



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2020

Functionele Levensduur

Indicatie einde functionele levensduur
van areaal Rijkswaterstaat

Joost Bredeveld (Deltares)
Ida de Groot-Wallast (Deltares)
Nienke Kramer (Deltares)
Evert-Jan Hamerslag (Rijkswaterstaat)
Hans van Twuiver (Rijkswaterstaat)

Kenmerk : KpNK-2020-SKW-02a004
Versie : 1.0
Datum publicatie : 27 november 2020



In het **Kennisprogramma Natte Kunstwerken** (KpNK) werken Deltares, MARIN, Rijkswaterstaat en TNO samen aan de kennisontwikkeling om de vervangings- en renovatieopgave bij natte kunstwerken (stuwen, sluizen, gemalen en stormvloedkeringen) efficiënt en kostenbesparend aan te pakken.

Deltares

MARIN



TNO

Voor het kennisprogramma wordt er jaarlijks een inhoudelijk **Kennisplan** inclusief bijbehorend financieringsplan opgesteld. Andere partijen (zoals waterschappen en marktpartijen) worden nadrukkelijk uitgenodigd om deel te nemen.

Meer informatie over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken vindt op www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl waar ook de onderzoeksresultaten ter beschikking worden gesteld.

NKWK

De samenwerking binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken vormt de uitwerking van de onderzoekslijn “Toekomstbestendige Natte Kunstwerken” binnen het **Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat** (NKWK). Dit kennisplatform brengt Nederlandse overheden, kennisinstellingen en bedrijven bij elkaar om samen te werken aan pilots, actuele vraagstukken en lange termijnontwikkelingen op gebied van water- en klimaatvraagstukken.

Meer informatie staat op www.waterenklimaat.nl.

Voor vragen met betrekking tot het product kunt u terecht bij de auteurs:

Joost Bredeveld - joost.bredeveld@deltares.nl

Ida de Groot-Wallast - ida.degroot@deltares.nl

Nienke Kramer - nienke.kramer@deltares.nl

Voor vragen over Kennisprogramma Natte Kunstwerken en Kennisplan 2020 kunt u terecht bij:

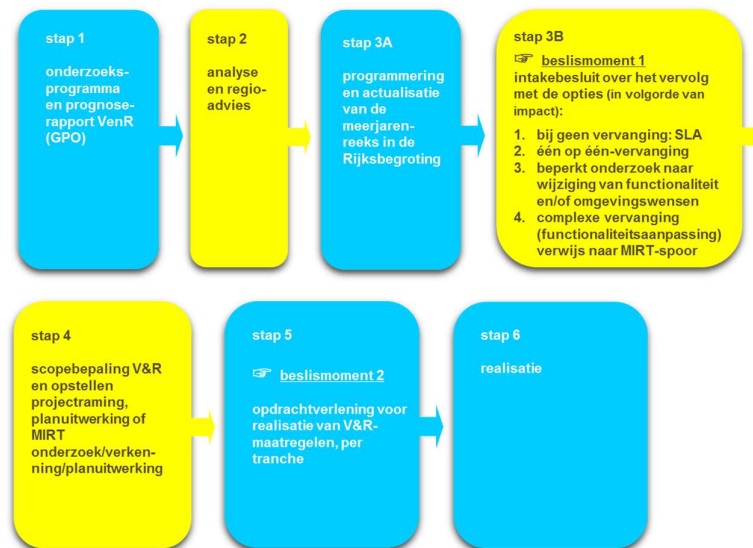
Maarten van der Vlist - maarten.vander.vlist@rws.nl



Voorwoord

Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets van beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen. Een groot deel van deze natte kunstwerken bereikt komende decennia het einde van de (technische) levensduur waarvoor het is ontworpen. Er dient zich dan ook een aanzienlijke vervangings- en renovatieopgave van deze kunstwerken aan.

De laatste jaren wordt steeds meer gezocht naar mogelijkheden om levensduur van kunstwerken te verlengen, en om bij einde levensduur (noodzakelijke) ingrepen aan gebiedsontwikkelingen en/of functionele/netwerk ontwikkelingen te koppelen. Rijkswaterstaat heeft daartoe als asset manager een vernieuwde werkwijze voor het Vervanging en Renovatie (VenR) proces opgesteld, welke de basis vormt voor de inrichting van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (zie Figuur 1).



Figuur 1. Vernieuwde RWS-werkwijze Vervanging en Renovatie.

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken wordt kennis ontwikkeld die bijdraagt aan de verschillende stappen binnen deze vernieuwde VenR-werkwijze, met als focuspunten stap 1 (prognoserapport) en stap 2 (regio-analyse en -advies). Het prognoserapport richt zich op de (einde) technische levensduur, het regio-advies brengt met name de relatie object-netwerk-gebied in kaart.

Het onderzoek in het Kennisprogramma Natte Kunstwerken vindt plaats langs de onderstaande 3 onderzoekssporen en heeft tot doel om een effectieve en efficiënte aanpak van de vervanging- en renovatie-opgave en nieuwbouw van natte kunstwerken mogelijk te maken:

- bestaand object
 - inzicht in (einde) technische levensduur
 - levensduurverlenging
- object-systeem
 - inzicht in (einde) functionele levensduur en object-systeemrelaties
- nieuw(e) object/objectonderdelen
 - toepassen innovaties
 - inspelen op toekomstige ontwikkelingen.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken *Kennisplan 2020*

Sinds enkele jaren is er het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Hieronder lopen diverse onderzoekslijnen. Eén van de onderzoekslijnen is “Toekomstbestendige Natte Kunstwerken”. Voor het praktisch laten functioneren van deze onderzoekslijn is er een Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken en een Kennisprogramma Natte Kunstwerken opgesteld:

- Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken. De partijen die momenteel binnen deze overeenkomst samenwerken aan onderwerpen rondom de vervangings- en renovatieopgave bij natte kunstwerken zijn Deltares, MARIN, Rijkswaterstaat en TNO.
- In het kader van de bovengenoemde Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken en de 3 onderzoekssporen van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken wordt er jaarlijks een inhoudelijk Kennisplan inclusief bijbehorend financieringsplan opgesteld.

Naast de genoemde partijen zijn en worden andere partijen nadrukkelijk uitgenodigd om deel te nemen aan de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken en/of het Kennisplan. Inzet kan zowel in kind en/of financieel zijn. In het Kennisplan 2020 is er binnen het kader van Kennisprogramma Natte Kunstwerken samengewerkt met Acotec NV, Arcadis, ArcelorMittal, Boskalis, DIANA FEA, Loodswezen en ShoreTension.

Resultaten uit het Kennisprogramma Natte Kunstwerken worden gedeeld met de gehele sector, onder andere via de website www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.

Het onderliggende stuk heeft betrekking op het onderzoek “Functionele levensduur” hetgeen een KpNK-activiteit geleid door Deltares is binnen het Kennisplan 2020.

- handleiding Toolbox Functionele Levensduur [stuk 1]
- proof-of-concept “Methode Functionele Levensduur-LIGHT” [stuk 2]



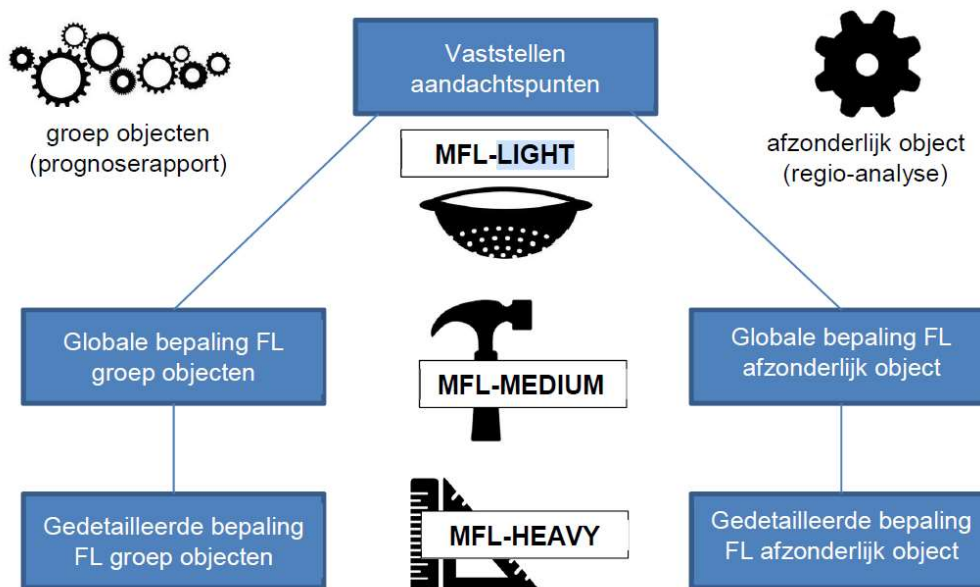
Samenvatting

Functionele levensduur - Indicatie einde functionele levensduur van areaal Rijkswaterstaat

Aanleiding

In 2017 is in het kennisprogramma opgemerkt dat inzicht in de functionele levensduur van een kunstwerk belangrijke input is voor de afweging of, wanneer en hoe een kunstwerk te vervangen. De functionele levensduur is van groot belang bij het opstellen van de regio-adviezen. De wens van Rijkswaterstaat is om deze functionele levensduur in de toekomst ook onderdeel te laten zijn van het prognoserapport. Dit vereist wel een praktische, bij voorkeur generieke, werkwijze waarin de relatie tussen de (toekomstige) prestatie van een object en het deelsysteem (van object en rivier- en/of kanaalstrekkingen) waar het onderdeel van is wordt meegenomen. Ook als er alleen interesse is in de functionele levensduur van een afzonderlijk kunstwerk (in een regio-advies).

In 2018 is in lijn met de aanpak in het programma Vervangingsopgave Natte Kunstwerken (waarin de focus lag op afzonderlijke objecten) de Methodiek Functionele Levensduur (MFL) opgeleverd.



Figuur 1: Stroomschema binnen Toolbox Functionele Levensduur



In 2019 is deze methode verder uitgewerkt en is er tot de toolbox in Figuur 1 gekomen, waarbij de MFL kan worden toegepast op één object (ten behoeve van een regio-advies) of op een groep van objecten (zogenaamde deelopgaven, ten behoeve van het prognoserapport). Uit Figuur 1 blijkt dat de MFL op verschillende niveaus kan worden uitgewerkt:

- **MLF-LIGHT.** Kwalitatieve beoordeling van de functionele levensduur op basis van expert judgement, waarmee de aandachtspunten voor een meer gedetailleerde beoordeling van einde functionele levensduur kunnen worden vastgesteld (zie MFL-MEDIUM).
- **MLF-MEDIUM:** Voor een meer kwantitatieve beoordeling van de functionele levensduur (in relatief lange perioden van 20 jaar) worden bestaande voorspellingen gebruikt over klimatologische, socio-economische en beleidsmatige ontwikkeling uit de literatuur¹; dus zonder zelf rekenmodellen te draaien. Het doel van de kwantitatieve beoordeling op dit niveau is ten eerste het vaststellen welke drivers daadwerkelijk relevant zijn.
- **MLF-HEAVY:** Kwantitatieve beoordeling van de functionele levensduur (in relatief korte perioden van 10 jaar) wordt alleen voor de daadwerkelijk relevante drivers gemaakt op basis van locatie-specifieke voorspellingen uit nieuwe berekeningen met rekenmodellen² voor de klimatologische, socio-economische en/of beleidsmatige ontwikkeling.

In 2019 is door Rijkswaterstaat een prognoserapport van Vervanging en Renovatie opgeleverd. In dit rapport wordt een prognose gemaakt van de toekomstige kosten voor vervangen en renoveren van het areaal aan 'natte kunstwerken' van Rijkswaterstaat. Hierin staat nog einde *technische* levensduur centraal; het gevoel bestaat dat het meenemen van einde *functionele* levensduur voor sommige deelopgaven een significante impact heeft op de begrotingsprognose.

Onderzoeksvraag en -opzet (WAT)

De ambitie van deze onderzoekslijn is om ten behoeve van het volgende prognoserapport een generiek toepasbare Toolbox Functionele Levensduur (FL) voorhanden te hebben, die voor zowel deelopgaven als afzonderlijke objecten een gerichte kwantitatieve inschatting van einde functionele levensduur mogelijk maakt. Deze inschatting moet kunnen worden gebruikt in de vertaling van de voorspelde einde functionele levensduur naar een kostenindicatie.

Om aan te tonen dat de beoordeling van de functionele levensduur van deelopgaven met de Toolbox FL met de technische levensduur kan worden gecombineerd in het prognoserapport, is in 2020 een *proof of concept* van de MFL-LIGHT vereist. De onderzoeksvraag hierbij is hoe het resultaat voor een deelopgave naar kostenindicatie in het prognoserapport kan worden vertaald?

¹ De uitwerking van een case in 2018 bracht aan het licht dat juist bij 'MFL-MEDIUM' aanpak betrouwbare case-specifieke informatie over eisen, prestaties en modelresultaten van belang zijn.

² Dit is een meer rekenintensieve methode zoals ook in VONK is toegepast, waarbij rekening gehouden dient te worden met de tekortkomingen van beschikbare modellen.



Om na te kunnen gaan in hoeverre de handleiding van de Toolbox FL bruikbaar is voor gebruikers, wordt getracht deze door derden in andere projecten te laten gebruiken. De onderzoeksvraag is welke aanscherpingen aan de handleiding nodig zijn voor de bruikbaarheid?

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

Op verzoek van Vervanging en Renovatie is als case de combinatie van het Julianakanaal en de parallel daaraan lopende Grensmaas gekozen, met als geografische noord- en zuidgrens respectievelijk Maasbracht en Maastricht. Hierbinnen liggen meerdere complexen waar water wordt gekeerd (Limmel), gestuwd (Borgharen), geschut en gepompt (Maasbracht en Born). De kunstwerken worden verbonden door een rivierstrekking (Grensmaas) en kanaalpanden (beneden- en bovenpand Julianakanaal). Op al deze hoofdelementen van het Hoofdwatersysteem en Hoofdvaarwegennet is de Methodiek Functionele Levensduur losgelaten om einde functionele levensduur vast te stellen.

De methodiek omvat achtereenvolgens voor de hoofdelementen het beschrijven van de kenmerken, functies, relevante toekomstscenario's en prestatie-eisen. Vervolgens is getracht met modelresultaten uit de literatuur (dus zonder zelf rekenmodellen te draaien) knelpunten in de tijd te bepalen waarin de hoofdelementen per functie de gevraagde prestatie niet meer kan leveren.

Bij de uitwerking zijn vereenvoudigingen aangehouden. Over het algemeen noodgedwongen, door het ontbreken van prestatie-eisen aan hoofdonderdelen voor functies of locatie-specifieke informatie. Maar ook uit praktisch oogpunt, door (delen van de) kerntaken "leveren schoon en gezond water" en "faciliteren vlot en veilig verkeer over water" buiten beschouwing te laten.

Onderzoeksresultaten en synthese

Uiteindelijk is met deze 'light'-versie van de Methodiek Functionele Levensduur gekomen tot het overzicht in Figuur 2 waarin per prestatie-eis aan het netwerk met kleuren wordt aangegeven op welk tijdstip de maatgevende onderdelen met bijbehorende locatie niet meer zullen voldoen.

Doordat toekomstige maatregelen buiten beschouwing blijven, treden er geen veranderingen op in de tijd. De dijken langs de Grensmaas, die op dit moment al onvoldoende in staat zijn hoogwater te keren; blijven daartoe niet in staat. Ook treedt er geen verandering op in de tijd van de wijze waarop de hoofdonderdelen aan de prestatie-eisen voor vlot en veilig verkeer over water (of beter: de ambitie om scheepvaartklasse Va te faciliteren) wordt voldaan. Dat heeft ook te maken met de verwachting, dat de groei van het scheepvaartverkeer over het Julianakanaal beperkt zal zijn.

Bij het interpreteren van de resultaten dient een aantal beperkingen te worden meegewogen. Zo is er sprake van beperkte samenhang en uniformiteit in de beschikbare informatie over de verschillende kerntaken die (kunstwerken binnen) het HWS en HVWN uitvoeren. En is er slechts een beperkt aantal discrete toekomstscenario's beschouwd. Tot slot moet men zich er van bewust zijn dat de modelresultaten uit de literatuur (net als bij VONK) tot stand zijn gekomen op basis van modelschematisaties waarin kunstwerken op vereenvoudigde wijze zijn gemodelleerd.



type prestatie-eis	locatie	onderdeel	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
waterveiligheid - keren hoogwater	Grensmaas	dijken	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Limmel	keersluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Julianakanaal	kanaalpand	geen geschikt model/info								
waterveiligheid - afvoeren water	Grensmaas	bodembescherming	geen pin								
	Julianakanaal	bodembescherming	geen pin								
laagwater-peilbeheer	Grensmaas	stuw Borgharen, stuw Linne, beheer	geen geschikt model/info								
	Julianakanaal-bovenpand	pompen Born, stuw Borgharen, beheer	geen geschikt model/info								
	Julianakanaal-benedenpand	pomp Maasbracht, stuw Linne, beheer	geen geschikt model/info								
laagwater-ecologie	Grensmaas	beheer, stuw Borgharen	geen pin								
schoon en gezond water -	Borgharen	vispassage	geen pin								
Vlot en veilig verkeer over water - diepte	Julianakanaal-bovenpand	pand	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Julianakanaal-benedenpand	pand	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Born	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Maasbracht	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Vlot en veilig verkeer over water - breedte	Julianakanaal-bovenpand	bruggen + pand	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Julianakanaal-benedenpand	bruggen + pand	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Born	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Maasbracht	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Vlot en veilig verkeer over water - hoogte	Julianakanaal-bovenpand	bruggen	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Julianakanaal-benedenpand	bruggen	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Born	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Maasbracht	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Vlot en veilig verkeer over water - vaartuigverliesuren	Born	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Maasbracht	sluis	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■	voldoet niet aan prestatie-eis
■	voldoet niet aan ambitie scheepvaart
■	voldoet aan prestatie-eis
■	geen oordeel

Figuur 2. Resultaat toepassing 'light' Methodiek Functionele Levensduur op case Julianakanaal-Grensmaas

Binnen RWS moet het bewustzijn komen dat de analyse van einde functionele levensduur een significante inspanning vraagt. Het verbeteren van de bovengenoemde beperkingen zal daarbij leiden tot minder onzekerheid over en meer variatie in de tijd van de uitkomsten. De verdeling in een 'light' versie van de methodiek (op basis van bestaande kentallen) en een 'zware' versie (op basis van modelberekeningen) wordt geacht de werkbaarheid ten goede te komen.

Het voordeel van de verankering van einde functionele levensduur in het prognoserapport is dat de technische en functionele levensduur in samenhang kunnen worden meegenomen. Het helpt hierbij dat binnen VenR de focus niet alleen meer op individuele kunstwerken, maar ook op delen van het watersysteem (zogenaamde netwerkschakels) wordt gelegd. Het nadeel van de verankering van einde functionele levensduur in het prognoserapport is wel dat de informatie uit de regio in deze stap niet voorhanden is.



Evaluatie en vooruitblik

Aanvullend op de uitgevoerde case zal een sessie met GPO (verantwoordelijk voor het prognoserapport) nuttig zijn om de bevindingen te concretiseren, deze om te zetten naar een concreet actieplan en zo te komen tot een praktische bijdrage aan het volgende prognoserapport.

Om einde functionele levensduur in het volgende prognoserapport te kunnen meenemen, zal het ook nodig zijn om de (samenhang in) de onzekerheden in de methodiek nader te beschouwen. Het lijkt noodzakelijk om voorafgaand hieraan een redenerlijn op te stellen.

Er wordt tot slot ingeschat dat het onderzoek ter verbetering van de methodiek het beste weer op basis van een case (mogelijk dezelfde) kan plaatsvinden, voorafgegaan door een expertsessie ('light-light' methodiek) in samenwerking met de regio om de beschikbare case- en object-specifieke informatie voor alle functies boven water te krijgen. Mogelijk dat hierbij de inhoudelijke samenhang met andere activiteiten binnen het thema "relatie object-systeem" kan worden benut.

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Handleiding Toolbox Functionele Levensduur

Joost Bredeveld
Nienke Kramer
Ida de Groot-Wallast

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.1.1	Vervangings- en renovatieopgave	1
1.1.2	Kennisprogramma Natte Kunstwerken	1
1.1.3	Methodiek Functionele Levensduur	2
1.2	Het proces binnen Rijkswaterstaat	2
1.2.1	Werkwijze Vervanging & Renovatie	2
1.2.2	Stap 1 – Prognoserapport	3
1.2.3	Stap 2 – Regio-analyse en -advies	4
1.3	Scope, doelstellingen en leeswijzer	4
1.4	Rolverdeling bij bepalen einde functionele levensduur	4
2	Gezamenlijk taalgebruik	6
2.1	Functies	6
2.1.1	Maatschappelijke functies; kerntaken	6
2.1.2	Deeltaken	6
2.1.3	Gebruiksfuncties	6
2.2	Kunstwerken	8
2.2.1	Landelijke netwerken	8
2.2.2	Deelsystemen	11
2.2.3	Onderdelen van deelsystemen	14
2.2.4	Deelopgave	16
2.3	Einde Levensduur	17
2.3.1	(Rest)levensduur	17
2.3.2	Technische Levensduur	17
2.3.3	Functionele Levensduur	17
2.3.4	Economische Levensduur	18
2.4	Prestaties	18
2.4.1	Functie-eisen	18
2.4.2	Prestatie-eisen	18
2.4.3	Drempelwaarde	18
2.4.4	Service Level Agreement (SLA)	20
2.4.5	Functionele Eenheid (FE)	20
2.4.6	SLA-Functionele Eenheid (SFE)	20
2.4.7	Prestatie Indicator (PIN)	20
3	Ontwikkelingen en gevolgen voor functionele levensduur	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Categorie: klimatologische ontwikkeling	21
3.2.1	Aspect: verandering zeeniveau	21
3.2.2	Aspect: verandering afvoer	22
3.2.3	Aspect: verandering temperatuur	24
3.2.4	Aspect: verandering van ecologische waterkwaliteit	24
3.2.5	Aspect: verandering bodemniveau	25
3.3	Categorie: socio-economische ontwikkeling	25
3.3.1	Aspect: verandering verkeersintensiteit	25
3.3.2	Aspect: verandering vervoersvorm	26

3.4	Categorie: beleidsmatige ontwikkeling	26
3.4.1	Aspect: veranderende wetgeving	26
3.4.2	Aspect: verandering beleid gerelateerd aan gebruik van RWS-netwerken	27
4	Functionele Levensduur	28
4.1	Toolbox Functionele Levensduur	28
4.1.1	Methodiek	28
4.1.2	Beoordelingsniveaus	29
4.1.3	Omvang van beschouwde objecten	33
4.2	Belangrijke aspecten	33
4.2.1	Onzekerheden	33
4.2.2	Impact op combinatie drivers en/of functies	33
4.2.3	Vertaling eisen van systeem naar object	34
4.2.4	Overige aspecten	34
4.3	Stappenplan per niveau	34
4.3.1	Stappen in MFL-LIGHT beoordeling	34
4.3.2	Stappen in MFL-MEDIUM beoordeling	45
4.3.3	Stappen in MFL-HEAVY beoordeling	47
5	Rekenmodellen	48
5.1	Beschikbare rekenmodellen	48
5.2	Toepassingsgebied beschikbare rekenmodellen	48
5.3	Huidige tekortkomingen rekenmodellen	51
6	Literatuur	52

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

1.1.1 Vervangings- en renovatieopgave

Bestaande natte kunstwerken (bijvoorbeeld sluisen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen) zijn belangrijke assets van netwerkbeheerders zoals Rijkswaterstaat (RWS) en waterschappen. Deze kunstwerken vervullen een essentiële rol in het omgaan met waterveiligheid en waterverdeling (inclusief waterbeschikbaarheid), het gebruik van het watersysteem als transportader, zijn belangrijke oeververbindingen voor verkeer, en beïnvloeden tegelijkertijd waterkwaliteit (bijvoorbeeld zoutindringing) en ecologie (bijvoorbeeld vismigratie). Effecten van klimaatontwikkeling zoals zeespiegelstijging en veranderende rivierafvoeren, maar ook veranderingen in gebruik en eisen die worden gesteld aan het watersysteem zorgen ervoor dat er op termijn aanpassingen aan de inrichting en sturing van het watersysteem nodig zullen zijn. Kunstwerken zijn in feite de stuurcomponenten in het waternetwerk en spelen in dit adaptatievraagstuk een essentiële rol. Door bovengenoemde factoren zullen veel kunstwerken op een gegeven moment niet meer voldoen aan de veranderde functionele eisen. Tegelijkertijd hebben de kunstwerken ook een technische levensduur: veel van deze objecten bereiken de komende decennia het einde van de levensduur waarvoor ze destijds zijn ontworpen. Daarmee dient zich voor deze netwerkbeheerders een aanzienlijke vervangings- en renovatieopgave aan.

1.1.2 Kennisprogramma Natte Kunstwerken

In 2017 hebben RWS, Marin, TNO en Deltares een vierjarige samenwerkingsovereenkomst gesloten, waarmee de intentie is vastgelegd om de komende jaren de vragen rond de vervangingsopgave bij natte kunstwerken binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) samen op te pakken. Het doel van de kennisontwikkeling binnen het KpNK is:

- om in de infrastructurele netwerken zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van de technische en functionele restlevensduur van bestaande kunstwerken en
- om een nieuw kunstwerk te kunnen ontwerpen, waar we innovatieve oplossingen kunnen toepassen en in kunnen spelen op toekomstige ontwikkelingen.

Deze kennisontwikkeling vindt binnen het kennisprogramma onder meer plaats in de deelactiviteiten regio-analyse¹ en kunstwerken in netwerkmodellen² als onderdeel van het onderzoekspoor “Relatie object-systeem”. Hierbij is het uitgangspunt dat er samenhang bestaat tussen het functioneren van een kunstwerk en het functioneren van het netwerk waar dat kunstwerk deel van uitmaakt. Het gezamenlijke doel van de activiteiten binnen dit thema is

¹ KpNK (2018c) geeft invulling aan het regio-advies, waarin RWS voor hun natte kunstwerken op basis van een goede inhoudelijke analyse en onderbouwing moet komen tot een beschrijving van de urgentie van een vervanging vanuit de technische staat, aangevuld met geactualiseerde eisen en wensen vanuit het netwerk en de omgeving, en beschrijft alternatieven voor eventuele vervanging en/of renovatie.

² KpNK (2018b) richt zich op het verbeteren van de beschrijving van kunstwerken in het rekenmodel voor het watersysteem, wat een vereiste is om het functioneren van een kunstwerk in een watersysteem (en daarmee ook de functionele levensduur!) te kunnen onderzoeken. Begin 2018 is in overleg met RWS de ambitie neergelegd om een ‘Baseline-Kunstwerken’ te ontwikkelen die kan omgaan met de complexiteit en diversiteit van kunstwerken en de grote hoeveelheid gegevens die nodig is om de constructie en het functioneren ervan goed te omschrijven. Dit is een aanvulling op ‘Baseline’, de bestaande database met bijbehorende routine voor het genereren van modelschematisaties voor (delen van) het HWS.

het mogelijk maken van een goed onderbouwde afweging op welk moment tot welk type vervanging van een nat kunstwerk zou moeten worden besloten.

Het voorliggende onderzoek heeft alleen betrekking op de functionele levensduur van natte kunstwerken. Voor de leesbaarheid zal in het vervolg de term “natte” worden weggelaten.

1.1.3 Methodiek Functionele Levensduur

Onder de functionele levensduur van een asset wordt verstaan de periode dat deze asset de functies conform de functie-eisen uitvoert. Het is echter nog niet vastgelegd hoe de functionele levensduur vast te stellen. In KpNK (2017b) is, op basis van verschillende studies (waaronder VONK), tot de contouren van een generieke methode voor het bepalen van de functionele levensduur van kunstwerken³ gekomen. Deze is in een case toegepast om de noodzakelijke verbeteringen in de samenhangende bouwstenen concreet te maken en suggesties te doen voor de verankering in het V&R-proces. Op basis hiervan is tot de opzet voor de Methode Functionele Levensduur gekomen die in Subparagraaf 4.1.1 is beschreven.

1.2 Het proces binnen Rijkswaterstaat

Deze handleiding richt zich, net als het Kennisprogramma Natte Kunstwerken, op het proces binnen netwerkbeheerder Rijkswaterstaat dat tot doel heeft grip te krijgen en houden op de (functionele en technische) levensduur van natte kunstwerken. Hieronder wordt kort toegelicht hoe het beslissingsproces rondom het vervangen en renoveren is georganiseerd. Ondanks dat deze handleiding daarmee betrekking heeft op het proces binnen Rijkswaterstaat, wordt er verondersteld dat deze werkwijze ook voor andere netwerkbeheerders van belang is.

1.2.1 Werkwijze Vervanging & Renovatie

Een netwerkbeheerder wil een onderbouwde afweging kunnen maken bij het beslissen over de wijze waarop verouderde assets worden vervangen. Binnen RWS is daartoe een vernieuwde werkwijze voor Vervanging en Renovatie ingevoerd (zie Figuur 1).

Bij RWS vormt een belangrijk uitgangspunt voor de onderbouwde afweging, dat het functioneren van het te vervangen kunstwerk en het functioneren van het netwerk waarvan dat object deel uitmaakt in samenhang worden beschouwd.

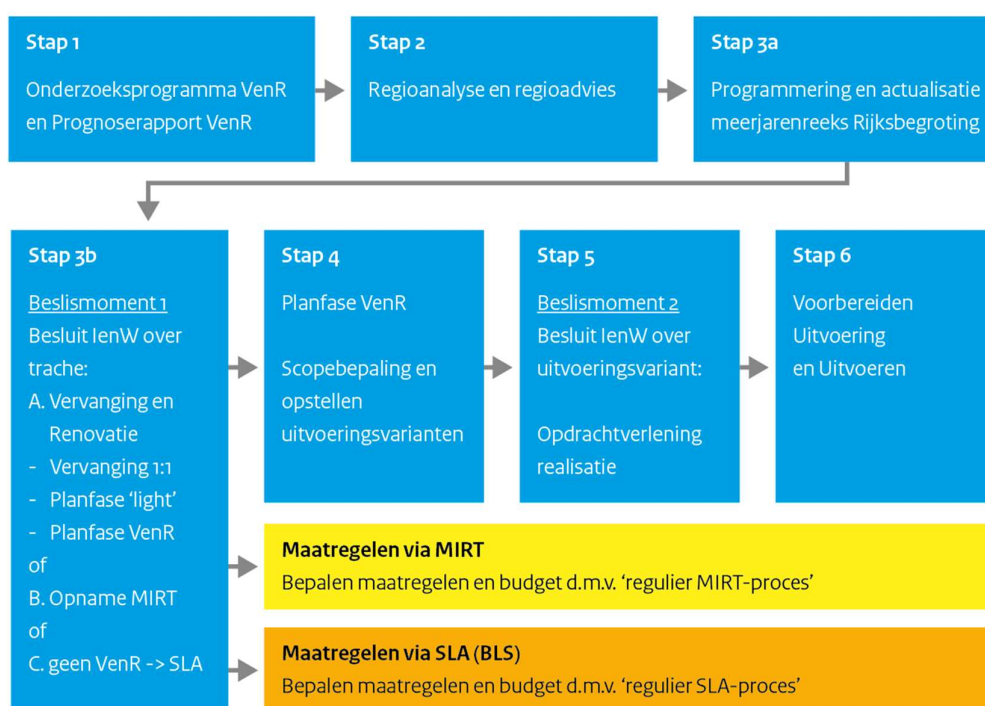
- Voor het bepalen van het juiste vervangingsmoment is inzicht in zowel einde functionele als einde technische levensduur van het kunstwerk vereist, waarbij einde technische levensduur ook altijd einde functionele levensduur betekent (andersom geldt dat niet).
- Voor de keuze van het vervangingstype is (net als voor een oordeel over het functioneren zelf) beter inzicht en begrip nodig in de samenhang tussen het functioneren van het netwerk en het object, zowel onder de huidige als de toekomstige omstandigheden.

³ KpNK (2017b) stelt dat het verstandig lijkt een generieke transparante methode te definiëren om einde functionele levensduur te bepalen, die op de Gevoeligheidstest Natte Kunstwerken uit VONK volgens HKV (2014b) en HKV (2015) voortbouwt en voor alle watersystemen en functies kan worden gebruikt.

1.2.2 Stap 1 – Prognoserapport

De eerste stap in het proces om te komen tot een vervangingsbeslissing (zie Figuur 1) omvat het opstellen van een prognoserapport, waarin:

- mede op basis van gericht onderzoek⁴ naar objecten de einde levensduur van assets en asset groepen wordt ingeschat,
- tot een prioritering van asset groepen binnen het RWS-programma Vervanging en Renovatie gekomen (waarbij RWS-regio's de afzonderlijke assets prioriteren),
- op basis van de beschikbare informatie over deelopgaven en prioritering een reservering op de begroting van het Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat onderbouwd.



Figuur 1: Vernieuwde werkwijze Vervanging en Renovatie

In het prognosticeren van vervangings- en renovatiebehoeften wordt door RWS (op basis van beschikbare informatie en/of expert judgement) onderscheid gemaakt tussen:

- de korte termijn waarop aan te pakken objecten via inspecties en/of herberekeningen al zijn vastgesteld, en daarmee onderdeel zijn van een realisatie of planfase tranche;
- de middellange termijn waarop het inzicht in aan te pakken objecten er alleen voor groepen⁵ van objecten met vergelijkbare problemen is.
- de lange termijn waarop de prognose voor aan te pakken groepen van objecten wordt gebaseerd op een statistische analyse van het areaal.

