



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2024

*Vervangings- en renovatieopgave
natte kunstwerken in Nederland*

Kennisbijdrage:

Ontwikkelen systematiek voor uitwerken opties

Iteratieve werkwijze Stap 2 –
Inventariseren en ontrafelen probleem

Auteurs

Noor ten Harmsen van der Beek	(Deltares)
Sam Maijvis	(Deltares)
Esther van Baaren	(Deltares)
Otto Weiler	(Deltares)
Ileen de Kat	(Rijkswaterstaat)
Herbert Berger	(Rijkswaterstaat)
Albert Barneveld	(Rijkswaterstaat)

kenmerk	: KpNK-2024-KV2-opties-a009
versie	: 1.0
datum publicatie	: 31 december 2024



Voorwoord

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets waarvoor beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen verantwoordelijk zijn. Veel van deze natte kunstwerken in de waterinfrastructuur bereiken de komende decennia het einde van hun (technische en/of functionele) levensduur. Zij kunnen daardoor hun functies naar verwachting niet meer adequaat blijven uitoefenen. Dit zal ten koste gaan van de mate waarin de waterinfrastructuur voldoet aan betrouwbaarheidseisen. In het kader van goed assetmanagement staan we dan ook voor de enorme opgave om deze kunstwerken te vervangen of te renoveren. Welke kennis hebben we nodig om dat efficiënt, kostenbesparend en toekomst-bestendig aan te pakken?

Deltares

MARIN



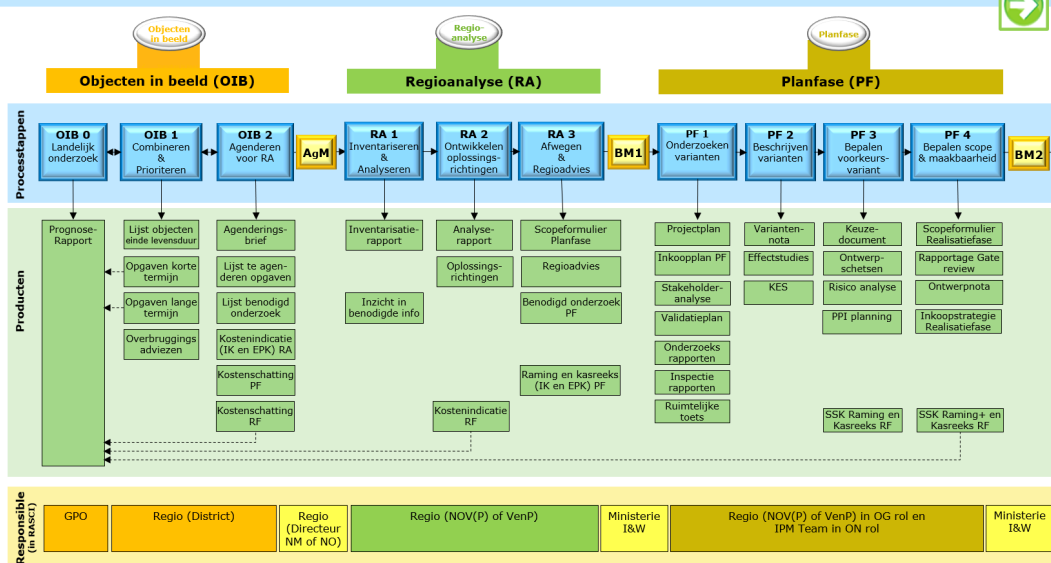
TNO

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelen en bundelen Deltares, MARIN, TNO en Rijkswaterstaat deze kennis op basis van de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken.

Werkwijze vervangings- en renovatieproces

De laatste jaren richten we ons niet meer uitsluitend op een-op-een vervanging van kunstwerken. We zoeken steeds meer naar mogelijkheden om hun levensduur te verlengen en (noodzakelijke) ingrepen te koppelen aan gebieds- en netwerkontwikkelingen en aan functionele ontwikkelingen. Rijkswaterstaat heeft als assetmanager een vernieuwde werkwijze voor dit vervangings- en renovatieproces (VenR) opgesteld om een uniform en systematisch proces te hebben waarmee een VenR-maatregel transparant onderbouwd kan worden (zie Figuur 1).

Procesketen VenR (tot aan Realisatie)



Figuur 1: Procesketen VenR binnen Rijkswaterstaat

Deze procesketen vormt de basis waar de kennisontwikkeling van het kennisprogramma aan bijdraagt.



Twee-stappen-benadering en drie kernvragen

De kennis die we ontwikkelen binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken draagt bij aan de stapsgewijze-benadering binnen deze Procesketen VenR:

- stap 1 (*Objecten in Beeld*): richt zicht op (het einde van) de technische levensduur van een kunstwerk en het agenderen van de VenR-opgave in het *Prognose rapport*;
- stap 2 (*Regioanalyse*): brengt vooral de relatie in kaart tussen het kunstwerk en de netwerken waar het (samen met andere kunstwerken) deel van uitmaakt. In het resulterende *Regioadvies* gaat het ook over (het einde van) de functionele levensduur.

Inhoudelijk vindt het onderzoek plaats aan de hand drie *kernvragen*:

1. Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee, zowel technisch als functioneel?
2. Welke alternatieven heb ik, behalve een-op-een vervanging?
3. Hoe weeg ik de alternatieven tegen elkaar af?

Programmaplan, jaarlijkse kennisplannen en samenwerking

Het programmaplan omvat de achtergronden en ambities voor de gehele looptijd van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken. Jaarlijks worden deze ambities uitgewerkt in een kennisplan en een bijbehorend financieringsplan. Andere partijen zoals waterschappen, adviesbureaus en andere (commerciële) organisaties, nodigen we uitdrukkelijk uit om deel te nemen aan het gezamenlijk uitvoeren van een kennisplan, bijvoorbeeld met kennisbijdragen in voor hen relevante onderzoeksprojecten, met praktijkervaringen of financiële bijdragen.

Resultaten delen

Bijdragen en onderzoeksresultaten uit ons Kennisprogramma Natte Kunstwerken delen we met de hele sector via onze website (www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl) en op andere manieren.

Hieronder vindt u een kennisbijdrage binnen werkpakket 2 'Ontwikkelen systematiek voor uitwerken opties' uit het kennisplan 2024. Het omvat eerst de samenvatting van het onderzoek 'Iteratieve werkwijze Stap 2 – Inventarisatie en ontrafelen probleem'. Deze activiteit is namens het Kennisprogramma Natte Kunstwerken geleid door Deltares en Rijkswaterstaat. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een rapport.

N.B. Het volledige rapport is gelijk aan het originele document van Deltares, met uitzondering van het titelblad. Bij publicatie van dit onderzoeksverslag op de KpNK-website, is deze om privacyredenen verwijderd.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken *Kennisplan 2024*

Meer informatie

- Het Kennisprogramma Natte Kunstwerken is de uitwerking van de onderzoeklijn 'Toekomstbestendige Natte Kunstwerken' binnen het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Zie www.waterenklimaat.nl

NKWK

- Voor meer informatie over het programma Kennisprogramma Natte Kunstwerken, zie www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.



- Voor vragen over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken en het kennisplan 2024 kunt u terecht bij Martine Brinkhuis, email martine.brinkhuis@rws.nl
- Voor vragen over de voorliggende kennisbijdrage kunt u terecht bij de auteurs:

Noor ten Harmsen van der Beek

noor.tenharmsevanderbeek@deltares.nl

Ileen de Kat

ileen.de.kat@rws.nl



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2024



Samenvatting

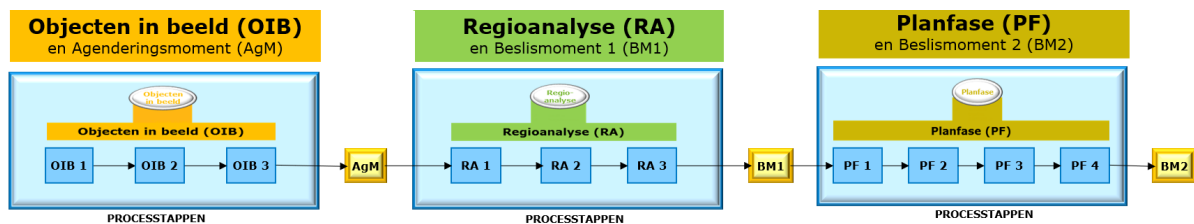
Ontwikkelen systematiek voor uitwerken opties

Iteratieve werkwijze Stap 2 – Inventariseren en ontrafelen probleem

Hieronder vindt u een kennisbijdrage van het werkpakket ‘Ontwikkelen systematiek voor uitwerken opties’ uit het kennisplan van Kernvraag 2 en 3. De bijdrage – geleid door Deltares en RWS – omvat de samenvatting van het onderzoek ‘Iteratieve werkwijze Stap 2 – Inventariseren en ontrafelen probleem’. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een rapport.

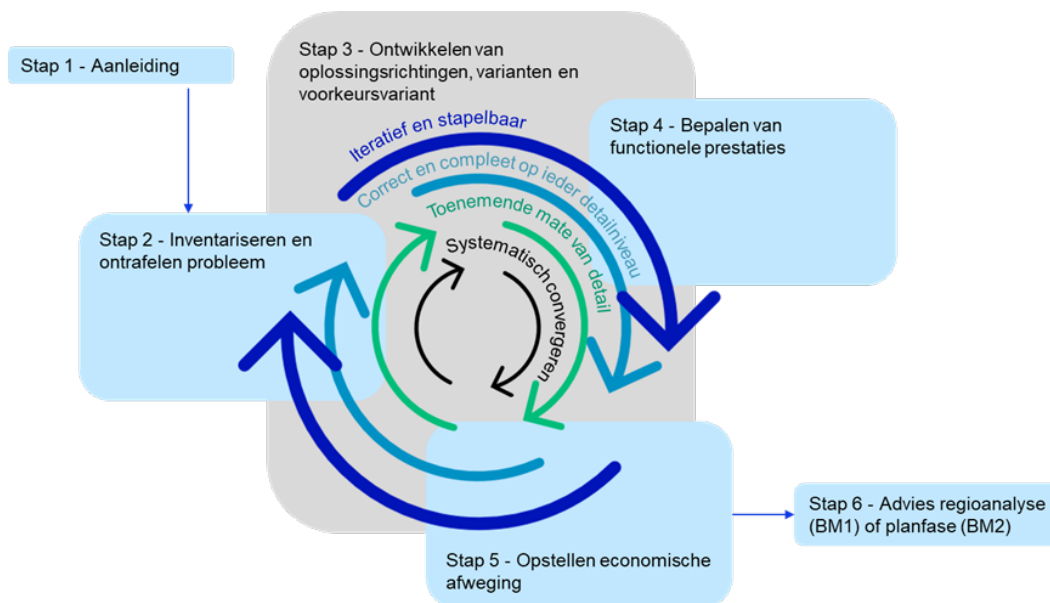
Aanleiding en probleemstelling

Om het besluitvormingsproces rondom de Vervanging en Renovatie (VenR) van kunstwerken te ondersteunen heeft Rijkswaterstaat een werkproces (zie Figuur 1) opgezet, bestaande uit onder meer Objecten in beeld, Regioanalyse en Planfase. Tussendoor zijn er verschillende beslismomenten. De Doorklikplaat VenR beschrijft dit werkproces en biedt hulpmiddelen voor de uitvoering.



Figuur 1: Versimpelde weergave van deel werkproces volgens Doorklikplaat VenR

Om de Regioanalyse en Planfase uit dit werkproces goed te doorlopen, is in het KpNK de iteratieve werkwijze ontwikkeld. Hiermee kunnen beslismomenten 1 en 2 (BM1 – voorbereid in de Regioanalyse en BM2 – voorbereid in de Planfase) goed, transparant, en navolgbaar voorbereid en onderbouwd worden (Figuur 2). De iteratieve werkwijze wordt op hoofdlijnen toegelicht in het [hoofdrapport](#).



Figuur 2: Iteratieve werkwijze om onderbouwd te komen tot oplossingsrichting, varianten en voorkeursvariant voor objecten met einde levensduur.

Een belangrijk onderdeel in de onderbouwing van een VenR-beslissing is het scherp in kaart brengen van de probleemstelling en de bijbehorende informatiebehoefte. Het systematisch ontwikkelen van oplossingsrichtingen en varianten vereist structuur in het inventariseren van de (basis)informatie.

Onderzoeksvraag (WAT)

Het doel van de iteratieve werkwijze is om de VenR-coördinatoren van Rijkswaterstaat te ondersteunen bij het doorlopen van het VenR-werkproces (Figuur 1). De onderzoeksvraag specifiek voor deze stap in de iteratieve werkwijze is: Welke informatie is nodig om tot een goede probleemstelling te komen en voor het ontwikkelen van oplossingsrichtingen en varianten?

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

De ontwikkelde iteratieve werkwijze en de bijbehorende onderdelen zijn tot stand gekomen in co-creatie tussen Rijkswaterstaat en Deltares. Hiervoor is gebruikgemaakt van verschillende werk- en onderzoeksmethoden: literatuurstudies, werksessies met het projectteam, werksessies ter ondersteuning van daadwerkelijke VenR-besluitvorming (praktijkcases), interviews en data-analyses.

Drie praktijkcases hebben er nadrukkelijk aan bijgedragen om een antwoord te vinden op bovenstaande onderzoeksvraag: de Regioanalyses voor de Maasstuwen en het Julianakanaal, en een fictieve damwanden-case.

Onderzoekresultaten en synthese

In de besluitvorming over toekomstbestendige investeringen in VenR bij natte kunstwerken moet de beschikbare informatie optimaal worden benut. Daarbij is de informatie over zowel de individuele kunstwerken zelf als het netwerk waar ze deel van uitmaken van belang. Ook de effecten van klimatologische, socio-economische en beleidsmatige ontwikkelingen moeten worden meegenomen.

Het rapport voor stap 2 biedt handvatten voor het inventariseren van deze informatie waarmee de probleemstelling duidelijk in kaart gebracht kan worden. Om tot een breed beeld te komen van relevante objecten, hun functionele samenhang en van het netwerk waar ze deel van uitmaken, geeft



het rapport aandacht aan vier aspecten: functies, eisen en wensen, (technische en functionele) prestaties en de externe ontwikkelingen die invloed hebben op deze prestaties. Deze beïnvloedende ontwikkelingen noemen we in het KpNK [drivers](#).

Evaluatie en vooruitblik

De iteratieve werkwijze (inclusief deze tweede stap) is klaar om te gebruiken voor VenR-teams. Aan de hand van toepassing in de praktijk zal moeten blijken of de deze werkwijze daadwerkelijk leidt tot goed onderbouwde VenR-beslissingen, en waar eventuele verbeterpunten nodig zijn.

Zie voor verdere uitleg over de (totstandkoming) van de iteratieve werkwijze ook de kennisbijdrage '[Hoofdrapportage](#)'.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2024

Afronding en landing (raamwerk, landingsplekken)

Iteratieve werkwijze Stap 2 - Inventarisatie en ontrafelen probleem



Afronding en landing (raamwerk, landingsplekken)

Iteratieve werkwijze Stap 2 - Inventarisatie en ontrafelen probleem

Auteur(s)

Noor ten Harmsen van der Beek

Sam Majvis

Esther van Baaren

Otto Weiler

Ileen de Kat

Herbert Berger

Albert Barneveld

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Context Kennisprogramma Natte Kunstwerken	8
1.2	Doel en doelgroep	9
1.3	Iteratieve werkwijze	9
1.4	Stap 2 - Inventariseren en ontrafelen probleem	10
2	Functies	13
2.1	Gebiedsomschrijving	13
2.2	Identificatie functies	14
2.3	Functionele samenhang	15
2.3.1	Vormen van samenhang	16
2.3.2	Identificeren van samenhang	17
3	Eisen en wensen	20
3.1	Voorbeelden eisen en wensen	20
3.2	Omgaan met ontbrekende eisen en wensen	22
3.2.1	Werken met verschillende, mogelijke eisen	22
3.2.2	Koppeling object en systeem	23
3.2.3	Gebruik maken van economische prestatie en economische balans	23
4	Drivers	24
4.1	Drivers voor de infrastructurele opgaven	24
4.2	Klimaatdata	26
4.2.1	Klimatologische ontwikkelingen	26
4.2.2	Beschikbaarheid data	26
4.2.3	Stappenplan klimaatdata	27
4.3	Scheepvaartdata	28
4.3.1	Beschikbare scheepvaartdata: huidige situatie	28
4.3.2	Beschikbare scheepvaartdata: toekomstige scenario's	31
4.4	Beleidsmatige drivers	32
5	Technische en functionele prestatie	33
5.1	Technische prestatie	33
5.2	Functionele prestatie	34
6	Vervolgstappen en aandachtspunten	35
6.1	Vervolgstappen in de iteratieve werkwijze	35
6.2	Aandachtspunten	35
6.2.1.1	Ontwikkeling en aansluiting netwerkschakelplannen	35

6.2.2	Beschikbaarheid data en modellen	36
	Referenties	37
A	Drivers: Klimaatdata	39
A.1	Deltascenario's	39
A.2	Hydrologische en hydrodynamische modellen	40
A.3	Voorbeelden en knelpunten van databeschikbaarheid	41
A.4	Databeschikbaarheid	43

1 Inleiding

1.1 Context Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Sluizen, stuwen, gemalen, stormvloedkeringen en damwandconstructies zijn belangrijke assets (ook wel natte kunstwerken genoemd) voor het waterbeheer waar beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen voor verantwoordelijk zijn. Gezien de ontwerphorizon, conditie en prestatie van deze natte kunstwerken in de waterinfrastructuur bereiken veel (onderdelen) van deze objecten de komende decennia het einde van hun levensduur (Rijkswaterstaat, 2022b). Zij kunnen daardoor hun functies niet meer adequaat blijven uitvoeren. Zonder aanpassingen zal dit dan ten koste gaan van de betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en/of veiligheid van de waterinfrastructuur. In sommige gevallen raakt het ook de veiligheid van de burger (bijv. het niet-sluiten van een spuisluis of uitval van een gemaal). In het kader van goed assetmanagement staan beheerders als Rijkswaterstaat dan ook voor een grote opgave om tot toekomstbestendige (investerings-)beslissingen te komen bij het vervangen of renoveren (VenR) van deze kunstwerken. Sinds 2024 heet VenR Vernieuwing binnen Rijkswaterstaat. In dit rapport wordt nog de term VenR aangehouden aangezien de implementatie van deze verandering (en bijbehorende terminologie) nog bezig is.

