

# Biodiversiteit en Deltares



## Biodiversiteit en Deltares

### Auteur(s)

Sam Boerlijst

Tineke Troost

Sacha de Rijk

**Biodiversiteit en Deltares**

|                |                   |
|----------------|-------------------|
| Opdrachtgever  | DELTARES          |
| Contactpersoon | Esther van Baaren |
| Referenties    |                   |
| Trefwoorden    |                   |

| Documentgegevens |                       |
|------------------|-----------------------|
| Versie           | 1.2                   |
| Datum            | 20-03-2025            |
| Projectnummer    | 11210261-012          |
| Document ID      | 11210261-012-ZKS-0004 |
| Pagina's         | 40                    |
| Classificatie    |                       |
| Status           | definitief            |

| Auteur(s) |                                                 |  |
|-----------|-------------------------------------------------|--|
|           | Sam Boerlijst<br>Tineke Troost<br>Sacha de Rijk |  |
|           |                                                 |  |

# Samenvatting

Het volgende rapport geeft een overzicht van de verschillende aspecten van biodiversiteit, haar relatie tot de mens en de relevantie voor het werk van Deltares. Naast de achtergrond van biodiversiteit worden de verschillende relevante processen, grootheden, eenheden en meetmethoden belicht. Vervolgens worden best practices benoemd en belicht met voorbeelden. Dit rapport is een onderdeel van Moonshot 1 (MS1) “Deltas remain habitable”.

In de komende secties wordt besproken wat de rol is van Deltares voor biodiversiteit en wordt achtergrond gegeven voor biodiversiteit als onderwerp binnen Deltares. Het doel van dit document is hiermee drievoudig, en dient ter verduidelijking van het belang van biodiversiteit in ons werk, een verduidelijking van de rol van Deltares in het communiceren van de implicaties, en als structuur en naslagwerk voor het vertalen van biodiversiteit naar impact.

Omdat biodiversiteit een erg breed onderwerp is, is het geven van een compleet overzicht binnen de spanne van één document lastig. De voorbeelden die worden belicht zijn dan ook representatief voor een breder scala aan indicatoren, technieken, indices en knelpunten. Wij zien dit bestand dan ook als een levend document, dat in gesprek met collega's aangevuld en verbeterd kan worden.

Hieronder volgt een samenvatting van het document en de bijbehorende conclusies

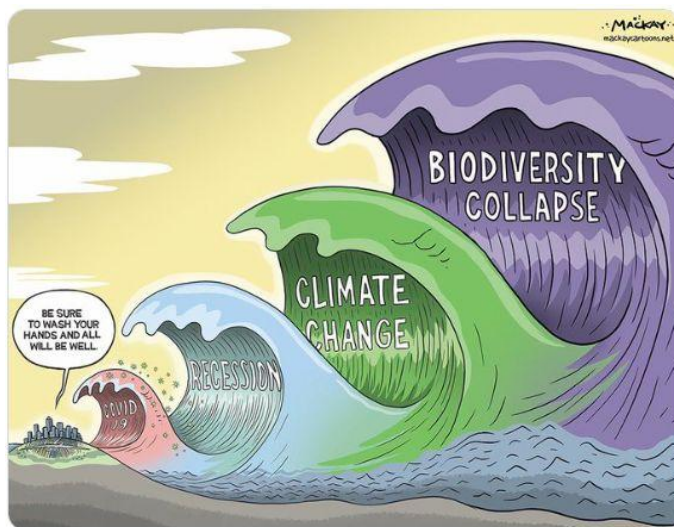
- Biodiversiteit is onlosmakelijk verbonden met het functioneren van ecosystemen en menselijk welzijn.
- Biodiversiteit gaat met grote stappen achteruit, met name in Nederland.
- Er is een onderrepresentatie in beschikbaarheid en benutting van ecologische kennis bij huidige technologische oplossingen.
- Deltares kan waarde toevoegen door ecologische effecten (bij de keuze, het afwegen of opstellen) van maatregelen te communiceren.
- Dit document biedt een structuur voor het bepalen van de relevantie van biodiversiteit binnen een project, een methode voor het bepalen van benodigde (niveau van) analyse en een overzicht van de beschikbare software en kennis.
- Biodiversiteit kan op verschillende ruimtelijke schaalniveaus worden onderzocht, waarbij het belangrijk is te achterhalen welke diversiteit gewenst is.
- Om patronen in biodiversiteit adequaat te bepalen is het nodig de juiste indicatoren, classificatie en indicie te kiezen. Dit document biedt hier een uitleg voor.
- Deltares ontwikkelt verschillende relevante software. Het huidige document geeft hier een overzicht van.
- Natuurherstel en behoud kan in Nederland vrijwel niet zonder actief beheer.

# Inhoud

|          |                                                            |           |
|----------|------------------------------------------------------------|-----------|
|          | <b>Samenvatting</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>1</b> | <b>Introductie</b>                                         | <b>7</b>  |
| 1.1.1    | Wat is biodiversiteit                                      | 7         |
| 1.1.2    | Druk op de natuur                                          | 7         |
| 1.1.3    | De wereld als ecosysteem                                   | 8         |
| 1.1.4    | De rol van de mens en Deltares                             | 9         |
| 1.1.5    | Doel document en leeswijzer                                | 11        |
| <b>2</b> | <b>Rol van Deltares</b>                                    | <b>12</b> |
| 2.1.1    | Betrokkenheid bij bescherming en herstel                   | 12        |
| 2.1.2    | Bepalen van relevantie voor biodiversiteit                 | 12        |
| 2.1.2.1  | Beslisboom relevantie biodiversiteit                       | 12        |
| 2.1.2.2  | Niveaus van detail                                         | 14        |
| 2.1.3    | Best practices                                             | 16        |
| 2.1.3.1  | Minimaliseren menselijke invloed                           | 16        |
| 2.1.3.2  | Mee bewegen met de natuur                                  | 17        |
| 2.1.3.3  | Communicatie                                               | 17        |
| 2.1.4    | Vervolgstappen                                             | 17        |
| <b>3</b> | <b>Vormen van diversiteit</b>                              | <b>19</b> |
| 3.1.1    | Diversiteit in algemeenheid                                | 19        |
| 3.1.2    | Schaalniveaus en relevante diversiteit en processen        | 19        |
| 3.1.2.1  | Populaties                                                 | 19        |
| 3.1.2.2  | Communities                                                | 20        |
| 3.1.2.3  | Ecosystemen                                                | 20        |
| 3.1.3    | Welke diversiteit is gewenst                               | 21        |
| 3.1.4    | Cascade effecten                                           | 21        |
| <b>4</b> | <b>Classificatie en indicatoren van biodiversiteit</b>     | <b>23</b> |
| 4.1.1    | Taxonomische en functionele diversiteit                    | 23        |
| 4.1.2    | Indicatoren                                                | 23        |
| 4.1.3    | Diversiteit indicie                                        | 24        |
| 4.1.4    | Essentiële biodiversiteit variabelen                       | 27        |
| <b>5</b> | <b>Deltares software</b>                                   | <b>29</b> |
| 5.1      | D-Eco Impact                                               | 29        |
| 5.2      | D-Water Quality (DELWAQ)                                   | 29        |
| 5.3      | KRW-Verkenner                                              | 29        |
| 5.4      | NBSDynamics                                                | 29        |
| 5.5      | Rapid Ecological Assessment and Communication Tool (REACT) | 29        |
| <b>6</b> | <b>Beheer en nieuwe natuur</b>                             | <b>30</b> |
| 6.1      | Herstel of creatie                                         | 30        |
| 6.1.1    | Vrije, natuurlijke processen                               | 30        |
| 6.1.2    | Knelpunten voor natuurherstel                              | 30        |

|          |                              |           |
|----------|------------------------------|-----------|
| 6.1.2.1  | Het klimaat verandert        | 31        |
| 6.1.2.2  | Ruimtelijke beperkingen      | 31        |
| 6.2      | Beheerde natuur              | 31        |
| 6.2.1    | Natuur met mensen            | 31        |
| 6.2.2    | Is nieuwe natuur ook natuur? | 31        |
| <b>7</b> | <b>Kaderdefinities</b>       | <b>33</b> |
| <b>8</b> | <b>Referenties</b>           | <b>35</b> |

# 1 Introductie



“De vier vloedgolven die op het punt staan de mensheid te verwoesten”

(Bron: Graeme MacKay, 2020)

## 1.1.1 Wat is biodiversiteit

Biodiversiteit, ofwel de variabiliteit aan leven, omvat alles van planten en dieren tot schimmels en micro-organismen. Deze diversiteit speelt een cruciale rol in het functioneren van ecosystemen en is onlosmakelijk verbonden met het fysisch systeem, dat via factoren als bodem, water en klimaat de basis vormt voor het leven binnen de ecosystemen (sectie [3.1.2.3](#)). De status en samenstelling van de biodiversiteit geeft ons daarbij een beeld van de gezondheid van de natuur (Mace et al., 2012). Biodiversiteit draagt namelijk bij aan de stabiliteit, weerbaarheid, en het herstelvermogen van ecosystemen (Ives & Carpenter, 2007). Deze processen beïnvloeden op hun beurt ons leven via processen als klimaatregulering en voedselvoorziening.