⁴ Via issue-gestuurd onderzoek (tot nu toe nog voornamelijk naar de technische staat) aan een beperkt aantal objecten wordt de prognose van een groep objecten voor de middellange termijn prognose aangescherpt;

⁵ door middel van inspecties van afzonderlijke kunstwerken in de context van een RWS onderzoeksprogramma wordt in de loop van de tijd een beter beeld verkregen van de vervangings- en renovatiebehoeften per groep;

Het accent in prognoserapporten lag oorspronkelijk op de (theoretische) einde technische levensduur en groepen van kunstwerken. Inmiddels bevat de analyse meer object-specifieke kennis. Binnen RWS is er de wens om voor een volgend prognoserapport⁶ ook elementen van de functionele levensduur van kunstwerken toe te voegen. Dit kan alleen als het begrip in de praktijk met ondersteunende tools kan worden geoperationaliseerd (zie Paragraaf 1.3).

1.2.3 Stap 2 – Regio-analyse en -advies

Als extra stap voorafgaand aan de programmering wordt een analyse van de regio gevraagd, resulterend in het zogeheten regioadvies. In het regio-advies wordt nadrukkelijk naar de relatie van het kunstwerk in het netwerk/ watersysteem gekeken en een onderbouwd advies gegeven over de wijze van vervanging. Binnen het KpNK vindt kennisontwikkeling plaats om deze onderbouwing helder en navolgbaar te maken, om zo tot een bruikbaar regio-advies te komen. De functionele levensduur is daarbij ook een belangrijke bouwsteen.

1.3 Scope, doelstellingen en leeswijzer

Deze handleiding behorende bij de Toolbox Functionele Levensduur is bruikbaar voor het maken van een (eerste) inschatting van einde functionele levensduur voor afzonderlijke objecten en groepen van objecten binnen (een deel van) een hoofdwatersysteem.

Het hoofddoel van de voorliggende handleiding is het operationaliseren van de generieke “Methode Functionele Levensduur”. Dit valt uiteen in meerdere subdoelen:

- Het bieden van een gemeenschappelijke taal en kennisbasis om zo eenduidig mogelijk einde functionele levensduur te kunnen bepalen (zie Hoofdstuk 2).
- Het bieden van een gestructureerd overzicht van mogelijke veranderingen in de tijd (drivers) die de functionele levensduur beïnvloeden (zie Hoofdstuk 3).
- Het omschrijven van een toolbox om, op verschillende niveaus van detail en diepgang, het moment in de tijd van einde functionele levensduur te bepalen (zie Hoofdstuk 4).
- Het geven van een overzicht van bestaande rekenmodellen die binnen een bijdrage kunnen leveren aan het bepalen van de functionele levensduur (zie Hoofdstuk 5).
- Het aanreiken van aanvullende handvatten, zoals voorbeelden en brondocumenten (zie Bijlagen).

1.4 Rolverdeling bij bepalen einde functionele levensduur

De rolverdeling binnen de verschillende delen van de organisatie van Rijkswaterstaat bij het gebruik van de Toolbox Functionele Levensduur is als volgt:

- RWS-GPO en RWS-PPO zijn verantwoordelijk voor het opstellen van het prognose-rapport onderzoek (op areaalniveau) en de ondersteuning van de regionale RWS-directies in projecten voor het vervangen en renoveren van bestaande kunstwerken;
- de regionale RWS-directies zijn verantwoordelijk voor het aanleveren van de object-specifieke informatie en hebben de lead in het opstellen van een regio-analyse;

⁶ naar verwachting zal in 2021 het volgende prognoserapport worden opgesteld;

- RWS-WVL is nauw betrokken in de (project-overstijgende) kennisontwikkeling, visievorming (samen met de afdeling NOV) en aanverwante (beleids)programma's rondom de netwerken waar de afzonderlijke kunstwerken deel van uitmaken.

2 Gezamenlijk taalgebruik

De praktijk die zich bezighoudt met de technische en functionele levensduur van kunstwerken gebruikt niet altijd dezelfde taal. Om te voorkomen dat er door de voorliggende handleiding (en daarmee rondom de Methodiek Functionele Levensduur) onnodig misverstanden ontstaan, wordt er in dit hoofdstuk een gezamenlijk taalgebruik (op basis van bestaande terminologie) voorgesteld. Hierbij komt achtereenvolgens de volgende terminologie aan bod:

- terminologie rondom functies,
- terminologie rondom assets (als onderdeel van kunstwerken),
- terminologie rondom einde levensduur en
- terminologie rondom prestaties.

Naast een opsomming van de verschillende bruikbare (maar mogelijk door elkaar gebruikte) indelingen en benamingen wordt, waar nodig, ook duidelijk gemaakt hoe deze indelingen en benamingen zich tot elkaar verhouden.

2.1 Functies

2.1.1 Maatschappelijke functies; kerntaken

MinI&M (2015) stelt dat RWS de *maatschappelijke functies*, ook wel aangeduid als *kerntaken*, in Tabel 1 heeft in het beheer van haar netwerken.

kerntaak	beschrijving
waterveiligheid	het beschermen van het land tegen overstromingen vanuit zee, rivieren, kanalen en grote meren en de veilige afvoer van water, ijs en sediment
voldoende water	het voorkomen van watertekort en wateroverlast, alsmede het tegengaan van verzilting
schoon en gezond water	het voorkomen van onvoldoende chemische en ecologische waterkwaliteit van de Rijkswateren
vlot en veilig verkeer over water	het voorkomen van onvoldoende bereikbaarheid, onveilige scheepvaart en onbetrouwbare reistijden over water
duurzame leefomgeving	het verduurzamen van zowel de bedrijfsvoering als de netwerken

Tabel 1: Maatschappelijke functies ('kerntaken') van Rijkswaterstaat conform MinI&M (2015)

2.1.2 Deeltaken

Wat betreft het functioneren van objecten kan conform RWS (2017), zie ook Bijlage A, voor RWS per *kerntaak* onderscheid worden gemaakt tussen verschillende *deeltaken* in Tabel 2.

2.1.3 Gebruiksfuncties

RWS (2017) en MinIM (2015) geven aan dat er veel vormen van maatschappelijk en economisch gebruik van het Rijkswatersysteem zijn, waarbij er in Tabel 3 onderscheid wordt gemaakt tussen aangewezen en overige *gebruiksfuncties*. Voor overige gebruiksfuncties krijgen derden – mits niet conflicterend met de randvoorwaarden voor de kerntaken – ruimte om gebruik te maken van het Rijkswatersysteem en het grondwater daaronder.

kerntaak	deeltaak
waterveiligheid	- keren hoogwater
	- afvoeren water, ijs en sediment
	- vasthouden water
	- faciliteren bediening en besturing
voldoende water	- aanvoeren water bij droogte
	- afvoeren water bij overlast
	- beperken verzilting (zoet-zout scheiding)
	- reguleren en handhaven waterpeil
schoon en gezond water	- bieden water met basiskwaliteit (chemisch)
	- bieden leefgebied flora en fauna
	- bieden natuurlijke vismigratieroutes
	- faciliteren bediening en besturing
vlot en veilig verkeer over water	- mogelijk maken varen
	- faciliteren en verzorgen vaarwegverkeer (stilliggen)
	- mogelijk maken navigatie schip
	- faciliteren bediening en besturing

Tabel 2: Deeltaken per kerntaak gebaseerd op RWS (2017)

type gebruiksfunctie	beschrijving
wettelijk aangewezen gebruiksfuncties	- faciliteren natuur (muv KRW-doelstellingen)
	- bieden drinkwater(kwaliteit) aan bevolking
	- bieden zwemwater aan bevolking
	- bieden water tbv schelpdierwinning
	- bieden water aan beroeps- en sportvisserij
overige gebruiksfuncties	- leveren koel- en proceswater aan industrie
	- faciliteren energieopwekking
	- faciliteren (water)recreatie
	- faciliteren delfstofwinning
	- bieden archeologische, cultuurhistorische en landschappelijke waarde
	- faciliteren landbouw
	- bergen baggerspecie
	- faciliteren kabels en leidingen
	- faciliteren wegverkeer

Tabel 3: Aangewezen en overige gebruiksfuncties conform MinI&M (2015)

2.2 Kunstwerken

2.2.1 Landelijke netwerken

2.2.1.1 Hoofdwegennet (HWN)

In Figuur 2 wordt het Nederlandse wegennet getoond, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar provinciale wegen en het Hoofdwegennet van Rijkswegen dat in beheer is van RWS.



Figuur 2: Hoofdwegennet van Nederland (bron: CBS/Nationaal Wegenbestand)

De wegbeheerder is verantwoordelijk voor de kwaliteit alsmede het beheer en onderhoud van de Hoofdwegennet (A-wegen en een aantal N-wegen). De kerntaak van Rijkswaterstaat vormt daarbij het mogelijk maken van vlot en veilig wegverkeer, en dus ook waar de beheerde Rijkswegen (via kunstwerken) het Hoofdwatersysteem en Hoofdvaarwegennet kruisen.

2.2.1.2 Hoofwatersysteem (HWS)

In Figuur 3 wordt het Hoofwatersysteem weergegeven dat in het beheer is van RWS.



Figuur 3: Hoofwatersysteem van Nederland

Het Hoofwatersysteem beheerd door Rijkswaterstaat omvat de grote rivieren, grote kanalen, het IJsselmeergebied, de Zuidwestelijke Delta, de Waddenzee en de Noordzee, met inbegrip van het daaronder gelegen grondwater. Samen met het Hoofdvaarwegennet (zie Subparagraaf 2.2.1.3) vormen zij de 'natte' netwerken die Rijkswaterstaat beheert:

2.2.1.3 Hoofvaarwegennet (HVWN)

In Figuur 4 wordt Hoofdvaarwegennet weergegeven dat in beheer is van RWS.



Figuur 4: Hoofdvaarwegennet Nederland

De Rijkswateren omvatten de toegangen tot de zeehavens, het Hoofdvaarwegennet en de overige vaarwegen in de Rijkswateren. Veel waterstaatkundige objecten dienen zowel de scheepvaart als het waterbeheer. Daarom heeft beheerder Rijkswaterstaat ervoor gekozen het werk voor het Hoofdvaarwegennet en Hoofdwatersysteem in één samenhangend beheer- en ontwikkelplan te beschrijven, zie MinI&M (2015).

2.2.2 Deelsystemen

2.2.2.1 Stroomgebieden

Een *stroomgebied* is conform de Kaderrichtlijn Water (2000) en de daaronder vallende stroomgebiedbeheerplannen een gebied vanwaar al het over het oppervlak lopende water via een reeks stromen, rivieren en eventueel meren door één riviermond, estuarium of delta, in zee stroomt. In Tabel 4 worden de onderdelen van het Rijkswatersysteem benoemd in MinI&M (2015) en RWS (2017), met inbegrip van het daaronder gelegen grondwatervier, naast de stroomgebieden in Nederland gezet (zonder een koppeling te leggen).

stroomgebied (Kaderrichtlijn Water)	elementen Rijkswatersysteem
Maas	rivieren
Rijn	kanalen
Schelde	Waddenzee
Eems	Noordzee
	IJsselmeergebied
	Zuidwestelijke Delta

Tabel 4: Stroomgebieden Kaderrichtlijn Water naast onderdelen Rijkswatersysteem volgens MinI&M (2015)

2.2.2.2 IWP-gebieden

Voor alle peil-gereguleerde watersystemen heeft RWS voor de operators van objecten in het Hoofdwatersysteem het Instrument voor Waterpeilbeheer (IWP) ontwikkeld, waarin per beheergebied in Tabel 5 een overzicht van actuele waterbalansen is opgenomen.

IWP-gebied	beschrijving
Twentekanal	
IJsselmeergebied	
Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal	
Nederrijn-Lek	
Maas	
Brabantse kanalen	
Kanaal Gent-Terneuzen	
Meppelerdiep en Zwarte Water	
Volkerrak-Zoommeer	
Grevelingenmeer	
Veersemeer	

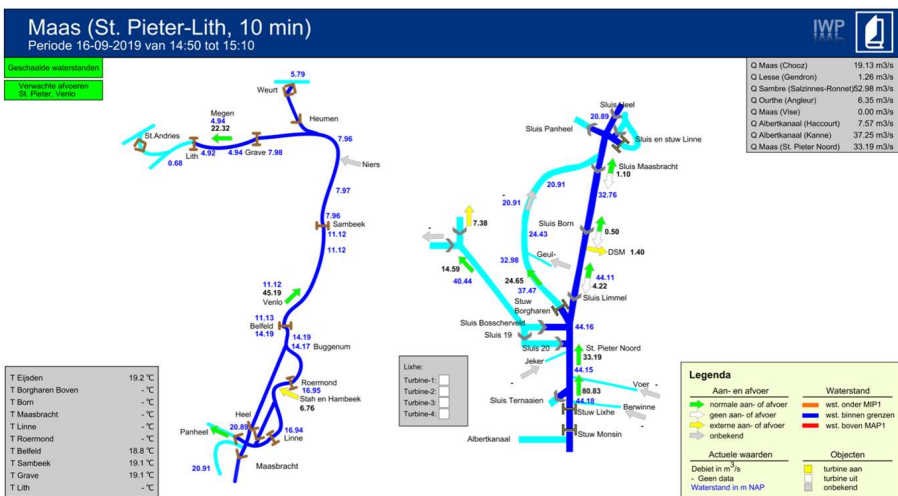
Tabel 5: Overzicht IWP-gebieden met overzicht met actuele waterbalans (www.waterberichtgeving.rws.nl)

Deze overzichten van waterbalansen en verwachtingen kan het Watermanagementcentrum Nederland in samenwerking met het KNMI tot stand brengen met behulp van het Landelijk Meetnet Water⁷ dat metingen van waterstand, afvoer en stroming, golven, watertemperatuur en diverse meteorologische gegevens vastlegt.

2.2.2.3 Transportcorridors

Conform RWS (2017) worden er binnen de landelijke netwerken vaste deelgebieden onderscheiden die zijn gecategoriseerd naar hun risicopotentieel. Voor het Hoofdvaarwegennet is een netwerkcategorisering vastgelegd die bestaat uit Functionele Eenheden (zie Subparagraaf 2.4.5): de (*transport*)*corridors*. Per corridor worden er eisen gesteld.

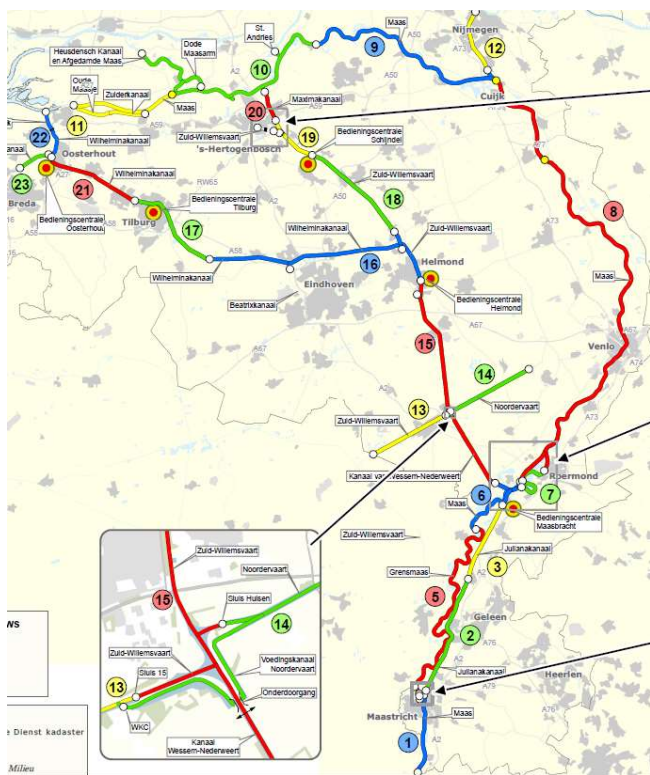
⁷ zie voor meer informatie <https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/metingen/lmw-info>



Figuur 5: Voorbeeld van overzicht IWP-gebied Maas (bron: www.waterberichtgeving.rws.nl)

2.2.2.4 Netwerkschakel

Conform RWS (2017) zijn *netwerkschakels* afzonderlijke delen van een netwerk, zie bijvoorbeeld Figuur 6 voor de netwerkschakels in Zuid-Nederland. De samenstellende objecten binnen een netwerkschakel vervullen samen één functie.



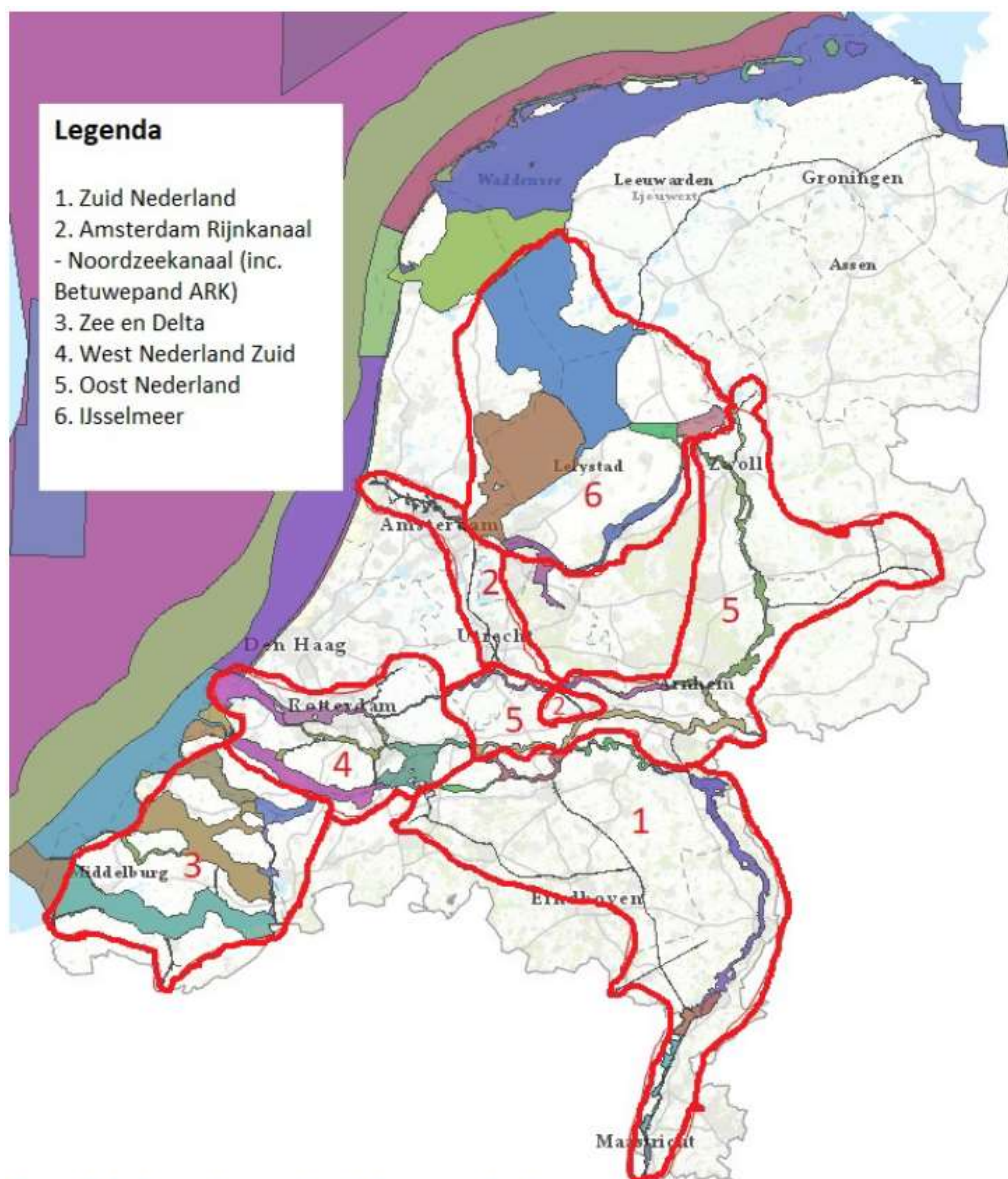
Figuur 6: Netwerkschakels in regio Zuid-Nederland

Vertrekpunt voor de indeling van de netwerken in netwerkschakels is de netwerkcategorisering: één netwerkschakel is altijd eenduidig toe te rekenen aan één netwerkcategorie.

Per netwerkschakel is er een netwerkschakelplan, zie als voorbeeld RWS (2018), wat een samenvatting betreft van alle instandhoudingsplannen⁸ per object- en areaaldeel.

2.2.2.5 Beheergebieden

In RWS (2020) zijn als deelsysteem de beheergebieden van een aantal RWS-regio's (zie Figuur 7) beschouwd, vanwege de kennis (over het deelgebied) en het eigenaarschap (van de gegevens over de objecten in dit deelsysteem). In deze kaart missen nog de beheergebieden in Noord-Nederland (inclusief de Waddenzee) en de Kust (met een deel van de Noordzee), die in RWS (2020) buiten beschouwing zijn gelaten.

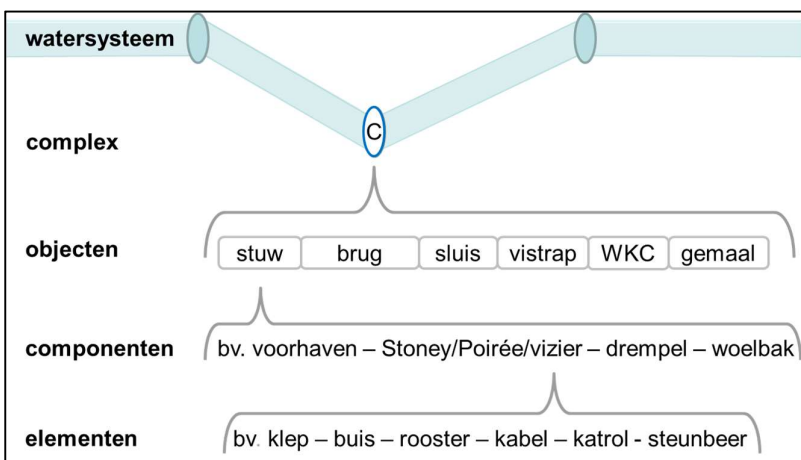


Figuur 7: Beschouwde deelsystemen in de klimaat stresstest objecten HWS, zie RWS (2020)

⁸ hierin staan per object- en areaaldeel de benodigde maatregelen en kosten om optimaal aan de gestelde prestatie-eisen te voldoen in de komende SLA-periode en de SLA-periode daarna;

2.2.3 Onderdelen van deelsystemen

Een kunstwerk vormt de plek in een watersysteem waarin verschillende functies samenvallen. Dat kan veelal met één *object*, maar soms zijn daar ook een *complex* van meerdere objecten voor nodig zijn. Binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken wordt getracht om gebruik te maken van de volgende termen wat betreft de verschillende onderdelen van een kunstwerk.



Figuur 8: Opbouw van complex naar elementen

2.2.3.1 Complex

Een complex is een samenstel van twee of meer bij elkaar horende objecten die gezamenlijk alle functies binnen de (hoofd)watersystemen uitvoeren die ter plaatse samenkomen.

2.2.3.2 Object

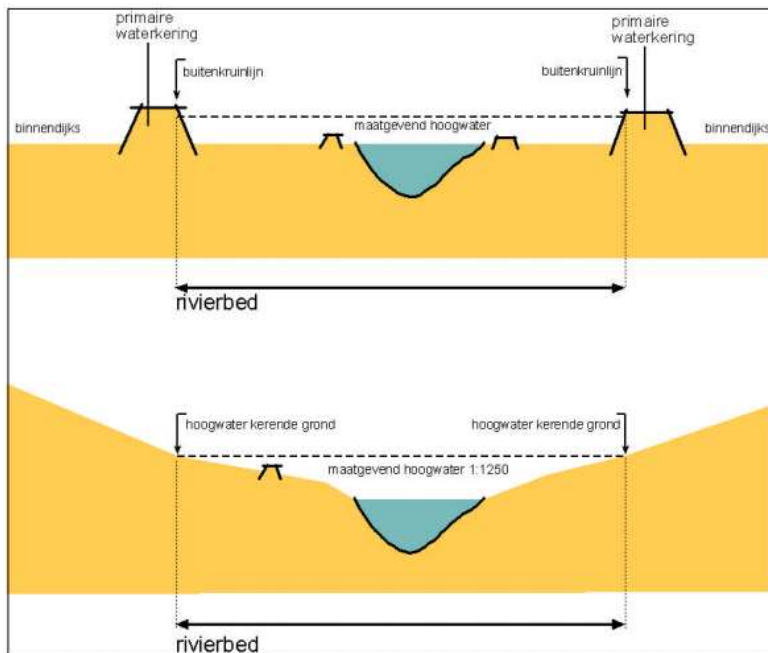
Een *object* is een constructie dat één of meerdere functies binnen een (hoofd)watersysteem vervult. Conform Mini&M (2015) en RWS (2017) vallen de objecten in Tabel 6 onder de 'natte' infrastructurele netwerken (HWS en HVWN):

aquaducten	kanaalpanden	vaarwegstrekkingen (in zee)
bediencentrales	keersluizen	vaste bruggen
beweegbare bruggen	naviducten	vispassages
coupures	nevengoulen	uitwateringssluizen
gemalen	rivierstrekkingen	(waterkerende) dammen
havens	schutsluizen	
hoogwaterkeringen	stormvloedkeringen	
kaden	stuwen	

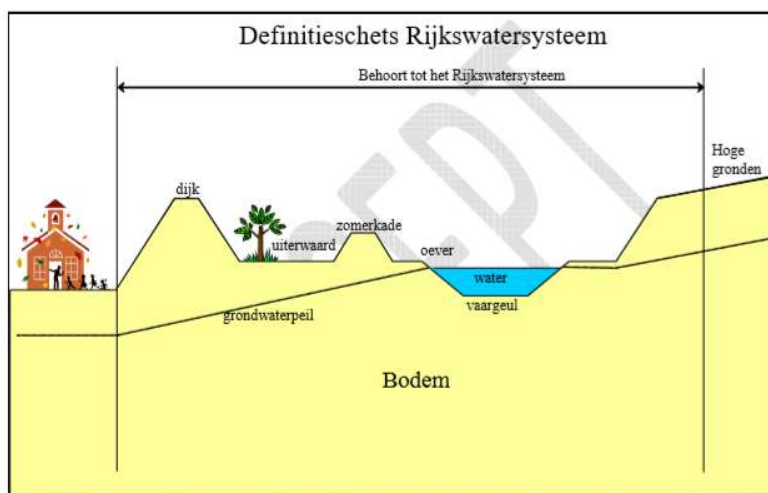
Tabel 6: Objecten die RWS beheert en onderhoudt, gebaseerd op Mini&M (2015)

2.2.3.3 Component

Wat betreft de *objecten* in Tabel 6 kan er onderscheid worden gemaakt naar verschillende *componenten* binnen een dwarsdoorsnede over de beschouwde strekking van het Hoofdwaterstelsel en/of Hoofdvaarwegennet. In Figuur 9 en Figuur 10 worden ter illustratie dwarsdoorsnedes getoond over een rivierstrekking en een kanaalpand. Hierbinnen kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt tussen de componenten (rivier)bedding, (rivier)dijk, bodem, oever, uiterwaard en vaargeul.



Figuur 9: Schematische dwarsdoorsnede van de rivierstrekking volgens HBGR (2014)



Figuur 10: Definitieschets Rijkswatersysteem dwarsdoorsnede van een rivierstrekking RWS (2017)

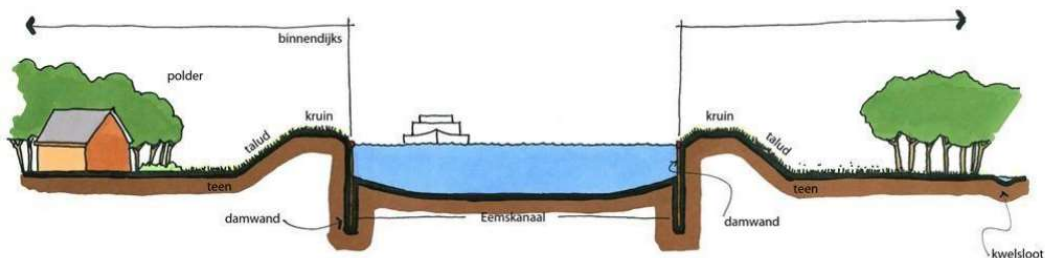
In Tabel 7 worden de door Rijkswaterstaat beheerde componenten samengevat.

aanlegvoorzieningen	hevels en sifons	radarposten
aanloopgebieden	kabels en leidingen	remmingwerken
afmeervoorzieningen	keerconstructies oevers	strandhoofden
ankergebieden	keerplaatsen	strekdammen
baggerspeciedepots	kribben	uiterwaarden
bodem	kribvakken	vaarwegmarkeringen
bodembeschermingen	kwelders	verkeersbegeleidingssystemen
buffers	langsdammen	voorhavens
dijken	met steen beklede oevers	voorlanden
duinen	natuurvriendelijke oevers	vooroevers
duikers	oevers met stortsteen bekleed	watermeetstations
fauna-uitstapplaatsen	overnachtingshavens	

Tabel 7: Componenten van objecten die RWS beheert en onderhoudt, gebaseerd op MinI&M (2015)

2.2.3.4 Element

De componenten in Tabel 7 kunnen verder worden onderverdeeld in *elementen*, waarbij in Figuur 11 een voorbeeld wordt gegeven van een dijk (of beter: kade) langs een kanaalpand. Binnen de component “dijk” kan onderscheid worden gemaakt naar de teen, het binnentalud en de kruin van deze dijk, alsmede de damwandconstructie die het buitentalud beschermt. Het gaat bijvoorbeeld ook om onderdelen van de civiele constructiedelen, zoals kleppen.



Figuur 11: Schematische dwarsdoorsnede van een kanaalpand met elementen volgens AG (2017)

2.2.4 Deelopgave

Binnen het RWS-programma Vervanging & Renovatie wordt gewerkt via het issuemodel, om op zo herleidbaar mogelijke manier te komen tot een prognose van de opgave van de middel-lange termijn. Hierbij wordt onder een *issue* verstaan een probleem dat kan voorkomen bij groepen van objecten met vergelijkbare prestatie-eisen. Een dergelijke groep wordt in het RWS-programma Vervanging & Renovatie aangeduid als een *deelopgave* (zie Tabel 8).

beweegbare bruggen	rivierstrekkingen	stuwen
damwandoevers	schutsluizen (overig)	vaste bruggen
gemalen	schutsluizen (zee)	vistrappen
kanaalpanden	spuisluizen	waterkrachtcentrales
keersluizen	stormvloedkeringen	

Tabel 8: Aanzet tot lijst met relevante deelopgaven natte kunstwerken

De relatie tussen de objecten binnen een deelopgave kunnen voortkomen uit de vergelijkbaarheid in het technische probleem, de functionele of de geografische samenhang. Bij het

voorspellen van de *functionele levensduur* (zie Subparagraaf 2.3.3) van natte kunstwerken bepalen in belangrijke mate de functionele en geografische samenhang de indeling in deelopgaven. Het gaat immers over de mate waarin objecten aan de functie-eisen (zie Subparagraaf 2.4.1) kunnen blijven voldoen; deze functie-eisen hangen sterk samen met het stroomgebied, de transportcorridor en/of de netwerkschakel waar het object onderdeel van is.

2.3 Einde Levensduur

Bij het vaststellen van de *einde levensduur* van assets kan er onderscheid worden gemaakt tussen technische, functionele en economische levensduur.

2.3.1 (Rest)levensduur

Wat betreft de levensduur van een infrastructurele asset bestaat ten eerste de *ontwerplevensduur*, oftewel de geplande gebruiksduur waarop de asset bij aanleg wordt ontworpen. Deze kan anders zijn dan de *werkelijke levensduur* van de asset, welke gelijk is aan de periode tussen de aanleg en de sloop waarin de asset is gebruikt. De *restlevensduur* van een infrastructurele asset is het aantal jaren dat deze naar verwachting nog kan worden gebruikt.



Figuur 12: Toelichting op levensduur en mogelijke ingrepen

2.3.2 Technische Levensduur

Einde technische levensduur wordt bereikt als de asset één of meerdere functies niet meer kan uitvoeren in verband met degradatie van de technische staat (door verouderingsprocessen zoals corrosie) of door niet langer ondersteunde, verouderde technologie.

2.3.3 Functionele Levensduur

In lijn met KpNK (2017b) is er sprake van einde functionele levensduur als een asset één of meer functies niet meer conform de functie-eisen uitvoert. Enerzijds kunnen functie-eisen aan de asset in de loop der tijd strenger of minder streng worden. Anderzijds kan een asset op een bepaald moment door veranderende klimatologische en/of maatschappelijke omstandigheden niet meer aan de gestelde functie-eisen voldoen.

In Figuur 13 is einde functionele levensduur het moment waarop de minimaal benodigde prestatie (rode lijn) juist groter is dan de maximaal leverbare prestatie (blauwe lijn).

2.3.4 Economische Levensduur

Einde economische levensduur kan worden bereikt als de toekomstige kosten voor beheer en onderhoud (inclusief gedeerde baten) minus de toekomstige opbrengsten hoger zijn dan de kosten van vervanging van dat object.

2.4 Prestaties

2.4.1 Functie-eisen

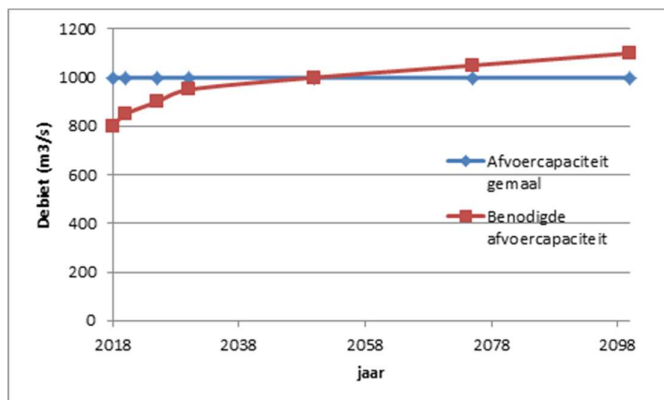
In lijn met RWS (2017) beschrijven de *functie-eisen* in Tabel 9 in kwantitatieve termen wat het beschouwde kunstwerk wat betreft de deeltaken moet kunnen en in welke omstandigheden. RWS (2017) geeft per functie-eis een mogelijke beschrijving van de eis (zie Bijlage D.1) – in feite een definitie van het moment waarop een kunstwerk (formeel gezien) faalt in het uitvoeren van zijn functie(s) – en bijbehorende brondocumenten (zie Bijlage D.2), die kunnen worden gebruikt in een beoordeling van einde functionele levensduur.

