

KRW-Verkenner module Ecologie Rijkswateren

Opzet, uitwerking en toepassing



KRW-Verkenner module Ecologie Rijkswateren

Opzet, uitwerking en toepassing

Auteur(s)

Rick Wortelboer

Tom Buijse

Gerben van Geest

Valesca Harezlak

Joost van den Roovaart

KRW-Verkenner module Ecologie Rijkswateren

Opzet, uitwerking en toepassing




Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Rick Wortelboer
Trefwoorden	Kaderrichtlijn Water, KRW, Ecologische effecten, Rijkswateren, Ecologische Sleutelfactoren, Milieufactoren, Dosis-responsmodellen

Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	16-04-2020
Projectnummer	11205266-003
Document ID	11205266-003-ZWS-0001
Pagina's	70
Status	definitief

Auteurs(s)

	Rick Wortelboer	
	Tom Buijse	
	Gerben van Geest	
	Valesca Harezlak	
	Joost van den Roovaart	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.1	Valesca Harezlak 	Mijke van Oorschot 	Gerard Blom 	

Samenvatting

De KRW-Verkenner bevat een module voor de berekening van de ecologie voor de regionale wateren. Daarnaast is sinds een aantal jaar ook een module Ecologie Rijkswateren in ontwikkeling. De module Ecologie Rijkswateren heeft als doel om voor de Rijkswateren de ecologische effecten van maatregelen ter verbetering van de ecologische kwaliteit voor de Kader Richtlijn Water (KRW) te berekenen. Er zijn verschillende methoden verkend hoe dit het beste gedaan kan worden. De huidige versie is gebaseerd op het concept van de Ecologische Sleutelfactoren (ESF's) en bijbehorende milieufactoren.

Op basis van de waarden van milieufactoren wordt door de module Ecologie Rijkswateren berekend welke soorten macrofyten, macrofauna en vissen op een bepaalde locatie kunnen voorkomen. Hierbij wordt per milieufactor bepaald of de waarde binnen de tolerantiegrenzen van een soort liggen. Is dit voor alle milieufactoren het geval, dan kan een soort daar potentieel voorkomen.

De module Ecologie Rijkswateren rekent op het niveau van ecotopen. Hiervoor zijn de waterlichamen opgesplitst in deelgebieden, vervolgens in ecologische eenheden en als laatste in ecotopen. De verschillen in de milieufactoren (vastgesteld op de schaal van waterlichaam, deelgebied, ecologische eenheid of ecotoop), bepalen de verschillen in de resultaten. De waarden van de milieufactoren zijn afkomstig van meetdata, modellen en expertkennis.

Met de module Ecologie Rijkswateren is per ecotoop het voorkomen van soorten berekend en op basis hiervan een EKR-score. De resultaten laten geringe veranderingen in de EKR per waterlichaam zien als gevolg van KRW-maatregelen. Op lokaal niveau laten maatregelen wel een potentieel effect zien, maar dit komt niet altijd tot uiting in de EKR-score.

De resultaten van de module Ecologie Rijkswateren zijn slechts beperkt gevalideerd. Dit is een aandachtspunt. Het analyseren van de uitkomsten van het model hebben geleid tot een aantal aanbevelingen voor verdere verbetering van het model, toepassing van het model, afstemming tussen modelresultaten en meetdata, het verzamelen van meetdata, en het duiden van effecten van maatregelen op basis van EKR-scores en andere indicatoren.

Over Deltares

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme innovaties, oplossingen en toepassingen voor mens, milieu en maatschappij. We richten ons voornamelijk op delta's, kustregio's en riviergebieden. Omdat het beheer van deze dichtbevolkte en kwetsbare gebieden complex is, werken we nauw samen met overheden, ondernemingen, kennisinstellingen en universiteiten in binnen- en buitenland. Ons motto is 'Enabling Delta Life'.

Als toegepast kennisinstituut zijn we succesvol wanneer onze kennis wordt verzilverd in en voor de samenleving. We stellen hoge eisen aan de kwaliteit van onze kennis en adviezen, rekening houdend met nieuwe wetenschappelijke inzichten, maar ook met de gevolgen die onze adviezen hebben voor milieu en samenleving.

Al onze opdrachten en projecten leveren een bijdrage aan het verstevigen van de kennisbasis. We kijken vanuit een lange termijn perspectief, naar bijdragen voor de oplossingen voor nu. Wij hechten zeer aan openheid en transparantie. Die houding is onder meer terug te zien in het vrij toegankelijk maken van de door Deltares ontwikkelde software en modellen. Open source werkt, is onze vaste overtuiging. Deltares heeft ruim 800 medewerkers en is gevestigd in Delft en Utrecht.

www.deltares.nl

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Doel van dit rapport	9
2	Beschrijving instrument	10
2.1	Ecologische sleutelfactoren, milieufactoren en de module Ecologie Rijkswateren	10
2.2	Ruimtelijke schalen	12
3	Kwaliteitselementen	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Macrofyten	16
3.2.1	Aan- of afwezigheid	16
3.2.2	Bedekking	19
3.2.3	Voorbeeld van berekening interacterende milieufactoren: <i>Chara vulgaris</i> (Gewoon kransblad)	20
3.3	Macrofauna	21
3.3.1	Aan- en afwezigheid	21
3.3.2	Abundantie	22
3.3.3	Aan- of afwezigheid	23
3.3.4	Abundantie	24
4	Milieufactoren	25
4.1	Toekennen van milieufactoren	25
4.2	Dynamiek	26
4.2.1	Milieufactor Golfwerking door Scheepvaart	27
4.2.2	Milieufactor Golven door wind	28
4.2.3	Milieufactor Getijdenwerking	29
4.2.4	Milieufactoren Stroomsnelheid, Diepte en Droogval	29
4.3	Nutriënten en chloridegehalte	30
4.4	Milieufactor Kwel	30
4.5	Milieufactor Licht op de bodem	31
4.6	Milieufactor waterplanten	31
4.7	Milieufactor Toxiciteit	31
4.8	Koppeling van dosis-effect modellen aan data van milieufactoren	32
4.8.1	Macrofyten	32
4.8.2	Macrofauna	33
4.8.3	Vissen	35
5	Berekening van de effecten van maatregelen	37
6	Berekening EKR-scores	40
6.1	Selectie van ecotopen	40
6.2	Meerdere KRW-watertypen per waterlichaam: gebruik van meerdere maatlatten	40
6.3	Berekening EKR-scores	41
6.4	Aggregatie van resultaten	41
7	Implementatie in scripts	43

7.1	Inleiding	43
7.2	Macrofyten	44
7.3	Macrofauna	45
7.4	Vissen	46
8	Resultaten	47
8.1	Voorkomen van soorten en vergelijking met monitoringsdata	47
8.2	Begroeibaar areaal	49
8.3	Vergelijking berekende EKR-scores met monitoringsresultaten	50
8.4	Effect van maatregelen op de EKR-scores van waterlichamen	54
8.4.1	Waterplanten	54
8.4.2	Macrofauna	54
8.4.3	Vissen	55
9	Discussie en aanbevelingen	56
9.1	Stand van zaken	56
9.2	Validatie	56
9.3	Vergelijking berekende met gemeten EKR's	58
9.4	Toepasbaarheid van de module Ecologie Rijkswateren	58
9.5	Verdere ontwikkeling berekeningen kwaliteitselementen	59
9.5.1	Aanvulling soortenset macrofauna	59
9.5.2	Biomassa vissen en EKR-berekening voor vissen	59
9.5.3	Overige kwaliteitselementen	59
9.6	Ruimtelijke samenhang	60
9.7	Effecten van KRW-maatregelen op de EKR-score van waterlichamen	60
9.7.1	Relatief geringe omvang van maatregelen en effecten moeilijk te vangen in standaard monitoring	60
9.7.2	Verschillende maatlatten	61
9.7.3	Monitoring van waterplanten vangt het signaal van ruimtelijke maatregelen niet op	61
9.7.4	Verbetering van de connectiviteit zichtbaar maken	62
9.7.5	Maatregelen op het gebied van waterkwaliteit	62
9.7.6	Kennisregels waterplanten	63
9.7.7	Maatregelen hebben wel effect op soorten Macrofauna maar niet op de EKR-score	63
9.7.8	Effecten van maatregelen worden versterkt of omgedraaid door milieufactoren	64
9.8	Verbeterpunten van technische aard	65
10	Aanbevelingen	66
11	Literatuur	67
	Bijlage A. Typering van maatregelen	68

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Om de effecten van maatregelen in waterlichamen te kunnen evalueren in het licht van de KRW is het KRW-Verkenner model ontwikkeld. Met dit model kunnen de effecten van maatregelen op de ecologische toestand van waterlichamen worden doorgerekend. In 2012 is de landelijke toepassing van de KRW-Verkenner beschikbaar gekomen (Van den Roovaart et al, 2012). In deze landelijke toepassing werd gefocust op de effecten van beleidsscenario's op de nutriëntenkwaliteit van de Rijkswateren, gebaseerd op lokale emissies van nutriënten en de landelijke verspreiding van water met nutriënten middels een stromingsmodule.

Voor de regionale waterlichamen bevat de KRW-Verkenner een module waarmee de effecten van maatregelen op de ecologische toestand van het waterlichaam kunnen worden doorgerekend. Deze module is gebaseerd op een *statistische* relatie tussen omgevingskenmerken (stuurvariabelen) binnen een waterlichaam en de Ecologische Kwaliteits Ratio (EKR-scores) van dat waterlichaam voor de KRW-kwaliteits-elementen fytoplankton, overige waterplanten, macrofauna en vis (van der Linden et al, 2020 in prep.). Voor de Rijkswateren was een aanpak als die voor de regionale wateren minder geschikt, vanwege het geringe aantal waterlichamen, een beperktere beschikbaarheid van monitoringsdata en de grotere heterogeniteit (ruimtelijke verschillen) in de Rijkswateren.

Voor de Rijkswateren is daarom een module Ecologie Rijkswateren ontwikkeld die uitging van ecotopen (een relatief homogene, ruimtelijke gebiedseenheid met eigenschappen voor het meten en vastleggen van de gebiedsstructuur, functie en verandering; Rademakers en Wolfert (1994)). Een ecotoop vormt de leefomgeving van organismen, is in ecologisch opzicht homogeen en vormt de kleinste ruimtelijke eenheid binnen een landschap. Voor het opdelen van de Rijkswateren in ecotopen is de ecotopenkartering van Rijkswaterstaat gebruikt (WaterInfo, 2020). In de eerste versie van de module Ecologie Rijkswateren werd voor elk ecotoop binnen een KRW-waterlichaam met behulp van monitoringsdata de kwaliteit van het ecotoop geschat in de vorm van een lijst van aanwezige soorten. Vervolgens werd, met behulp van QBWat (Pot, 2018), de Ecologische Kwaliteits Ratio (EKR) per ecotoop berekend. De EKR voor het gehele KRW-waterlichaam was de resultante van het areaalgewogen middelen van de EKR's per ecotoop. Om maatregelen door te rekenen, werden de ruimtelijke maatregelen vertaald in veranderingen van arealen van ecotopen en werd vervolgens een nieuwe areaal-gewogen gemiddelde EKR voor het waterlichaam berekend (Van Oorschot et al., 2012; Wortelboer, 2014).

In 2015 zijn de maatregelen voor het tweede Beleidsprogramma Rijkswateren (BPRW-2) geëvalueerd met de KRW-Verkenner. Nieuwe KRW-maatlatten zijn toegepast, de methoden van het aggregeren van resultaten zijn vergeleken en vismigratie-maatregelen zijn nader bekeken (Wortelboer et al, 2015). Bij het doorrekenen van de maatregelen van het BPRW-2 bleek dat de ecotopen benadering een aantal beperkingen had. Het belangrijkste punt was het ontbreken van monitoringsdata om de kwaliteit van nieuwe ecotopen (na het nemen van de maatregelen) vast te stellen. Omdat monitoringsdata als invoer werd gebruikt, was het lastig om de resultaten met onafhankelijke monitoringsdata te kunnen vergelijken. Een andere beperking was de beperkte resolutie van de ecotopenkaarten in het water van de rivieren, waardoor ondiepe zones ondervertegenwoordigd waren in de kaarten en daardoor in bepaalde delen van de rivieren geen waterplanten berekend konden worden. Verder bleek dat berekende EKR's en de toestandbeoordeling voor de KRW op elkaar moesten worden afgestemd en dat hiervoor vooraf opgestelde soortenlijsten moesten worden aangepast.

De genoemde beperkingen hebben onder andere geleid tot het uitvoeren van een pilot naar het berekenen van het begroeibaar areaal voor de ondiepe zones in de rivieren met behulp van de Baseline-schematisaties van WAQUA-stromingsmodellen. Dit heeft geleid tot het verhelpen van de beperkingen van de ecotopenkaarten voor de rivieren (Wortelboer, 2015). Verder hebben de genoemde beperkingen geleid tot de verkenning van de Ecologische Sleutelfactoren (ESF's, zoals die voor de regionale wateren werden ontwikkeld) als geschikt concept voor het berekenen van de ecologische toestand van de Rijkswateren.

Daarbij werd ook beschreven hoe bestaande rekentools zouden kunnen worden gebruikt om de bij de ESF's behorende milieufactoren te schatten. (Wortelboer et al, 2016).

In 2017 is een pilot uitgevoerd voor het toepassen van het concept van de ESF's en de bijbehorende milieufactoren voor het berekenen van de aan- en afwezigheid van soorten en EKR-scores voor waterplanten, macrofauna en vissen in de IJssel en het Markermeer (Wortelboer et al, 2017). Na deze succesvolle pilot is in 2018 de methodiek verbeterd met betrekking tot de kennisregels, het toepassen voor alle zoete Rijkswateren (inclusief het schatten van de benodigde milieufactoren in deze wateren en de inzet van modelresultaten hiervoor). Dit is beschreven in Wortelboer et al (2018). In 2019 is de methode toepasbaar gemaakt voor het doorrekenen van de effecten van KRW-maatregelen van het BPRW op de ecologische toestand voor de KRW, zijn de maatregelen voor de zoete Rijkswateren omgewerkt naar modelinvoer en zijn de berekeningen voor de zichtjaren 2009, 2015 2021 en 2027 uitgevoerd.

1.2 Doel van dit rapport

Het doel van dit rapport is een overzicht te geven van de nieuwe methodiek en de inzichten die deze methodiek oplevert. Hiervoor is het rapport opgedeeld in een aantal hoofdstukken:

- Als eerste wordt een beschrijving gegeven van het instrument: wat is de rationale en op wat voor ruimtelijke schalen kan het worden toegepast (Hoofdstuk 2);
- In Hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe de soortsmengelingen en abundantie van de KRW-kwaliteitselementen worden berekend aan de hand van de preferenties van soorten;
- Hoofdstuk 4 vervolgt met welke milieufactoren zijn meegenomen en hoe de getallen voor de milieufactoren zijn verkregen;
- Hoe KRW - maatregelen worden vertaald naar modelinvoer is beschreven in Hoofdstuk 5;
- Hoofdstuk 6 beschrijft hoe uiteindelijk de EKR berekend wordt;
- Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de modelstructuur;
- Hoofdstuk 8 geeft de resultaten weer; en in
- Hoofdstuk 9 worden de uitkomsten van de huidige methodiek besproken samen met mogelijke toekomstige verbeterpunten, ontwikkelingen en toepasbaarheid.

Wie vooral geïnteresseerd is om een snelle indruk van de module te krijgen qua rationale en toepasbaarheid, wordt aangeraden Hoofdstuk 2 (globale opzet instrument), 8 (resultaten) en 9 (discussie en aanbevelingen) te lezen.

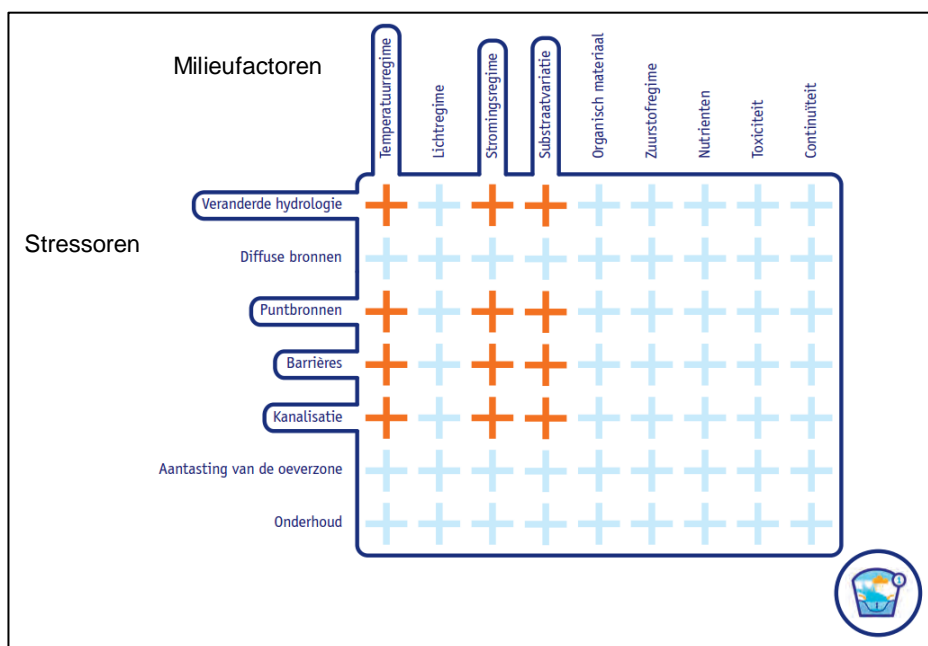
2 Beschrijving instrument

In dit hoofdstuk wordt eerst het theoretisch raamwerk geschetst en hoe dit vertaald is naar het model (§2.1). Vervolgens worden de ruimtelijke schalen in het model uitgelegd (§ 2.2).

2.1 Ecologische sleutelfactoren, milieufactoren en de module Ecologie Rijkswateren

De ESF's zijn ontwikkeld door de STOWA om meer inzicht te krijgen in de relaties tussen sturende (abiotische) factoren en de ecologische toestand van wateren (STOWA, 2015). De ESF's zijn een goede tool gebleken voor waterbeheerders om het hoe en waarom van de toestand van een watersysteem helder te krijgen. Deze kennis helpt waterbeheerders bij het afleiden van reële doelen en bij het bepalen van effectieve maatregelen ter verbetering van de ecologische toestand.

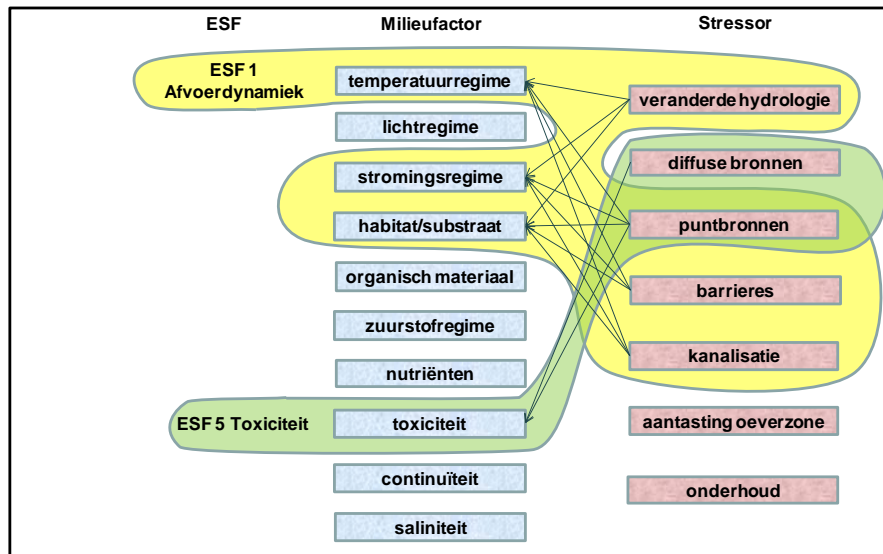
De ESF's zijn gebaseerd op de algemene systematiek van de oorzaak-gevolg keten "DPSIR" (Driver-Pressure-State-Impact-Response). De ESF's worden geschetst als aangrijpingspunten tussen stressoren (drukfactoren) aan de ene kant en milieufactoren (State – Toestand) aan de andere kant. De ESF Afvoerdynamiek van stromende wateren beschrijft de effecten van de stressoren (drukfactoren) veranderde hydrologie, puntbronnen, barrières en kanalisatie op de milieufactoren temperatuurregime, stromingsregime en substraatvariatie (Figuur 2.1). Elke ESF heeft een set van stressoren die aangrijpen op een set van milieufactoren.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de aangrijpingspunten van de Ecologische Sleutelfactor Afvoerdynamiek voor stromende wateren. De rode kruizen geven voor deze ESF specifiek aan welke milieufactoren veranderen als gevolg van veranderingen in de stressoren. Bron: STOWA, 2015.

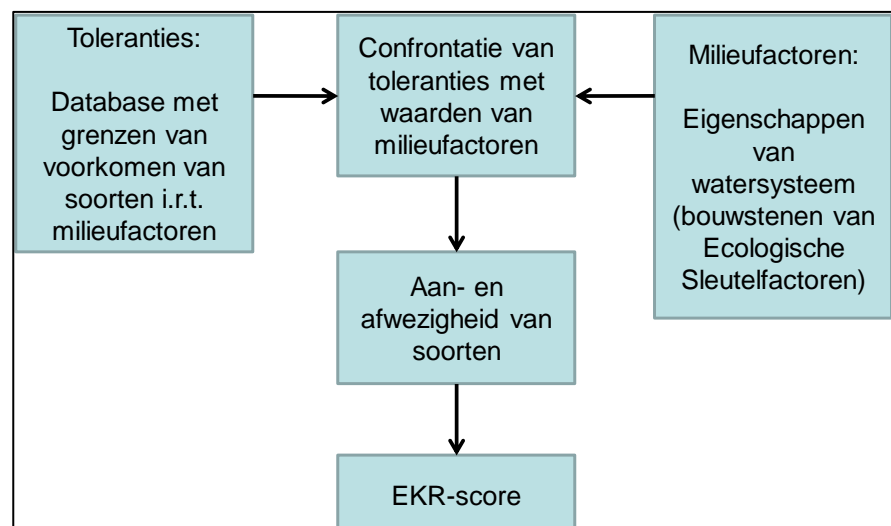
De ESF's zijn afgeleid voor stilstaande en stromende wateren, en er bestaan dus twee aparte uitwerkingen van de ESF. Voor de module Ecologie Rijkswateren is voor de Rijkswateren een combinatie gemaakt van de milieufactoren uit beide ESF-uitwerkingen. Daarnaast is saliniteit als milieufactor toegevoegd. Figuur 2.2 toont een voorbeeld hoe dit er voor ESF "Afvoerdynamiek" en ESF "Toxiciteit" uit ziet.

Voor elke milieufactor is gekeken welke specifieke indicatoren (meetgrootheden) gebruikt kunnen worden om de ESF te kwantificeren. Als voorbeeld: voor de milieufactor stromingsregime zijn de indicatoren stroomsnelheid en droogval gekozen. Deze indicatoren kunnen worden gemeten of door modellen worden ingeschat. Zie ook Wortelboer et al (2016).



Figuur 2.2 Schematische weergave van de connecties tussen stressoren en milieufactoren voor verschillende ESF's. Geel: ESF Afvoerdynamiek; Groen: ESF Toxiciteit.

De uitgebreide monitoring in Nederland heeft geleid tot omvangrijke datasets waaruit de relatie tussen milieufactoren en het voorkomen van soorten afgeleid kan worden, de zogenaamde dosis-respons modellen. Deze modellen zijn de schakel om vanuit een milieufactor de biotische kenmerken van een watersysteem te kunnen voorspellen. De dosis-respons modellen zijn afgeleid voor elk KRW kwaliteitselement (macrofyten, macrofauna en vissen). De afleiding van de modellen is gebaseerd op de toleranties van soorten per milieufactor: een soort kan per milieufactor voorkomen binnen bepaalde tolerantiegrenzen. Als op een bepaalde locatie de waarden van alle milieufactoren binnen de tolerantiegrenzen van een soort vallen, dan kan de soort op die locatie voorkomen. Op basis van de soorten die op een locatie kunnen voorkomen, wordt een soortenlijst opgesteld waarmee onder andere de EKR-scores voor de KRW maatlaten worden berekend (Zie Figuur 2.3). De data waarop de tolerantie van soorten is berekend, wordt beschreven in Hoofdstuk 3. De milieufactoren waarmee de toleranties worden vergeleken, worden beschreven in Hoofdstuk 4.



Figuur 2.3 Conceptuele opzet van de module Ecologie Rijkswateren.

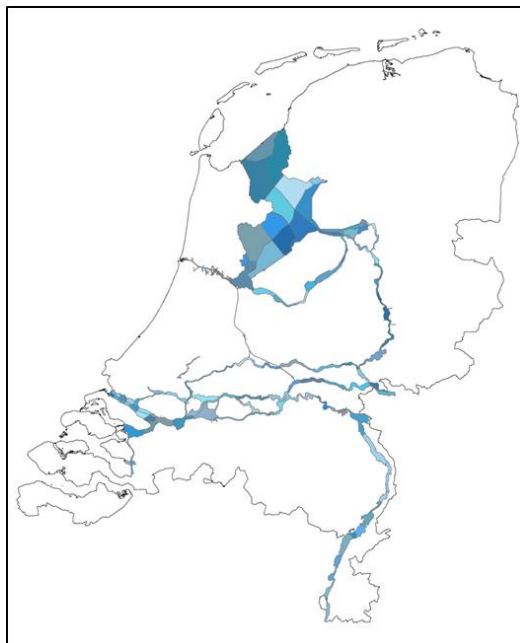
2.2 Ruimtelijke schalen

De KRW hanteert als ruimtelijke schaal de waterlichamen. Deze waterlichamen kunnen erg groot zijn, zoals het IJsselmeer of het waterlichaam Friese boezem, dat het gehele gebied van de Friese meren en tussengelegen kanalen beslaat. Voor het voorkomen van bijvoorbeeld waterplanten- en macrofaunasoorten zegt deze schaal weinig omdat de milieufactoren en dus de ecologisch relevante eigenschappen binnen een waterlichaam sterk kunnen verschillen. Omdat in de module Ecologie Rijkswateren de ruimtelijke schaal waarop de berekeningen wordt uitgevoerd, de ruimtelijke schaal (resolutie) van de resultaten bepaalt, zijn de waterlichamen van de Rijkswateren binnen de module Ecologie Rijkswateren opgeknipt. Dit is gedaan op 3 niveaus: (van groot naar klein) deelgebieden, ecologisch eenheden en ecotopen. Een bijkomend voordeel hiervan is dat modelresultaten beter met monitoringsdata op specifieke locaties vergeleken kunnen worden.

Het opdelen van waterlichamen in deelgebieden is als volgt gebeurd:

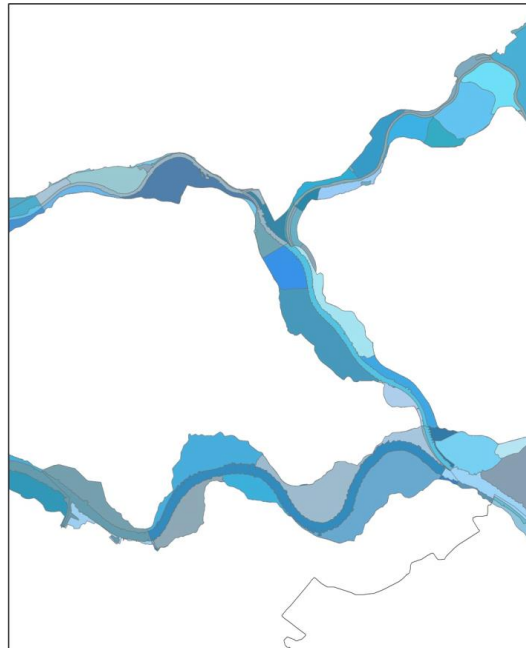
- 1 Het IJsselmeergebied is opgedeeld aan de hand van de deelgebieden die Rijkswaterstaat gebruikt voor waterplanten-monitoring in de oeverzones van dit gebied;
- 2 In de grote meren is de indeling dekkend gemaakt voor het hele watersysteem door een extra openwater-zone te definiëren buiten de oeverzones waarin de monitoring van de vegetatie plaatsvindt. Ook langs de dijken (Afsluitdijk, Oostvaardersdijk en Houtribdijk; hier vindt geen monitoring van de vegetatie plaats) zijn extra deelgebieden gemaakt;
- 3 Waterlichamen zijn opgedeeld aan de hand van rivierdynamiek, IJsselmeerdynamiek of getijdendynamiek. Hierbij zijn gemeten waterpeilen als uitgangspunt genomen;
- 4 Gestuwde waterlichamen zijn begrensd door de aanwezigheid van stuwen en zijn opgedeeld in stuwpanden;
- 5 De aanwezigheid van natuurlijke grenzen tussen meren;
- 6 Verwachte zonerings van zoutgehaltes in Haringvliet-West;
- 7 Rivieren zijn opgedeeld in stukken van 10–15 km lengte om mogelijke gradiënten in waterkwaliteit en habitatkenmerken te behouden.

Op basis hiervan zijn 114 deelgebieden afgeleid (Figuur 2.4). Het aantal deelgebieden per waterlichaam varieert van 1 voor de Bovenmaas tot 9 voor Haringvliet-Oost – Hollandsch Diep en Oude Maas (bovenstrooms Hartelkanaal), Spui, Noord en Lek.



Figuur 2.4 Kaart van de 114 deelgebieden van de waterlichamen zoals gebruikt in de module Ecologie Rijkswateren.

Vervolgens is een verdere verfijning binnen deelgebieden aangebracht om de gradiënten binnen de deelgebieden beter te representeren: de ecologische eenheden. De ecologische eenheden zijn gebaseerd op de uiterwaardenkaart van Rijkswaterstaat. Hierin lopen de uiterwaarden door tot het midden van de stroomgeul van het zomerbed. Omdat het op een gegeven moment onlogisch leek dat de linker- en rechterzijde van het zomerbed tot verschillende ecologische eenheden zouden behoren, is ervoor gekozen om het zomerbed als aparte ecologisch eenheid binnen een deelgebied op te nemen (zie Figuur 2.5).