Wanneer een nat kunstwerk bijna einde levensduur bereikt, dient onderbouwd afgewogen te worden welke oplossingsrichting voor dit kunstwerk wordt gekozen: niets doen, levensduurverlengend onderhoud, VenR of nieuwe aanleg. Bij de onderbouwing dient goed in beeld te worden gebracht wat de functie van het natte kunstwerk in het bijbehorende netwerk en gebied is, naast effecten van socio-economische, klimatologische en beleidsmatige ontwikkelingen. Indien voor het verouderde kunstwerk wordt gekozen voor de oplossingsrichting VenR, dan heeft Rijkswaterstaat een uniform en systematisch werkproces opgesteld waarmee - vanaf de verkennende fase - een VenR-maatregel transparant en herleidbaar onderbouwd kan worden. De zogenoemde Doorklikplaat VenR visualiseert dit proces van de te doorlopen deelstappen en de op te leveren resultaten in dit werkproces.

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelen en bundelen Deltares, MARIN, TNO en Rijkswaterstaat de technische, functionele en economische kennis die nodig is om de besluitvorming omtrent de VenR-opgave bij de civiele en bewegende delen van natte kunstwerken effectief, efficiënt, transparant en toekomstbestendig te onderbouwen. De kennisontwikkeling in het KpNK draagt bij aan twee fasen van het VenR-proces, namelijk de Regioanalyse en Planfase, en vindt inhoudelijk plaats langs de volgende drie kernvragen:

1. Kernvraag 1: Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee, zowel technisch als functioneel?
2. Kernvraag 2: Hoe kunnen oplossingsrichtingen¹ en VenR-varianten² systematisch uitgewerkt en onderbouwd worden?
3. Kernvraag 3: Hoe weeg ik oplossingsrichtingen en VenR-varianten in termen van kosten en baten tegen elkaar af?

¹ Oplossingsrichtingen: niets doen, levensduurverlengend onderhoud, vervangen en renoveren, en aanleg

² Een variant is hier een verdere uitwerking van een oplossingsrichting. Binnen het VenR-proces wordt toegewerkt naar een voorkeursvariant.

1.2 Doel en doelgroep

In het KpNK is door Rijkswaterstaat en Deltares ten behoeve van het doorlopen van de Regioanalyse en Planfase volgens de VenR-doorklikplaat een iteratieve werkwijze ontwikkeld (zie het hoofdrapport over de iteratieve werkwijze (KpNK, 2024a)). Deze iteratieve werkwijze heeft als doel te komen tot een goede onderbouwing van de te nemen beslissing. De aanpak kenmerkt zich door een stapelbare en stapsgewijze aanpak waarbij steeds meer in detail kan worden gegaan (zie ook KpNK (2024a)).

Aan de hand van deze iteratieve werkwijze kunnen de adviezen met betrekking tot de oplossingsrichting(en) in de Regioanalyse en het daarbij behorende beslismoment 1 (BM1³) én de adviezen met betrekking tot de varianten in de Planfase en het daarbij behorende beslismoment 2 (BM2⁴) goed onderbouwd worden. Centraal in de iteratieve werkwijze staat de prestatie van een netwerk of kunstwerk - i.e. de mate waarin het voldoet aan de gestelde eisen en/of wensen. Op die manier wordt de functionele prestatie (KpNK, 2024d) gebruikt om het huidige en toekomstige functioneren van een nat kunstwerk of bijbehorend netwerk(deel) te bepalen, knelpunten op beide niveaus vast te stellen en (daarmee) systematisch oplossingsrichtingen en varianten uit te werken. Het concept van functionele prestatie is uiteraard breder toepasbaar; bevindingen van het KpNK zijn daarom ook los van de iteratieve werkwijze te gebruiken.

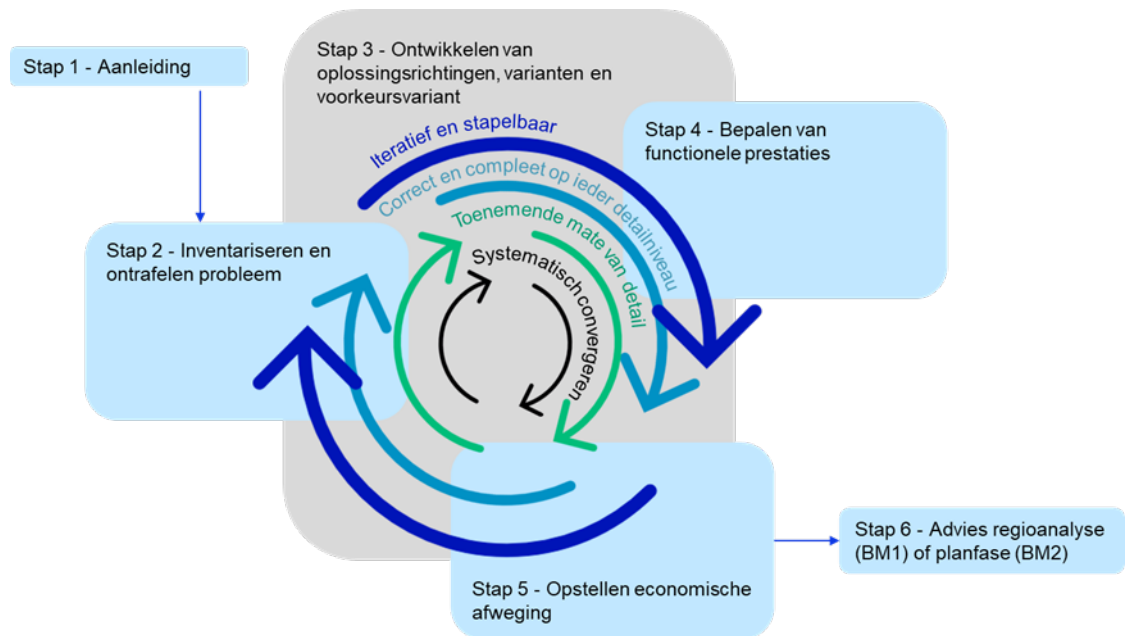
De genoemde iteratieve werkwijze is bedoeld als hulpmiddel voor de teams die – onder leiding van de betreffende regionale directies van Rijkswaterstaat - gezamenlijk het werkproces volgens de VenR-Doorklikplaat gaan doorlopen bij het in zicht komen van einde levensduur van een nat kunstwerk. Het biedt de VenR-coördinator van de regio een handvat voor een werkwijze die hij/zij kan volgen om systematisch te komen tot een goede onderbouwing van de oplossingsrichting(en) voor BM1 (voorbereid in de Regioanalyse) en varianten en voorkeursvariant voor BM2 (voorbereid in de Planfase) in het VenR-werkproces.

1.3 Iteratieve werkwijze

De iteratieve werkwijze is schematisch weergegeven in de navolgende figuur.

³ hierin gaat het om de vraag welke van de volgende oplossingsrichtingen op welk moment het meest passend is: niets doen, levensduurverlengend onderhoud, VenR of aanleg

⁴ hierin gaat het om de vraag welke van de verschillende realistische varianten de voorkeursvariant is



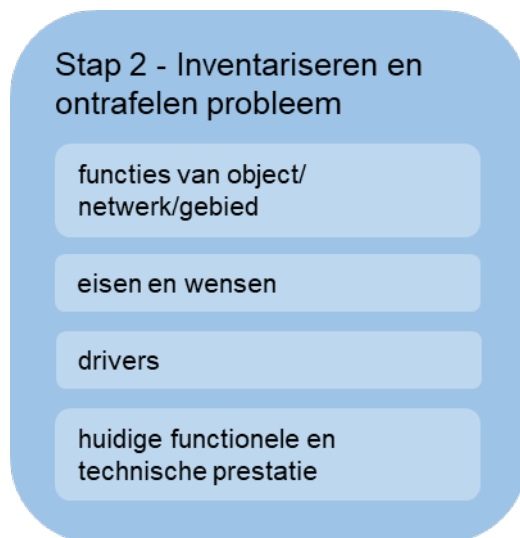
Figuur 1.1 Iteratieve werkwijze om onderbouwd te komen tot oplossingsrichting, varianten en voorkeursvariant voor objecten met einde levensduur.

Doel van de iteratieve werkwijze is om voor een object onderbouwd te komen tot een oplossingsrichting in de Regioanalyse (BM1) of tot varianten inclusief voorkeursvariant in de Planfase (BM2). Een belangrijke eigenschap van de iteratieve werkwijze is 'stapelbaarheid'. Hiermee wordt een herhaling van processtappen bedoeld waarbij in iedere herhaling (iteratie) er meer en/of betere informatie wordt verkregen voor onderbouwing van keuzes en waarbij nieuwe informatie aansluit bij eerdere, en mogelijk grovere, informatie. Er wordt stapsgewijs gewerkt, van grof naar fijn en met voortschrijdend inzicht, om onderbouwd te komen tot in steeds meer detail onderbouwde VenR-beslissingen (hier de oplossingsrichting, varianten en voorkeursvariant). Verkregen informatie, uitgangspunten, berekeningen en beargumenteerde keuzes worden als onderdeel van de ontwikkelde werkwijze transparant en eenduidig opgeschreven zodat bij vervolgvragen in het VenR-proces hier op kan worden voortgebouwd en de onderbouwing van keuzes tot een juist detailniveau kan worden gebracht. In de werkwijze wordt rekening gehouden met de verschillende functies van natte kunstwerken en (onzekere) toekomstige ontwikkelingen (drivers). Er is bij de opzet van de werkwijze zoveel mogelijk aangesloten bij de gangbare werkwijzen van Rijkswaterstaat (VenR-proces en -Doorklikplaat).

Een uitgebreide beschrijving van de volledige iteratieve werkwijze is beschikbaar in het hoofdrapport over de iteratieve werkwijze (KpNK, 2024a). Voor de afzonderlijke Stappen 2, 3, 4 en 5 zijn separate rapporten beschikbaar. In deze rapportage wordt Stap 2 toegelicht.

1.4 Stap 2 - Inventariseren en ontrafelen probleem

Het voorliggende rapport is onderdeel van het KpNK-onderzoek binnen Kernvraag 2 en gaat in op Stap 2 van de iteratieve werkwijze: het inventariseren van wat er speelt en het formuleren van de probleemstelling ten opzichte van de gewenste toekomstige situatie. Door de iteratieve aard van de werkwijze kan deze Stap meermaals doorlopen worden. Het is belangrijk om goed en herleidbaar vast te leggen welke keuzes gemaakt worden, zodat daar in de iteraties op voortgebouwd of teruggekomen kan worden. Binnen de inventarisatie en probleemstelling zijn vier belangrijke onderdelen te onderscheiden, zoals weergegeven in Figuur 1.2.



Figuur 1.2: De onderdelen van de iteratieve werkwijze in Stap 2 'Inventariseren en ontrafelen probleem'.

1. Functies van het object, netwerk en gebied

In de inventarisatie wordt een overzicht gemaakt van de relevante objecten in het netwerk en de bijdragen van die kunstwerken aan de functies van het beschouwde deel van het netwerk. Ook wanneer gericht naar één kunstwerk gekeken wordt, dan moet het gehele netwerk mede beschouwd worden om het probleem en de invloed van afhankelijkheden en/of veranderingen goed te begrijpen. Onderdeel hiervan is het kijken naar eventuele functionele samenhang. In Hoofdstuk 2 wordt uitgebreid ingegaan op het in kaart brengen van de functies.

2. Eisen en wensen

Eisen en wensen die gesteld worden aan individuele kunstwerken en/of het netwerk kunnen betrekking hebben op de huidige situatie of de (nabije) toekomst. De eisen of wensen voor het realiseren van de functionele bijdragen van kunstwerken zijn vaak niet vastgesteld, of niet vertaald van netwerk- naar objectniveau. Ze bestaan over het algemeen uit een combinatie van wettelijke normen, overeenkomsten (zoals waterakkoorden en peilbesluiten) en ambities of wensen van verschillende partijen met verschillende belangen. Eisen en wensen zijn vaak specifiek voor een bepaalde locatie- en object. In Hoofdstuk 3 wordt uitgebreid ingegaan op eisen en wensen.

3. Drivers

Drivers zijn alle toekomstige ontwikkelingen die een invloed kunnen hebben op het functioneren van een kunstwerk en/of het netwerk. Binnen de drivers wordt onderscheid gemaakt tussen klimatologische ontwikkelingen (en hieruit volgende veranderingen in natuurlijke processen), alsmede socio-economische en beleidsmatige ontwikkelingen. In Hoofdstuk 4 wordt uitgebreid ingegaan op drivers.

4. Technische en functionele prestatie

Onderdeel van Stap 2 is het in kaart brengen van de huidige technische en functionele prestatie en verwachte toekomstige ontwikkelingen, die hier invloed op kunnen gaan uitoefenen. Het op een rij zetten van deze informatie helpt in Stap 3 van de iteratieve werkwijze – het ontwikkelen van oplossingsrichtingen, varianten en voorkeursvariant (KpNK, 2024c). In Hoofdstuk 5 wordt hier verder op in gegaan.

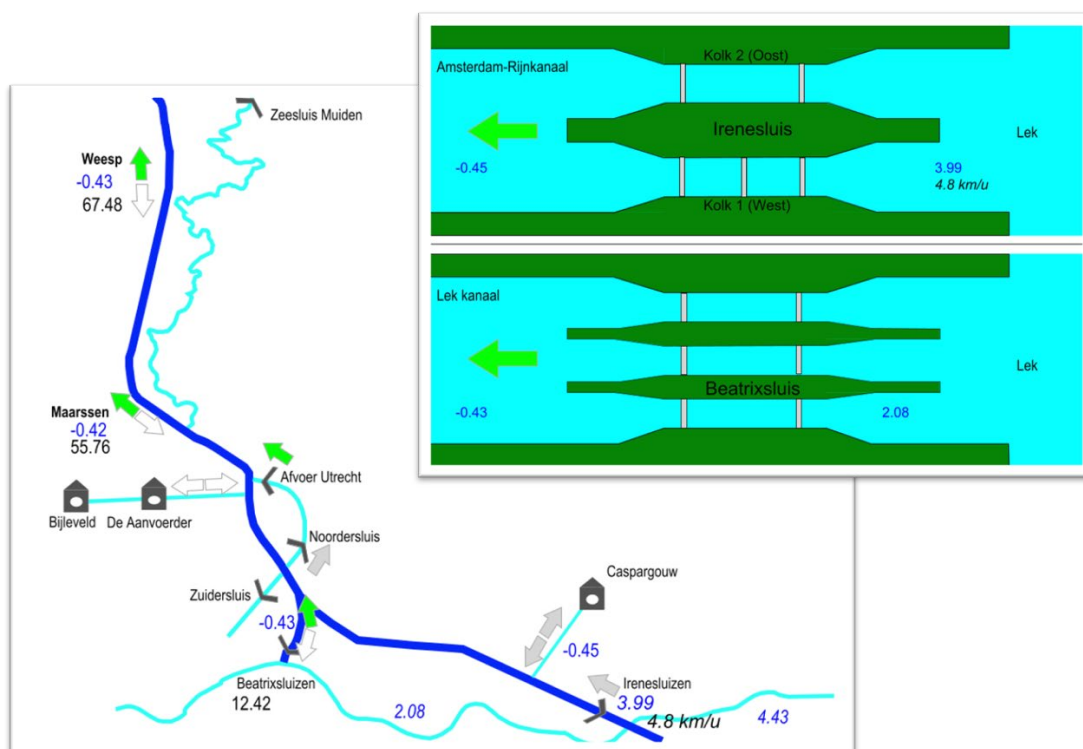
In verschillende praktijkstudies is van deze aanpak gebruik gemaakt en deze kunnen dan ook als voorbeeld gebruikt worden, zoals bijvoorbeeld de studies naar de Maasstuwen (KpNK, 2022a), de Hollandse IJsselkering (Deltares, 2022b), Weurt-Heumen en het Julianakanaal (beide beschreven in KpNK (2024f)).