## 1.1.2 Druk op de natuur

Onze natuur staat enorm onder druk door een scala aan factoren, waarvan een groot deel door mensen wordt veroorzaakt. Zo belasten wij de natuur met vervuiling van licht, geluid en toxische stoffen, en zorgen wij voor ruimtelijke verstoring door ons land- en watergebruik. Hydrologische werken om waterveiligheid te waarborgen, zoals de deltawerken, verminderen bijvoorbeeld de connectiviteit, habitatdiversiteit, dynamiek en waterkwaliteit in de omringende systemen. Vervuiling door micro- en nanodeeltjes, waaronder zware metalen, plastics en chemische stoffen als PFAS verergeren de situatie verder. Ook via indirecte weg leggen wij druk op de natuur. Klimaatverandering brengt stijgende temperaturen, een stijgende zeespiegel en veranderende neerslagpatronen met zich mee, met meer frequente en hevigere extremen. Deze indirecte invloed reikt verder dan onze directe omgeving, waardoor niet alleen de vervuiler problemen ondervindt. Gecombineerd met het feit dat deze processen vertraagd en langdurig effect hebben, maakt de situatie al snel complex.

De veranderingen zijn echter al merkbaar in het klimaat, onze voedselvoorziening en in onze leefomgeving.

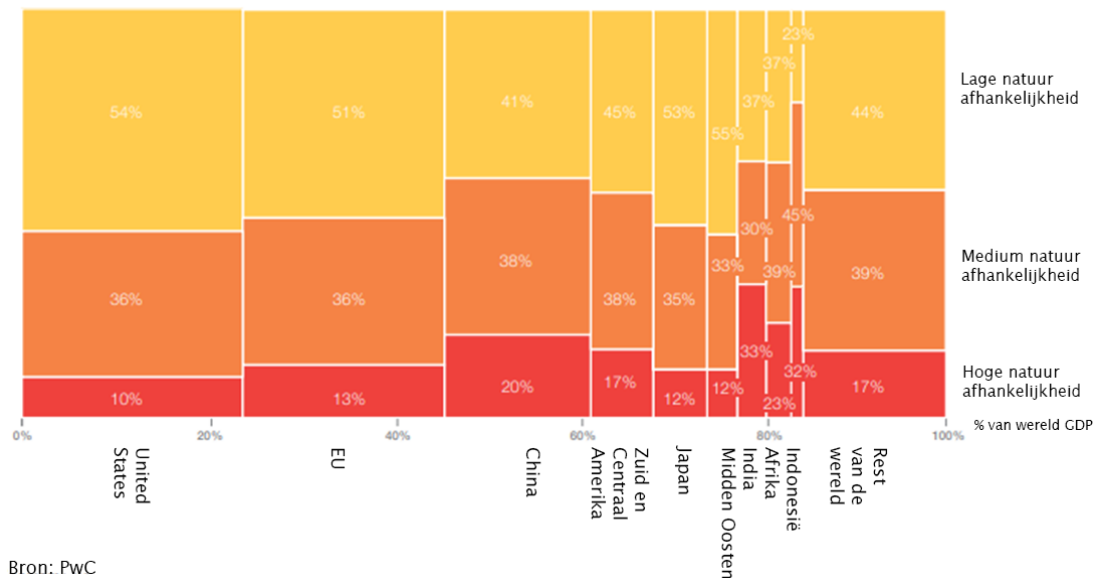
Zo heeft de mensheid wereldwijd al 75% van het oppervlak aan land en 66% aan zee beïnvloed (Vaughan & Herweijer, 2020) en mede daarmee een vermindering in dichtheden van 69% wilde dieren en 50% wilde planten teweeg gebracht (*Living Planet Report* | WWF, 2022). Deze achteruitgang is het grootst voor zoetwaterdieren, welke wereldwijd met 83% af zijn genomen (*Living Planet Report* | WWF, 2022). Het gevolg is dat een miljoen plant en diersoorten nu worden bedreigd met uitsterven (IPBES, 2019). De snelheid waarmee organismen uitsterven is dan ook tientallen tot honderden malen hoger dan het gemiddelde de afgelopen 10 miljoen jaar (IPBES, 2019).

Dit is niet alleen op wereldwijde schaal het geval. Nederland loopt namelijk vrijwel voorop in de achteruitgang in biodiversiteit (CBS et al., 2016). Zo was de gemiddelde populatieomvang van onze inheemse landsorten in 2010 nog maar 15% ten opzichte van een ongestoorde situatie; dit is een halvering sinds 1950 en staat in sterk contrast met de 70% wereldwijd (CBS et al., 2016). Kortom, zonder dringende en effectieve maatregelen dreigt de schade onherstelbaar te worden. Het behoud en herstel van biodiversiteit is daarom niet alleen een ecologische noodzaak, maar essentieel voor het menselijk welzijn.

### 1.1.3 De wereld als ecosysteem

Dat menselijk welzijn onlosmakelijk verbonden is met de gezondheid en het functioneren van de natuurlijke systemen om ons heen, en daarmee de wereld, is de kern van het “Planetary Health” kader. Dit gebeurt via zogenaamde ecosystemendiensten, welke samen te vatten zijn in vier categorieën (IPBES Core Glossary, 2021): i) producerende diensten, van bijvoorbeeld voedsel, medicijnen en hout, ii) regulerende diensten, die natuurlijke processen als klimaat, waterzuivering en bestuiving begeleiden, iii) ondersteunende diensten, welke de basisprocessen als de nutriëntenkringloop, primaire productie en bodemvorming omsluit en iv) culturele diensten, waaronder niet materiële diensten vallen zoals recreatie, geestelijk welzijn en de intrinsieke waarde van de natuur.

De toenemende druk op de natuur vermindert de kwaliteit en kwantiteit van het overgrote deel ecosystemendiensten (Mace et al., 2012; Runting et al., 2017). Door verschillen in methoden is het lastig om vast te stellen welke ecosystemedienst het sterkst belast wordt (Runting et al., 2017). Mondiaal is de verwachting dat voldoende en schoon (drink)water hierin een hoofdrol speelt, door de afhankelijkheid van biodiversiteit (Reid et al., 2019) en de toenemende schaarste door gebruik en klimaat (Rodell et al., 2018). Voldoende schoon water is essentieel voor dier en mens en onze activiteiten. Door de achteruitgang van de natuur worden dan ook verschillende facetten van ons leven geraakt, waaronder de economie (Figuur 1-1; Vaughan & Herweijer, 2020), maar ook veiligheid en gezondheid. Een gezond ecosysteem onderdrukt namelijk ook ziekten en ziekteverspreiders, maar wanneer ecosystemen achteruitgaan, gebeurt hetzelfde met de menselijke gezondheid (Schmeller et al., 2020). Dit principe, de link tussen gezondheid van mens, dier en natuur, wordt “One Health” genoemd.



Figuur 1-1 Verdeling van natuur afhankelijkheid classificatie van GDP per regio (Aangepast uit Waughray & Herweijer, 2020).

Door de schaal en complexe aard van *Planetary health* en *One Health* vraagstukken, roepen deze kaders op tot een integrale en multidisciplinaire aanpak vanuit disciplines als ecologie, economie, politiek en sociologie. De verbondenheid van menselijke en ecologische systemen, doorgaans aangeduid met de term 'socio-ecological systems', roept verder op tot duurzaamheid en preventieve maatregelen. Ook streven de kaders naar rechtvaardigheid en inclusiviteit, door te erkennen dat kwetsbare en gemarginaliseerde gemeenschappen vaak het sterkst worden geraakt door milieuschade en de daaruit voortvloeiende gezondheidsproblemen.

#### 1.1.4 De rol van de mens en Deltares

Doordat wij niet losstaand van, maar binnen ecologische systemen werken is het van belang om onze invloeden goed te begrijpen. Op deze manier kunnen we behoud bespoedigen en ongewenste effecten voorspellen, mitigeren, of voorkomen, en — wanneer we met de natuur mee bewegen — effectiever werken. Dit is een grote opgave, maar deze kan worden verlicht door in te spelen op ecologische processen. Zo kan rekening gehouden worden met connectiviteit en versnippering, om zo herstel te bespoedigen vanuit nabijgelegen populaties. Omdat biodiversiteitsverlies zowel lokale als nationale en internationale oorzaken heeft, kan internationale samenwerking bijdragen aan een effectiever herstel en behoud. Op deze manier kan er - bij natuurherstel, maar ook landinrichting - rekening worden gehouden met welke natuur of activiteiten het beste te gerealiseerd kunnen worden op een bepaalde plek, om zo benodigd onderhoud te minimaliseren. Zo kan bijvoorbeeld gekozen worden voor teelt van zoutminnende gewassen nabij een getijdengebied, zodat er geen problemen optreden door verzilting en geen extra zoetwater nodig is voor het zoet houden.