2.4.2 Prestatie-eisen

Conform RWS (2017) beschrijven *prestatie-eisen* (als aanvulling op functie-eisen, zie Subparagraaf 2.4.1) – geformuleerd op netwerk-, corridor- en netwerkschakelniveau – met welke kwaliteit de asset de technische functie(s) moet vervullen. Want in hoeverre faalt een kunstwerk nu daadwerkelijk als slechts één keer per jaar een norm voor zoutindringing of ambitie voor beschikbaarheid voor schepen wordt overschreden? Met een *prestatie-eis* wordt dan ook gedoeld op de mate van betrouwbaarheid⁹ waarmee het object een technische functie 'moet' verrichten of de mate waarin een technische functie beschikbaar moet zijn. Het 'moeten' vloeit voort uit de Service Level Agreement (zie Subparagraaf 2.4.4).

2.4.3 Drempelwaarde

In Figuur 13 wordt voor een bepaald toekomstscenario en een bepaalde functie met de rode lijn geschetst welke minimale prestatie er in de tijd van een kunstwerk nodig is om deze functie naar behoren te vervullen. De blauwe lijn, die aangeeft welke maximale prestatie dit kunstwerk voor deze functie kan leveren, wordt aangeduid als de *drempelwaarde*.



Figuur 13: Fictief voorbeeld bepaling einde functionele levensduur

⁹ in feite: hoe vaak het specifieke deel van het netwerk mag falen conform de gekozen faaldefinitie;

deeltaak	(kwalitatieve) functie-eis
keren hoogwater	- voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit (hoogwater) - voldoende weerstand oever tegen overschrijden sterkte/stabiliteit (hoogwater)
afvoeren water, ijs en sediment	- voldoende afvoercapaciteit (hoogwater) - voldoende spuicapaciteit (hoogwater) - voldoende doorvoercapaciteit (hoogwater) - voldoende inlaatcapaciteit (hoogwater) - voldoende pompcapaciteit (hoogwater)
vasthouden water	- voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit (hoogwater)
faciliteren bediening en besturing	- voldoende lage kans op falen sluitproces (hoogwater)
aanvoeren water bij droogte	- voldoende leveringscapaciteit - voldoende (terug)pompcapaciteit
afvoeren water bij overlast	- voldoende afvoercapaciteit - voldoende pompcapaciteit
beperken verzilting (zoet-zout scheiding)	- voldoende lage zoutlast (per schutting)
reguleren en handhaven waterpeil	- voldoende doorlaatcapaciteit - voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit - voldoende pompcapaciteit
faciliteren bediening en besturing	- voldoende lage kans op falen sluitproces
bieden water met basiskwaliteit	- voldoende (chemische) basiskwaliteit water - voldoende doorspoelcapaciteit
bieden leefgebied flora en fauna	- voldoende leefkwaliteit flora en fauna - voldoende verbinding leefgebieden
bieden natuurlijke vismigratieroutes	- voldoende mogelijkheid voor vissen om stroomopwaarts te migreren
mogelijk maken varen	- voldoende doorvaartbreedte - voldoende doorvaarhoogte - voldoende vaardiepte - voldoende vaarcondities (bv stroomsnelheid) - voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit - voldoende aansluiting op natte infrastructuur - voldoende mogelijkheid tot kruisen wegverkeer - beperkte wachttijd per schip (voldoende schutcapaciteit qua aantal en tijdsduur schutcycli) - beperkte wachttijd per schip (qua aantal sluitingen en tijdsduur opening/sluiting)
faciliteren/verzorgen vaarwegverkeer	- voldoende weerstand oeverconstructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit (bovenbelasting)
faciliteren bediening en besturing	- voldoende lage kans op falen opening-/sluitproces

Tabel 9: Kwalitatieve functie-eisen per deeltaak

2.4.4 Service Level Agreement (SLA)

Beheerders zoals Rijkswaterstaat streven naar een balans tussen prestaties, risico's en kosten bij het beheer en onderhoud van hun infrastructurele netwerken. Bij het (op netwerkniveau) sturen op te leveren prestaties en te accepteren risico's maakt Rijkswaterstaat gebruik van *Service Level Agreement (SLA)*, waarin tevens de koppeling wordt gelegd naar het voor beheer en onderhoud beschikbare budget. Dit maakt het mogelijk om *'beter op orde houden van wat belangrijk is, en minder goed op orde houden van wat minder belangrijk is'*; de relatie tussen het maatschappelijk belang en de functie van het netwerk is hierbij bepalend, zie RWS (2013).

2.4.5 Functionele Eenheid (FE)

In netwerkschakelplannen, zie als voorbeeld RWS (2018), worden de prestatie-eisen aan delen van het hoofdwatersysteem gekoppeld. Deze delen zijn *Functionele Eenheden*.

2.4.6 SLA-Functionele Eenheid (SFE)

...

2.4.7 Prestatie Indicator (PIN)

Zoals aangegeven in MinI&M (2015) zijn *prestatie-indicatoren (PIN's)* afgesproken om te kunnen sturen op het realiseren van de prestaties. Deze indicatoren zijn kwantificeerbaar, meetbaar en verbonden aan concrete objecten of transportcorridors. RWS vertaalt de afgesproken prestaties in concrete meerjarige maatregelen.

prestatie-indicator	prestatie-eis 2013-2016
geplande stremmingen	0,8%
technische beschikbaarheid	99%
ongeplande stremmingen	0,2%
vaarwegmarkering op orde	95%
melding stremmingen	95%
handhaven kustlijn	90%
beschikbaarheid stormvloedkeringen	100%
beschikbaarheid streefpeilen	90%
betrouwbaarheid informatievoorziening	95%

Tabel 10: Prestatie-indicatoren HWS/HVWN voor de periode 2013-2016 volgens MinI&M (2015)

3 Ontwikkelingen en gevolgen voor functionele levensduur

3.1 Inleiding

Klimatologische, socio-economische en beleidsmatige ontwikkeling in de toekomst kunnen gevolgen hebben voor de functionele levensduur van objecten binnen een netwerk.

Voorbeeld(en): De klimatologische ontwikkeling van de rivierafvoer in de winterperiode kan zich in de toekomst gaan uiten in meer afvoer, hetgeen tot een afname van doorvaarthoogte en een toename van hydraulische (verval)belasting zal leiden. En een eventuele toename van het aantal scheepvaartbewegingen door meer socio-economische voorspoed zal tot een dusdanig langere wachttijd voor schepen kunnen leiden, dat niet meer aan de prestatie-eis voor een vlotte doorgang van de scheepvaart wordt voldaan.

De gevolgen van dit soort ontwikkelingen worden ten behoeve van beleid vaak samengevat in toekomstscenario's, zie Bijlage C. Het is logisch om, waar mogelijk en rekening houdende met de locatie waarop deze betrekking hebben, van deze toekomstscenario's gebruik te maken.

In dit hoofdstuk worden de mogelijke (locatie-)specifieke gevolgen van toekomstige ontwikkelingen op de volgende gestructureerde wijze neergezet:

- paragraaf: een categorie van ontwikkeling in de toekomst
- subparagraaf: een aspect aan de beschouwde categorie van ontwikkeling
- sub-subparagraaf: een gevolg (op netwerkniveau) van het beschouwde aspect aan de ontwikkeling, dat een aanpassing van de functionele levensduur van de kunstwerken in dit netwerk(deel) kan veroorzaken en in het vervolg als 'driver' wordt aangeduid
- bullets: concreet (locatie-specifiek) belastingeffect op het beschouwde kunstwerk veroorzaakt door de beschouwde driver

Belastingeffecten houden direct verband met de functie-eisen (zie Subparagraaf 2.4.1) en/of prestatie-eisen (zie Subparagraaf 2.4.2), waarmee de koppeling wordt gelegd tussen de verschillende categorieën van toekomstige ontwikkeling en de verwachte impact op de prestatie van objecten binnen het beschouwde netwerkdeel. Voorbeelden van de drivers en belastingeffecten worden in Bijlage D.1 aangedragen.

3.2 Categorie: klimatologische ontwikkeling

3.2.1 Aspect: verandering zeeniveau

3.2.1.1 Driver: zeespiegelstijging

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan een verandering van het zeeniveau in de vorm van een zeespiegelstijging worden verwacht, die invloed zal kunnen hebben op het netwerkdeel in de kustregio's. Afhankelijk van de beschouwde regio of locatie zal dit kunnen leiden tot een verhoogde kans op de volgende belastingeffecten:

- overschrijding van het toelaatbare waterpeil¹⁰ (overmatige overloop);
- overschrijding van de toelaatbare hydraulische (verval)belasting;
- overschrijding van de toelaatbare zoutlast.

Een voorspelling van de bovengrenswaarde van de **zeespiegelstijging** kan worden ontleend aan de Deltascenario's (zie Bijlage C.1 en Figuur 30).

3.2.1.2 *Driver: verhoogde windopzet*

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan een mogelijke toename van de impact door wind (qua aantal stormen en intensiteit) via de daardoor veroorzaakte verhoogde windopzet bijdragen aan een verandering van het zeeniveau. Afhankelijk van de beschouwde regio of locatie zal dit kunnen leiden tot een verhoogde kans op de volgende belastingeffecten:

- overschrijding van het toelaatbare waterpeil (overmatige overloop);
- overschrijding van de toelaatbare hydraulische (verval)belasting.

Voor de toekomstige ontwikkeling van wind (met het oog op een toename van de **windopzet**) zijn op dit moment geen klimaatscenario's beschikbaar.

3.2.2 Aspect: verandering afvoer

3.2.2.1 *Driver: toename neerslag in beheergebied in winterperiode*

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan in de winterperiode een toename aan neerslag (qua hoeveelheid én intensiteit) worden verwacht in het beheergebied waar het beschouwde deel van het netwerk (met kunstwerken) de afwatering voor verzorgt. Dit kan consequenties hebben voor de benodigde afvoercapaciteit van het netwerk. Als gevolg hiervan zal er sprake kunnen zijn van een verhoogde kans op de volgende belastingeffecten:

- tekort aan beschikbare pompcapaciteit (bij gemalen);
- overschrijding van het toelaatbare waterpeil (overmatige overloop);
- overschrijding van de toelaatbare hydraulische (verval)belasting (*buitenwaarts*).

Een voorspelling van de bovengrenswaarde van de **neerslaghoeveelheden in de winter** kan worden ontleend aan de KNMI klimaatscenario's (zie Bijlage C.1 en Figuur 30).

3.2.2.2 *Driver: toename (rivier)afvoer naar beheergebied in winterperiode*

Ook in het bovenstrooms van het beheergebied gelegen stroomgebied van de Rijn, Maas en Overijsselse Vecht kan als gevolg van klimatologische ontwikkeling een toename van de neerslag, en daarmee een toename in de rivierafvoer naar het beheergebied toe worden verwacht. Afhankelijk van de beschouwde regio of locatie zal dit kunnen leiden tot een verhoogde kans op de volgende belastingeffecten:

- overschrijding van het toelaatbare waterpeil (overmatige overloop);
- overschrijding van de toelaatbare hydraulische (verval)belasting;

¹⁰ In de SFE's voor peilbeheer wordt gesteld dat de onder- en bovengrenzen voor het dag-gemiddelde waterpeil niet mogen worden onder- of overschreden. Eisen zijn gesteld aan peillocaties, niet aan specifieke kunstwerken.

- tekort aan doorvaarthoogte¹¹ (bij vaste bruggen)

Een voorspelling van de bovengrenswaarde van de **(rivier)aanvoer** kan aan de KNMI klimaatscenario's (zie Bijlage C.1 en Figuur 30), welke met behulp van het GRADE-instrumentarium Deltares (2014b) in afvoeren zijn vertaald.

3.2.2.3 *Driver: afname neerslag in beheergebied in zomerperiode*

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan in de zomerperiode een afname aan neerslag worden verwacht in het beheergebied waar het beschouwde deel van het netwerk (met de kunstwerken) de wateraanvoer bij droogte voor verzorgt. Dit kan consequenties hebben voor watervraag vanuit de regio aan het Hoofdwatersysteem (aanvoer vanuit kanalen en rivieren); droogte kan er voor zorgen dat grondwaterstanden in het beheergebied dalen, waardoor verzilting toeneemt en de stabiliteit van damwanden extra op de proef wordt gesteld. Als gevolg hiervan zal er sprake kunnen zijn van een verhoogde kans op de volgende belastingeffecten:

- tekort aan (zoet) water;
- overschrijding van de toelaatbare zoutlast (tegendruk in beheergebied verminderd);
- overschrijding van de toelaatbare hydraulische (verval)belasting (*binnenwaarts*).

Een voorspelling van de ondergrenswaarde van de **neerslaghoeveelheden in de zomer** kan worden ontleend aan de KNMI klimaatscenario's (zie Bijlage C.1 en Figuur 30).

3.2.2.4 *Driver: afname rivierafvoer naar beheergebied in zomerperiode*

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan bovenstreams van het beheergebied in de zomerperiode een afname aan rivierafvoer worden verwacht, als gevolg van een toename aan droogteperiodes (qua aantal en tijdsduur) en/of afname van smeltwater. Deze afname van de rivierafvoer kan ook invloed hebben op de vereiste kanaaldoorvoer. Als gevolg hiervan zal er sprake kunnen zijn van een verhoogde kans op de volgende belastingeffecten:

- tekort aan (zoet) water;
- overschrijding van de toelaatbare zoutlast (tegendruk vanuit rivieren verminderd);
- overschrijding van de toelaatbare hydraulische (verval)belasting (*buitenwaarts*);
- tekort aan vaardiepte¹² (in kolken, kanaalpannen en/of rivierstrekkingen).

¹¹ De (geambieerde) doorvaarthoogte bij hoogwater is gelijk aan de afstand tussen de MHWS (maatgevende hoge waterstand scheepvaart) en het niveau van de onderzijde van het brugdek. De MHWS op kanalen is in MinI&W (2017) gedefinieerd als de waterstand die in de laatste periode van 10 jaar gedurende 1% van de tijd wordt overschreden. In rivieren met langdurige waterstandsvariaties is de MHWS gelijk aan de waterstand die in de laatste periode van 10 jaar eenmaal gedurende een aaneengesloten periode van 24 uur wordt overschreden.

Voor het bepalen van het MHWS kan gebruik worden gemaakt van LSM-LT (zie Bijlage E.5.2.1). Voor rivieren kan ook van Riskeer (zie Bijlage E.8.1) gebruik gemaakt worden om de 1/10 per jaar waterstand op de as van de rivier te bepalen. Als alternatief zou voor de kanalen een schatting gemaakt kunnen worden van het MHWS door deze gelijk te stellen aan de bovengrens van het peil (regulier waterpeilbeheer).

¹² Volgens MinI&W (2017) dient bij het normale vaarprofiel de diepte van de vaarweg tenminste 1,4 keer de geladen diepgang van het stilliggende maatgevende schip te bedragen ten opzichte van de MLWS (Maatgevende Lage Waterstand). Deze factor bedraagt 1,3 voor het krappe profiel en het enkelstrooksprofiel. De MLWS is de waterstand, die gemiddeld 1% van de tijd wordt onderschreden, gemeten over een langjarige periode van tenminste 10 jaar. De hier genoemde diepte van de vaarweg moet te allen tijde aanwezig zijn. Dat houdt in, dat

Een voorspelling van de ondergrenswaarde van de **riviertoevoer als gevolg van droogte** kan worden ontleend aan de KNMI klimaatscenario's (zie Bijlage C.1 en Figuur 30). Deze voorspellingen zijn met behulp van het GRADE-instrumentarium, zie Deltares (2014b), vertaald in afvoeren. Deze scenario's zijn tevens gebruikt in de knelpuntenanalyse van het Deltaprogramma Zoetwater.

3.2.3 Aspect: verandering temperatuur

3.2.3.1 Driver: verhoogde luchttemperatuur

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan een stijging van de (gemiddelde) temperatuur worden verwacht, die invloed kan hebben op de luchttemperatuur in het beheergebied. Een verhoogde luchttemperatuur kan ertoe kunnen leiden dat bewegende delen van kunstwerken (zoals het brugdek van een beweegbare brug over een vaarweg) meer uitzetten en klemmen, als gevolg waarvan er sprake zal kunnen zijn van een verhoogde kans op het belastingeffect:

- overschrijding van de toelaatbare (gemiddelde) wachttijd voor scheepvaartverkeer.

Een voorspelling van de bovengrenswaarde van de **luchttemperatuur** kan worden ontleend aan de KNMI klimaatscenario's (zie Bijlage C.1) of de website van het KNMI.

3.2.4 Aspect: verandering van ecologische waterkwaliteit

3.2.4.1 Driver: verhoogde watertemperatuur

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan een stijging van de (gemiddelde) temperatuur worden verwacht. Dit kan ook tot een verhoogde watertemperatuur in het beheergebied leiden, als gevolg waarvan er sprake zal kunnen zijn van een verhoogde kans op een afname van de vereiste (ecologische) waterkwaliteit:

- onderschrijding van de vereiste (ecologische) waterkwaliteit.

Een voorspelling van de bovengrenswaarde van de **watertemperatuur** kan worden ontleend aan de KNMI klimaatscenario's, welke aan de hand van het Landelijke Temperatuur Model (LTM) naar watertemperaturen kunnen worden doorvertaald. Het LTM is onderdeel van het Nationaal Water Model (NWM).

3.2.4.2 Driver: Verhoogde verzuringsgraad grote wateren

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kan een stijging van de broeikasgassen leiden tot meer CO₂ dat in het water oplost. Dit kan tot een verhoogde verzuringsgraad in het beheergebied leiden, als gevolg waarvan...

- onderschrijding van de vereiste waterkwaliteit.

de onderhoudsdiepte of baggerdiepte groter of gelijk moet zijn aan de hier genoemde vaarwegdiepte, afhankelijk van de verwachte aanslibbing en de frequentie waarmee gebaggerd wordt.

Voor het bepalen van de MLWS kan gebruik worden gemaakt van LSM-LT (zie Bijlage E.5.2.1). Eigenlijk is LSM-LT hier niet nauwkeurig genoeg voor. Bij gebrek aan beter gebruiken we dit echter ook voor het Deelprogramma Zoetwater. Een aanbeveling blijft om dit te verbeteren, of gebruik te maken van metingen.

Een voorspelling van de bovengrenswaarde van de verzuringsgraad van een aantal grote wateren kan worden gebaseerd op de klimaatscan, zie Deltares (2019).

3.2.5 Aspect: verandering bodemniveau

3.2.5.1 *Driver: toename (autonome) bodemdaling*

Onafhankelijk van de klimatologische ontwikkeling kan een locatie-specifieke bodemdaling plaatsvinden, waarbij er onderscheid wordt gemaakt tussen de postglaciale bodemdaling en bodemdaling door (een combinatie van) grondwaterstandsverlaging, oxidatie van veen en winning van delfstoffen (zoals gas en zout). Door klimaatontwikkelingen kan de tweede bijdrage worden versneld. Uitgaande van goed gefundeerde objecten zal vooral de postglaciale bodemdaling, in combinatie met een verhoogd waterniveau door zeespiegelstijging en verhoogde rivierafvoer, kunnen leiden tot een verhoogde kans op:

- overschrijding van het toelaatbaar waterpeil (overmatige overloop);

Informatie over de huidige ontwikkeling van de bodemdaling in Nederland is te vinden op de website www.bodemdalingskaart.nl/.

3.2.5.2 *Driver: toename morfologische activiteit*

Als gevolg van klimatologische ontwikkeling kunnen veranderingen in het zeeniveau en rivierafvoer verwacht. Beide veranderingen hebben invloed op de waterbewegingen in het netwerk, en daarmee op de morfologische activiteit rondom de kunstwerken. Hierbij dient netto op jaarbasis zowel te worden gedacht aan meer (sedimenteren) als minder sediment (eroderen). Als gevolg hiervan zal er sprake kunnen zijn van een verhoogde kans op de belastingeffecten:

- tekort aan vaardiepte (in kolken, kanaalpanden en/of rivierstrekkingen).

Informatie over de huidige ontwikkeling rondom het bodemniveau in de Rijn-Maasmonding is te vinden in Deltares (2016b).

3.3 Categorie: socio-economische ontwikkeling

3.3.1 Aspect: verandering verkeersintensiteit

3.3.1.1 *Driver: toename aantal vervoersbewegingen (scheepvaart)*

Als gevolg van socio-economische ontwikkeling op globale, nationale en/of regionale schaal kan een verandering in het aantal vaarbewegingen worden verwacht. Dit zal bij bruggen, sluisen, kanaalpanden en/of rivierstrekkingen kunnen leiden tot een verhoogde kans op:

- overschrijding van de toelaatbare (gemiddelde) wachttijd voor schepen;
- overschrijding van de toelaatbare zoutlast (bij zeesluizen).

Een voorspelling van de verandering van het aantal vervoersbewegingen over het water (scheepvaart) kan worden ontleend aan de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (zie Bijlage C.2, MinI&M (2017a) en MinI&M (2017b)).

3.3.1.2 *Driver: toename aantal vervoersbewegingen (weg)*

Als gevolg van socio-economische ontwikkeling op globale, nationale en/of regionale schaal kan een verandering in het aantal verkeersbewegingen over de weg worden verwacht. Dit zal bij beweegbare bruggen kunnen leiden tot een verhoogde kans op:

- overschrijding van de toelaatbare (gemiddelde) wachttijd voor schepen.

Een voorspelling van de verandering van het aantal vervoersbewegingen over de weg kan worden ontleend aan de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (zie Bijlage C.2, MinI&M (2017a) en MinI&M (2017b)).

3.3.2 Aspect: verandering vervoersvorm

3.3.2.1 *Driver: schaalvergroting vloot*

Er kan worden verwacht dat de globale trend van de schaalvergroting binnen de vloot zich gaat doorzetten, wat zich in veranderingen van zowel scheepsafmetingen als het vermogen van de scheepsmotoren kan uiten. Dit zal kunnen leiden tot een verhoogde kans op:

- tekort aan doorvaartbreedte¹³ (bij kolken, kanaalpanden en/of rivierstrekkingen);
- tekort aan vaardiepte (in kolken, kanaalpanden en/of rivierstrekkingen);
- tekort aan doorvaarthoogte (bij vaste bruggen);
- overschrijding toelaatbare hydraulische belasting (op de bodem bij kolken, kanaalpanden en rivierstrekkingen).

3.3.2.2 *Driver: verandering vaarwijze*

Er kan worden verwacht dat de vaarwijze van de vloot gaat veranderen, wat zich kan uiten in een verandering van zowel de groepsgrootte (*platooning*) als de mate van autonomie waarin schepen varen (*smart shipping*). Ondanks dat het nog onduidelijk is welk effect beide veranderingen op de operatie van het netwerk zullen hebben, wordt hier voorlopig gesteld dat dit zal kunnen leiden tot een verlaagde kans op:

- overschrijding van de toelaatbare (gemiddelde) wachttijd voor schepen.

3.4 Categorie: beleidsmatige ontwikkeling

3.4.1 Aspect: veranderende wetgeving

3.4.1.1 *Driver: strenger worden Waterwet*

Door klimatologische ontwikkeling, en de daarmee samenhangende toenemende risico's op overstromingen, kan worden verwacht dat de wettelijke eisen aan de veiligheid van het netwerk en de daarvan deel uitmakende kunstwerken strenger worden. Bij waterkerende kunstwerken zal dan kunnen worden gedacht aan een verhoogde kans op het volgende (belasting)effect:

- significante verhoging eisen (i.e. strengere normen) aan veiligheid tegen overstromen.

¹³ Volgens de FLSA-methode bereikt een vaarwegvak met betrekking tot de 'doorvaartwijdte' einde functionele levensduur, indien de minimale benodigde doorvaartwijdte breder is dan de beschikbare doorvaartwijdte. MinI&W (2017) geeft richtlijnen over de benodigde afmetingen van het doorvaatprofiel per CEMT-klasse I tot en met V. De minimale doorvaartbreedte van een vaarweg is afhankelijk van de verkeersintensiteit.

3.4.1.2 *Driver: strenger worden Bouwbesluit*

Door klimatologische ontwikkeling, en de daarmee samenhangende toenemende risico's op extreme belastingsituaties, kan worden verwacht dat de wettelijke eisen aan de veiligheid van het netwerk en de daarvan deel uitmakende kunstwerken strenger worden. Bij alle kunstwerken zal dan kunnen worden gedacht aan een verhoogde kans op het volgende (belasting)effect:

- significante verhoging eisen aan constructieve veiligheid.

3.4.2 Aspect: verandering beleid gerelateerd aan gebruik van RWS-netwerken

3.4.2.1 *Driver: uitbreiding van functionaliteit kunstwerk*

Door een functionele uitbreiding van een kunstwerk waarmee in het ontwerp geen rekening is gehouden, bijvoorbeeld een stuw die vanuit oogpunt van duurzaamheid ook als waterkrachtcentrale wordt ingezet, zal er sprake kunnen zijn van een verhoogde kans op:

- overschrijding van de toelaatbare betrouwbaarheidseisen bij het uitvoeren van (andere) functie(s).

3.4.2.2 *Driver: verandering scheepvaartbeleid*

Door een ontwikkeling in de ambities wat betreft de te faciliteren scheepvaartklasse in een corridor, netwerkschakel, kanaalpand en/of rivierstrekking waarmee in het ontwerp geen rekening is gehouden, zal er sprake kunnen zijn van een verhoogde kans op:

- tekort aan doorvaartbreedte (bij kolken, kanaalpanden en/of rivierstrekkingen);
- tekort aan vaardiepte (in kolken, kanaalpanden en/of rivierstrekkingen);
- tekort aan doorvaarthoogte (bij vaste bruggen);

3.4.2.3 *Driver: verandering landbouwbeleid*

Door een ontwikkeling in de wijze waarop landbouw in het beheergebied wordt bedreven kan een verandering in beschikbare hoeveelheid (grond)water worden verwacht. Deze (opgelegde) verandering van beleid zal de kans kunnen verhogen op het volgende belastingeffect:

- tekort aan (zoet) water.

N.B. Extensivering van de landbouw is ook een mogelijkheid ten gevolge van de stikstofcrisis. Andere ontwikkelingen die een positieve invloed kunnen hebben op de watervraag zijn ontwikkelingen als slim watermanagement en verbeteringen in de inrichting van het landschap (water vasthouden, groene daken, verticale drainage, etc).

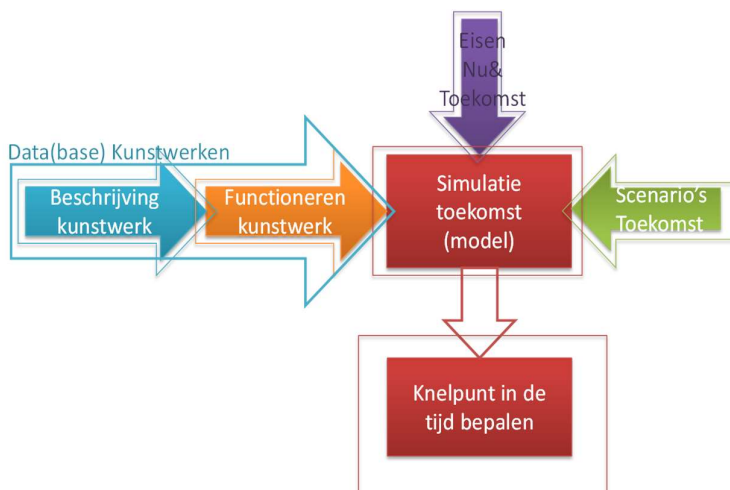
4 Functionele Levensduur

4.1 Toolbox Functionele Levensduur

Voor het bepalen van het juiste vervangingsmoment en het type vervanging van een kunstwerk is inzicht in zowel einde functionele als einde technische levensduur van deze asset vereist. In lijn met Subparagraaf 2.3.3 is de functionele levensduur de periode dat de asset de functies conform de functie-eisen uitvoert. In dit hoofdstuk wordt de Toolbox Functionele Levensduur toegelicht waarmee deze kan worden vastgesteld, inclusief de bijbehorend stappenplannen.

4.1.1 Methodiek

In KpNK (2017b) is op basis van verschillende studies tot een generieke transparante Methode Functionele Levensduur gekomen om einde functionele levensduur te bepalen (zie Figuur 14) die voor alle watersystemen en alle functies kan worden gebruikt. Deze bestaat uit samenhangende bouwstenen en bij de opzet is voortgebouwd op de Gevoeligheidstest Natte Kunstwerken uit VONK volgens HKV (2014b) en HKV (2015). In Figuur 15 wordt aangegeven welke kenmerken per bouwsteen kunnen worden beschouwd.

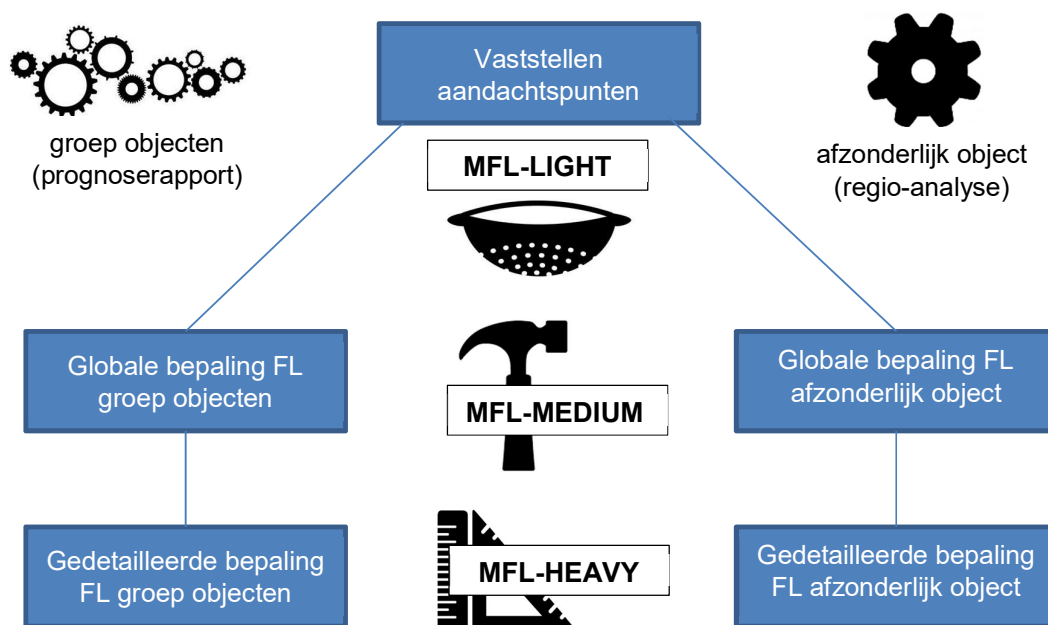


Figuur 14: Bouwstenen voor bepaling einde functionele levensduur van een specifiek object

Beschrijving kunstwerk	Functioneren kunstwerk	Scenario's toekomst	Eisen	Knelpunt in de tijd bepalen
Doel	het kunstwerk zelf	klimaatscenario's	SLA	modellen
Beschrijving systeem	in het systeem	socio-economisch	PINS	
(bijv. onderdeel van corridor)		ontwikkeling netwerk	Peilbesluiten, waterakkoorden	
hydraulische kenmerken	prestatie object		Toekomstige eisen	
bediening, operatie	prestatie netwerk		relatie eis kw eis systeem	

Figuur 15 : Voorbeelden van kenmerken van de vijf bouwstenen volgens KpNK (2017b)

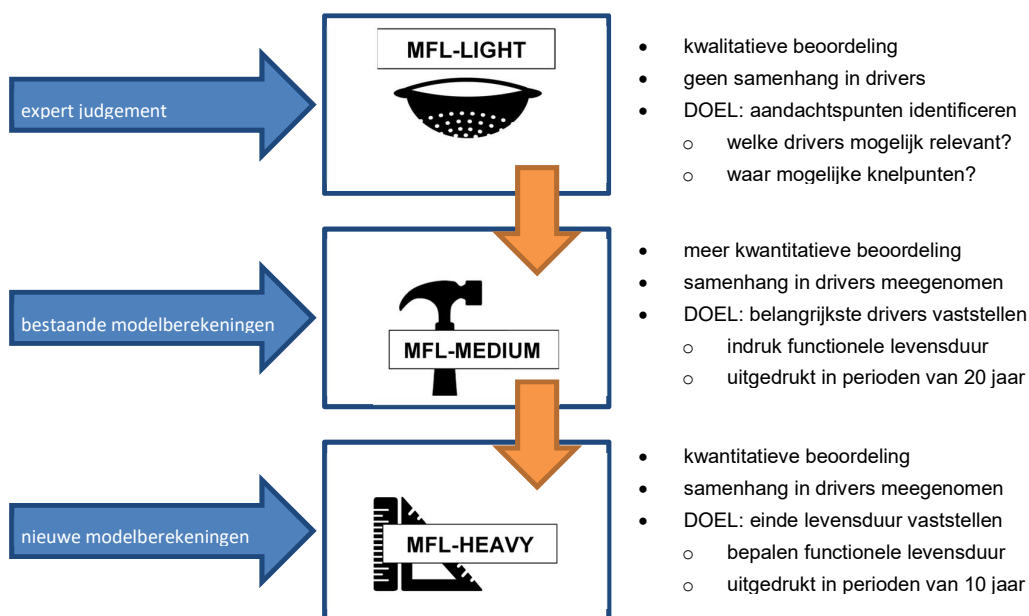
Indien rekening wordt gehouden met de tekortkomingen in de beschikbare rekenmodellen in Hoofdstuk 5, dan kunnen deze binnen de Toolbox Functionele Levensduur op de niveaus MFL-LIGHT en MFL-MEDIUM worden ingezet voor het inschatten van einde functionele levensduur van een afzonderlijk object of een samenhangende groep van objecten binnen een deelsysteem (zie Figuur 16). Voor het niveau MFL-HEAVY wordt dat nog niet aanbevolen.