2 Functies

De eerste stap in Stap 2 is het in kaart brengen van het beschouwde deel van het netwerk, de objecten daarbinnen (Paragraaf 2.1) en het identificeren van de bijdragen van die kunstwerken aan de (netwerk)functies (Paragraaf 2.2). Functionele samenhang, dat is samenhang tussen functies of tussen objecten bij het uitvoeren van een functie (Paragraaf 2.3), is een belangrijk aspect hierbinnen.

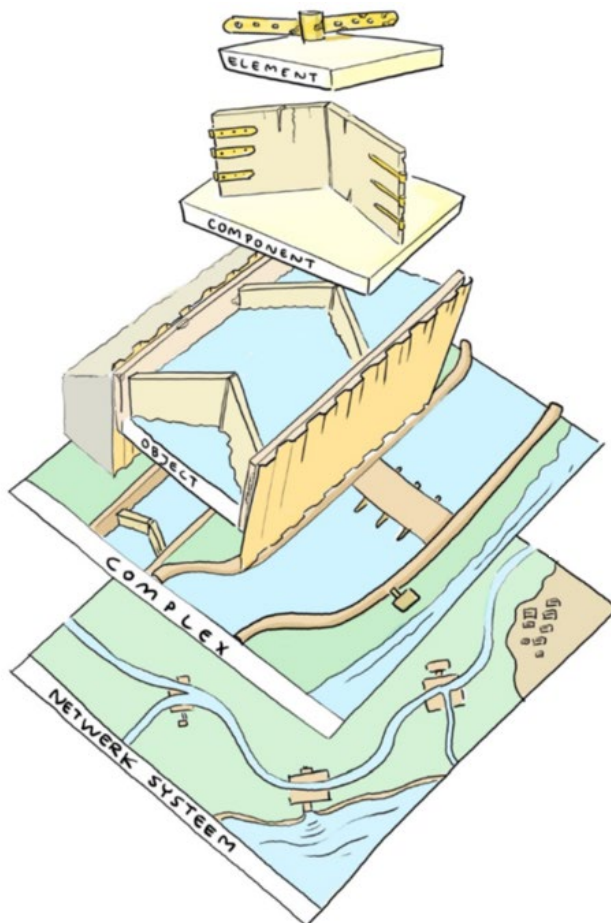
2.1 Gebiedsomschrijving

Voordat de functies en de samenhang daartussen in kaart kunnen worden gebracht, is het nuttig om een duidelijke gebiedsomschrijving te maken. Hoe ziet het beschouwde deel van het netwerk eruit, welke objecten bevinden zich hierin, en wat zijn de raakvlakken met de omgeving? Dit kan een korte inventarisatie zijn, waarbij veelal gebruik gemaakt kan worden van bestaande informatie. Delen van deze 'basisinformatie' zijn bijvoorbeeld opgenomen in het netwerkschakelplan, in de infographics operationeel watermanagement⁵, in systemen zoals het IWP (zie Figuur 2.1) of in databases zoals DISK en Baseline-Kunstwerken. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van verschillende geografische schalen – denk hierbij aan het systeem, het netwerk, de corridor, het complex, het object en verschillende componenten en elementen hierin (Figuur 2.2).



Figuur 2.1 Een voorbeeld van een visualisatie van het watersysteem en sluisen zoals opgenomen in het IWP.

⁵ Zie https://iplo.nl/thema/water/beheer-watersysteem/infographics-operationeel-watermanagement/?utm_source=hdwater&utm_medium=link&utm_campaign=waterenruimte



Figuur 2.2 Verschillende schalen in een netwerk.

2.2 Identificatie functies

Het is belangrijk om vroeg in het proces in kaart te brengen aan welke functies objecten een bijdrage leveren. Binnen het KpNK wordt de term 'functie' in de breedste zin van het woord geïnterpreteerd: functies beschrijven alles wat het netwerk of kunstwerk moet kunnen of welk gebruik het mogelijk moet maken. Het hebben van een zo compleet mogelijk overzicht van de functies helpt bij het goed in kaart brengen van de huidige functionele en (door de impact van drivers) toekomstige functionele prestatie, en dus bij het beter afwegen van oplossingsrichtingen en varianten voor verschillende functies.

Bij de indeling van functies wordt aangesloten bij de kerntaken van RWS en de beleidsdoelen van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) volgens het Nationaal Water Programma 2022-2027 (Rijksoverheid, 2022). Voorbeelden van functies binnen de kerntaken van Rijkswaterstaat voor het watersysteem (Hoofdwatersysteem en Hoofdvaarwegennetwerk) worden hieronder gegeven. Daarnaast zijn er ook verschillende maatschappelijke en economische gebruiksfuncties, zoals drinkwater en energieproductie. In de gebruiksfuncties is een verdeling tussen aangewezen gebruiksfuncties, die vanuit wettelijke verplichtingen eisen stellen aan het beheer of gebruik van het watersysteem, en overige gebruiksfuncties, waar dit niet voor geldt. De lijst hieronder is geen allesomvattende lijst. Aangeraden wordt daarom om de voorbeelden hieronder te gebruiken om de meest recente versie van de functies te inventariseren (bijv. in het netwerkschakelplan).

- Waterveiligheid
 - Beschermen tegen hoogwater / keren hoogwater
 - Faciliteren bediening en besturing
 - Afvoeren van water
 - Afvoeren van ijs
 - Faciliteren van gezonde sedimenthuishouding
 - Bergen van water
 - Bergen van waterveiligheid buitendijks gebied
- Voldoende water
 - Aanvoeren en vasthouden water bij droogte
 - Afvoeren van water bij wateroverlast
 - Faciliteren bediening en besturing
 - Reguleren en handhaven waterpeil
 - Beperken verzilting
- Schoon en gezond water
 - Bieden water met basiskwaliteit
 - Bieden leefgebied planten en dieren / biodiversiteit
 - Bieden vismigratieroutes (onderdeel van biodiversiteit)
 - Faciliteren drinkwaterwinning
- Vlot en veilig verkeer over water
 - Varen mogelijk maken
 - Faciliteren/verzorgen vaarwegverkeer
 - Faciliteren bediening en besturing

Verdere verdieping kan worden gekregen door binnen een functie te kijken naar verschillende aspecten. Gaat het bij het 'afvoeren van water bij wateroverlast' bijvoorbeeld om de gemiddelde spuicapaciteit of de momentane spuicapaciteit? In het rapport over Functionele levensduur van het vorige KpNK (2020) wordt ook een aanzet tot de koppeling van verschillende functies en objecten gegeven.

2.3 Functionele samenhang

De samenhang tussen functies op een complex en tussen verschillende objecten bij het bijdragen aan een (netwerk)functie is belangrijk om in beeld te hebben. Deze onderlinge afhankelijkheid is van belang in een afweging om de analyse van het netwerk/gebied scherp te krijgen en het probleem en de invloed van veranderingen te begrijpen.

Functionele samenhang is daarmee onderdeel van het bepalen van de huidige en toekomstige functionele en economische prestatie van oplossingsrichtingen en varianten. Functionele samenhang hierin goed meenemen voorkomt dat bepaalde, invloedrijke aspecten (van andere functies of objecten) over het hoofd worden gezien en voorkomt dat de prestatie van één functie ten koste gaat van de prestatie van andere functies. Het meenemen van functionele samenhang is dan ook vaak een aanbeveling uit stresstesten die vanuit één functie of situatie (droogte, hoogwater) zijn uitgevoerd.

Hieronder worden de verschillende vormen van samenhang toegelicht (Paragraaf 2.3.1). Vervolgens wordt kort besproken hoe samenhang geïdentificeerd (Paragraaf 2.3.2) kan worden.

2.3.1 Vormen van samenhang

Kijken naar de functionele samenhang kan vanuit drie perspectieven (weergegeven in Figuur 2.3). Hieronder worden deze vormen van samenhang toegelicht aan de hand van voorbeelden.

1. Samenhang tussen functies binnen één complex.

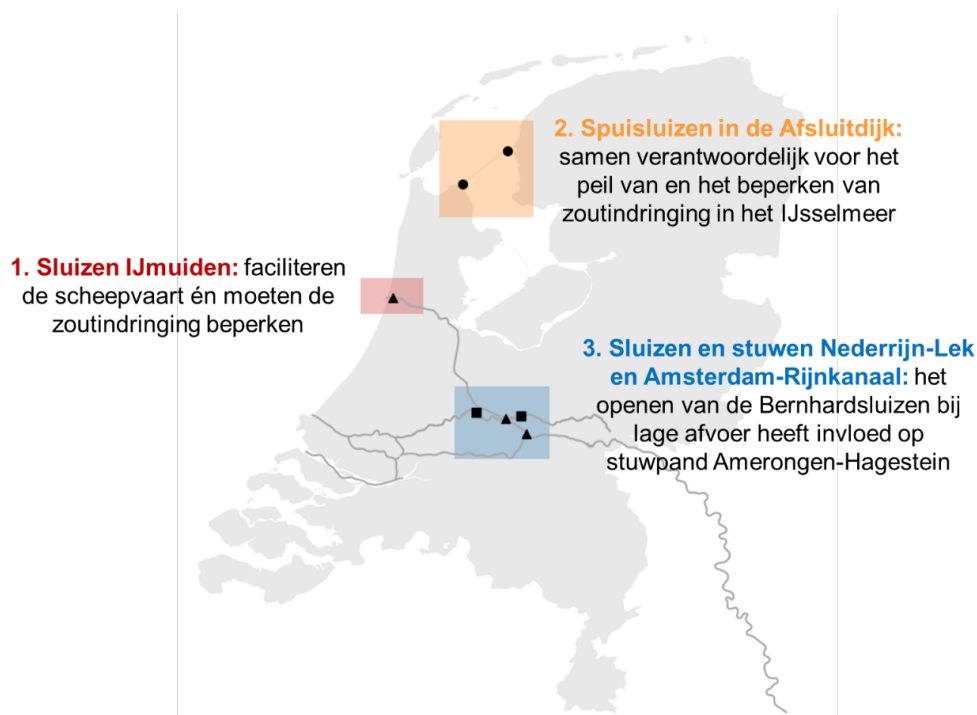
- Bijvoorbeeld: Een grotere zeesluis kan grotere schepen schutten. Aan de andere kant zorgt een grotere kolk – zonder extra maatregelen – ook voor een grotere zoutlast op het kanaal erachter bij het schutten van schepen. Er is dus voor een zeesluis samenhang tussen de functies scheepvaart en zoutbeheer, zoals bijvoorbeeld bij het sluiscomplex in IJmuiden.

2. Samenhang tussen objecten in het systeem, die samen verantwoordelijk zijn voor het realiseren van een specifieke netwerkfunctie.

- Bijvoorbeeld **parallel aan elkaar**: De spuisluisen in de Afsluitdijk bij Den Oever en Kornwerderzand zorgen samen voor het reguleren en handhaven van het meerpeil en het beperken van verzilting in het IJsselmeer.
- Bijvoorbeeld **in serie aan elkaar**: Het bieden van een natuurlijke vismigratie-route via een vistrap bij een stuwcomplex is ook afhankelijk van de vispasseerbaarheid bij andere stuwcomplexen. Als vissen bij één stuwcomplex niet kunnen passeren, kunnen ze de gehele route niet afleggen. In dit geval is er voor deze functie dus sprake van samenhang tussen meerdere stuwcomplexen. Het mogelijk maken van scheepvaart van een specifieke scheepvaartklasse is ook een voorbeeld van een functie waar typisch een serie objecten relevant voor is (meerdere sluisen in een corridor).

3. Samenhang tussen objecten voor verschillende functies.

- Bijvoorbeeld: De sluisen en stuwcomplexen in de Nederrijn-Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal. Meer schuttingen in IJmuiden leiden tot meer en verdere zoutindringing in het Noordzeekanaal erachter. Deze zoutindringing tegengaan vraagt een grotere zoetwateraanvoer via de Irenesluizen. Of het openstaan van de Bernhardsluizen bij lage afvoer heeft invloed op de waterstanden bij stuw Hagestein.



Figuur 2.3: Voorbeelden van de verschillende vormen van functionele samenhang.

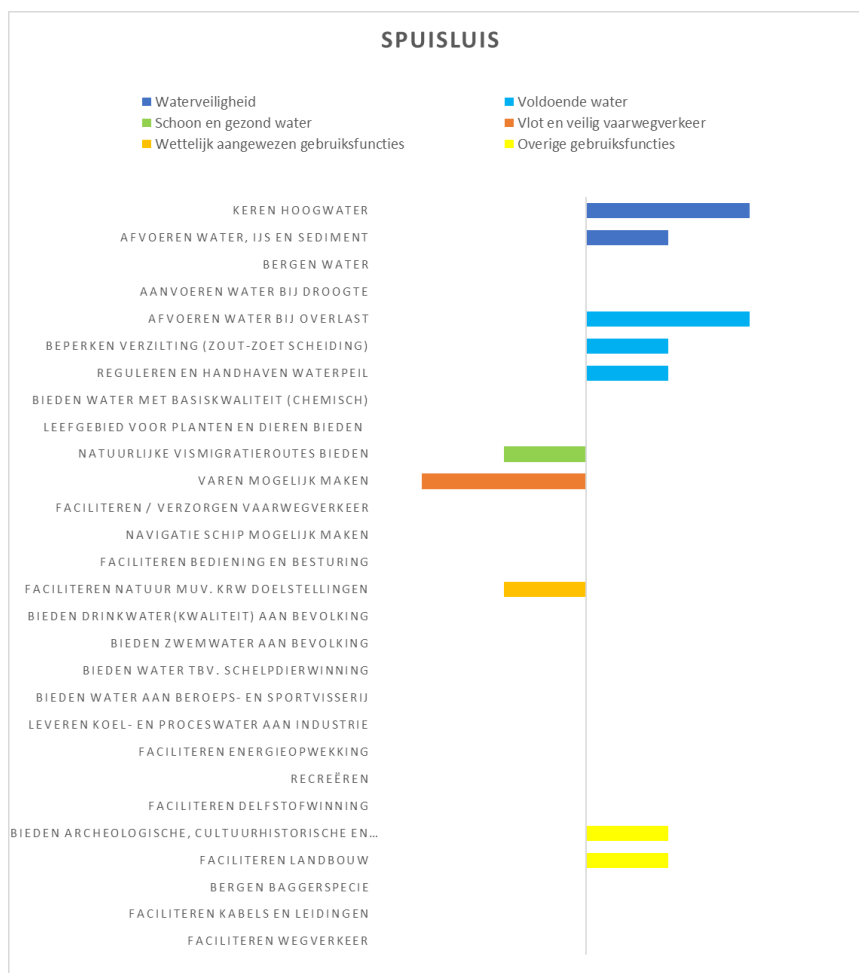
2.3.2 Identificeren van samenhang

Om inzicht te krijgen in de functionele samenhang helpt het om, aan de hand van het overzicht van functies per object, een aantal algemene vragen langs te lopen:

- Welke objecten liggen om het te beschouwen object heen? Hoe worden deze objecten ingezet? Zijn deze objecten bijvoorbeeld altijd gesloten (zoals sommige schutsluizen), of indien ze af en toe geopend zijn (zoals een stuw of keersluis), wat is dan het volgende object? Wat betekent dit voor de functionele grenzen van het te beschouwen systeem?
- Hoe wordt het object beheerd? Worden bepaalde drempelwaarden voor de prestatie aangehouden? Voor welke functie(s) wordt dat gedaan? Waarom worden deze drempelwaarden aangehouden?

Hieronder zijn per soort samenhang enkele vragen genoemd die helpen bij het identificeren van en omgaan met de samenhang in het systeem.

1. **Samenhang tussen functies binnen één complex (zie Figuur 2.4).**
 - a. Welke functies komen samen op het complex?
 - b. Binnen het complex, welk object draagt bij aan welke functie?
 - c. Hoe is de relatie tussen de verschillende functies (onder zowel gemiddelde als extreme omstandigheden)?
 - d. Stelt één functie of object een grens aan of voorwaarde aan een andere functie?