De UN en EU hebben hierom beloofd de achteruitgang te minimaliseren via wetten en regelgeving. Deze zullen inspelen op de vijf hoofdimpacts op biodiversiteit: land- en watergebruik, klimaatverandering, overexploitatie, vervuiling en invasieve soorten. Nederland heeft in de uitvoering hiervan een belangrijke rol, door haar ligging, belangen en haar functie: Europa is het snelst opwarmende continent. De Nederlandse delta ervaart hierbinnen eerder effecten van zeespiegelstijging en verzilting door de ligging ten opzichte van de zeespiegel. Verder is de druk vanuit de Nederlandse landbouw hoog door uitstoot van broeikasgassen, eutrofiëring en pesticiden. Dit leidt ertoe dat de biodiversiteit voor Nederland karakteristieke natuur (stuifzand, veen, heide, wad) erg onder druk staat.

Ook onze belangrijke rol als internationale stapsteen voor migratie van vogels en vissen staat door menselijk handelen onder druk. De Nederlandse grote wateren liggen namelijk langs de East-Atlantic flyway (Figuur 1-2), een belangrijke trekroute voor vogels, welke tijdens hun migratie tussen Noord-Europa en Afrika voedsel vinden en rusten op de Waddenzee. Voor vissen zijn de grote wateren een belangrijke verbinding met de Maas, Rijn en Schelde, welke wordt gebruikt tijdens migratie en paaigronden, of als tijdelijk leefgebied voor zomergasten. Menselijke ingrepen zoals de hydrologische werken zorgen daarbij voor barrières en verminderde habitatkwaliteit en bedreigen daarmee deze belangrijke internationale ecologische rol.



#### Ecologische impacts gaan niet met een slakkengangetje

De gemiddelde Nederlander met een tuin weet het maar al te goed, we zitten met een slakkenplaag. Dit komt onder andere door het zachte en vochtige voorjaar, en de verminderde predatiedruk door aaltjes als gevolg van pesticiden. Dit heeft geringe sterfte van slakkeneitjes en

larven als gevolg. De volwassen slakken hebben het eveneens beter doordat er minder roofdieren zoals egels zijn.



Figuur 1-2 East-Atlantic flyway (Bron: Wadden Sea Flyway Initiative)

Er moet dan ook iets gebeuren. Huidige technologische oplossingen leiden tot een opeenstapeling van problemen (Davis et al., 2009; Fargione et al., 2010; Gasparatos et al., 2017). Dit komt deels door onder-representatie van beschikbaarheid en benutting van ecologische kennis bij het vaststellen van de toepasbaarheid (Azzone & Noci, 1998; Ludwig & Macnaghten, 2020; Rennings, 2000). Deltares kan waarde toevoegen door bij het ontwikkelen van oplossingen rekening te houden met ecologische effecten en kansen, en door tijdens de evaluatie ook onbedoelde negatieve ecologische gevolgen duidelijk te communiceren.

### 1.1.5 Doel document en leeswijzer

Ons doel met dit document is drievoudig. Ten eerste hopen wij de rol van Deltares te verduidelijken in het communiceren van de implicaties voor de biodiversiteit in ons werk. Dit doen wij door met dit document een structuur te bieden voor het bepalen van relevante aspecten van biodiversiteit binnen Deltares projecten. Ten tweede verduidelijken wij de relevantie van biodiversiteit in ons werk door de verschillende facetten van biodiversiteit en hun vertaling naar monitoring en beheer te belichten. Ten derde dient dit document als naslagwerk voor het vertalen van biodiversiteit gerelateerde processen naar impact tijdens het plannen, ontwikkelen, uitvoeren en rapporteren van projecten.

Hierbij dienen hoofdstukken 1 en 2 als basis. De rest van dit document geldt als naslagwerk voor de mogelijkheden voor monitoring en interpretatie.

#### ► Rol van Deltares

Dit hoofdstuk beschrijft de betrokkenheid van Deltares bij het beschermen, behouden en herstellen van biodiversiteit. Hierna volgt een beslisboom voor het bepalen van de relevantie van biodiversiteit binnen Deltares projecten, met bijbehorende schaalniveaus voor het detailniveau waarin biodiversiteit mee dient te worden genomen. Tot slot worden enkele best practices benoemd.

#### ► Vormen van diversiteit

De verschillende schaalniveaus van biodiversiteit en de relevante onderliggende ecologische processen worden in dit hoofdstuk belicht. Biodiversiteit wordt behandeld op de niveaus van populaties, levensgemeenschappen, ecosystemen, en bespreekt wat als "gewenste" biodiversiteit kan worden beschouwd. Ten slotte worden zogenaamde cascade effecten door het wegvallen van biodiversiteit benoemd.

#### ► Classificatie en indicatoren van biodiversiteit

De verschillende methoden om biodiversiteit te classificeren worden in dit hoofdstuk behandeld. Hierbij wordt ingegaan op de verschillende indicatoren die worden gekozen om de status en trends in biodiversiteit te meten, en hoe de verschillende diversiteitsindicatie kunnen worden ingezet om dit te analyseren.

#### ► Beheer en nieuwe natuur

Het laatste hoofdstuk richt zich op het herstel en beheer van de natuur. Hierbij wordt ingegaan op de toegevoegde waarde van gecreëerde 'nieuwe natuur'.



#### **De insecten gaan nog altijd niet voorruit**

Een schone autoruit is voor veel mensen toch wel het meest zichtbare voorbeeld van de achteruitgang van insecten. In tegenstelling tot vroeger hoef je deze tegenwoordig zelden schoon te maken na een rit door de dode insecten. En deze achteruitgang heeft grote gevolgen voor de ecosystemen waar de insecten onderdeel van zijn, met zo ook achteruitgang in de productie van gewassen en van de dieren die de insecten normaal opeten.

## 2 Rol van Deltares

### 2.1.1 Betrokkenheid bij bescherming en herstel

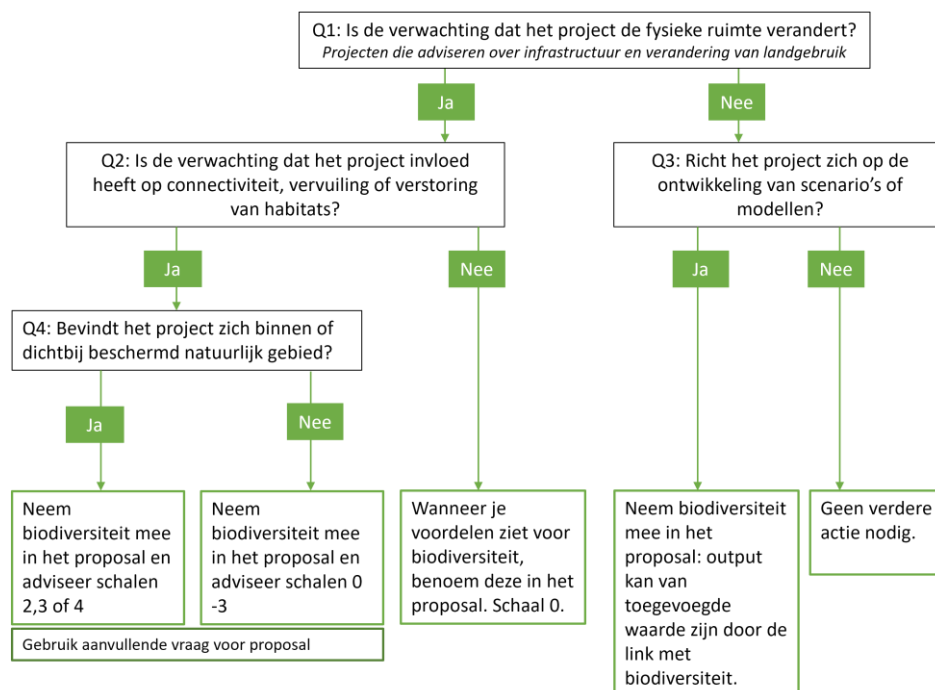
Met onze kennis, ons onderzoek naar innovatieve oplossingen en de hulp aan onze partners dragen wij bij aan besluiten over de leefbaarheid in de delta. Hierbij werken wij als Deltares veel met factoren die ook biodiversiteit beïnvloeden, zoals chemie (temperatuur, vervuiling en verzilting), dynamiek (grondwaterstand, stroming, verblijftijd en peil) en morfologie. Gezien de directe relatie van ons werk met de fysieke basis van ecosystemen, is ons werk onlosmakelijk verbonden met biodiversiteit.