Figuur 16: Stroomschema binnen Toolbox Functionele Levensduur

4.1.2 Beoordelingsniveaus

Hieronder wordt per niveau een korte beschrijving gegeven van de uitgangspunten en het doel van het betreffende beoordelingsniveau, alsmede van de vereiste informatie op dat niveau.



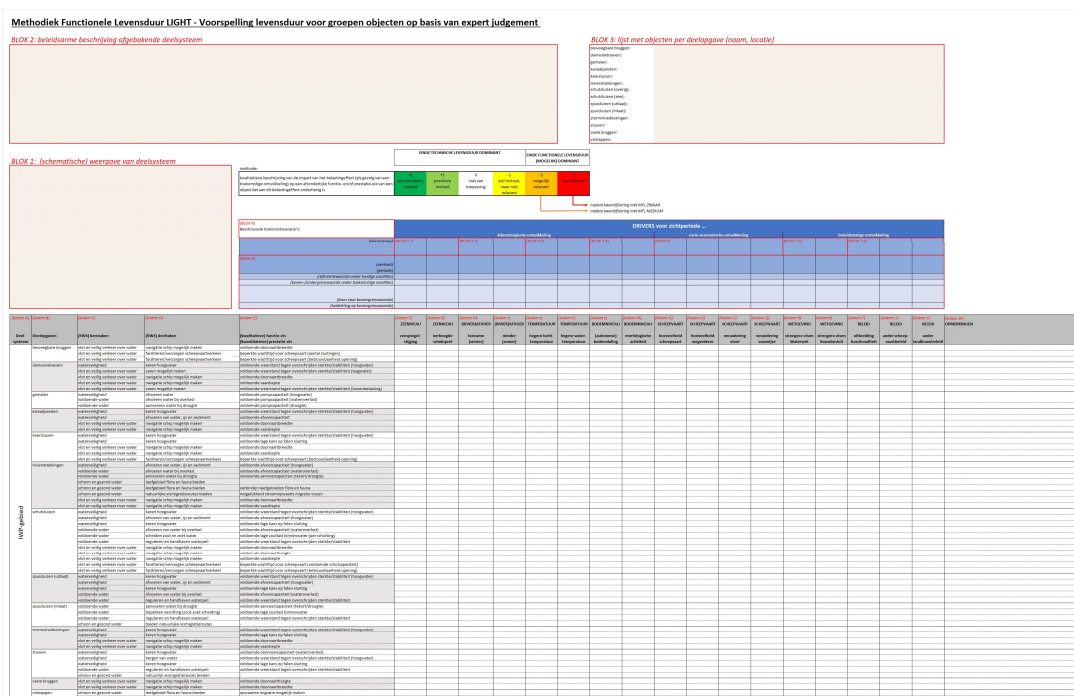
Figuur 17: Overzicht van beschikbare beoordelingsniveaus in Toolbox Functionele Levensduur

4.1.2.1 Beoordelingsniveau MFL-LIGHT

Op dit niveau kan met Bijlage B een kwalitatieve beoordeling van de functionele levensduur worden gemaakt op basis van expert judgement¹⁴ (zie Figuur 18). Dit betreft een zeer positieve invloed (+2), positieve invloed (+1, niet van toepassing (0), wel invloed maar niet relevant (-1), mogelijk relevant (-2) en zeer relevant (-3). Om deze beoordeling behapbaar te houden, moet rekening worden gehouden met de volgende uitgangspunten:

- Om een inschatting te kunnen maken van de kwalitatieve impact van toekomstige ontwikkelingen, is voor alle relevant geachte drivers inzicht nodig in de grootte van de verandering (bv waterpeil) op basis van het volgende noodzakelijk:
 - een locatie-specifieke referentiewaarde onder de huidige condities;
 - een locatie-specifieke boven- of ondergrenswaarde onder de toekomstige condities aan het einde van de zichtperiode nodig;
- Bij het beoordelen van de kwalitatieve invloed van de toekomstige ontwikkelingen wordt steeds één relevant geachte driver en één functie- of prestatie-eis beschouwd.

Het doel van de kwalitatieve beoordeling op dit niveau is het vaststellen van de functioneel gezien kwetsbare objecten binnen het beschouwde netwerk(deel), hetgeen aandachtspunten oplevert voor een meer gedetailleerde beoordeling. Dat zijn de relevant geachte drivers met een kwalitatieve impact op een functie- of prestatie-eis groter of gelijk aan '-2' (mogelijk relevant). Dit bepaalt daarmee de focus voor een eventuele meer gedetailleerde beoordeling.



Figuur 18: Voorbeeld van MFL-LIGHT werkblad tbv kwalitatieve beoordeling

¹⁴ er wordt opgemerkt dat voor zowel objectgroepen (zie voorstel onder Figuur 2) als voor afzonderlijke objecten een 'light' voorspelling van einde functionele levensduur op basis van expert judgement kan worden gemaakt;

De vereiste informatie van de deelopgaven of afzonderlijke objecten binnen het beschouwde deelsysteem op dit niveau kan worden ontleend aan Bijlage B.

N.B. De gestructureerde en vereenvoudigde opzet van de MFL-LIGHT beoordeling blijkt voor meerdere doeleinden bruikbaar. Zo is in KpNK (2020) in een regio-advies de toekomstbestendigheid van verschillende varianten voor een vervanging beschouwd. Hieruit is geconcludeerd dat de methode een snelle manier kan bieden om in beeld te brengen in hoeverre met de varianten toekomstige ontwikkelingen kunnen worden opgevangen.

Drivers	Gevolg	scheepvaart	hoogwaterveiligheid	volgende water	V1	V2	V3	V4	V1+	V2+	V3+	N1
Weurt												
lagere zomeraanvoeren Maas en Waal	beperkte vaardiepte+ langere wachttijden	-			0	0	0	0	++	++	++	++
hogere winteraanvoer Waal	grotere kerende hoogte	-			0	0	0	0	+	+	+	+
bodemdaling Waal	vaardiepte Waalzijde beperkt	-			0	0	0	0	++	++	++	++
verandering scheepvaart	meer grote en dieper geladen schepen	-			0	+	0	0	++	++	++	++
Heumen												
lagere zomeraanvoeren Maas	dieptebeperking schutsluis	-			0	0	0	0	0	0	0	0
hogere winteraanvoeren Maas	grotere kerende hoogte	-			0	0	+	++	0	+	+	+
hogere winteraanvoeren Maas	keersluis vaker ingezet; dieptebeperking + capaciteit beperkt	-			0	0	0	-	0	+	-	+
hogere winteraanvoeren Maas+Waal	keersluis vaker ingezet; meer pompcapaciteit	-			0	0	0	-	+	+	-	+
verandering scheepvaart	meer grote en dieper geladen schepen	-			0	0	0	-	0	+	0	+

Figuur 19: Relevante drivers voor verschillende vervangingsvarianten Maas-Waalkanaal volgens KpNK (2020)

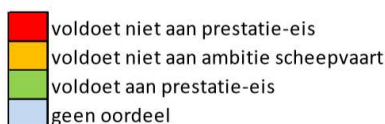
4.1.2.2 Beoordelingsniveau MFL-MEDIUM

Op dit niveau kan voor de aandachtspunten een meer kwantitatieve beoordeling van de functionele levensduur worden gemaakt op basis van al beschikbare getalsmatige resultaten uit modelberekeningen; er hoeven geen nieuwe modelberekeningen te worden uitgevoerd. In de beoordeling dient het effect van zowel de functionele samenhang in het netwerk als de samenhang tussen relevante drivers te worden beschouwd.

Het doel van de kwantitatieve beoordeling op dit niveau is ten eerste het vaststellen welke drivers daadwerkelijk relevant zijn voor de functionele levensduur. Tevens levert het een eerste indruk van de periode waarin einde functionele levensduur naar verwachting optreedt, waarbij onderscheid wordt gemaakt in (relatief lange) perioden van 20 jaar.

De vereiste informatie voor de aandachtspunten van de deelopgaven of afzonderlijke objecten binnen het beschouwde deelsysteem op dit niveau betreft beschikbare resultaten uit de rekenmodellen (zie Bijlage E) die zouden moeten worden ingezet om tot voorspellingen van de prestaties op de (mogelijk) relevante functies te komen.:

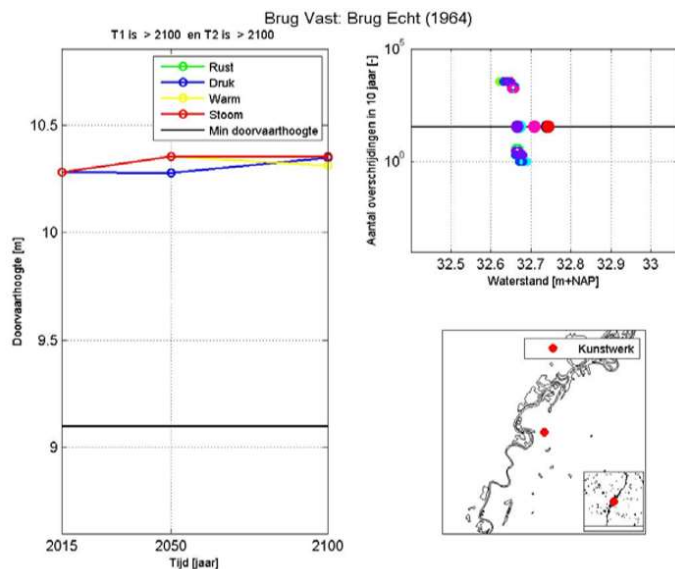
type prestatie-eis	locatie	onderdeel	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
waterveiligheid - kernen hoogwater	Grensmaas	dijken	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood	rood
	Limmel	keersluis	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen
	Julianakanaal	kanaalpand	geen geschikt model/info								
waterveiligheid - afvoeren water	Grensmaas	bodembescherming	geen pin								
	Julianakanaal	bodembescherming	geen pin								
laagwater-peilbeheer	Grensmaas	stuw Borgharen, stuw Linne, beheer	geen geschikt model/info								
	Julianakanaal-bovenpand	pompen Born, stuw Borgharen, beheer	geen geschikt model/info								
laagwater-ecologie	Julianakanaal-benedenpand	pomp Maasbracht, stuw Linne, beheer	geen geschikt model/info								
	Grensmaas	beheer, stuw Borgharen	geen pin								
schoon en gezond water -	Borgharen	vispassage	geen pin								
Vlot en veilig verkeer over water - diepte	Julianakanaal-bovenpand	pand	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	Julianakanaal-benedenpand	pand	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	Born	sluis	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen
Vlot en veilig verkeer over water - breedte	Maasbracht	sluis	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen
	Julianakanaal-bovenpand	bruggen + pand	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	Julianakanaal-benedenpand	bruggen + pand	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
Vlot en veilig verkeer over water - hoogte	Born	sluis	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen
	Maasbracht	sluis	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen
	Julianakanaal-bovenpand	bruggen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
Vlot en veilig verkeer over water - vaartuigerverliesuren	Julianakanaal-benedenpand	bruggen	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje	oranje
	Born	sluis	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen
	Maasbracht	sluis	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen	groen



Figuur 20: Voorbeeld van resultaat MFL-MEDIUM beoordeling volgens KpNK (2018a)

4.1.2.3 Beoordelingsniveau MFL-HEAVY

Een beoordeling op dit detailniveau vereist een grote inspanning; budgetten en capaciteit zullen waarschijnlijk alleen in uitzonderlijke gevallen beschikbaar zijn. Op dit niveau wordt dan ook alleen voor de daadwerkelijk relevante drivers een kwantitatieve beoordeling van de functionele levensduur gemaakt op basis van locatie-specifieke resultaten uit nieuwe berekeningen met rekenmodellen. Daarbij dient rekening te worden gehouden met tekortkomingen in de beschikbare rekenmodellen (zie Bijlage E). In de beoordeling dient het effect van de verschillende relevante drivers in samenhang te worden beschouwd.



Figuur 21: Voorbeeld van resultaat MFL-HEAVY beoordeling ontleend aan HKV (2014b)

Het doel van de kwantitatief beoordeling op dit niveau is het vaststellen van de periode waarin einde functionele levensduur naar verwachting optreedt, waarbij onderscheid wordt gemaakt in (relatief korte) perioden van 10 jaar. De lengte van deze periode kan worden teruggebracht als de huidige tekortkomingen in de rekenmodellen (zie Bijlage E) worden aangepakt.

De vereiste (detail)informatie voor de relevante drivers van de deelopgaven of afzonderlijke objecten binnen het beschouwde deelsysteem op dit niveau hangen af van de informatie die de rekenmodellen als input vereisen (zie Bijlage E).

4.1.3 Omvang van beschouwde objecten

De inschatting van einde functionele levensduur met de Toolbox Functionele Levensduur op verschillende beoordelingsniveau kan zowel op een deelopgave (zoals in het prognoserapport) als op afzonderlijke objecten (zoals in een regio-analyse) worden losgelaten.

4.2 Belangrijke aspecten

4.2.1 Onzekerheden

De nauwkeurigheid van het ingeschatte tijdstip van einde functionele levensduur van een deelopgave of object hangt in ieder geval af van een aantal aspecten:

- de kwaliteit en/of nauwkeurigheid van de beschikbare gegevens over ontwikkelingen uit de onderbouwende literatuur en/of rapporten;
- de kennis van de beschikbare experts over de samenhang in functie-eisen en drivers binnen het beschouwde deelgebied;
- de beschikbaarheid van literatuur en/of rapporten om de beoordeling van de beschikbare experts te kunnen onderbouwen;
- de nauwkeurigheid van de beschikbare rekenmodellen en de mate waarin de geschematiseerde (groep van) object(en) binnen het toepassingsgebied van een rekenmodel passen.

Over het algemeen is er sprake van een minder nauwkeurige inschatting van het tijdstip van einde functionele levensduur af als de experts minder gebiedskennis hebben, de beoordeling niet kan worden onderbouwd, de kwaliteit van onderbouwende literatuur minder is, de rekenmodellen minder nauwkeurig zijn en/of de te schematiseren objecten minder goed passen binnen het toepassingsgebied van het rekenmodel.

4.2.2 Impact op combinatie drivers en/of functies

Zoals aangegeven in Subparagraaf 4.1.2.1 wordt bij het beoordelen van de kwalitatieve invloed van de toekomstige ontwikkelingen met de MFL-LIGHT steeds één relevant geachte driver en één functie- of prestatie-eis beschouwd. In werkelijkheid zullen veel complexere situaties kunnen worden tegengekomen. Hierbij wordt aan situaties gedacht waarin:

- een combinatie van onafhankelijke drivers impact heeft op één functie-eis;
- een combinatie van drivers elkaar verzwakt of versterkt;
- meer dan één object een bijdrage¹⁵ levert aan een functie-eis aan het netwerk, waarbij 'slechts' één driver significante impact heeft;

¹⁵ een voorbeeld van deze situatie betreft de beperking van de zoutindringing via het Noordzeekanaal waarin de schutsluis bij IJmuiden (zoutlast), het gemaal en de spuisluis een bijdrage leveren;

- meer dan één object een bijdrage levert aan een functie-eis aan het netwerk, waarbij verschillende drivers significante impact hebben.

In de interpretatie van de resultaten bij de MFL-LIGHT beoordeling (zie STAP L9 in Subparagraaf 4.3.1) wordt expliciet aandacht geschonken aan hoe met deze complexe situaties om te gaan. Hiervoor wordt ook verwezen naar de Proof of Concept voor de toepassing van de MFL-LIGHT beoordeling richting het Prognoserapport in Bijlage F.2.

4.2.3 Vertaling eisen van systeem naar object

Belangrijk in case Grensmaas-Julianakanaal was de vertaling van systeemeisen naar een individueel object; het kunnen voldoen aan bepaalde prestatie-eisen aan onderdelen van het netwerk kan afhangen van meerdere object(en).

4.2.4 Overige aspecten

Er moet nog worden nagaan of de beschrijving van het beschouwde deelsysteem niet beter kan plaatsvinden vanuit de te vervullen functies, in plaats van vanuit de aanwezige deelopgaven of afzonderlijke objecten (zoals nu in de handleiding is aangehouden).

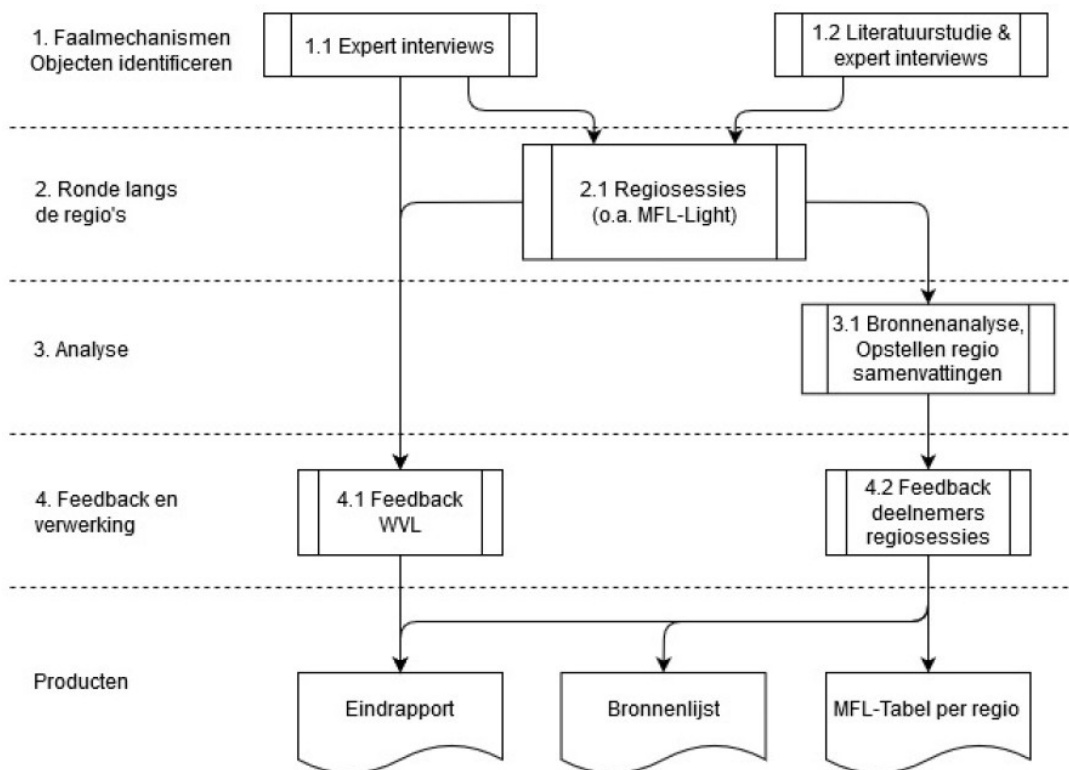
4.3 Stappenplan per niveau

4.3.1 Stappen in MFL-LIGHT beoordeling

Voor het kwalitatief inschatten van einde functionele levensduur van objecten op basis van expert judgement – om de aandachtspunten voor de meer gedetailleerde vervolgbeoordeling vast te stellen – moeten met behulp van het werkblad in Bijlage B de onderstaande stappen achtereenvolgens worden doorlopen. Bij de beschrijving van de (deel)stappen wordt in de meest rechter kolom met rode tekst aangegeven op welke deel van het werkblad de (deel)stap betrekking heeft. Zie Figuur 22 voor een overzicht van de locaties in het werkblad.

Dit stappenplan is tot stand gekomen op basis van twee voorbeeldcases (zie Bijlage D.1), waarin de aanwezige deelopgaven binnen een IWP-deelgebied in de context van het prognoserapport zijn beschouwd. Daarnaast is met behulp van de MFL-LIGHT methode een klimaat stress test van de objecten in het HWS uitgevoerd, zie Figuur 23 en RWS (2020). Naar verwachting is ditzelfde stappenplan bruikbaar voor een regio-analyse.

N.B. In RWS (2020) wordt voor de efficiëntie aanbevolen om in het doorlopen van de stappen eerst een regionale waterbeheerder (van de Afdeling Netwerkontwikkeling en Visie) te raadplegen – om tot een concept functionele beschrijving te komen en vast te stellen of drivers een positieve, neutrale of negatieve impact hebben op het functioneren – en daarna pas met objectbeheerders (op individuele basis) tot een definitieve beschrijving (inclusief onderbouwing met literatuur) en beoordeling te komen. Op de beoordeling (i.e. de samenvattende analyse en het handelingsperspectief) kan tot slot vanuit de Afdeling Water en Ruimtegebruik een controleslag worden uitgevoerd.



Figuur 23: Mogelijke aanpak bij uitvoeren MFL-LIGHT, zie RWS (2020)

4.3.1.1 STAP L1 – Beleidsarme¹⁶ beschrijving regio en deelgebieden

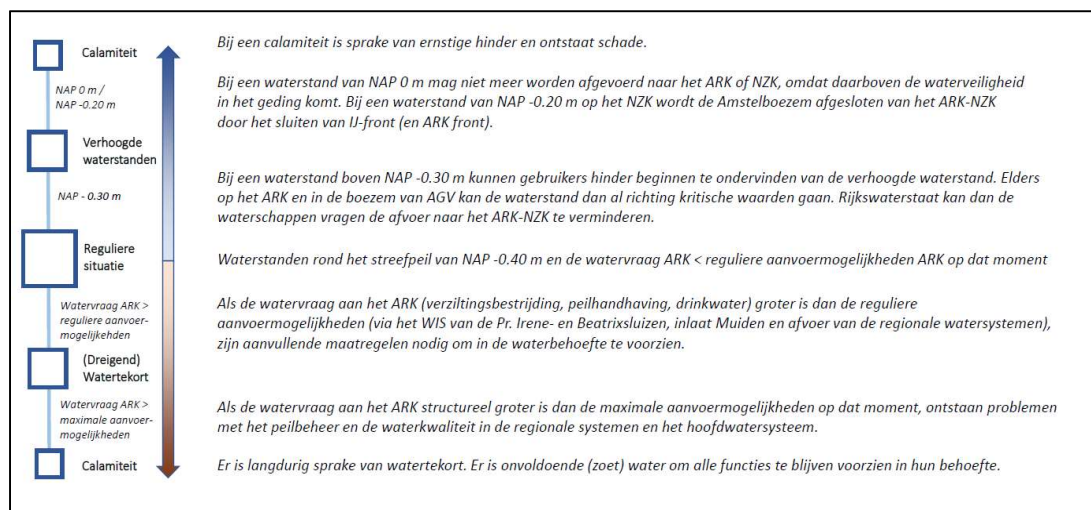
Beschrijving deelstap

- (Locatie in werkblad)**
(kolom A)
(BLOK 1)
- a. Benoemen van beschouwde regio en deelgebieden¹⁷.
 - b. Opnemen (schematische) weergave van regio en deelgebieden (Subparagraaf 2.2.2) dat bij voorspelling in beschouwing wordt genomen:
 - ligging van objecten en strekkingen ten opzicht van elkaar;
 - locaties van aansluitingen op het landelijke netwerk;
 - locaties van meetstations (meting van aan- of afvoer);
 - locaties met onbekende aan- of afvoer.
 - c. Opstellen beleidsarme beschrijving van beschouwde deelsysteem: **(BLOK 2)**
 - algemene beschrijving deelsysteem, waarbij kan worden benoemd:
 - type watersysteem waar het deel van uitmaakt;
 - geografische ligging;
 - rol(len) binnen landelijke netwerk(en);
 - benoemen beheerders van objecten (er kan sprake zijn van door waterschappen beheerde objecten binnen door RWS beheerde delen van het hoofdwatersysteem);
 - benoemen relevante regelgeving (bv verdragen);

¹⁶ een beschrijving zonder invloed van wijzigingen in beleid;

¹⁷ RWS (2020) beveelt aan bij het onderverdelen van de beschouwde regio in deelgebieden rekening te houden met de klimaatomstandigheden, RWS-netwerkschakels (zie Subparagraaf 2.2.2.4), daarmee samenhangende functie-eisen en de organisatie van het beheer (bv eigenaarschap informatie);

- operationele beschrijving van deelsysteem onder huidige normale condities en zonder uitval¹⁸ van objecten, zoals:
 - parameters (bv waterpeilen, debieten, vaarbewegingen);
 - inzet objecten (bv schuiven, schutregime, pompen) met doel;
 - resulterende beperkingen van inzet objecten;
 - toelaatbare effecten (bv zoutvracht);
- operationele beschrijving van gebruik deelsysteem onder huidige extreme condities en zonder uitval van objecten, zoals:
 - parameters (bv waterpeilen, debieten, vaarbewegingen);
 - frequentie/afvoerdebit waarbij aangepaste inzet objecten (bv schuiven, schutregime, pompen) plaatsvindt met doel;
 - resulterende beperkingen van aangepaste inzet objecten;
 - toelaatbare effecten (bv zoutvracht);
- bij de bovenstaande deelstappen kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van (interne) draaiboeken hoog- en laagwater per regio.



Figuur 24: Voorbeeld van operationele beschrijving onder extreme condities (bron: SWM (2020))

4.3.1.2 STAP L2 – Beschrijving relevante deelopgaven en objecten

Beschrijving deelstap

- Vaststellen van relevante deelopgaven binnen beschouwde deelsysteem.
 - Gebruik maken van de deeltaken benoemd in Tabel 8.
 - Het kan noodzakelijk zijn om binnen één deelopgave meer subgroepen te onderscheiden, om relevante verschillen in functies af te dekken.
- In lijst opnemen van naam en locatie in deelsysteem van specifieke objecten per (subgroep binnen de) deelopgaven.

**(Locatie in
werkblad)
(kolom B)**

(BLOK 3)

¹⁸ uitval van een object (zoals een pomp) valt binnen de beschouwing van de technische levensduur;

4.3.1.3 STAP L3 – Beschrijving huidig functiepakket en eisen per (subgroep binnen de) deelopgave

#	<u>Beschrijving deelstap</u>	<u>(Locatie in werkblad)</u>
a.	Benoemen van relevante kerntaken per (subgroep binnen de) deelopgave. <ul style="list-style-type: none"> • Gebruik maken van de kerntaken benoemd in Tabel 1. • Kiezen welke kerntaken per deelopgave wel/niet relevant zijn , ter vereenvoudiging niet relevante kerntaken uit de tabel laten! 	(kolom C)
b.	Benoemen van relevante deeltaken per (subgroep binnen de) deelopgave. <ul style="list-style-type: none"> • Gebruik maken van de deeltaken benoemd in Tabel 2. • Kiezen welke deeltaken per deelopgave wel/niet relevant zijn , ter vereenvoudiging niet relevante deeltaken uit de tabel laten! • Voor een zo eenvoudig mogelijke beoordeling, (in ieder geval in eerste instantie) het buiten beschouwing laten van gebruiksfuncties in Tabel 3. 	(kolom D)
c.	Benoemen van (kwalitatieve) functie-eisen en/of (kwantitatieve) prestatie-eisen per (subgroep binnen de) deelopgave. <ul style="list-style-type: none"> • Gebruik maken van de kwalitatieve functie-eisen benoemd in Tabel 9Error! Reference source not found.. • Gebruik maken van de voorbeelden van eisen in Bijlage D.1. • Gebruik maken van de brondocumenten voor kwalitatieve functie-eisen en kwantitatieve prestatie-eisen in Bijlage D.2. 	(kolom E)

4.3.1.4 STAP L4 – Beschrijving relevante drivers klimatologische ontwikkeling

#	<u>Beschrijving deelstap</u>	<u>(Locatie in werkblad)</u>
a.	Benoemen van beschouwde toekomstscenario's (zie Bijlage C):	(BLOK 4)
b.	Kiezen welke drivers als gevolg van klimatologische veranderingen wel/niet relevant zijn voor het beschouwde deelsysteem, ter vereenvoudiging niet relevante drivers uit de tabel laten!	-
c.	Definiëren van relevante drivers (met bijbehorende belastingeffecten) als gevolg van klimatologische veranderingen: <ul style="list-style-type: none"> • Definiëren relevante driver(s) voor verandering zeeniveau: <ul style="list-style-type: none"> ○ zeespiegelrijzing (zie Subparagraaf 3.2.1.1) ○ verhoogde windopzet (zie Subparagraaf 3.2.1.2) • Definiëren relevante driver(s) voor verandering (rivier)afvoer: <ul style="list-style-type: none"> ○ toename neerslag in winter (zie Subparagraaf 3.2.2.1) ○ toename (rivier)afvoer in winter (zie Subparagraaf 3.2.2.2) ○ afname neerslag in zomer (zie Subparagraaf 3.2.2.3) ○ afname (rivier)afvoer in zomer (zie Subparagraaf 3.2.2.4) • Definiëren relevante driver(s) voor verandering temperatuur: <ul style="list-style-type: none"> ○ verhoogde luchttemperatuur (zie Subparagraaf 3.2.3.1) • Definiëren relevante driver(s) verandering ecologische waterkwaliteit: <ul style="list-style-type: none"> ○ verhoogde watertemperatuur (zie Subparagraaf 3.2.4.1) ○ verhoogde verzuringsgraad (zie Subparagraaf 3.2.4.2) • Definiëren relevante driver(s) voor verandering bodemniveau: <ul style="list-style-type: none"> ○ toename (autonome) bodemdaling (zie Subparagraaf 3.2.5.1) ○ toename morfologische activiteit (zie Subparagraaf 3.2.5.2) 	(BLOK 5)
d.	Bij elke driver dienen de volgende aspecten te worden opgegeven:	(BLOK 8)

- *(beschrijving)*: omschrijven van de driver, waaronder het karakter van de meetwaarde (zoals gemiddelde, boven- of ondergrens):
- *(locatie)*: op welke locatie de meetwaarde wordt bepaalt;
- *(eenheid)*: welke eenheid de driver heeft
- *(periode)*: op welke tijdsperiode de driver betrekking heeft
- *(referentiewaarde onder huidige condities)*
- *(waarde onder toekomstige condities)*
- *(bron voor waarde onder toekomstige condities)*
- *(toelichting op waarde onder toekomstige condities)*

4.3.1.5 STAP L5 – Beschrijving relevante drivers socio-economische ontwikkeling

#	<u>Beschrijving deelstap</u>	<u>(Locatie in werkblad)</u>
a.	Benoemen van beschouwde toekomstscenario's (zie Bijlage C):	(BLOK 4)
b.	Kiezen welke drivers als gevolg van socio-economische veranderingen wel/niet relevant zijn voor het beschouwde deelsysteem, ter vereenvoudiging niet relevante drivers uit de tabel laten!	-
c.	Definiëren van relevante drivers als gevolg van socio-economische veranderingen (o.a. afhankelijk van eventuele verandering CEMT-klasse):	(BLOK 6)
	<ul style="list-style-type: none"> • Definiëren van relevante driver(s) voor verandering scheepvaart: <ul style="list-style-type: none"> ○ verandering aantal vervoersbewegingen over het water (zie Subparagraaf 3.3.1.1) ○ verandering aantal vervoersbewegingen over de weg (zie Subparagraaf 3.3.1.2) ○ verandering vloot (zie Subparagraaf 3.3.1.13.3.2) ○ verandering vaarwijze (zie Subparagraaf 3.3.2.2) 	
d.	Ter aanvulling ook vastleggen welke vaardiepte en doorvaartbreedte er op basis van CEMT-klasse noodzakelijk is voor varen, zie MinI&W (2017).	-
e.	<ul style="list-style-type: none"> • Bij elke driver dienen de aspecten benoemd in STAP 4d (zie Subparagraaf 4.3.1.4) te worden opgegeven. 	(BLOK 8)

4.3.1.6 STAP L6 – Beschrijving relevante drivers beleidsmatige ontwikkeling

#	<u>Beschrijving deelstap</u>	<u>(Locatie in werkblad)</u>
a.	Benoemen van beschouwde toekomstscenario's (zie Bijlage C):	(BLOK 4)
b.	Kiezen welke drivers als gevolg van beleidsmatige veranderingen wel/niet relevant zijn voor het beschouwde deelsysteem, ter vereenvoudiging niet relevante drivers uit de tabel laten!	-

- c. Definiëren relevante drivers als gevolg van beleidsmatige veranderingen: (BLOK 7)
 - Definiëren van relevante driver(s) voor verandering in wetgeving, zoals: (BLOK 7.1)
 - strenger worden Waterwet (zie Subparagraaf 3.4.1.1)
 - strenger worden Bouwbesluit (zie Subparagraaf 3.4.1.2)
 - Definiëren van relevante driver(s) voor verandering in beleid, zoals: (BLOK 7.2)
 - uitbreiding van functionaliteit kunstwerk (zie Subparagraaf 3.4.2.1)
 - verandering scheepvaartbeleid (zie Subparagraaf 3.4.2.2)
 - verandering landbouwbeleid (zie Subparagraaf 3.4.2.3)
- d. • Bij elke driver dienen de aspecten benoemd in STAP 4d (zie Subparagraaf 4.3.1.4) te worden opgegeven. (BLOK 8)

4.3.1.7 STAP L7 – Beoordelen impact van belastingeffecten op eisen aan deelopgaven

Beschrijving deelstap

- a. Per driver beoordelen, met onderliggende belastingeffecten in het achterhoofd, hoeveel impact deze heeft op de functie-eisen en/of prestatie-eisen van de deelopgaven binnen het beschouwde deelsysteem. Hierbij geldt: (Locatie in werkblad)
(kolom F t/m kolom V)
 - zeer positieve invloed (score +2) -> donkergroen
 - positieve invloed (score +1) -> lichtgroen
 - niet van toepassing (score 0) -> kleurloos
 - van invloed, maar niet relevant (score -1) -> geel
 - van invloed, mogelijk relevant (score -2) -> oranje
 - van invloed, zeer relevant (score -3) -> rood
- b. Eventueel geeft een beoordeling aanleiding tot een toelichting, welke per functie-eis en/of prestatie-eis kan worden gegeven. (kolom W)
- c. Vaststellen focus voor eventuele meer gedetailleerde vervolfbeoordeling op niveau MFL-MEDIUM (zie Subparagraaf 4.3.20), waarin de impact van belastingeffecten met score groter dan '-2' (van invloed, mogelijk relevant) als gevolg van toekomstige ontwikkelingen nader worden beschouwd. -
- d. Samenvatten van deelopgaven en/of objecten waarvan de functionele levensduur het meest kwetsbaar is voor klimatologische, socio-economische en beleidsmatige ontwikkelingen: Oftewel: -
 - welke driver(s) hebben een zeer relevante impact (score -3, rood) en op welke functie-eisen heeft deze impact betrekking?
 - welke driver(s) hebben mogelijk een relevante impact (score -2, oranje) en op welke functie-eisen heeft deze impact betrekking?