Figuur 2.4 Visualisatie van positieve (rechts van de verticale lijn) en negatieve bijdrage (links van de verticale lijn) van objecten aan functies (inschatting auteur) uit Deltares (2019).

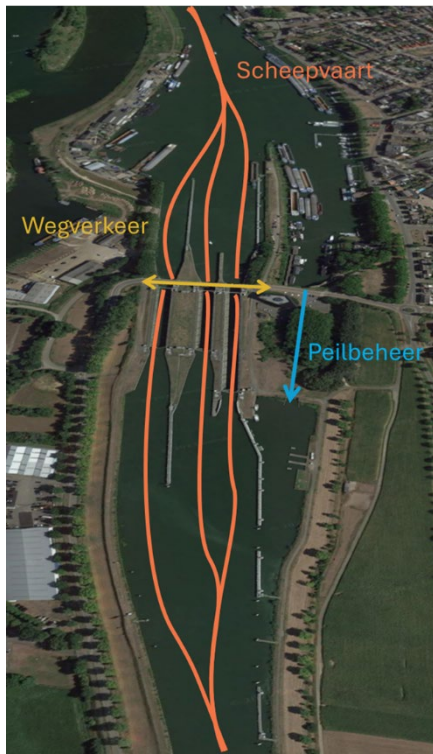
2. Samenhang tussen objecten in het systeem, die samen verantwoordelijk zijn voor het realiseren van een specifieke netwerkfunctie.

- a. Zijn er objecten in het beschouwde systeem, netwerk, stroomgebied, transportcorridor, beheergebied of netwerkschakel die dezelfde functie(s) uitvoeren?
- b. Hoe hangen hun bijdragen samen? Is dit een keten (in serie) of zitten hier splitsingen in?
- c. Afhankelijk van de functie helpt het om specifieke aspecten in kaart te brengen (bijvoorbeeld wat gebeurt er als de bijdrage van één object wegvalt?):
 - i. Scheepvaart: Breng de transportcorridor, mogelijke alternatieve routes en belangrijke havens in kaart.
 - ii. Zoetwaterbeschikbaarheid: Hoe zit de waterbalans in elkaar? Waar komt water vandaan? Waar gaat het naartoe?
 - iii. Biodiversiteit: Hoe lopen eventuele vismigratie-routes? Waar liggen belangrijke broed-, paai- en/of leefgebieden voor vogels en/of vissen?
 - iv. Waterveiligheid: Breng de omliggende dijktrajecten in kaart.

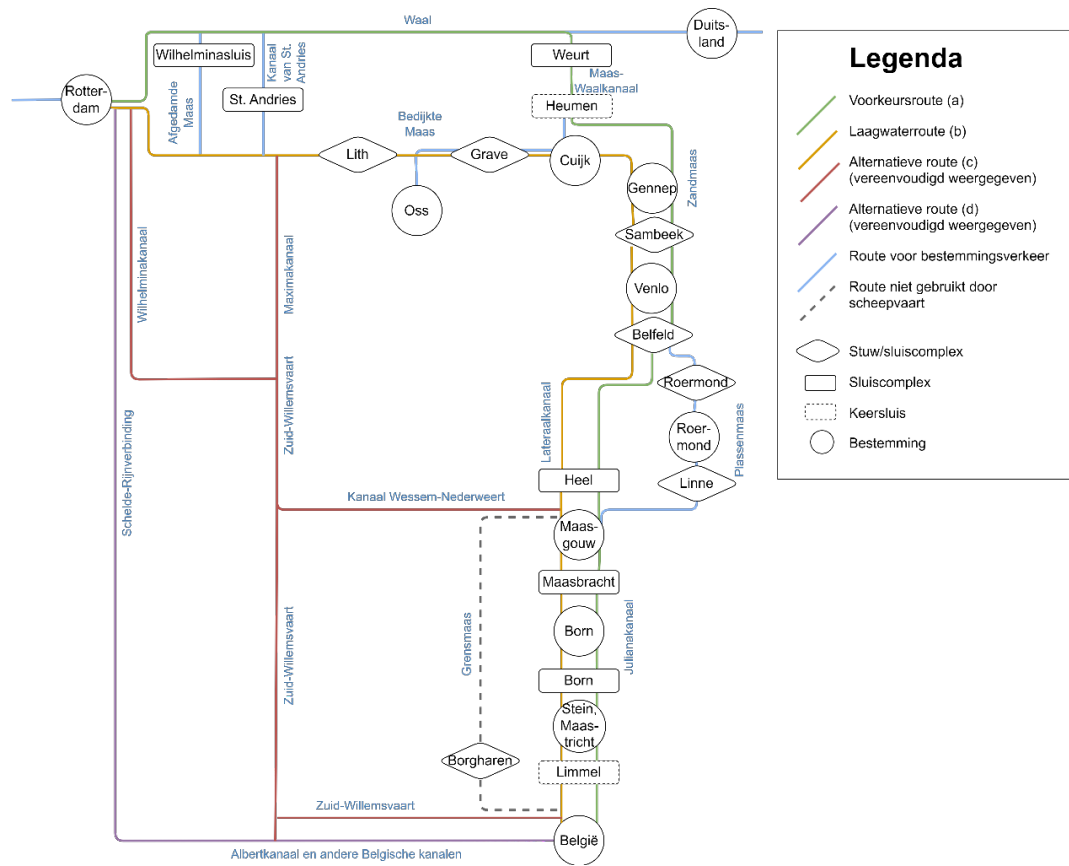
3. Samenhang tussen objecten voor verschillende functies.

- a. Zijn er andere kunstwerken die andere functies uitvoeren die samenhangen met het desbetreffende kunstwerk en diens functies? Denk bijvoorbeeld aan het voorbeeld uit Paragraaf 2.3.1 van stuw Hagestein en de Bernhardsluizen.
- b. Deze vorm van samenhang is ingewikkeld om generiek aan te pakken. Het helpt om de bovenstaande vormen van samenhang in kaart te brengen en vanuit daar te kijken hoe er mogelijk verdere samenhang in het systeem is. Ook het maken van geschematiseerde kaarten van het systeem helpt hierbij. Het maken van figuren kan ook helpen om de functionele samenhang in kaart te brengen. Figuur 2.5 en Figuur 2.6 geven hier een voorbeeld van. Visualisatiemogelijkheden worden verder besproken in het achtergrondrapport over werkvormen en visualisaties (KpNK, 2024g). Daarnaast bestaan er ook al veel nuttige visualisaties. Een voorbeeld hiervan is het IWP (Instrument voor waterpeilbeheer, zie de eerdere Figuur 2.1), waarin schematiseringen van het watersysteem zijn opgenomen.

Binnen de casus Julianakanaal (KpNK, 2024f) is specifiek aandacht geweest voor het verzamelen en weergeven van verschillende soorten samenhang in de casus. Aandachtspunten die hier onder andere naar voren kwamen is het hebben van een scherpe vraagstelling en het uit de veelheid van samenhang bepalen wat ertoe doet. Ook in de rapportage over functionele prestatie (KpNK, 2024d) wordt ingegaan op functionele samenhang.



Figuur 2.5: Visualisaties kunnen helpen om de verschillende functies in kaart te brengen, bijv.: overzicht van de verschillende functies op één complex (casus Julianakanaal) (KpNK, 2024g).



Figuur 2.6: Visualisaties kunnen helpen om de verschillende functies in kaart te brengen, bijv.: overzicht van de functie scheepvaart in het hoofdvaarwegennetwerk in het gebied België-Duitsland-Rotterdam (KpNK, 2022a).

3 Eisen en wensen

Na het in kaart brengen van de (samenhang in) functies is de volgende stap om de eisen en wensen voor de functies en de beschouwde objecten in kaart te brengen. De eisen en wensen voor het realiseren van de functies door de natte kunstwerken zijn vaak niet vastgesteld, of niet vertaald van netwerk- naar objectniveau. Ze bestaan uit een combinatie van wettelijke normen, overeenkomsten (zoals waterakkoorden en peilbesluiten) en ambities of wensen van verschillende partijen. En ze zijn vaak locatie- en objectspecifiek.

Het gaat hierbij zowel om de huidige als de toekomstige situatie. In de huidige situatie zijn er bepaalde eisen, waaraan het huidige object getoetst kan worden. In de toekomstige situatie kunnen deze eisen anders zijn en zijn er mogelijk ook bepaalde wensen voor het functioneren van een kunstwerk. Deze eisen en wensen kunnen gebruikt worden om de toekomstige prestatie van het (nieuwe) object te toetsen.

In dit hoofdstuk worden enkele voorbeelden van functionele eisen en wensen gegeven en worden voorbeelden gegeven hoe met het ontbreken hiervan kan worden omgegaan.

3.1 Voorbeelden eisen en wensen

In Tabel 3.1 worden voorbeelden genoemd van wensen of eisen voor verschillende kerntaken en functies. Dit is geen allesomvattende lijst, daarnaast zijn eisen en wensen ook aan verandering onderhevig. Aangeraden wordt daarom om de voorbeelden hieronder te gebruiken om de meest recente versie van de eisen en wensen voor het beschouwde object te inventariseren. Eisen en wensen staan niet altijd in één document bij elkaar, hoewel hier wel met verschillende ontwikkelingen, zoals de netwerkschakelplannen, naar toe wordt gewerkt. Voor het Hoofdvaarwegennetwerk (HVWN) bestaan er ook verschillende Service Level Agreements (SLA)-indicatoren voor de kerntaak 'Vlot en veilig vaarwegverkeer'. Voor het Hoofdwatersysteem (HWS) en de andere kerntaken bestaan er ook verschillende eisen (Rijkswaterstaat, 2022).

Hierdoor moeten soms verschillende documenten worden geraadpleegd om de eisen en wensen te inventariseren. Zo is bijvoorbeeld in het onderzoek naar de doorbaarheid van de toekomstige Maasstuwen (KpNK, 2022a) gebruik gemaakt van eisen uit netwerkschakelplannen en ontwerp- en uitgangspuntennota's. De systeemeisen of -wensen die werden gesteld zijn in de studie naar de Maasstuwen zo veel mogelijk vertaald naar eisen of wensen bij de kunstwerken. Ook in de studie naar de levensduur van de Hollandse IJsselkering (Deltares, 2022b) is op basis van wettelijke kaders en literatuur per functie gekeken naar de eisen die gesteld worden aan de natte kunstwerken.

Tabel 3.1: Overzicht van voorbeelden van kerntaken en beleidsdoelen met bijbehorende functies (aangepast naar KpNK (2020))

Funcie	Toelichting of voorbeeld van een functionele eis of wens
Kerntaak: waterveiligheid	
Beschermen tegen hoogwater / keren hoogwater	<ul style="list-style-type: none">• overstromingskans (omgevingswaarde voor waterveiligheid, signaleringsparameter), kans op niet-sluiten per inzetvraag• primaire keringen moeten voldoen aan de wettelijke norm.• voldoen aan de zorgplicht
Faciliteren bediening en besturing	stuw moet gestreken kunnen worden vanaf $\geq X$ m ³ /s (betrouwbaarheid bediening en besturing)

Afvoer van water	<ul style="list-style-type: none"> maatgevende afvoer kunnen afvoeren aanvaarrisico's minimaliseren norm wateroverlast achterland
Afvoer van ijs	bescherming objecten (sluizen, brugpijlers, kaden etc.)
Gezonde sedimenthuishouding	<ul style="list-style-type: none"> doorgaand sedimenttransport moet mogelijk zijn sedimentbeheer tbv tegenaan erosiekuilen.
Bergen van water	weerstand tegen hoge belastingen bij berging
Waterveiligheid buitendijks gebied	n.b.: kan ook onder overige geplaatst worden, voor buitendijks gebied gelden waterveiligheidsnormen niet
Kerntaak: voldoende water	
Aanvoeren en vasthouden water bij droogte	
Faciliteren bediening en besturing	mogelijkheid stuw op te bouwen bij afvoeren tussen X en Y m ³ /s, en daarbij eventueel onderscheid maken tussen start voorbereiding en sluiting
Reguleren en handhaven waterpeil	<ul style="list-style-type: none"> water vasthouden tussen X en Y mNAP, flexibiliteit in streefpeil; peilhandhaving voor scheepvaart
Zoutmanagement	zoutgehalte achter het complex < X mg Cl/l
Kerntaak: schoon en gezond water	
Bieden water met basiskwaliteit	verplichtingen vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW): <ul style="list-style-type: none"> bereiken en in stand houden van een goede chemische toestand gedefinieerd volgens de maatlatten KRW. geen achteruitgang in klasse chemische toestand waterlichaam KRW.
Leefgebied planten en dieren / biodiversiteit	instandhouding unieke gebieden, verplichtingen vanuit de KRW en Natura2000
Natuurlijke vismigratieroutes bieden (onderdeel van biodiversiteit)	condities die vispassage aantrekkelijk en daarmee mogelijk maken voor vissen
Faciliteren drinkwaterwinning	geschikte waterkwaliteit bieden voor de gebruiksfunctie inwinnen oppervlakte water voor aanmaak drinkwater.
Kerntaak: vlot en veilig vaarwegverkeer	
Varen mogelijk maken	<ul style="list-style-type: none"> doorvaarhoogte, diepte, breedte (CEMT klasse) aanvaarrisico's minimaliseren
Faciliteren/verzorgen vaarwegverkeer	<ul style="list-style-type: none"> maximaal aantal vaartuigverliesuren per jaar / wachttijden minimaliseren beschikbaarheid complex voor scheepvaart
Faciliteren bediening en besturing	betrouwbare bediening en besturing
Wettelijk aanwezige gebruiksfuncties	
Natuur	
Zwemwater	
Schelpdierwater	
Drinkwater	
Overige gebruiksfuncties	
Beroeps- en sportvisserij	
Faciliteren wegverkeer	<ul style="list-style-type: none"> doorvoercapaciteit brug, wachttijd brug bij sluiting of totaal per tijdseenheid, passerbaar voor fietsverkeer
Leveren koel- en proceswater aan industrie	geschikte waterkwaliteit bieden voor gebruiksfunctie industrie; lozingen en onttrekkingen van koel- en proceswater.
Faciliteren energieopwekking	moet bijdragen aan de energietransitie
Recreëren	aantrekkelijke locatie voor toerisme

Faciliteren delfstofwinning	
Bieden archeologische, cultuurhistorische en landschappelijke waarde	monumentale status kunstwerk
Faciliteren landbouw	
Bergen baggerspecie	
Faciliteren kabels en leidingen	
Inzet bij calamiteiten	
Bouwgrondstoffen	
Wonen	
Overige aspecten	
Duurzaamheid	bijdrage aan energiereductie
Energiereductie van de objecten	
Bijdrage aan energietransitie in Nederland	
Circulariteit	ambitie om volledig circulair te ontwerpen
Stikstof	
Veiligheid	Arboveilig
Financieel	eenvoud in beheer en lage onderhoudskosten
Verwachte levensduur / adaptiviteit	
Aanleg	afvoer, doorgang etc. mogelijk tijdens de bouw
Beheer morfologische effecten	voorkomen en/of beperken van ongewenste morfologische effecten.
Regionaal water	interactie met regionaal watersysteem/invloed.
Voorkomen en bestrijden zwerfafval	
Reguleren emissies	
Signalering waterveiligheid	verwachtingen en berichtgeving. Tijdig en met kwaliteit voorzien in berichtgeving voor hoogwater Rijn en Maas, stormvloedend Kust en IJsselmeer, ijsgang, (drink)waterinname.

3.2 Omgaan met ontbrekende eisen en wensen

Voor de netwerkfunctie 'keren hoogwater' onder de kerntaak hoogwaterveiligheid zijn de eisen aan (componenten van) objecten vaak duidelijk en kwantitatief vastgelegd als maximaal toelaatbare overstromingskansen in de Omgevingswet. Voor de andere netwerk- en gebruiksfuncties is dit vaak lastiger. Zo zijn er op gebiedsniveau normen voor wateroverlast in bijvoorbeeld bebouwd gebied. Maar dit is vaak niet vertaald naar kwantitatieve eisen die dan gesteld worden aan de individuele bijdrage van een nat kunstwerk op de rivieren. En voor een functie als biodiversiteit zijn de eisen aan individuele kunstwerken nog lastiger te kwantificeren. In het KpNK wordt ook gewerkt aan een rapportage over biodiversiteit bij kunstwerken waarin dit verder wordt uitgewerkt (KpNK, 2024j).

In het KpNK zijn verschillende manieren om met het ontbreken van eisen en wensen om te gaan gebruikt. Deze worden hieronder toegelicht.

3.2.1 Werken met verschillende, mogelijke eisen

Op het moment dat de eis niet gedefinieerd is kan er ook gewerkt worden met verschillende, mogelijke eisen. Er worden dan verschillende niveaus van een eis gedefinieerd, waarbij vervolgens gekeken wordt wat de functionele prestatie van het netwerk bij elk niveau is. Deze mogelijke eisen kunnen bijvoorbeeld gekozen worden met de huidige prestatie als referentie

of op basis van bepaalde wensen. Uiteindelijk kan er zo gekeken worden naar de bandbreedte van de prestatie voor deze eisen.