Aangezien biodiversiteit achteruitgaat bij een “*Business as usual*” scenario, en Deltares de kennis heeft om biodiversiteit mee te nemen in haar overwegingen, is het belangrijk om daar waar wij kunnen bij te dragen aan bescherming, behoud en herstel van de kwetsbare aquatische natuur, en verstoring door nieuwe ingrepen te minimaliseren. Dit hoofdstuk zal verder ingaan op de manier waarop biodiversiteit meegenomen kan worden in ons werk: van relevantie binnen projecten tot best practices voor het omgaan met biodiversiteitsimpact en communicatie.

### 2.1.2 Bepalen van relevantie voor biodiversiteit

Om te bepalen of biodiversiteit een relevant aspect is van het project, kan de beslisboom worden gebruikt (Figuur 2-1). Deze flowchart doorloopt enkele vragen om te bepalen of er een raakvlak is met biodiversiteit en zo ja, of dit op abiotische of biotische elementen aanhaakt en op welke ruimtelijke schaal. De figuur raadt hiermee verschillende schaalniveaus van analyse aan, welke verder worden belicht in sectie [2.1.2.2](#).

#### 2.1.2.1 Beslisboom relevantie biodiversiteit



Figuur 2-1 Beslisboom voor het bepalen van de relevantie van biodiversiteit voor een project.

**Vraag 1, Is de verwachting dat het project de fysieke ruimte verandert?**

De projecten die Deltares uitvoert vinden veelal plaats aan de kust of op zeegebied, estuaria en delta's, rivieren, moerasgebied of de (infrastructuur van) de stedelijke omgeving. Hierbij kunnen de projecten een focus hebben op de verandering van het ruimtelijk land- en watergebruik. Deze veranderingen kunnen grote ecologische effecten hebben. Het begrijpen van deze invloeden is essentieel om de impact te minimaliseren.

De invloed op biodiversiteit is beperkt wanneer de focus ligt op (fundamenteel) onderzoek zonder directe invloed op de fysieke omgeving. Wel kan biodiversiteit in dit geval nog worden verbeterd wanneer waterkwaliteit bijvoorbeeld via zuivering wordt verbeterd in een gebied, ook zonder directe ruimtelijke aanpassingen.

Aanvullende vragen welke kunnen helpen bij het beantwoorden van deze vraag zijn:

- Ligt de focus van het project op de bouw of aanleg van infrastructuur op of dichtbij water of ondergrond?
- Raakt dit project aan landgebruik, aan- en uitstroom van watersystemen, of verandering van de vorm of kwaliteit van het waterlichaam?

**Vraag 2, Is de verwachting dat het project invloed heeft op connectiviteit, vervuiling of verstoring van habitats?**

Dit is de belangrijkste vraag van de beslisboom. Aan de hand hiervan kan worden bepaald via welke factoren dit project invloed uitoefent op de biodiversiteit. Wij raden om deze reden aan om collega's van onder andere DSW, ESW en EWQ te betrekken bij een meeting om de volgende vragen inhoudelijk te kunnen beantwoorden. De antwoorden op deze vragen bieden ruimte voor een verder gesprek tussen experts:

- Beïnvloedt het project de connectiviteit van habitats?
  - Voorbeeld: fysieke barrière zoals een dam zonder migratievoorzieningen.
- Verstoort het de omgeving, flora of fauna?
  - Voorbeeld: zandwinning voor de aanleg van infrastructurele werken.
- Veroorzaakt het project vervuiling in de vorm van zorgwekkende (chemische) stoffen, plastics of nutriënten?
  - Voorbeeld: watermanagement in een gebied met afvalwater van industrie.

**Vraag 3, Richt het project zich op de ontwikkeling van scenario's of modellen?**

Ook modelstudies kunnen relevant zijn voor biodiversiteit. Zo kan de output van het project belangrijke informatie geven over de fysieke omgeving en daarmee de abiotische invloeden op biodiversiteit.

Aanvullende vragen welke kunnen helpen bij het beantwoorden van deze vraag zijn:

- Worden (Deltares) modellen gebruikt om de status of veranderingen van de omgeving te bepalen?
- Worden klimaatprojecties ontwikkeld?

Bijvoorbeeld: een hydrologisch model kan veranderingen in debieten en kwelstromen voorspellen, wat bij kan dragen aan effectieve watermanagement strategieën. Als beide vragen met nee beantwoord kunnen worden, dan hebben de potentiële invloeden van het project op biodiversiteit geen prioriteit.

#### Vraag 4, Bevindt het project zich binnen of dichtbij beschermd natuurlijk gebied?

Wanneer bepaald is of biodiversiteit beïnvloedt kan worden door het project, is het belangrijk om te bepalen of deze invloed plaats zal vinden in beschermd natuurlijk gebied. Natuurgebieden zijn vaak gevoelig, waardoor aanvullende kennis over biodiversiteit essentieel is wanneer deze door het project beïnvloed kunnen worden. Verder zijn er aanvullende juridische kaders in beschermd gebied, waar het Deltares advies mee in lijn hoort te zijn.

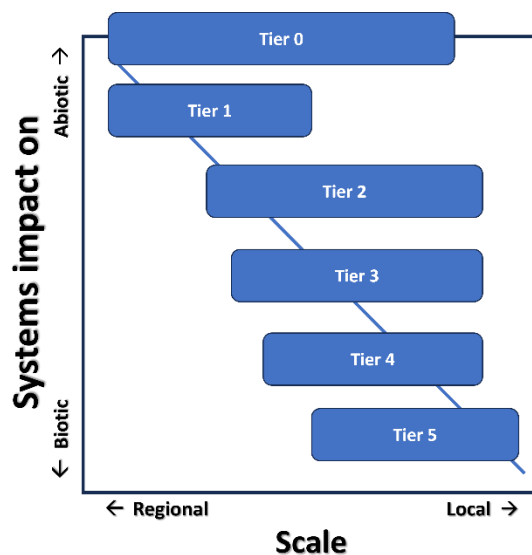
Aanvullende vragen welke kunnen helpen bij het beantwoorden van deze vraag zijn:

- Waar bevinden de beschermde gebieden zich in het projectgebied?
- Wordt er verstoring verwacht voor nabijgelegen beschermde gebieden?

Bijvoorbeeld: wanneer Deltares werkt aan hydrodynamische implicaties voor een aquacultuur project naast een Natura2000 gebied is het van toegevoegde waarde voor het advies om natuur-inclusieve ontwerpopties mee te nemen in het rapport.

#### 2.1.2.2 Niveaus van detail

Het schaalniveau van detail waarop biodiversiteit in het projectvoorstel of rapport mee dient te worden genomen volgt uit de verschillende aspecten die uit de beslisboom zijn gekomen. Hieronder benoemen wij zes niveaus van toenemend detail voor het bepalen van de impact op biodiversiteit (Figuur 2-2). Op het laagste niveau (0) is een narratief uit standaard tekst voldoende, met of zonder hulp van een ecooloog. Op het hoogste niveau (5) kan een aanvullende analyse worden uitgevoerd om inzicht te krijgen in de specifieke invloeden van het project. De benodigde tijdsinvestering en resources variëren met de grootte van het project, maar het beoordelen van biodiversiteit voor elk projectvoorstel kan binnen een uur gedaan worden. Collega's van DSW, ESW en EWQ kunnen hierbij helpen. De beschrijvingen hieronder geven ter ondersteuning een grove inschatting van de benodigde tijdsinvestering en enkele relevante bronnen voor Nederlandse vraagstukken.



Figuur 2-2 Overzicht van de schaalniveaus waarop biodiversiteit meegenomen kan worden

### **Schaal 0 Generiek biodiversiteit narratief**

*Een algemeen narratief of beschrijving van de invloed van het project, waarbij wordt benoemd dat de relevantie voor de biodiversiteit is afgewogen op basis van het projectverhaal dat volgt uit de beslisboom.*

Hulpbronnen: Vooraf geschreven verhaallijnen, biodiversity team, DSW, ESW en EWQ  
Benodigde tijd: 1-2 uur

Ook wanneer de projectomvang het beoordelen van biodiversiteit lastig maakt, is het wenselijk om biodiversiteitsoverwegingen mee te nemen binnen het project. Door de verhaallijn te gebruiken die volgt uit de beslisboom, is het mogelijk om te beschrijven hoe de relevantie van biodiversiteit is beoordeeld. Hiermee is het project in lijn met Deltares haar strategie om het belang van biodiversiteit te benadrukken voor het welzijn van mens en natuur.

### **Schaal 1 Potentiële raakvlakken klimaat, hydrologie en biodiversiteit**

*Op model of literatuur gebaseerde beschrijving van mogelijke effecten van bekende relaties tussen klimaat, geomorfologie en hydrologie en biodiversiteit.*

Een project dat zich focust op klimaat kan de link met biodiversiteit toelichten door bekende ecologische processen te benoemen, zoals de link tussen geomorfologie en connectiviteit, hydrologie en stroming, en neerslag en waterbeschikbaarheid. Door deze aspecten te linken aan de ecologische randvoorwaarden van plant- en diersoorten kan uit bestaande modelresultaten en literatuur worden beschreven hoe de status van de verschillende parameters de lokale gemeenschapssamenstelling vormgeven.