4.3.1.8 STAP L8 – Kwantitatieve uitwerking kritische functies

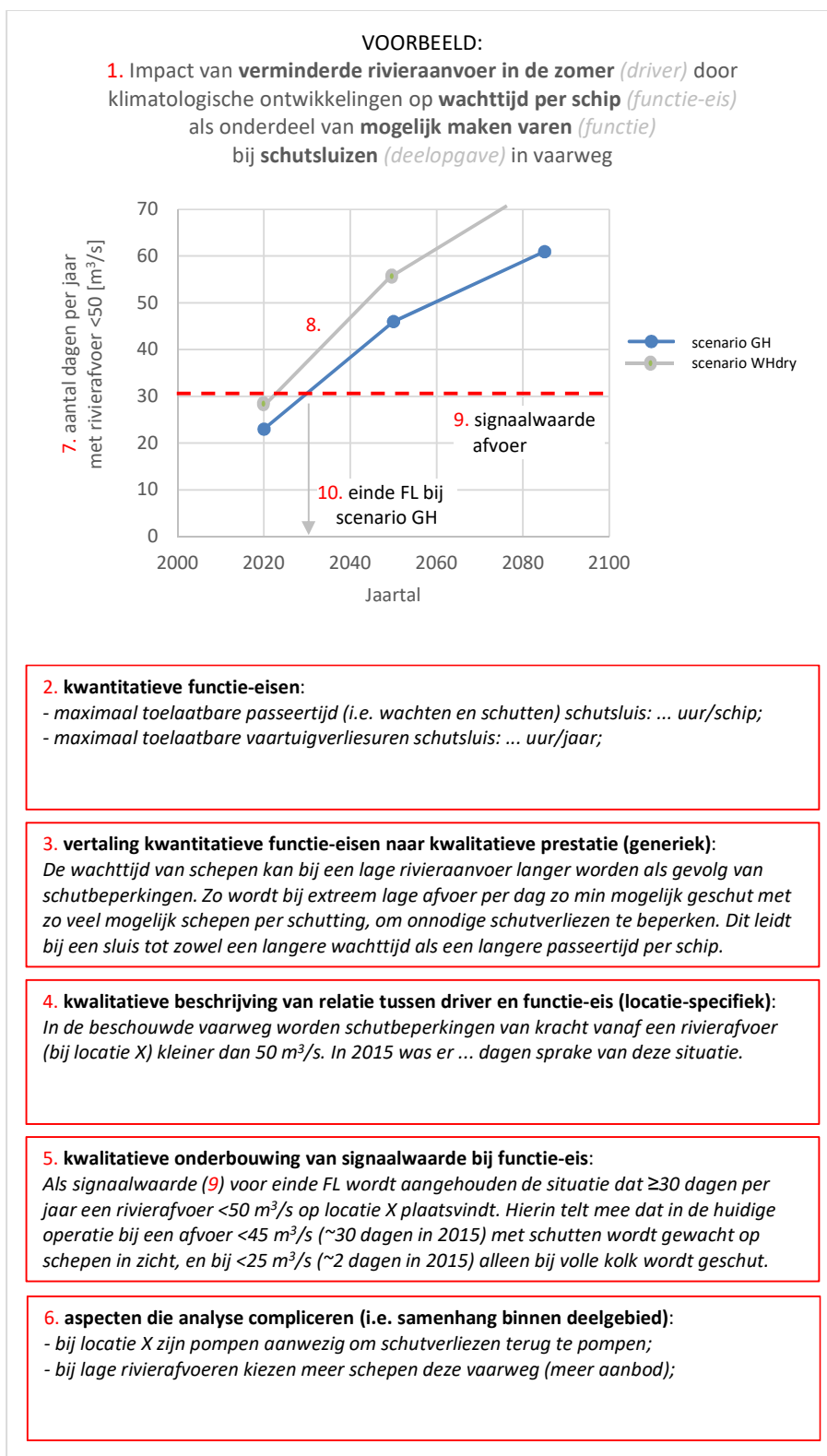
#	<u>Beschrijving deelstap</u>	<u>(Locatie in werkblad)</u>
a.	<p>Per combinatie deelopgave-driver-functie-eis uitwerken van de kritische functies door met een grafiek inzichtelijk maken hoe, gegeven een scenario voor de driver-ontwikkeling in de tijd, de prestatie in de tijd zal gaan verlopen (zie uniform template in Figuur 25):</p> <ul style="list-style-type: none"> • geven van een eenduidige titel aan de grafiek (1); • bepalen van een maat voor de driver (4) op de verticale as (7); • relatie driver en kritische functie scherpstellen (3); • per scenario vaststellen van het verloop in de tijd van de driver (8); • vaststellen van kwantitatieve functie-eisen en relateren aan driver (2); • vaststellen van een signaalwaarde – waar mogelijk, op basis van meetgegevens (5) – waarbij einde functionele levensduur wordt bereikt (9); • vaststellen voor het beschouwde scenario van het jaartal waarbij einde functionele levensduur naar verwachting wordt bereikt (10); • aspecten benoemen die versimpelde analyse compliceren (6). 	-

Hiervoor wordt ook verwezen naar de Proof of Concept voor MFL-LIGHT in Bijlage F.2.

4.3.1.9 STAP L9 – Interpretatie van resultaten

Zoals aangegeven in Subparagraaf 4.2.2 wordt bij het beoordelen van de kwalitatieve invloed van de toekomstige ontwikkelingen met de MFL-LIGHT steeds één relevant geachte driver en één functie- of prestatie-eis beschouwd. In werkelijkheid zullen veel complexere situaties kunnen worden tegengekomen. Vandaar de volgende deelstappen bij de interpretatie:

#	<u>Beschrijving deelstap</u>	<u>(Locatie in werkblad)</u>
a.	Vaststellen (<i>per combinatie deelopgave-driver-functie-eis, over scenario's heen</i>) inschatting van tijdsinterval waarbinnen op zijn vroegst én op zijn laatst het einde functionele levensduur wordt verwacht.	-
b.	Vaststellen van kwalitatieve conclusies uit grafieken per combinatie van deelopgave-driver-functie-eis, waarbij rekening moet worden gehouden met eventuele nuanceringen als gevolg van complicerende aspecten (6) die niet in de versimpelde analyse zijn meegenomen.	-

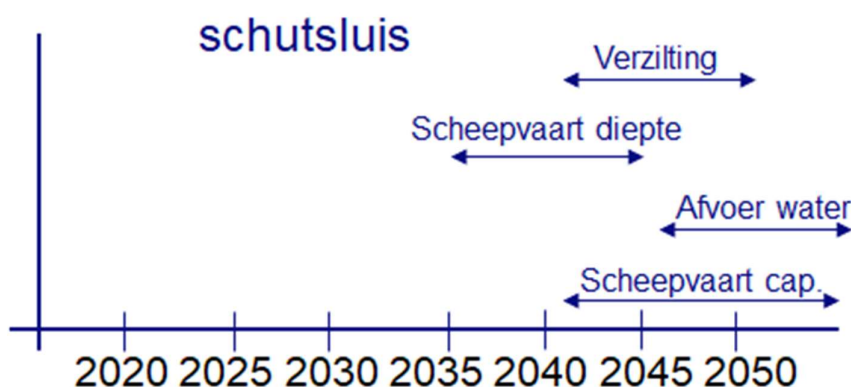


Figuur 25: Inzichtelijk maken van verloop functionele prestatie in de tijd voor relevante driver en scenario

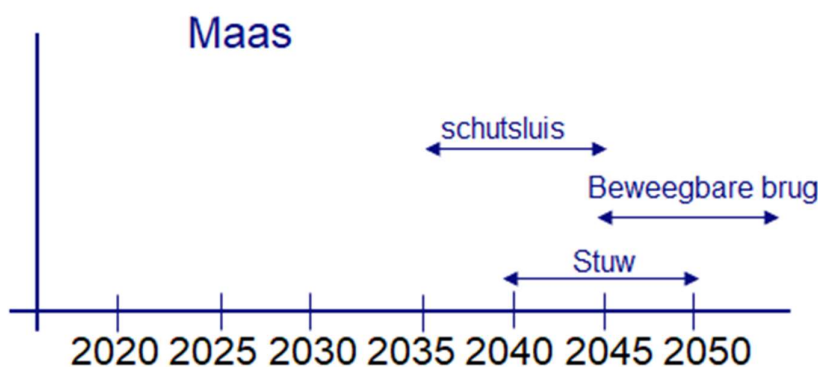
4.3.1.10 STAP L10 – Handelingsperspectief meenemen

In aanvulling op de aangescherpte inschattingen van tijdsintervallen voor het verwachte einde functionele levensduur per deelopgave en deelgebied in STAP L8b, kan het voor een financiële vertaling naar het Prognoserapport noodzakelijk zijn om een concreet handelingsperspectief bij deze einde functionele levensduur te hebben. Ter illustratie van deze noodzaak:

Voorbeeld(en): Indien de functionele levensduur van een object door pompcapaciteit wordt beperkt, dan is het vergroten van de capaciteit door het vervangen van een pomp door een zwaarder exemplaar waarschijnlijk een maatregel van beperkte omvang. Het verbreden van een sluiskolk, in situaties waar het wenselijk is een hogere scheepvaartklasse te kunnen gaan faciliterende is een veel ingrijpender maatregel voor de functionele levensduur.



Figuur 26: Samenvatting per deelopgave van tijdsintervallen einde functionele levensduur van functies



Figuur 27: Samenvatting per deelgebied van tijdsintervallen einde functionele levensduur van deelopgaven

Een financiële vertaling van de resultaten vraagt ten eerste om een vertaling naar de impact die het bereiken van de ingeschatte einde levensduur heeft op het netwerk en/of gebruikers. Daarnaast wordt het perspectief bepaald door de omvang van maatregelen die kunnen worden ingezet om de functionele levensduur in positieve zin te beïnvloeden.

N.B. In RWS (2020) is de impact van het bereiken van einde functionele levensduur concreet gemaakt via een aantal aspecten uit de RAMSSHEEP¹⁹ benadering, door deze aan gevolgindicatoren bij falen te koppelen zoals dat in de Prestatiegestuurde Risico-analyse (PRA) wordt gedaan. De matrix met gevolgklassen in Figuur 28 illustreert deze aanpak.

Gevolgklasse				
	Verwaarloosbaar	Beperkt	Groot	Ernstig
A	Zeer kortdurende hinder voor primaire functies van object; Geen hinder voor netwerk	Hinder voor netwerk is korter dan ondergrens voor alle functiecategorieën: 1. Wegverkeer 2. Scheepvaart 3. Waterhuishouding	Hinder voor netwerk is korter dan bovengrens in alle functiecategorieën, maar langer dan ondergrens in één of meer van de functiecategorieën: 1. Wegverkeer 2. Scheepvaart 3. Waterhuishouding	Hinder voor netwerk is langer dan bovengrens in één of meer van de functiecategorieën: 1. Wegverkeer 2. Scheepvaart 3. Waterhuishouding
S	Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken bij enkele personen	Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken met niet-blijvend letsel bij tientallen personen	Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken met blijvend letsel bij tientallen tot honderden personen	Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken bij duizenden personen
C	Gevolgkosten tussen €100,- en €10.000,-	Gevolgkosten tussen €10.000,- en €100.000,-	Gevolgkosten tussen €100.000,- en €500.000,-	Gevolgkosten > €500.000,-

Figuur 28: Impact matrix gebaseerd op PRA-aanpak ter onderbouwing van handelingsperspectief, zie RWS (2020)

Om het duiden van de omvang van maatregelen te ondersteunen wordt in RWS (2020) bij bereiken van einde functionele levensduur onderscheid gemaakt tussen functioneel²⁰ en technisch²¹ falen, vanwege het verschil in aard en oplossingen van beide faaltypen. Tabel 3.1 in RWS (2020) geeft het resultaat van een inventarisatie van technische faalmechanismen bij een aantal klimaatdrivers, inclusief een gevolg op het functioneren.

¹⁹ In deze benadering worden 8 aspecten voor het definiëren van de prestatie van de netwerken en objecten gebruikt: betrouwbaarheid (R), beschikbaarheid (A), onderhoudbaarheid (M), veiligheid tegen onbedoelde (S) en onbedoelde (S) bedreigingen, gezondheid (H), milieu (E), economie (€) en politiek (P);

²⁰ wijze van falen die onafhankelijk is van de precieze inrichting en techniek van een object en over het algemeen een complexe oplossing vergt, bv een tekort aan doorstroomoppervlakte om een hogere afvoer te realiseren;

²¹ wijze van falen die afhankelijk is van de precieze inrichting en techniek van een object en over het algemeen een eenvoudige oplossing vergt, bv een tekort aan sterktecapaciteit van een constructief element;

4.3.2 Stappen in MFL-MEDIUM beoordeling

Als vervolg op een MFL-LIGHT beoordeling kunnen de aandachtspunten nader worden beoordeeld in een MFL-MEDIUM beoordeling op basis van reeds beschikbare getalsmatige resultaten. Voor deze kwantitatieve beoordeling van einde functionele levensduur van objecten moeten op basis van Figuur 14 en KpNK (2018a) de volgende stappen achtereenvolgens worden doorlopen:

4.3.2.1 STAP M1 – Afbakening deelsysteem

Beschrijving deelstap

- a. Geografisch afbakenen van het beschouwde deelsysteem.
- b. Functioneel afbakenen van het beschouwde systeem.
- c. Toelichten van doorgevoerde vereenvoudigingen.

4.3.2.2 STAP M2 – Beleidsarme beschrijving deelsysteem, objecten en componenten

In het komen tot een beleidsarme beschrijving van het beschouwde deelsysteem, gericht op de eerder vastgestelde aandachtspunten, kan gebruik worden gemaakt van het resultaat uit STAP L1 (zie Subparagraaf 4.3.1.1). Er is op dit beoordelingsniveau meer diepgang nodig in de beschrijving van de relevante deelopgaven of objecten/componenten binnen het beschouwde deelsysteem. Hierin komen de volgende onderdelen aan bod:

Beschrijving deelstap

- a. Schematische weergave van het beschouwde deelsysteem.
- b. Beleidsarme beschrijving van de wijze waarop het beschouwde deelsysteem (in operationele zin onder verschillende omstandigheden) wordt gebruikt.
- c. Beleidsarme beschrijving van de relevante deelopgaven en/of objecten/componenten:
 - beschrijving van afmetingen;
 - beschrijving hydraulische kenmerken;
 - beschrijving van bediening en operatie;
 - beschrijving van eventuele beperkingen.

4.3.2.3 STAP M3 – Beschrijving functioneren deelsysteem

In het komen tot een beschrijving van het functioneren van het beschouwde deelsysteem, gericht op de eerder vastgestelde aandachtspunten, kan gebruik worden gemaakt van het resultaat uit STAP L3 (zie Subparagraaf 0). Er is op dit beoordelingsniveau meer diepgang nodig in de beschrijving van de functies van de relevante deelopgaven of objecten/componenten binnen het beschouwde deelsysteem, met de volgende onderdelen:

Beschrijving deelstap

- a. Benoemen relevante kerntaken van deelopgaven of objecten/componenten, gebruik makende van Tabel 1.
- b. Benoemen relevante deeltaken en gebruiksfuncties van deelopgaven of objecten/componenten, gebruik makende van Tabel 2 en Tabel 3.

4.3.2.4 STAP M4 – Beschrijving ontwikkeling door toekomstscenario's en maatregelen

In het komen tot een beschrijving van relevante ontwikkeling volgens toekomstscenario's in het beschouwde deelsysteem, gericht op de eerder vastgestelde aandachtspunten, kan gebruik worden gemaakt van de resultaten uit STAP L4 (zie Subparagraaf 4.3.1.4), STAP L5 (Subparagraaf 4.3.1.5) en/of STAP L6 (Subparagraaf 4.3.1.6). De haalbare diepgang hangt nauw samen met de beschikbaarheid van locatie-specifieke kentallen.

Beschrijving deelstap

- a. Indien klimatologische ontwikkeling voor de functionele levensduur relevant is, dan benoemen en onderbouwen van beschikbare kentallen.
- b. Indien socio-economische ontwikkeling voor de functionele levensduur relevant is, dan benoemen en onderbouwen van beschikbare kentallen.
- c. Indien beleidsmatige ontwikkeling voor de functionele levensduur relevant is, dan benoemen en onderbouwen van beschikbare kentallen.
- d. Indien er al maatregelen zijn voorzien in het beschouwde deelsysteem, dan (het effect van) deze maatregelen benoemen en beschrijven.

4.3.2.5 STAP M5 – Beschrijving functie- en prestatie-eisen

Een beschrijving van relevante functie-eisen en (hieraan gerelateerde) prestatie-eisen aan de kunstwerken in het beschouwde deelsysteem moet worden gebaseerd op concrete afspraken die (op papier) zijn vastgelegd, zoals in SLA's (zie Subparagraaf 2.4.4). De afspraken kunnen een wettelijke basis hebben, maar het kan ook over bestuurlijke akkoorden of ambities gaan.

N.B. Binnen Rijkswaterstaat zijn de functie- en prestatie-eisen voor een aantal kerntaken in de vorm van PIN's (zie Subparagraaf 2.4.7) gekoppeld aan zogenaamde SFE's (zie Subparagraaf 2.4.6) waar kunstwerken onderdeel van uitmaken.

Beschrijving deelstap

- a. Benoemen van relevante functies en kwantitatieve functie-eisen van deelopgaven of objecten/componenten, gebruik makende van Tabel 9.
- b. Benoemen van hieraan gerelateerde prestatie-eisen (PIN's) op basis van:
 - wettelijke eisen (normen)
 - SLA's
 - peilbesluiten
 - waterakkoorden
 - ambities
- c. Benoemen van reeds verwachte toekomstige eisen (waarmee op voorspelde ontwikkelingen wordt ingespeeld)..
- d. Benoemen van de functionele samenhang tussen kunstwerken (binnen de relevante SFE's dan wel het beschouwde deelsysteem).

De laatste deelstap adresseert de constatering in KpNK (2018a), dat het lastig kan zijn de prestatie-eisen te koppelen aan specifieke kunstwerken. Afgezien van het feit, dat deze eisen kunnen worden beïnvloed door verschillende externe (onzekere) factoren, kunnen meerdere kunstwerken invloed hebben op het al dan niet behalen van de vereiste prestatie.

Voorbeeld: In Subparagraaf 2.7.2 van KpNK (2018a) wordt ter illustratie het streefpeil (prestatie-eis) in een kanaalpand (SFE) aangehaald. Dat is ten eerste afhankelijk van externe factoren zoals optredende lekkage, verdamping, schutverliezen, falende sluitprocedures bij keermiddelen en hoe derden afspraken in (afvoer)verdragen nakomen. Daarnaast kan het waterpeil in het beschouwde kanaalpand op verschillende wijzen worden beïnvloed: door het inzetten van pompcapaciteit, het aanpassen van een stuw, de afwatering op waterlopen en het sluiten van keermiddelen.

4.3.2.6 STAP M6 – Knelpunten in de tijd bepalen

Door het combineren van de toekomstscenario's (zie Subparagraaf 4.3.2.4) met de functie- en prestatie-eisen (zie Subparagraaf 4.3.2.5) kunnen knelpunten aan het licht worden gebracht. Uit het resultaat van deze analyse zal volgen of een driver, die in de MFL-LIGHT beoordeling als aandachtspunt is geïdentificeerd, daadwerkelijk relevant is voor de functionele levensduur.

- Hierbij wordt een werkwijze en interpretatie voorzien zoals beschreven bij STAP L9 (zie Subparagraaf 4.3.1.9) en leidend tot een overzicht zoals in Figuur 25.
- Vervolgens is het logisch om in de synthese tevens een concreet handelingsperspectief mee te nemen zoals beschreven bij STAP L10 (zie Subparagraaf 4.3.1.10).

4.3.3 Stappen in MFL-HEAVY beoordeling

In theorie zou met de perfecte rekenmodellen en informatiesystemen een kwantitatieve beoordeling van einde functionele levensduur van specifieke (groepen van) objecten – alleen voor de drivers die volgens de eerdere MFL-MEDIUM beoordeling (zie Subparagraaf 4.1.2.2) daadwerkelijk relevant zijn – plaats kunnen vinden. Een MFL-HEAVY beoordeling zal echter een significante inspanning gaan vergen. Die zal zich alleen kunnen terugbetalen als de verwachting is dat de resultaten in voldoende mate aansluiten op de werkelijkheid.

Op dit moment zijn we nog ver verwijderd van deze situatie. Naast het feit, dat de (samenhang in) klimatologische, socio-economische en beleidsmatige ontwikkelingen onzeker is, zijn er de huidige tekortkomingen in rekenmodellen (zie Bijlage E) en is al dan niet beschikbare informatie over prestaties van kunstwerken nog niet ontsloten voor deze analyses.

Daarmee zal naar verwachting de onzekerheid rondom einde functionele levensduur met dit soort (detail)analyses op dit moment nog groot zijn. Aanbeveling is dan ook om een beoordeling op dit niveau pas operationeel te gaan toepassen na:

1. het verkleinen van de onzekerheid in ontwikkelingen,
2. het verkrijgen van inzicht in de functionele samenhang in het netwerk,
3. het in voldoende mate (kwantitatief) kunnen duiden van de samenhang in de impact van de relevante drivers en
4. het verbetering van de rekenmodellen.

Deze verbeterpunten sluiten naadloos aan op de onzekerheden die al in Subparagraaf 4.2.1 zijn benoemd. Pas daarna is het zinnig om na te gaan welke stappen in een MFL-HEAVY beoordeling achtereenvolgens moeten worden doorlopen.

5 Rekenmodellen

5.1 Beschikbare rekenmodellen

In Tabel 11 wordt een aanzet tot een overzicht gegeven van het verband tussen beschikbare rekenmodellen en drivers, als ingang voor gebruikers van de Toolbox Functionele Levensduur voor keuze juiste rekenmodel bij het beschouwen van een driver.

Het geeft per kunstwerktype een overzicht van de prestatie-eisen – gelinkt aan de kerntaken en deeltaken in respectievelijk Tabel 1 en Tabel 2 – en de hierbij relevante onderdelen die bij een beoordeling hiervan voor einde functionele levensduur moeten worden beschouwd,

5.2 Toepassingsgebied beschikbare rekenmodellen

Het toepassingsgebied van een rekenmodel hangt uiteraard samen met het belastingeffect (of de belastingeffecten) waarvoor het resultaat een bruikbaar kengetal kan opleveren. In een rekenmodel gericht op het in kaart brengen van gevolgen op netwerkniveau kan ervoor zijn gekozen om (complexe) lokale fenomenen buiten beschouwing te laten.

Daarnaast moet nadrukkelijk rekening worden gehouden met het geldigheidsgebied van een rekenmodel. Zo zal een waterbewegingsmodel dat alleen is gevalideerd met data over hoogwatercondities in een MFL-HEAVY beoordeling nooit betrouwbare voorspellingen kunnen leveren over de waterbewegingen bij droogte. En kunnen de resultaten uit dit rekenmodel dus ook niet zonder meer worden gebruikt in een MFL-MEDIUM beoordeling.

Tot slot zal een toepassing van een rekenmodel ook samenhangen met de inspanning die het vereist – hiermee wordt bedoeld op de inspanning om tot input te komen, op de vereiste rekentijd en op de tijd voor interpretatie – nodig om tot resultaten te komen. En daarmee het beoordelingsniveau waarop rekenmodellen het beste tot hun recht komen.

Deelopgave	Onderdeel	Kerntaak	Deeltaak	Prestatie-eis	Rekenmodel
Brug	doornvaartprofiel	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaarthoogte faciliteiten	doornvaarthoogte > eis vigerende scheefvaartklasse	LSM-LT
	doornvaartprofiel	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartbreedte faciliteiten	doornvaartbreedte > eis vigerende scheefvaartklasse	BIVAS?
	doornvaartprofiel	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartdiepte faciliteiten	doornvaartdiepte > eis vigerende scheefvaartklasse	LSM-LT
	bodem(bescherming)	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartdiepte faciliteiten	stroom/schroefstraalbelasting ≤ sterkte/stabiliteit bodem(bescherming)	CFD
	brugdek/val	Vlot en veilig transport over water	vlotte scheepvaart faciliteiten	wachttijd < ambitie (systeemniveau)	BIVAS
Schutsluis	hoofdraagconstructie	Vlot en veilig transport over water	constructievereiligheid	kans op falen overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans BB	SIVAK
	breedte	Ruimte voor de rivier	veiligheid tegen overstromen	doornvaartbreedte > eis vigerende scheefvaartklasse	BIVAS?
	sluiskolk	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartbreedte faciliteiten	doornvaartdiepte > eis vigerende scheefvaartklasse	LSM-LT
	sluiskolk	Vloten veilig transport over water	vlotte scheepvaart faciliteiten	wachttijd < ambitie (systeemniveau)	BIVAS
	hoofdraagconstructie	Vlot en veilig transport over water	vlotte scheepvaart faciliteiten	wachttijd < ambitie (objectniveau)	SIVAK
sluisdeur	sluiskolk	Vlot en veilig transport over water	constructievereiligheid	kans op falen overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans BB	Riskeer
	sluisdeur	Vlot en veilig transport over water	waterkeren	kans op overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	sluisdeur	Veiligheid tegen overstromen	waterkeren	kans op overmatige overloop/overslag ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	sluisdeur	Veiligheid tegen overstromen	waterkeren	kans op falen sluitproces ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	bodem(bescherming)	Veiligheid tegen overstromen	waterkeren	kans op overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
Stuw	sluiskolk	Verziltingsbestrijding	waterkeren	stroom/schroefstraalbelasting ≤ sterkte/stabiliteit bodem(bescherming)	CFD
	bodem(bescherming)	Regulier: waterpeilbeheer	waterkeren	hoeveelheid zoutindringing ≤ toelaatbare hoeveelheid	Zeesluismodellering
	hoofdraagconstructie	Regulier: waterpeilbeheer	waterkeren	stroombelasting ≤ sterkte/stabiliteit bodem(bescherming)	CFD?
	klep	Regulier: waterpeilbeheer	waterkeren	kans op falen overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans BB	LSM-LT
	hoofdraagconstructie	Vlot en veilig transport over water	constructievereiligheid	(doornvaart)diepte bovenstrooms > eis vigerende scheefvaartklasse/KWA	LSM-LT
Keersluis	hoofdraagconstructie	Vlot en veilig transport over water	constructievereiligheid	kans op falen overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans BB	
	deur	Veiligheid tegen overstromen	water kerens	kans op overmatige overloop/overslag ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	deur	Veiligheid tegen overstromen	water kerens	kans op falen sluitproces ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	deur	Veiligheid tegen overstromen	water kerens	kans op overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	bodem(bescherming)	Veiligheid tegen overstromen	water kerens	stroom-/schroefstraalbelasting ≤ sterkte/stabiliteit bodem(bescherming)	CFD
Vistrap	?	Ecologisch gezond leefgebied	Vismigratie	KWA?	
	?	Ecologisch gezond leefgebied	Vismigratie	praliteit vissen<-?	
	pompen	Veiligheid tegen overstromingen	water afvoeren	pompcapaciteit > eis	LSM-LT
	doornvoer (koker)	Veiligheid tegen overstromingen	water afvoeren	doornvoermoppervlak > eis	
	klep	Veiligheid tegen overstromingen	water kerens	kans op overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
Stormvoedkering	klep	Veiligheid tegen overstromingen	water kerens	kans op falen sluitproces ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	pompen	Regulier: waterpeilbeheer	water aan-/afvoeren	pompcapaciteit > eis	LHM
	doornvoer (koker)	Regulier: waterpeilbeheer	water aan-/afvoeren	doornvoermoppervlak > eis	LHM
	pompen	Zoetwateraanvoer bij droogte	water aanvoeren	doornvoermoppervlak > eis	LHM
	deur	veiligheid tegen overstromen	water kerens	kans op overmatige overloop/overslag ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
Rivierstrekking	deur	veiligheid tegen overstromen	water kerens	kans op falen sluitproces ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	bodem(bescherming)	Vlot en veilig transport over water	water kerens	kans op overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	hoofdraagconstructie	Vlot en veilig transport over water	constructievereiligheid	stroom/schroefstraalbelasting ≤ sterkte/stabiliteit bodem(bescherming)	CFD
	deur	Vloten veilig transport over water	vlotte scheepvaart faciliteiten	aantal sluitingen per jaar > ontwerp norm	Hydra-sommen
	stroombed	Ecologisch gezond leefgebied	water afvoeren	doornvoermoppervlak > eis/ambitie	BIVAS?
Kanaalband	stroombed	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartbreedte faciliteiten	doornvaartbreedte > eis vigerende scheefvaartklasse	BIVAS?
	stroombed	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartdiepte faciliteiten	doornvaartdiepte > eis vigerende scheefvaartklasse	LSM-LT
	dijken	Veiligheid tegen overstromen	water kerens	kans op overmatige overloop/overslag ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	doornvaartprofiel	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartbreedte faciliteiten	kans op overschrijden sterkte/stabiliteit ≤ toelaatbare faalkans WW	Riskeer
	doornvaartprofiel	Vlot en veilig transport over water	veilige doornvaartdiepte faciliteiten	doornvaartbreedte > eis vigerende scheefvaartklasse	BIVAS?
	doornvaartprofiel	Ecologisch gezond leefgebied	water afvoeren	doornvoermoppervlak > eis minimale afvoer capaciteit	LSM-LT
	kanaalkaden	Veiligheid tegen overstromen	water kerens	kans op overmatige overloop/overslag ≤ toelaatbare faalkans	

Tabel 11: Verband tussen prestatie-eisen en rekenmodellen (nog uitwerken)

Bestaande modellen (incl schematisatie gebied)	gebied	status	Toepassing	Uitgangspunten	Geldigheidsgebied
Riskeer/Hydra-Ring/Hydra-NL/Hydra-zoet	HWS-NL	Goedgekeurd (op klimaatscenario's na)	Waterniveaus, onder andere berekening van de verdeling en ontwerpprimaire waterkeringen en kunstwerken.	- probabilistisch model welke gebruikt maakt van statistiek bestanden en databases met hydraulische modelresultaten (WAQUA, SWAN, IMPLIC, SOBEK)	hoogwatercondities
Landelijk Hydrologisch Model (LHM)	NL	Beschikbaar	- simuleren regionaal grondwaterstroom (i.e. freatische grondwaterstand, stijging, kwel, wegzijgingsflux, uitwisseling grondwater en oppervlaktewater, verdeling oppervlaktewater) - uitkomst: watervraag en lozingen vanuit het regionale gebied.	- opgebouwd uit data/software/tools Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (MODFLOW, MetaSWAP, MOZART en DM);	Gemiddeld- en droge condities
Landelijk SOBEK model (LSM)	HWS+	Beschikbaar	simuleren van oppervlaktewater in meer detail (waterstanden, debieten)	- combinatie van alle landelijke en regionale SOBEK-modellen	Gemiddeld- en droge condities
Landelijk SOBEK model Light (LSM-LT)	HWS	Beschikbaar	simuleren van oppervlaktewater in minder detail (waterstanden, debieten)	landelijke dekking van open waterlopen per km	Gemiddeld- en droge condities
Landelijk Temperatuur Model (LTM)	HWS	Beschikbaar, Kwaliteit matig	simuleren van rivierwatertemperatuur als gevolg van warmte-uitwisseling van stromend rivierwater met lucht (in LHM) simuleren van zoutindringing via de Noordzee in het Noordelijk Delta Bekken	- combinatie van SOBEK-modellen - oppervlaktewaterstroom en enkele regionale systemen - neer vergunde hoeveelheden koelwater mee	Gemiddeld- en droge condities
SOBEK model Noordelijk Delta Bekken (SOBEK-NDB)	NDB	Beschikbaar	(in LHM) simuleren van zoutindringing via de Noordzee in het Noordelijk Delta Bekken		Gemiddeld- en droge condities
RTC Tools / QWAST	HWS	Nog in ontwikkeling	simuleren van oppervlaktewater, met specifieke mogelijkheden om kunstwerken te modelleren	- verder van MOZART en DM	Gemiddeld- en droge condities
SOBEK3 model	HWS	Nog in ontwikkeling	Vervanger LSM, in SOBEK3 zijn meer opties voor kunstwerken		Gemiddeld- en droge condities
BIVAS-LSM	HWS	Beschikbaar	Bepalen scheepvaartroutes en geeft indicatie van aantal scheepspassages per sluis		Alle
SIVAK	sluizen	Slechts beschikbaar voor enkele sluizen	Bepalen wachttijd per sluis voor de maatgevende situatie	- op basis van data, schepenregistratie en een reizigersbestand	sluizen
zeesluisformulering	Zoet/zout overgang	Formulering is gereed, de inbedding in netwerk-modellen is nog in ontwikkeling	Bepalen van verspreiding zout achter de kering		alle

Tabel 12: Rekenmodellen en toepassingsgebieden (nog uitwerken)