3.2.2 Koppeling object en systeem

Omdat het niet altijd mogelijk is om eisen te stellen aan de individuele bijdrage van een kunstwerk zelf, kan voor sommige functies ook gekeken worden naar de effecten die (een gebrek aan) de werking van een kunstwerk heeft op het omringende watersysteem. Wellicht kan vanuit het presteren van de kunstwerken de doorvertaling naar het systeem gemaakt worden, om zo tot een bandbreedte te komen waarbinnen de functionele prestatie als 'voldoende' wordt beoordeeld. Verandering van drivers of verschillende oplossingsrichtingen en varianten zouden dan ook binnen deze bandbreedte getoetst kunnen gaan worden.

Voorbeeld: zo zijn de resultaten uit de modellen die zouttransport modelleren door een sluis zijn niet altijd direct 1-op-1 te vertalen naar de zoutnorm die verder in het gebied gesteld wordt. Hier is een vertaalslag voor nodig, waarin ook verspreiding van het zout het systeem in en de invloed van zoutindringing of zoetwateraanvoer door andere objecten wordt meegenomen.

3.2.3 Gebruik maken van economische prestatie en economische balans

In de iteratieve werkwijze volgt, na het bepalen van de functionele prestatie, het opstellen van een economische afweging. De bepaalde functionele prestatie kan hierin worden meegenomen in de vorm van baten, waarden of maatschappelijke effecten. Dit betekent dat het niet altijd nodig is om te werken met strakke grenswaarden in de vorm van kwantitatieve eisen of wensen, maar dat er ook kan worden gewerkt met een balans van kosten en waarden voor verschillende functies en varianten. Bijvoorbeeld: wegen de kosten van een bepaalde variant op tegen de verbeterde functionele prestatie? Een eerste uitwerking hiervan is te vinden in het rapport over de economische afweging in de iteratieve werkwijze (KpNK, 2024e).

Voor sommige functies is het niet mogelijk of wenselijk om de functionele prestatie in een economische waarde uit te drukken. Dit geldt bijvoorbeeld voor biodiversiteit (waar de prestatie lastig objectief economisch is uit te drukken).

4 Drivers

Drivers zijn externe ontwikkelingen met invloed op de prestaties van een kunstwerk en/of het netwerk. Dit kunnen klimatologische ontwikkelingen zijn, maar ook socio-economische of beleidsmatige ontwikkelingen. In dit hoofdstuk geeft Paragraaf 4.1 een overzicht van mogelijke drivers voor de infrastructurele opgaven. Paragraaf 4.2 en Paragraaf 4.3 geven respectievelijk een verdere toelichting op de beschikbare klimaatdata en scheepvaartdata. Tot slot wordt in Paragraaf 4.4 kort ingegaan op beleidsmatige ontwikkelingen.

4.1 Drivers voor de infrastructurele opgaven

Drivers kunnen bij een kunstwerk zorgen voor een afname in functionele prestatie - zelfs tot aan einde functionele levensduur aan toe – en kunnen daarmee leiden tot een afname in functionele prestatie van het netwerk als geheel. Dit kan ontstaan door klimatologische ontwikkelingen (en hieruit volgende veranderingen in het natuurlijk systeem), socio-economische of beleidsmatige ontwikkelingen (bijv. in wet- en regelgeving).

Voor de VenR-opgave bij natte kunstwerken is zicht op lange termijn ontwikkelingen van groot belang omdat natte kunstwerken na vervanging, renovatie of vernieuwing een lange levensduur zullen hebben. Daarbij moet worden gerealiseerd dat de verschillende componenten van een kunstwerk qua technische degradatie ieder een eigen levenscyclus hebben: de fundering gaat veelal 100 jaar of langer mee, beweegbare delen 30 jaar en het besturingssysteem circa 10 jaar (Van der Vlist, Zandvoort, & Jutte, 2020). Het is daarom belangrijk om drivers op de lange termijn in kaart te brengen (welke ontwikkelingen worden verwacht, in welke richting bewegen deze zich, en wat betekent dit voor de functies van het object?).

Tabel 4.1 geeft een overzicht van mogelijke drivers voor de VenR-opgave. In KpNK (2022a) is een overzicht van drivers voor de VenR-opgave van de Maasstuwen gemaakt.

Tabel 4.1: Overzicht van drivers (aangepast van KpNK (2020)).

Categorie	Driver	Toelichting
Klimatologische ontwikkelingen en natuurlijke processen	Zeespiegelstijging	Stijging van het gemiddelde zeeniveau
	Verandering golfklimaat	Veranderingen in golfhoogte, -periode, en/of -richting
	Verandering rivierafvoer	Zowel toe- als afname van piekwaarden als duur van gebeurtenissen
	Verandering neerslagpatronen	Zowel toe- als afname van de hoeveelheid neerslag (bijv. hoosbuien)
	Toename luchttemperatuur	
	Toename watertemperatuur	
	CO ₂ -toename in de lucht	
	Bodemdaling	Op lokaal niveau kan bodemdaling de technische levensduur beïnvloeden. Op regionaal niveau kan de watervraag toenemen om bodemdaling tegen te gaan, of moet meer water afgevoerd worden ('peil volgt bodem')

Categorie	Driver	Toelichting
	Verziltting	Zoutindringing in zowel grondwater als oppervlaktewateren (door open estuaria of door sluizen)
	Verandering in sedimenttransport en bodemerrosie	Veranderingen absolute waterstand kunnen zorgen voor lokale knelpunten en veranderingen in de afvoerverdeling
	Verandering in biodiversiteit en ecosysteem	Bijv. afname biodiversiteit en achteruitgang ecosysteem door veranderingen in waterkwaliteit of connectiviteit van gebieden
Socio-economische ontwikkelingen	Verandering economische ontwikkeling	
	Verandering bevolkingsomvang	Bijv. bevolkingsgroei of krimpgebieden
	Verandering scheepvaartverkeer	Zowel toe- als afname, in zowel intensiteit als scheepsgrootte, maar ook veranderingen in vaarwijze en type vracht
	Transitie in type en intensiteit transport	Verandering van vervoersmodaliteit- en intensiteit voor zowel personen als vracht
	Verandering bebouwing	Bijv. impact van woningbouw op waterveiligheidseisen
	Technische ontwikkelingen	Bijv. ICT en materialen
Beleidsmatige ontwikkelingen	Verandering in gestelde eisen	Bijv. termijn afbouw stikstofuitstoot
	Verandering in gewenste functies	
	Beleidskeuzes in het systeem of andere kunstwerken	Bijv. Ruimte voor de Rivier of het toevoegen van een extra sluiscolk elders
	Algemene beleidskeuzes op (inter)nationaal niveau	Bijv. veranderingen in water-, transport-, of energiebeleid, urgentie biodiversiteit en circulariteit, stikstof
	Internationale beleidskeuzes	Bijv. internationale verdragen of veranderingen bovenstreams
	Lange-termijnontwikkeling en -inrichting van Nederland en invloed op toekomstige VenR-investeringen	

Bij het bepalen van de toekomstige functionele prestatie (in Stap 4 in de iteratieve werkwijze) worden ook drivers gebruikt. Bij het kwantitatief uitwerken hiervan zijn vaak ook datareeksen of bandbreedtes van de drivers nodig. Aangezien de toekomst onzeker is, wordt hierbij gebruik gemaakt van toekomstscenario's. Een kansverwachting hangen aan deze scenario's is niet mogelijk. Door met verschillende toekomstbeelden te werken, die allemaal daadwerkelijk kunnen optreden, wordt de bandbreedte in wateropgaven ten gevolge van klimaatverandering en de andere ontwikkelingen zichtbaar.

Paragraaf 4.2 en Paragraaf 4.3 geven respectievelijk een verdere toelichting op de beschikbare klimaatdata en scheepvaartdata. Tot slot wordt in Paragraaf 4.4 kort ingegaan op beleidsmatige ontwikkelingen.

4.2 Klimaatdata

Klimatologische ontwikkelingen zijn erg belangrijk voor het watersysteem waarin de natte kunstwerken zich bevinden. In de informatieprofielen voor Beslismoment 1 en 2 in de VenR-doorklikplaat wordt daarom ook gevraagd hoe aandacht besteed wordt aan (onder andere) klimaatadaptatie. Een algemeen beeld van de invloed van klimatologische ontwikkelingen op natte kunstwerken wordt gegeven in Paragraaf 4.2.1. Paragraaf 4.2.2 gaat in op de beschikbare datasets. Bijlage A vormt hier een verdieping op. Tot slot wordt in Paragraaf 4.2.3 een stappenplan om te komen tot de juiste data gegeven.

4.2.1 Klimatologische ontwikkelingen

Klimatologische ontwikkelingen hebben invloed op de toekomstige functionele en ook technische prestatie van natte kunstwerken, bijvoorbeeld zeespiegelstijging en veranderende rivierafvoeren als gevolg van verandering van neerslag, verdamping en smeltwater uit de bergen. Een grote verandering van de golfcondities op de Noordzee is niet evident in de verschillende klimaatprojecties. De golfrichting zou kunnen gaan veranderen, maar verandering in golfhoogte wordt niet verwacht (De Winter, Sterl, & Ruessink, 2013; De Winter, Sterl, de Vries, Weber, & Ruessink, 2012).

Zeespiegelstijging en veranderende rivierafvoeren hebben, naast een invloed op de waterveiligheid en de wateroverlast, ook invloed op het zoutgehalte van het oppervlakte- en grondwater. Daarmee is toenemende verzilting ook een belangrijk aspect voor de VenR-opgave. Veranderende rivierafvoeren veroorzaken daarnaast mogelijk ook (versnelde) bodemerosie, waardoor de waterstand in het riviereengebied kan zakken (absolute waterdiepte blijft gelijk bij gelijk debiet en rivierdoorsnede, dit kan knelpunten binnen een (rivier)traject geven bij natte kunstwerken die niet mee kunnen zakken). Ook veranderingen van temperatuur kunnen een effect hebben op de prestatie van het kunstwerk.

Naast invloed op de technische en functionele prestatie van de natte kunstwerken kunnen drivers ook invloed hebben op de functionele eisen of wensen aan de kunstwerken. Eisen of wensen kunnen belangrijker worden (voorbeeld: zout wordt verder landinwaarts steeds relevanter om mee te nemen) of kunnen als maatregel worden aangepast, omdat ze – binnen de technische en economische randvoorwaarden – niet meer realiseerbaar zijn (voorbeeld: hoger zoutgehalte accepteren).

4.2.2 Beschikbaarheid data

De Deltascenario's geven scenario's voor het Nederlandse klimaatstelsel onder klimatologische en socio-economische ontwikkelingen. De Deltascenario's zijn, mede op basis van de KNMI scenario's (KNMI, 2023), ontwikkeld om inzicht te geven in de ontwikkelingsrichtingen van de Nederlandse delta die op (middel)lange termijn relevant zijn voor het watersysteem (Deltares, 2024a). Verschillende hydrologische en hydrodynamische modellen gebruiken deze scenario's om de toekomstige condities van de delta te vertalen naar een dataset van condities op verschillende locaties in het watersysteem (en dus ook bij elke kunstwerk). Bijlage A gaat hier in meer detail op in.

Ervaring uit eerdere infrastructurele projecten leert echter dat het komen tot de juiste dataset tijdrovend kan zijn. In HKV & Iv-Infra (2014) is reeds benoemd dat de beschikbare modellen niet altijd geschikt zijn binnen de VenR-context. Hoewel modellen sinds 2014 sterk zijn verbeterd, is de juiste data voor de VenR-opgave nog niet eenvoudig beschikbaar. Bijlage A geeft enkele voorbeelden van knelpunten.

Voor de stapelbaarheid en snelheid van de opgave is het van belang dat er consistente en makkelijk beschikbare datasets beschikbaar zijn. Verschillende projecten werken aan verbetering van de huidige situatie, zoals het project 'Eenduidige Uitgangspunten voor

Ontwerpwaarden voor natte Kunstwerken' (EUO-Kunst door Deltares en Rijkswaterstaat)⁶ gestart in 2024, waarin een generieke methodiek opgezet wordt om (beleidsmatige) uitgangspunten eenduidig te vertalen naar ontwerpvoorwaarden. De Oostsluis in Weurt wordt als testcasus gebruikt in dit project, met het uiteindelijke doel dat de ontwikkelde methode breed toepasbaar is voor in principe alle natte kunstwerken. Ook de ontwikkeling naar een database van natte kunstwerken in netwerkmodellen (Deltares, 2024b) draagt hieraan bij.

4.2.3 Stappenplan klimaatdata

In de zoektocht naar bruikbare datareeksen van afvoer, waterstanden, golven en zoutgehalte onder invloed van klimaatontwikkelingen binnen de VenR-opgave worden diverse stappen doorlopen. De hierna volgende lijst is een dergelijk stappenplan dat kan helpen bij het stellen van de juiste vragen en het scherp maken van wat er allemaal nodig is om een specifiek VenR-vraagstuk te kunnen beantwoorden. Ook kan dit stappenplan helpen bij het evalueren van de toepasbaarheid van een bepaalde dataset of model, door te kunnen identificeren wat er ontbreekt voor het vraagstuk.

1. Naam en eigenschappen van het gebied
 - Wat is het relevante gebied?
 - Wat is de dominante eigenschap van dit gebied? Welke data bruikbaar is, is afhankelijk van waar in het systeem informatie nodig is. Bovenstrooms is bijvoorbeeld de rivierafvoer dominant, terwijl benedenstrooms ook zeespiegelstijging en getij van invloed zijn. Daarnaast zijn er ook nog speciale gebieden, zoals bergingsgebieden en faalkans-gedomineerde gebieden, en overgangen hiertussen.
2. Type kunstwerk, functies en drivers
 - Om welk type kunstwerk(en) gaat het? Bijv. stuw, stormvloedkering
 - Welke functies vervult het kunstwerk nu en in de toekomst? Bijv. hoogwaterkeren, bevorderen biodiversiteit
 - Door welke drivers worden deze functies (en de daarbij behorende onderliggende aspecten) en daarmee het functioneren van het kunstwerk beïnvloed?
3. Parameters
 - Welke aspecten zijn van belang om de mate van functioneren van het kunstwerk te bepalen? Bijv. waterstand, afvoer, golven, wind, neerslag, zoutgehaltes
4. Besturing, schematisering en beleid
 - Is informatie over de operatie/besturing van het kunstwerk nu en in de toekomst beschikbaar? Bijv. bij welke waterstand wordt de stuw gestreken? Is er faalinformatie beschikbaar (betrouwbaarheid, beschikbaarheid)?
 - Op welke manier zijn de (toekomstige) kunstwerken geschematiseerd in het hydrologische/hydrodynamische model? Wat is de nauwkeurigheid en representativiteit van de bijbehorende parameter-instellingen?
 - Zit het huidige beleid in het model, of is juist toekomstig beleid als uitgangspunt gebruikt?
5. (Extreem) hoog/laag, frequenties
 - Wat is nodig (extreem) natte, (extreem) droge, gemiddelde of alle omstandigheden?
 - Welke frequenties van optreden horen hierbij? Bijv. gebeurtenis heeft een gemiddelde herhaaltijd van 100.000 jaar?
6. (Worst case) scenario's
 - Welke (klimaat)scenario's zijn relevant voor de hydraulische condities?

⁶ [Waterinfrastructuur toekomstbestendig vervangen en renoveren | Deltares](#)

7. Benodigde bewerking/vertaalslag
 - Heeft de data al de juiste vorm of is er een bewerking nodig? Bijv. de vertaling van afvoerreksen naar waterstanden bij de stuw d.m.v. betrekkinglijnen
8. Gewenste detailniveau
 - Vereist het project een snelle schatting of eerste verkenning (bijv. met de zeeluisformulering), of een gedetailleerde analyse (bijv. met numerieke modellen)?

4.3 Scheepvaartdata

Naast klimaatdata is er voor de afweging van varianten en oplossingsrichtingen in sommige gevallen scheepvaartdata nodig, bijvoorbeeld om het gebruik van een stuwopening door de scheepvaart in kaart te brengen (KpNK, 2022a).

Er zijn verschillende scheepvaartdatabronnen beschikbaar om de invloed van de hier beschreven drivers te verkennen. In KpNK (2022b) is hier een overzicht van gemaakt dat hier is opgenomen en vertaald naar de functionele prestatie-context. Voor scheepvaartdata kan een onderscheid worden gemaakt in data rondom de huidige situatie, waar veel registraties beschikbaar zijn, en prognoses voor de toekomst. De beide onderdelen worden hieronder nader toegelicht.