Hulpbronnen: Modeluitkomsten, oordeel expert of literatuur  
Benodigde tijd: 8 uur

### **Schaal 2 Veranderingen in de lokale, fysieke omgeving**

*Veranderingen in fysieke, lokale omgevingskenmerken die de dynamiek van een ecosysteem kunnen veranderen (vervuiling, verstoring, connectiviteit).*

Een project dat omgevingskenmerken verwijdt of toevoegt, zoals vervuilsbronn (vervuiling), baggeractiviteiten (verstoring) of installatie van stuwen (connectiviteit) kunnen geschiktheid van een gebied beïnvloeden doordat ze het lokale milieu veranderen. Hierbij kunnen de omstandigheden verslechteren, maar ook verbeteren, met effecten die verschillen per soort. De samenstelling van soorten in het gebied en hun dichtheden kunnen hierdoor sterk veranderen. Doordat dit lokale processen zijn moeten de effecten worden gekwantificeerd. Dit kan met bestaande modellen of scenario's worden gedaan, maar dan op een kleinere ruimtelijke schaal dan schaalniveau 1.

Hulpbronnen: factsheets, oordeel expert, modeluitkomsten, literatuur  
Benodigde tijd: 2-5 uur

### **Schaal 3 Abiotische omgevingsfactoren van invloed op biodiversiteit**

*Veranderingen in de abiotische (fysische en chemische) omgeving, welke habitatgeschiktheid van het ecosysteem bepalen voor verschillende soorten.*

Lokale, abiotische factoren kunnen worden gebruikt om de status van de omgeving van het project te bepalen. Deze factoren kunnen worden bepaald uit zowel modeldata als veldmetingen, en hoeven niet expliciet vertaald te worden naar biodiversiteit. De kwantitatieve data van de leefomgeving geeft op zichzelf al veel informatie over de omgevingsfactoren die biodiversiteit beïnvloeden.

Hiermee kunnen verwachte veranderingen in biodiversiteit zelfstandig worden geïnterpreteerd. Zo kan een stijging van 3°C in watertemperatuur een verschuiving weg van koude minnende vissoorten betekenen.

Hulpbronnen: [WFD-waterkwaliteit bepaling](#), [Rijkswaterstaat water info](#)

Benodigde tijd: 4-8 uur

#### **Schaal 4 Publieke biologische data**

*Gebruik van publieke biologische data over het projectgebied of vergelijkbare gebieden.*

Bestaande, publieke bronnen voor ecologische en biologische samenstelling kunnen worden gebruikt als indicator voor het projectgebied. Vaak is de resolutie van deze data beperkt, maar trends uit nabijgelegen of vergelijkbare gebieden kunnen worden geëxtrapoleerd. Zo kan de potentiële rol van het projectgebied als corridor tijdens vogelmigratie worden vastgesteld uit data over broedparen in nabijgelegen vergelijkbare gebieden, ook wanneer er (nog) geen data is van binnen het projectgebied omdat de omstandigheden bijvoorbeeld nog niet toereikend waren.

Hulpbronnen: [Natura2000 dashboard](#), [Sovon](#), [verspreidingsatlas](#), [compendium voor de leefomgeving](#), [Blue Earth Data](#)

Benodigde tijd: 8-16 uur

#### **Schaal 5 Monitoringsdata op maat**

*Gegevens op kleine ruimtelijke schaal voor onderzoek die naar behoefte kunnen worden aangepast.*

Monitoringstechnieken kunnen worden gebruikt om de lokale biodiversiteit te typeren. Veelal besteed Deltares monitoring uit, waarna wij de gegevens analyseren. Soms wordt deze data als onderdeel van een vast monitoringsprogramma verzameld en is deze publiekelijk, of met abonnement inzichtelijk, zoals de Nationale Database voor Flora en Fauna (NDFF). In specifieke gevallen kan Deltares deze data gebruiken om soort- en biodiversiteitsindexen (sectie [4.1.3](#)) op maat te bepalen, maar indicatorsoorten (sectie [4.1.2](#)) en invasieve soorten kunnen ook gebruikt worden voor advies over specifieke soorten.

Hulpbronnen: [NDFF](#), [verspreidingsatlas](#), [Floron](#), [Ravon](#), [Sovon](#), [Kenniscentrum insecten EIS](#), remote sensing, eDNA

Benodigde tijd: 2-5 dagen

### **2.1.3 Best practices**

In geval van een verwachte impact op de biodiversiteit is het uiteindelijk doel om concrete stappen te nemen of te adviseren om verstoring te minimaliseren en biodiversiteit te stimuleren. Onderstaande best practices bieden hier handvatten voor.

#### **2.1.3.1 Minimaliseren menselijke invloed**

Gezien de grote antropogene druk op de natuur is het van belang om onze activiteiten zo in te richten dat verstoring wordt geminimaliseerd. Hierbij kunnen Nature-based Solutions bijdragen aan behoud en herstel van weerbaarheid en connectiviteit van ecosystemen, door natuurlijke processen in te zetten voor onder andere habitat herstel en realisatie van groene-infrastructuur. Connectiviteit is hierbij van belang omdat de soorten zich kunnen verplaatsen om zo toegang te hebben tot meer (voedings)bronnen, er verbeterde uitwisseling is van genetisch materiaal en doordat soorten een uitweg hebben wanneer een deel van het leefgebied (tijdelijk) in kwaliteit verslechtert, door bijvoorbeeld opwarming, verdroging of verzilting.

Ook het Natuurnetwerk Nederland (NNN; voorheen de EHS) draagt hieraan bij, door te voorkomen dat planten en dieren in geïsoleerde gebieden uitsterven en natuurgebieden hun waarde verliezen.

#### 2.1.3.2 **Mee bewegen met de natuur**

Het is belangrijk om mee te bewegen met de natuur wanneer er wordt ingezet op het verbeteren van biodiversiteit via herstel en versterken van bestaande natuur en het ontwikkelen van robuustheid. Dit kan worden gedaan door natuurlijke processen ruimte te geven en te faciliteren. Voorbeelden zijn het faciliteren van vrije meandering en ecologische ruimtelijke verbindingen en herstel van (peil)dynamiek en zoet-zout gradiënten. Ook is het belangrijk om regelmatig te evalueren welke planten en diersoorten waar passen. Naarmate het klimaat verandert en de zeespiegel stijgt, zal de verspreiding van bepaalde soorten veranderen. Wanneer dit door veranderingen in temperatuur of verzilting komt zullen natuurtypen met de tijd 'opschuiven'. Hierdoor zal aansturen op verbetering van de randvoorwaarden maar beperkt en tijdelijk werken. . Door rekening te houden met de geschiktheid van een gebied voor de verschillende natuurtypen, en het beheertype hierop af te stemmen, kan effectiever worden beheerd.

#### 2.1.3.3 **Communicatie**

Transparante communicatie over de bekende en onbekende effecten van ons werk op de biodiversiteit is essentieel. Hierbij is het van belang om te delen wat en hoe er is gemeten, en waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt. Zo kunnen analyses later makkelijker worden bijgesteld wanneer er inzicht is gegeven in de gekozen soorten, variabelen en indicatoren, waar deze representatief voor zijn en de link met ecologische impact en eventuele doorvertalingen naar ecosysteemdiensten en maatregelen. Ook is het belangrijk om aan te geven wat de onbekenden zijn. Welke ecologische effecten en doorvertalingen zijn onbekend? Waar ontbreekt er informatie? Zo kunnen verwachtingen rondom het monitoren en waarderen van biodiversiteit beter worden afgestemd, krijgen we een breder draagvlak en kunnen we toewerken naar beter onderbouwde keuzes. Het belang hiervan hangt vanzelfsprekend weer af van de beoordeling van het type project (zie Figuur 2-1).

#### 2.1.4 **Vervolgstappen**

Als er met het stroomschema is bepaald dat biodiversiteit aspecten relevant zijn voor het project en met welk schaalniveau deze kunnen worden getypeerd, kan worden gewerkt naar concrete invulling en uitwerking worden gewerkt. Aangezien specialistische kennis nodig kan zijn bij de integratie en (on)mogelijkheden van het bepalen van de gevolgen voor de biodiversiteit, nodigen wij je graag uit in gesprek te gaan met een van onze collega-ecologen via onderstaand mailadres. Het stroomschema en gekozen schaalniveau vormen hiervoor de basis.