5.3 Huidige tekortkomingen rekenmodellen

Zie Bijlage E

6 Literatuur

- AG (2017) Projectplan Waterwet Dijkversterking Eemskanaalkade traject kadevak 1 (Oostersluis – Jan B. Bronssluis), project 406959, definitief, juni 2017;
- AG (2018) Scheepvaart op de Maas – De invloed van klimaatverandering en mogelijke adaptatie, project 043208500, revisie 01, 24 mei 2018;
- Deltares (2014a) Validatie LSM-light ten behoeve van VONK, C. Wesselius, Deltares, kenmerk 120360-000-ZWS-0010, 22 september 2014
- Deltares (2014b) Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins Final report of GRADE 2.0, M. Hegnauer (Deltares) J.J. Beersma (KNMI), H.F.P. van den Boogaard (Deltares), T.A. Buishand (KNMI), R.H. Passchier (Deltares), 1209424-004, november 2014;
- Deltares (2016a) Plan van Aanpak koppeling NWM-BIVAS, E. Snippen, Deltares, kenmerk 1230058-001-ZWS-0001-m, 26 januari 2016;
- Deltares (2016b) Advies beheer rivierbodembodem van de Rijn-Maasmonding Eindadvies project "Advies beheer rivierbodembodem RMM" Y. Huisman en O. van Duin, 1208925-000, Deltares, 2016;
- Deltares (2019) KlimaatScan - Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering voor het ecologisch functioneren van de Nederlandse Grote Wateren?, Deltares, december 2019;
- HBGR (2014) Handreiking Beleidslijn Grote Rivieren, februari 2014;
- HKV (2014b) Gevoeligheidstest Natte Kunstwerken (VONK) - Rapportage methodiek gevoeligheidstest Natte Kunstwerken, zaaknummer 31075602, revisie 4d (definitief), juli 2014;
- HKV (2015) Gevoeligheidstest Natte Kunstwerken - Methode functionele einde levensduur, kwaliteit en toepasbaarheid FLSA-methode, S. van Vuren en K. Wojciechowska, PR2520.60, november 2015;
- KpNK (2017b) Kennisprogramma Natte Kunstwerken – Functionele levensduur, Deltares rapport 11200741-020, versie concept, januari 2018;
- KpNK (2018a) Kennisprogramma Natte Kunstwerken – Functionele levensduur, Deltares rapport 11200741-046-HYE-0001, versie definitief, februari 2019;
- KpNK (2018b) Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2018 - Kunstwerken in netwerk-modellen, kenmerk 11200741-003-HYE-0005, versie 1.0, november 2018;
- KpNK (2018c) Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2018 - Regio-advies, kenmerk 11200741-043-HYE-0005, versie 2.0 (definitief), december 2018;
- KpNK (2019) Kennisprogramma Natte Kunstwerken - Kennisplan 2019, definitief, 28 januari 2019;
- KpNK (2020) Kennisprogramma Natte Kunstwerken – Relatie object-systeem, Regio-advies (inclusief afwegingsstrategieën), KpNK-2020-SKW-03a004, versie 1 (definitief), oktober 2020;
- Minl&M (2015) Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021, december 2015;
- Minl&M (2017a) Hoofdrapport Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse 2017, 1 mei 2017;
- Minl&M (2017b) Deelrapportage Vaarwegen voor de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse. versie 1.0 definitief, 19 april 2017;
- Minl&W (2017) Richtlijnen Vaarwegen 2017 - Kader verkeerskundig vaarwegontwerp Rijkswaterstaat, december 2017;
- Minl&W (2018) Deltascenario's voor de 21e eeuw – Actualisatie 2017, Deltares/Planbureau voor de Leefomgeving/Wageningen University & Research, mei 2018;
- RWS (2013) Prestatiesturing in kort bestek, RWS-WVL, v1 definitief, 27 november 2013;
- RWS (2017) Basisspecificatie Rijkswatersysteem, RWS-GPO, v5.6, 16 augustus 2017;

RWS (2018)	Netwerkschakel HWS ZN – Nr. 2 en 3 Julianakanaal, 25 oktober 2018;
RWS (2020)	Klimaat stresstest objecten HWS – Bezien vanuit het perspectief van Ruimtelijke Adaptatie, Hidde Boonstra, v1 definitief, 1 mei 2020;
SWM (2020)	Slim Watermanagement Redeneerlijnen Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal, HKV, versie 2.1, maart 2020;

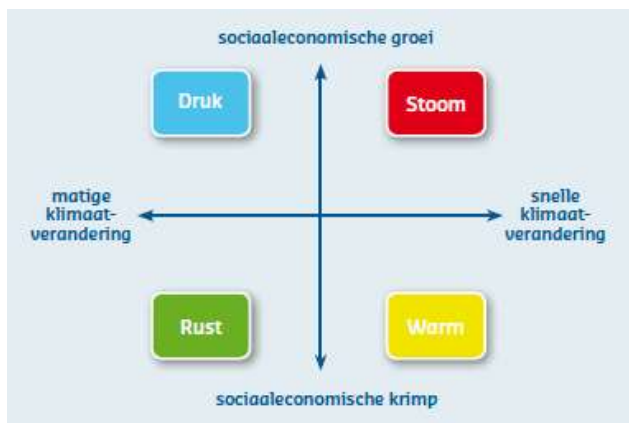
A Tabel Basisspecificatie RWS (2017)

B Leeg werkblad Methodiek Functionele Levensduur LIGHT

C Bronnen voor toekomstscenario's

C.1 Deltascenario's

De vier Deltascenario's (Druk, Stoom, Rust en Warm) toegelicht in MinI&W (2018) geven niet alleen een indicatie van de mogelijke ontwikkeling in de fysische en sociaal-economische omgevingsfactoren. Ze tonen ook de mogelijke verschuivingen in het gebruik van ruimte, land en water vanwege de verwachte schaarste aan grondstoffen. Het zijn nadrukkelijk geen voorspellingen en evenmin streefbeelden. Ze zijn bovendien 'beleidsarm': ze laten mogelijke toekomstbeelden zien zonder invloed van wijzigingen in het waterbeleid. Specifieke kenmerken van de vier Deltascenario's worden in Figuur 29 en Figuur 30 weergegeven.



Figuur 29: Assenkruis; schematische weergave van de Deltascenario's volgens MinI&W (2018)

KLIMAAT	REF 17	Zichtjaar 2050 Deltascenario's 2017 (KNMI14)					Zichtjaar 2085 Deltascenario's 2017 (KNMI14)			
		DRUK	STOOM	RUST	WARM	DRUK-Parijs	DRUK	STOOM	RUST	WARM
onderliggend KNMI-scenario		GL	WH	GL	WH	GL	GL	WH	GL	WH
temperatuurstijging °C	0	1	2	1	2	1	1.5	3.5	1.5	3.5
zeespiegelstijging cm	0	15	40	15	40	15	25	80	25	80
jaarneerslagsom mm	851	+4%	+5%	+4%	+5%	+4%	+5%	+7%	+5%	+7%
gem. neerslag winter mm	211	+3%	+17%	+3%	+17%	+3%	+5%	+30%	+5%	+30%
gem. neerslag lente mm	173	+5%	+9%	+5%	+9%	+5%	+8%	+12%	+8%	+12%
gem. neerslag zomer mm	224	+1%	-13%	+1%	-13%	+1%	+1%	-23%	+1%	-23%
gem. neerslag herfst mm	245	+7%	+8%	+7%	+8%	+7%	+8%	+12%	+8%	+12%
jaarsom pot. verdamping mm	559	+3%	+7%	+3%	+7%	+3%	+3%	+10%	+3%	+10%
pot.verdamping zomer mm	266	+4%	+11%	+4%	+11%	+4%	+4%	+15%	+4%	+15%
herhalingstijd van een Rijnafvoer van jaar 14400 m3/s *	1250	200	200	200	200	200	200	100	200	100
verandering gemiddelde jaarlijkse % laagste 7-daagse Rijnafvoer *	0	+5%	-20%	+5%	-20%	+5%	+5%	-30%	+5%	-30%
herhalingstijd van een Maasafvoer jaar van 3900 m3/s **	1250	300	300	300	300	300	300	100	300	100
verandering gemiddelde jaarlijkse % laagste 7-daagse Maasafvoer **	0	+5%	-45%	+5%	-45%	+5%	+3%	-60%	+3%	-60%
SOCIAAL-ECONOMIE										
scenario	REF 17	DRUK	STOOM	RUST	WARM	Parijs	voor 2085/2100 geen WLO-scenario's beschikbaar			
onderliggend WLO-scenario		WLO-H	WLO-H	WLO-L	WLO-L	WLO-H				
aantal inwoners miljoen	17	19	19	16	16	19				
omvang BBP miljard €	600	1320	1320	940	940	1320				
economische groei %/j		2	2	1	1	2				
stedelijk gebied % opp	18	20	21	18	18	20				
natuur en recreatie % opp	23	26	25	24	24	27				
landbouw % opp	60	54	54	58	57	53				

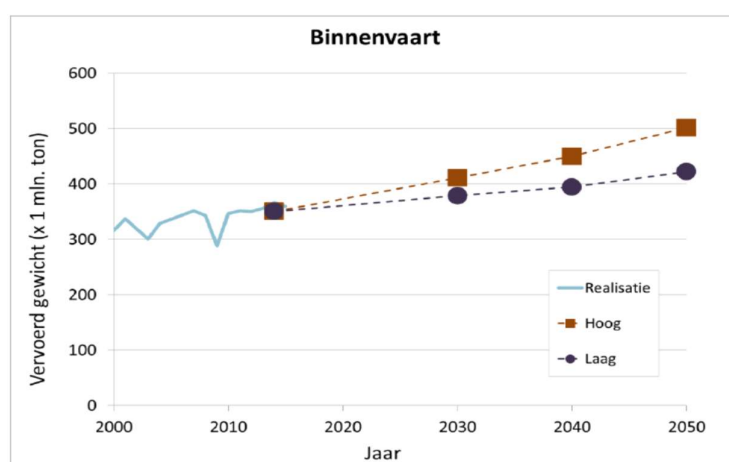
Figuur 30: Kengetallen klimaat en veranderingen afvoerregimes Rijn en Maas per scenario voor de zichtjaren 2050 en 2085, kengetallen sociaal-economische ontwikkelingen voor 2050, bron MinI&W (2018)

Bij de scenario's "Rust" en "Druk" wordt van het gematigde KNMI-klimaatscenario "GL" gebruik gemaakt, terwijl bij de scenario's "Stoom" en "Warm" het klimaatscenario "WH"²² is gebruikt. Voor de Rijn en de Maas bleek echter een extra scenario "WHdry"²³ nodig, om de spreiding in de mondiale klimaatprojecties goed op te kunnen spannen. Voor meer achtergrondinformatie van de Deltascenario's wordt verwezen naar MinI&W (2018).

C.2 Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (NMCA)

De Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse²⁴ brengt potentiële bereikbaarheidsopgaven op de lange termijn in beeld, zie MinI&M (2017a). Het gaat hierbij om het personen- en goederenvervoer over wegen, vaarwegen, spoorwegen en het regionaal openbaar vervoer. In MinI&M (2017a) zijn integrale prognoses opgesteld voor de ontwikkeling van het goederenvervoer over weg, spoor en vaarwegen met de zichtjaren 2030, 2040 en 2050: Basisprognoses Goederenvervoer. Deze zijn gebaseerd op de WLO-2015 scenario's en hiermee worden twee mogelijke toekomstbeelden geschetst, "Hoog" (WLO-H) en "Laag" (WLO-L).

Figuur 31 uit MinI&M (2017b) toont hoe de omvang van het binnenvaartvervoer zich ontwikkelt in de scenario's "Laag" en "Hoog". In beide scenario's blijft de binnenvaart groeien. De groei heeft te maken met de groei van de Rotterdamse haven, de bouw van de 2^e Maasvlakte en de modal shift afspraken voor het containervervoer van/naar de Maasvlakte (verlaging aandeel wegvervoer, ten gunste van aandelen spoor en binnenvaart).



Figuur 31: Ontwikkeling totale omvang binnenvaartvervoer binnen, van, naar en door Nederland in de Basisprognoses Goederenvervoer 2017, bron MinI&M (2017b)

Disclaimers bij de prognoses in MinI&M (2017b) zijn:

- In de vervoersprognoses is bewust geen rekening gehouden met beperkingen in (sluis)-capaciteit. Het doel van de prognoses is om toekomstige capaciteitsknelpunten te identificeren, door confrontatie van toekomstige vraag (de vervoersprognoses) met beschikbare capaciteit. Echter, dit kan een vertekend beeld geven. De scheepvaart-groei kan geremd worden indien de vaarroute beperkend is.

²² het scenario WH wordt gebruikt voor de 'natte' toepassingen binnen het NWM (veiligheid);

²³ het scenario WHdry wordt voor de 'droge' toepassingen gebruikt (Zoetwater);

²⁴ deze verkeer- en vervoersanalyseanalyse is één van de bouwstenen voor het signaleren van landelijke en regionale bereikbaarheidsopgaven waarvan veiligheid, leefbaarheid en duurzaamheid geen onderdeel uitmaken;

- Er geen rekening gehouden met de effecten van klimatologische ontwikkeling. Vooral in tijden van laagwater op de Rijn en de Waal wordt de Maas een steeds belangrijker alternatief voor de Waal/Rijn als verbinding Rotterdam – Ruhrgebied via de haven van Venlo. Dit is niet in de vervoersprognoses verwerkt.

C.3 Samenstelling scheepvaartverkeer

Voor gedetailleerde sluiscapaciteitsanalyses is niet alleen de omvang van de vervoersstromen van belang, maar ook de samenstelling van het scheepvaartverkeer. Hierbij dient ook rekening gehouden te worden met ontwikkelingen in de vlootsamenstelling (zoals schaalvergroting) per goederensoort en locatie. Hierbij kan naar www.binnenvaartcijfers.nl worden gekeken, en gaat AG (2018) in op verwachtingen ten aanzien van scheepvaartontwikkelingen en -prognoses.

C.4 Overige informatie

Afgezien van de bovengenoemde bronnen worden nog de volgende bronnen genoemd:

- Voor de prioritering van de levering van debieten onder extreme omstandigheden geldt de verdringingsreeks www.infomil.nl.

D Concreet maken functie-eisen

D.1 Formulering functie-eisen (voorbeelden)

Opnemen voorbeelden van ingevulde werkblad Methodiek Functionele Levensduur LIGHT:

- IWP-gebied "Noordzeekanaal / Amsterdam-Rijnkanaal"
- IWP-gebied "Maas"

D.2 Brondocumentenlijst functie- en prestatie-eisen

deeltaak/gebruiksfunctie	brondocument eisen
afvoeren water bij overlast	
afvoeren water, ijs en sediment	Waterwet/Waterbesluit/Waterregelingen
beperken verzilting	
bergen baggerspecie	Besluit Bodemkwaliteit
bergen water	
bieden archeologische, cultuurhistorische en landschappelijke waarde	RWS Werkwijzer Aanleg (document 1497) Convenant RWS-RACM Leidraad Archeologie en Infrastructuur (WWAO)
bieden drinkwater aan bevolking	
bieden leefgebied voor doelsoorten	Kaderrichtlijn Water
bieden natuurlijke vismigratieroutes	
bieden water aan beroeps- en sportvisserij	Kaderrichtlijn Water
bieden water met basiskwaliteit	Kaderrichtlijn Water
bieden water t.b.v. schelpdierwinning	EU Richtlijn voor Schelpdierwater Kaderrichtlijn Water
bieden zwemwater aan bevolking	EU Zwemwaterrichtlijn
doorlaten water	
faciliteren bediening en besturing	
faciliteren delfstoffenwinning	Nota Ruimte Nationaal Waterplan Ontgrondingswet www.infomil.nl
faciliteren energieopwekking	
faciliteren kabels en leidingen	
faciliteren landbouw	
faciliteren natuur	Kader Aanleg Groenvoorzieningen
faciliteren recreatie	Richtlijnen Vaarwegen 2011 Beleidsvisie Recreatietoervaart in Nederland Programma van Eisen Ruimtelijke Kwaliteit
faciliteren scheepvaartverkeersmanagement	
faciliteren wegverkeer	
geleiden schip (voor sluizen en bruggen)	
inlaten van water (in overslaggebied)	
keren van hoogwater	Waterwet Werkwijzer Kunstwerken Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken
leveren koel- en proceswater aan industrie	
leveren water	
mogelijk maken aansluiting op andere vaarwegen of havens	Visie Scheepvaart Verkeersmanagement 2025 VCM Referentieontwerp
mogelijk maken aan/van boord gaan personen	
mogelijk maken kruisen vaarwegen	
mogelijk maken laden, lossen en bunkeren	
mogelijk maken navigeren	

mogelijk maken op-/afzetten voertuigen	
mogelijk maken overnachten op schip	
mogelijk maken passeren	
mogelijk maken varen	
mogelijk maken vervoer per schip	Richtlijnen Vaarwegen 2011
mogelijk maken wachten op schip	
mogelijk maken wonen	
mogelijk maken zwaaien	
peilscheiding handhaven	
pompen van water	
schutten schip	
spuien van water	
vasthouden van water	
verbinden leefgebieden doelsoorten	Kaderrichtlijn Water

Tabel 13: Brondocumentenlijst per deeltaak en gebruiksfunctie conform RWS (2017)

E Inzetbaarheid beschikbare rekenmodellen

Deze bijlage bevat op dit moment met name de relevante tekstdelen voor de rekenmodellen die in KpNK (2018a) zijn behandeld, inclusief een aantal toevoegingen. Het kan zijn dat rekenmodellen inmiddels zijn verbeterd, of dat deze verbeteringen zijn gepland.

E.1 BIVAS-LSM

BIVAS-LSM is een netwerkmodel dat aan het LSM-LT model (zie Bijlage E.5.2.1) is gekoppeld en een gemiddelde wachttijd per jaar levert. De modelinvoer bestaat uit een netwerk van alle rivieren en kanalen in Nederland en een reizenbestand van alle vaarbewegingen van de binnenvaart over een jaar. Aan ieder stuk van het netwerk hangen beperkingen in de breedte en de lengte van schepen. Verder is het mogelijk om een tijdserie van de jaarlijkse variatie in vaardiepte en stroomsnelheid op te geven. Op dit netwerk wordt voor honderdduizenden vaarbewegingen de goedkoopste route berekend. Als er geen route mogelijk is, dan zal worden afgeladen tot het moment dat er wel gevaren kan worden. Als uitvoer van het model wordt de totale reistijd, totale vaarkosten en extra ritten door afladen berekend.

De wachttijd per sluis is invoer van het model, wel wordt deze achteraf gecorrigeerd, indien blijkt dat er op een dag veel boten langs de betreffende sluis gaan. De route wordt niet achteraf aangepast.

- voordelen:
 - gebruik van een historisch reizenbestand van een geheel jaar;
 - berekeningen op regionale of nationale schaal;
 - berekeningen vaarbewegingen kunnen parallel aan elkaar worden opgelost;
- nadelen:
 - het model is niet bedoeld voor het uitrekenen van wachttijden per sluis;
 - bij het bepalen van de route wordt de capaciteit van de sluisen niet meegenomen,
 - bij het bepalen van de wachttijd correctie wordt variatie in schutregimes voor verschillende afvoerbereiken niet meegenomen;
- BIVAS-LSM rekent niet altijd met economisch de meest gunstige optie²⁵;

Aangezien de kwaliteit van de door BIVAS-LSM bepaalde (extra) wachttijd beperkt is, wordt aanbevolen de uitvoerparameter "aantal boten per sluis per dag" te gebruiken als indicatie van de wachttijd.

Als gebruik wordt gemaakt van BIVAS-LSM, dan blijven de volgende tekortkomingen staan:

- bruggen die dichtbij elkaar liggen zijn soms als één brug in het model beschouwd;
- de gebruikte LSM-BIVAS resultaten houden geen rekening met een schaalvergroting. Het is wel mogelijk om hier scenario's voor te presenteren, maar dat wordt op dit moment niet gedaan in Dataprognose-2018 sommen;
- in het gebruikte LSM-BIVAS rekenmodel is alleen binnenvaart meegenomen; een deel van de bruggen en schutsluisen heeft ook te maken met passages van zeevaart en/of recreatievaart (voor de recreatievaart is vooral de vaart met masten relevant).

²⁵ BIVAS-LSM rekent altijd met de eerste mogelijke route waarbij het minst afgeladen hoeft te worden, wat niet altijd economisch de meest gunstige optie is (als hiervoor ver omgevaren dient te worden);

E.2 CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) is een numeriek 3D stromingsmodel is. Het geometrische domein wordt daarvoor opgedeeld in cellen, die samen een mesh vormen. CFD-analyses zijn zeer locatie-specifiek en tijdrovend. Er wordt momenteel ook een nieuw instrumentarium opgetuigd in FlexibleMesh, nagegaan zou moeten worden of dit model geschikt is om stroomsnelheden rondom kunstwerken onder maatgevende situaties af te leiden.

E.3 DELFT 3D

Delft 3D is een geïntegreerde software suite voor het simuleren van 2D (in het horizontale of verticale vlak) en 3D stroming, sedimenttransport en morfologie, golven, waterkwaliteit en ecologie en verzorgt de interacties tussen deze processen.

E.4 DELWAQ

DELWAQ is de motor van de D-Water Quality- en D-Ecology-programma's van de Delft 3D-suite. Het is gebaseerd op een rijke bibliotheek waaruit relevante stoffen en processen kunnen worden geselecteerd om snel kwaliteitsmodellen voor water en sediment samen te stellen.

E.5 Nationaal Water Model (NWM)

Het Nationaal Water Model (NWM) bestaat uit een modellentrein van vijf modellen (LHM, SOBEK-NDB, LSM-LT, LSM en LTM). Dit model wordt op landelijk niveau ingezet voor beleidsverkenningen en -evaluaties (Deltaprogramma Zoetwater, voorzieningenniveau) en operationele toepassingen (LCW, operationeel peilbeheer IJsselmeergebied). Naast waterbeschikbaarheid, kan ook de watertemperatuur en het zoutgehalte worden bepaald. Voor meer informatie wordt verwezen naar: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water/technische/zoetwaterverdeling/>.

E.5.1 Landelijk Hydrologisch Model (LHM)

Met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) berekenen we het regionale grondwaterstromingspatroon van Nederland voor het huidige klimaat en voor de verschillende klimaatscenario's. Het instrumentarium is gericht op de simulatie van gemiddelde en droge situaties. Met het LHM kunnen we bijvoorbeeld grondwaterstanden, stijghoogten in diepere watervoerende pakketten, kwel- en wegzijgingsfluxen en de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewater berekenen. Daarnaast wordt de verdeling berekend van oppervlaktewater over het landelijke waterverdelingsnetwerk en over de verschillende regionale oppervlaktewateren in Nederland. Hiermee brengen we de beschikbaarheid van oppervlaktewater op regionaal en landelijk niveau in beeld.

E.5.2 SOBEK-modellen

E.5.2.1 Landelijk SOBEK model (LSM) en Landelijk SOBEK model Light (LSM-LT)

Het Landelijk Sobek Model (LSM) het Landelijk Sobek Model Light (LSM-LT) worden binnen het NWM vooral ingezet om het oppervlaktewater in meer detail door te rekenen. Dit resulteert in de parameters waterstanden en debieten.

Helaas zijn de beschikbare gegevens uit LSM(-LT) niet bruikbaar voor Methode Functionele Levensduur. De LSM-uitvoerlocaties sluiten namelijk niet aan op de kunstwerken, ook zijn de in HKV (2015) genoemde tekortkomingen aan het LSM nog niet verbeterd. Om deze op te lossen is in Deltares (2016a) een lijst gemaakt van verbeterpunten aan LSM-LT (zie hieronder). Aanvullend geldt dat er per peillocatie een uitvoerpunt moet worden gemaakt.

Verbeterpunten LSM-LT volgens Deltares (2016a)

In LSM-LT is een aantal deelgebieden niet opgenomen, zie Deltares (2014a). Met name de Zeeuwse wateren ontbreken. Daarnaast ontbreekt op een aantal plekken informatie van de kunstwerken. Informatie in LSM-LT ontbreekt of is niet volledig op de locaties voor:

- sifons, duikers en hevels
- de spui- en uitwateringssluizen
- waterreguleringswerken
- afmeervoorzieningen
- bruggen
- schutsluizen

Voor alle kunstwerken moet worden nagegaan of een eenduidige representatieve koppeling te maken is met relevante uitvoerpunten of door toevoegen van kunstwerken in LSM-LT op basis van de informatie over deze kunstwerken uit de ViN-applicatie en het DISK-systeem.

De mogelijkheden om karakteristieken van kunstwerken (afvoercapaciteiten, schematisatie van de afmetingen in het rekenmodel) in een 1D-model weer te geven zijn beperkt. In overleg met het projectteam VONK (vraag) en modelontwikkelaars (aanbod) zullen de mogelijkheden op elkaar afgestemd moeten worden om de informatie op een voor VONK acceptabele nauwkeurigheid te kunnen reproduceren. Hier zal ook gekeken moeten worden naar het toepassingsbereik, met het oog op het gebruik van LSM-light voor extrapolatie van waterstanden en debieten naar de toekomst (2050 en 2100).

In Deltares (2014a) is een validatie gedaan van LSM. Hierbij lag de focus vooral op de vraag in hoeverre het model in staat is om gemeten waterstanden te reproduceren van laagwateromstandigheden in 2003 en hoogwateromstandigheden in 1998. Hieruit bleek dat het model niet nauwkeurig is in getijdedomineerde gebieden, op het IJsselmeer (ook Markermeer en de Veluwe-Randmeren), op het Julianakanaal en op de Waal. Ook laat de validatie zien dat het model minder goed geschikt is voor het voorspellen van hoge waterstanden. Ter verbetering van de koppeling zijn minimaal de volgende stappen nodig:

- uitbreiding netwerk voor ontbrekende riviertakken LSM-LT
- koppeling VONK objectinformatie met relevante rekenpunten
- uitbreiding rekenpunten en evt toevoegen kunstwerken²⁶
- hercalibratie en validatie
- implementatie NWM

²⁶ uitbreiding van het aantal rekenpunten of extra kunstwerken heeft impact op de performance (langere rekentijd);

Het verbeteren van LSM-LT en het draaien van het rekenmodel voor 100 jaar is een grote inspanning. Daarnaast geldt dat dit een rekenmodel blijft, welke een versimpeling is van de werkelijkheid; de resultaten zullen alleen bruikbaar zijn indien de sturing van de kunstwerken correct in het model wordt meegenomen.

Een alternatief voor LSM-LT vormt mogelijk het SOBEK-3 rekenmodel waaraan momenteel wordt gewerkt. Mogelijk dat in de nieuwe Deltaprognose-sommen met SOBEK-3 wordt gerekend in plaats van met LSM-LT. Het voordeel van SOBEK-3 is dat de mogelijkheden om de sturing van kunstwerken mee te nemen uitgebreider is.

E.5.2.2 *SOBEK model Noordelijke Delta Bekken (SOBEK-NDB)*

SOBEK is een modelsysteem in één dimensie en laat geschematiseerde open waterlopen (oppervlaktewater) zien. Zo kunnen waterbeweging, zoutindringing, sturing van kunstwerken als stuwen, waterkwaliteit, neerslagafvoer en sedimenttransport worden gesimuleerd. Het SOBEK-NDB model wordt binnen de NWM-zoetwatermodeltrein om één specifieke reden ingezet: de berekening van de zoutindringing via de Noordzee in het Noordelijk Delta Bekken.

E.5.3 Landelijk Temperatuur Model (LTM)

Het Landelijk Temperatuur Model (LTM) is een aparte module gekoppeld aan LSM/LSM-Light waarmee de (rivier)watertemperatuur kan worden gemodelleerd. Het LTM houdt rekening met de luchttemperatuur, luchtvochtigheid en bewolgingsgraad om de warmte-uitwisseling tussen lucht en water inzichtelijk te maken. Zo kan de watertemperatuur de invloed voelen van de lucht. De warmte-uitwisseling wordt ook bepaald door de hoeveelheid water en de snelheid waarmee het op een bepaalde locatie stroomt.

E.6 **RTC Tools / QWAST**

RTC-Tools is een open-source toolbox voor de sturing en optimalisatie van controleerbare natuurlijke systemen met specifieke aandacht voor bovenstaande aandachtspunten: planning voor conflicterende doelen onder onzekere toekomstverwachtingen. RTC-Tools maakt gebruik van een interne modelrepresentatie van het systeem, samengesteld een bibliotheek van model componenten zoals modelrepresentaties voor discretisatie van ondiep water, reservoir modellen, hydraulische kunstwerken en waterverdelingselementen. Doordat RTC-Tools gebruik maakt van Modelica, een wijd geaccepteerde modelleertaal, kunnen modellers ook eigen formuleringen opnemen in het model.

E.7 **SIVAK**

SIVAK is een verkeerssimulatiemodel wat een wachttijd per sluis voor de maatgevende situatie oplevert: één of enkele sluiscomplexen worden in detail geschematiseerd, van wachtplaats en aanvaarbocht tot de schutkolk en het schutregime. Hierop wordt veelal een korten versimpeld reizenbestand gehanteerd. De bewegingen vinden fast-time plaats waarbij het werkelijke proces zo goed mogelijk wordt benaderd.

SIVAK is wel in de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse toegepast, zie Mini&M (2017a), voor dertien sluizen, in deze analyse zijn enkel scheepvaartscenario's meegenomen en zijn klimaateffecten achterwege gelaten

E.8 WBI

E.8.1 Ringtoets

Met dit rekenmodel, met Riskeer als rekenhart, kan worden nagegaan of de weerstand van een kunstwerk dat onderdeel is van het stelsel primaire waterkeringen tegen een viertal faalmechanismen voldoet aan de vigerende in de Waterwet vastgestelde norm op basis van overstromingskansen. De uitvoer van Riskeer voor waterkerende kunstwerken bestaat uit:

- faalkans voor hoogte kunstwerk (*kans op overmatige overloop & golfoverslag*);
- faalkans voor sluitproces (*kans op niet sluiten*);
- faalkans voor sterkte en stabiliteit (*kans op bezwijken*).

Het faalmechanisme onder- en achterloopsheid (piping) is niet opgenomen binnen Riskeer, hier dient een alternatief voor gezocht te worden. Rijkskanalen zijn niet in Riskeer meegenomen.

E.9 Zeesluisformulering

Het zoutgehalte mag de norm niet overschrijden. Ter illustratie: het dag-gemiddeld chloridegehalte in het Amsterdam-Rijnkanaal te Diemen op NAP -1,40 m mag maximaal 6% van de tijd de norm van 300 mg/l overschrijden. De eis is dus een zoutgehalte in het watersysteem, gemeten op enige afstand van de schutsluis en/of spuisluis die zout doorlaat.

Naast de hoeveelheid zout die door het kunstwerk naar binnen komt, speelt daarin ook de verspreiding in het gebied dus een grote rol, die onder andere afhankelijk van het doorspoeldebiet door het watersysteem waarmee zout weer wordt teruggespoeld naar zee. Om deze en andere redenen is het minder eenduidig om te stellen dat een te hoog zoutgehalte duidt op een 'einde functionele levensduur' van een kunstwerk.

Het kunstwerk (schut- of spuisluis) laat een bepaalde hoeveelheid zout door, die afhankelijk is van vier categorieën van parameters: (1) de randvoorwaarden (waterstanden en zoutgehalten aan weerskanten), (2) de afmetingen, (3) de operatie en (4) eventuele maatregelen (o.a. bellenschermen). Het niet (meer) voldoen aan de eis kan dus samenhangen met elk van deze 4 categorieën, maar kan ook te maken hebben met de verspreiding, bijvoorbeeld door een gebrek aan water om het watersysteem door te spoelen.

Om te toetsen op de eis (zoutgehalte) moet het rekenmodel een zoutgehalte presenteren. Daar is een rekenmodel voor nodig dat de verspreiding in het gebied beschouwd. Voor de bronterm (hoeveel zout komt er het systeem in) in geval van een schutsluis wordt gewerkt aan de zogenaamde 'zeesluisformulering' die de debieten die de sluis in- en uitstromen en de zoutgehalten daarvan berekent: deze zou in D-Flow moeten kunnen worden ingebouwd. Het zoutgehalte op de meetlocatie moet dan worden berekend door een netwerkmodel (zo'n model kan uiteenlopen van een set 'eenvoudige relaties' tot aan een 3D-model). De zeesluisformulering houdt rekening met alle relevante parameters zoals hierboven benoemd. Voor een spuisluis wordt komend jaar een vergelijkbare ontwikkeling gestart.

Voor het berekenen van de verspreiding van zout, en dan in het bijzonder in een zwak dynamisch systeem (een kanaal of meer met weinig doorspoeling) is een 1D-model (SOBEK, D-Flow 1D) matig geschikt, omdat het de gelaagdheid niet kan beschrijven. Een 3D-model

vraagt echter erg veel rekentijd. Voor kanalen zoals het Noordzeekanaal-Amsterdam-Rijnkanaal wordt er daarom gedacht aan het ontwikkelen van 2DV-modellen.

Een eenvoudiger benadering (een lichter model) zou kunnen ontstaan vanuit de ontwikkeling die loopt om te komen tot een toevoeging aan IWP voor het beheer van watersystemen op zout. Daar is de gedachte de verspreiding van zout in het systeem, van meetlocatie naar meetlocatie, te beschrijven met een aantal eenvoudige relaties, waarmee een voorspelling kan worden gegenereerd van zoutgehalten op locaties afhankelijk van (keuzes voor) de afvoer door het systeem. Dezelfde zeesluisformulering zal daarbij ingezet kunnen worden als bronterm. Mogelijk dat een dergelijke modellering ook bruikbaar te maken is voor het doen van snelle analyses op de einde functionele levensduur: wanneer zijn er maatregelen en/of aanpassingen nodig op de sluis om het zoutgehalte in het systeem te beheersen.