4.3.1 Beschikbare scheepvaartdata: huidige situatie

Data over de huidige situatie is hier onderverdeeld in data over stremmingen ('hoe goed functioneert een object nu?') en data over scheepvaart ('hoeveel wordt het object gebruikt?').

Stremmingsdata

Het NIS (Netwerkmanagement Informatie Systeem) bevat informatie van de netwerken van Rijkswaterstaat, waaronder data rondom stremmingen voor de scheepvaart, en wordt gevuld vanuit verschillende bronnen. De stremmingsdata uit het NIS bevat informatie over wanneer, hoe lang en door welke oorzaak een object gestremd is geweest. Voor de oorzaak van de stremming bestaan verschillende categorieën, zoals 'calamiteit/incident/aanvaring' en 'waterstand hoger dan maximum'.

Scheepvaartdata: IVS en AIS

Rijkswaterstaat heeft toegang tot twee systemen die scheepvaartbewegingen vastleggen: IVS (Informatie- en Volgstelsel voor de Scheepvaart) en AIS (Automatic Identification System). De informatie in deze systemen is enigszins verschillend. Ze zijn dan ook voor verschillende doeleinden ontwikkeld.

In Tabel 4.2 worden de verschillende IVS-databronnen en AIS-data vergeleken en in de paragrafen hieronder worden deze bronnen verder toegelicht.

Tabel 4.2: Overzicht van IVS- en AIS-data (KpNK, 2022b).

	IVS-90	IVS-Next	BIVAS-IVS (invoerdata)	BIVAS-IVS (modelresultaten)	AIS
Toelichting	Informatie op telpunten	Vervanging van IVS-90	Data uit IVS in uniforme format opgenomen in BIVAS-database	Aanvulling van de BIVAS-IVS-informatie op basis van modelresultaten	Informatie continu uitgezonden door een schip
Data/modelresultaat	Data	Data	Data	Modelresultaat	Data

	IVS-90	IVS-Next	BIVAS-IVS (invoerdata)	BIVAS-IVS (model-resultaten)	AIS
Beschikbare periodes	2004 – april 2019	vanaf april 2019			Op aanvraag (beschikbaar vanaf 2016)
Start- en eindpunt route	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar	Afleidbaar na reconstrueren routes
Route	Enkel op telpunten	Enkel op telpunten	Enkel op telpunten	Telpunten + meest waarschijnlijke reis	Verspreid over het netwerk
Type lading (vorm)	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar	Type schip beschikbaar (tanker, cargo, etc.)
Vracht	Beschikbaar (in ton of TEU)	Beschikbaar (in ton of TEU)	Beschikbaar (in ton of TEU)	Beschikbaar (in ton of TEU)	Niet beschikbaar, in sommige gevallen diepgang beschikbaar
Scheepstype, -klasse, dimensies, diepgang	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar of herleidbaar

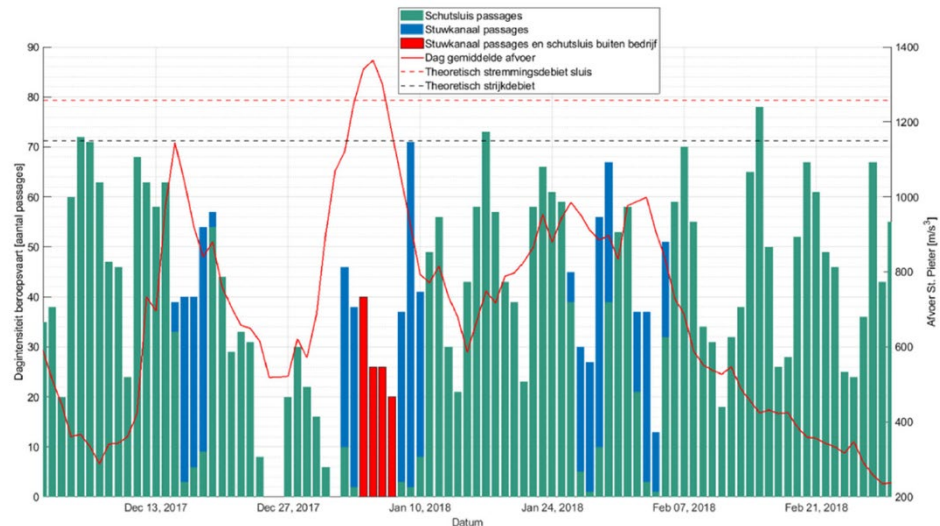
IVS-data

Op elk telpunt bevat IVS-data informatie over passages van schepen. Telpunten in het bestudeerde gebied zijn de stuw- en sluiscomplexen. Elk punt bevat informatie over het schip en de vervoerde lading. Voorafgaand aan het doen van onderzoek wordt eerst de data geanonimiseerd.

Er zijn drie bronnen van IVS-data: IVS-90, IVS-Next en BIVAS. Het verschil zit in de periode die de data beschrijft en vanuit waar de data wordt benaderd. IVS-90 en IVS-Next (opvolger van IVS-90) bevatten de 'oorspronkelijke data op het moment van invoer'. Met BIVAS-IVS wordt IVS-data gekoppeld aan het BIVAS-model bedoeld. BIVAS⁷ is een model dat de meest waarschijnlijke route van de scheepvaart berekend. Er kan een analyse op de invoerdata worden gedaan of het BIVAS-model kan worden gebruikt als post-processingsstap op de data. Zo kan er bijvoorbeeld berekend worden wat de impact op de scheepvaart is als een sluis niet beschikbaar is.

In KpNK (2022c) is IVS-data gebruikt om het huidige gebruik van de stuwcomplexen op de Maas in kaart te brengen (voor een voorbeeld zie Figuur 4.1).

⁷ [BIVAS - Home \(chartasoftware.com\)](https://www.chartasoftware.com) (laatst geraadpleegd op 30-3-2023)



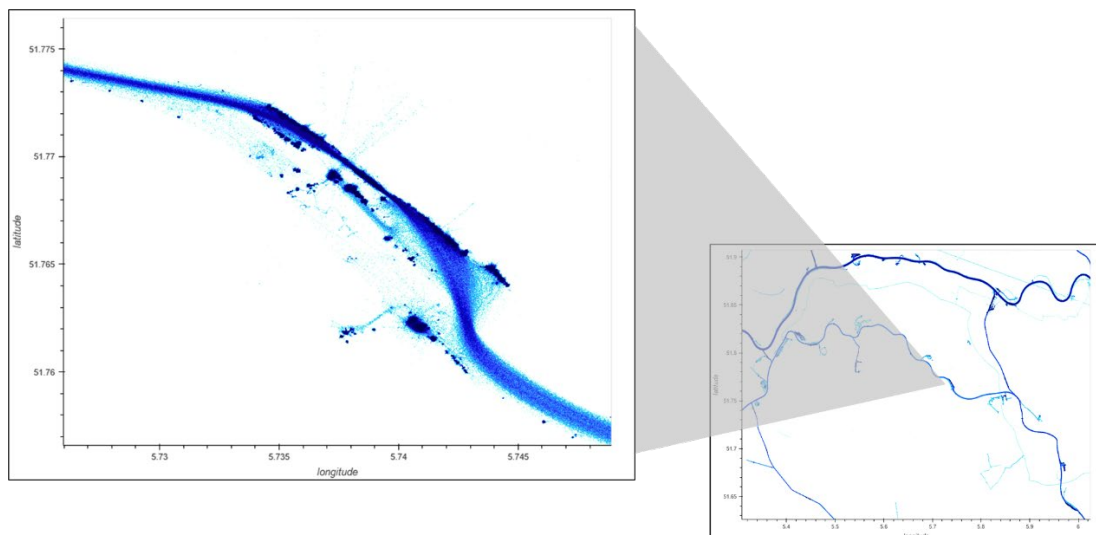
Figuur 4.1: Voorbeeld IVS90-tijdreeks met passages bij stuwcomplex Belfeld per dag (KpNK, 2022a).

AIS-data

AIS-data bevat informatie over de gehele route van het schip omdat het schip continu deze gegevens uitzendt. Dit leidt tot vele datapunten (zie Figuur 4.2) Al deze punten bevatten gegevens over het schip (type schip, afmetingen) en de scheepsmanoeuvre (positie, snelheid, en richting).

De geanonimiseerde dataset van Rijkswaterstaat is beschikbaar gesteld via de TU Delft. Algemene toegang voor onderzoeksdoeleinden tot geanonimiseerde AIS-data wordt aanbevolen. Deze data, met dekking voor heel Nederland, kan per maand beschikbaar worden gesteld vanaf 2016 tot en met september 2021 (op moment van de data-aanvraag), hoewel niet alle maanden voor deze periode beschikbaar zijn. Ook gaat het om een zeer grote dataset en is het daarom van belang om de hoeveelheid te ontvangen en door te nemen data te beperken door voorafgaand aan de aanvraag gerichte keuzes te maken in tijd en locatie.

Binnen het KpNK is ook gewerkt aan een protocol voor het gebruik van AIS-data (KpNK, 2023). Dit protocol is specifiek opgesteld voor het analyseren van aanvaarrisico's met als doel om bij te dragen aan een semi-probabilistische ontwerpbenadering voor het berekenen van belasting op constructies tijdens aanvaringen. Het protocol draagt echter ook bij aan een gestandaardiseerde aanpak voor het analyseren van AIS-gegevens in het algemeen. In 2024 wordt hieraan verder gewerkt binnen het KpNK. Binnen het project 'Waterbouw: Meetcampagne vaarsnelheid' wordt daarnaast gewerkt aan validatie van AIS-data met metingen.



Figuur 4.2: Voorbeeld van AIS-data. Te zien zijn de individuele registraties in de AIS-data rondom stuwcomplex Grave voor de periode van 1 tot en met 15 april. Lichtblauw is een lage dichtheid van punten; donkerblauw een hoge dichtheid.

4.3.2 Beschikbare scheepvaartdata: toekomstige scenario's

Om in te schatten hoe de scheepvaart zich in de toekomst ontwikkelt zijn sociaaleconomische ontwikkelingen, scheepvaartinnovaties en verduurzaming van belang. In het onderzoek naar de doorvaarbaarheid van de toekomstige Maasstuwen kwamen bijvoorbeeld de huidige trends van schaalvergroting en van veranderende lading naar voren (KpNK, 2022a). Voor het analyseren van de toekomst van de scheepvaart is in die studie gebruikt gemaakt van Welvaart- en Leefomgevings (WLO)-scenario's van het CPB en het PBL uit 2015 en beschikbare literatuurstudies. De informatie die uit deze scenario's komt is op een veel grovere schaal dan de beschikbare data van de huidige situatie of de klimaatscenario's. Ook klimaatverandering (droogte en: lagere zomerafvoeren) zijn van belang voor de scheepvaart vanwege de verlaagde waterpeilen in het zomerhalfjaar.

In de Deltascenario's wordt, op basis van de IMA- (Integrale Mobiliteitsanalyse) (Rijkswaterstaat, 2021) en de WLO- scenario's (CPB & PBL, 2015), voor scenario's Vlug en Stoom een toename van goederenvervoer van 35% verwacht, voor scenario's Ruim en Warm is dit 18%. In Vlug en Ruim verdwijnt het vervoer van fossiele grondstoffen en is er een transitie naar emissieneutraal transport (Deltares, 2024a). In alle Deltascenario's wordt verwacht dat hoog- en laagwaterknelpunten op meer plaatsen gaan spelen. Voor Stoom en Warm wordt een toename van de stremmingsduur verwacht. Voor de middellange termijn heeft bijvoorbeeld ook Havenbedrijf Rotterdam toekomstscenario's opgesteld van de verdeling van goederen.

Uit de IMA volgt dat er een grote potentie is voor een modal shift van weg- naar spoor- en binnenvaartverkeer (Rijkswaterstaat, 2021). Een andere driver op scheepvaartgebied is innovatie in de scheepvaart. Onderdeel hiervan is 'smart shipping', waarbij het vaarplan afgestemd wordt op ingeplande schuttingen en het efficiënter gebruik maken van ladingsruimte in schepen (Rijkswaterstaat, 2021). Een ander voorbeeld van innovatie binnen de scheepvaart is de 'vessel train', waar een bemand schip wordt gevolgd door meerdere laag- of niet-bemane schepen (NOVIMAR, 2021).

Data van de huidige situatie kan soms ook gebruikt worden als bron voor toekomstige situaties. Bijvoorbeeld wat zijn verwachtingen voor scheepvaartintensiteit als hoge afvoeren vaker gaan voorkomen op basis van scheepvaartintensiteit nu bij hoge afvoer? Ook kan data van de huidige situatie gebruikt worden om bestaande trends te analyseren en zo mogelijk te

extrapoleren de toekomst in. Lokale – casus specifieke – informatie over bijvoorbeeld industriële ontwikkelingen is ook relevant voor de toekomstige scenario's.

4.4 Beleidsmatige drivers

De invloed van beleidskeuzes op de functionele prestatie noemen we beleidsmatige drivers. Het gaat hierbij om keuzes die buiten het VenR-opgaven liggen, maar wel invloed hebben op de besluitvorming rondom het project of de toekomstige prestatie van het beschouwde object. Beleidsmatige drivers kunnen volgen uit akkoorden en beleid op (inter)nationaal of regionaal niveau en kunnen betrekking hebben op verschillende sectoren, waaronder water, ondergrond, transport, energie en Arboretgeving. In KpNK (2022a) worden enkele voorbeelden gegeven voor het Maassysteem.

In tegenstelling tot klimaatdrivers en socio-economische trends zijn er voor beleidsmatige drivers geen ontwikkelingsscenario's of -prognoses beschikbaar. Vooruit kijken naar beleidsmatige keuzes is daarom lastig, maar deze keuzes kunnen wel plotseling voor een knelpunt zorgen. In het KpNK is in mindere mate aandacht besteed aan beleidsmatige drivers. Deze zullen echter vrijwel altijd spelen, geïnventariseerd moeten worden en mee moeten worden genomen in een VenR-beslissing. Wat daarvoor een goede methode is, vraagt verdere uitwerking.

Binnen het KpNK is er in de aanpak van de casus Maasstuwen en de casus Julianakanaal wel gewerkt met beleidsmatige drivers.

- In het onderzoek naar de doorvaarbaarheid van de Maasstuwen (KpNK, 2022a) zijn verschillende, mogelijke beleidskeuzes geïdentificeerd met daarbij de mogelijke scenario's en de effecten op de het netwerk en de stuwen.
- In de casus Julianakanaal (KpNK, 2024f) zijn verschillende, mogelijke beleidskeuzes geïdentificeerd en is vervolgens in een werksessie met Rijkswaterstaat Zuid-Nederland gekeken wat belangrijk is om mee te nemen in welke fase van het VenR-proces.

Tot slot, beleidsmatige keuzes kunnen invloed hebben op de klimaat- en socio-economische scenario's. Een voorbeeld hiervan voor de scheepvaart is de opwaardering van een vaarroute, waardoor de scheepvaartfrequentie en/of het type schepen kan veranderen, wat gevolgen kan hebben voor scheepvaartscenario's in het gebied en daarmee voor de eisen aan en de functionele prestatie van de aanwezige schutsluizen.

5 Technische en functionele prestatie

De prestatie van een kunstwerk, of de mate waarin een kunstwerk aan de gestelde eisen voldoet, kan vanuit drie verschillende invalshoeken beoordeeld worden (zie Figuur 5.1):

- Technische prestatie: in hoeverre is het kunstwerk constructief in orde?
- Functionele prestatie: in hoeverre is het kunstwerk in staat om de gevraagde functies uit te voeren?
- Economische prestatie: in hoeverre wegen de baten van het beheren, aanpassen of vervangen kunstwerk op tegen de kosten daarvan?

In het KpNK is gewerkt aan het in kaart brengen van de technische en functionele prestatie van verschillende kunstwerken. Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van deze invalshoeken en verwijst de lezer, waar beschikbaar, naar verdiepende rapportages. De economische prestatie komt in de afweging terug (zie Stap 5 van de werkwijze (KpNK, 2024e)).

Het in kaart brengen van kennis over de huidige en toekomstige prestaties van het huidige object is het laatste onderdeel van Stap 2 van de iteratieve werkwijze en helpt daarmee in Stap 3 om de oplossingsrichtingen en varianten te bepalen. Deze informatie wordt iteratief in het proces aangevuld en aangescherpt.



Figuur 5.1: Onderscheid tussen einde technische, functionele en economische levensduur aan de hand van een voorbeeldbrug, waar bijvoorbeeld de constructieve integriteit, het niet kunnen voldoen aan eisen van de scheepvaart en/of hoge onderhoudskosten er voor kunnen zorgen dat einde levensduur bereikt wordt (KpNK, 2024d).