➤ [team-biodiversity@deltares.nl](mailto:team-biodiversity@deltares.nl)

De rest van dit document geldt als naslagwerk voor de mogelijkheden voor monitoring en interpretatie. Ook geeft de tekst een beeld van wat wel en niet met bepaalde methoden kan worden bepaald. Zo hopen wij de gevolgen voor de biodiversiteit binnen Deltares te kunnen vertalen van een abstracte waarde naar de concrete veranderingen voor de natuur. Hiervoor beantwoordt het de volgende vragen:

### [Hoofdstuk 3](#)

[3.1.1](#) Op welke ruimtelijke schaalniveaus en hoe wordt biodiversiteit beïnvloedt?

[3.1.3](#) Welke diversiteit is gewenst?

[3.1.4](#) Hoe bepaal je hoe 'belangrijk' een ecosysteem of soort is?

### [Hoofdstuk 4](#)

[4.1.1](#) Welke classificatie van soort(groep)en is relevant?

[4.1.2](#) Hoe bepaal je welke soort(groep)en je moet meten?

[4.1.5](#) Wat zijn de verschillende diversiteitindicie? Wat zijn hun voor- en nadelen?

[4.1.6](#) Welke biodiversiteitspatronen kunnen hiermee worden bepaald?

### [Hoofdstuk 5](#)

Welke relevante software maakt Deltares?

### [Hoofdstuk 5](#)

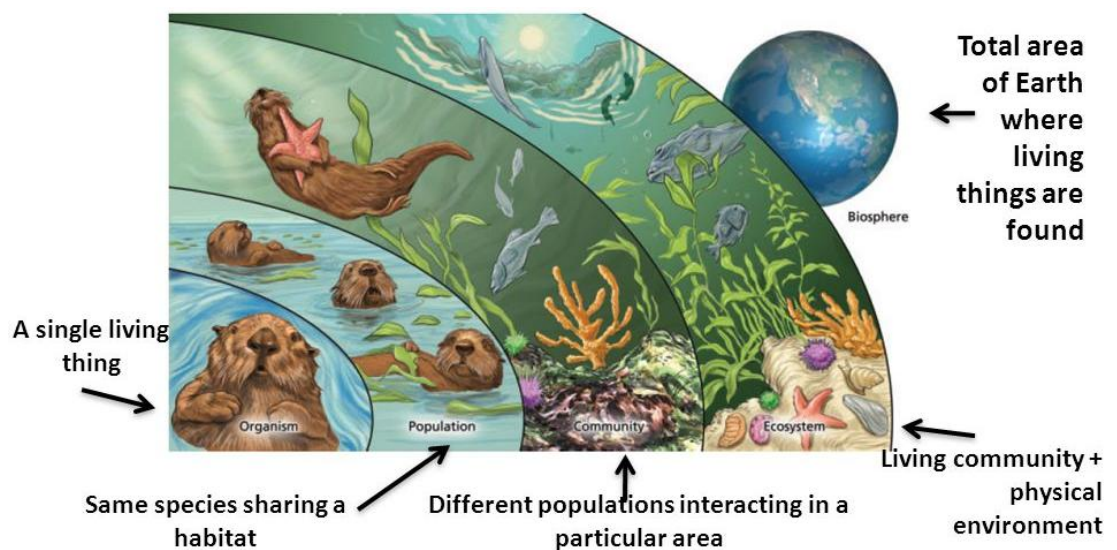
[5.1](#) Wat zijn de voor- en nadelen van herstel van natuur gekenmerkt door vrije, natuurlijke processen en creatie van nieuwe natuur?

[5.2](#) Is nieuwe natuur ook natuur?

## 3 Vormen van diversiteit

### 3.1.1 Diversiteit in algemeenheid

Biodiversiteit is eerder gedefinieerd als de variabiliteit aan leven. Toch is deze definitie, door het vatten van een multidimensionaal en complex concept in een maat, opzichzelfstaand misleidend en daardoor problematisch (Daly et al., 2018). Het is dan ook informatiever om biodiversiteit te bekijken op verschillende (hiërarchische) niveaus van ecologische complexiteit (Figuur 3-1). Zo kan er bijvoorbeeld worden gekeken naar genetische diversiteit van een populatie, de soortenrijkdom van een community en de ruimtelijke verdeling van habitats in een ecosysteem. Deze indeling kan ons helpen om menselijke invloeden op de natuur beter te begrijpen, door veranderingen in deze aspecten van diversiteit te relateren aan (de vatbaarheid voor) onze invloeden op de natuur en deze zo door te vertalen naar potentiële effecten. Omdat de verschillende niveaus gelinkt zijn aan verschillende processen, is het belangrijk om te bepalen welk ecologisch niveau – en dus welke diversiteit – relevant is voor een project.



Figuur 3-1 Niveaus van ecologische complexiteit. Diversiteit kan in elk niveau van belang zijn, hetzij in de vorm van genetische diversiteit, hetzij in de vorm van diversiteit aan ecosystemen (Bron: Ritter, 2001).

### 3.1.2 Schaalniveaus en relevante diversiteit en processen

#### 3.1.2.1 Populaties

Populaties bestaan uit alle individuen van een soort. De diversiteit in populaties, in onder andere genetische en morfologische eigenschappen, geven een beeld van de weerbaarheid en het verspreidingsvermogen. Zo is een genetisch diverse populatie minder vatbaar voor ziekten, en kunnen eigenschappen als vleugellengte mobiliteit beïnvloeden. Ook kan een diverse populatie zich beter acclimatiseren (binnen een generatie) of aanpassen (over generaties) aan veranderingen in de omgeving.

De ecologische processen die de grootte en samenstelling van een populatie bepalen wordt populatiedynamiek genoemd. Hieronder vallen o.a. de samenstelling in leeftijd en seks, de ruimtelijke verdeling, gemiddelde levensverwachting en vruchtbaarheid.

Deze eigenschappen volgen veelal uit de draagkracht van de habitat, ofwel tot in hoeverre de omgeving voldoet aan de randvoorwaarden van de soort voor klimaat, voedsel, beschutting en ruimte voor natuurlijk gedrag.

Menselijke verstoring kan zowel direct als indirect inspelen op de populatiedynamiek. Zo kan verandering in klimaat zorgen voor directe sterfte als gevolg van hittestress of indirecte sterfte door vermindering van habitatkwaliteit en -beschikbaarheid of mismatches in timing (fenologie) van bijvoorbeeld voortplanting ten opzichte van voedselbeschikbaarheid.

#### 3.1.2.2 Communities

De gemeenschapssamenstelling is het aantal en de verhouding van de interacterende populaties van verschillende soorten in een gebied. De biologische interacties spelen over het algemeen in op elkaars habitat, door invloed uit te oefenen op voedselbeschikbaarheid, beschikbaarheid van schuilplekken, microklimaat en paargedrag. Zo kunnen de relaties onder andere voedsel gerelateerd, symbiotisch, parasitair en facilitair zijn.

Community processen haken hierbij aan op het aantal en de sterkte van ecologische interacties. Zo kunnen er verschuivingen plaatsvinden in dominante soorten (drift), nieuwe soorten gevormd worden (speciation), kolonisatie door nieuwe soorten plaatsvinden (dispersal) en vestiging van nieuwe soorten (establishment) (McFadden et al., 2023). De balans in deze processen bepaalt de samenstelling van de soortgemeenschap (Leibold et al., 2017). Veranderingen in samenstelling kunnen een gevolg zijn van natuurlijke processen, zoals successie, maar ook door menselijke verstoring, zoals klimaatverandering en invasieve soorten (McFadden et al., 2023). Een diverse community heeft overvloedige interacties (redundancy) en is daardoor minder vatbaar voor menselijke verstoring, doordat de ecologische rol overgenomen kan worden door een (combinatie van) andere soort(en). De complexiteit van ecologische gemeenschappen is dan ook gerelateerd aan het functioneren en de weerbaarheid van een ecosysteem, waarbij de combinatie van soorten belangrijker is dan het aantal alleen (Bannar-Martin et al., 2018).

#### 3.1.2.3 Ecosystemen

De diversiteit aan ecosystemen, ofwel de ruimtelijke verdeling en samenstelling van een soortgemeenschappen (biotiek) en hun niet-levende omgeving (abiotiek) in een gebied, volgt uit de ruimtelijke verdeling van habitats. Deze verdeling is onderhevig aan een viertal factoren, elk met soort-specifieke invloeden. De fysieke eigenschappen van deze omgeving zijn hierin leidend, en bepalen in grote mate via soort specifieke voorkeuren welke ecosystemen ergens voor kunnen komen. Dit gebeurt via onder andere bodemsamenstelling en klimaat. Ook vegetatiesamenstelling kan hier invloed op uitoefenen door het beïnvloeden van het microklimaat, via bijvoorbeeld beschaduwning. Naast deze indirecte effecten van biotiek wordt de soortssamenstelling direct beïnvloed door soortinteracties, zoals beschreven in sectie [3.1.2.2](#). Naast deze abiotische en biotische randvoorwaarden wordt de ruimtelijke verdeling beïnvloed door de connectiviteit met de omgeving (Leibold et al., 2017). Zo kunnen ecosystemen fungeren als stapsteen voor populaties over migratieroutes, of uitwisseling tussen populaties faciliteren. Daar tegenover staat dat het zo kan zijn dat een soort niet voorkomt op een locatie wanneer de connectiviteit laag is, ook wanneer de abiotische en biotische voorwaarden voor die soort voldoen.