F Toepassingen MFL

F.1 Stress test kunstwerken in Hoofdwatersysteem

F.2 Proof of concept

Deltares

Methodiek Functionele Levensduur (MFL)

**Proof of concept, inzet MFL voor het
prognoserapport van RWS-GPO**

Ida de Groot-Wallast
Nienke Kramer
Joost Bredeveld

6 november 2020

Inhoudsopgave

Proof of concept: inzet methodiek Functionele Levensduur (MFL) voor het prognoserapport

- Toelichting Proof of Concept
- Toelichting werkwijze MFL voor het prognoserapport
- Proof of concept:
 - Uitwerking MFL voor de Maas (iwp deelgebied)
- Samenvoegen Functionele en technische levensduur
- Conclusies tav Proof of concept

- Bijlage:
 - Uitwerking MFL voor het ARK/NZK (iwp deelgebied)

Doelstelling Proof of Concept

Doelstelling Proof of concept (PoC)

- **De MFL-light methode** betreft een methode om, op basis van expert judgement en vereenvoudiging van de werkelijkheid, tot een kwalitatieve inschatting te komen van het tijdsvenster waarbinnen naar verwachting einde functionele levensduur van een object of deelopgave te komen.
- Het doel van de voorliggende PoC is het toetsen van de **technisch haalbaarheid** van de inzet van de MFL-LIGHT methode om voor de deelopgaven in twee beheergebieden tot een vergelijking te komen van de verwachte tijdsvensters voor einde Functionele Levensduur (FL) en einde Technische levensduur (TL). De verwachtingen voor de TL zijn door de beheerder aangeleverd.
- De antwoorden die deze PoC zou moeten kunnen opleveren:
 - Welke drivers hebben naar verwachting een significante invloed op einde FL? En wat zijn voor de FL naar verwachting de bijbehorende kritische functies? En welke tijdsvenster voor einde FL worden verwacht?
 - In hoeverre sluiten de hierbij verwachte tijdsvensters aan bij het beeld van de beheerder?
 - Wat is het handelingsperspectief bij deze verwachte tijdsvensters voor einde FL?
 - Met welke analyses kunnen deze verwachtingen rondom FL nader worden aangescherpt?
 - Hoe verhouden de verwachte tijdsvensters voor einde FL zich tot die voor einde TL?

Toelichting Werkwijze Methode Functionele Levensduur voor het prognoserapport

Werkwijze MFL

Stap 1: Methode FL-light (Kleurenschema) met experts invullen

Stap 2: Comprimeren resultaat

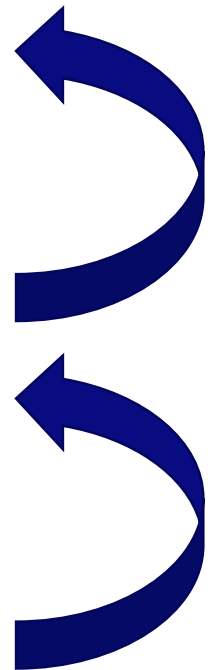
- Resultaat:
Inzicht in de verwachte kritische **functies** voor FL die voor **deelopgaven** in de toekomst door ontwikkelingen in **klimaat, socio-economische aspecten en beleid** onder druk komen te staan

Stap 3: Per deelopgave uitwerken **kritische functies** tot **einde FL**

- Met experts (*hier Hans van Twuiver, John Kamps en Evert-Jan Hamerslag*) in gesprek over: relatie drivers, functies tot FL, relevante maat voor drivers, signaalwaardes
- Resultaat:
Inzicht in tijdvenster voor vervanging vanwege FL
Inzicht in verhouding in invloed van verschillende drivers voor een functie
Inzicht in belangrijkste aspecten voor FL

Stap 4: Vaststellen waar **nadere analyse** van de FL noodzakelijk is

- Systemanalyse
- Functionele inspectie



Uitwerking MFL aan de hand van de Maas

Maas: stap 1. FL-light uitvoeren

1. Bepaal per objectgroep de functies en bijbehorende eisen

deelopgave	Objecten in deelopgave	functie	eis	Drivers					
				RIVIER-AANVOER (winter) meer, (intensiever)	RIVIER-AANVOER (zomer) minder	HITTE Stijging temperatuur	SCHEEP-VAART meer scheepvaart	BELEID veranderend	
schutsluis vaarroute (incl pompen tbv laagwater)	Lith, Grave, Sambeek, Belveld, Heel, Maasbracht, Born, St. Andries, Heumen, Panheel, Bosscheveld, Weurt	keren hoogwater	voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit	-1	-1	0	0	0	
		faciliteren bediening en besturing	voldoende lage kans op falen sluitproces	-1	-1	0	-1	0	
		terugpompen water	reguleren en handhaven waterpeil	0	0	-1	0	0	
		keren (vasthouden water)	reguleren en handhaven waterpeil	0	0	-1	0	0	
		faciliteren scheepvaartverkeer	beperkte wachttijd voor scheepvaart (qua tijdsduur schutten en/of aantal sluitingen)	-1	-1	-3	0	-1	0
		varen mogelijk maken	voldoende doorvaarhoogte	-1	-1	1	0	0	0
schutsluis niet in vaarroute	Roermond, Linne	varen mogelijk maken	voldoende vaardiepte	0	0	-1	0	0	
		varen mogelijk maken	voldoende doorvaarbreedte	0	0	0	0	0	
		keren hoogwater	voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit	-1	-1	0	0	0	
stuw (incl. vispassage)	Lith, Grave, Heumen, Sambeek, Belfeld, Roermond, Linne, Borgharen	faciliteren bediening en besturing	voldoende lage kans op falen sluitproces	-1	-1	0	-1	0	
		peilscheiding handhaven	reguleren en handhaven waterpeil	-1	-1	-1	0	0	
		natuurlijk vismigratieroutes bieden	visspassage mogelijk maken	1	1	-3	0	0	
		keren (vasthouden water)	reguleren en handhaven waterpeil	-1	-1	-1	0	0	
beweegbare brug	Spoorbrug Maastricht, st Servaasbrug en Brug Macharen	doorlaten water	voldoende doorvoercapaciteit qua doorstroomvak	-1	-1	1	0	0	
		faciliteren scheepvaartverkeer	beperkte wachttijd voor scheepvaart (qua tijdsduur schutten en/of aantal sluitingen)	-1	-1	0	-2	-1	0
		varen mogelijk maken	voldoende doorvaarhoogte	0	0	1	0	0	
		varen mogelijk maken	voldoende vaardiepte	0	0	-1	0	0	
vaste bruggen	-	varen mogelijk maken	voldoende doorvaarbreedte	0	0	0	0	0	
		varen mogelijk maken	voldoende vaarhoogte	-2	-2	1	0	0	
		varen mogelijk maken	voldoende vaardiepte	0	0	-1	0	0	
		varen mogelijk maken	voldoende doorvaarbreedte	0	0	0	0	0	

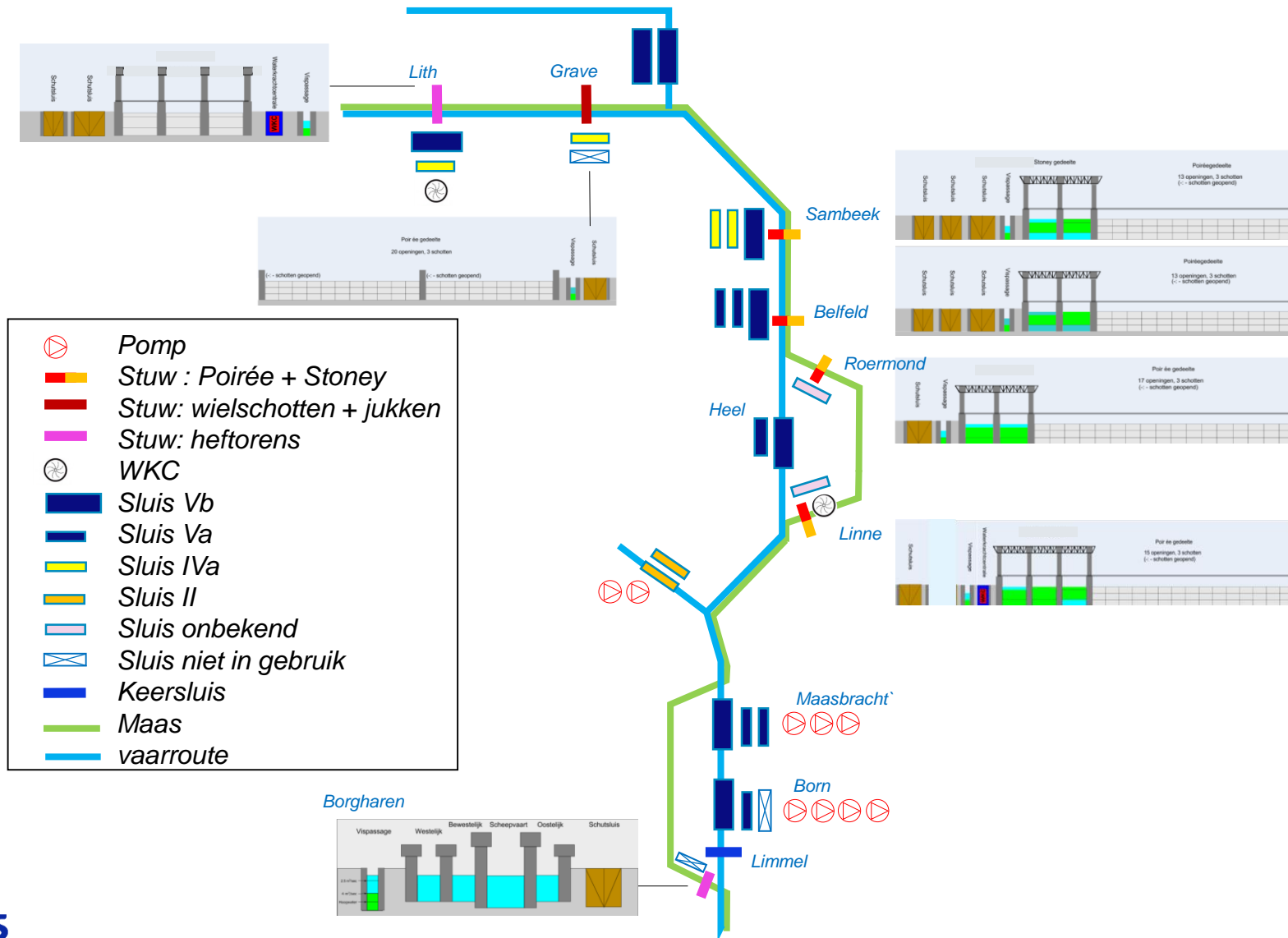
3. Invullen tabel op basis van expert judgement

+2 zeer positieve invloed	+1 positieve invloed	0 niet van toepassing	-1 wel invloed, maar niet relevant	-2 mogelijk relevant	-3 zeer relevant
------------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------------------	-------------------------	---------------------

2. Drivers: geef voor bepaald scenario aan wat verschil is met huidig klimaat

indicator	Drivers					
	Maasafvoer te Borgharen met een herhalingsjijd van 100 jaar	Duur: gemiddeld aantal dagen per jaar waarbij Maasafvoer te Monsin > 1700	Duur: gemiddeld aantal dagen per jaar waarbij de Maasafvoer te Monsin < 60 m3/s	aantal zomerse dagen > 25graden in de Bilt	vervoersvraag Nationaal over water	scheepvaart-klasse
(periode) (eenheid)	(jaar) [m3/s]	(jaar) [dagen/jaar]	(jaar) [dagen/jaar]	(zomer) [dagen/jaar]	(jaar) [Mton/jaar]	(jaar)
huidig klimaat	3187	1.1	31	21	120	Vb
bovengrens WARM 2050	3480	3.1	80	35.7	140 (+17%)	Vb

Stuwen en sluizen in de Maas



Maas: stap 2. comprimeren resultaat

Schutsluizen, vaarroute (A)

(Drivers met significante impact, kritische functies)

1. Verminderde rivieraanvoer zomer
 1. Faciliteren scheepvaart (wachttijd)

Stuwen incl. vispassage (B)

1. Verminderde aanvoer zomer
 1. Vismigratieroutes

Vaste brug/ beweegbare bruggen (C)

1. Toenemende en frequenter hogere aanvoer winter
 1. Scheepvaart (onvoldoende hoogte)

Beweegbare bruggen (D)

1. Hitte
 1. Scheepvaart (niet openen/sluiten)

Maas: stap 3. Uitwerken kritische functies (1)

Schutsluis, vaarroute (A)
 Verminderde rivieraanvoer zomer
 1. Faciliteren scheepvaart (wachttijd)

Deelgebied: Maas
Deelopgave: Schutsluizen
Driver: Verminderde rivierafvoer zomer
Functie (in de knel): Scheepvaart (wachttijd)
Objecten: Lith, Grave, Sambeek, Belveld, Heel, Maasbracht, Born, St. Andries, Heumen, Panheel, Bosscheveld, Weurt

Toelichting relatie driver en functie: Bij afvoeren lager dan 25 m3/s te St Pieter nemen de wachttijden omdat er schutbeperkingen worden opgelegd.

Maat voor driver: Gemiddeld # dagen per jaar dat de afvoer te St Pieter < drempel

Kritische waarden driver: m3/s **literatuur**

Signaalwaarde: dagen **keuze**

Einde Functionele levensduur (indicatie) :

GL	WH
geen EFL	2039

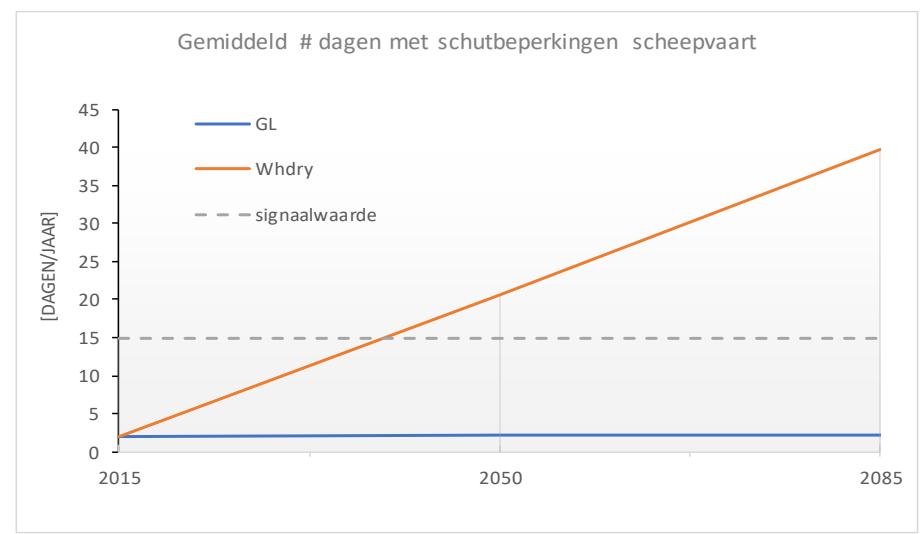
zie figuur

OPMERKINGEN: Al bij een afvoeren lager dan 44 m3/s te St Pieter nemen de wachttijden toe omdat er zuiniger geschut wordt, echter de schutbeperkingen zijn hier maatgevend beschouwd. in studie 11205274-004-BGS-0010 is gekeken naar de relatie tussen het beschikbare water en de schutverliezen. Daaruit blijkt dat dit vooral bij Born en Maasbracht kritisch wordt bij debieten < 25m3/s te St. Pieter.
 Een afvoer van 25 m3/s bij St. Pieter komt overeen met een afvoer van 30 m3/s bij Monsin.
 Bij lage Rijnafoeren kiezen meer schepen de route via Grave en Lith ipv Weurt. Aanbod groter. (aannee in KBNW). De schuttijden bij de sluisen Lith en Grave zijn ook afhankelijk van de Rijnafoer, eenvoudig is hier aangenomen dat de Rijn- en Maasafvoer sterk gecorreleerd zijn.
 Bij Born en Maasbracht zijn pompen aanwezig om schutverliezen terug te pompen. Laagwater is bij deze sluisen eerder een probleem omdat ze voor de toestroom van de Roer liggen

Maatregel: Bij einde functionele levensduur hoeft niet de schutsluis vervangen te worden, volstaan kan worden met het plaatsen van een gemaal.

Data (zie tabblad QMaas):

Drempel-afvoer St Pieter [m3/s]	gemiddeld # dagen per jaar afvoer < drempel				
	Ref2015	2050GL	2050Whdr	2085GL	2085Whdry
25	1.9	2.1	20.6	2.2	39.8
44	29.8	26.4	79.4	28.3	97.9



Maas: stap 3. Uitwerken kritische functies (2)

- Stuwen incl. vispassage (B)
1. Verminderde aanvoer zomer
 1. Vismigratieroutes

Deelgebied: Maas
 Deelopgave: Stuwen (incl vispassage)
 Driver: Verminderde rivierafvoer zomer
 Functie (in de knel): Vismigratieroutes
 Objecten: Lith, Grave, Heumen, Sambeek, Belfeld, Roermond, Linne, Borgharen

Toelichting relatie driver en functie (tekst) bij debieten < 10 M3/s voor de Grensmaas functioneren de vispassages niet meer dan moet gezocht worden naar een andere oplossing voor vis
 we stellen hier dat indien bij Monsin 30 m3/s beschikbaar is, dat dan de vispassages blijven functioneren.

Maat voor driver Gemiddeld # dagen per jaar dat de afvoer te Monsin < drempel

Kritische waarden driver m3/s **literatuur**

Signaalwaarde dagen **keuze**

Einde Functionele levensduur (indicatie) :

GL	WH
geen FEL	2049

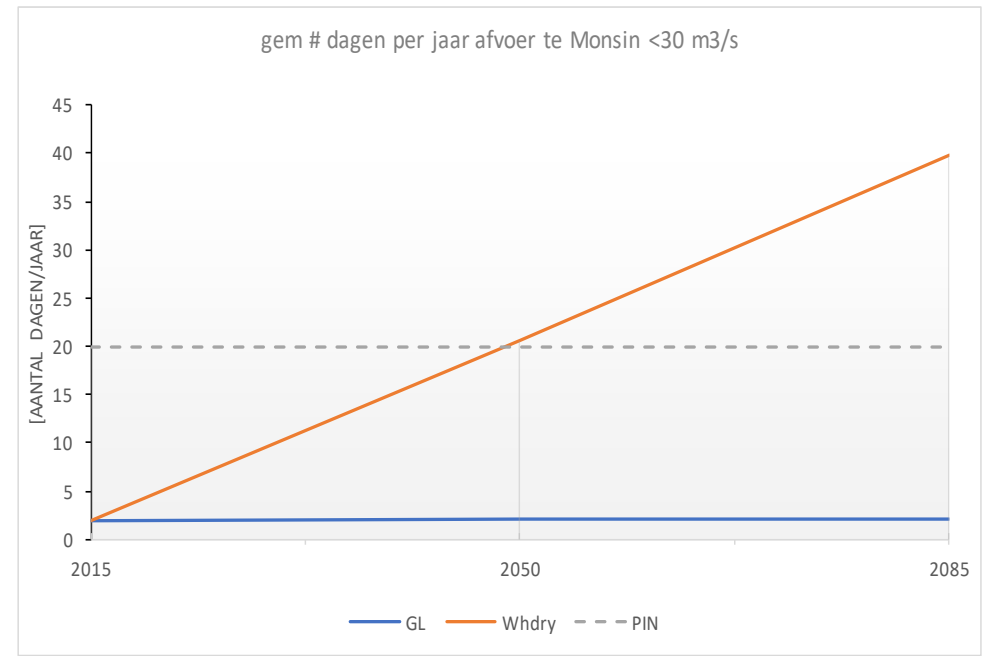
zie figuur

OPMERKINGEN indien er 10 m3/s voor de Grensmaas is, dan is er ca. 2.5 m3/s beschikbaar voor de vispassages.

Maatregel: Bij einde functionele levensduur hoeft niet de stuw vervangen te worden, mogelijk dat de vispassage anders ontworpen moet worden.

Data (zie tabblad QMaas)

Drempelafv	gemiddeld # dagen per jaar afvoer < drempel				
[m3/s]	Ref2015	2050GL	2050Whdry	2085GL	2085Whdry
30	1.9	2.1	20.6	2.2	39.8



Maas: stap 3. Uitwerken kritische functies (3)

- Vaste brug/ beweegbare bruggen (C)
1. Toenemende en frequenter hogere aanvoer winter
 1. Scheepvaart (onvoldoende hoogte)

Deelgebied Maas
Deelopgave Vaste bruggen
Driver Toenemende piekafvoeren winter
Functie (in de knel) Scheepvaart (doorvaarthoogte)

Toelichting relatie driver en fun Op de Maas geldt de Vb-klasse. De minimaal benodigde doorvaarthoogte is 9,1 m. De doorvaarthoogte neemt af naar de toekomst toe omdat het MHW stijgt.

Maat voor driver Er is sprake van einde functionele levensduur indien de doorvaarthoogte bij hoogwater (MHW) kleiner is dan de minimale benodigde. doorvaarthoogte volgens de maximaal toegestane scheepvaartklasse waarvoor een brug functioneel moet zijn.

Kritische waarden driver m [literatuur](#)

Signaalwaarde

Einde Functionele levensduur (indicatie) :

GL	WH
2020	2020

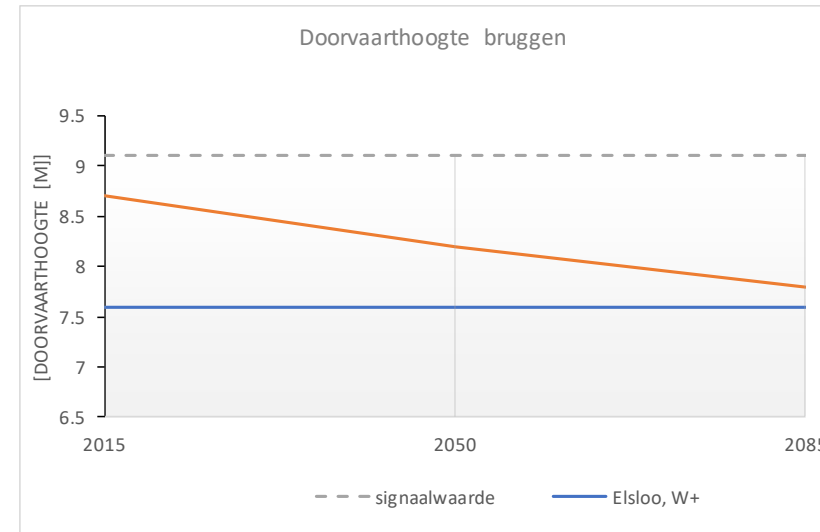
zie figuur

OPMERKING De vaarroute is onlangs aangepakt om grotere boten te kunnen laten passeren (klasse Vb). Er zijn nog enkele punten die nog niet zijn aangepakt. 18 bruggen op de Maasroute Born-Ternaaien voldoen niet aan de doorvaarthoogte norm van 4-laags containervaart (9,10 m) volgens Antea-group (2018). De 4-laags containervaart zal tijdens hoogwater niet onder deze genoemde bruggen door kunnen varen, de schepen zullen met minder lading moeten varen.

Maatregel: verhogen bruggen.

Data: voorbeeld uit HKV-VONK-studie:

	signaal- waarde	Elsloo, W+	Sambeek, W+
	[m]	[m]	[m]
2015	9.1	7.6	8.7
2050	9.1	7.6	8.2
2085	9.1	7.6	7.8



Maas: stap 3. Uitwerken kritische functies (4)

Beweegbare bruggen (D)

1. Hitte

1. Scheepvaart (niet openen/sluiten)

Deelgebied Maas
Deelopgave Beweegbare bruggen
Driver Hitte
Functie (in de knel) Scheepvaart (openen/sluiten)

Toelichting relatie driver en functie Bij temperaturen boven de 25 graden ondervinden beweegbare bruggen vaak problemen vanwege uitzetting staal.

Maat voor driver gemiddeld aantal dagen per jaar met temperatuur > 25 graden

Kritische waarden driver graden **literatuur**

Signaalwaarde dagen **keuze**

Einde Functionele levensduur (indicatie) :

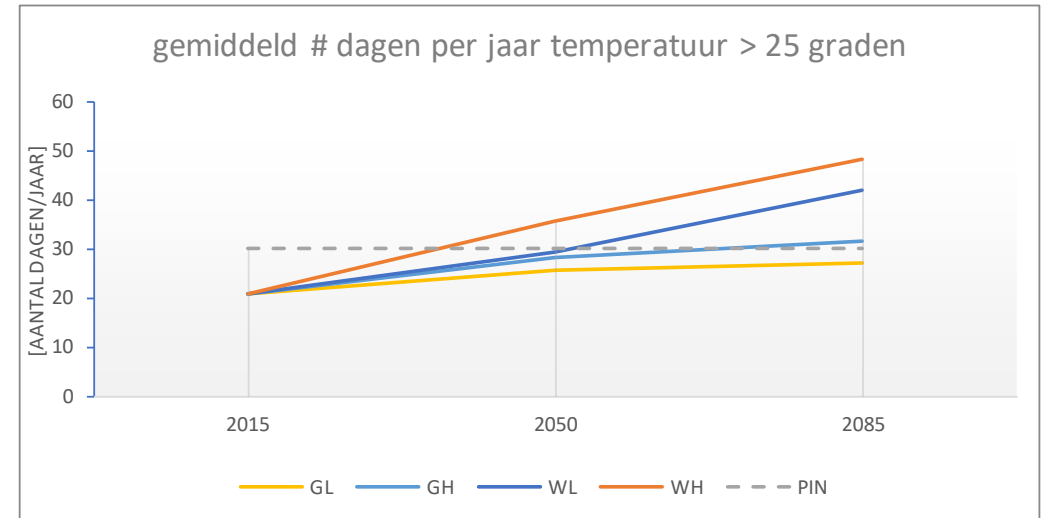
GL	WH	zie figuur
2106	2037	

OPMERKING: rapport hoofdwegenennetwerk (actie hans). Volgens Jurjen wordt hier door een externe partij naar gekeken

Maatregel:

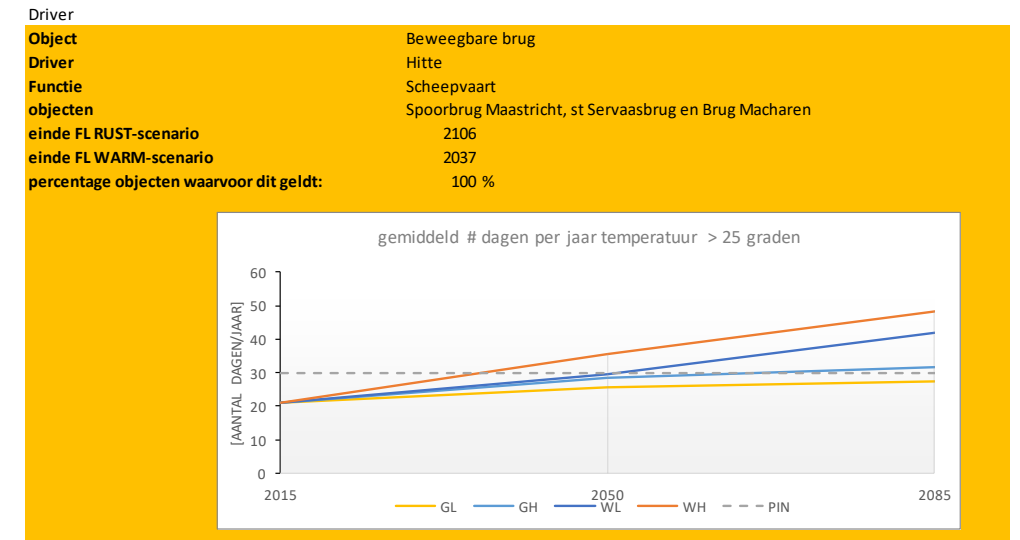
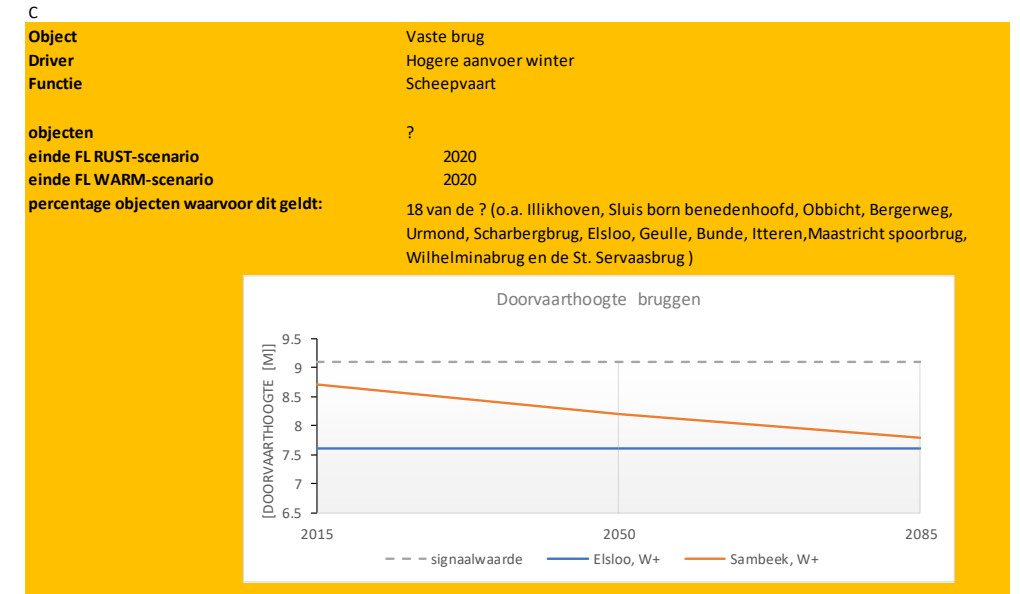
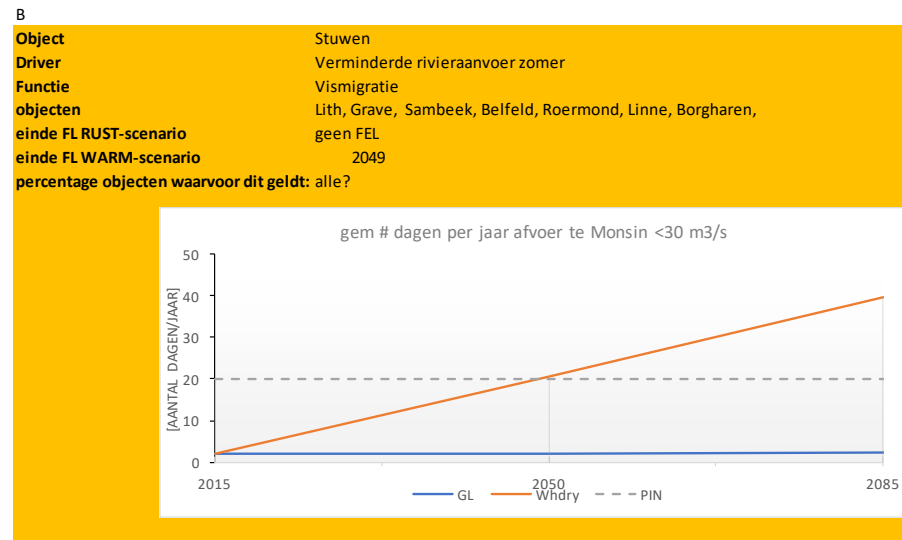
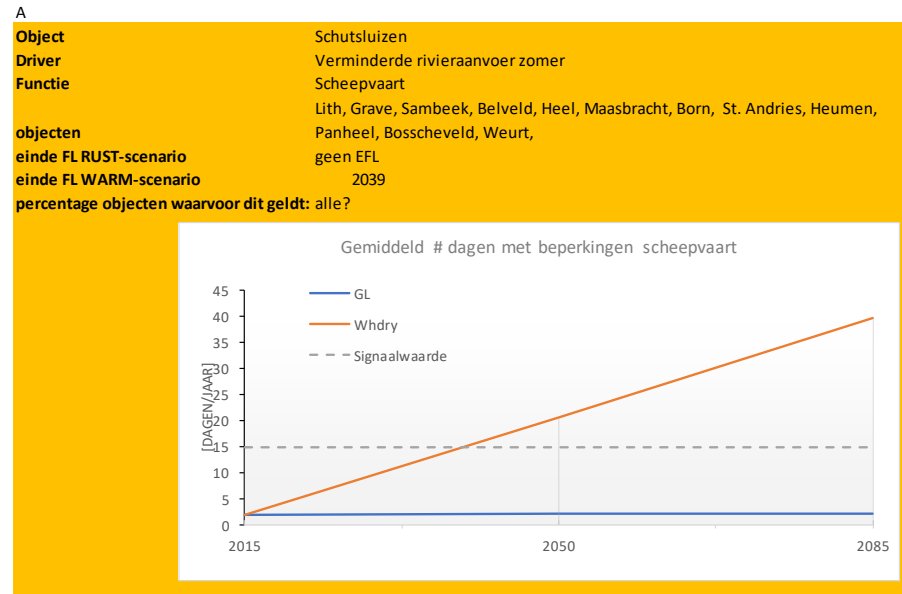
Data (zie tabblad QMaas)

gemiddeld # dagen per jaar temperatuur > 25 graden								
1990	2050	2050	2050	2050	2085	2085	2085	2085
ref	GL	GH	WL	WH	GL	GH	WL	WH
21.0	25.6	28.4	29.4	35.7	27.3	31.5	42.0	48.3



Maas stap 3: Uitwerken kritische functies (5)

Samenvatting:



Maas: stap 3. Uitwerken kritische functies (6)

Inhoudelijke bevindingen wat betreft de FL:

- Het faciliteren van scheepvaartverkeer is de voor de toekomst naar verwachting een kritische functie voor verschillende deelopgaven (schutsluizen, vaste- en beweegbare bruggen) in de Maas
 - De wachttijden komen onder druk te staan vanwege het vaker voorkomen van lage rivierafvoeren en hoge temperaturen.
 - Het verwachte tijdsvenster waarin einde FL voor deze kritische functies plaatsvindt is rond 2040.
 - Door upgraden van de vaarroute Maas naar Vb zijn meerdere bruggen (nog) niet aangepast, deze zijn momenteel al einde levensduur gezien de gestelde eisen aan de vaarroute. Tijdens hoogwatersituaties zullen duwbakken lager beladen moeten worden.
- Het bieden van natuurlijke vismigratieroutes is naar verwachting ook een kritische functie in de Maas voor de stuwen inclusief vispassage.
 - Het verwachte tijdsvenster waarin einde FL voor deze kritische functie plaatsvindt is rond 2050.
 - Hierbij is ervan uitgegaan dat een vispassage einde FL is indien er onvoldoende water beschikbaar is, omdat dan een andere oplossing voor de vispassage moet worden gevonden.