5.1 Technische prestatie

De constructieve staat van een kunstwerk neemt in de loop der jaren af door slijtage (als gevolg van het gebruik) en veroudering (als gevolg van degradatie van materialen) van de verschillende civieltechnische, mechanische en elektrotechnische onderdelen. Zolang de hoofdconstructie met voldoende betrouwbaarheid de belastingen kan opvangen (en naar de ondergrond kan afdragen), is de technische prestatie voldoende. Een afname van de technische prestatie van onderdelen kan samenhangen met een afname van de technische restlevensduur van het object als de onderdelen niet vervangbaar zijn.

Drivers (zie Hoofdstuk 4) kunnen voor versnelde slijtage zorgen (bijv. door een hogere sluitfrequentie bij stormvloedkeringen), waardoor de technische prestatie sneller afneemt dan verwacht ten tijde van ontwerp. Slijtage en veroudering is niet voor alle onderdelen hetzelfde en wordt beïnvloed door verschillende processen (bijvoorbeeld corrosie bij stalen onderdelen). Naast klimaatdrivers zoals zeespiegelstijging kunnen ook andere ontwikkelingen een invloed hebben op de technische prestatie door de vernieuwing van standaarden en normen voor gebruikte materialen, omdat specifieke materialen of onderdelen niet langer geproduceerd worden, of omdat de termijn waarop producten ondersteund worden verloopt.

Het is voor de probleemstelling belangrijk om een goed beeld te hebben van de technische restlevensduur van een object. Dit helpt bij het bepalen van de juiste timing van oplossingsrichtingen en varianten in Stap 3. Dit wordt echter niet verder uitgewerkt in dit rapport of in de iteratieve werkwijze. Wel is er in andere projecten van het KpNK gewerkt aan verschillende aspecten van de technische (rest)levensduur van bijvoorbeeld damwandconstructies, van bodembescherming, of schroefstraalbelasting of de trillingsgevoeligheid van beweegbare schuiven. Rapportages hierover zijn te vinden in de kennisbank van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken⁸.

5.2 Functionele prestatie

Functionele prestatie is de mate waarin een kunstwerk of netwerk presteert ten opzichte van de gestelde eisen of wensen aan die functie. Als de functionele prestatie onder de gestelde eis komt, dan treedt einde functionele levensduur op.

Het kan zo zijn dat het kunstwerk in de huidige situatie aan al zijn functionele eisen voldoet. Maar bij een verouderd kunstwerk is het ook goed mogelijk dat er in de huidige situatie al sprake is van een verminderde functionele prestatie. En dat deze verminderde bijdrage van het kunstwerk ook kan leiden tot een verminderde netwerk-prestaties. Om de functionele prestatie te toetsen is een set eisen en/of wensen nodig waar het kunstwerk en/of netwerk aan moet voldoen (zie Hoofdstuk 3). De eisen liggen niet altijd bij het kunstwerk, maar kunnen ook aan het grotere watersysteem gesteld worden. In de iteratieve werkwijze wordt gebruik gemaakt van het concept functionele prestatie in de tijd (zie het rapport over Stap 4 (KpNK, 2024d)) in plaats van functionele levensduur om de ontwikkeling van de 'relatieve' prestatie in de tijd van een netwerk of kunstwerk uit te kunnen uitdrukken en omdat dit concept ook in de afwezigheid van concrete eisen en voor het bepalen van het effect van maatregelen toegepast kan worden. Hier worden de drivers (zie Hoofdstuk 4) beschouwd die van invloed zijn op het kunstwerk en de consequenties daarvan voor de functies die het kunstwerk uit moet voeren.

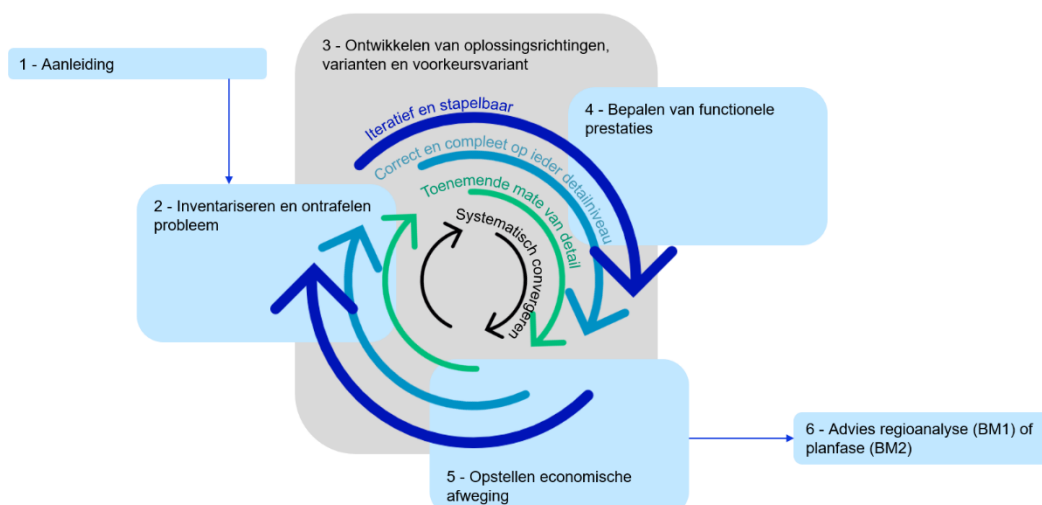
Het in kaart brengen en later kwantificeren van de functionele prestatie wordt uitgebreid beschreven in de rapportage over Stap 4 in de iteratieve werkwijze (KpNK, 2024d). Voor de functies zoutbeheer en het bieden van migratieroutes en leefgebied voor vissen zijn extra verdiepende rapportages beschikbaar (KpNK, 2024l; KpNK, 2024k).

⁸ <https://www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl/kennisbank/>

6 Vervolgstappen en aandachtspunten

6.1 Vervolgstappen in de iteratieve werkwijze

Na het doorwerken van Stap 2 heeft men een overzicht van het object in het netwerk en inzicht in het functioneren van het huidige object nu en de gevraagde prestaties in de toekomst. De hieruit volgende probleemstelling - wat is er op welk moment en waar in het netwerk nodig om het verschil tussen de geleverde en gevraagde functionele prestaties te overbruggen? - kan vervolgens in Stap 3 gebruikt worden om de oplossingsrichtingen en varianten te definiëren (KpNK, 2024c). Daarnaast is de opgehaalde informatie ook nodig voor Stap 4 en 5 voor het bepalen van de prestaties en het afwegen van varianten. Het gaat om een iteratief proces. Het kan dan ook zijn dat vanuit Stap 4 of Stap 5 weer terug wordt gegaan naar Stap 2. Bijvoorbeeld omdat er nieuwe informatie beschikbaar is en het overzicht aangevuld kan worden of om de eisen en wensen aan te passen.



Figuur 6.1: De KpNK werkwijze voor het uitwerken, onderbouwen en afwegen van VenR-varianten.

6.2 Aandachtspunten

In dit rapport zijn enkele knelpunten in beschikbare informatie en data voor infrastructurele opgaven geïdentificeerd. Verschillende ontwikkelingen zijn gaande die mogelijk voor een betere beschikbaarheid van informatie en data voor de VenR-opgave kunnen zorgen. Hieronder worden enkele van deze ontwikkelingen beschreven.

6.2.1.1 Ontwikkeling en aansluiting netwerkschakelplannen

Een netwerkschakelplan beschrijft kenmerken, indicatoren en ontwikkelingen van een netwerkschakel, een deel van het netwerk dat in een bepaalde functie voorziet. In het netwerkschakelplan worden onder andere prestatie-eisen verzameld voor de netwerkschakels. Er zijn ontwikkelingen waarbij de netwerkschakelplannen een belangrijkere rol gaan krijgen in de VenR-opgave voor de Regioanalyse (kennisdoorwerksessie KpNK en VenR-proces, d.d. 10-2-2023). De stap die dan gezet zou kunnen gaan worden in de netwerkschakelplannen is de vertaling van de eisen op netwerkschakelniveau naar objectniveau. In de toekomst kunnen de netwerkschakelplannen een belangrijke bron worden voor de eisen en functionele prestatie.

6.2.2 Beschikbaarheid data en modellen

Data en modellen zijn nog niet altijd optimaal beschikbaar voor de VenR-opgave met het risico op vertraging en inconsistentie tussen analyses (zie Bijlage A). Projecten zoals 'Kunstwerken in Netwerkmodellen' en EUO-Kunst werken aan verbetering hieromtrent.

In het project 'Kunstwerken in Netwerkmodellen' wordt gewerkt aan een database van alle modelschematiseringen die in de huidige generatie netwerkmodellen gebruikt worden (Deltares, 2024b). In het in 2024-gestarte project 'Eenduidige Uitgangspunten voor Ontwerpwaarden voor natte Kunstwerken' (EUO-Kunst door Deltares en Rijkswaterstaat)⁹ wordt een generieke methodiek opgezet om (beleidsmatige) uitgangspunten eenduidig te vertalen naar ontwerprandvoorwaarden. De Oostsluis in Weurt wordt als testcasus gebruikt in dit project, met het uiteindelijke doel dat de ontwikkelde methode breed toepasbaar is voor in principe alle kunstwerken.

⁹ [Waterinfrastructuur toekomstbestendig vervangen en renoveren | Deltares](#)

Referenties

- CPB & PBL. (2015). *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's*.
- De Winter, R., Sterl, A., & Ruessink, B. (2013). Wind extremes in the North Sea Basin under climate change: An ensemble study of 12 CMIP5 GCMs. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 1601-1612.
- De Winter, R., Sterl, A., de Vries, J., Weber, S., & Ruessink, G. (2012). The effect of climate change on extreme waves in front of the Dutch coast. *Ocean Dynamics*, 62, 1139-1152.
- Deltares. (2014a). *Validatie LSM-light ten behoeve van VONK*. 120360-000-ZWS-0010.
- Deltares. (2014b). *Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins - Final report of GRADE 2.0*. 1120042-004.
- Deltares. (2015). *Implications of the KNMI'14 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse - comparison with earlier scenario studies*. 1220042-000-ZWS-0004.
- Deltares. (2016). *Methode voor het afleiden van een 100-jarige toekomstige afvoerreeks voor Lobith en Monsin*. 1230078-000-BGS-0001.
- Deltares. (2018). *Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017*. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur & Water – staf Deltacommissaris.
- Deltares. (2019). *Fish en Ships*. 11203769-006-HYE-0002 (concept).
- Deltares. (2020a). *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II*. 11203734.
- Deltares. (2020b). *Statistiek extreme hoogwaters Rijn en Maas op basis van geschaalde KNMI'14 scenario's*. 11205237-003-ZWS-0014.
- Deltares. (2021a). *Urgentie en Realisatie van Redesign the Delta vanuit VenR perspectief. Case zuidwest-Nederland*. 11206882.
- Deltares. (2021b). *Landelijk SOBEK model LSM3. Update en verificatiesom 2018*. 11206813-016.
- Deltares. (2022a). *Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO. Generieke technische en functionele specificaties (v1-2022)*. 11208053-012.
- Deltares. (2022b). *Raamwerk beslismomenten VenR Stormvloedkeringen - Gecombineerde functionele en technische prestatie en economische afweging met case Hollandsche IJsselkering*. 11206063-000-HYE-0002.
- Deltares. (2022c). *Effectbepaling nulalternatief IRM*. 11208036-004.
- Deltares. (2024a). *Deltascenario's 2024. Zicht op water in Nederland*. In opdracht van en in samenwerking met staf Deltacommissaris en het ministerie van IenW.
- Deltares. (2024b). *Ontwikkelen en vullen database BL-kunstwerken - Beweegbare kunstwerken in Baseline-NL: Feiten en schematisering van relevante beweegbare kunstwerken*. Versie baseline-kunstwerken-j23_6-v1, 11209278-011.
- HKV & Iv-Infra. (2014). *Methodiek gevoeligheidstest natte kunstwerken*.
- HKV. (2017). *Hydra-NL Systeemdokumentatie. Versie 2.3*. PR3506.
- KNMI. (2023). *KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland*. de Bilt, the Netherlands: KNMI.
- KpNK. (2020). *Functionele levensduur - Indicatie einde functionele levensduur van areaal Rijkswaterstaat*. KpNK-2020-SKW-02a004.
- KpNK. (2022a). *Analyse naar de doorvaarbaarheid van de toekomstige Maasstuwen*. 11208384-002-HYE-0001.
- KpNK. (2022b). *Einde levensduur overige HWS-objecten: Kernvraag-overstijgend onderzoek naar functionele inspectie*. 11207401-005-HYE-0001.
- KpNK. (2023). *Protocol voor de verwerking van AIS-data*. Delft: Deltares.
- KpNK. (2024a). *Iteratieve werkwijze om te komen tot een advies in Regio-analyse en Planfase*. 11207401-007-HYE-0005 .

- KpNK. (2024c). *Ontwikkelen van oplossingsrichtingen, varianten en voorkeursvariant - Stap 3 in de iteratieve werkwijze*. 11207401-007-HYE-0006.
- KpNK. (2024d). *Bepalen van functionele prestaties – Stap 4 in de iteratieve werkwijze*. 11207401-009-HYE-0005.
- KpNK. (2024e). *Opstellen economische afweging - Stap 5 in de iteratieve werkwijze*. 11207401-007-HYE-0004.
- KpNK. (2024f). *Aanvulling op best practice Regio-analyse Weurt-Heumen vanuit ervaring Julianakanaal*. 11207401-007-HYE-0008.
- KpNK. (2024g). *Achtergrondrapportage bij werkvormen en visualisaties*. 11207401-030-HYE-0002.
- KpNK. (2024j). *Functionele prestatie van natte kunstwerken voor biodiversiteit - Kwantificering, overwegingen en maatregelen*. 11207401-009-HYE-0002.
- KpNK. (2024k). *Functionele prestatie van stuwcomplexen voor migrerende vis*. 11207401-028-HYE-0001.
- KpNK. (2024l). *Kwantificering van de functionele prestatie van sluizen met een zoutbeheerfunctie*. 11207401-021-HYE-0012.
- NOVIMAR. (2021). *NOVIMAR and the vessel train concept*. <https://novimar.eu/concept/>.
- Rijksoverheid. (2022). *Nationaal Water Programma 2022-2027. Het nationale waterbeleid en de uitvoering in de rijkswateren*.
- Rijkswaterstaat. (2021). *Achtergrondrapportage Vaarwegen Integrale Mobiliteitsanalyse*.
- Rijkswaterstaat. (2022). *Koppeling prestatie-eisen HWS met hoofdfuncties*.
- Rijkswaterstaat. (2022b). *Vervanging en Renovatie. Prognose-rapport 2022. Prognose voor de periode 2023 tot en met 2050*.
- Van der Vliet, M., Zandvoort, M., & Jutte, M. (2020). *Nieuwe opgaven voor het infrabeheer: Als adaptief je lief is*. NGinfra Magazine.
- Werkgroep Afvoerregulering Maas. (2000). *Verdrag tussen het Vlaamse Gewest en het koninkrijk der Nederlanden inzake de afvoer van het water van de Maas*.

A Drivers: Klimaatdata

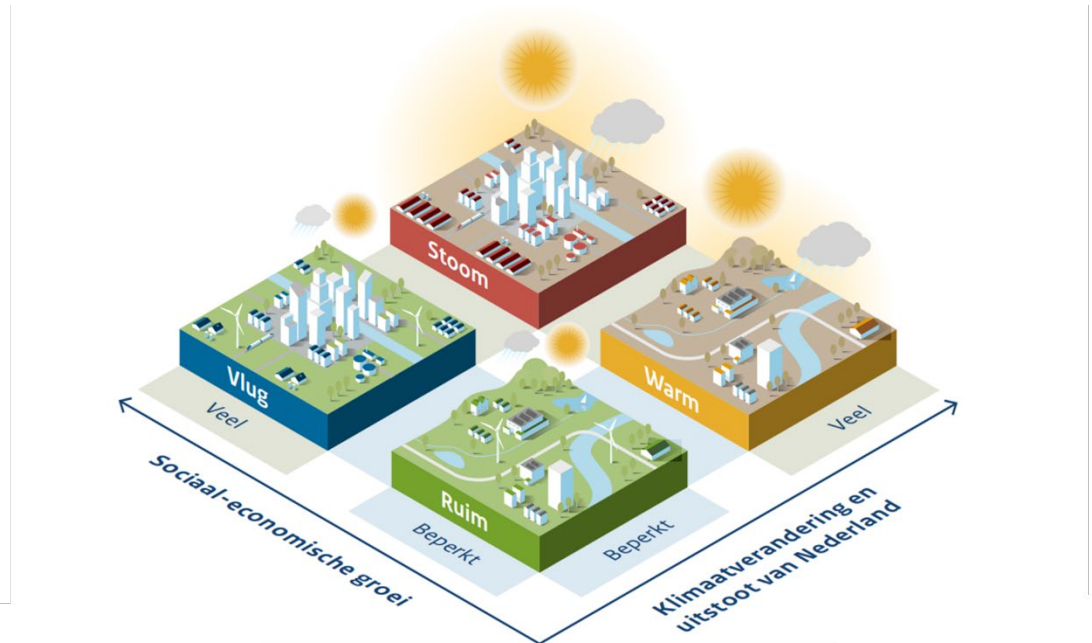
A.1 Deltascenario's

De Deltascenario's zijn, mede op basis van de KNMI-scenario's (KNMI, 2023), ontwikkeld om inzicht te geven in de ontwikkelingsrichtingen van de Nederlandse delta die op (middel)lange termijn relevant zijn voor het watersysteem (Deltares, 2024a). De Deltascenario's geven een beeld van zowel de klimatologische als de socio-economische ontwikkelingen en de implicaties van die ontwikkelingen. Merk op dat casussen die in het KpNK (2020-2024) uitgewerkt zijn veelal gebruik maken van de vorige generatie Deltascenario's (2017) (Deltares, 2018).