De fysieke, chemische en biologische processen tussen de abiotiek en biotiek van een ecosysteem heten ecosysteemprocessen. Voorbeelden hiervan zijn de nutriënt cycli, koolstof vastlegging en voedselweb dynamiek, maar ook geomorfische en hydrologische natuurlijke dynamiek zoals meandering.

Al deze processen zijn nodig voor het functioneren van ecosystemen, en veranderingen in een van de processen kan zorgen voor een verschuiving in het voortbestaan of functioneren van een ecosysteem, of voor een verandering in de kwaliteit en kwantiteit van ecosysteme diensten.

### **3.1.3 Welke diversiteit is gewenst**

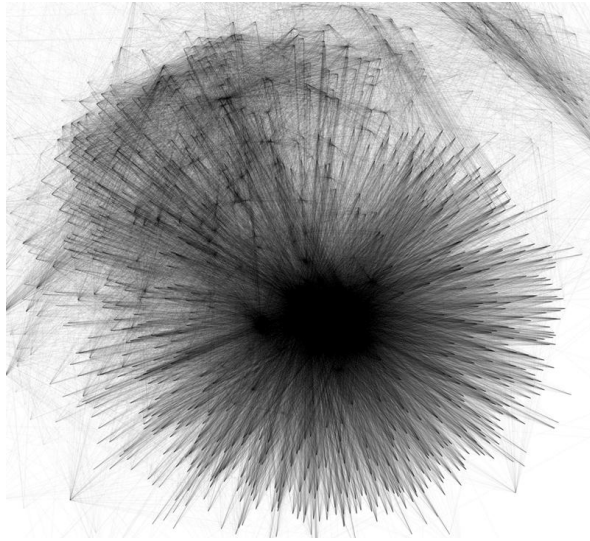
Nadat bepaald is welk diversiteitsniveau relevant is, is het goed om rekening te houden met welke diversiteit gewenst is, en welke groepen er dus moet worden meegenomen in biodiversiteitsscores. Zo is het motief van grote invloed op hoe diversiteit gedefinieerd wordt, of dit nu voor soortenbehoud, ecologische weerbaarheid, biologische bestrijding of cultureel erfgoed is.

Meer diversiteit is namelijk niet per sé beter. Zo vallen ziekteverwekkers en de dieren die deze verspreiden namelijk ook onder soortenrijkdom, net als plaagdieren en invasieve diersoorten. Ook biedt niet alle diversiteit meer ecologische stabiliteit (Bailey et al., 2016; Bannar-Martin et al., 2018), maar kan het behoud van soorten op zich nog steeds gewenst zijn vanuit moreel oogpunt. Naast het morele aspect van het wel dan niet waarderen van deze soorten, kan hun ecologische functie worden gebruikt voor het bepalen van de meerwaarde. Hier gaan wij in hoofdstuk 4 verder op in.

Ook op ecosysteemniveau is een hoge diversiteit niet altijd beter. Omdat ecosystemen elk een typerende gemeenschapssamenstelling hebben, is het zo dat de soortenrijkdom aan de randen tussen ecosystemen het hoogst is. In theorie kan een mozaïek van kleine ecosystemen dus tot een hogere soortenrijkdom leiden. Helaas hebben kleine 'patches' van ecosystemen ook een lagere draagkracht, wat al snel betekent dat ze een bepaalde grootte nodig hebben om gezonde populaties – en daarmee effectief en langdurig functioneren – te kunnen bereiken (Licci et al., 2019). Daarnaast leidt onnatuurlijk lage connectiviteit van versnipperde ecosystemen, en daarmee lage genetische uitwisseling tussen populaties, tot een verminderde kans dat de populaties op de lange termijn kunnen voortbestaan.

### **3.1.4 Cascade effecten**

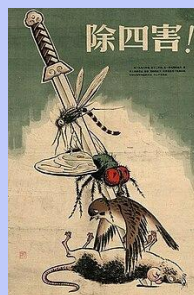
De relatieve belangrijkheid van een soort in een ecosysteem is onderhevig aan het aantal en de uniekheid van haar ecologische interacties. Deze interacties typeren de invloed op de randvoorwaarden voor andere soorten (sectie [3.1.2.2](#)). Of de ecologische rol van een soort overgenomen kan worden door (een combinatie van) andere soort(en), bepaalt dan ook of het systeem zonder problemen kan blijven functioneren wanneer deze wegvalt. Dit netwerk van interacties kan gevisualiseerd worden als een Muir web (Figuur 3-2). Wanneer de verschillende interacties onvoldoende ondervangen worden door andere soorten in de gemeenschap, kunnen cascades optreden, hiërarchische opeenstapelingen van veranderingen in biodiversiteit. Cascades vinden vaak plaats richting grotere ruimtelijke schaalniveaus, maar kunnen ontstaan op elk ecologisch niveau.



Figuur 3-2 Ecologisch netwerk (Muir web) indicatief voor habitatrelaties voor de oorspronkelijke ecologie van Manhattan (Bron: NYBG Welikia project).

Het meest algemene voorbeeld van een ecologische cascade is een verandering in het voedselweb. Wanneer een prooidier wegvalt, zullen de predatoren over moeten stappen op andere prooien. Wanneer dit onvoldoende mogelijk is, omdat het alternatief bijvoorbeeld minder voedingsrijk is, zullen de roofdieren met de tijd ook achteruitgaan. Een voorbeeld hiervan zijn de veranderingen in het voedselweb in waterlichamen waar met het pesticide Bti wordt gesprayd. Ondanks dat de stof geen directe invloed heeft op dieren anders dan muggen en vliegen (Hershey et al., 1998; Lagadic et al., 2016; Schweizer et al., 2019), kunnen de predatoren achteruit gaan door de afname in beschikbare prooidieren (Allgeier et al., 2019; Gerstle et al., 2023, 2024), wat een bottom-up effect is. Ook kunnen top-down effecten optreden. Zo kan de waterkwaliteit relatief verslechteren doordat de larven van muggen en vliegen organisch materiaal filteren (Bordalo et al., 2021; Duguma et al., 2015). Afwezigheid van de larven leidt dan tot het langzamer wegvangen van voedingsstoffen en daarmee tot een vertraagde afname van voedselrijkdom.

Via deze weg kunnen cascades binnen een (bijvoorbeeld aquatisch) systeem optreden. Maar de effecten kunnen ook systemen overstijgen (cross-boundary cascades), zoals tussen water en bodem of water en terrestrisch. Bijvoorbeeld, omdat de volwassen muggen en vliegen na het verpoppen uitvliegen, kunnen er ook effecten van deze verandering in het water teruggevonden worden op het land. Zo kunnen de jongen van zwaluwen de alternatieve prooien slecht verteren, waardoor minder jongen grootgebracht worden (Poulin et al., 2010). Ook voor amfibieën lijken er vergelijkbare problemen op te treden (Allgeier et al., 2019). Andere minder indirecte cascades kunnen optreden door veranderingen in microklimaat, nutriëntencycli en habitatbeschikbaarheid. Hoe doelsoorten voor monitoring en analyse geselecteerd kunnen worden op basis van (potentiële) cascade effecten, wordt belicht in sectie [4.1.2](#).



#### De mussen van Mao

Een duidelijk voorbeeld van een cascade effect volgde uit de hongersnood van 1958. Toen Mao Tse-Tung besloot om 'De vier plagen' te vernietigen als onderdeel van de grootschalige campagne "*man must conquer nature*", had dit grote ecologische gevolgen. Met name de mussen moesten uitgeroeid worden, omdat deze het graan op zouden eten, en dus, hoe meer dode mussen, hoe meer graan voor het volk. In totaal werden er acht miljoen vogels gedood. Door het ontbreken van de vogels ontstond een sprinkhanenplaag, met desastreuze effecten op de graan en rijst oogsten, en zo een verheviging van de hongersnood.

## 4 Classificatie en indicatoren van biodiversiteit

Om veranderingen in biodiversiteit te kunnen meten is het van belang om naast het ecologische niveau (sectie [3.1.2](#)) te bepalen welke [classificatie](#) relevant is, welke [indicator](#) soort(groep)en er moeten worden gemeten en welke [diversiteitsindex](#) passend is voor de interpretatie. Wanneer de data van tevoren is verzameld, dan is deze leidend in het selecteren van de diversiteitsindex.