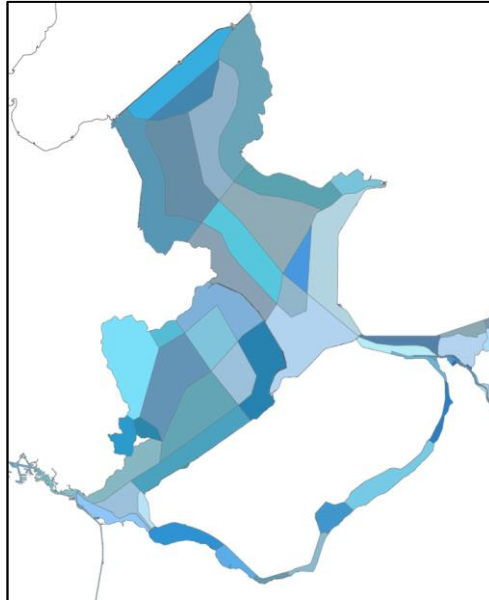


Figuur 2.5 Indeling van de rivieren in ecologische eenheden in het rivierengebied. Een ecologische eenheid wordt gevormd door een uiterwaard (verschillende kleur in de kaart). Het zomerbed is één ecologische eenheid binnen een deelgebied.

De volgende ecologische eenheden kunnen binnen deelgebieden worden onderscheiden:

- 1 Voor meren (Figuur 2.6):
 - a. de oeverzone (diepte tot 3 m, dus oever-, ondiepe en matig diepe ecotopen);
 - b. het open water (diepe en zeer diepe ecotopen);
- 2 Voor rivieren (Figuur 2.5, Figuur 2.5):
 - a. het zomerbed;
 - b. de uiterwaarden (de combinatie van nevengeulen, strangen, diepe en ondiepe plassen);
- 3 Voor getijdenwateren:
 - a. doorgaande watergangen en vaarwegen;
 - b. gebieden met kreken, platen en schorren/kwelders.

In totaal zijn 721 ecologische eenheden afgeleid (zie Figuur 2.6 voor de ecologische eenheden van het IJsselmeergebied). Het aantal ecologische eenheden per waterlichaam varieert van 1 voor het Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand tot 99 voor Bovenrijn-Waal.

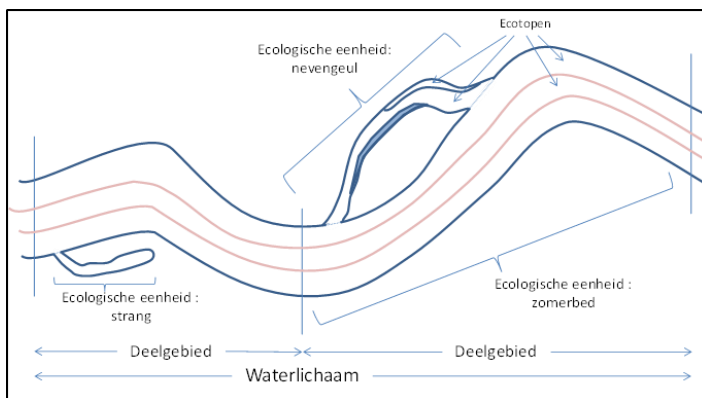


Figuur 2.6 Indeling in ecologische eenheden in het IJsselmeergebied (elk eenheid heeft een verschillende kleur). In het IJsselmeer en Markermeer zijn binnen de deelgebieden een oeverzone en een open waterzone onderscheiden.

Binnen de ecologische eenheden zijn de eenheden van de ecotopenkaarten onderscheiden (combinatie van kaarten uit 3^e en 4^e cyclus). Hiervan is een selectie gemaakt van ecootypen die voor de KRW relevant zijn (ecotopen met kenmerk Hydrologie gelijk aan 'water' of 'oever'). Een ecotoop is de rekeneenheid van de module Ecologie Rijkswateren. Er wordt dus gerekend voor een ecotoop binnen een ecologisch eenheid, binnen een deelgebied, binnen een waterlichaam (Figuur 2.7). In totaal zijn er 71.722 van deze rekeneenheden in de GIS-kaart voor het oppervlaktewater (zoete Rijkswateren + Haringvliet-West) en 52 rekeneenheden voor het diepe water (Haringvliet-West) gedefinieerd. Omdat het doorrekenen van meer dan 70.000 ruimtelijke eenheden teveel tijd kostte, zijn binnen een ecologische eenheid de GIS-polygonen met hetzelfde ecotoop-type samengevoegd; dit leverde 7189 unieke rekeneenheden op voor het oppervlaktewater (Tabel 2.1). Voor de situatie 2009-2012 en de 71.772 eenheden van de ecotopenkaarten is een polygonen GIS-kaart beschikbaar in Arc/Info format. De resulterende tabel is geëxporteerd als csv-bestand en als zodanig door de Python-scripts (zie hoofdstuk 7) gebruikt.

Voor wateren met het KRW-watertype O2 (Overgangswateren: Haringvliet-West, Nieuwe Maas, Nieuwe Waterweg en Noordzeekanaal) is in de KRW-Verkenner uiteindelijk niet gerekend omdat:

- monitoringsgegevens van deze wateren ontbraken;
- er onvoldoende kennis is over de gevoeligheid voor saliniteit van de verschillende soorten macrofauna;
- het KRW-watertype O2 niet met QBWAT doorgerekend kan worden.



Figuur 2.7 Indeling van de waterlichamen van rivieren in hiërarchische eenheden: deelgebied, ecologische eenheid en ecotopen. De ecologische eenheden in het rivierengebied zijn de uiterwaarden (met daarbinnen nevengeulen en strangen). In deze figuur zijn alleen de waterige eenheden aangegeven, niet de terrestrische delen van de uiterwaarden.

Tabel 2.1 Aantal ruimtelijke eenheden van het oppervlaktewater van de KRW-Verkenner per ruimtelijk schaalniveau.

Ruimtelijk schaalniveau	Aantal ruimtelijke eenheden
Waterlichaam	30
Deelgebied	121
Ecologische eenheid	588
Ecotoop	7189

3 Kwaliteitselementen

3.1 Inleiding

In de module Ecologie Rijkswateren wordt ervan uitgegaan dat het voorkomen van soorten afhankelijk is van de omgeving: de milieufactoren filteren de totale soortenpool op soorten die gegeven specifieke milieucondities kunnen voorkomen. Op basis van bestaande datasets zijn de voorkeuren van soorten afgeleid. Dit is gedaan voor de KRW-kwaliteitselementen macrofyten, macrofauna en vissen. Voor fytoplankton en fyto benthos is de hier beschreven methodiek waarschijnlijk minder geschikt omdat data beperkter aanwezig is. Deze kwaliteitselementen zijn nu niet doorgerekend en worden in deze rapportage niet besproken. Zie Hoofdstuk 9 (Discussie en aanbevelingen) hoe voor deze kwaliteitselementen wel gerekend zou kunnen worden.

Op basis van de meegenomen KRW-kwaliteitselementen zijn die milieufactoren geselecteerd die nodig zijn om een KRW-kwaliteitselement voldoende specifiek te karakteriseren. Daarnaast is voor het selecteren van de milieufactoren ook gekeken naar de databeschikbaarheid van de milieufactoren. Immers, hoe meer data geschat moet worden door ontbreken van meetdata, des te onzekerder de resultaten. Door de aard van de beschikbare gegevens over de autecologie van soorten kon voor macrofyten een uitgebreidere analyse van de preferenties uitgevoerd worden dan voor macrofauna en vissen.

In dit hoofdstuk wordt de keuze van milieufactoren vanuit de preferenties (habitateisen) van de soorten beschreven. In Hoofdstuk 4 worden de milieufactoren als karakterisering van de omgeving besproken en wordt toegelicht hoe de waarden voor milieufactoren verzameld zijn.

3.2 Macrofyten

3.2.1 Aan- of afwezigheid

De aan- of afwezigheid van soorten macrofyten bij bepaalde waarden van milieufactoren is gebaseerd op de opnames van het project Waterplanten & Waterkwaliteit met data uit de jaren '80 (Data Roelofs, 1986; zie beschrijving in Bloemendaal & Roelofs, 1988). Naar deze dataset wordt verwezen als de 1980-1985 dataset. Deze data zijn aangevuld met data van het project Waterplanten & Waterkwaliteit uit de jaren 2015-2018 (Data Roelofs & Van der Geest, Radboud Universiteit, ongepubliceerd). Naar deze dataset wordt verwezen als de 2015-2018 dataset. Vanuit deze dataset zijn van 565 soorten een of meer milieupreferenties bekend. Hieruit is een selectie van 318 water- en oeverplanten gemaakt. Dit is nagenoeg de complete set aan inheemse Nederlandse water- en oeverplanten die in de maatlatten zijn opgenomen (Tabel 3.1). Alleen voor R8 ontbreken 3 soorten waarvan geen voorkeuren bekend zijn. Rivierfonteinkruid (*Potamogeton nodosus*) en Sterkranswier (*Nitellopsis obtusa*) ontbraken en zijn met expertkennis opgenomen.

Welke soorten precies kunnen worden doorgerekend met de module Ecologie Rijkswateren, hangt af van aan de ene kant de beschikbaarheid van habitat-voorkeuren per soort (zoals hier beschreven) en aan de andere kant de keuze welke habitat-voorkeuren en milieufactoren gekoppeld worden (zie ook Figuur 2.3). Er wordt alleen gerekend voor de soorten die voor alle gevraagde milieufactoren preferentie-data hebben (zie verder paragraaf 4.8).

Per soort en per milieufactoor is de minimale en de maximale waarde waarbij een soort werd waargenomen gebruikt: de range van (potentieel) voorkomen van een soort. Buiten deze range wordt aangenomen dat de soort afwezig is. Er is geen interactie tussen soorten en geen interactie tussen milieufactoren verondersteld. Tabel 3.2 toont de lijst van gebruikte milieufactoren en hun eenheden voor de macrofyten.

Tabel 3.1 Aantal soorten opgenomen in de maatlatten en aantal soorten met preferentie-data voor een of meer milieuv variabelen per KRW-watertype.

KRW-watertype	Aantal soorten in maatlat	Aantal soorten in preferentie-data	Percentage van maatlatsoorten
M5	61	61	100%
M14	50	50	100%
M16	44	44	100%
M21	45	45	100%
R7	47	47	100%
R8	76	73	96%
R16	43	43	100%

De minimale en maximale waarden voor voorkomende ranges zijn aangepast wanneer uit de 2015-2018 dataset bleek dat een aantal soorten bij grotere ranges aan milieufactoren voor kunnen komen dan in de 1980-1985 dataset. Bijvoorbeeld: de preferentie van ammonium is aangepast nadat uit de eerste berekeningen (pilot IJssel en Markermeer; Wortelboer et al., 2016) was gebleken dat een aantal soorten niet voorspeld werden in de grote rivieren. Dit werd veroorzaakt doordat de gemeten ammoniumconcentraties in het water van bijvoorbeeld de IJssel volgens de preferentiedata te laag was voor een aantal soorten om daar voor te kunnen komen, terwijl deze soorten daar wel waargenomen werden. De verklaring is dat de dataset van Waterplanten & Waterkwaliteit uit de jaren 80 stamt, een periode met veel hogere ammoniumconcentraties, waardoor er nauwelijks meetpunten waren met lage concentraties. Voor veel planten was de range met lage ammoniumconcentraties simpelweg niet ingevuld. De waarnemingen uit de recente dataset van Waterplanten & Waterkwaliteit (2015-2018; Roelofs & Van der Geest, ongepubliceerd) gaf deze bredere ranges wel aan. De oorspronkelijke ranges van de soorten zijn uitgebreid met de 2015-2018 data.

De datasets van Waterplanten & Waterkwaliteit (beide perioden) bevat niet alle factoren die van belang zijn om de verspreiding van waterplanten in de Rijkswateren te beschrijven. Aanvullend op de dataset van Waterplanten & Waterkwaliteit zijn de gevoeligheden van waterplanten voor de milieufactoren Stroomsnelheid, Droogval, Kwel, Maximale diepte en Dynamiek geschat. De gevoeligheid van waterplanten voor stroomsnelheid is gebaseerd op Janauer et al (2000) en data van BioBase (CBS, 2003). De gevoeligheid voor droogval is geschat met behulp van een analyse van de Ellenberg-getallen voor vocht (analyse op data van SynBioSys (versie 2.6.9; Hennekens et al, 2010) en expertkennis (Wortelboer, ongepubliceerd; Tabel 3.3). De kwelindicatie en maximale waterdiepte is gebaseerd op data uit BioBase (CBS, 2003). Voor de gevoeligheid van soorten voor dynamiek zijn kenmerkende soorten in klassen toegedeeld op basis van expertkennis (Gerben van Geest, Deltares; Tabel 3.4). Op basis van verwantschap en overeenkomst in groeivorm hebben de overige soorten macrofyten eenzelfde categorie (van 1-4) gevoeligheid toegedeeld gekregen.

Tabel 3.2 Lijst van gebruikte variabelen voor de preferenties van soorten macrofyten met hun bronnen.

Milieufactor	Eenheid	Bron
Nitraat	µmol/l	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)
Alkaliniteit	meq.l-1	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)
pH	-	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)
Ammonium	µmol/l	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)
Fosfaat	µmol/l	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)
Chloriniteit	µmol/l	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)
Gemiddelde Diepte	m	CBS, 2003
Stroomsnelheid	m/s	Janauer et al (2000), CBS (2003)
Golven	4 klassen	Deltares, ongepubliceerd
Licht op de bodem	%	Deltares, ongepubliceerd
Droogval	4 klassen	Deltares, ongepubliceerd
Kwel	0/1	BioBase, 2003
Bodemtype zand	0/1	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)
Bodemtype klei	0/1	Waterplanten & Waterkwaliteit (1980-1985, 2015-2018)

Tabel 3.3 Indeling in gevoeligheid voor droogval in klassen met kenmerkende soorten macrofyten.

Categorie	Omschrijving	Soorten
1	Altijd water	Kroos, Blaasjeskruid, Doorgroeid fonteinkruid, Sterkranswier
2	Droogval kort	Puntkroos, Waterlobelia, Kleinste egelskop, Rivierfonteinkruid, Schedefonteinkruid, Kikkerbeet
3	Droogval matig lang	Gele plomp, Waterlelie, Watergentiaan, Duizendknoopfonteinkruid
4	Droogval langdurig	Watermunt, Waterkers, Oeverkruid, Watertorkruid, Riet, Grote egelskop, Lisdodde, Mattenbies, Gewoon kransblad, Breekbaar kransblad

Tabel 3.4 Indeling in gevoeligheid voor dynamiek in het water met kenmerkende soorten macrofyten.

Categorie	Omschrijving	Soorten
1	Zeer beperkte tolerantie voor mechanische dynamiek	Kroos, Gewoon blaasjeskruid
2	Tolereert weinig dynamiek	Puntkroos, Kransblad, Moerasscherm, Sterrenkroos, Hoornblad, Waterpest, Vederkruid, Fonteinkruid, Waterranonkel
3	Tolereert regelmatig terugkerende dynamiek	Mattenbies, Zwanenbloem, Holpijp, Oeverkruid, Watermunt, Gele plomp, Waterlelie, Watergentiaan, Riet, Lisdodde
4	Tolereert sterke dynamiek	Bronmos (mits op stortsteen), Rivierfonteinkruid, Doorgroeid fonteinkruid, Schedefonteinkruid, Kleine Egelskop

3.2.2 Bedekking

Voor een correcte berekening van de KRW-maatlatten speelt de bedekking van een soort een grote rol. Daarom is er, naast de aan- en afwezigheid van soorten (zie voorgaande paragraaf), ook een schatting voor de bedekking gemaakt. De bedekking van waterplanten in het veld is het resultaat van een combinatie van milieufactoren en ecologische processen zoals concurrentie tussen soorten, vraat en successie. In de module Ecologie Rijkswateren wordt alleen het effect van milieufactoren op de potentiële bedekking van een enkele soort meegenomen. Voor het berekenen van de bedekking zijn drie methoden mogelijk:

- Het berekenen van de gemiddelde bedekking over alle vindplaatsen in de dataset uit de periode 1980-1985;
- Het berekenen van de bedekking van een soort voor een bepaalde range aan waarden van een enkele milieufactor. Dit kan gedaan worden door gebruik te maken van de percentielklassen van soorten voor een milieufactor en de daarbij behorende waarden van de milieufactoren uit de 1980-1985 database;
- Het combineren van milieufactoren. Deze methode houdt rekening met het feit dat de bedekking van planten door meerdere milieufactoren tegelijkertijd beïnvloed wordt.

Methode 3 geeft naar alle waarschijnlijkheid de beste schatting van de bedekking van planten (als gevolg van een combinatie van milieufactoren) van de hier genoemde methoden en heeft daarom de voorkeur. Deze methode is toegepast op de dataset uit de jaren 1980-1985. Hierbij is alleen gekeken naar continue variabelen (concentraties e.d., waar percentielwaarden voor berekend kunnen worden) en niet naar klasse-variabelen (bodemtype e.d.). Voor het combineren van de effecten van meerdere milieufactoren zijn de volgende milieufactoren gebruikt: alkaliniteit, ammonium, nitraat, orthofosfaat, chloriniteit en pH. Dit zijn parameters die belangrijk zijn voor macrofyten en die uit metingen in de Rijkswateren bekend zijn.

Deze methode is toegepast voor alle soorten waarvoor voldoende waarnemingen beschikbaar waren in de dataset van 1980-1985. De methode is toegepast op alle combinaties van 2 milieufactoren uit de set milieufactoren alkaliniteit, ammonium, nitraat, orthofosfaat, chloriniteit en pH (dit zijn 6 variabelen en die samen 15 unieke combinaties van variabelen opleveren). De bedekkingen van de soorten per percentielklassen van combinaties van 2 milieufactoren zijn berekend in MS Access. Dit had als resultaat een grote opzoektabel (csv-bestand) die vanuit het Python-script 'Berekenen voorkomen macrofyten' wordt bevroegd (zie Hoofdstuk 7).

In het Python-script voor het berekenen van de aanwezigheid en de bedekking van de macrofyten is als voor één van deze combinaties van 2 milieufactoren een soort in de dataset van Waterplanten & Waterkwaliteit (periode 1980-1985) niet voorkwam, de soort geacht afwezig te zijn (bedekking = 0). In de andere gevallen is als resultaat voor de bedekking voor alle 15 combinaties de minimale bedekking aangehouden (zie verder Hoofdstuk 7).

Per soort is, op basis van databeschikbaarheid, gekeken of methode 3 toegepast kon worden. Indien dit niet het geval was, is gekozen voor methode 2 en anders methode 1. Indien een soort niet voorkwam in de dataset 1980-1985 dan is gekeken naar de dataset 2015-2018.

Wanneer een soort enkel voor kwam in de 2015-2018 dataset, dan kon alleen methode 2 of 1 worden toegepast omdat niet de juiste gegevens voor methode 3 beschikbaar waren. Een voorbeeld van de uitwerking van methode 3 is opgenomen in paragraaf 3.2.3.

Wanneer uit de 2015-2018 dataset bleek dat een soort bij een grotere range van een milieufactor voorkwam, dan is, naast de aanpassing van de ranges (zie voorgaande paragraaf), voor deze soort en milieufactor de bijbehorende bedekking uit de dataset van 2015-2018 overgenomen. Verder bleek dat bij kleine aantallen waarnemingen (<15) het kon voorkomen dat percentielklassen gelijke waarden van milieufactoren bevatten. In dit geval zijn deze percentielklassen samengevoegd. Per percentielklasse is een gemiddelde bedekking berekend (Tabel 3.5).

Tabel 3.5 Percentielklassen die gebruikt zijn voor het opdelen van de ranges van de continue variabelen uit de dataset van Waterplanten & Waterkwaliteit (periode 1980-1985) voor oppervlaktewater, met onder- en bovengrens

Percentielklasse	Ondergrens percentiel	Bovengrens percentiel
1	0	5
2	5	10
3	10	25
4	25	50
5	50	75
6	75	90
7	90	95
8	95	100

3.2.3 Voorbeeld van berekening interacterende milieufactoren: *Chara vulgaris* (Gewoon kransblad)

Hier wordt een voorbeeld uitgewerkt hoe de bedekking van alle soorten macrofyten berekend wordt op basis van de combinaties van milieufactoren (hierboven beschreven als methode 3). Het betreft een generieke methode die hier voor 1 soort en 2 milieufactoren wordt beschreven. Hieronder wordt het voorbeeld gegeven van *Chara vulgaris* (gewoon kransblad) en de combinatie van de milieufactoren alkaliniteit en ammoniumconcentratie. Een dergelijke bewerking is voor elke soort voor alle 15 combinaties van 2 milieufactoren uitgevoerd.

Daar waar *Chara vulgaris* in Nederland voorkomt, bedraagt de bedekking gemiddeld 19% (data Bloemendaal & Roelofs, 1988). De mate van bedekking wordt gestuurd door de waarden van milieufactoren: bij minder gunstige omstandigheden wordt een lagere bedekking verwacht. Twee van die sturende milieufactoren zijn alkaliniteit en ammonium. Zo komt *Chara vulgaris* voor in wateren met een alkaliniteit tussen 0.8-8.2 meq/l en ammoniumconcentraties tussen 0.01 en 7.9 mg/l (0.5-440 µmol/l) (Tabel 3.6). Een gemiddelde bedekking van 99% is aangetroffen bij ammonium-concentraties tussen 1.65-2.2 mg/l, maar bij een hogere alkaliniteit (≥ 2.2 meq/l) is de bedekking bij dezelfde ammonium-concentraties veel lager (2-3.5%). Het is daarom essentieel om de gecombineerde waarden van ammonium en alkaliniteit mee te nemen bij het maken van een schatting van de bedekking van in dit voorbeeld *Chara vulgaris*. Aanvullend blijkt uit Tabel 3.6 ook dat de soort in het geheel niet voorkomt bij een combinatie van lage alkaliniteit en hoge ammoniumconcentraties (Tabel 3.6, rechtsboven). Zouden de preferenties uitsluitend afzonderlijk bekeken zijn, dan zou de soort onder deze omstandigheden wel als aanwezig beschouwd worden.

Het bedekkingspercentage voor de combinatie van alkaliniteit en ammonium (en generiek alle combinaties van milieufactoren bij alle soorten) is verfijnd door het verwijderen van uitschieters en het smoothen van de resultaten. Waarnemingen van soorten zijn verwijderd als een soort slechts in één opname was aangetroffen en de soort niet was aangetroffen in de opnames die vielen in de aangrenzende percentielklassen.

De waarden zijn gesmoothed onder de aanname van een gemiddelde reactie van soorten planten in hun bedekking op veranderingen in hun omgeving. Smoothing heeft plaatsgevonden door het gemiddelde te nemen van de waarden van een cel en de direct omliggende cellen.

Tabel 3.6: Bedekking van *Chara vulgaris* per percentielklasse van gecombineerde milieufactoren alkaliniteit en ammonium in het oppervlaktewater. Data: Bloemendaal & Roelofs (1988). De tabel geeft aan dat er binnen de range van waarden van alkaliniteit en ammonium waarbij *Chara* is waargenomen, bepaalde combinaties van de waarden van deze milieufactoren zijn waarbij *Chara* nooit is waargenomen (bedekking = 0; vakje is rood gekleurd in de tabel).

Alkaliniteit (meq/l)	Ammonium (umol/l)							
	0.5-1.5	1.5-1.65	1.65-2.2	2.2-5.75	5.75-21	21-104.5	104.5-197.5	>440
0.8-1.3	0	40	2	40	2	2	0	0
1.3-1.6	0	26	26	60	26	0	0	0
1.6-2.2	0	2	99	7.5	7.5	2	0	0
2.2-3	2	18	2	2	26	2	5	2
3-4.1	0	2	2	30	2	2	2	46
4.1-5.5	5	3.5	2	5	22.5	3.5	5	2
5.5-6.075	0	3.5	3.5	5	2	3.5	2	0
>=6.075	0	0	0	2	2	2	2	0

3.3 Macrofauna

3.3.1 Aan- en afwezigheid

De aan- of afwezigheid van macrofauna-soorten is gebaseerd op de samengestelde preferenties die door de Werkgroep Ecologische Waterbeheer (WEW) zijn opgesteld (WEW, 2012). Deze dataset bevat voor meer dan 2000 macrofauna-soorten hun voorkomensranges in relatie tot een of meer verschillende milieufactoren (Tabel 3.7). Het aantal soorten (taxa) waarvoor een bepaalde voorkeur voor een milieufactor bekend is, verschilt sterk per milieufactor (Tabel 3.7). De milieufactoren zijn door de WEW opgedeeld in 2-5 klassen. Per soort zijn er in de WEW-dataset 10 punten toegedeeld aan één of meer klassen van een milieufactor die een indicatie zijn voor de specifieke voorkeur van een soort voor een bepaalde klasse. De getallen geven dus geen indicatie voor de abundantie. Voor de module Ecologie Rijkswateren zijn de milieufactoren 'Trofiegraad', 'Diepte en Oppervlakte' en 'Substraat' vertaald naar de milieufactoren 'Ammoniumconcentratie', 'Diepte', 'Oppervlakte' en naar afzonderlijke substraatklassen, te weten 'grind', 'hout', 'klei en leem', 'stenen', 'waterplanten' en 'zand' (Tabel 3.8). De voorkeuren uit de WEW-database zijn binnen de module Ecologie Rijkswateren gebruikt om de potentiële aanwezigheid van soorten te berekenen (geen punten: soort kan niet aanwezig zijn). Er is geen interactie tussen soorten en geen interactie tussen milieufactoren verondersteld.

Welke soorten precies kunnen worden doorgerekend, hangt af van aan de ene kant de beschikbaarheid van habitat-voorkeuren per soort (zoals hier beschreven) en aan de andere kant de keuze welke habitat-voorkeuren en milieufactoren gekoppeld worden (zie ook Figuur 2.3). Er wordt alleen gerekend voor de soorten die voor alle gevraagde milieufactoren preferentie-data hebben (zie verder paragraaf 4.8).

Tabel 3.7 Milieufactoren, belangrijkste werking, aantal taxa waarvoor de preferentie voor de milieufactor bekend is en indicatie voor de betrouwbaarheid in de WEW-database van preferenties van soorten macrofauna. Bron: WEW, 2012.

Factor	Belangrijkste werking	Aantal gecodeerde	
		taxa	Betrouwbaarheid
Zuurgraad	direct (fysiologische zuurtolerantie)	1041	groot
Droogval	direct (bestendigheid tegen uitdroging)	2423	groot
Zoutgehalte	direct (fysiologische zouttolerantie)	1314	groot
Trofiegraad	indirect (via voedsel, vegetatie & zuurstofverloop)	924	klein
Stroomsnelheid	direct (wegspoelen) & indirect (beïnvloeden substraat)	1418	groot
Saprobie	indirect (via substraat, zuurstofverloop & voedsel)	1325	matig
Substraat	direct (habitatselectie, voedsel) & indirect (beschutting)	998	klein
Diepte & oppervlakte)	direct (habitatselectie) & indirect (via droogval, trofie, zuurgraad)	1037	klein

Tabel 3.8 Lijst van gebruikte variabelen voor de preferentie van soorten macrofauna zoals opgenomen in de WEW-database (WEW, 2012).

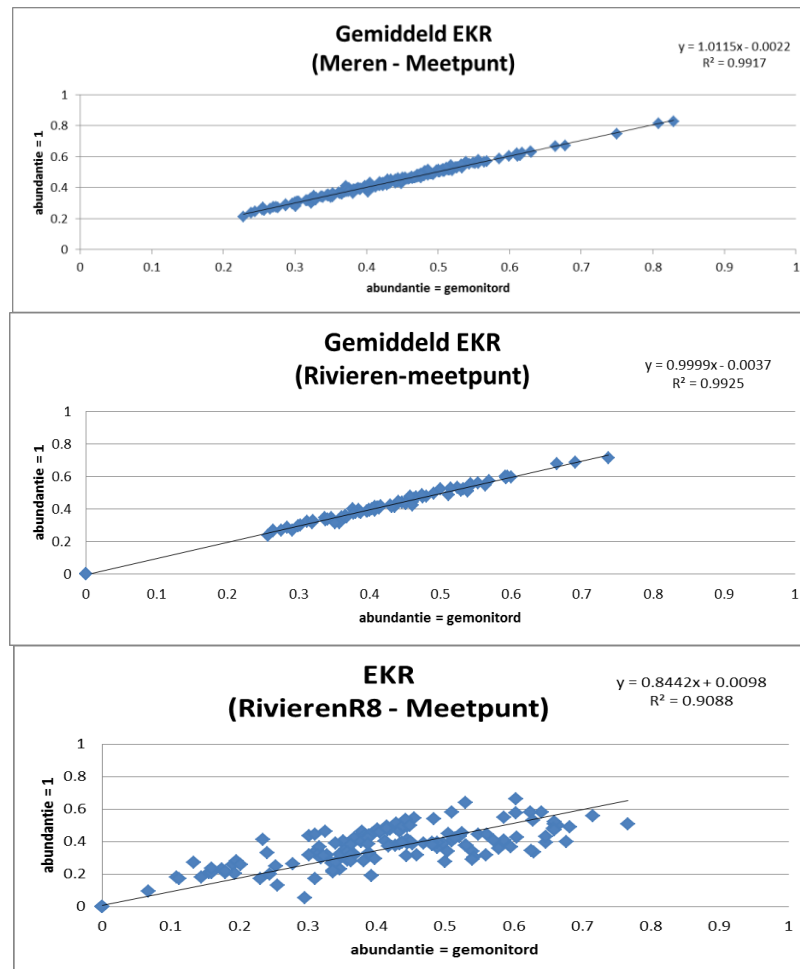
Milieufactor	Eenheid
Ammonium	µmol/l
Chloridegehalte	mg/l
Gemiddelde Diepte	m
Droogval	Categorie
Isolatie	0/1
Oppervlakte	Categorie
pH	-
Saprobie	Categorie
Stroomsnelheid	cm/s
Substraat grind	0/1
Substraat hout	0/1
Substraat klei en leem	0/1
Substraat stenen	0/1
Substraat waterplanten	0/1
Substraat zand	0/1

3.3.2

Abundantie

De database van de WEW (WEW, 2012) bevat geen informatie over abundantie, alleen aan- en afwezigheid (uitgedrukt in een score per klasse). Er is dus geen schatting van de abundantie van soorten per klasse van een milieufactor beschikbaar. Daarom is er, in tegenstelling tot macrofyten, voor macrofauna niet gewerkt met abundantie (aantallen individuen) van soorten.