Er zijn vier Deltascenario's: Vlug, Ruim, Stoom en Druk (zie Figuur A.1) In alle Deltascenario's is sprake van een toename in de opgaven voor zoetwater-beschikbaarheid, wateroverlast en waterveiligheid (Deltares, 2024a). Vijf onderscheidende eigenschappen tussen de Deltascenario's zijn:

- Klimaatverandering: in alle scenario's wordt het weer grilliger, natter en droger, maar in Stoom en Warm is deze verandering het sterkst.
- Rivierafvoeren: in Stoom en Warm is de toename van afvoer in de winter en afname van afvoer in de zomer sterker dan in Vlug en Ruim.
- Socio-economische groei: de bevolkingsomvang en economie groeien het sterkst in Vlug en Stoom. In Ruim en Warm daalt de bevolkingsomvang na 2040.
- Verstedelijking en landelijk gebied: In Vlug en Stoom neemt de verstedelijking toe ten koste van landbouwareaal. In Ruim en Warm is sterker ingezet op natuur, en is het landbouwareaal nog kleiner.
- Vernatting veengebieden: het vernatting van veengebieden reduceert de hoeveelheid vrijkomend CO₂. In Stoom en Warm is de reductie minder ambitieus (-40 cm onder maaiveld) dan in Vlug en Ruim (-20 cm onder maaiveld).

In de nieuwe Deltascenario's is meer aandacht voor droogte ten opzichte van de vorige reeks scenario's. Er kan nu met meer zekerheid gesteld worden dat de laagwaterafvoeren op de Rijn en Maas af zullen nemen (Deltares, 2024a). Er wordt verwacht dat er vaker sprake zal zijn van periodes van droogte en dat de verdringingsreeks vaker in werking zal treden. Om schade m.b.t. waterveiligheid en kwetsbare en beschermde natuur (categorie 1 in de verdringingsreeks) te voorkomen, zal er door het grotere watertekort vaker schade zijn voor de overige categorieën (Deltares, 2024a). Door de drivers zeespiegelstijging en hogere rivierafvoeren neemt de druk op waterkerende kunstwerken toe. Ook langdurende neerslag neemt alle scenario's toe, wat met name regionale watersystemen kan overbelasten (Deltares, 2024a). Er wordt geen verandering in de maatgevende stormcondities verwacht, maar omdat de waterstanden hoger worden kunnen sluitpeilen vaker bereikt worden en zullen stormvloedkeringen vaker moeten sluiten (KNMI, 2023).



Figuur A.1: De vier Deltascenario's (Deltares, 2024a).

A.2 Hydrologische en hydrodynamische modellen

Voor de vertaling van de verschillende klimaatscenario's uit klimaatmodellen naar het effect van klimaatontwikkelingen op het watersysteem is een groot aantal numerieke modellen beschikbaar. Er is hierin een onderscheid te maken in modellen die de randvoorwaarden aan de grens van een gebied (bijvoorbeeld Nederland) berekenen en modellen met een beschrijving binnen een gebied zelf. Ook is er niet altijd sprake van één model, maar een modellentrein met daarin een combinatie van meerdere modellen. Aangezien de nieuwe Deltascenario's op het moment van schrijven net verschenen zijn, refereert deze paragraaf aan de studies met de oude Deltascenario's.

Hydrologische neerslag-afvoermodellen, zoals de HBV-modellen voor de Rijn en de Maas, worden bijvoorbeeld gebruikt om de toevoer vanuit rivieren bij Lobith en Monsin te berekenen voor verschillende klimaatscenario's in GRADE (Generator of Rainfall and Discharge Extremes). GRADE is een combinatie van een stochastische weergenerator (KNMI-weergenerator), een hydrologisch model (HBV) en een hydraulisch model (SOBEK) en is bedoeld voor het doorrekenen van extreem hoge waterafvoeren (Deltares, 2014b).

De modellen voor een gebied worden vaak de basismodellen of basisschematisaties van een gebied genoemd. In het geval van de beheersgebieden van Rijkswaterstaat wordt gebruik gemaakt van SOBEK voor 1D-berekeningen, ook wel het LSM (Landelijk SOBEK Model) genoemd (Deltares, 2021b) en D-HYDRO voor 2D- en 3D-berekeningen voor lokale en gebiedsgerichte opgaven (Deltares, 2022a). SOBEK en D-HYDRO zijn beide hydrodynamische modellen die de waterstanden en stroomsnelheden in een waterlichaam (meer, kanaal, rivier of kustgebied) kunnen modelleren. Naast waterstanden en stroomsnelheden zijn er ook modules of functies om zouttransport, temperatuur, waterkwaliteit en morfologie mee te nemen.

Randvoorwaarden aan de grenzen van het model voor verschillende klimaatscenario's kunnen gebruikt worden als invoer voor deze basismodellen om de impact van deze scenario's op het gebied door te rekenen. Deze berekeningen worden vaak in het kader van een specifiek (beleidsmatig) project gedaan (zoals bijvoorbeeld Integraal Rivier Management, Deltaprogramma Zoetwater (Deltares, 2020a; Deltares, 2022c), waarbij project-specifieke

aannames zijn gedaan. Het is hierbij niet altijd goed herleidbaar hoe de kunstwerken in deze modellen en projecten zijn geschematiseerd, en dan vooral de parameter-instellingen die de modelweergave van een kunstwerk in detail specificeren/afregelen.

Daarnaast bestaan er specifieke modellen voor gerichte afgebakende doelstellingen waarin klimaatscenario's zijn doorgerekend, zoals Hydra-NL (HKV, 2017). Hydra-NL is een probabilistisch beoordelingsprogramma dat statistiek geeft van de hydraulische belastingen (waterstand, golfcondities, golfoverslag) voor de beoordeling van de primaire waterkeringen (dijken en kunstwerken) van Nederland, en kan gebruikt worden om de overschrijdingscurves voor verschillende waterstanden en andere hydraulische belastingen op diverse locaties te berekenen. Onder Hydra-NL liggen berekeningen.

A.3 Voorbeelden en knelpunten van databeschikbaarheid

Voor de Maasstuwen (KpNK, 2022a) en de Volkeraksluizen (Deltares, 2021a) is beschreven welke data voor het kwantificeren van de functionele prestatie is gebruikt, hoe geschikt deze was en welke datasets ook beschikbaar waren en waarom deze niet toegepast zijn. Ook bij andere KpNK-casussen was er sprake van een beperkte databeschikbaarheid, zoals de functionele inspectie van het Hoofdvaarwegennet rondom stuwcomplex Grave (KpNK, 2022b), de uitwerking van de functionele prestatie van stuw Hagestein (KpNK, 2024d) en de benodigde data voor de combinatie van verlaagde rivierafvoeren en zeespiegelstijging en de inzet van verschillende kunstwerken (onder andere Bernhardsluizen, Maeslantkering).

Maasstuwen

Voor de Maasstuwen heeft Deltares gekeken naar het effect van een veranderende rivierafvoer op de scheepvaartfunctie van de schutsluizen en stuwen (KpNK, 2022a). Hiervoor was data van afvoer en waterstand op locatie van de stuwen en sluizen nodig voor het referentiescenario en de verschillende klimaatscenario's.

In eerste instantie is gekeken naar de data die eerder gegenereerd was voor VONK (Vervangingsopgave Natte Kunstwerken) (Deltares, 2014a). Die dataset bevat op de locaties van verschillende kunstwerken de waterstand en afvoer. Het strijkdebiet in de berekeningen bleek echter niet gelijk aan het huidige strijkdebiet zoals aangenomen in de Maasstuwenstudie. De afwijkingen van het strijkdebiet aangenomen voor aanmaak van de eerdere datareeks zorgde ervoor dat de resultaten (onder andere waterstanden) niet meer aansloten bij de aangenomen huidige strijkpeilen. Een andere reeks was daarom nodig.

Daarom is gekozen voor gebruik van bovenstroomse data bij Monsin. Door middel van onttrekkingen zoals opgenomen in het Maasafvoeroverdrag (Werkgroep Afvoerregulering Maas, 2000) is een vertaling naar afvoer bij St. Pieter gemaakt (daar waar de Maas over de grens komt). Betrekkingslijnen zijn vervolgens gebruikt om de afvoer bij St. Pieter te vertalen naar de waterstanden bij de stuwen op de Maas. Hier is voor gekozen omdat de betrekkingslijnen de meest recente vertaling van afvoer naar waterstanden geven.

Voor de afvoer van de Maas op de Nederlandse grens zijn verschillende klimaatreeksen beschikbaar. Deze zijn alle gebaseerd op de KNMI'14-klimaatscenario's. Het minst extreme en meest extreme scenario was voor deze studie nodig, om de bandbreedte te schetsen. Hiervoor waren meerdere reeksen beschikbaar (zie Tabel A.1). Ter volledigheid is de VONK-reeks ook opgenomen. In de studie is uiteindelijk gebruik gemaakt van de gecorrigeerde HBV¹⁰-reeks. Hiervoor is gekozen vanwege de beschikbaarheid van de gewenste klimaatscenario's, de geschiktheid voor boven-gemiddelde afvoeren en de correctie naar daadwerkelijk opgetreden afvoeren.

¹⁰ Neerslag-afvoer model

Tabel A.1: Overzicht van de beschikbare reeksen voor de Maasstuwen casus. In **rood** worden de gebreken in elke reeks weergegeven.

	VONK (Deltares, 2014a)	40-jarige afvoerreeks Monsin obv HBV-Maas (Deltares, 2015)	Gebruikte reeks: 40-jarige afvoerreeks Monsin obv HBV-Maas met correctie (Deltares, 2016)	100-jarige afvoerreeks Monsin (Deltaprogramma Zoetwater) (Deltares, 2016)	50.000-jarige afvoerreeks Borgharen GRADE (Deltares, 2020b)
1. Locatie en eigenschappen gebied	Locatie: Maas Eigenschap: peilgestuurd/afvoer				
2. Type kunstwerk, functie en drivers	Kunstwerk: stuw en schutsluis Functie: scheepvaart Driver: veranderende rivierafvoer				
3. Benodigde parameters	Afvoer en waterstanden	Afvoer Geen waterstanden (via betrekkinglijnen naar waterstand)	Afvoer Geen waterstanden (via betrekkinglijnen naar waterstand)	Afvoer (in DPZW wel vertaald naar waterstanden bij kunstwerken m.b.v. LSM-Light) Geen waterstanden (via betrekkinglijnen naar waterstand)	Afvoer Geen waterstanden (via betrekkinglijnen naar waterstand)
4. Besturing, schematisatie en beleid	Strijkpeilen sluiten niet aan bij aannames in studie	Bovenstroomse data	Bovenstroomse data	Bovenstroomse data	Bovenstroomse data
5. (Extreem) hoog/laag, frequentie	Reeks voldoende lang om nauwkeurige statistiek af te leiden	40-jarige reeks voldoende om inschatting te maken voor bovengemiddelde afvoeren, langere tijdreeks gewenst. De referentiereeks (ter referentie van het huidige klimaat) bevat verschillen met gemeten waarden.	40-jarige reeks voldoende om inschatting te maken voor bovengemiddelde afvoeren, langere tijdreeks gewenst. Correctie op basis van gemeten afvoeren	100-jarige reeks voldoende om nauwkeurige statistiek af te leiden voor bovengemiddelde afvoeren.	Enkel ontwikkeld voor extreme situaties van hoogwater, niet voor condities die rond het gemiddelde liggen
6. (Worst) case scenario's	Referentie, Deltascenario's Rust, Druk, Stoom, Warm voor 2050 en 2085	Referentie, GH, GL, WH, Whdry, WL voor 2050 en 2085	Referentie, GH, GL, WH, Whdry, WL voor 2050 en 2085	Referentie, GL, Whdry voor 2050 en 2085, dus geen WH	Referentie, GH, GL, WH, Whdry, WL voor 2050 en 2085
7. Benodigde bewerking	-	Vertaling naar waterstand d.m.v. betrekkinglijnen Vertaling afvoer Monsin naar St. Pieter nodig	Vertaling naar waterstand d.m.v. betrekkinglijnen Vertaling afvoer Monsin naar St. Pieter nodig	Vertaling naar waterstand d.m.v. betrekkinglijnen Vertaling afvoer naar St. Pieter nodig	Vertaling naar waterstand d.m.v. betrekkinglijnen Correctie op afvoer
8. Detailniveau	Voldoende	Voldoende	Voldoende	Voldoende	Voldoende

Kunstwerken rond het Haringvliet

In Deltares (2021a) is gekeken naar het effect van zeespiegelstijging op de waterstanden op het Haringvliet en het Hollands Diep. In de huidige situatie wordt het peil net boven gemiddeld zeeniveau gehouden om zoutindringing in de Rijn-Maasmonding te beperken. In Deltares (2021b) is aangenomen dat men ook met zeespiegelstijging zoutindringing wil voorkomen en dat daarom het peil van het Haringvliet meestijgt met de zeespiegel. Dit is een belangrijke aanname in de studie naar einde levensduur van de Volkeraksluizen.

Voor hogere waterstanden met kleinere kansen van voorkomen is gekeken naar data vanuit Hydra-NL. Echter, het bleek dat Hydra-NL niet geschikt is voor berekeningen met een (forse) zeespiegelstijging. Dit heeft er onder meer mee te maken dat de berekeningen die ten grondslag liggen aan Hydra-NL uitgaan van een beginsituatie waarin het Haringvliet en het Hollands Diep het huidige peil hebben. Omdat de data uit Hydra-NL dus niet geschikt waren is in Deltares (2021a) voor nu aangenomen, vanwege de open verbinding naar zee, dat zeespiegelstijging leidt tot een 1-op-1 verhoging van de (extremere) waterstanden voor Willemstad en Geertruidenberg. Voor Willemstad lijkt dit een redelijke aanname, maar voor Geertruidenberg klopt deze aanname waarschijnlijk niet door de (beperkende) invloed van de rivierafvoer. Ook wordt in Hydra-NL aangenomen dat de Maeslantkering bij hetzelfde peil blijft sluiten, maar ook dat is misschien niet het geval.

Al met al blijkt dus dat er geen goede data beschikbaar is van (extreme) waterstanden (met hun kansen van voorkomen) op de benedenrivieren in een situatie met zeespiegelstijging.

A.4 Databeschikbaarheid

De efficiëntie van het kunnen kwantificeren van functionele prestatie, voor alle functies van verschillende kunstwerken onder invloed van de diverse klimaatdrivers, is onder andere afhankelijk van de beschikbaarheid van klimaatdata om de analyses mee uit te kunnen voeren. Ervaring uit eerdere infrastructurele projecten en verschillende KpNK-casussen leert echter dat het vanwege de diversiteit aan modellen, die in projecten vaak voor specifieke toepassingen opgezet worden, veel tijd kost om de juiste data op de juiste locatie en op basis van geschikte klimaatscenario's te vinden. Ook blijkt de benodigde data geregeld geheel te ontbreken. Dit zorgt voor vertraging bij het oppakken van infrastructurele opgaven in verschillende werkprocessen: zowel in BenO-, VenR- als Aanlegvraagstukken.

Ook ontstaat door de versnippering aan data inconsistentie tussen studies, die daardoor niet goed met elkaar te vergelijken zijn en niet stapelbaar zijn. Bovendien is het maken van aanpassingen in de modellen, vanwege de complexiteit en rekentijd van de modellen, niet altijd eenvoudig. Kunstwerken zijn vaak vereenvoudigd geschematiseerd in (netwerk)modellen, waardoor het snel beschouwen van mogelijke aanpassingen (ander type, andere aansturing) aan de wensen van de VenR-opgave, niet altijd eenvoudig is.

In het project 'Kunstwerken in Netwerkmodellen' wordt gewerkt aan een database van alle modelschematiseringen die in de huidige generatie netwerkmodellen gebruikt worden (Deltares, 2024b). Daarnaast werkt het project EUO-Kunst aan hydraulische randvoorwaarden voor de infrastructurele opgaven.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl