterium: Uitvoering in overeenstemming met ontwerp en verwerkingsvoorschriften		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1001 Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK), 1.4/ 2017] [RTD 1009 Richtlijn ontwerp van asfalt wegverhardingen op betonnen en stalen brugdekken, 1.0 / 2012]
Notities voor intern gebruik:	ROK, RTD 1002 eis 8.8 (9) t/m (11) betreft het hydrofoberen. RTD 1009: 'Richtlijn ontwerp van asfalt wegverhardingen op betonnen en stalen brugdekken' betreft de verhardingsconstructie. De dichtheid van het beton en de betondekking spelen ook nog een rol bij het voorkomen van aantastingsmechanismen.		

Duurzaamheid			
SYS-0362	Voorkomen aantasting stalen onderdelen		
VB_eis022	Aantastingsmechanismen die de restlevensduur van onderdelen van de Vaste Brug kunnen verkorten dienen te zijn voorkomen dan wel te zijn bestreden.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Ontwerp in overeenstemming met eisen V&V-moment: Realisatiefase Type V&V-methode: Inspectie Criterium: Uitvoering in overeenstemming met ontwerp; meting		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1001 Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK), 1.4/ 2017]
Notities voor intern gebruik:	Hiervoor dienen de eisen uit de Basisspecificatie Conservering Stalen Onderdelen gebruikt te worden. Ook in de ROK zijn diverse normen en richtlijnen opgenomen met betrekking tot het conserveren van stalen onderdelen. Voor meer informatie kan contact worden opgenomen worden met Rijkswaterstaat Steunpunt Conserveringskennis (GPO).		

Vormgeving			
SYS-1583	Voldoen aan het Landschapsplan en het Esthetisch PvE		
EPvE	Het [Systeem] dient te voldoen aan de eisen uit het [Landschapsplan [NTB]] en het [Esthetisch Programma van Eisen [NTB]].		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	Type V&V-methode: Review		

	Criterion:	Voldoen aan het Landschapsplan en het Esthetisch PvE	
	Toelichting op aanpak V&V:	VO: review van ontwerpnota en tekeningen.	
	Type V&V-methode:	Review	
	Criterion:	Voldoen aan het Landschapsplan en het Esthetisch PvE	
	Toelichting op aanpak V&V:	DO: review van ontwerpnota en tekeningen.	
	Type V&V-methode:	Review	
	Criterion:	Voldoen aan het Landschapsplan en het Esthetisch PvE	
	Toelichting op aanpak V&V:	UO: review van ontwerpnota en tekeningen.	
	V&V-moment:	Realisatiefase	
	Type V&V-methode:	Review	
	Criterion:	Voldoen aan het Landschapsplan en het Esthetisch PvE	
	Toelichting op aanpak V&V:	Review diverse ontwerp- en producttekeningen.	
Stakeholder(s):	Rijkswaterstaat Beheerder	Brondocument:	[Kader Ruimtelijke kwaliteit en
	Rijkswaterstaat Opdrachtgever [NTB]		Vormgeving, 2.1/ 2017]
Toelichting:			
Notities voor intern gebruik:	Argument:		
	Infrastructuur is een sturend element in veel ruimtelijke ontwikkelingen en is tevens een sterk beeldbepalend element in stad en landschap. Zoals aangegeven in de door het kabinet en parlement vastgestelde Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR) dient het ruimtelijk ontwerp vroegtijdig in het proces te worden meegenomen (Elverding, "Sneller en Beter"). De SVIR zal op termijn opgevolgd worden door de Omgevingsvisie. Rijkswaterstaat heeft de maatschappelijke verantwoordelijkheid zorg te dragen voor een zorgvuldige inpassing en de (ontwerp)kwaliteit hiervan. Overig: Hoe ruimtelijke kwaliteit en vormgeving in projecten geborgd kan worden is te vinden in het Kader Ruimtelijke kwaliteit en vormgeving. Niet bij alle projecten wordt een Landschapsplan opgesteld, in dat geval de eis beperken tot het Esthetisch PvE. Hoewel het Landschapsplan in de MIRT-fasen een wettelijk product is, dient het in de eistekst opgenomen te worden omdat het op voor hand niet vanzelfsprekend is dat de Opdrachtnemer dit dient uit te voeren. Indien ook een GroenPvE wordt opgesteld, dan dient deze in de eis toegevoegd te worden. Producten worden opgesteld door externe landschapsarchitecten of architecten: zie Handreiking Uitbesteding architecten deel A en deel B. PS Eind 2017 zijn de twee delen gecombineerd en geactualiseerd. Als het betreffende systeem/object onderdeel uitmaakt van een groter complex, deze aspecten op complexniveau (systeemniveau) op te nemen. Meer informatie bij de aanspreekpunten (adviseurs/coördinatoren) RK&V. Toepassing eis voor soort contract: x Traditioneel (Ontwerp met RAW-/STABU-bestek) x D&C x DBFM		

Toekomstvastheid	
SYS-0342	Toekomstige kabels en leidingen
VB_eis025	De Vaste Brug dient ruimte te bieden aan in de toekomst aan te leggen kabels en leidingen door middel van een ruimte per schampkant met een inwendige diameter van ten minste 90 millimeter.

Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Opgenomen in ontwerp Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten		
Stakeholder(s):		Brondocument:	
Notities voor intern gebruik:	Hierbij kan men denken aan een koker, buis of een goot.		

Sloopbaarheid			
SYS-0343	Sloopbaarheid		
VB_eis026	De Vaste Brug dient, binnen de beschikbare ruimte, op een veilige wijze met minimale hinder voor omwonenden en zonder schade aan bezittingen van derden [NTB] te kunnen worden gesloopt. Materialen dienen bij sloop eenvoudig te kunnen worden teruggewonnen en eenvoudig te kunnen worden gerecycled.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Opgenomen in ontwerpdocumenten Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten		
Stakeholder(s):		Brondocument:	
Notities voor intern gebruik:	Projectsamenwerkend kan hiervan worden afgeweken. Als er onaanvaardbare risico's worden ingeschat met betrekking tot het toekomstige slopen van het object kan de opdrachtnemer worden gevraagd een sloopplan in te dienen. Hierin kan deze de gekozen oplossing motiveren aan de hand van de eis.		

J.3 Eisen uit raakvlakanalyse

Raakvlak Vaste Brug - Weg (Rijksweg/ wegennetwerk)			
SYS-0352	Weg		
VB_eis033	De Vaste Brug dient fysiek en functioneel aan te sluiten op het wegsysteem.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Documentbeoordeling/ Documentinspectie / Review Criterium: Opgenomen in ontwerpdocument		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[ROA 2017 Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen, 1.0/ 2017]
Notities voor intern gebruik:	Te denken valt hierbij aan het aansluiten/verankeren van het wegmeubilair op het systeem Vaste Brug.		

Raakvlak Vaste Brug - Weg (Rijksweg/ wegennetwerk)			
SYS-0365	Asfalt op kunstwerken		
VB_eis035	Het asfalt op de Vaste Brug dient te voldoen aan [RTD 1009].		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Toelichting op aanpak V&V: Analyse of het ontwerp van een waterafvoersysteem past		

	binnen het waterafvoersysteem van de weg.		
Stakeholder(s):		Brondocument:	[RTD 1009 Richtlijn ontwerp van asfalt wegverhardingen op betonnen en stalen brugdekken, 1.0/ 2012]
Notities voor intern gebruik:	Nadruk ligt op het voorkomen van chloride indringing door de niet waterdichtheid van het asfalt naar het brugdek.		

Raakvlak Vaste Brug - Vandalen/ ongewenste bezoekers			
SYS-0366	Vandalismebestendigheid		
VB_eis036	De Vaste Brug dient bestand te zijn tegen vandalisme.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	SYS-0367 - VB_eis037
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Opgenomen in ontwerpdocumenten Toelichting op aanpak V&V: Analyse ontwerpdocumenten m.b.t. vandalismebestendigheid.		
Stakeholder(s):		Brondocument:	
Notities voor intern gebruik:	Criteria voor de mate waarin het systeem Vaste Brug vandalismebesteding is, zijn: - Afsluitbaarheid van ruimtes die niet voor derden toegankelijk dienen te zijn; - De mate waarin onderdelen vrijgehouden kunnen worden van graffiti en beplakking (zie eis met Bron-ID: VB_eis012); - De mate waarin onderdelen tegen vernielzucht bestand zijn (zie eis met Bron-ID: VB_eis034).		

Raakvlak Vaste Brug - Vandalen/ ongewenste bezoekers			
SYS-0367	Vandalismebestendigheid onderdelen		
VB_eis037	De Vaste Brug dient geen losse onderdelen te bevatten of onderdelen die met eenvoudig handgereedschap wegneembaar zijn.		
Bovenliggende eis(en):	SYS-0366 - VB_eis036	Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:	V&V-moment: Ontwikkelingsfase Type V&V-methode: Review Criterium: Opgenomen in ontwerpdocument Toelichting op aanpak V&V: Analyse door middel van ontwerp dat is afgestemd op vandalisme gevoelige onderdelen.		
Stakeholder(s):		Brondocument:	

Raakvlak Vaste Brug - Beheerder			
SYS-0368	Beheerder		
VB_eis038	De Vaste Brug dient fysiek en functioneel aan te sluiten op de standaarden/ systemen van de uiteindelijke beheerder.		
Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:			
Stakeholder(s):		Brondocument:	
Notities voor intern gebruik:	Hierbij valt te denken aan beheerders in de zin van gemeentes met specifieke systemen voor bijvoorbeeld pompkelders.		

Raakvlak Vaste Brug - Kabels en leidingen derden	
SYS-0369	Kabels en leidingen van derden
VB_eis039	De Vaste Brug dient het functioneren van kabels en leidingen van derden niet nadelig te beïnvloeden.

Bovenliggende eis(en):		Onderliggende eis(en):	
V&V-informatie:			
Stakeholder(s):		Brondocument:	
Notities voor intern gebruik:	Wellicht dat de afspraken met de kabel en leidingbeheerders worden vastgelegd in aparte documenten samen met afspraken over de uitvoeringsfase. In deze afspraken kan/moet ook worden vastgelegd hoe met combinaties van kabels en leidingen wordt omgegaan (geen hoogspanningskabel direct naast een telecommunicatiekabel).		