Omdat de maatlat voor macrofauna wel uitgaat van de abundantie van soorten, is een analyse uitgevoerd met MWTL-data van de macrofauna om na te gaan wat de verschillen zijn tussen het wel of niet meenemen van abundantie voor het berekenen van EKR-scores. Wanneer EKR-scores werden berekend met abundantie of met enkel aan- en afwezigheid (abundantie is op 1 individu/m² gezet) bleek er weinig verschil te zijn tussen de EKR-scores. De correlatie (R²) tussen de EKR-scores op basis van abundantie en aan- en afwezigheid bedroeg voor meren en rivieren (R7 en R16) 0.99 en voor rivieren (R8) 0.91 (Figuur 3.1). Op basis van deze resultaten is geconcludeerd dat het een goede benadering is om voorlopig voor abundantie van soorten macrofauna 1 individu/m² aan te houden bij het berekenen van de EKR-scores voor de meetpunten.



Figuur 3.1 Overeenkomst tussen EKR-scores per meetpunt van oorspronkelijke MWTL-metingen (X-as) en EKR-scores per meetpunt met alle abundantie van taxa 1 individu/m² van Meren (boven), Rivieren (R7 en R16; midden) en zoete getijdenwateren (R8; onder).

Vissen

3.3.3

Aan- of afwezigheid

In de module Ecologie Rijkswateren wordt voor vissen onderscheid gemaakt tussen de levensfasen ei/larve, juveniel en adult. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat deze levensfasen andere eisen stellen aan hun habitat. In het model wordt de levensfase ei/larve gelijk gesteld aan paaimogelijkheid voor vissen. De preferenties van de levensfasen voor vissen zijn gebaseerd op een dataset van habitat-voorkeuren (Data Tom Buijse, ongepubliceerd). De dataset geeft voor 45 soorten vis per soort en per levensfase de geschikte range van een milieufactor aan. Net zoals voor macrofyten en macrofauna bepalen de ranges van milieufactoren de aan- en afwezigheid van soorten. Er is geen interactie tussen soorten en geen interactie tussen milieufactoren verondersteld. Tabel 3.9 geeft de lijst van gebruikte milieufactoren.

Welke soorten precies kunnen worden doorgerekend, hangt af van aan de ene kant de beschikbaarheid van habitat-voorkeuren per soort (zoals hier beschreven) en aan de andere kant de keuze welke habitat-voorkeuren en milieufactoren gekoppeld worden (zie ook Figuur 2.3). Er wordt alleen gerekend voor de soorten die voor alle gevraagde milieufactoren preferentie-data hebben (zie verder paragraaf 4.8).

Tabel 3.9 Lijst van gebruikte variabelen voor de preferentie van vissen zoals aanwezig in de dataset van habitat-voorkeuren van vissen (Deltares, ongepubliceerd).

Milieufactor	Eenheid
Chloridegehalte	mg/l
Gemiddelde Diepte	M
Droogval	Categorie
pH	-
Stroomsnelheid	m/s
Watertemperatuur	°C
Beschutting boomwortels	0/1
Beschutting vegetatie	0/1
Substraat grind	0/1
Substraat boomwortels	0/1
Substraat slib	0/1
Substraat stenen	0/1
Substraat waterplanten	0/1
Substraat zand	0/1
Beschutting open water	0/1
Beschutting boomwortels	0/1
Alleen voor ei/larve: watertemperatuur per maand in de paai-periode	°C

3.3.4 Abundantie

Voor de vissen zijn op basis van de gebruikte dataset geen abundantieschattingen beschikbaar in relatie tot milieufactoren. Omdat de KRW-maatlat voor vis uitgaat van verhoudingen van biomassa tussen soorten, was het berekenen van een EKR-score met de module Ecologie Rijkswateren op dit moment niet mogelijk. Om dit te verhelpen worden er suggesties gedaan in Hoofdstuk 9.

4 Milieufactoren

De module Ecologie Rijkswateren confronteert preferenties van soorten (beschreven in Hoofdstuk 3) met milieufactoren om zo de potentiële aanwezigheid van soorten te berekenen. Dit hoofdstuk beschrijft welke milieufactoren worden gebruikt, hoe de waarden van de milieufactoren op verschillende ruimtelijke schaalniveaus worden toegekend en hoe de default-waarden voor de milieufactoren zijn verkregen.

4.1 Toekennen van milieufactoren

De module Ecologie Rijkswateren werkt met ruimtelijke eenheden, van groot naar klein: waterlichaam, deelgebied, ecologische eenheid en ecotoop. Om voor elke ruimtelijke eenheid een vergelijking met de preferenties van soorten te kunnen maken (zie Figuur 2.3), moet voor elke ruimtelijke eenheid ook een complete set van waarden van de milieufactoren bekend zijn. Is de set waarden niet compleet, dan wordt voor die rekeneenheid geen berekening uitgevoerd. Door het gebruik van default-waarden van milieufactoren per waterlichaam is het mogelijk om bij ontbrekende data alsnog een berekening uit te voeren. De default-waarden worden aan alle rekeneenheden binnen een waterlichaam toegekend. Wanneer alleen default-waarden worden gebruikt, wordt voor alle rekeneenheden binnen een waterlichaam hetzelfde resultaat berekend (gelijke invoer betekent gelijke uitvoer). Voor het afleiden van de default-waarden van milieufactoren zijn zowel meet- als modeldata gebruikt. In de volgende paragrafen wordt per milieufactoor besproken waar de default-waarden vandaan komen.

De methode van de toewijzing van milieufactoren aan de ruimtelijke eenheden werkt zo dat default-waarden vervangen kunnen worden door andere waarden en dat deze waarden per deelgebied, ecologische eenheid of ecotoop opgegeven kunnen worden. Het kleinste schaalniveau waarop data beschikbaar is, overschrijft die van grotere schaalniveaus. Per waterlichaam kan een verschillende keuze gemaakt worden voor het schaalniveau van een milieufactoor. In Tabel 4.1 staat voor alle milieufactoren het laagste ruimtelijke schaalniveau waarop milieufactoren gespecificeerd zijn. Ter verduidelijking:

- Het chloridegehalte in het IJsselmeer is op het niveau van waterlichaam toegekend (kolom Meren, rij Chloridegehalte in Tabel 4.1). Alle deelgebieden, ecologische eenheden en ecotopen binnen het IJsselmeer hebben dan dus dezelfde waarde gekregen voor het chloridegehalte.
- De diepte is voor meren gespecificeerd per ecotoop met een defaultwaarde (alle matig diepe ecotopen hebben een diepte van 1-3 m met een gemiddelde diepte van 2 m). Voor rivieren (buiten het intergetijdengebied) is dit per specifiek vlakje van het ecotoop (binnen een bepaalde ecologische eenheid, binnen een bepaald deelgebied en binnen een bepaald waterlichaam) gedaan met behulp van WAQUA (zie paragraaf 4.2.4).

Tabel 4.1 Laagste ruimtelijke schaalniveau waarop de milieufactoren zijn gespecificeerd. Aanduiding Ecotoop (default): voor alle ecotoop-vlakken in alle waterlichamen gespecificeerd (1 waarde); Ecotoop (specifiek): voor elk ecotoop binnen een waterlichaam, deelgebied en ecologische eenheid apart gespecificeerd (verschillende waarden).

Milieufactor	Rivieren	Meren	Kanalen
Alkaliniteit	Waterlichaam	Waterlichaam	Waterlichaam
Ammonium	Waterlichaam	Waterlichaam	Waterlichaam; Noordzeekanaal: Deelgebied
Chloridegehalte	Waterlichaam; Intergetijdengebied: Deelgebied	Waterlichaam	Waterlichaam; Noordzeekanaal: Deelgebied
Diepte	Ecotoop (specifiek: WAQUA) Intergetijdengebied: Ecotoop (default)	Ecotoop (default)	Ecotoop (default)
Droogval	Ecotoop (specifiek: WAQUA) Intergetijdengebied: Ecotoop (default)	Ecotoop (default)	Ecotoop (default)
Golfslag_wind	Waterlichaam; Haringvliet: Ecotoop (specifiek)	Ecotoop (specifiek)	
Isolatie	Waterlichaam; Geïsoleerde plassen: Ecotoop	Waterlichaam	Waterlichaam
Kwel	Ecotoop (specifiek)	Waterlichaam	Waterlichaam
Licht op de bodem	Ecotoop per Waterlichaam	Ecotoop per Waterlichaam; Markermeer, Nieuwe waterweg: Ecotoop per deelgebied	Waterlichaam
Nitraat	Waterlichaam	Waterlichaam	Waterlichaam; Noordzeekanaal: Deelgebied
Oppervlakte	Ecotoop (default)	Ecotoop (default)	Ecotoop (default)
Orthofosfaat	Waterlichaam	Waterlichaam	Waterlichaam
pH	Waterlichaam	Waterlichaam	Waterlichaam; Noordzeekanaal: Deelgebied
Saprobie	Waterlichaam	Waterlichaam	Waterlichaam
Scheepvaart	Ecotoop per Deelgebied; Bovenmaas, Grensmaas (RvD), Brabantsche Biesbosch Amer: Ecotoop (specifiek)	Ecotoop per Deelgebied	Ecotoop per Deelgebied
Stroomsnelheid	Ecotoop (specifiek: WAQUA); Intergetijdengebied: Ecotoop (default)	Waterlichaam	Waterlichaam
Substraat (zand, klei)	Ecotoop (default)	Ecotoop (default)	Ecotoop (default)
Substraat_hout	Ecotoop (specifiek)	n.v.t.	n.v.t.
Substraat_waterplanten	Ecotoop (specifiek)	Ecotoop (specifiek)	Ecotoop (specifiek)
Watertemperatuur	Waterlichaam	Waterlichaam	Waterlichaam

4.2 Dynamiek

Dynamiek van wateren kan verschillende oorzaken en gevolgen hebben. Mechanische dynamiek kan schadelijk zijn voor waterplanten, omdat dit kan leiden tot het afbreken van bladeren en stengels en het creëren van een water-zand emulsie in de bodem waardoor plantenwortels houvast verliezen en bij stroming los getrokken kunnen worden.

Mechanische dynamiek kan veroorzaakt worden door scheepvaart, wind en getijden. Daarnaast is ook de stroming van belang: hoe groter de stroming, hoe meer kracht planten ondervinden. Naast mechanische dynamiek is ook peildynamiek van belang: hoe vaak en hoe lang valt een locatie droog? Voor elk van deze milieufactoren wordt in onderstaande sub-paragrafen beschreven waar de data vandaan komt, hoe deze is aangepast voor de module Ecologie Rijkswateren en wat mogelijke tekortkomingen zijn van de invoer.

4.2.1 Milieufactor Golfwerking door Scheepvaart

Het effect van scheepvaart op waterplanten is geschat op basis van scheepvaartintensiteit. Hiervoor is het RWS-model BIVAS (Binnenvaart Analyse Systeem; Charta Software, 2020) gebruikt. Dit model simuleert de scheepvaartbewegingen van de binnenvaart over een jaar. Het model neemt recreatievaart (plezierjachten en cruiseschepen) en zeescheepvaart rondom IJmuiden niet mee. Voor het creëren van invoerdata voor de milieufactor golfwerking door scheepvaart is het jaar 2014 gebruikt.

De data uit BIVAS is opgewerkt naar 4 categorieën (1-4, van beperkt tot intensief) per deeltraject van de vaarwegen. Deze categorieën beschrijven de scheepvaartintensiteit in de zomerperiode (de periode dat planten voorkomen). De categorieën zijn als volgt berekend:

- 1 De sommatie van de dwarsoppervlakten (verstuwd water) van de schepen voor de zomerperiode op weekbasis per waterlichaam.
- 2 Per deelgebied zijn de bevaarbare delen samengevoegd en is de breedte van dit bevaarbare deel geschat (oppervlakte samengesteld deel van het deelgebied gedeeld door de omtrek hiervan, voor rivieren is uitgegaan van omtrek en oppervlakte van het diepe zomerbed). Daarna is het volume van het samengesteld deel van het deelgebied berekend, door de berekende breedte te vermenigvuldigen met de gemiddelde diepte van dit samengestelde deel.
- 3 Het bevaarbare volume van een deelgebied van een waterlichaam is vervolgens gedeeld door de berekende dwarsoppervlakten om een schatting te krijgen hoeveel water door scheepvaart is verplaatst in een deelgebied. Het gaat hierbij dus niet om één schip maar het totaal van alle schepen.
- 4 Toekennen van categorieën:
 - Het volume aan water dat wordt verplaatst door alle schepen samen, is minder dan dat aanwezig in het bevaarbare deel van het deelgebied: categorie 1
 - Het verplaatste volume door alle schepen samen is 1-10x dat van het bevaarbare deel van het deelgebied: categorie 2
 - Het verplaatste volume door alle schepen samen is 10-50x dat van het bevaarbare deel van het deelgebied: categorie 3
 - Het verplaatste volume door alle schepen samen is meer dan 50x dat van het bevaarbare deel van het deelgebied: categorie 4.

Het Noordzeekanaal is bijgesteld naar categorie 4 (ontbreken van cruiseschepen en zeescheepvaart in BIVAS), de categorie voor de Grensmaas is op 0 gezet (geen scheepvaart), evenals alle delen buiten de vaargeul (Amer) van de Brabantse Biesbosch. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de scheepvaartintensiteit per waterlichaam.

Vervolgens is een vertaling gemaakt van het effect van scheepvaart op deeltraject van de vaarwegen naar deelgebieden en naar ecotopen binnen dat deelgebied. Omdat scheepvaart het meeste effect heeft in ondiepe ecotopen, zijn de categorieën van scheepvaart alleen aan de volgende ecotooptypen toegekend: de ondiepe ecotopen voor rivieren (RzO), voor meren (MzO) en getijdenwateren (GzO). Het idee hierachter is dat golfwerking door scheepvaart niet in alle ecotopen in gelijke mate effect zullen hebben. Voor de kanalen is aangenomen dat de golven over de gehele diepte effect op waterplanten kunnen hebben (toekenning aan de ecotopen KzO, KzM en KzD).

Tabel 4.2: Berekende maximale scheepvaart-intensiteit per waterlichaam

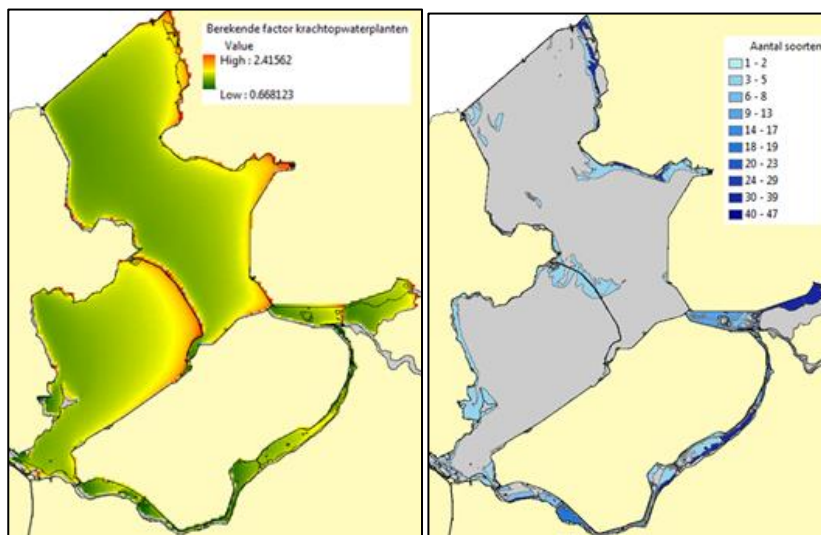
Categorie	Waterlichamen
1	Grensmaas, Brabantsche Biesbosch, Haringvliet-West, IJsselmeer, Markermeer, Veluwemeer, Wolderwijd, Gooimeer, Zwartemeer-Oost
2	Bedijkte Maas, Beneden Maas, Bergsche Maas, Bovenmaas, Nederrijn/Lek, Nieuwe Waterweg, Randmeren-Oost, Randmeren-Zuid, Zwarte Water, Zwartemeer
3	Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand, Dortsche Biesbosch – Nieuwe Merwede, Hollandsche IJssel, IJssel, Ketelmeer en Vossemeer, Markermeer, Nieuwe Maas, Volkerak, Zandmaas
4	Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand, Beneden Merwede, Brabantsche Biesbosch_Amer, Haringvliet-Oost - Hollandsch Diep, Noordzeekanaal, Oude Maas, Schelde-Rijnkanaal, Zoommeer_Eendracht,

4.2.2 Milieufactor Golven door wind

De effecten van door wind veroorzaakte golven is van belang voor alle meren van de Rijkswateren. De mate van golfwerking is bepaald met het model BretView/BretPro (De Waal, 2019). Bij de berekeningen is voor alle meren de standaard set van parameterwaarden van het Markermeer gebruikt. De gemiddelde waterdiepte van de meren is geschat op basis van gegevens op de website van Rijkswaterstaat. Als contouren van de meren zijn de randen van de betreffende waterlichamen aangehouden. Eilanden zijn in principe niet toegevoegd met uitzondering van Tiengemeten en Marken.

Op basis van het 99-percentiel van de golfhoogte en de mediaan van de golfperiode (berekend door BretView op basis van zomergemiddelde meteorologie) is een inschatting gemaakt van een extreme situatie in een meer gedurende het groeiseizoen april t/m september. Deze extreme situatie is bepalend voor de aan- of afwezigheid van een soort. Door per ecologische eenheid een gemiddelde van de berekende extreme situatie te nemen kan een inschatting worden gemaakt voor de kracht van de door wind veroorzaakte golven binnen dit gebied (Figuur 4.1). Door de grote verschillen in golfwerking binnen het IJsselmeer zorgt onder andere deze milieufactor voor onderscheid tussen de ecotopen binnen hetzelfde waterlichaam. Op basis van expertkennis is de continue variabele vertaald naar klassen 1 t/m 4. Deze benadering levert per ecotoop één vaste waarde voor de intensiteit van de golfwerking door scheepvaart gedurende het groeiseizoen.

Voor de Friese kust is de door BretView (op basis van overal gemiddelde diepte van het IJsselmeer) berekende golfintensiteit (klassen-waarde) verminderd met een factor 0.5 voor de ondiepe delen om zo de breking van golven op de rand van ondiepten in het water beter mee te nemen. Door deze aanpassing kan de module Ecologie Rijkswateren hier waterplanten berekenen, wat conform de veldsituatie is (Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Golfwerking door wind en effecten op waterplanten. Links: Berekende waarde voor de relatieve kracht van windgedreven golven in het IJsselmeergebied. Rechts: Aantal voorspelde soorten macrofyten per ecotoop in het IJsselmeergebied

4.2.3 Milieufactor Getijdenwerking

De dynamiek als gevolg van getijdewerking is voor de getijdenwateren een relevante factor, maar is nog niet in het model opgenomen.

4.2.4 Milieufactoren Stroomsnelheid, Diepte en Droogval

Voor rivieren (Maas en Rijn, KRW-watertypen R7 en R16) zijn de milieufactoren diepte, droogval en stroomsnelheid geschat op basis van het stromingsmodel WAQUA. WAQUA rekent in cellen van circa 45 x 15 m. Voor het schatten van de drie milieufactoren zijn de resultaten voor stroomsnelheid en waterdiepte van de standaardruns bij verschillende constante afvoerdebieten bij Lobith (500-18000 m³/s) en Eijsden (50-4600 m³/s) gebruikt. Dit betekent dat voor elke WAQUA-rekencel er bij een bepaalde afvoer één getal voor stroomsnelheid en waterdiepte beschikbaar is. Op basis van afvoerdata van de Rijn en Maas in de MWTL-dataset (2006 t/m 2015) zijn de waarden omgezet naar maandgemiddelde data. Dit is gedaan door de berekende stroomsnelheden en diepten van de standaard WAQUA-runs te interpoleren aan de hand van de maandgemiddelde MWTL afvoerdata.

De stroomsnelheid van een rekeneenheid is het minimum, gemiddelde en maximum van de stroomsnelheid van de WAQUA-rekencellen die binnen de rekeneenheid vallen. Met de berekende maandgegevens van de diepte is de minimale, gemiddelde en maximale diepte over deze periode van 10 jaar berekend. Dit is gebruikt om vast te stellen of een rekencel tot het begroeibaar areaal van macrofyten behoort (gemiddelde waterdiepte ≤ 3 m). Wanneer de waterstand in de WAQUA-resultaten minder dan 1 cm bedroeg, dan is ervan uitgegaan dat er in deze rekencel droogval optreedt. Het aantal maanden met droogval in de periode mei t/m augustus is gescoord en gedeeld door het totaal aantal maanden in deze periode over de jaren 2006 t/m 2015 om de gemiddelde droogvalduur (als fractie van de periode) in het zomerseizoen te berekenen. De fractie droogval is vertaald naar droogval-classes (Tabel 4.3).

Voor meren en kanalen is de default stroomsnelheid op waterlichaam-niveau gesteld op 0 m/s. Voor de getijdenwateren is de stroomsnelheid gesteld op 0, 0.25 en 0.50 m/s voor respectievelijk minimum, gemiddelde en maximum waarde. De diepte en de droogvalduur voor meren en getijdenwateren zijn afgeleid uit de definitie van de ecotopenkaarten.

Geschiktheid voor waterplanten

Gerben van Geest (Deltares) heeft rekenregels ontwikkeld voor onderwater- en drijfbladplanten voor RWS Oost-Nederland en de hoofdwateren van de Rijn, de Maas en de IJssel. De kennisregels zijn ontwikkeld om het ontwerp van maatregelen te kunnen optimaliseren met betrekking tot de potentie voor waterplantengroei. Zie voor de achtergronden: Van Geest et al (2011). Een nieuwe versie van deze rekenregels (Van Geest et al, in prep.) zijn in de module Ecologie Rijkswateren toegepast op alle stromende delen van de grote rivieren (watertypen R7, R8 en R16 en ecotopen Rz*, Rn* en Gz*). De rekenregel voor waterplanten (ondergedoken waterplanten en drijfbladplanten) in de Rijn, de Maas en de IJssel (en hier toegepast voor Rijn, de Maas en de IJssel) luidt voor elke plek:

- Bereken voor elk jaar:
 - Waterdiepte in mei tussen -0.5 m (0.5 m droogstaand) en 1.9 m;
 - Er staat 3 maanden aaneengesloten water gedurende de periode mei t/m augustus.
- Zijn van 8 van de 10 jaren de condities gunstig (voor waterdiepte in mei en aaneengesloten periode met water), dan is de plek geschikt om duurzaam waterplanten te herbergen.

Hiervan afgeleid is een rekenregel voor oeverplanten opgesteld:

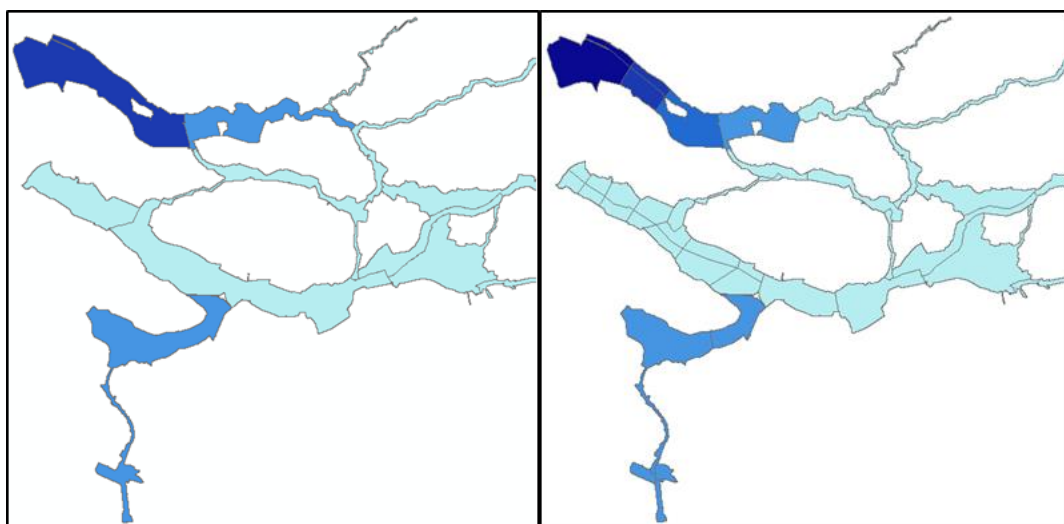
- Over een periode van 10 jaar:
 - Minimum waterdiepte ≥ -0.5 m
 - Maximum waterdiepte ≤ 1.0 m
 - Gemiddelde waterdiepte ≤ 0.6 m
 - Gemiddeld maximaal 2 van de 4 zomermaanden droogvallend.
- Wordt aan de bovenstaande voorwaarden voldaan dan kan de plek duurzaam oeverplanten herbergen.

Tabel 4.3 Relatie tussen droogvalduur gedurende de zomerperiode (mei t/m augustus) en milieufactor droogval (klasse).

Droogvalduur (fractie gedurende groeiseizoen mei t/m augustus)	Droogval-klasse
0 (in de zomer onderwater)	1
0.25	2
0.5	3
0.75	4
1.0 (in de zomer droogstaand)	4

4.3 Nutriënten en chloridegehalte

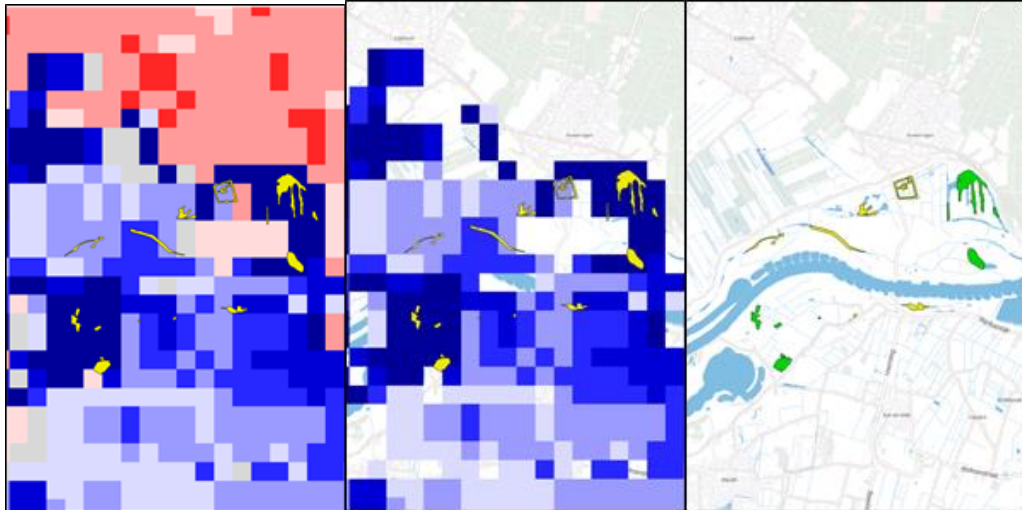
Op basis van MWTL-monitoring zijn 5- en 95-percentielen en medianen van de concentraties in waterlichamen en (indien verschillend) deelgebieden uit de periode 2010 t/m 2017 berekend. Deze waarden zijn vervolgens gebruikt als laagste waarde, hoogste waarde en gemiddelde waarde van de milieufactor voor het betreffende deelgebied.



Figuur 4.2 Toekenning van chloride-concentratie aan waterlichamen (links) en deelgebieden (rechts) op basis van MTWL-data uit de periode 2010-2017. De kleuren geven een indicatie van het chloridegehalte (donkerder is zouter). In het rechter plaatje is te zien dat toekenning van chloridegehalten per deelgebied zinvol is voor de Nieuwe waterweg.

4.4 Milieufactor Kwel

De aan- of afwezigheid van kwel is geschat op basis van het Nationaal watermodel (NWM, Deltares, 2020). Er is gebruik gemaakt van kweldata van het modelresultaat "LHM3.4 Gemiddelde kwel-inzijging 1998-2006 (mmd)" (in mm/d) uit het NHI-data portaal. Alle gridcellen met negatieve waarden (=inzijging) zijn hieruit verwijderd. Vervolgens is voor alle rivierbegeleidende wateren op ecotoopniveau de gemiddelde kwelintensiteit berekend. De grens van de aanwezigheid van kwel is gezet op 1 mm/d (Figuur 4.2).



Figuur 4.2 Uitsnedes uit de GIS-kaart voor de kwelberekeningen langs de Nederrijn/Lek ter hoogte van Amerongen. Links: De kwelkaart uit het NHI-data portaal: Rood: inzijing; Blauw: kwel; Geel: de geïsoleerde rivierbegeleidende wateren. Midden: De kwelkaart zonder inzijgingslocaties: Donkerblauw: locaties met kwel ≥ 1 mm/dag. Rechts: Classificatie van de rivierbegeleidende wateren in wel (groen) of geen (geel) aanwezigheid van kwel.

4.5 Milieufactor Licht op de bodem

Op basis van Van den Berg et al. (2003) is de maximale diepte waarop ondergedoken waterplanten kunnen groeien bepaald. Op locaties waar minstens 4% van het licht aan het wateroppervlak de waterbodem bereikt, is geschikt voor de groei van waterplanten. Voor die waterlichamen waar de benodigde invoerdata voor beschikbaar was, is met de rekenmodule Onderwaterlicht van STOWA (<http://www.underwaterlicht.nl/nl/uitzicht.html>) deze diepte bepaald. Als invoerdata is gebruik gemaakt van de mediaan van alle MWTL-meetdata binnen een waterlichaam voor gloeirrest, chlorofyl-a concentratie, organisch koolstof concentratie (DOC) en het zwevend stof-gehalte. Indien deze parameters voor meerdere deelgebieden binnen een waterlichaam aanwezig waren, is de geschikte maximale diepte ook op deelgebiedsniveau berekend. Wanneer voor een waterlichaam onvoldoende data beschikbaar was is een inschatting gemaakt op basis van aangrenzende waterlichamen.