Deze inhoudelijke bevindingen komen overeen met het beeld van de beheerder (Hier *Hans van Twuiver, John Kamps en Evert-Jan Hamerslag*)

Maas: stap 4. Vaststellen nadere analyses

De kwalitatieve verwachtingen kunnen als volgt worden aangescherpt:

- nagaan wat zuinig of schutbeperkingen in cijfers (vaartuigverliesuren/wachttijden) of Euro's voor de scheepvaart betekenen, en of met die cijfers de signaalwaarde kan worden onderbouwd;
- vaststellen van de doorvaarthoogte voor alle bruggen in de Maas;
 - De huidige definitie van de doorvaarthoogte is het verschil tussen de onderkant van de brug en het MHW. Het MHW heeft in de Maas een herhalingsdijk tussen de 300 en 3000 jaar.
- nagaan of deze definitie van de doorvaarthoogte niet ruimer kan worden gekozen, zoals de waterstand die 1 keer per jaar voorkomt, en of hiermee de FL verder kan worden opgerekt;
- monitoren bij welke temperatuur de beweegbare bruggen in problemen zijn komen;
- ook meenemen van de functie keren hoogwater (bijv obv resultaten HWBP).

Indien dan nog steeds kritisch, dan kan als handelingsperspectief worden gedacht aan de volgende maatregelen:

- Bij EFL van de deelopgave schutsluizen bij laagwater kan worden volstaan met het plaatsen van een gemaal.
- Bij EFL van de deelopgave stuwen bij laagwater kan mogelijk worden volstaan met het aanpassen van de vistrap

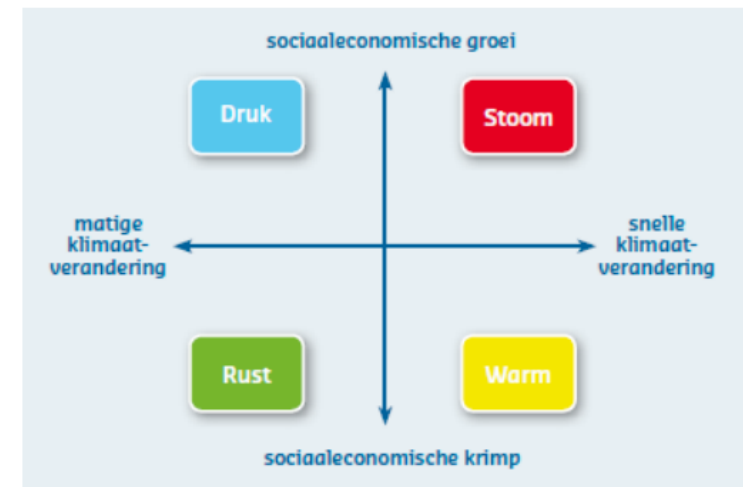
Vergelijking van de functionele levensduur (FL) met de technische levensduur (TL)

Maas (FL zie voorgaande slides)

ARK/NZK (FL zie bijlage van deze presentatie)

Vergelijking FL en TL

- Aannamen:
 - In de onderliggende analyses naar de FL zijn deelopgaven beschouwd. In de vergelijking FL-TL worden de afzonderlijke objecten weer benoemd om de verwachting over de TL per object mee te kunnen nemen.
 - Het moment van einde technische levensduur voor objecten binnen de deelopgaven eis bepaald volgens:
 $ETL = \text{Bouwjaar (volgens Disk)} + 100 \text{ jaar}$
 - Als einde functionele levensduur (EFL) per deelopgave is uitgegaan van het meest extreme Deltascenario WARM; voor alle genoemde objecten binnen een deelopgave is dezelfde verwachting aangehouden.
 - Bij FL zijn alleen objecten meegenomen die in stap 1 naar voren zijn gekomen (oranje en rode blokjes uit MFL-light).



Vergelijking FL en TL

	Maas				NZK/ARK			
	A	B	C	D	A_2	B	C	D
Deel- opgave	Schutsluizen	Stuwen	Beweegbare brug	Vaste brug	Schutsluizen zout	Schutsluizen zoet + spuien	Maal- en spui-complex	Schutsluizen zoet, zonder spuien
Driver	Verminderde rivieraanvoer zomer	Verminderde rivieraanvoer zomer	Hitte	Hogere aanvoer winter	Zeespiegelstijging	Toenemende watervraag regio	Zeespiegelstijging	Verminderde rivierafvoer zomer
Functie	Scheepvaart	Vismigratie	Scheepvaart	Scheepvaart	Keren Hoogwater	doorlaten water+scheepvaart	Afvoeren water	Scheepvaart

complex	Einde Technische Levensduur (= bouwjaar +100 jaar)										Einde Functionele levensduur obv WARM scenario																											
	schutsluis				Gemaal	stuw	vis-trap	spui-sluis	beweegbare brug	vaste brug	brug over vistrap	selectief ont-trekking	schut-sluis	gemaal nieuw	Gemaal	vistrap	stuw	beweegbare brug	vaste brug	schutsluis				schut-/spuisluis	Gemaal	schutsluis												
	sluis 1	sluis 2	sluis 3	sluis 4																sluis 1	sluis 2	sluis 3	sluis 4															
Lith	2036					2036	2106						2032			2049																						
Grave	2026	2074				2026	2106			2029	2106		2032			2049			2020*																			
Heumen	2027				2027									2032																								
Sambeek	2025	2067	2067			2025	2064						2032			2049																						
Belfeld	2026	2068	2068			2024	2064						2032			2049																						
Heel	2067	2067											2032																									
Maasbracht	2112	2112	2112		2090									2032																								
Born	2060	2112	2112		2038					2050				2032					2020*																			
St. Andries	2034																																					
Panheel	2030	2087			2087																																	
Bosscheveld	2030																																					
Weurt	2027	2077																																				
Roermond	2026						2093									2049																						
Linne						2021	2090									2049																						
Borgharen	2028					2028	2109									2049																						
st Servaasbrug										2060								2047																				
Brug Macharen																																						
Brug Bunde																			2020*																			
Maasbrug Heumen																			2020*																			
Maasbrug Boxmeer																			2020*																			
Brug Illikhoven																			2020*																			
Obbicht																			2020*																			
IJmuiden	2023	2121	1976	1976	2075							2121														2019			2019	2019						?		
Irenesluizen	2037	2074																																			2032	
Oranjesluizen	1970	1970	1970																																		2032	
Bernhardsluizen	2052	2073																																			2032	
Beatrixsluizen	2038	2038	2119																																			2068
Hagestein	2060					2060	2104																														2068	

Disclaimer

Disclaimer, dit is een eerste versie, verbeterpunten:

- Aanvullen alle onderdelen per complex voor de TL.
- Aanvullen bruggen en beweegbare bruggen in het gebied.
- Controle van de resultaten.

Vergelijking FL en TL

Inhoudelijke conclusies:

- Voor de Maas en het ARK/NZK komt voor veel objecten naar voren dat de FL maatgevend is, dit komt mede omdat alleen de aandachtsgebieden in de tabel voor de FL zijn meegenomen (oranje en rode blokken uit MF-Light).
- Een aantal bruggen zijn anno 2020 al EFL, dit is op basis van ambities van de scheepvaart (vaarklasse Vb), het is geen harde eis.

Conclusies tax Proof of concept

Overall conclusie tav PoC

De methode MFL-light kan ingezet worden voor het inschatten van tijdvensters voor vereiste vervanging vanwege EFL ten behoeve van het prognoserapport.

Juist doordat in de methodiek de complexiteit aanzienlijk wordt verkleind, is het een krachtig instrument om de aandachtspunten voor de FL en het bijbehorende handelingsperspectief naar boven te krijgen.

Nadere conclusies tav PoC

Het doel van deze PoC is het toetsen van de **technisch haalbaarheid** van de inzet van de MFL-LIGHT methode om tot een vergelijking te komen van de verwachte tijdsvensters voor EFL en ETL.

De volgende bevindingen hierbij zijn relevant:

- De relatief beperkte inspanning voor deze methodiek staat in verhouding tot de resultaten, omdat dit de kans geeft alle energie te richten op de meest kritische onderdelen in het netwerk.
- Het is een werkbare methodiek (taalgebruik, aanpak) om voor verschillende deelgebieden op uniforme wijze tot vergelijkbare resultaten te komen (die ook passen in het beeld van de beheerder).
- Ondanks dat de methodiek is gebaseerd op expert judgement, ontkom je er niet helemaal aan om bepaalde informatie over de prestatie / eisen / ambities bij deelopgaven te verzamelen (bv bij het afleiden cq kiezen van realistische signaalwaarden).
- De vertaling van de resultaten voor deelopgaven naar afzonderlijke objecten is (net als bij de technische levensduur) een aandachtspunt.

Verbeterpunten voor PoC

Verbeterpunten voor vervolg:

- Resultaten van functionele inspectie toevoegen, zo kunnen de signaalwaarden beter worden vastgesteld.
- Onzekerheden in beeld brengen naar aanleiding van:
 - Keuzes die gemaakt zijn in de afweging
 - beleidskeuzes,
 - klimaatontwikkelingen en socio-economische ontwikkelingen
- Duidelijk maken waar de impact van maatregelen tot uiting komt
- Eventueel, de vertaling naar deelopgaven (=objectgroepen)

Methodiek Functionele Levensduur Inzet FL-light voor prognoserapport

Uitwerking werkwijze ARK/NZK

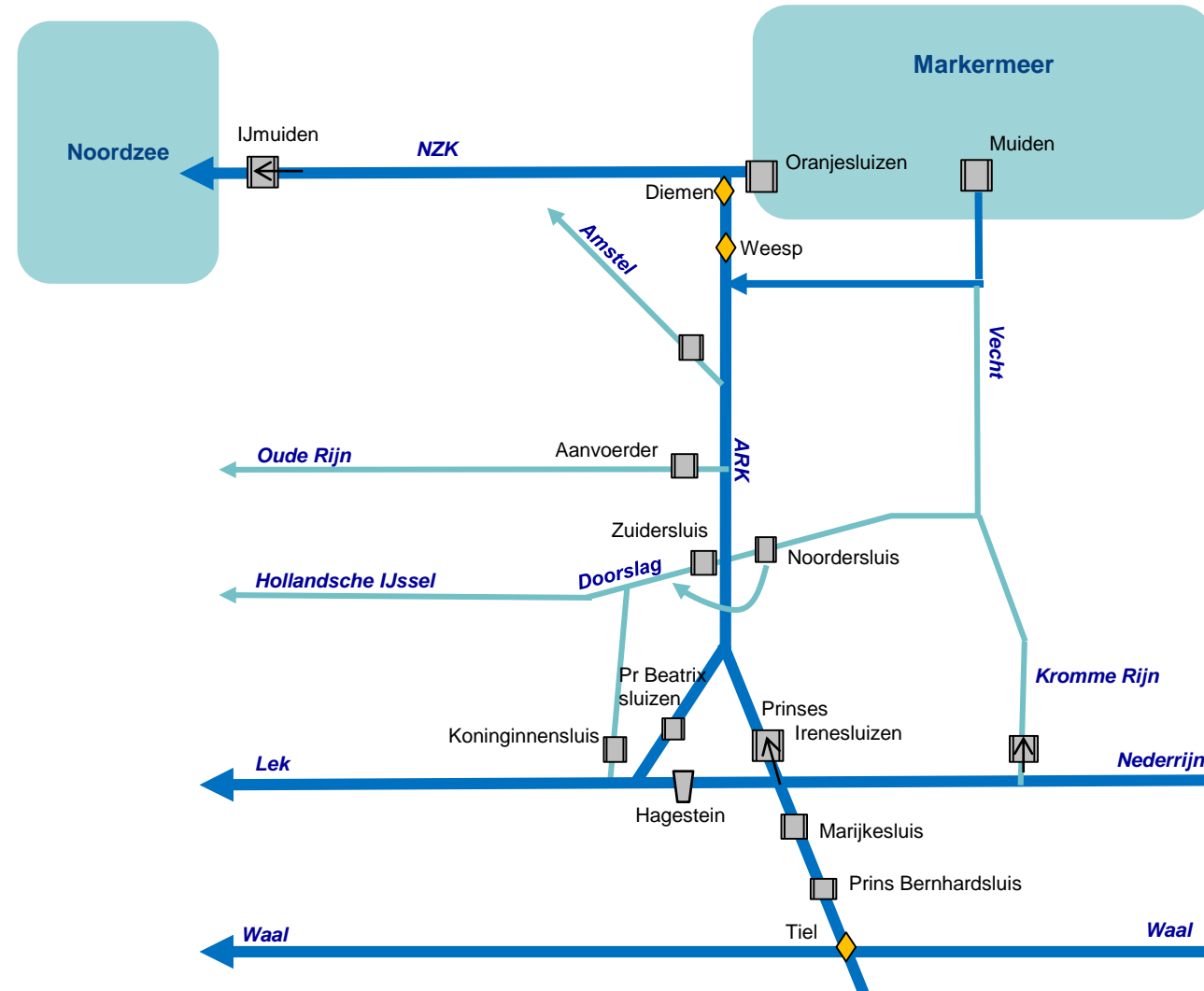
NZK/ARK: stap 1. FL-light uitvoeren



indicator	drivers WARM 2050											
	absoluut niveau zee	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	1250-jaar Rijnaivoer	aantal dagen met Rijnaivoer < 1000 m3/s	herhalingsrijndat KWA	aantal zomerse dagen > 25graden	sedimentatie rivieren	vervoersvraag Nationaal over water	vaarwijze	scheepvaart-klasse ARK	maaltoppel blijft gehandhaafd bij beoordeling van Functionele levensduur pompcapaciteit (muiden?)	ARK moet zoet blijven?
(periode)	(hele jaar)	(winter)	(winter)	(zomer)	(zomer)	(zomer)	(jaar)	(jaar)	(jaar)	(jaar)	(jaar)	(jaar)
(eenheid)	(cm-NAP)	(mm)	(m3/s)	(m3/s)	(jaar)	(dagen/jaar)	(cm/jaar)	(Mton/jaar)	(jaar)	(jaar)	(jaar)	(jaar)
huidig klimaat	3	89	14970	23	10	21	0	120		Vib	ja	ja
bovengrens klimaatscenario WARM 2085	80	111.25	17000	61	>2	48.3	0	?	platooning, smartshipping	Vib	nee	ja
bron	website KNMI '14	website KNMI '14	GRADE	Knelpunten analyse zoetwater (2019)	Knelpunten analyse zoetwater (2019)	website KNMI '14	aanname	FL-rapport 2018 (WLO-scenario's) grot	platooning, smartshipping	Vib		
opmerking			De afvoer voor W2100 ligt op 17191, de afvoer voor 2085 is een					scheepvaart ARK vergelijkbaar met Nationaal		Vib=Duwvaart 2x 2 bakken naast elkaar		

IWP-deelgebied	object	locatie	RWS kerntaken	functie	eis	NOORDZEE														
						Zeespiegel-stijging	AANVOER (winter) meer, (intensiever)	AANVOER (zomer) minder (intensiever)	WATERVRAAG REGIO (meer)	HITTE Stijging (temperatuur)	ONDER-GROND Bodemdaling/ sedimentatie	SCHIEPVAART meer scheepvaart	andere vaarwijze	BELEID veranderend	BELEID veranderend	BELEID veranderend				
NZK-ARK	sluis, maal en spuicomplex	Ijmuiden	waterveiligheid	keren hoogwater	voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			waterveiligheid	faciliteren bediening en besturing	voldoende lage kans op falen sluitproces	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	
			waterveiligheid	afvoeren water	voldoende laag handhaven waterpeil	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			voldoende water	keren (vasthouden water)	reguleren en handhaven waterpeil	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			schoon en gezond water	verzilting tegengaan	chloridegehalte NZK-norm	-1	0	0	-1	-1	-1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0
			vlotte en veilige verkeer	faciliteren scheepvaartverkeer	bepaalde wachttijd voor scheepvaart (qua tijdsduur schutten en/of aantal sluitingen)	0	0	0	-2	-2	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0
			vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende vaarhoogte	0	-1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende vaardiepte	0	1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende doorvaarbreedte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schutsluis ind spuismogelijkheden	Irenesluis, oranje sluis, Bernardsluis	waterveiligheid	keren hoogwater	voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			waterveiligheid	faciliteren bediening en besturing	voldoende lage kans op falen sluitproces	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			voldoende water	keren (vasthouden water)	reguleren en handhaven waterpeil	0	1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			voldoende water	doorlaten water	voldoende doorvoercapaciteit qua doorstrooppervlak	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			schoon en gezond water	verzilting tegengaan	chloridegehalte Diemen <150 mg/l	0	-2	0	-2	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			vlotte en veilige verkeer	faciliteren scheepvaartverkeer	bepaalde wachttijd voor scheepvaart (qua tijdsduur schutten en/of aantal sluitingen)	0	0	0	0	-2	0	0	-2	1	0	0	0	0	0	
			vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende laag stroomniveaus	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende vaarhoogte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende vaardiepte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	schutsluis zonder functie spuien	Beatrixsluis, Zuiderluis Nieuwegein, Noorderluis, Middeluis, Zuiderluis Ijmuiden en Koninginnesluis	waterveiligheid	keren hoogwater	voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			waterveiligheid	faciliteren bediening en besturing	voldoende lage kans op falen sluitproces	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			voldoende water	keren (vasthouden water)	reguleren en handhaven waterpeil	0	1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			voldoende water	doorlaten water	voldoende doorvoercapaciteit qua doorstrooppervlak	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			schoon en gezond water	verzilting tegengaan	chloridegehalte Diemen <150 mg/l	0	-2	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			vlotte en veilige verkeer	faciliteren scheepvaartverkeer	bepaalde wachttijd voor scheepvaart (qua tijdsduur schutten en/of aantal sluitingen)	0	0	0	-1	-1	0	0	-2	1	0	0	0	0	0	
vlotte en veilige verkeer			vareren mogelijk maken	voldoende vaarhoogte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
vlotte en veilige verkeer			vareren mogelijk maken	voldoende vaardiepte	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
vlotte en veilige verkeer			vareren mogelijk maken	voldoende doorvaarbreedte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Schutsluis indemaal	Marjiesluis	waterveiligheid	afvoeren water	reguleren en handhaven waterpeil	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		voldoende water	doorlaten water	reguleren en handhaven waterpeil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		schoon en gezond water	doorlaten water	doorspoelen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
bruggen ARK (vast en beweegbaar)	Aanvoerspoorbrug, zeeburgerbrug (1200), Nesciobrug, Uylenderbrug, Autosnelweg, Mulderspoorbrug, Weesperbrug, Loenerslootsebrug, Breukelerbrug, Maarssebrug, Zuilenbrug, Demka Spoorbrug 1, Demka Spoorbrug 2 (werkspoorbrug), Vleutenspoorbrug, Hogewiedbrug, De Meerbrug, Prins Clausbrug, Galecopperbrug (A12), IJphasespoorbrug, IJphasespoorbrug, Nieuwspoorbrug, Doelbrug	vlotte en veilige verkeer	faciliteren scheepvaartverkeer	bepaalde wachttijd voor scheepvaart (qua tijdsduur schutten en/of aantal sluitingen)	0	-3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende vaarhoogte	0	-1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende vaardiepte	0	1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende doorvaarbreedte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		vlotte en veilige verkeer	vareren mogelijk maken	voldoende doorvaarbreedte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
damwandoever			waterveiligheid	keren hoogwater	voldoende weerstand civiele constructie tegen overschrijden sterkte/stabiliteit	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0			

NZK/ARK



NZK/ARK: stap 2.

Comprimeren resultaat

Schutsluis zout (A)

(Belangrijkste drivers, belangrijkste functies)

- Verminderde aanvoer zomer + Toenemende watervraag regio
 - Verzilting tegengaan
 - Faciliteren scheepvaart (wachttijd)
- Zeespiegelstijging
 - Verzilting tegengaan
 - Keren hoogwater
- Toename scheepvaart
 - Verzilting tegengaan
 - Faciliteren scheepvaart

Schutsluis zoet, incl spuien (B)

- Toenemende watervraag regio
 - Verzilting tegengaan/doorlaten water
 - Faciliteren scheepvaart (stroomsnelheden+wachttijd)

Maal- en spuicomplex zout (C)

- Zeespiegelstijging
 - Afvoeren water
 - Keren hoogwater

Schutsluis zoet, zonder spuien (D)

- Verminderde aanvoer zomer
 - Varen mogelijk maken (onvoldoende diepte)
- Toenemende scheepvaart
 - Faciliteren scheepvaart (wachttijd)

ARK/NZK: stap 3. Uitwerken kritische functies (1)

Schutsluizen zout (IJmuiden) (A1)

1. Verminderde aanvoer zomer
2. zeespiegelstijging
3. toename scheepvaart
 1. Verzilting tegengaan
 2. Faciliteren scheepvaart (wachttijd)

Deelgebied	ARK/NZK																																																	
Deelopgave	Schutsluizen zout																																																	
Drivers	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verminderde rivierafvoer zomer 2. zeespiegelstijging 3. toename scheepvaart 																																																	
Functie (in de knel)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verzilting tegengaan 2. Faciliteren scheepvaart (wachttijd) 																																																	
object	IJmuiden																																																	
Toelichting relatie driver en functie	Verzilting: Onvoldoende debiet zoetwater beschikbaar voor tegendruk zouttong: schutbeperkingen? Faciliteren scheepvaart: schutbeperkingen; zuinig met water-> vol schutten?																																																	
Maat voor driver	nvt																																																	
Kritische waarden driver	nvt																																																	
Signaalwaarde	verzilting: zoutgehalte bij Weesp > norm Scheepvaart: wachttijden >?																																																	
Einde Functionele levensduur	=TL																																																	
Maatregel:	selectief onttrekken zout																																																	
OPMERKINGEN	<p>Bij het ontwerp van de selectieve onttrekking wordt rekening gehouden met de autonome ontwikkeling en de afspraak dat de 5-daags gemiddelde afvoer bij Weesp minimaal 25 m3/s bedraagt</p> <p>Aangenomen wordt dat afspraken, toekomstige veranderingen zoals zeespiegelstijging, verminderde rivierafvoer en scheepvaarttoename in het ontwerp van de SO worden meegenomen.</p> <p>Ter indicatie: de zoutlast agv zeesluis (zonder maatregelen) is 60% hoger per schutting dan zoutlast van 1 schutting door elke (bestaande) kolken samen</p> <p>Volgens de Deltascenario's groeit de vervoersvraag over water met: -RUST: 20% tot 410Mton per jaar in 2050. -WARM: met 10% tot 380 Mton per jaar in 2050. Voor uitsplitsing over regio's zie NMCA-rapport.</p>																																																	
Data	<p>effect zeespiegelstijging op de verzilting NZK, effect is klein in vergelijking met toename nieuwe zeesluis:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th colspan="10">zeewaterstand [m+NAP]</th> </tr> <tr> <th>1990</th> <th>2050</th> <th>2050</th> <th>2050</th> <th>2050</th> <th>2085</th> <th>2085</th> <th>2085</th> <th>2085</th> </tr> <tr> <th>ref</th> <th>GL</th> <th>GH</th> <th>WL</th> <th>WH</th> <th>GL</th> <th>GH</th> <th>WL</th> <th>WH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ZSS gem (cm)</td> <td>0.00</td> <td>22.50</td> <td>22.50</td> <td>30.00</td> <td>30.00</td> <td>42.50</td> <td>62.50</td> <td>62.50</td> <td>62.50</td> </tr> <tr> <td>Toename verzilting</td> <td>0%</td> <td>2%</td> <td>2%</td> <td>2%</td> <td>2%</td> <td>3%</td> <td>5%</td> <td>5%</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>		zeewaterstand [m+NAP]										1990	2050	2050	2050	2050	2085	2085	2085	2085	ref	GL	GH	WL	WH	GL	GH	WL	WH	ZSS gem (cm)	0.00	22.50	22.50	30.00	30.00	42.50	62.50	62.50	62.50	Toename verzilting	0%	2%	2%	2%	2%	3%	5%	5%	5%
	zeewaterstand [m+NAP]																																																	
	1990		2050	2050	2050	2050	2085	2085	2085	2085																																								
	ref	GL	GH	WL	WH	GL	GH	WL	WH																																									
ZSS gem (cm)	0.00	22.50	22.50	30.00	30.00	42.50	62.50	62.50	62.50																																									
Toename verzilting	0%	2%	2%	2%	2%	3%	5%	5%	5%																																									

ARK/NZK: stap 3. Uitwerken kritische functies (2)

Schutsluis zout (IJmuiden) (A2)

1. Zeespiegelstijging
 1. Keren hoogwater

Deelgebied ARK/NZK
Deelopgave Schutsluizen zout
Driver Zeespiegelstijging
Functie (in de knel) Keren Hoogwater
Object IJmuiden
Toelichting relatie driver en functie zeespiegelstijging zorgt voor toenemende belasting op de waterkering

Maat voor driver overstromingskans (ondergrens) traject 44-3

Kritische waarden driver per jaar

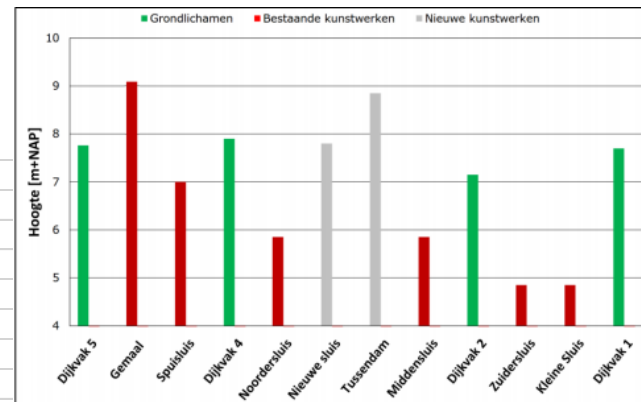
Signaalwaarde per jaar

Einde Functionele levensduur (indicatie)	GL	WH
zie figuur	2019	2019

OPMERKINGEN

<https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/assessment>
 beoordelingsrapport: Ontwerpbureau Rijkswaterstaat WETTELIJKE BEOORDELING DIJKTRAJECT 44-3 IJMUIDEN Hoofdrapport
 traject 44-3 is in de afgelopen toetsronde afgekeurd (o.a op hoogte deuren Zuider- en kleine sluis, kans op niet sluiten Middensluis en de Noorder- en Middensluis voldoen niet aan de signaleringswaarde voor hoogte).

traject 44-3



Figuur 4: Hoogtes verschillende onderdelen waterkering IJmuiden

ARK/NZK: stap 3. Uitwerken kritische functies

Schutsluis zoet + spuien (B)

1. Verminderde aanvoer zomer + toename scheepvaart
1. Faciliteren scheepvaart (wachttijd)

Deelgebied	ARK/NZK				
Deelopgave	Schutsluizen zoet + spuien				
Driver	Toenemende watervraag regio				
Functie (in de knel)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Doorlaten water om verzilting tegen te gaan 2. Faciliteren scheepvaart (wachttijd +stroomsnelheden) 				
Objecten	Irenesluizen, oranjesluizen, Bernhardsluizen				
Toelichting relatie driver en functie (tekst)	Doordat de sluisen worden ingezet om water door/ af te voeren worden stroomsnelheden				
Maat voor driver	aantal dagen dat de KWA wordt ingezet met een herhalingsstijd van 10 jaar				
Kritische waarden driver	<input style="width: 100px;" type="text" value="10"/> jaar	keuze			
Signaalwaarde	<input style="width: 100px;" type="text" value="30"/> dagen	keuze			
Einde Functionele levensduur (indicatie) zie figuur	GL	WH			
	geen EFL	2032			
OPMERKINGEN					
Data (zie tabblad KWA)					
		aantal dagen met inzet KWA			
	REF	D2050	R2050	S2050	W2050
T=10 jaar	10	10	10	55	55

ARK/NZK: stap 3. Uitwerken kritische functies (3)

Maal- en spuicomplex zout (C)

1. Zeespiegelstijging

1. Afvoeren water

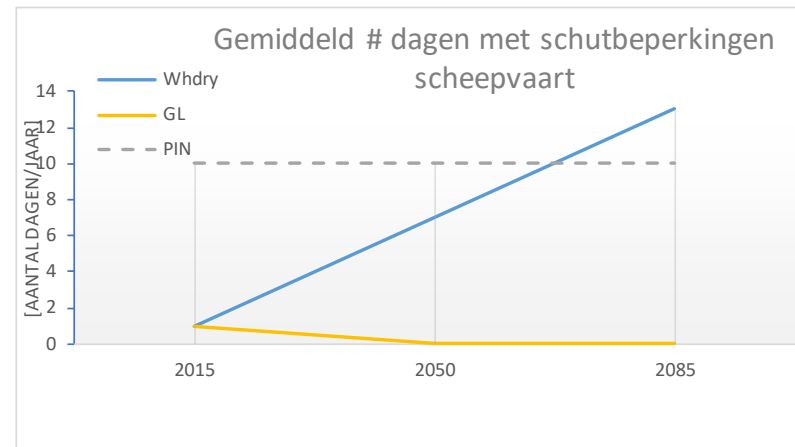
Deelgebied	ARK/NZK				
Deelopgave	Maal- en spuicomple IJmuiden				
Driver	Zeespiegelstijging				
Functie (in de knel)	Afvoeren water				
Toelichting relatie driver en functie (tekst)	ZSS verkleint het spuienster en opvoerhoogte pompen				
Maat voor driver					
Kritische waarden driver	<input type="text"/> jaar				
Signaalwaarde	<input type="text"/> dagen				
Einde Functionele levensduur (indicatie) zie figuur	<table border="1"> <tr> <td>GL</td> <td>WH</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;"></td> <td style="background-color: yellow;"></td> </tr> </table>	GL	WH		
GL	WH				
OPMERKINGEN	nog niet uitgewerkt, gebruik HKV resultaten				

ARK/NZK: stap 3. Uitwerken kritische functies (4)

Schutsluis zoet, zonder spuien (D)

1. Verminderde aanvoer zomer + toename scheepvaart
1. Faciliteren scheepvaart (wachttijd)

Deelgebied	ARK/NZK					
Deelopgave	Schutsluizen zoet, zonder spuien					
Driver	Verminderde rivierafvoer zomer					
Functie (in de knel) objecten	Scheepvaart (wachttijd) Oranjesluizen, Beatrixsluizen, Hagestein.					
Toelichting relatie driver en functie	Bij afvoeren lager dan 700 m ³ /s te Lobith nemen de wachttijden omdat er schutbeperkingen worden opgelegd.					
Maat voor driver	Gemiddeld # dagen per jaar dat de afvoer te Lobith < drempel					
Kritische waarden driver	<input type="text" value="700"/>	m ³ /s	literatuur			
Signaalwaarde	<input type="text" value="10"/>	dagen/jaar	keuze			
Einde Functionele levensduur indicatie	GL	WH				
	geen EFL	2068	zie figuur			
OPMERKINGEN	Al bij een afvoeren lager dan 850 m ³ /s te Lobith nemen de wachttijden toe omdat er zuiniger geschut wordt, echter de schutbeperkingen zijn hier maatgevend beschouwd Vertrekpunt: Schutsluizen ARK + Ijmuiden kennen beperkingen bij lage (genoemde) debieten					
Data (zie tabblad QLobith)						
	Drempelafvoer	agen per jaar afvoer < drempel				
	[m ³ /s]	Ref2015	2050GL	2050Whdr	2085GL	2085Whdry
	700	1.0	0.0	7.0	0.0	13.0
	850	6.0	3.0	22.0	3.0	35.0



NZK/ARK: stap 3. Uitwerken kritische functies (5)

Inhoudelijke bevindingen wat betreft de FL:

- De schutsluizen Zout (IJmuiden) voldoen niet aan de eisen qua hoogwaterbescherming. Het traject is in de afgelopen WBI-beoordelingsronde afgekeurd (o.a op hoogte deuren Zuider- en kleine sluis, kans op niet sluiten Middensluis en de Noorder- en Middensluis voldoen niet aan de signaleringswaarde voor hoogte).
- De schutsluizen met spuimogelijkheden zullen rond 2030 FEL zijn omdat de KWA (Klimaatbestendige Wateraanvoer West Nederland) steeds vaker wordt ingezet, waardoor de wachttijden voor scheepvaart toenemen.
- De wachttijden voor scheepvaart bij schutsluizen zonder spuimogelijkheid zullen rond 2070 kritisch worden door lagere rivierafvoeren en toename van de scheepvaart.
- Deze inhoudelijke bevindingen komen (niet) overeen met het beeld van de beheerder (Hier *Hans van Twuiver, John Kamps en Evert-Jan Hamerslag*) – nog te checken.

NZK/ARK: stap 4. Vaststellen nadere analyses

De kwalitatieve verwachtingen kunnen als volgt worden aangescherpt:

- Controle en verder aanvulling resultaten met experts.
- Slide 35 over het Maal en pompcomplex nader aanvullen.

Indien dan nog steeds kritisch, dan kan als handelingsperspectief worden gedacht aan de volgende maatregelen:

- Bij EFL van de deelopgave schutsluizen bij verminderde aanvoer zomer, zeespiegelstijging en toename scheepvaart zullen alternatieve maatregelen als een bellenscherm, zoutvang of selectief onttrekking onderzocht moeten worden.

Contact

 www.deltares.nl

 [@deltares](https://twitter.com/deltares)

 [linkedin.com/company/deltares](https://www.linkedin.com/company/deltares)

 info@deltares.nl

 [@deltares](https://www.instagram.com/deltares)

 [facebook.com/deltaresNL](https://www.facebook.com/deltaresNL)



Deltares