De rekenregel voor Waterplanten in de rivieren op basis van dynamiek heeft ook een aspect over beschikbaarheid van voldoende licht op de bodem in zich. Daarnaast wordt ook de gemiddelde hoeveelheid licht op de bodem toegepast voor alle waterlichamen. In rivieren gelden beide restricties en de meest stringente is leidend.

4.6 Milieufactor waterplanten

De aanwezigheid van waterplanten is van belang voor macrofauna en vissen. De resultaten van macrofyten van de KRW Ecologie zijn vertaald naar aan- en afwezigheid van waterplanten. Wanneer er een bedekking van 5% of meer is berekend, dan is aangenomen dat waterplanten aanwezig zijn.

4.7 Milieufactor Toxiciteit

Uit een analyse van de toxische druk in de Rijkswateren bleek dat de mSPAF (een maat voor de toxische druk door alle stoffen in het oppervlaktewater tezamen) in alle Rijkswateren kleiner is dan 5% (Fennema, 2019). De analyse is gebaseerd op de maximale concentratie per jaar voor een reeks van jaren (2013, 2015 t/m 2017) voor 25 MWTL-meetpunten in de Rijkswateren, waarbij tussen de 96 en 272 stoffen per locatie zijn gemeten (voor de meeste locaties betreft het ca. 260 parameters, incl. de KRW-stoffen). De berekende toxische druk varieert tussen 0,001 (0,1% aangetaste fractie soortgroepen) voor het Zoommeer/Eendracht en 0,035 (3,5% aangetaste fractie soortgroepen) voor de Bovenmaas. Dit effect valt weg in de nauwkeurigheid van de berekeningen met de module Ecologie Rijkswateren. Daarom is toxiciteit voor dit moment niet meegenomen als milieufactor.

4.8 Koppeling van dosis-effect modellen aan data van milieufactoren

In Hoofdstuk 3 zijn de beschikbare data met betrekking tot de preferenties van soorten per soortgroep beschreven. In Hoofdstuk 4 zijn de milieufactoren voor de ruimtelijke eenheden beschreven. Deze paragraaf beschrijft hoe de variabelen van de preferenties tijdens de berekeningen gekoppeld worden aan de milieufactoren van de ruimtelijke eenheden.

Per waterkwaliteitselement is vastgelegd welke milieufactor wordt gebruikt en aan welke variabele van de preferenties van soorten deze wordt gekoppeld. Dit is gespecificeerd in een zogenaamd link-bestand (Tabel 4.4). Hierin wordt de milieufactor vanuit de preferenties gekoppeld aan de milieufactoren van de ruimtelijke eenheden. Dit link-bestand biedt de mogelijkheid om aan te geven:

- 1 of er een omrekening moet plaatsvinden (bijvoorbeeld bij macrofauna van cm/s in de preferentie-data naar m/s voor de milieufactor stroomsnelheid, of van $\mu\text{mol/l}$ naar mg/l). Zie kolom Omrekeningsfactor;
- 2 dat de preferentie van soorten gelinkt wordt aan meerdere milieufactoren (bijvoorbeeld de gevoeligheid van soorten macrofyten voor golfwerking is gelinkt aan zowel de golfwerking door wind als aan de golfwerking door scheepvaart);
- 3 of er voor de milieufactoren gebruik gemaakt moet worden van een range aan waarden (minimum en maximum) of dat alleen de gemiddelde waarde van een milieufactor gebruikt moet worden in de vergelijking met de preferentie-data. Zie kolom Gebruik Range Milieufactor.

Voor de module Ecologie Rijkswateren zijn drie typen milieufactoren gebruikt:

- Continue milieufactoren: deze worden gemeten in decimalen, zoals stroomsnelheid en concentraties;
- Categorische milieufactoren: deze worden uitgedrukt in klassen met oplopende waarden, zoals gevoeligheid voor droogval en gevoeligheid voor golven;
- Discrete milieufactoren: bij deze milieufactoren wordt aangegeven of de soort kan voorkomen (1) of niet (0). Dit wordt gebruikt voor bijvoorbeeld de milieufactor kwel en bij de verschillende klassen van substraat die apart als 0/1 variabele worden gebruikt.

Dit onderscheid is vooral van belang bij het doorrekenen van de aanwezigheid van soorten en het vergelijken van de actuele waarde van een milieufactor in een bepaald ecotoop en de preferentie (range van geschikte waarden) van een soort:

- Continue variabele: waarde milieufactor \geq ondergrens en $<$ bovengrens van preferentie-variabele;
- Categorie en 0/1 variabele: waarde milieufactor \geq ondergrens en \leq bovengrens van preferentie-variabele.

4.8.1 Macrofyten

Voor de macrofyten is in een link-bestand vastgelegd welke milieufactor wordt gebruikt en aan welke variabele van de preferenties van de soorten deze wordt gekoppeld (Tabel 4.4). Voor welke soorten gerekend kan worden, wordt tijdens de berekening bepaald. Van alle gevraagde milieufactoren moet voor een soort preferentiedata beschikbaar zijn om die soort te kunnen berekenen. Effectief betekent dit dat niet voor alle soorten water- en oeverplanten berekeningen van het voorkomen konden worden uitgevoerd. Met de milieufactoren van Tabel 4.4 betekent dit dat voor 130 soorten water- en oeverplanten daadwerkelijk gerekend is. Per KRW-watertype is dit 71-91 % van de maatlatsoorten macrofyten (Tabel 4.5).

Tabel 4.4 Link-tabel voor de berekening van het voorkomen van macrofyten. De kolommen VariabeleNaam en Eenheid verwijzen naar de dataset van de preferenties van de soorten. De kolommen Var en Eenh verwijzen naar de dataset van de milieufactoren voor de rekeneenheden.

Variabele Naam	Eenheid	Var	Eenh	Gebruik Range Milieufactor	Omrekenings-factor
Nitraat	µmol/l	Nitraat	mgN/l	Nee	0.014
Alkaliniteit	meq./l	Alkaliniteit	meq/l	Nee	1
pH	-	pH	-	Ja	1
Ammonium	µmol/l	Ammonium	mgN/l	Ja	0.014
Fosfaat	µmol/l	Fosfaat	mgP/l	Nee	0.031
Chloriniteit	µmol/l	Chloridegehalte	mg/l	Nee	0.035
GemDiepte	m	Diepte	m	Ja	1
Stroomsnelheid	m/s	Stroomsnelheid	m/s	Nee	1
Golven	Categorie	Scheepvaart	Categorie	Nee	1
Licht op de bodem	%	Licht op de bodem	%	Ja	1
Droogval	Categorie	Droogval	Categorie	Nee	1
Stroomsnelheid	m/s	Stroomsnelheid_max	m/s	Nee	1
Kwel	0/1	Kwel	0/1	Nee	1
Bodemtype_zand	0/1	Substraat_zand	0/1	Nee	1
Bodemtype_klei	0/1	Substraat_klei	0/1	Nee	1
Golven	Categorie	Golfslag_wind	Categorie	Nee	0.5

Tabel 4.5 Aantal soorten Macrofyten waarvoor daadwerkelijk gerekend is vergeleken met het aantal soorten in de KRW-maatlatten per KRW-watertype

KRW-watertype	Aantal soorten in maatlat	Aantal soorten met complete set van preferentie-data	Percentage van maatlatsoorten
M5	61	48	79 %
M14	50	41	82%
M16	44	36	82 %
M21	45	37	82 %
R7	47	43	91 %
R8	76	54	71 %
R16	43	39	91 %

4.8.2

Macrofauna

Voor de macrofauna is in een link-bestand vastgelegd welke milieufactor wordt gebruikt en aan welke variabele van de preferenties van de soorten deze wordt gekoppeld (Tabel 4.6). Voor welke soorten gerekend kan worden, wordt tijdens de berekening bepaald. Van alle gevraagde milieufactoren moet voor een soort preferentiedata beschikbaar zijn om die soort te kunnen berekenen. Effectief betekent dit dat niet voor alle soorten macrofauna berekeningen van het voorkomen konden worden uitgevoerd.

Met de milieufactoren voor macrofauna van Tabel 4.6 betekent dit dat voor 558 soorten macrofauna daadwerkelijk gerekend is. Per KRW-watertype is dit 35-66 % van de maatlatsoorten macrofauna (Tabel 4.7).

Tabel 4.6 Link-tabel voor de berekening van het voorkomen van macrofauna. De kolommen VariabeleNaam en Eenheid verwijzen naar de dataset van de preferenties van de soorten. De kolommen Var en Eenh verwijzen naar de dataset van de milieufactoren voor de rekeneenheden.

Variabele Naam	Eenheid	Var	Eenh	Gebruik Range Milieufact	Omrekenings-factor
Ammonium	µmol/l	Ammonium	mgN/l	Nee	0.014
Chloridegehalte	mg/l	Chloridegehalte	mg/l	Nee	1
Diepte	m	Diepte	m	Nee	1
DroogvalDuur	Weken	Droogval	4 klassen	Nee	0.167
Isolatie	0/1	Isolatie	0/1	Nee	1
Oppervlakte	3 klassen	Oppervlakte	3 klassen	Nee	1
Zuurgraad	-	pH	-	Nee	1
Saprobie	4 klassen	Saprobie	4 klassen	Nee	1
Stroomsnelheid	cm/s	Stroomsnelheid	m/s	Nee	0.1
Substraat grind	0/1	Substraat grind	0/1	Nee	1
Substraat zand	0/1	Substraat zand	0/1	Nee	1
Substraat klei/leem	0/1	Substraat klei	0/1	Nee	1
Substraat waterplanten	0/1	Substraat waterplanten	0/1	Nee	1
Substraat hout	0/1	Substraat hout	0/1	Nee	1
Substraat stenen	0/1	Substraat stenen	0/1	Nee	1

Tabel 4.7 Aantal soorten Macrofauna waarvoor daadwerkelijk gerekend is vergeleken met het aantal soorten in de KRW-maatlatten per KRW-watertype.

KRW-watertype	Aantal soorten in maatlat	Aantal soorten met complete set van preferentie-data	Percentage van maatlatsoorten
M5	59	39	66 %
M14	195	95	49 %
M16	136	64	47 %
M21	74	35	47 %
R7	155	54	35 %
R8	113	53	47 %
R16	106	46	43 %

4.8.3 Vissen

Voor de vissen is in een link-bestand vastgelegd welke milieufactor wordt gebruikt en aan welke variabele van de preferenties van de soorten deze wordt gekoppeld (Tabel 4.8). Voor welke soorten gerekend kan worden, wordt tijdens de berekening bepaald. Van alle gevraagde milieufactoren moet voor een soort preferentiedata beschikbaar zijn om die soort te kunnen berekenen. Effectief betekent dit dat niet voor alle soorten vissen in de KRW-maatlatten berekeningen van het voorkomen konden worden uitgevoerd. Met de milieufactoren voor vissen van Tabel 4.8 betekent dit dat voor 45 soorten vissen daadwerkelijk gerekend is. Per KRW-watertype is dit van de adulten van de maatlatsoorten 85% voor de meren en 100% voor de rivieren (Tabel 4.9). Voor de levensfase Ei/larve liggen de percentages tussen 63-83% van de maatlatsoorten (Tabel 4.10).

Tabel 4.8 Link-tabel voor de berekening van het voorkomen van vissen. De kolommen Variabele Naam en Eenheid verwijzen naar de dataset van de preferenties van de soorten. De kolommen Var en Eenh verwijzen naar de dataset van de milieufactoren voor de rekeneenheden.

Variabele Naam	Eenheid	Var	Eenh	Gebruik Range Milieufactor	Omrekenings-factor
Chloridegehalte	mg/l	Chloridegehalte	mg/l	Ja	1
Diepte	M	Diepte	m	Ja	1
Droogval	4 klassen	Droogval	4 klassen	Ja	1
pH	-	pH	-	Ja	1
Stroomsnelheid	m/s	Stroomsnelheid	m/s	Ja	1
Temperatuur	°C	Temperatuur	°C	Nee	1
Beschutting Boornwortels	0/1	Substraat Hout	0/1	Nee	1
Beschutting Grind/stenen	0/1	Substraat Grind	0/1	Ja	1
Beschutting Grind/stenen	0/1	Substraat Stenen	0/1	Ja	1
Beschutting Open water	0/1	Beschutting Open water	0/1	Nee	1
Beschutting Waterplanten	0/1	Substraat Waterplanten	0/1	Ja	1
Substraat Grind	0/1	Substraat Grind	0/1	Ja	1
Substraat Zand	0/1	Substraat Zand	0/1	Ja	1
Substraat Slib	0/1	Substraat Klei	0/1	Ja	1
Substraat Waterplanten	0/1	Substraat Waterplanten	0/1	Ja	1
Substraat Hout	0/1	Substraat Hout	0/1	Ja	1
Substraat Stenen	0/1	Substraat stenen	0/1	Ja	1
Watertemperatuur jan, .. , dec (alleen ei/larve stadium)	°C	Temperatuur jan, .. , dec	°C	Ja	1
Paaitijd jan, .. , dec (alleen ei/larve stadium)	0/1	Maand jan, .. , dec	0/1	Ja	1

Tabel 4.9 Aantal soorten Vissen Levensfase Adult waarvoor daadwerkelijk gerekend is vergeleken met het aantal soorten in de KRW-maatlatten per KRW-watertype.

KRW-watertype	Aantal soorten in maatlat	Aantal soorten met complete set van preferentie-data	Percentage van maatlatsoorten
M5	27	23	85 %
M14	27	23	85 %
M16	27	23	85 %
M21	27	23	85 %
R7	30	30	100 %
R8	25	25	100 %
R16	24	24	100 %

Tabel 4.10 Aantal soorten Vissen Levensfase Ei/Larve waarvoor daadwerkelijk gerekend is vergeleken met het aantal soorten in de KRW-maatlatten per KRW-watertype.

KRW-watertype	Aantal soorten in maatlat	Aantal soorten met complete set van preferentie-data	Percentage van maatlatsoorten
M5	27	17	63 %
M14	27	17	63 %
M16	27	17	63 %
M21	27	17	63 %
R7	30	23	77 %
R8	25	19	76 %
R16	24	20	83 %

5 Berekening van de effecten van maatregelen

De module Ecologie Rijkswateren kan de effecten van maatregelen, zoals bijvoorbeeld de aanleg van nevengeulen, het optreden van droogval, of het plaatsen van rivierhout, op macrofyten en macrofauna doorrekenen. Dit kan op soortniveau maar de effecten kunnen ook geaggregeerd worden naar EKR-score. Binnen het BPRW zijn maatregelen voorgesteld voor het verbeteren van de ecologische toestand van de Rijkswateren om te kunnen voldoen aan de doelstellingen van de KRW. Deze maatregelen zijn vervolgens door Deltares geïnterpreteerd en verwerkt tot invoer voor de module Ecologie Rijkswateren.

Voor de vertaling van maatregelen naar module Ecologie Rijkswateren-invoer zijn de maatregelen uit de lijst van Rijkswaterstaat omgezet naar ruimtelijke eenheden (oppervlakte van een bepaald ecotoop, binnen een bepaalde ecologische eenheid, binnen een bepaald deelgebied, binnen een bepaald waterlichaam). Daarnaast zijn de milieufactoren voor alle ecotopen die door een maatregel beïnvloed worden of ontstaan, ingeschat. In meer detail voor de omzetting zijn de onderstaande stappen uitgevoerd. Let wel dat de keuzes en aannames die hier gemaakt zijn hun weerslag hebben in de berekende effecten van maatregelen in de Rijkswateren.

Stappen voor omzetten van maatregelen naar invoer voor de KRWV Ecologie:

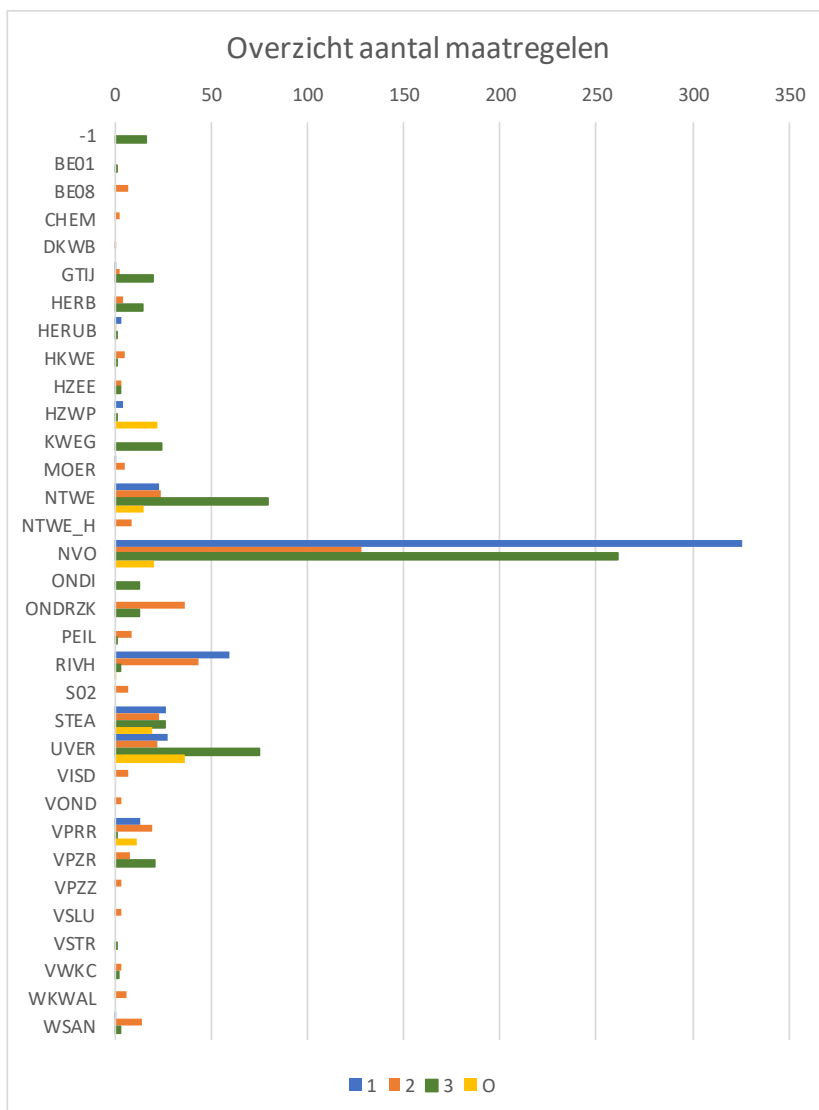
- 1 Voor de ruimtelijke eenheden gebruikt de module Ecologie Rijkswateren ecotoopkaarten van de 3^e en 4^e cyclus (2011-2015). Voor het doorrekenen van de maatregelen met de KRW-verkenner zijn geen nieuwe ecotoopenkaarten beschikbaar noch nieuw gemaakt. De gegevens over de maatregelen, zoals veranderingen in oppervlakte en eigenschappen daarvan, worden daarom via de lijst van rekeneenheden toegevoegd aan de lijst van rekeneenheden voor de bestaande situatie.
- 2 Voor het kunnen doorrekenen van maatregelen uit de 2^e (periode 2015-2021) en 3^e tranche (periode 2021-2027), moet eerst de uitgangssituatie van 2015 up-to-date worden gemaakt. Alleen dan kan inzichtelijk gemaakt worden wat de extra maatregelen uit de 3^e tranche toevoegen aan verandering van de ecologische kwaliteit van een (deel van een) waterlichaam. Hiervoor moeten alle ruimtelijke maatregelen uit de 1^e tranche meegenomen worden. Deze gegevens zijn zo goed mogelijk uit rapportages van RWS gehaald. Het betrof 484 maatregelen (maatregellocaties) van diverse typen.
- 3 Om een maatregel toe te kunnen wijzen aan rekeneenheid, moet een maatregel een locatie hebben. De locatie-aanduiding moet dus specifiekier zijn dan de naam van het waterlichaam zoals in de lijst van WVL. Voor het vertalen van generieke locatie-aanduidingen naar module Ecologie Rijkswateren invoer is voor een aantal maatregelen informatie gehaald uit factsheets van het waterkwaliteitsportaal (<https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/>, bevraagd juni 2019), de dossiers van Antea (www.anteagroup.nl, bevraagd juni 2019), eerdere lijsten van BPRW-maatregelen voor de KRW-Verkenner en oude Paus-tabellen. De maatregelen waar alsnog geen specifieke locatie voor gevonden kon worden, zijn niet doorgerekend. Zo bleef de maatregel van 300 bomen in de IJssel in eerste instantie over zonder bekende locaties. In een snelle actie zijn deze bomen alsnog verdeeld over alle geschikte ecotopen in de IJssel (2.5 boom per locatie). Zo kon ook voor de maatregelen van het type strang en nevengeul uit de 3^e tranche in de Maas voor 14 van de 45 maatregelen geen locatie gevonden worden. Deze maatregelen zijn niet doorgerekend.
- 4 Voor het kunnen doorrekenen van een maatregel is ook informatie nodig over welke ecotopen er ontstaan door de maatregel. Dit was niet voor alle maatregelen bekend. Bij gebrek aan deze informatie zijn er pragmatische waarden gehanteerd afkomstig van eerdere berekeningen (zie Tabel 5.1).

- 5 Voor de nieuwe ecotopen moeten realistische milieufactoren worden geschat. Dit was voor sommige maatregelen eenvoudig: het aanbrengen van rivierhout betekent het toevoegen van substraat hout voor macrofauna en vis. Maar voor andere was dit lastig, zoals de droogvalduur van een nevengeul in een bepaalde ecologische eenheid zonder dat er specifieke ruimtelijke ligging en hoogteligging bekend is.

Uiteindelijk zijn er 1585 maatregelen (en locaties van maatregelen) geïdentificeerd, die grofweg gelijk verdeeld waren over 1^e, 2^e en 3^e tranche. Een overzicht van typering van de maatregelen per periode (tranches) is gegeven in Figuur 5.1. Het overgrote deel van de maatregelen betrof de aanleg van natuurlijke en natuurvriendelijke oevers langs de rivieren (NVO's; Figuur 5.1).

Tabel 5.1 Standaard maatvoering van maatregelen voor de Rijkswateren uit het BPRW. De codes tussen haakjes bij de maatregeltypen verwijzen naar de standaardlijst voor maatregeltypen van RWS (zie Bijlage A).

Maatregeltypen	Eenheid lengte	Breedte	Ecotoop	Fractie	Diepte	Talud	Milieufactoor
Nevengeul (NTWE)	m	45 m	I.1_n (oever)	0.05	-0.5-0 m	1:7	Geen scheepvaart
			RnO	0.30	0-1 m		
			RnM	0.65	1-2.5 m		
Hoogwatergeul (NTWE_H)	m	75 m	RnO	0.10	0-1 m	1:5	Geen scheepvaart, geen stroming
			RnM	0.20	1-3 m		
			RnD	0.70	3-5 m		
Strang (STEA)	m	25 m	RtO	0.60	0-1 m	1:7	Geen scheepvaart, geen stroming
			RtM	0.40	1-1.5 m		
Kwelgeul (KWEG)	ha		I.1_w (oever)	0.05	-0.5-0 m	1:10	Geïsoleerd
			RwO	0.55	0-1 m		
			RwM	0.4	1-1.5 m		
Getijdegeul (GTIJ)	m		I.1_g (oever)	0.1	-0.5 - 0 m		
			IV.3 (biezen)	0.1	0-1 m		
			GzOk	0.2	0-1 m		
			GzMk	0.6	1-3 m		
Natuurlijke oever – geheel ontsteend (NVO)	m	25 m	RzO	0.4	0-1 m	1:10	Wel scheepvaart, wel stroming
			RzM	0.6	1-1.5 m		
Natuurvriendelijke oever – tot aan wateroppervlak ontsteend (NVO)	m	25 m	RzOv	0.4	0-1 m	1:10	Geen scheepvaart, wel stroming
			RzMv	0.6	1-1.5 m		
Herinrichting oever zandwinplas (HZWP)	m	25 m	I.1_w (oever)	0.20	-0.5 - 0 m	1:10	Geïsoleerd / aangetakt
			RwO	0.30	0-1 m		
			RwM	0.50	1-3 m		
Uiterwaardverlaging (UVER)	p.m.						
Rivierhout (RIVH)	n		RnOh	0.5	0-1 m		Substraat hout
			RnMh	0.5	1-3 m		



Figuur 5.1 Aantal KRW-maatregelen (maatregellocaties) voor de Rijkswateren per type maatregelen (y-as) en periode: 1: Tranche 1, 2009-2015; 2: Tranche 2, 2015-2021; 3: Tranche 3, 2021-2027; O: overige maatregelen (geen periode); -1: Overige maatregeltypen (geen KRW-maatregel). Voor de codes van de maatregeltypen: zie Bijlage A.

6 Berekening EKR-scores

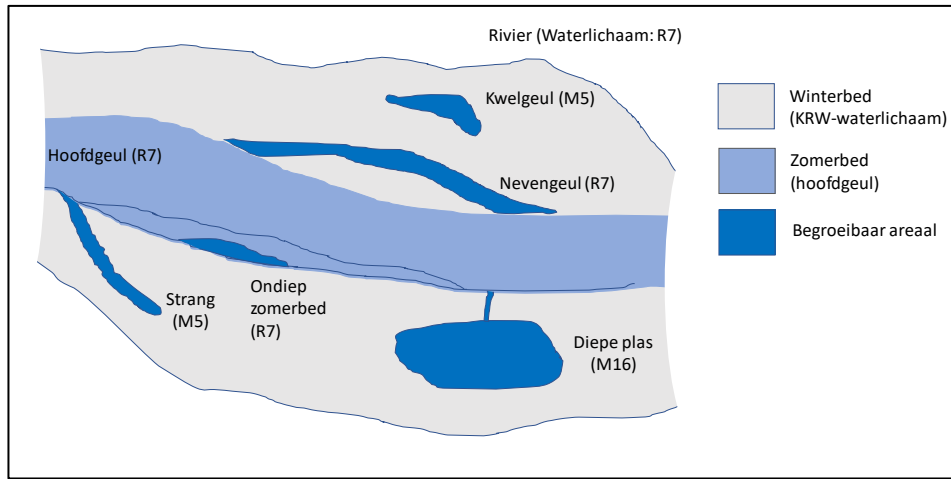
6.1 Selectie van ecotopen

De EKR-scores worden berekend om een beoordeling voor de KRW mogelijk te maken. De EKR-scores op basis van de modelresultaten zijn vergeleken met de EKR-scores op basis van de MWTL-monitoring. Het vergelijken van de beide EKR-scores per waterlichaam is lastig, omdat de monitoring steekproefsgewijs de vegetatie onderzoekt, terwijl het model vlakdekkend voor alle aquatische en oeverecotopen binnen het waterlichaam resultaten berekent. De modelresultaten bevatten dus ook resultaten van ecotopen die bij de monitoring niet gezien worden. Om hiervoor te corrigeren (en een betere vergelijking tussen EKR-scores op basis van de modelresultaten met die van de monitoring te kunnen maken), is op de modelresultaten een selectie van ecotopen toegepast:

- Voor rivieren macrofyten: alleen de resultaten van de ecotopen in het zomerbed (code Rz*) en nevengeulen (code Rn*) en naastliggende oevers (code I.1) is in de vergelijking meegenomen. Voor de rivieren is het begroeibaar areaal bepaald en wordt alleen over dat areaal de modelresultaten gemiddeld;
- Voor rivieren macrofauna: alleen de resultaten van ondiep zomerbed (RzO) en ondiepe nevengeul (RnO);
- Voor rivieren vissen: alleen de hoofdstroom en alle aangetakte wateren (de geïsoleerde wateren worden niet meegenomen in de modelresultaten omdat die niet bemonsterd worden in de opnames van de visbestanden voor de KRW);
- Voor meren macrofyten: de ondiepe en matig diepe ecotopen (MzO en MzM). Oevers worden niet gemonitord;
- Voor meren macrofauna: de ondiepe ecotopen (MzO);
- Voor meren vissen: alle ondiepe, matig diepe en diepe ecotopen (MzO, MzM en MzD).

6.2 Meerdere KRW-watertypen per waterlichaam: gebruik van meerdere maatlatten

Binnen de module Ecologie Rijkswateren zijn verschillende KRW-watertypen toebedeeld aan onderdelen van het waterlichaam (Figuur 6.1). Dit is gedaan omdat niet alle delen optimaal beoordeeld worden met de maatlat van het watertype van het waterlichaam. Op basis van expertkennis is voor strangen en geïsoleerde wateren de maatlat voor KRW-watertype M5 gekozen (maatlat voor rivierbegeleidende wateren) en aangetakte diepe plassen volgens maatlat M16 (voor diepe meren). Voor de vergelijking van de EKR-scores uit modelresultaten en monitoring worden alleen de onderdelen geselecteerd die hetzelfde watertype hebben als het hoofdwatersysteem. Tabel 6.1 geeft een overzicht van de toedeling van watertypen aan de delen van het riviersysteem.



Figuur 6.1 Diversiteit aan KRW-watertypen in het zomerbed van een rivier met KRW-watertype R7.

Tabel 6.1 Toedeling van KRW-watertypen aan onderdelen van het riviersysteem.

Type water	KRW-watertype hoofdsysteem	KRW-Watertype deelsysteem	Toelichting
Hoofdstream	R7, R8, R16	R7, R8, R16	Stromingskarakter komt tot uiting in de maatlaten
Nevengeul	R7, R8, R16	R7, R8, R16	Tweezijdig aangetakt, permanent meestromend; beoordeling op stromingskarakter: maatlat gelijk aan die van de hoofdstream
Hoogwatergeul	R7, R16	M5	Eenzijdig aangetakt, groot deel van de tijd stilstaand, slechts periodiek meestromend; maatlat voor lijnvormige wateren in uiterwaard
Hoogwatergeul	R8a, R8b	R8b	Eenzijdig aangetakt, groot deel van de tijd stilstaand, optreden van getijde; maatlat voor getijdekreken
Strang	R7, R16	M5	Eenzijdig aangetakt, stilstaand; maakt jarenlange successie door, maatlat voor rivierbegeleidende wateren
Strang	R8a, R8b	R8b	Eenzijdig aangetakt, optreden van getijde, maatlat voor getijdekreken
Aangetakte plas	R7, R8, R16	M16	Aangetakt, volgt peilwisseling van rivier, overwegend diep met ondiepe oevers, maatlat voor diepe meren
Geïsoleerde plas, Kwelgeul	R7, R8, R16	M5	Geïsoleerd, stilstaand, overwegend ondiep, mogelijk periodiek droogvallend, maatlat voor rivierbegeleidende wateren

6.3 Berekening EKR-scores

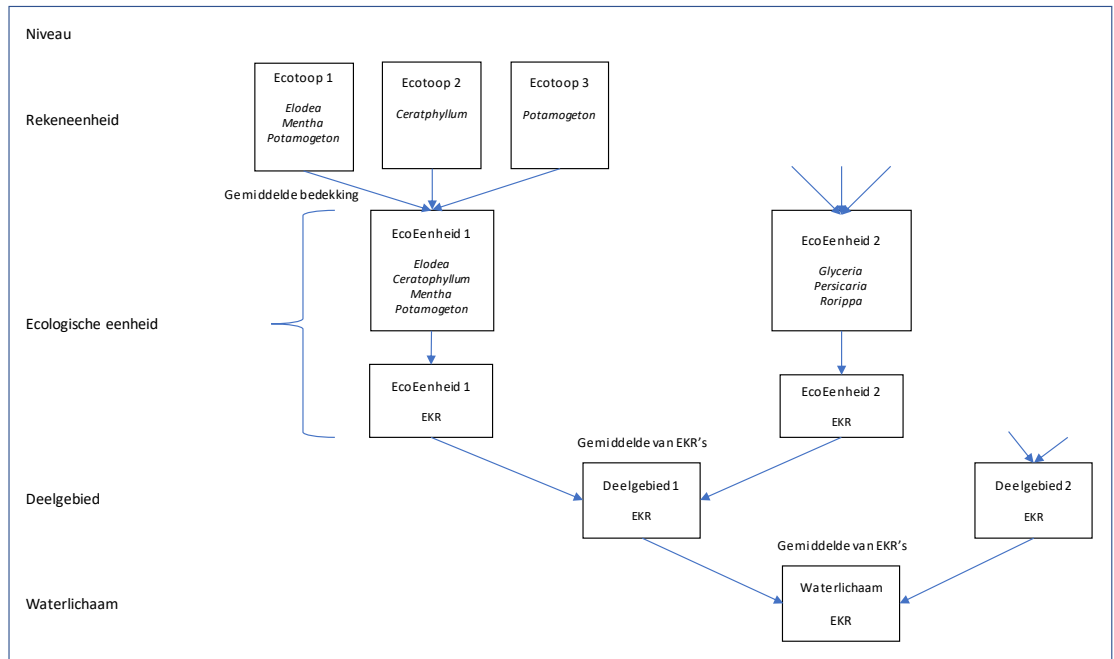
De EKR-scores worden voor macrofyten berekend in een post-processing stap in Python (zie Hoofdstuk 7.2). Voor de macrofauna worden de EKR-scores berekend door QBWat. Voor vissen worden momenteel nog geen EKR-scores berekend.

6.4 Aggregatie van resultaten

De module Ecologie Rijkswateren produceert als resultaat een soortenlijst voor macrofyten, macrofauna en vissen per rekeneenheid. Voorlopig wordt alleen voor de macrofyten ook abundanties (percentage bedekking) berekend. Idealiter worden deze lijsten op drie schaalniveaus geaggregeerd, waarbij de abundantie/bedekking worden gemiddeld per:

- 1 Ecologische eenheid;
- 2 Deelgebied;
- 3 Waterlichaam.

In de huidige toepassing wordt alleen gebruik gemaakt van de resultaten per ecologische eenheid om daarvoor EKR-scores te berekenen. De EKR-scores per waterlichaam zijn de EKR-scores van de ecologische eenheden, rekenkundig gemiddeld per deelgebied en vervolgens rekenkundig gemiddeld per waterlichaam (zie Figuur 6.2). Er vindt bij de aggregatie van ecologische eenheden naar waterlichaam dus geen oppervlakteweging plaats. De resultaten voor alle rekeneenheden (ecotopen met soortenlijsten en limiterende milieufactoren per soort) en de EKR-scores (zowel per ecologische eenheid, deelgebied als waterlichaam) worden opgeslagen en kunnen voor verdere analyse gebruikt worden.



Figuur 6.2 Schema van methode van aggregatie van soortenlijsten per ecotoop naar ecologische eenheid, deelgebied en KRW-waterlichaam voor macrofyten en macrofauna. De soortenlijsten per ecotoop (rekeeneenheid) worden op het niveau van ecologische eenheid gecombineerd, waarbij een gemiddelde bedekking/abundantie per ecologische eenheid berekend wordt. De EKR-scores worden vervolgens rekenkundig gemiddeld naar deelgebied, en van deelgebied naar waterlichaam. De rechterzijde van de figuur is slechts deels ingevuld; de blauwe pijlen geven informatie uit andere ruimtelijke eenheden weer. De aggregatiemethode is identiek voor macrofyten en macrofauna.

7 Implementatie in scripts

7.1 Inleiding

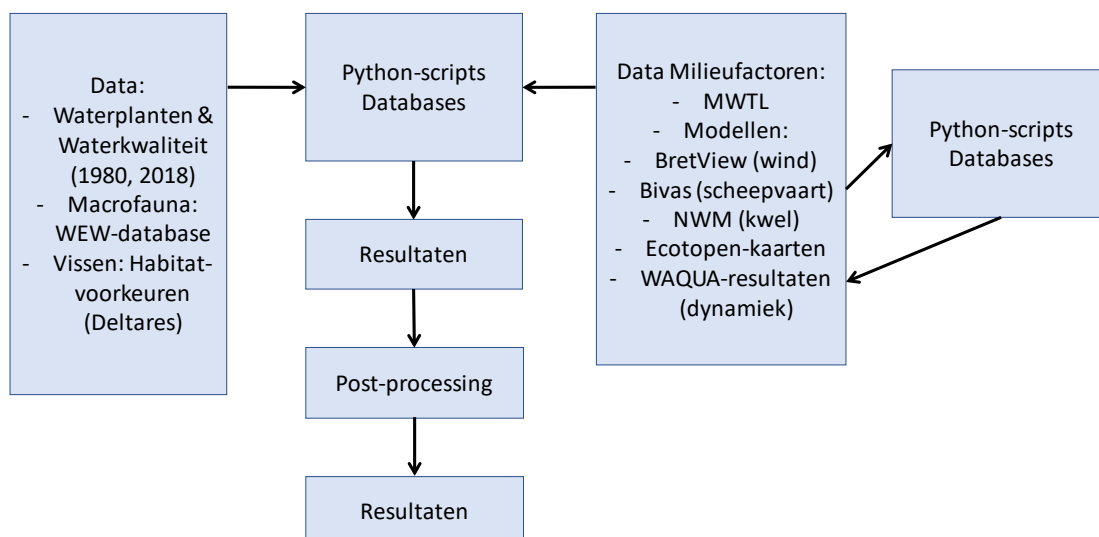
De stappen in de berekeningen zijn geïmplementeerd in Python (Figuur 7.1 voor details van de invoer, Figuur 7.2 voor details van de resultaten). Data opslag van de preferentie-data is gedaan in MS Access databases met als output .csv bestanden. De Python scripts lezen deze bestanden in en leveren ook weer .csv bestanden die of weer invoer zijn voor ander Python-scripts of in een MS Access database ingeladen worden om verder geanalyseerd te worden.

Voor macrofyten, macrofauna en vissen zijn de volgende scripts gemaakt (Figuur 7.2):

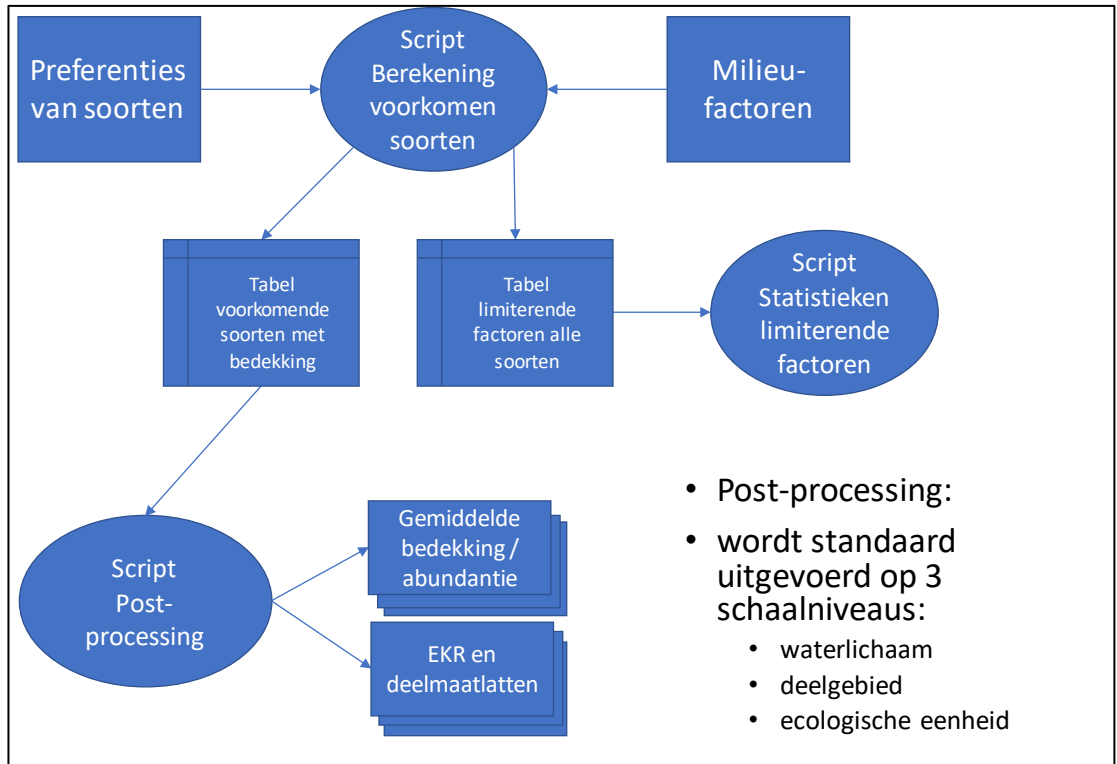
- 1 Bereken voorkomen van soorten;
- 2 Postprocessing;
- 3 Berekenen van statistieken van limiterende factoren.

Voor macrofauna en vissen is extra toegevoegd:

- 4 Aanmaken invoer QBWat voor doorrekenen van KRW-maatlatten;
- 5 Doorrekenen van QBWat.



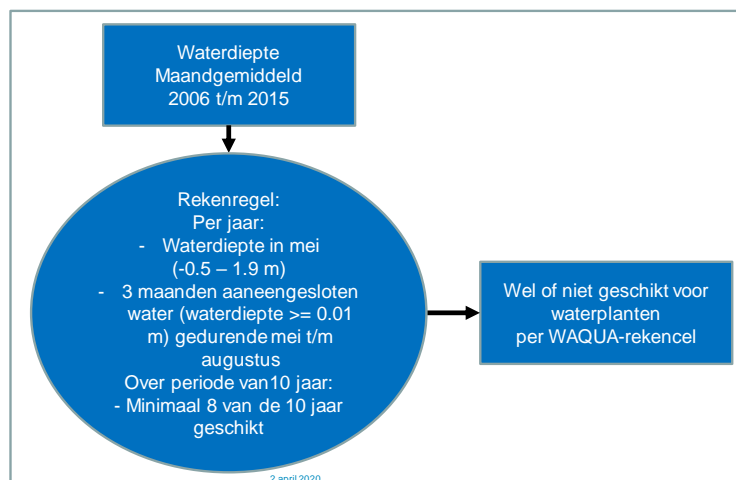
Figuur 7.1 Opzet methodiek in databases en scripts. Deze figuur geeft in meer detail de data-bronnen weer. Zie Figuur 7.2 voor de bestanden met resultaten.



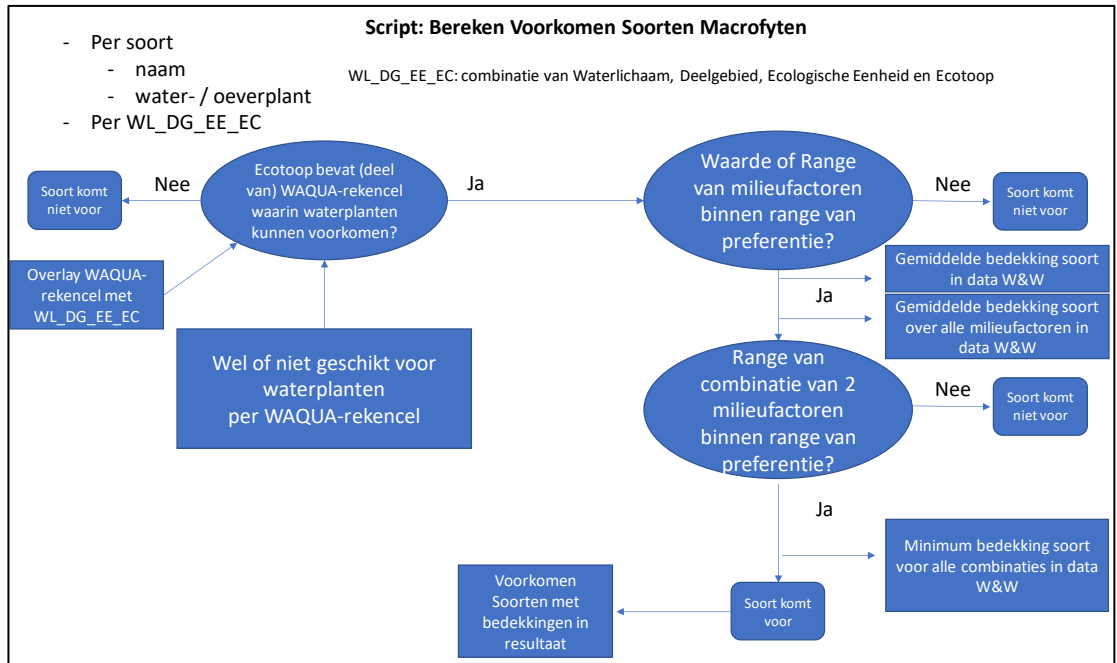
Figuur 7.2 Overzicht van scripts en resultaten voor doorrekening kwaliteitselementen. Deze figuur geeft meer details weer van de resultaten; zie voor meer details van de invoer Figuur 7.1.

7.2 Macrofyten

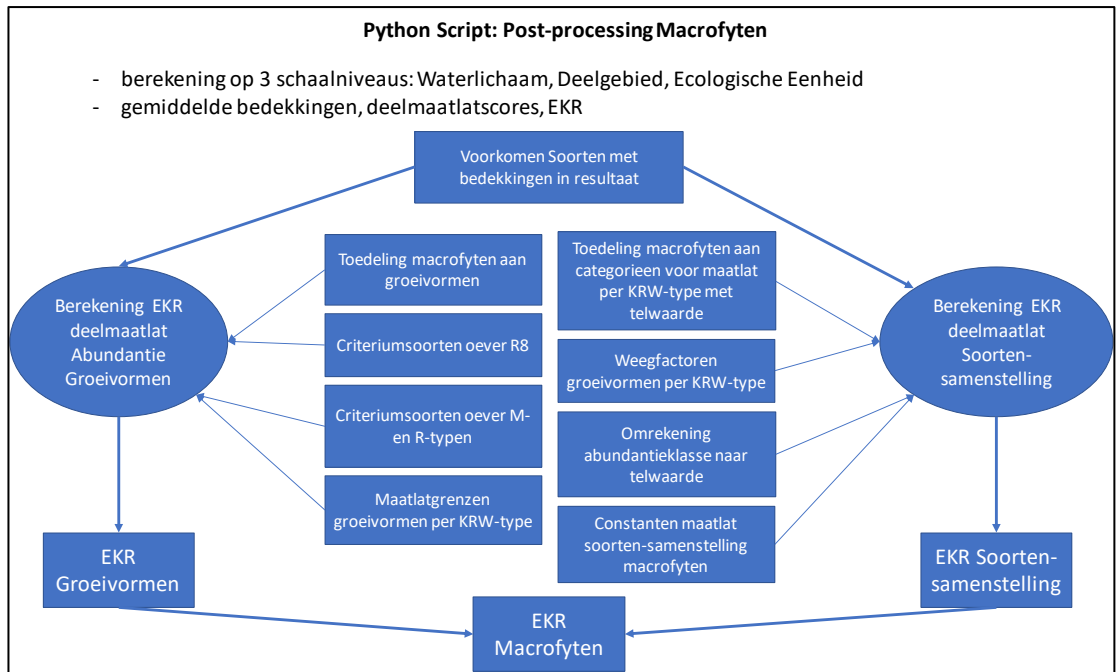
De berekening voor de macrofyten is het meest ingewikkeld doordat de resultaten van de WAQUA-berekeningen hierin opgenomen worden (Figuur 7.3) en worden doorgegeven naar de berekening van de aan- of afwezigheid van soorten (Figuur 7.4). De berekende geschiktheid voor waterplanten wordt als extra filter op de resultaten meegenomen. De EKR-score voor macrofyten wordt in de post-processing berekend (Figuur 7.5).



Figuur 7.3 Schematische weergave van de berekening van de geschiktheid voor waterplanten op basis van de rekenregels van Geest et al (2020, in prep). De maandgemiddelde waterdiepten zijn berekend op basis van maandgemiddelde rivierafvoeren over de periode 2006 t/m 2015 en WAQUA-berekeningsresultaten van waterhoogte en stroomsnelheid bij karakteristieke afvoeren.



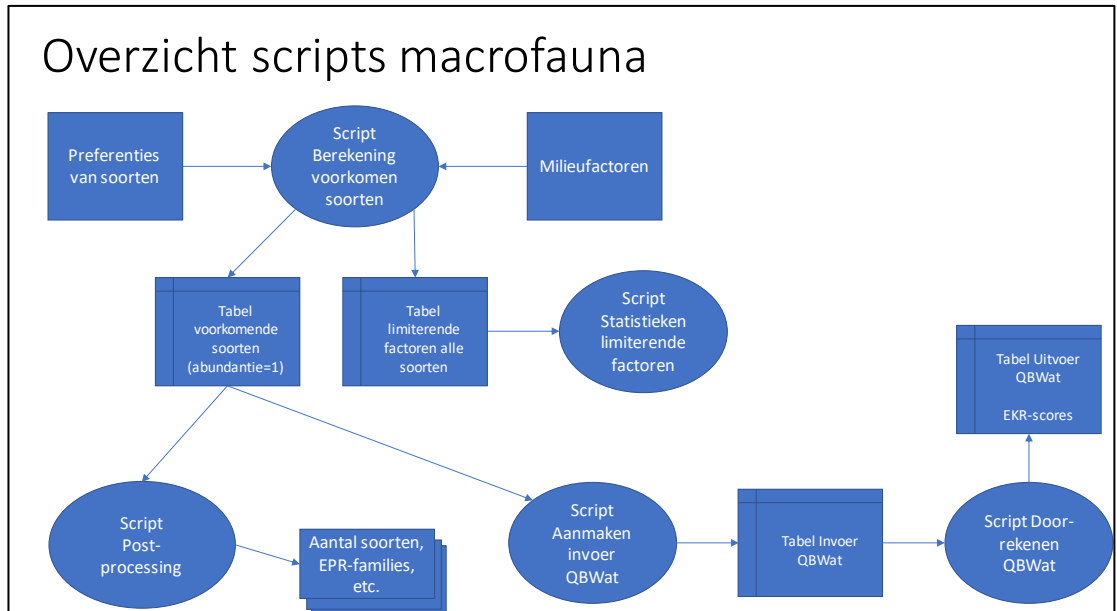
Figuur 7.4 Schema van de werking van het script Bereken voorkomen macrofyten.



Figuur 7.5 Schema voor de berekening van de EKR-score voor macrofyten.

7.3 Macrofauna

De berekening van het voorkomen van macrofauna soorten volgt het algemene schema (Figuur 7.2). Bij macrofauna wordt de EKR-score voor de KRW berekend met QBWat (Figuur 7.6).



Figuur 7.6 Overzicht van de scripts voor doorrekening Macrofauna

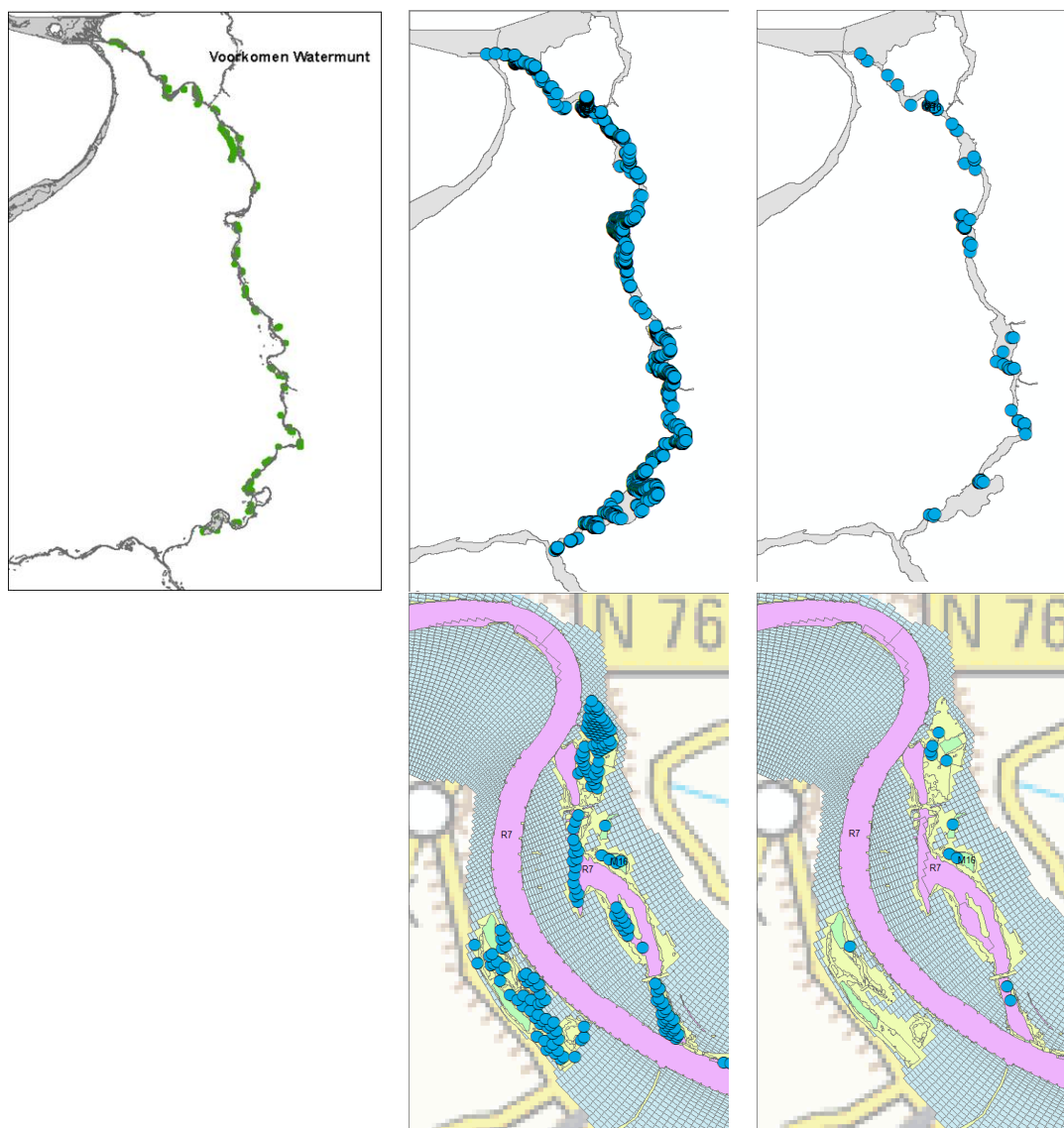
7.4 Vissen

De berekening voor vissen is opgesplitst naar levensfase: ei/larve, juveniel en adult. Voor de levensfasen adult en juveniel is de berekening van het voorkomen van soorten gelijk aan het algemeen schema (Figuur 7.2). Voor ei/larve wordt de geschiktheid voor temperatuur alleen meegenomen voor het paaiseizoen: dit geeft aan of in het paaiseizoen de watertemperatuur geschikt is voor de adulten om te paaien. Strikt genomen is het dus geen eigenschap van de eieren of larven, maar een voorwaarde om eieren en larven te kunnen krijgen. De berekening van de EKR-score vindt plaats met QBWAT. De post-processing moet nog worden aangepast om een goede schatting van de biomassa van vis te verkrijgen die nodig is voor het berekenen van zinvolle EKR-scores. Ook de aggregatie moet worden aangepast. Er worden voor vis derhalve geen EKR-score gerapporteerd.

8 Resultaten

8.1 Voorkomen van soorten en vergelijking met monitoringsdata

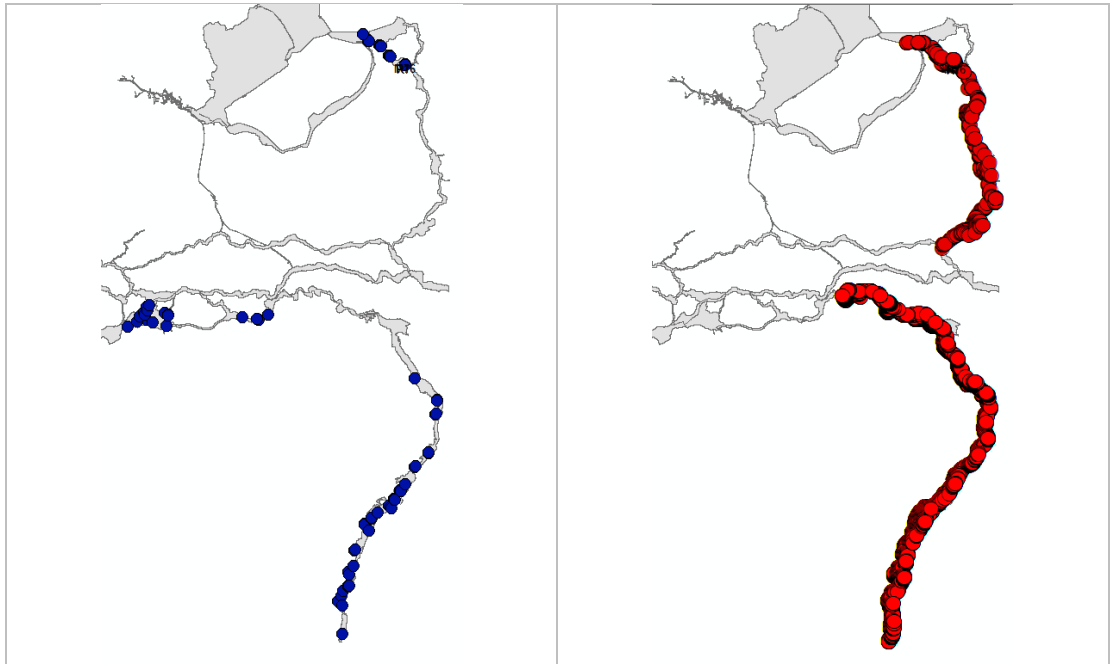
Er is slechts een beperkte vergelijking gemaakt tussen berekende en gemonitorde voorkomen van soorten. Deze vergelijking is voor een tweetal soorten uitgevoerd: watermunt (*Mentha aquatica*) en rivierfonteinkruid (*Potamogeton nodosus*). Watermunt bleek op minder locaties voorkomen dan aanvankelijk berekend werd met de module Ecologie Rijkswateren doordat de mate van peildynamiek niet goed werd meegenomen. Na aanpassing hiervan kwamen de modelresultaten beter overeen met het daadwerkelijk voorkomen van soorten (Figuur 8.1).



Figuur 8.1 Linksboven de locaties waar watermunt nabij de IJssel is aangetroffen (MWT, 2010-2015), midden boven het berekende potentieel van voorkomen van watermunt (*Mentha aquatica*) in de IJssel op basis van milieufactoren zonder peildynamiek, en rechtsboven het berekende potentieel voorkomen na van het toevoegen van dynamiek. Midden onder en rechtsonder is de detailuitvoer weergegeven voor de Vreugderijkerwaard.

Ook voor rivierfonteinkruid blijkt dat de module Ecologie Rijkswateren, op basis van de meegenomen milieufactoren, potentieel op meer locaties kan voorkomen dan dat waargenomen is (Figuur 8.2).

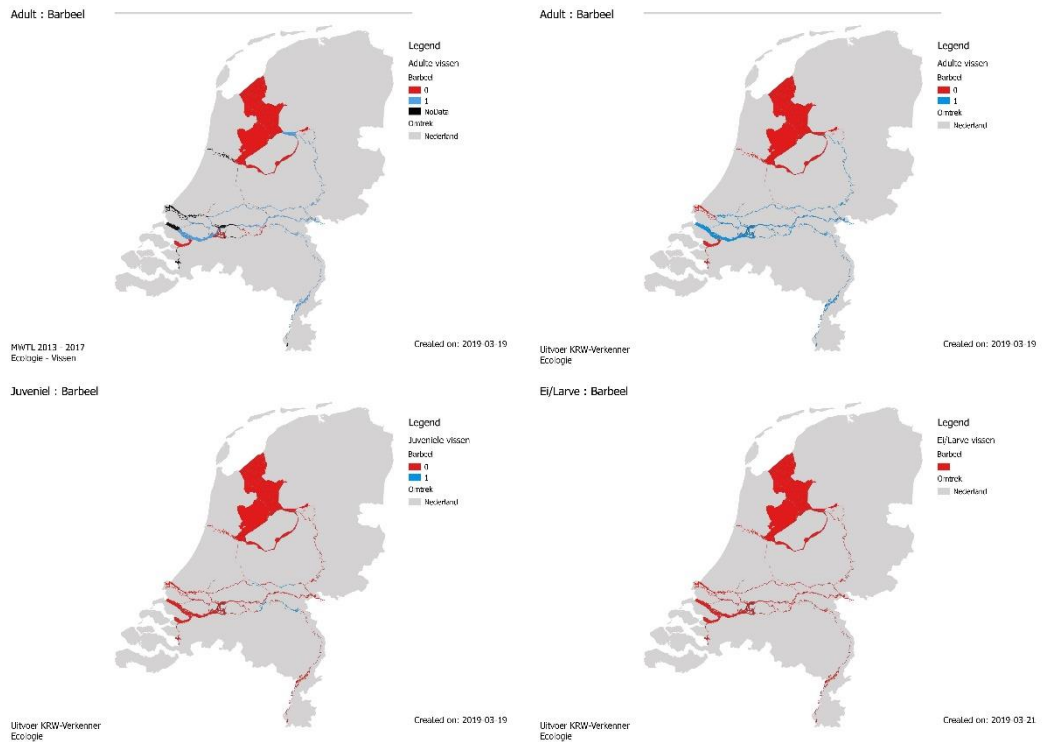
Dit verschil kan voortkomen uit het ontbreken van milieufactoren, zoals voor watermunt het geval was, of door andere factoren, zoals vraat of concurrentie. Voor rivierfonteinkruid is niet verder uitgezocht wat mogelijk een ontbrekende milieufactoor of biologisch proces zou zijn wat het verschil tussen waargenomen en berekend voorkomen kan verklaren. Recentelijk wordt rivierfonteinkruid wel op meerdere plaatsen in de Maas waargenomen (mondelijke mededeling Jan Joost Bakker, Arcadis).



Figuur 8.2 Waargenomen groeiplaatsen in de MWTL-monitoring in de periode 2010-2015 (links; Rijnakken en Maas) en berekend potentieel voorkomen van rivierfonteinkruid (rechts; alleen IJssel en Maas) en Recentere waarnemingen laten rivierfonteinkruid op uitgebreidere schaal zien in Zandmaas en Bedijkte Maas (mondelijke mededeling Jan Joost Bakhuizen, Arcadis).

Van macrofauna is geen vergelijking van meetgegevens en berekeningsresultaten beschikbaar.

Van de vissen is het verspreidingspatroon van alle vissoorten uit monitoringsgegevens vergeleken met dat van de berekeningsresultaten. Een voorbeeld hiervan is gegeven voor de Barbeel (*Barbus barbus*; Figuur 8.3).



Figuur 8.3 Verspreidingspatroon van de Barbeel (*Barbus barbus*) op basis van monitoringsgegevens (MWTL 2013 t/m 2018) en berekeningsresultaten voor adult- (rechtsboven), juveniel- (linksonder) en ei/larve-stadium (rechtsonder).

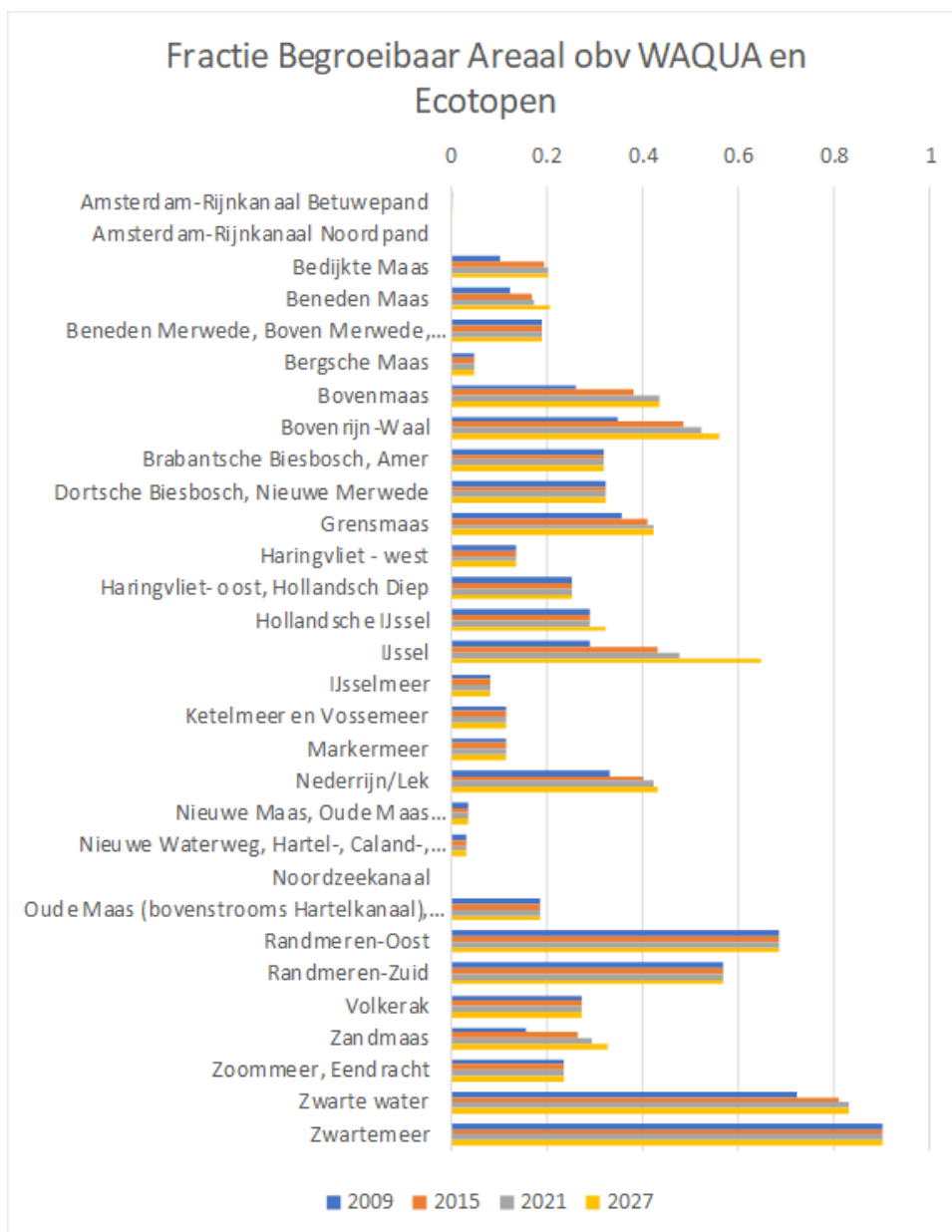
8.2 Begroeibaar areaal

De definitie van welk deel van een waterlichaam tot het begroeibaar areaal gerekend wordt is in de richtlijnen voor de KRW vastgesteld en verschilt per KRW-watertype. Voor de Rijkswateren beslaat het begroeibaar areaal het gebied met een gemiddelde diepte tussen 0 en 3 m. De fractie van het waterlichaam dat als begroeibaar areaal aangemerkt kan worden, stijgt als gevolg van de ruimtelijke KRW-maatregelen (Figuur 8.4). Dit onder de aanname dat door ruimtelijke maatregelen nieuw oppervlakte aquatisch ecotoop ontstaat naast de al bestaande vlakken aquatische ecotopen.

Voor de Maas en de Rijnakken is het oppervlak begroeibaar areaal berekend op basis van WAQUA-resultaten en de afvoeren in de periode 2006 t/m 2015. Voor de overige wateren is het oppervlak begroeibaar areaal berekend op basis van de karakteristieken van de ecotopen (zone ondiep + matig diep). In de rivieren zorgen de KRW-maatregelen ervoor dat in 2027 de meeste waterlichamen meer dan 20% begroeibaar areaal bevatten. Voor de meren waren geen maatregelen beschikbaar om door te rekenen. Van de autonome ontwikkeling van het Markermeer (Marker Wadden) is afgesproken dit nu niet bij de berekening van KRW-maatregelen mee te nemen. Voor een aantal meren, zoals de Randmeren, is er momenteel al meer dan 20% begroeibaar areaal bedekt, maar dat is niet het geval voor het Marker- en IJsselmeer (<10%).

Voor de waterlichamen die in Figuur 8.4 geen verandering laten zien, zijn geen maatregelen doorgerekend. Dit kan verschillende oorzaken hebben:

- 1 Er zijn geen maatregelen gespecificeerd voor dat waterlichaam;
- 2 Er zijn geen ruimtelijke maatregelen gespecificeerd;
- 3 De locatie van de maatregel ontbreekt.



Figuur 8.4. Berekende verandering van het begroeibaar areaal als gevolg van de KRW-maatregelen over de periode 2009 t/m 2027, berekend met de KRW-Verkenner.

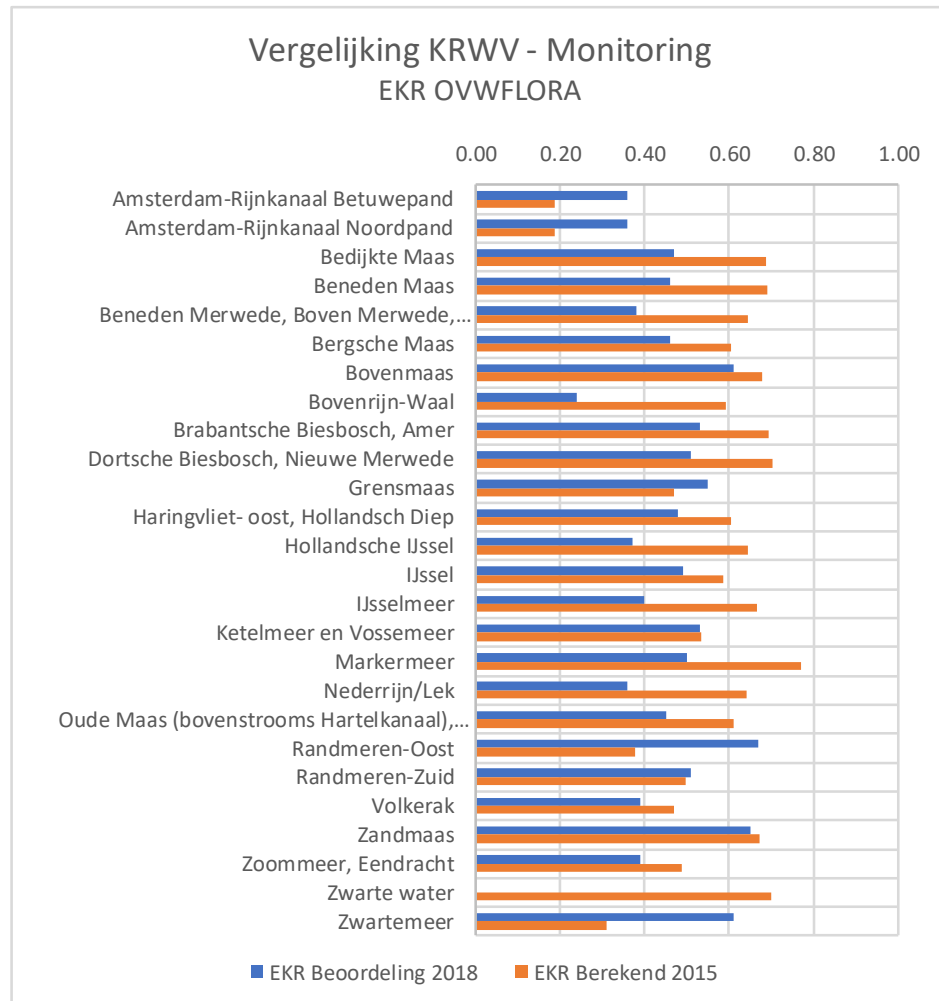
8.3 Vergelijking berekende EKR-scores met monitoringsresultaten

De EKR-scores berekend met de module Ecologie Rijkswateren voor 2015 zijn vergeleken met de EKR-scores die berekend zijn op basis van de monitoringsresultaten. Hiervoor is gebruik gemaakt van de door RWS/WVL aangeleverde data: de data van de 3 laatste monsterjaren (macrofyten & macrofauna: 2012-2017) zoals gebruikt voor de Beoordeling 2018.

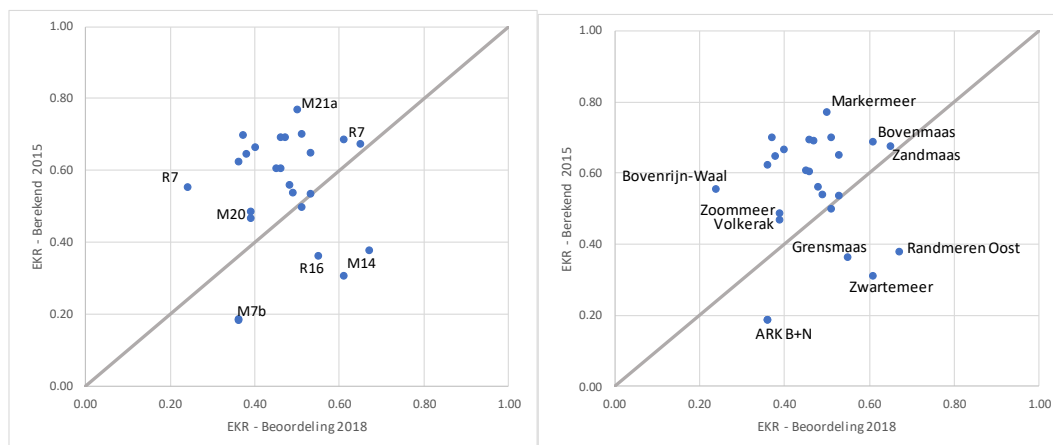
Macrofyten

Voor de vergelijking van de EKR-scores voor Overige Waterflora is de met de module Ecologie Rijkswateren berekende EKR-score voor macrofyten aangevuld met de EKR-score voor fyto-benthos uit de monitoring omdat de module Ecologie Rijkswateren momenteel geen fyto-benthos berekent. De door de module Ecologie Rijkswateren berekende EKR-scores zijn structureel hoger dan de EKR-scores op basis van de monitoring (Figuur 8.6). Vijf waterlichamen (Amsterdam-Rijnkanaal (Betuwepand en Noordpand), Grensmaas, Randmeren-Oost en Zwarte Meer) laten juist een veel hogere EKR in de Beoordeling 2018 zien.

Hier is de vergelijking voor het Amsterdam-Rijnkanaal niet geheel correct omdat in het Amsterdam-Rijnkanaal geen KRW-monitoring plaatsvindt en de EKR-scores gebaseerd zijn op die van andere wateren (in dit geval de rivieren Bovenrijn/Waal en Nederrijn/Lek). Het verschil in EKR-scores voor het Amsterdam-Rijnkanaal in Figuur 8.5 kan dus niet als onderschatting geïnterpreteerd worden. Voor de andere waterlichamen geldt dat de berekende EKR (op basis van potentieel voorkomen van soorten) hoger is dan die in de huidige situatie (Beoordeling 2018), tot +0.27 voor het Markermeer. In Figuur 8.6 zijn de EKR-scores tegen elkaar uitgezet. Hieruit blijkt geen 1-op-1 relatie tussen beide grootheden.



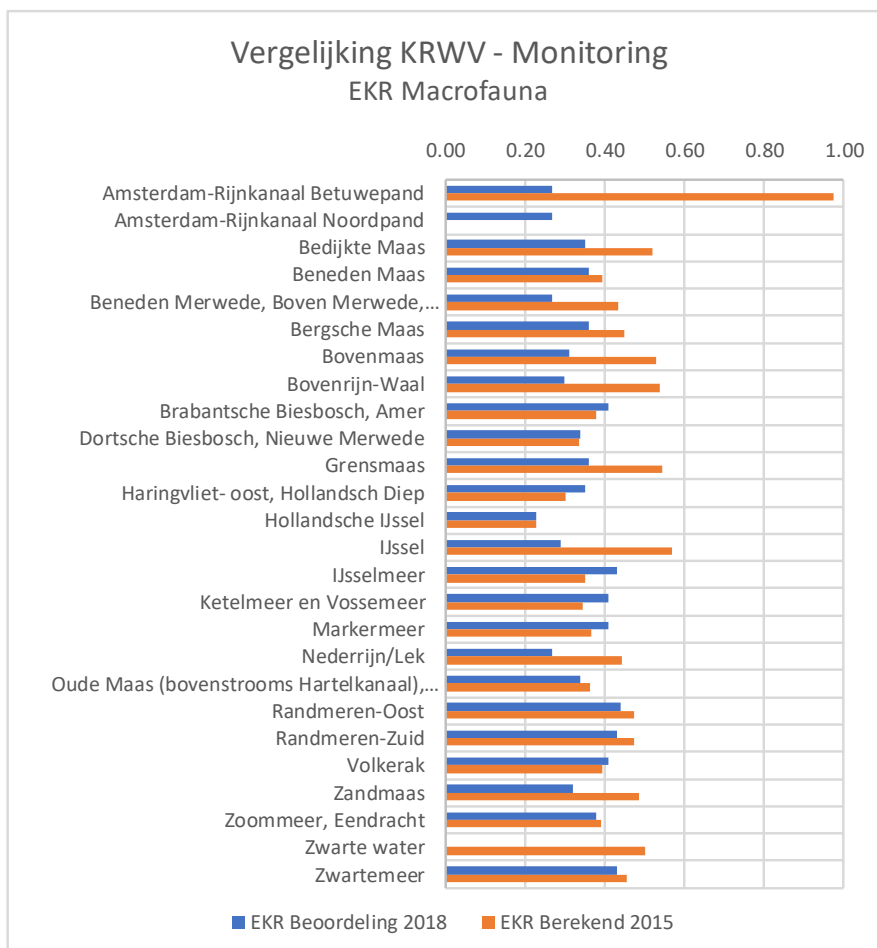
Figuur 8.5 Vergelijking van berekende EKR (oranje) en EKR op basis van monitoringsgegevens (blauw) voor het KRW-kwaliteitselement Overige Waterflora voor de zoete Rijkswateren. De EKR-scores van het Amsterdam-Rijnkanaal zijn niet gebaseerd op monitoring in de kanalen (zie tekst).



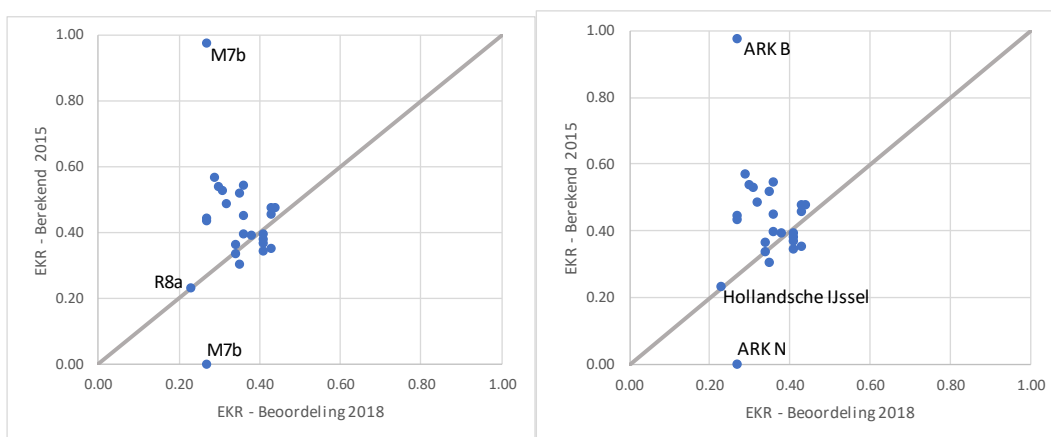
Figuur 8.6 Vergelijking van de berekende EKR (Y-as) en de EKR op basis van monitoringsgegevens (X-as) voor het KRW-kwaliteitselement Overige Waterflora voor de zoete Rijkswateren (data Figuur 8.5). Enkele afwijkende punten zijn gelabeld naar KRW-watertype (links) en naam van het waterlichaam (rechts).

Macrofauna

De met de module Ecologie Rijkswateren berekende EKR-scores voor de Macrofauna voor rivieren zijn structureel hoger dan de EKR-scores op basis van de monitoring (Figuur 8.7). Voor het IJsselmeer, Markermeer en Ketelmeer en Vossemeer zijn de berekende EKR's lager dan die van de Beoordeling 2018. Voor het Amsterdam-Rijnkanaal lopen de resultaten sterk uiteen: in de GIS-kaart is bij het begrenzen van de waterlichamen in de ecotopenkaarten in het Betuwepand een stukje ondiep zomerbed van de rivier in het deelgebied van het kanaal terechtgekomen en hieruit volgt een hoge EKR-score terwijl er verder geen geschikt areaal (tot 1 m diep) voor macrofauna beschikbaar is. Dit is dus een model-artefact. Het Noordpand van het Amsterdam-Rijnkanaal bevat volgens de gehanteerde schematisatie geen ondiep areaal waardoor geen EKR voor macrofauna berekend is. Overigens worden er in het Amsterdam-Rijnkanaal geen KRW-bemonsteringen gedaan; de EKR-scores worden 'geleend' van andere wateren (in dit geval Bovenrijn/.Waal en Nederrijn/Lek). Figuur 8.8 geeft de resultaten tegen elkaar uitgezet ten opzichte van de 1-op-1-lijn.



Figuur 8.7 Vergelijking van berekende EKR (oranje) en EKR op basis van monitoringsgegevens (blauw) voor het KRWW-kwaliteitselement Macrofauna voor de zoete Rijkswateren.



Figuur 8.8 Vergelijking van berekende EKR (Y-as) en EKR op basis van monitoringsgegevens (X-as) voor het KRWW-kwaliteitselement Macrofauna voor de zoete Rijkswateren (data Figuur 8.7). Enkele afwijkende punten zijn gelabeld naar KRWW-watertype (links) en naam van het waterlichaam (rechts).

8.4 Effect van maatregelen op de EKR-scores van waterlichamen

8.4.1 Waterplanten

Voor het effect van de maatregelen op de EKR-scores op macrofyten is uitsluitend gekeken naar de berekeningsresultaten van de ecotopen met hetzelfde KRW-watertype als het hoofdwaterlichaam. Dus voor R7 (bijvoorbeeld het waterlichaam Bovenrijn/Waal) is alleen gekeken naar ecotopen in het zomerbed (Rz*) en nevengeulen (Rn*). Strangen bevatten over het algemeen stilstaand water en zouden qua ecologie beter met een maatlat voor KRW-watertype M5 beoordeeld kunnen worden. In de beoordeling van het waterlichaam Bovenrijn/Waal met KRW-watertype R7 wordt alleen water met KRW-watertype R7 meegenomen en vallen de strangen er dus uit. De berekende EKR scores voor macrofyten (Tabel 8.1) zijn in de uitgangssituatie (2009) bij de rivieren voor de Grensmaas relatief laag, en bij de meren zijn deze laag voor de waterplantenrijke Randmeren laag. Ook scoort het Amsterdam-Rijnkanaal laag, maar de verklaring hiervoor is dat geschikt habitat voor de meeste soorten waterplanten hier afwezig is.

De veranderingen in EKR-scores als gevolg van KRW-maatregelen zijn relatief klein. De verschillen in EKR-score tussen 2009 en 2015 zijn maximaal +0.08, maar voor de meeste waterlichamen is er geen verschil. Bij sommige waterlichamen kan een deel van de stijging in 2009-2015 in de daaropvolgende periode deels weer verloren gaan (Bovenmaas en Zandmaas, Tabel 8.1).

Tabel 8.1 Resultaten van de berekening van EKR-scores voor de macrofyten van de Rijkswateren in de uitgangssituatie (2009) en na het nemen van maatregelen voor de 3 tranches (jaren 2015, 2021 en 2027). Weergegeven zijn de EKR-scores per waterlichaam en de range aan EKR-scores per deelgebied daarbinnen. De kleuren voor de ecologische toestand zijn geschaald naar de range 0-1 (rood gekleurd zijn relatief lage EKR-scores, groen gekleurd zijn relatief hoge EKR-scores) en geven dus geen oordeel weer. De kleuren voor de verschillen tussen jaren zijn geschaald naar hoogste en laagste verschil (groen: stijging van de EKR-score; rood: daling van de EKR-score).

Macrofyten KRW-Verkenner 20191119	KRW-Watertype	2009		2015		2021		2027		Verschil	2009-2015	2015-2027
		EKR_WL	Range_DG	EKR_WL	Range_DG	EKR_WL	Range_DG	EKR_WL	Range_DG			
EKR Macrofyten (dit is NIET OVWFLORA)												
Waterlichaam	KRW-Watertype	2009		2015		2021		2027				
Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand	M7b	0.19	(0.19-0.19)	0.19	(0.19-0.19)	0.19	(0.19-0.19)	0.19	(0.19-0.19)		0.00	0.00
Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand	M7b	0.19	(0.19-0.19)	0.19	(0.19-0.19)	0.19	(0.19-0.19)	0.19	(0.19-0.19)		0.00	0.00
Bedijkte Maas	R7	0.61	(0.59-0.63)	0.69	(0.69-0.7)	0.69	(0.68-0.7)	0.69	(0.68-0.7)		0.08	0.00
Beneden Maas	R8a	0.64	(0.61-0.67)	0.69	(0.69-0.7)	0.69	(0.69-0.7)	0.69	(0.69-0.7)		0.05	0.00
Beneden Merwede, Boven Merwede, Slidrechtse	R8a	0.65	(0.54-0.7)	0.65	(0.54-0.7)	0.65	(0.54-0.7)	0.65	(0.54-0.7)		0.00	0.00
Bergsche Maas	R8a	0.61	(0.61-0.61)	0.61	(0.61-0.61)	0.61	(0.61-0.61)	0.61	(0.61-0.61)		0.00	0.00
Bovenmaas	R7	0.64	(0.64-0.64)	0.69	(0.69-0.69)	0.66	(0.66-0.66)	0.66	(0.66-0.66)		0.05	-0.03
Bovenrijn-Waal	R7	0.55	(0.49-0.58)	0.55	(0.49-0.61)	0.55	(0.49-0.61)	0.54	(0.49-0.61)		0.00	-0.02
Brabantse Biesbosch, Amer	R8b	0.65	(0.65-0.65)	0.65	(0.65-0.65)	0.65	(0.65-0.65)	0.65	(0.65-0.65)		0.00	0.00
Dortse Biesbosch, Nieuwe Merwede	R8a	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)		0.00	0.00
Grensmaas	R16	0.37	(0.36-0.38)	0.36	(0.34-0.4)	0.37	(0.36-0.39)	0.37	(0.36-0.39)		0.00	0.01
Haringvliet- oost, Hollandsch Diep	R8a	0.56	(0.23-0.7)	0.56	(0.23-0.7)	0.56	(0.23-0.7)	0.56	(0.23-0.7)		0.00	0.00
Hollandsche IJssel	R8a	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)		0.00	0.00
IJssel	R7	0.52	(0.46-0.64)	0.54	(0.47-0.62)	0.53	(0.48-0.59)	0.56	(0.48-0.64)		0.02	0.02
IJsselmeer	M21b	0.67	(0.23-0.75)	0.67	(0.23-0.75)	0.67	(0.23-0.75)	0.67	(0.23-0.75)		0.00	0.00
Ketelmeer en Vossemeer	M21a	0.53	(0.33-0.8)	0.53	(0.33-0.8)	0.53	(0.33-0.8)	0.53	(0.33-0.8)		0.00	0.00
Markermeer	M21a	0.77	(0.58-0.9)	0.77	(0.58-0.9)	0.77	(0.58-0.9)	0.77	(0.58-0.9)		0.00	0.00
Nederrijn/Lek	R7	0.61	(0.55-0.66)	0.62	(0.57-0.67)	0.62	(0.57-0.66)	0.63	(0.59-0.69)		0.02	0.01
Oude Maas (bovenstrooms Hartelkanaal), Spui, No	R8a	0.61	(0.42-0.69)	0.61	(0.42-0.69)	0.61	(0.42-0.69)	0.61	(0.42-0.69)		0.00	0.00
Randmeren-Oost	M14	0.38	(0.23-0.82)	0.38	(0.23-0.82)	0.38	(0.23-0.82)	0.38	(0.23-0.82)		0.00	0.00
Randmeren-Zuid	M14	0.50	(0.34-0.81)	0.50	(0.34-0.81)	0.50	(0.34-0.81)	0.50	(0.34-0.81)		0.00	0.00
Volkerak	M20	0.47	(0.47-0.47)	0.47	(0.47-0.47)	0.47	(0.47-0.47)	0.47	(0.47-0.47)		0.00	0.00
Zandmaas	R7	0.61	(0.6-0.62)	0.67	(0.66-0.69)	0.64	(0.62-0.65)	0.64	(0.61-0.65)		0.06	-0.03
Zoommeer, Eendracht	M20	0.49	(0.49-0.49)	0.49	(0.49-0.49)	0.49	(0.49-0.49)	0.49	(0.49-0.49)		0.00	0.00
Zwarte water	R7	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)	0.70	(0.7-0.7)		0.00	0.00
Zwartemeer	M14	0.31	(0.31-0.31)	0.31	(0.31-0.31)	0.31	(0.31-0.31)	0.31	(0.31-0.31)		0.00	0.00

8.4.2 Macrofauna

Voor het effect van de maatregelen op de EKR-scores op macrofauna is uitsluitend gekeken naar de berekeningsresultaten van de ecotopen met hetzelfde KRW-watertype als het hoofdwaterlichaam. Dus voor R7 (bijvoorbeeld Waal) is alleen gekeken naar ecotopen in het zomerbed (Rz*) en nevengeulen (Rn*). Maatregelen zoals het aanleggen van strangen (met KRW-watertype M5) worden dus niet meegenomen.

De EKR-scores voor de macrofauna zijn berekend (Tabel 8.2). Ook hier blijkt dat de uitgangssituatie voor de Grensmaas en de Randmeren relatief laag is. Ook scoort het Amsterdam-Rijnkanaal laag. Dit vanwege het afwezig zijn van geschikt habitat voor de meeste soorten waterplanten, die weer als habitat kunnen dienen voor soorten macrofauna.

De effecten van de maatregelen leveren hetzelfde beeld op als voor macrofyten: weinig tot geen verschillen met uitzondering van de waterlichamen in de Maas. Waterlichamen van het KRW-watertype R8 laten alle een geringe stijging van de EKR-score zien tussen 2009 en 2015. Dit is niet direct te verklaren uit maatregelen voor de 1^e tranche.

Tabel 8.2 Resultaten van de berekening van EKR-scores voor de macrofauna van de Rijkswateren in de uitgangssituatie (2009) en na het nemen van maatregelen voor de 3 tranches (jaren 2015, 2021 en 2027). Weergegeven zijn de EKR-scores per waterlichaam en de range aan EKR-scores per deelgebied daarbinnen. De kleuren voor de ecologische toestand zijn geschaald naar de range 0-1 (rood gekleurd zijn relatief lage EKR-scores, groen gekleurd zijn relatief hoge EKR-scores) en geven dus geen oordeel weer. De kleuren voor de verschillen tussen jaren zijn geschaald naar hoogste en laagste verschil (groen: stijging van de EKR-score; rood: daling van de EKR-score).

Macrofauna KRW-Verkenner 20191212	KRW-Watertype	2009		2015		2021		2027		Verschil	
		EKR_WL	Range_DG	EKR_WL	Range_DG	EKR_WL	Range_DG	EKR_WL	Range_DG	2009-2015	2015-2027
Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand	M7b	0.98	(0.98-0.98)	0.98	(0.98-0.98)	0.98	(0.98-0.98)	0.98	(0.98-0.98)	0.00	0.00
Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand	M7b	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	0.00
Bedijkte Maas	R7	0.40	(0.28-0.52)	0.52	(0.5-0.53)	0.52	(0.5-0.53)	0.52	(0.5-0.53)	0.12	0.00
Beneden Maas	R8a	0.27	(0.2-0.33)	0.40	(0.32-0.48)	0.40	(0.32-0.48)	0.40	(0.32-0.48)	0.12	0.00
Beneden Merwede, Boven Merwede, Sliedrechtse Biesbos	R8a	0.35	(0.26-0.44)	0.43	(0.34-0.53)	0.43	(0.34-0.53)	0.43	(0.34-0.53)	0.08	0.00
Bergsche Maas	R8a	0.34	(0.34-0.34)	0.45	(0.45-0.45)	0.45	(0.45-0.45)	0.45	(0.45-0.45)	0.11	0.00
Bovenmaas	R7	0.59	(0.59-0.59)	0.53	(0.53-0.53)	0.53	(0.53-0.53)	0.53	(0.53-0.53)	-0.06	0.00
Bovenrijn-Waal	R7	0.55	(0.42-0.63)	0.54	(0.42-0.61)	0.54	(0.42-0.61)	0.54	(0.42-0.59)	-0.01	0.00
Brabantsche Biesbosch, Amer	R8b	0.28	(0.28-0.28)	0.38	(0.38-0.38)	0.38	(0.38-0.38)	0.38	(0.38-0.38)	0.10	0.00
Dortsche Biesbosch, Nieuwe Merwede	R8a	0.26	(0.26-0.26)	0.33	(0.33-0.33)	0.33	(0.33-0.33)	0.33	(0.33-0.33)	0.08	0.00
Grensmaas	R16	0.58	(0.58-0.58)	0.55	(0.54-0.55)	0.55	(0.54-0.55)	0.55	(0.54-0.55)	-0.04	0.00
Haringvliet- oost, Hollandsch Diep	R8a	0.25	(0.16-0.35)	0.30	(0.16-0.41)	0.30	(0.16-0.41)	0.30	(0.16-0.41)	0.05	0.00
Hollandsche IJssel	R8a	0.18	(0.09-0.26)	0.23	(0.09-0.37)	0.23	(0.09-0.37)	0.26	(0.09-0.43)	0.06	0.03
IJssel	R7	0.56	(0.44-0.64)	0.57	(0.48-0.68)	0.57	(0.48-0.67)	0.54	(0.48-0.58)	0.01	-0.03
IJsselmeer	M21b	0.35	(0.33-0.37)	0.35	(0.33-0.37)	0.35	(0.33-0.37)	0.35	(0.33-0.37)	0.00	0.00
Ketelmeer en Vossemeer	M21b	0.34	(0.3-0.37)	0.34	(0.3-0.37)	0.34	(0.3-0.37)	0.34	(0.3-0.37)	0.00	0.00
Markermeer	M21a	0.37	(0.36-0.38)	0.37	(0.36-0.38)	0.37	(0.36-0.38)	0.37	(0.36-0.38)	0.00	0.00
Nederrijn/Lek	R7	0.44	(0.34-0.56)	0.44	(0.34-0.55)	0.44	(0.34-0.55)	0.49	(0.46-0.54)	0.00	0.04
Oude Maas (bovenstrooms Hartelkanaal), Spui, Noord, Lek	R8a	0.28	(0.16-0.33)	0.36	(0.16-0.42)	0.36	(0.16-0.42)	0.36	(0.16-0.42)	0.08	0.00
Randmeren-Oost	M14	0.48	(0.47-0.48)	0.48	(0.47-0.48)	0.48	(0.47-0.48)	0.48	(0.47-0.48)	0.00	0.00
Randmeren-Zuid	M14	0.48	(0.47-0.48)	0.48	(0.47-0.48)	0.48	(0.47-0.48)	0.48	(0.47-0.48)	0.00	0.00
Volkerak	M20	0.39	(0.39-0.39)	0.39	(0.39-0.39)	0.39	(0.39-0.39)	0.39	(0.39-0.39)	0.00	0.00
Zandmaas	R7	0.52	(0.48-0.55)	0.49	(0.48-0.5)	0.49	(0.48-0.5)	0.49	(0.48-0.5)	-0.04	0.00
Zoommeer, Eendracht	M20	0.39	(0.39-0.39)	0.39	(0.39-0.39)	0.39	(0.39-0.39)	0.39	(0.39-0.39)	0.00	0.00
Zwarte water	R7	0.46	(0.43-0.48)	0.50	(0.49-0.51)	0.50	(0.49-0.51)	0.50	(0.49-0.51)	0.05	0.00
Zwartemeer	M14	0.46	(0.45-0.46)	0.46	(0.45-0.46)	0.46	(0.45-0.46)	0.46	(0.45-0.46)	0.00	0.00

8.4.3 Vissen

Voor de vissen konden geen EKR-scores berekend worden omdat er geen goede schatting voor de biomassa van de vissen beschikbaar is.

9 Discussie en aanbevelingen

9.1 Stand van zaken

Met het huidige model is een tool verkregen die op basis van milieuumstandigheden de potentie van het voorkomen van soorten macrofyten, macrofauna en vissen kan berekenen op een klein ruimtelijk schaalniveau. Ten opzicht van de module Ecologie Rijkswateren van 2015 is er veel verbeterd:

- Er is gemakkelijk te switchen in de soorten die doorgerekend worden, welke milieufactoren meegewogen worden en welke ruimtelijke eenheden meegenomen worden.
- Er wordt optimaal gebruik gemaakt van beschikbare kennis. Resultaten van recente onderzoeken naar voorkeuren van soorten (zoals van de SSD-modellen uit het promotieonderzoek van Frank Collas (Collas, 2019)) konden direct in het model toegevoegd worden en meegenomen worden in de berekeningen. Ook andere kennis van soorten, die mogelijk in de toekomst beschikbaar komt, kan naar verwachting gemakkelijk in de module Ecologie Rijkswateren worden opgenomen.
- De basis van het model bestaat uit onafhankelijke datasets waardoor de resultaten objectief vergeleken kunnen worden met monitoringsdata van de Rijkswateren. In de voorgaande versie waren de monitoringsdata van de Rijkswateren zelf invoer.
- De ruimtelijke diversificatie maakt het mogelijk om:
 - Onderscheid te maken binnen een waterlichaam;
 - Milieufactoren beter te schatten;
 - Gradiënten van diepte en stroomsnelheid beter weer te geven;
 - Patronen te herkennen in milieufactoren en voorkomen van soorten.
- De resultaten van het model in de vorm van lijsten van potentieel voorkomende soorten maakt het mogelijk om de vergelijking tussen resultaten en monitoringsgegevens op verschillende niveaus te doen:
 - Afzonderlijke soorten;
 - Gildes, functionele groepen en traits van soorten;
 - EKR-scores en deelmaatlaten voor de KRW;
 - Andere geschikte indicatoren (Natura 2000-soorten).Hierdoor krijgen de modelresultaten een hogere meerwaarde waarmee ze ook ingezet kunnen worden bij andere projecten (bijvoorbeeld Programmatische Aanpak Grote Wateren, PAGW).
- Voor het berekenen van de EKR-scores voor vissen is nog een aanpassing noodzakelijk.
- De aanpak met Python-scripts heeft ervoor gezorgd dat het model op een gestructureerde en reproduceerbare manier werkt.

9.2 Validatie

Op dit moment is er slechts een beperkte validatie uitgevoerd, namelijk op het ruimtelijk patroon van het voorkomen van twee soorten waterplanten en op de vergelijking van berekende en gemeten EKR-scores. Bij de validatie gaat het om het vergelijken van berekende resultaten met gemonitorde waarnemingen.

Bij de afstemming over welke berekeningsresultaten vergeleken moeten worden met welke monitoringsresultaten zijn een aantal aandachtspunten van belang:

- 1 De berekeningen zijn vlak-dekkend, terwijl de monitoring steekproeven op specifieke punten betreft. In de Rijkswateren dekken de KRW-meetpunten niet alle ecotopen in alle ecologische eenheden. In de meren kan het begroeide areaal groter zijn dan het deel dat gemonitord wordt (bijvoorbeeld het Markermeer). Het lijkt erop alsof in de rivieren de waterplanten alleen worden gemonitord op plekken die al begroeid zijn met waterplanten. In ieder geval vindt bij het doorvertalen van de monitoringsresultaten naar de beoordeling van het gehele begroeibare areaal geen correctie plaats voor het oppervlak van het begroeibare areaal dat niet met waterplanten begroeid is. Dit heeft effect op zowel de soortensamenstelling als de bedekkingsgegevens van de monitoring.
Daarnaast kunnen de berekeningsresultaten ook niet zonder meer gebruikt worden voor de vergelijking. Dit geldt met name voor het vergelijken van de EKR-scores. Om de EKR-scores op basis van de berekeningsresultaten beter te kunnen vergelijken met de EKR-scores op basis van de monitoringsgegevens, worden er momenteel berekeningsresultaten uitgefilterd (bijvoorbeeld geen strangen, aangetakte plassen en geïsoleerde plassen voor macrofyten en macrofauna in de rivieren, geen geïsoleerde plassen voor vissen in de rivieren, geen oevers voor de meren). Welke ecotopen hierbij moeten worden uitgefilterd, moet nader worden bekeken. Het feit dat alleen begroeid areaal bemonsterd wordt heeft effect op de geschatte bedekking uit de monitoring en moet bij de vergelijking met berekende resultaten mogelijk gecorrigeerd worden. Dit is nu nog niet gedaan.
- 2 Er is een script gemaakt om de validatie automatisch te doen op verschillende schaalniveaus (waterlichaam, deelgebied en ecologische eenheid). De vraag is echter welke statistieken het meest geschikt zijn voor een vergelijking waarbij aan de ene kant vlakdekkend wordt gerekend en aan de andere kant steekproefsgewijs wordt gemonitord. Hier moet verder naar gekeken worden.
- 3 Na de pilot in 2017 voor IJssel en Markermeer was het idee dat de modellen strenger moesten selecteren (er werden teveel soorten berekend). Voor de IJssel is de rivier-dynamiek van het systeem opgenomen als de milieufactoren Stroomsnelheid, Droogval en Maximale diepte. Voor het Markermeer is de golfwerking door de wind en door scheepvaart in het model opgenomen. Het resultaat is dat hiermee de patronen van in ieder geval het voorkomen van soorten macrofyten beter voorspeld worden. Hiervoor moeten de resultaten verder worden uitgewerkt en moeten de kaarten vergeleken worden met metingen.
- 4 De plausibiliteit van het voorkomen van patronen en soorten waterplanten in de rivieren is gedaan op basis van expertkennis. Veldwaarnemingen in de IJssel (door Gerben van Geest) en in de Maas (door Rick Wortelboer) zijn vergeleken met de berekende resultaten. Hieruit volgde dat de resultaten plausibel zijn voor wat betreft het patroon en de soortensamenstelling en bedekkingen. Een verdere analyse van verspreidingspatronen moet nog worden uitgevoerd voor waterplanten in meren en macrofauna en vissen.

De validatie kan plaatsvinden van grof naar fijn: van verschillen tussen waterlichamen en deelgebieden naar verschillen tussen ecotopen. Een andere optie is om eerst te kijken of het potentieel voorkomen van bepaalde soortgroepen, gildes of soorten met gezamenlijke kenmerken (traits) goed wordt gemodelleerd.

Een belangrijke vraag bij de validatie is ook hoe om te gaan met een ecotoop dat niet permanent geschikt is voor een soort: deze soort wordt dan soms wel en soms niet aangetroffen in de monitoring. Volgens de berekeningen zou die groeiplaats dan niet permanent geschikt zijn en dus geen potentieel habitat voor de betreffende soort vormen. De vraag is of dit uit de monitoringsgegevens gehaald kan worden en hoe hiermee om te gaan in de validatie.

De validatie van de berekeningen voor macrofauna en vissen moet nog worden uitgevoerd. Voor macrofauna zijn hierbij experts van buiten Deltares nodig.

Aanbeveling: Verdere validatie van de soortmodellen op verschillende niveaus (patronen, soortenlijsten, traits/gildes). Hierbij moet meer aandacht besteed worden aan de macrofauna in samenwerking met externe experts.

9.3 Vergelijking berekende met gemeten EKR's

Bij de overige waterflora worden bij een aantal waterlichamen lagere EKR's per waterlichaam berekend dan die op basis van monitoring. Nader onderzoek moet uitwijzen waar dit aan ligt. Oorzaken kunnen zijn:

- Verkeerde waarden van milieufactoren toekennen aan ruimtelijke eenheden;
- de specifieke ligging van meetpunten;
- de keuze welke resultaten uit de berekeningen meegenomen moeten worden in de vergelijking (nu een selectie van ecotopen) met monitoringsdata. Op dit moment is de EKR gespecificeerd per waterlichaam, maar een kleiner ruimtelijk schaalniveau zou tot betere overeenstemming en meer begrip van de oorzaak van eventuele verschillen kunnen leiden.
- Ook zou naar een kleiner schaalniveau (rekeneenheden van het WAQUA-model, zonder aggregatie naar ecotoop per ecologische eenheid) ingezoomd kunnen worden, om een precieze oorzaak van verschillen te kunnen aanwijzen. Dit is in feite een onderdeel van verdere validatie.

Een verdere validatie is voorwaarde voor het kunnen verbeteren van de vergelijking tussen berekende en gemonitorde EKR-scores.

Aanbeveling: Verdere analyse van de verschillen tussen berekende en gemeten EKR-scores en onderliggende oorzaken.

9.4 Toepasbaarheid van de module Ecologie Rijkswateren

In de huidige versie van de module Ecologie Rijkswateren worden de voorkeuren van soorten in termen van milieufactoren mono-factorieel vergeleken met kenmerken van de omgeving. Alleen voor macrofyten is er een (beperkte) analyse gedaan naar de onderlinge afhankelijkheid van milieufactoren. Er is bewust gekozen voor deze eenvoudige benadering. In het verleden gaven modellen van Nederlandse soorten waarbij milieufactoren en hun interacties werden meegenomen, ook niet altijd goede voorspellingsmodellen van soorten (Ertsen et al, 2012). Uit een verdere validatie moet blijken of de huidige aanpak van de module Ecologie Rijkswateren voldoende is en waar dit eventueel verbeterd kan worden door interactie van milieufactoren mee te nemen.

In de ecologie spelen zich meer processen af dan alleen een individu die zich vestigt op een plaats die daarvoor geschikt is. De plek moet namelijk ook beschikbaar zijn. Als er al een andere soort groeit of leeft, dan moet een nieuwe soort concurreren met de al aanwezige soort. Doordat concurrentie in de module Ecologie Rijkswateren nu niet wordt meegenomen, wordt het aantal potentieel aanwezige soorten waarschijnlijk overschat. Een nadere analyse van modelresultaten en monitoringsresultaten kan aanwijzingen geven in welke ecotopen dit optreedt. Hiervoor zou dan in de module Ecologie Rijkswateren een correctiefactor kunnen worden opgenomen (bijvoorbeeld: van deze set van 3 soorten kan in dit ecotoop maar 1 soort voorkomen).

De module Ecologie Rijkswateren kan voor meer doeleinden worden toegepast dan analyses van maatregelen en berekeningen van EKR's per waterlichaam. Het model berekent nu namelijk ook al de limiterende factoren (mono-factorieel) per locatie en per soort. Deze informatie is tot nu toe alleen gebruikt voor het checken van de berekeningen, maar hiermee kan ook een analyse gemaakt worden van welke milieufactor voor welke soort beperkend is, op een specifieke locatie of op alle locaties van een bepaald type, en hoe dit samenhangt met de inspanningen om een gesteld doel te halen. Dit kan helpen bij het bepalen van de effectiviteit van maatregelen. Daarnaast kan het model op verschillend detailniveau gebruikt worden, zoals de regio's van Rijkswaterstaat, maar ook op een meer lokaal niveau.

De aanpak van preferenties en milieufactoren zoals nu toegepast voor de Rijkswateren is generiek en kan ook in andere watersystemen worden toegepast. De preferentie-data gelden namelijk ook voor de individuen van soorten die in regionale wateren leven. De milieufactoren vereisen wel een locatie-specifieke invulling. Uiteindelijk zou het ook een vervanging of aanvulling kunnen zijn voor de effectmodellen voor regionale wateren in de KRW-Verkenner waarin het soortniveau wordt overgeslagen (directe relatie tussen een set van milieufactoren en de EKR-score).

Op langere termijn kan de module Ecologie Rijkswateren bijdragen aan de discussie over nieuwe KRW-maatlatten en de numerieke invulling van deze maatlatten. Zoals: Wat is nodig in een maatlat? Moet er wel of niet een schatting voor de abundantie in opgenomen worden? Wat komt wel en niet tot uiting in de EKR-score? Welke groepen bepalen de gevoeligheid? Hierbij kan de KRW-Verkenner een brug slaan tussen waterbeheerders en ecologen doordat het model expliciet milieufactoren linkt aan het voorkomen van soorten en direct het effect op de EKR-score kan laten zien.

Aanbeveling: Breng in kaart waar het rekenmodel ondersteunend kan zijn binnen het beleidsproces en wat het toepasbaarheidsbereik is van het model.

9.5 Verdere ontwikkeling berekeningen kwaliteitselementen

9.5.1 Aanvulling soortenset macrofauna

Slechts een deel van de maatlatsoorten van macrofauna wordt momenteel door het model berekend. Bij de soorten die ontbreken zijn er geen preferenties bekend voor bepaalde milieufactoren. Een snelle scan leert dat dit deels algemene milieufactoren zijn zoals stroomsnelheid, ammoniumgehalte en pH. Deze preferenties zijn deels beschikbaar in de Limnodata (data van abiotiek en biotiek van de waterschappen over de periode 1963 t/m 2012).

Aanbeveling: Aanvullen van preferentiedata van ontbrekende maatlatsoorten uit de database van de Limnodata

9.5.2 Biomassa vissen en EKR-berekening voor vissen

Connectiviteit is een ESF die vooral voor vissen van groot belang is. Voor vissen is wel de habitatgeschiktheid berekend op basis van de milieufactoren, maar is er geen filtering op de resultaten uitgevoerd op basis van wel/geen connectiviteit met aangrenzende waterlichamen. Ook zijn de biomassa's nog niet berekend. De biomassa van vissoorten is nodig om een realistische berekening van de EKR-score te kunnen maken: de maatlatten voor vissen gebruiken namelijk de biomassa-verhoudingen tussen soorten en gildes in de berekeningen van de deelmaatlatten.

Het idee is om de biomassa af te leiden van het areaal geschikt habitat. Een eerste berekening leverde geen goede resultaten op, vanwege de aggregatie van diepte- en stroomsnelheidsgegevens over gehele ecotopen. Gebruik maken van de onderliggende WAQUA-, zoals berekend is voor macrofyten, levert een betere areaalschatting op waarmee wel een schatting van de visbiomassa is te maken.

Aanbeveling: Pas de methodiek voor het schatten van geschikt areaal voor waterplanten toe voor vissen om een biomassa-schatting te krijgen en EKR-scores te kunnen berekenen.

9.5.3 Overige kwaliteitselementen

De huidige berekeningen in de KRW-Verkenner voor de ecologie van de Rijkswateren richten zich uitsluitend op macrofyten, macrofauna en vissen. Dit betekent dat voor bepaalde waterlichamen (onderdelen van) kwaliteitselementen ontbreken: fytoplankton (alleen meren) en fyto bentos (alleen voor de rivieren, onderdeel van kwaliteitselement Overige Waterflora). De gevoeligheid van deze soortgroepen is anders dan voor bijvoorbeeld de macrofyten: de link met de waterkwaliteit is veel sterker, terwijl de relatie met standplaatsfactoren veel geringer of afwezig is. Om voor deze soortgroepen met de module Ecologie Rijkswateren berekeningen te kunnen maken, zou als eerste insteek een directe relatie tussen de waterkwaliteit en de EKR-score (beide op het ruimtelijke schaalniveau van KRW-waterlichaam) gezocht kunnen worden (vergelijkbaar met de huidige effectmodellen van de KRW-Verkenner voor regionale wateren). Hiervoor kunnen de schattingen van de milieufactoren, die nu in het model gebruikt zijn, worden toegepast.

In eerste instantie kan gedacht worden aan een multiple regressie tussen milieufactoren en EKR-scores van de kwaliteitselementen.

Aanbeveling: Effectmodellen opstellen voor fytoplankton en fyto bentos voor de Rijkswateren.

9.6 Ruimtelijke samenhang

De ruimtelijke samenhang in de module Ecologie Rijkswateren is nog niet overal goed doorgevoerd. Bij de rivieren worden de aangetakte diepe plassen met de ecotopen (RvD en RvM) als M16 geïnclassificeerd terwijl naastliggende ondiepe ecotopen (RvO) als M5 zijn geïnclassificeerd. Eigenlijk horen de ondiepe ecotopen als ondiepe zone bij het diepe plas en zouden de resultaten van beide gecombineerd moeten worden om voor de gehele plas met de maatlat voor M16 doorgerekend te kunnen worden. Dit geldt ook voor geïsoleerde plassen. Ook stukken langs de hoofdgeul hebben in sommige gevallen het watertype M5 in plaats van R7/R16.

Aanbeveling: Verbeteren van ruimtelijke samenhang in de schematisatie van de module Ecologie Rijkswateren.

9.7 Effecten van KRW-maatregelen op de EKR-score van waterlichamen

De resultaten van de module Ecologie Rijkswateren tonen dat de effecten van KRW-maatregelen in Rijkswateren over het algemeen een beperkt effect hebben op de EKR-score van deze wateren. Dit was bij de eerdere evaluatie van de KRW-maatregelen uit het BPRW in 2016 ook het geval (Wortelboer et al, 2016). Echter, nu kon (beter dan voorheen) aangegeven worden dat maatregelen op zich wel effect hebben op het voorkomen van soorten, maar dat de effecten op de EKR-scores per waterlichaam beperkt zijn, en wel omdat:

- 1 De schaal waarop een maatregel genomen wordt zeer klein is ten opzichte van de schaal van het gehele waterlichaam. Het effect van de aanleg van een soortenrijk habitat met hoge EKR-score gaat verloren bij het areaalgewogen aggregeren van de EKR-scores naar waterlichaam-niveau;
- 2 maatlaten gebruik maken van verhoudingen tussen groepen van soorten, waardoor veranderingen in soortensamenstelling niet altijd zichtbaar worden in de EKR-score. Een belangrijk aspect hierbij is de aanzienlijke lengte van de soortenlijsten voor de maatlaten.
- 3 De bemonsteringsstrategie voor waterplanten in rivieren een beperking heeft, waardoor uitbreiding van het begroeid areaal niet zichtbaar is in de EKR-score.

Andersom is het nu mogelijk om doelsoorten aan te wijzen en met de module Ecologie Rijkswateren te kijken welke milieufactoren beperkend zouden kunnen zijn. Of om te kijken met welke verandering in de milieufactoren een hogere biodiversiteitswaarde of EKR-score behaald kan worden.

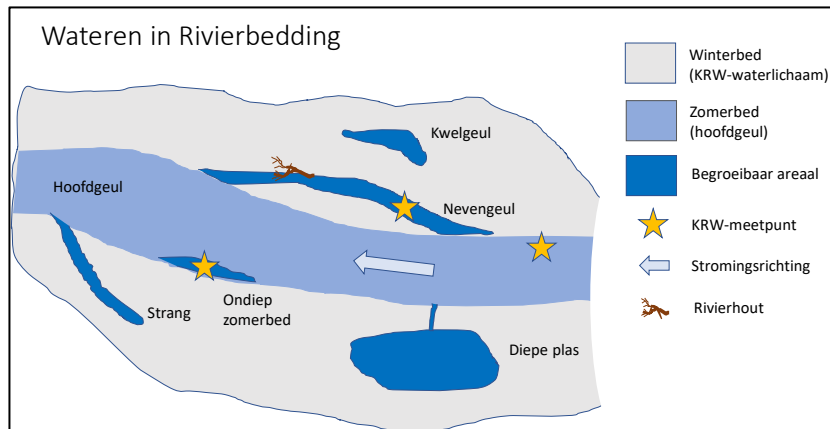
Omdat de meeste KRW-maatregelen worden genomen in de rivieren, wordt bovenstaande punten en andere discussiepunten hieronder geïllustreerd met voorbeelden van de rivieren.

9.7.1 Relatief geringe omvang van maatregelen en effecten moeilijk te vangen in standaard monitoring

Rivieren zijn grote watersystemen die begrensd worden door de winterdijken. De diversiteit aan habitats binnen deze winterdijken is groot, mede doordat ook de variatie in watertypen groot is: van grote en diepe stroomgeulen tot ondiepe geïsoleerde kwelgeulen en droogvallende plassen (Figuur 1). Echter, van oudsher wordt de monitoring op een aantal punten in de grote rivieren gedaan. Vismonitoring vindt plaats in alle wateren die in open verbinding staan met de hoofdgeul. Macrofauna wordt langs de kant bemonsterd. Waterplanten worden in de begroeide delen van het begroeibaar areaal bemonsterd. In recente jaren zijn er naast de meetpunten in de hoofdgeul enkele meetpunten in nevengeulen bijgekomen. Op basis van deze standaard monitoring wordt de ecologische toestand voor de KRW geëvalueerd.

Ten opzichte van het areaal van de hoofdgeul zijn de KRW-maatregelen relatief klein en daarbij liggen deze maatregelen niet per definitie vlakbij een meetpunt. Ook de locatie van een maatregel ten opzichte van het meetpunt is van belang: een meetpunt bovenstrooms van een maatregel, zoals rivierhout in een nevengeul (zie Figuur 9.1), toont geen verandering als gevolg van deze maatregel voor bijvoorbeeld macrofauna. Kortom, alleen als een maatregel een groot uitstralend effect heeft, kan het effect op standaardmeetpunten zichtbaar zijn. Met de KRW-Verkenner is op dit moment geen schatting te maken van een uitstralend effect omdat nu in de berekeningen geen gebruik van de nabijheid van andere habitats om het voorkomen van soorten in een habitat te berekenen.

Aanbeveling: Inzetten van de KRW-Verkenner voor het verder optimaliseren van maatregelen, het zichtbaar krijgen van effecten en de EKR-scores per waterlichaam.



Figuur 9.1 Schematische weergave van een KRW-waterlichaam Rivier.

9.7.2 Verschillende maatlatten

Omdat voor de KRW naar Europa alleen gerapporteerd wordt over het waterlichaam met de maatlatten van het waterlichaam, kan het zijn dat de effecten van maatregelen niet juist worden belicht. Als bijvoorbeeld het KRW-watertype van een rivier R7 is (langzaam stromende rivier/nevengeul op zand/klei), dan worden alleen de resultaten die doorgerekend zijn met de maatlat voor *dat* KRW-watertype in de beoordeling opgenomen. De maatregelen voor de KRW betreffen echter niet alleen de hoofdstroom, maar vaak juist de aanleg van nevengeulen, strangen, kwelgeulen en natuurvriendelijke oevers van diepe aangetakte plassen. Deze mate van natuurlijkheid en biodiversiteit in deze extra ecotopen worden niet optimaal gewaardeerd met een maatlat voor een permanent stromend riviersysteem als die voor R7. De diversiteit aan watertypen blijft onderbelicht wanneer enkel één maatlat voor een riviertype wordt toegepast. Nevengeulen kunnen vanwege hun stromende karakter wel beoordeeld worden met de maatlat R7, maar de meest geschikte KRW-maatlat voor strangen en kwelgeulen is niet R7 maar M5 (rivierbegeleidend water; Figuur 6.1). Deze laatste wateren worden niet meegenomen in de beoordeling van het waterlichaam en zijn daarom hier ook niet meegenomen bij het beoordelen van de KRW-maatregelen. Het is echter wel mogelijk om de hogere diversiteit aan habitats en soorten in het riviersysteem als gevolg van KRW-maatregelen zichtbaar te maken door naar andere indicatoren dan de EKR-score te kijken.

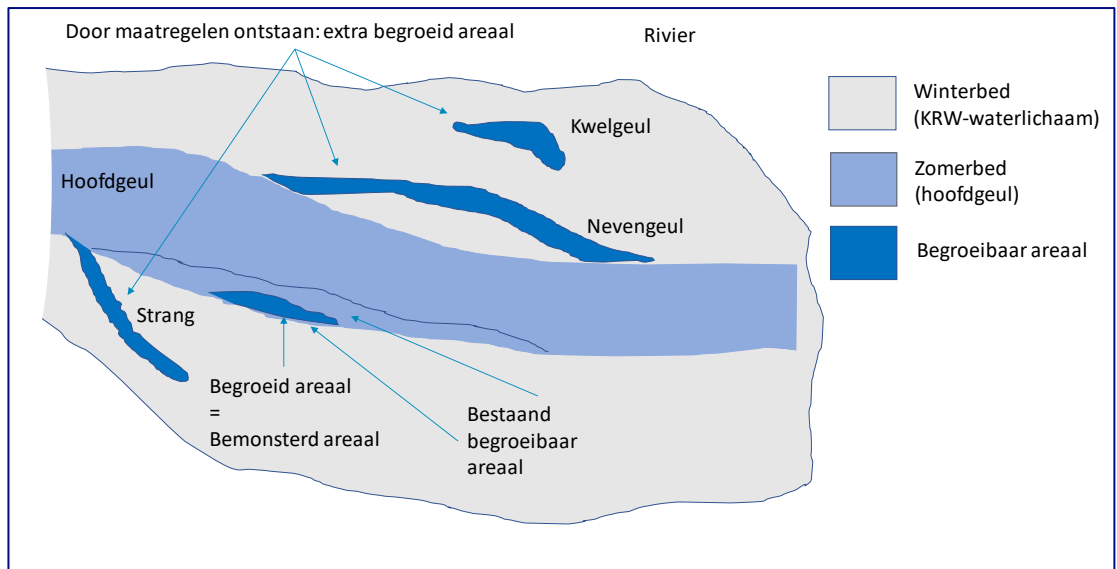
Aanbeveling: Maak de overige effecten van maatregelen zichtbaar in de resultaten.

9.7.3 Monitoring van waterplanten vangt het signaal van ruimtelijke maatregelen niet op

De voorgestelde KRW-maatregelen voor de Rijkswateren hebben in sommige watersystemen wel een groot effect op het areaal dat potentieel door waterplanten kan worden begroeid (het zogenaamde begroeibaar areaal; Figuur 9.2). In de modelberekeningen stijgt het percentage begroeibaar areaal ten opzichte van het gehele oppervlak water binnen een waterlichaam van 25% in 2009 naar 65% in 2027. Dit betekent dat er veel meer areaal met waterplanten ontstaat. Dit is ook van belang voor macrofauna en vissen, die hierin kunnen opgroeien en leven. Voor de beoordeling van de waterplanten heeft dit echter nauwelijks effect doordat alleen bemonsterd wordt in reeds door waterplanten begroeide stukken. Door de maatregelen komt er alleen maar meer van hetzelfde bij.

Als het begroeibaar areaal representatief bemonsterd zou worden (zoals door de KRW wordt voorgeschreven, dus ook de niet-begroeide plekken worden meegeteld), dan leiden de maatregelen wel tot een grote verbetering van de EKR-score. Een groter deel van het totale begroeibare areaal is immers begroeid. Let op dat ook hier geldt dat voor de beoordeling alleen de hoofdgeul en de nevengeul meegenomen worden en effecten van andere maatregelen (in delen van het watersysteem waarvan de EKR-score met een maatlat voor een ander watertype berekend wordt) niet meetellen. Een complicatie hierbij is dat de monitoringspunten in het MWTL voor lange tijd vastliggen en dat er geen meetpunten op de plaatsen van de maatregelen liggen. Maar zelfs dan is een correctie voor begroeid areaal versus begroeibaar areaal op de monitoringsresultaten mogelijk en zinvol.

Aanbeveling: Analyseer de resultaten van begroeibaar areaal in relatie tot de huidige monitoringslocaties. Kijk hoe de representativiteit van de monitoring beter in beeld gebracht kan worden en door kan werken in de EKR-scores.



Figuur 9.2 Door KRW-maatregelen (bijvoorbeeld de aanleg van strangen, nevengeulen en kwelgeulen) wordt het begroeide areaal in de rivier als geheel vergroot (uitgaande van een optimale uitvoering van de maatregel), maar doordat alleen het huidige begroeide areaal bemonsterd en beoordeeld wordt (bemonsterd areaal in de figuur), is de uitbreiding van het begroeide areaal niet zichtbaar in de EKR-score van het waterlichaam.

9.7.4 Verbetering van de connectiviteit zichtbaar maken

Effecten op de connectiviteit van watersystemen zijn met de KRW-Verkenner niet doorgerekend. Toch kunnen deze maatregelen wel degelijk belangrijk zijn voor het watersysteem. Een voorbeeld hiervan is de maatregel herinrichting van beekmondingen. Door deze maatregel krijgen de beken langs de Maas een natuurlijker aansluiting met de rivier. Stuwen worden zoveel mogelijk verwijderd en de lengte van de beek wordt vergroot om een natuurlijke afvoer te kunnen garanderen. Tegelijkertijd krijgt de rivier invloed op het beekstelsel doordat wisselingen in het rivierpeil ook merkbaar gaan worden in het uitstromende deel van de beek.

Aanbeveling: Uitwerken hoe de connectiviteit van het watersysteem als geheel (rivieren met zijbeken) verbeterd is als gevolg van de KRW-maatregelen.

9.7.5 Maatregelen op het gebied van waterkwaliteit

De veranderingen in nutriëntenconcentraties in het water, zoals die voorspeld worden met de verspreidingsmodule van de KRW-Verkenner, zijn nu niet doorgevoerd als veranderingen van de milieufactoren in de verschillende zichtjaren bij het doorrekenen van de maatregelen voor het BPRW.

Aanbeveling: Reken de maatregelen door inclusief de veranderingen in nutriëntenconcentraties.

9.7.6 Kennisregels waterplanten

Voor de waterplanten is nu gebruik gemaakt van de (vernieuwde) kennisregels voor de Rijntakken (Van Geest & Teurlinckx, ongepubliceerd). Deze kennisregels gaan uit van gevonden patronen in de rivieren. Ze maken onder andere gebruik van een empirische waarde voor de diepte: beneden deze diepte (1.9 m ten opzichte van gemiddeld peil in mei) zijn in de Rijntakken geen waterplanten waargenomen. Echter, volgens het model van de KRW-Verkenner zou niet de diepte maar de troebelheid van het water en de diepte met 4% licht op de bodem (als grens van waterplantengroei) gehanteerd moeten worden.

Door WVl de vraag gesteld hoe deze vaste diepte in de kennisregels zich verhoudt tot de grote veranderingen in de helderheid van het water in de rivieren over de laatste 10 jaar. Het verdient aanbeveling om de kennisregel voor waterplanten aan te passen en te baseren op de gemeten en te verwachten troebelheid van het water. Het resultaat kan zijn dat de grens van waterplantengroei in dat geval in de buurt van de 2 m diepte uitkomt, maar dat is dan een resultaat, geen vooraf opgelegde grens.

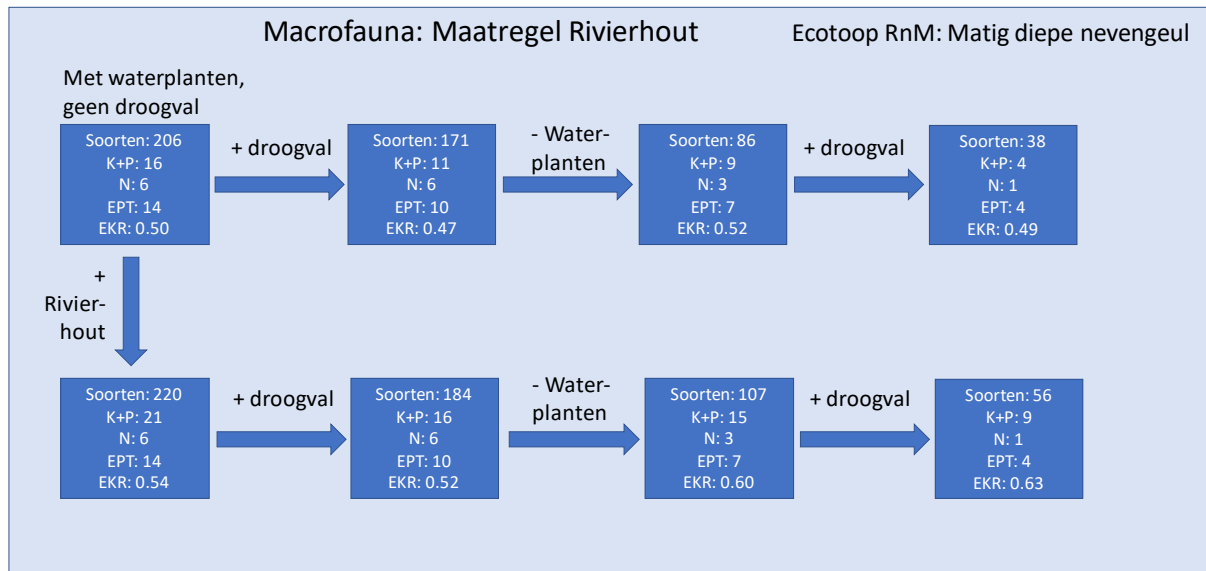
Aanbeveling: Gebruik maken van extinctiegegevens voor het voorspellen van maximale diepte voor vegetatie.

9.7.7 Maatregelen hebben wel effect op soorten Macrofauna maar niet op de EKR-score

Ongeacht of de monitoring de effecten van maatregelen op kan vangen en dat de juiste maatlaten worden gebruikt, blijkt de berekening van de EKR-scores een verandering in de soortendiversiteit, zowel samenstelling als absoluut, niet goed weer te geven. De EKR-berekening is namelijk gebaseerd op de verhouding tussen positief-indicerende en kenmerkende soorten enerzijds en negatief-indicerende soorten anderzijds. Dat maakt de EKR robuust, maar tegelijkertijd ook ongevoelig voor bepaalde type veranderingen in de soortgemeenschap. Als voorbeeld, de maatlat waarmee de beoordeling voor macrofauna in rivieren wordt uitgevoerd toont niet het effect van een toegenomen diversiteit en meer soorten door het aanbrengen van rivierhout. Rivierhout zorgt voor een diversificatie van de habitat, waardoor voor meer soorten een geschikte plek in bijvoorbeeld een nevengeul te vinden is.

Met de module Ecologie Rijkswateren is doorgerekend wat het effect van deze maatregel op lokale schaal is. De EKR-score van een nevengeul verandert slechts weinig bij het optreden van droogval en het verdwijnen van waterplanten (bovenste rij vakken in Figuur 9.3, van links naar rechts gezien). Dit terwijl het totaal aantal soorten, het aantal kenmerkende en positieve soorten en het aantal EPT-families wel sterk daalt. De maatregel rivierhout levert een beperkt positief effect op (+0.04) onder normale omstandigheden (wel waterplanten, geen droogval). Echter, onder stress (droogval, geen waterplanten) leidt de aanwezigheid van rivierhout tot een toename van +0.13 van de EKR-score. Dit terwijl het aantal soorten, kenmerkende soorten en het aantal EPT-families sterk verlaagd is (net als in de situatie zonder rivierhout). Dit toont aan dat een EKR-score niet noodzakelijkerwijs een goede maat is voor de biodiversiteit.

Aanbeveling: Ga na hoe de effecten op biodiversiteit van de maatregelen beter in beeld gebracht kunnen worden.



Figuur 9.3. Effect van de maatregel rivierhout zonder en met droogtestress en de aanwezigheid van waterplanten in een waterlichaam van KRW-watertype R7. Soorten: totaal aantal soorten; K+P: aantal soorten die kenmerkend en positief dominant zijn voor de maatlat R7; N: aantal negatief scorende soorten; EPT: aantal families uit de orden van Eendagsvliegen (Ephemeroptera), Steenvliegen (Plecoptera) en Kokerjuffers (Trichoptera); EKR: EKR-score op de KRW-maatlat van R7.

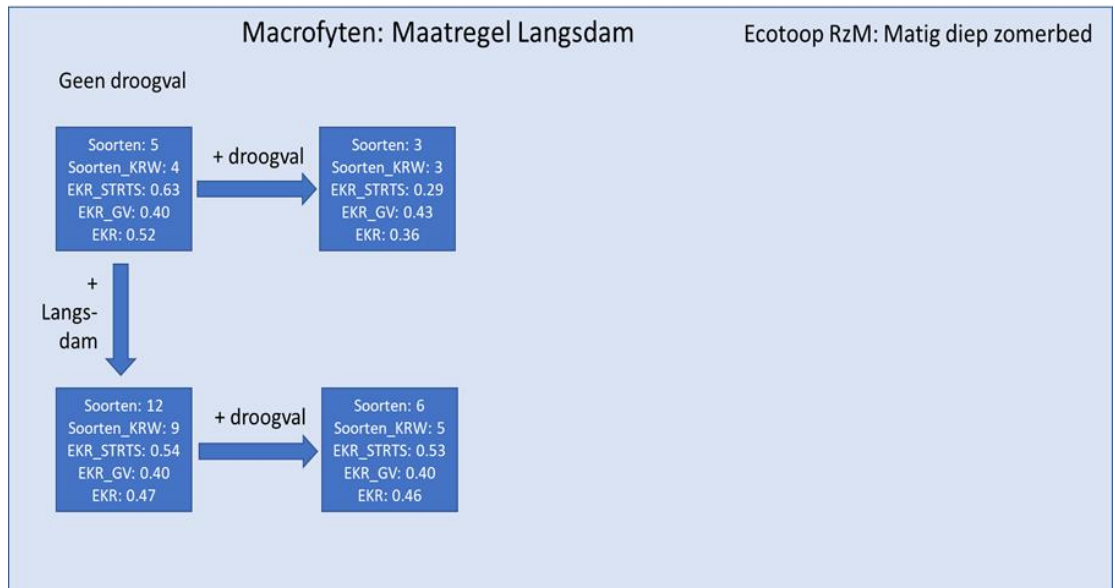
9.7.8 Effecten van maatregelen worden versterkt of omgedraaid door milieufactoren

De maatregel langsdammen is in de KRW-Verkenner voorgesteld een effect te hebben op de milieufactor scheepvaart. Er is hierbij verondersteld dat de milieufactor golfwerking als gevolg van scheepvaart achter langsdammen de laagste waarde (categorie 1) toegekend krijgt. Voor een rivier als de Waal betekent dit voor de oeverageul achter de langsdam een verandering van categorie 3 (intensieve scheepvaart) naar categorie 1 (weinig tot geen scheepvaart). Een hoge dynamiek door scheepvaart kan een belemmering zijn voor de groei van waterplanten doordat door de zuigende werking het zand tussen de wortels van de waterplanten wordt weggezogen of doordat de stengels breken bij sterke wisseling van stroomsnelheid en stroomrichting als gevolg van de golfslag.

Het effect van langsdammen volgens de KRW-Verkenner is een toename van het aantal soorten (+7) maar een geringe afname (-0.05) van de EKR-score (Figuur 9.4). Er komen dus wel soorten waterplanten bij, maar deze nieuwe soorten scoren minder hoog op de maatlat van R7 dan de bestaande soorten. Betreft het echter een gebied in de rivier dat periodiek droogvalt als gevolg van waterstandswisselingen in de rivier, dan neemt het aantal soorten in de standaard situatie sterk af (van 5 naar 3) met een verlaging van de EKR-score (-0.16). Achter een langsdam treedt bij droogval naar verwachting ook een afname van soorten op (van 12 naar 6 soorten), maar blijft de EKR-score vrijwel gelijk (-0.01). Een licht negatief effect van de aanleg van een langsdam in dit ecotoop (-0.05) is dus door de milieufactor droogval veranderd in een positief effect (+0.10). De milieufactor Droogval zorgt dus voor een tegengestelde werking van de maatregel langsdam op de EKR-score.

Een versterking van het effect van drukfactoren is te zien in het eerdere voorbeeld van macrofauna en de maatregel rivierhout (Figuur 9.3): een gering positief effect van +0.04 wordt door de milieufactoren droogval (meer droogval) en substraat waterplanten (verdwijnen van waterplanten) een positief effect van +0.14.

Aanbeveling: Het verkrijgen van een completer beeld van de interacties tussen drukfactoren en van het effect van maatregelen op indicatoren voor biodiversiteit en deelmaatlaten van de KRW-kwaliteitselementen.



Figuur 9.4 Effect van maatregel langsdammen op macrofyten in een rivier (watertype R7).

9.8 Verbeterpunten van technische aard

- Versiebeheer op de onderliggende datasets, regelen van updates en afstemming tussen datasets. Publicatie van de datasets zodat deze ook door anderen (met eventueel andere benaderingswijze) gebruikt kunnen worden. Het volledig integreren van de twee datasets van Waterplanten & Waterkwaliteit (RU, STOWA) is aan te bevelen;
- Verder automatiseren van de berekeningen, waardoor resultaten sneller berekend kunnen worden. Ook de foutgevoeligheid van de berekeningen (voorkomen dat een aanpassing op meerdere plaatsen gedaan moet worden) kan hiermee verminderd worden. Hiermee wordt tegelijkertijd het gebruiksgemak verhoogd;
- Reflectie op de gebruikte methode van het afleiden van soortmodellen: wat kan beter?
- Verbetering van de theoretische onderbouwing van het gebruikte concept: Wat is het geldigheidsbereik? Zijn er statistische implicaties van de gebruikte methode? Zo ja, welke?
- Wat levert de semi-multifactor-benadering bij de waterplanten nu precies op? Heeft dit de voorspelling verbeterd? Is een dergelijke aanpak ook geschikt voor macrofauna? Voor dit laatste is echter het ontsluiten van additionele datasets van macrofauna noodzakelijk, zoals de bemonsteringsdata van macrofauna en abiotiek die nu op de website van het IHW beschikbaar zijn (zo mogelijk na integratie met oudere gegevens uit de Limnodata Neerlandica).

Aanbeveling: Ga na welke verbeteringen in het concept en het model van de KRW-Verkenner meegenomen kunnen worden bij volgende stappen en andere toepassingen.

10 Aanbevelingen

Hieronder de aanbevelingen uit het voorgaande hoofdstuk bij elkaar (in willekeurige volgorde). Zie voor een toelichting de paragrafen in het voorgaande hoofdstuk.

Aanbevelingen:

- 1 Breng in kaart waar het rekenmodel ondersteunend kan zijn binnen het beleidsproces.
- 2 Kijk of een biomassa-schatting van de vissen mogelijk is en wat hiervoor voor aanvullende informatie nodig is.
- 3 Effectmodellen opstellen voor fytoplankton en fyto benthos voor de Rijkswateren.
- 4 Verdere analyse van de verschillen tussen berekende en gemeten EKR-scores en onderliggende oorzaken.
- 5 Verdere validatie van de soortmodellen op verschillende niveaus. Hierbij moet meer aandacht besteed worden aan de macrofauna in samenwerking met externe experts.
- 6 Aanvullen van preferentiedata van ontbrekende maatlatsoorten uit de database van de Limnodata.
- 7 Verbeteren van ruimtelijke samenhang in de schematisatie van de module Ecologie Rijkswateren.
- 8 Inzetten van de KRW-Verkenner voor het verder optimaliseren van maatregelen, het zichtbaar krijgen van effecten en de EKR-scores per waterlichaam.
- 9 Maak de overige effecten van maatregelen zichtbaar in de resultaten.
- 10 Analyseer de resultaten van begroeibaar areaal in relatie tot de huidige monitoringslocaties. Kijk hoe de representativiteit van de monitoring beter in beeld gebracht kan worden en door kan werken in de EKR-scores.
- 11 Uitwerken hoe de connectiviteit van het watersysteem als geheel (rivieren met zijbeken) verbeterd is als gevolg van de KRW-maatregelen.
- 12 Reken de maatregelen door inclusief de veranderingen in nutriëntenconcentraties.
- 13 Gebruik maken van extinctiegegevens voor het voorspellen van maximale diepte voor vegetatie.
- 14 Ga na hoe de effecten op biodiversiteit van de maatregelen beter in beeld gebracht kunnen worden.
- 15 Het verkrijgen van een completer beeld van de interacties tussen drukfactoren en van het effect van maatregelen op indicatoren voor biodiversiteit en deelmaatlaten van de KRW-kwaliteitselementen.
- 16 Ga na welke verbeteringen in het concept en het model van de KRW-Verkenner meegenomen kunnen worden bij volgende stappen en andere toepassingen.

- Bloemendaal, F.H.J.L & J.G.M. Roelofs, 1988. Waterplanten en Waterkwaliteit. KNNV uitgeverij. CBS, 2003. BioBase 2003. CBS, Den Haag.
<https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/classificaties/overig/biobase-2003>
- Charta Software, 2020. BIVAS. <https://bivas.chartasoftware.com/Home>
- Collas, F.P.L., 2019. Preferences and bottlenecks. Thesis, Radboud Universiteit.
- De Waal, H., 2019. Bretpro voor windgedreven waterstanden en golven in meren. Modelbeschrijving, versie 1.2.0. Deltares, Rapport 11203721-001-GEO-0007 v0.1.
- Deltares, 2020. Gebruikershandleiding Nationaal Watermodel.
<https://publicwiki.deltares.nl/display/NW/Gebruikershandleiding+Nationaal+Water+Model>
- Fennema, M., 2019. Motivatie berekeningen en aannames toxische druk Rijkswateren. MFW.
- Hennekens, S.M., N.A.C. Smits & J.H.J. Schaminée, 2010. SynBioSys Nederland versie 2. Alterra, Wageningen UR.
- Janauer, G.A., U. Schmidt-Mumm & B. Schmidt, 2010. Aquatic macrophytes and water velocity in the Danube River. Ecol. Engineering 36, 1138-1145.
- Pot, R., 2018. QBWat, programma voor beoordeling van de biologische waterkwaliteit volgens de Nederlandse maatlatten voor de Kaderrichtlijn Water. Versie 6.02.
<http://www.roelfpot.nl/qbwat>.
- Rademakers, J.G.M. en H.P. Wolfert (1994): "Het Rivier-Ecotopen-Stelsel: Een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijkse rivierengebied", Publicaties Ecologisch herstel van Rijn en Maas nr. 61-1994, RIZA, Lelystad.
- Schutten, J., J. Dainty & A.J. Davy, 2005. Root anchorage and it's significance for submerged plants in shallow lakes. J. Ecology 93, 556-571.
- STOWA, 2014. Ecologische Sleutelfactoren. STOWA Rapport 2014-19.
- STOWA, 2015. Ecologische Sleutelfactoren voor de stromende wateren. Een methodiek in ontwikkeling. STOWA Rapport 15-W06.
- Van Geest, G, A. de Niet & S. Teurlincx, 2011. Waterplanten langs de Nederlandse Rijntakken. Huidige waarden, Aanbevelingen voor inrichting, KRW-Tool. Deltares, rapport 1203415-000-ZWS-0008.
- Van den Roovaart, J., E. Meijers, R. Smit, P. Cleij, F. van Gaalen & S. Witteveen, 2012. Landelijke pilot KRW-Verkenner 2.0: Effecten van beleidsscenario's op de nutriëntenkwaliteit. Deltares Rapport 1205716-000-ZWS-011-vj.
- Van der Linden, A., J.C. van den Roovaart, H. Visser, A. de Niet, S. Nieuwhof, R. Knoben, N. Evers, J. Rost, A. Bontsema, 2020, in prep. Update ecologische kennisregels KRW-Verkenner 2020. Deltares, RoyalHaskoningDHV, Witteveen+Bos, Ynformed.
- Van Oorschot, M., G. Geerling & L. van Kouwen, 2012. Ecologische rekenregels voor Rijkswateren in de KRW-Verkenner. Deltares rapport 1204157-000-ZWS-0002.
- WaterInfo, 2020. Ecotopen en vegetatiestructuur. <https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/biologie/ecotopen/>
- WEW, 2012. Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna. WEW Themanummer 23. STOWA rapport 2012-19.
- Wortelboer, R., 2014. Kwantificering van de effecten van de maatregelen van het BPRW-2 met de KRW-Verkenner - een update. Deltares rapport 1209471-004-ZWS-0010.
- Wortelboer, R., 2016. Pilot schatting van het begroeibaar areaal in waterlichamen in rivieren. Deltares Rapport 1230097-004-ZWS-0004.
- Wortelboer, R., 2017. EKR-berekeningen voor de Rijkswateren met behulp van milieufactoren. Uitwerking voor IJssel en Markermeer . Deltares Rapport 11200583-002-ZWS-0003.
- Wortelboer, R., Chrzanowski, C., Roskam, G., Noordhuis, R. & Vriese, T., 2015. Effect van maatregelen BPRW-2 voor de KRW. Vergelijking van berekeningswijzen. Deltares, Rapport 1220096-002-ZWS-0001.
- Wortelboer, R., J. van den Roovaart & E. Meijers, 2016. Ecologische Sleutelfactoren voor de Rijkswateren. Een oriënterende studie. Deltares Rapport 1230097-002-ZWS-0002.
- Wortelboer, R., M. van Oorschot & W. Altena, 2018. Ecologie Rijkswateren KRW-Verkenner 2018. Deltares rapport 11202234-002-ZWS-0002, concept-rapport.
- Van Zuidam, B. & Peeters, E.T.H.M., 2015. Wave forces limit the establishment of submerged macrophytes in large shallow lakes. Limnol. Oceanogr. 60, 1536-1549.

Bijlage A. Typering van maatregelen

Type maatregel	Omschrijving
ABB	Actief Biologisch Beheer
AFVA	Afvalberg opruimen
ALUW	Aanleg luwe zones
ASUB	Aanbrengen verbeterd verhard substraat
BRAK	Brakwatergorzen (aanleg)
CHEM	Afval(water)beheer / Aanpassen RWZI /Controle chemische stoffen / Maatregelen chemie
DWBZ	Aangepast beheer i.v.m. drinkwaterbeschermingszones
GDAM	Geleidedammen (aanleg)
GTIJ	Getijdengeul/kreek (aanleg)
HERB	Herinrichting beekmonding (positief voor waterplanten, oeverplanten, macrofauna en vissen)
HESD	Herstel estuariën dynamiek
HKWE	Herstel kwelders
HMOS	Herstel mosselbanken en riffen
HWAT	Herstel wateruitwisseling
HZEE	Herstel zeegrasvelden door zaaïen of uitplanten
HZWP	Herinrichten oevers zandwinplas/grindplas
KIER	Beheer Haringvlietsluizen
KRAA	Kribaanpassing
MARI	Maaibeheer Riet
MOER	Ontwikkeling (kwel)moeras, zoetwaterplassen, rietvelden
NTWE	Nevengeul tweezijdig aantakken (meestromend)
NVO	Oevers natuur(vriende)lijk inrichten/aanleggen/oeververdediging verwijderen
ODEP	Optimalisatie depot
ONDI	Uitbreiding ondiepe zones
OPKB	Optimalisatie PKB
PEIL	Peilbeheer natuurlijker/variabel
SCHE	Scheepvaart reguleren
SGBR	Stroomgeul verbreding
SLIB	Slib Markermeer
STEA	Strangen eenzijdig aantakken (niet meestromend)
STOO	Aanbrengen stoorobjecten
UVER	Uiterwaard verlagen
VERD	Verdedigen schorranden
VISD	Visserij - Duurzame visserij
VKN	Verkenning/onderzoek
VOOR	Vooroever verdediging aanleggen/optimaliseren
VPRR	Vispassage rijk-regio, Vispasseerbare gemalen
VPZR	Vispassage zoete rijkswateren
VPZZ	Vispassage zoet-zout

VSLU	Visvriendelijk sluisbeheer (schut en spui)
VSTR	Verbeteren stroming (doorstroming)
VVLO	Vergroten vloedvlakte door dijkverlegging of ontpoldering
VWKC	Visgeleiding bij WKC (stroomafwaarde begeleiding)
WASH	Wash-overs t.b.v. kwelders
WSAN	Waterbodemsanering
ZOMD	Zomerdijk doorsteken/verwijderen
ZOZU	Herstel zoet-zout habitat
ZZGR	Zoet-zoutgradient
OVER	Overige
OVHH	Overig Habitat herstel
OVHW	Overig Helder water
OVHD	Overig Herstel dynamiek
OVVE	Overig Verkenning
OVVP	Vis - Overig Vispasseerbaarheid
ONBE	Onbekend
FFLI	Fishing for litter
UVER (NTWE, NVO)	Uiterwaard verlagen (Nevengeul, Natuurvriendelijke oever)
UHER/NTWE/NVO/NEEN/UHER	Uiterwaard verlagen/Nevengeul/NVO/Uiterwaard herinrichting
?	
?NTWE	
behoud	
CHEM / DWBZ	
STEa of NTWE	Strangen eenzijdig aantakken (niet meestromend) of Nevengeul tweezijdig aantakken (meestromend)
VPRR of HERB	Vispassage rijk-regio of Herinrichting beekmonding
VPRR/ZOZU	Vispassage rijk-regio of Vispassage zoet-zout
BE01	uitvoeren actief visstands- of schelpdierstandsbeheer
BE02	uitvoeren actief vegetatie- / waterkwaliteitsbeheer
BE05	Verwijderen verontreinigde bagger
BE08	overige beheermaatregelen
BR10	overige brongerichte maatregelen
IM01	verminderen belasting RWZI
IM12	overige emissiereducerende maatregelen
IN03	aanpassen inlaat / doorspoelen / scheiden water
IN05	verbreden / hermeanderen / nvo; (snel) stromend water
IN07	verbreden / nvo; langzaam stromend / stilstaand water
IN10	Aanleg nevengeul / herstel verbinding
IN11	Herstel verbinding / aantakken strangen
IN14	aanpassen waterpeil
IN15	Vispasseerbaar maken kunstwerk
IN18	aanleg speciale leefgebieden flora en fauna
IN20	overige inrichtingsmaatregelen
RO03	wijzigen / beperken gebruiksfunctie
S01	uitvoeren onderzoek
S02	geven van voorlichting

S03	uitvoeren onderzoek
S04	uitvoeren onderzoek
S05	uitvoeren onderzoek
S06	overige instrumentele maatregelen
S07	uitvoeren onderzoek
S08	uitvoeren onderzoek
S09	uitvoeren onderzoek
VOND	Vis - Onderzoek
NTWE_H	Nevengeul tweezijdig aantakken (meestromend); Hoogwatergeul
HERUB	Herinrichting uiterwaardbeek (positief voor waterplanten, oeverplanten, macrofauna en vissen)
RIVH	Rivierhout
WKWAL	Waterkwaliteit
ONDRZK	Onderzoek divers
KWEG	Kwelgeul