### 4.1.1 Taxonomische en functionele diversiteit

Veelal worden soorten gebruikt als meeteenheid voor biodiversiteit op gemeenschapsniveau. Soorten zijn een ecologische eenheid van individuen met vergelijkbare (fysieke en/of genetische) eigenschappen die zich met elkaar – maar niet met andere individuen – kunnen voortplanten (IPBES Core Glossary, 2021). Deze definitie houdt niet altijd goed stand en is daardoor discutabel, maar wordt veelal gebruikt door de beschikbaarheid van historische data, bestaande workflows en evaluatie op basis van indicatorsoorten (Davies & Cadotte, 2011). Daarnaast kan onderscheid tussen soorten soms ecologisch minder relevant zijn, als twee zeer verwante soorten dezelfde rol in het ecosysteem (niche) vervullen.

Om deze reden wordt functionele diversiteit (trait diversity) in toenemende mate gebruikt als alternatief voor diversiteit aan soorten. Dit is een scheiding op basis van de eisen aan de toestand van het ecosysteem, zoals fysieke eigenschappen (plek in de waterkolom) of functionele rol (zoals de manier waarop een dier zich voedt) (Petchey & Gaston, 2006). Ondanks dat er aanvullende kennis nodig is over de rol in en eisen aan het ecosysteem, kan dit uiteindelijk metingen sterk versimpelen. Specialistisch taxonomische kennis is namelijk in mindere mate nodig, bijv. doordat deze aanpak methoden als remote sensing mogelijk maakt (Skidmore et al., 2021). Ook is er op deze manier makkelijker een link te leggen met onderliggende mechanismen, en dus potentiële oorzaken van veranderingen, doordat soorten met gelijkende functionele eigenschappen vaak ook vergelijkbaar gebruik maken van hun omgeving. Ook kan er voorspeld worden hoe traits reageren op drukfactoren, en hoe deze veranderingen doorwerken binnen de gemeenschap met het oog op ecologische cascades (sectie [3.1.4](#)).

### 4.1.2 Indicatoren

Ondanks dat abiotische veranderingen invloed uitoefenen op de natuur is het meten van abiotiek (te) indirect voor het bepalen van gemeenschapssamenstelling. Om deze reden worden vaak soorten gemeten. Het meten van de totale biodiversiteit is alleen erg intensief en daardoor vaak niet haalbaar. Ook helpt dit niet altijd. Om deze redenen wordt er vaak voor gekozen om een selectie van soort(groep)en te meten. Deze selectie van doelsoorten kan worden samengesteld op basis van (een combinatie van) 1) gevoeligheid voor abiotische factoren, welke een bekende relatie met (menselijke) verstoring hebben, 2) hun functionele eigenschappen, welke een ecosysteem dienst vertegenwoordigen, 3) hoeksteensoorten, welke een grote invloed op een ecosysteem hebben als bijvoorbeeld bio-bouwers, 4) paraplu-soorten, welke via hun ecologische randvoorwaarden een grotere groep soorten/groepen vertegenwoordigen of 5) vlagschipsoorten, welke door hun uiterlijk of cultureel belang via populariteit voor een breder publiek draagvlak zorgen. Ook kan een doelsoort worden gekozen op basis van zeldzaamheid voor natuurbehoud of omdat deze van bijzonder belang is bij beheer, zoals plaagsoorten of invasieve soorten.

Voor Deltares zijn twee soortenlijsten met name interessant, indicatorlijst van de Vogel- en Habitatrichtlijn (VHR/Natura2000) en die van de Kaderrichtlijn Water (KRW).

- De VHR is gebaseerd op de bescherming en instandhouding van habitattypen, habitatrichtlijnsoorten en vogelsoorten. Naast terrestrische soorten vallen hier ook soorten met een aquatisch levensstadium onder, zoals libellen, vissen, amfibieën en de bever.
- De KRW soortenlijst is het meest relevant voor aquatische natuur en bevat onder andere uitgebreide soortenlijsten voor vis, macrofauna en aquatische planten. De lijst is gebaseerd op voorkomen en dichtheden in relatie tot abiotische indicatoren per watertype, waarbij een positieve of negatieve waardering is gebaseerd op de zeldzaamheid en relatieve dominantie.

Het risico van de soortenlijsten is om te rigide te werk te gaan. Zo houden de lijsten geen rekening met (beoordeling van) nieuwe/invasieve soorten. De lijsten zijn daardoor representatiever voor ecologisch herstel dan ecologisch functioneren. Ook hangt de beoordeling af van het toegewezen beheer- of watertype, wat problemen op kan leveren wanneer de indeling op een locatie niet (meer) blijkt te kloppen.

#### 4.1.3 Diversiteit indicie

Diversiteit kan via een diversiteitsindex worden getypeerd. Dit is een gestandaardiseerde formule als maat voor ecologische structuur, compositie en functie. De index kan gebruikt worden om ecologische veranderingen en integriteit te meten. Dit kan worden gedaan met een index voor de totale diversiteit, of met een index voor een indicator soort, die als representatief wordt gezien (sectie [4.1.2](#)).

Er zijn veel diversiteitsindicie voor elk ecologisch schaalniveau en met toepassingen die reiken van ecologische en economische impact tot bestuurlijke prioritering. Doordat de indicie ontwikkeld worden vanuit verschillende (inter)disciplinaire oogpunten, elk met hun eigen definities voor termen als 'biodiversiteit', 'indicator' en 'index', is het lastig om tot een consensus te komen voor welke indicatoren gebruikt dienen te worden (Duelli & Obrist, 2003; Marshall et al., 2020). Toch zijn er patronen te vinden. Over het algemeen rekenen de indicie met een combinatie van 1) het absolute aantal soorten, 2) het aantal individuen per soort (abundantie), 3) relatieve dominantie van soorten (evenness) en 4) (evolutionaire) ongelijkheid tussen de soorten (disparity) (Daly et al., 2018). Daarmee bouwen deze indicie voort op de soortenrijkdom per locatie ( $\alpha$ -diversiteit), soortenrijkdom van alle locaties samen ( $\gamma$ -diversiteit), en het aantal soorten dat verschilt tussen twee locaties ( $\beta$ -diversiteit). De relatieve focus bepaalt welke ruimtelijke en temporele effecten gemeten kunnen worden; enkele algemene voorbeelden (Davies & Cadotte, 2011; Duelli & Obrist, 2003; Durán et al., 2020; Feld et al., 2009; Holmes et al., 2023; Marshall et al., 2020) zijn weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Overzicht van enkele biodiversiteitsindicie, hun categorie en beschrijving.

| Schaal     | Categorie (Focus)          | Type             | Index                                             | Beschrijving                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|----------------------------|------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Populatie  | Verstoring                 | Impact           | Range Size Rarity (RSR)                           | Een maat voor de zeldzaamheid van een of meerdere populaties op basis van haar verspreiding. De score wordt berekend als fractie van het oppervlak waar de soort voorkomt. Deze score kan bijdragen aan de priorisering van soorten bij het opstellen van interventies. |
|            |                            | Impact           | Area Of Habitat (AOH)                             | Eerder ook wel de 'Extent of Suitable Habitat (ESH)', is een maat voor het oppervlak aan geschikt habitat voor een of meerdere populaties.                                                                                                                              |
|            |                            | Status en Impact | Likelihood of persistence                         | Een maat voor de kans op lokaal uitsterven van een populatie of soort gebaseerd op het oppervlak aan geschikt habitat.                                                                                                                                                  |
|            |                            | Status           | Latent risk (LR)                                  | Het verschil tussen de gevoeligheid voor uitsterven en huidige risico op uitsterven. Op deze manier kunnen soorten worden geïdentificeerd die door hun eigenschappen gevoelig zijn voor stressoren, maar daar op dit moment geen last van ondervinden.                  |
|            | Intactheid en functioneren | Status en Impact | Mean Species Abundance (MSA)                      | De abundantie van een soort in een gebied (als gevolg van een drukfactor) relatief aan een onverstoorde situatie.                                                                                                                                                       |
| Community  | Samenstelling              | Status           | Soortenrijkdom ( $\alpha$ )                       | Absolute aantal soorten in een gemeenschap.                                                                                                                                                                                                                             |
|            |                            | Status           | Shannon's Index                                   | Maat voor gemeenschapssamenstelling waarbij soortenrijkdom, abundantie en evenness worden meegenomen. Hogere waarden zijn indicatief voor meer soorten met gelijke dichtheden.                                                                                          |
|            |                            | Status           | Simpson's Index                                   | Maat voor gemeenschapssamenstelling waarbij dominante soorten zwaarder wegen.                                                                                                                                                                                           |
|            |                            | Status           | Hill numbers                                      | Maat voor gemeenschapssamenstelling welke gebruikt kan worden als weging voor andere indicie. Door een variabele aan te passen kan deze index nadruk leggen op soortenrijkdom, evenness of dominante soorten.                                                           |
| Ecosysteem | Verstoring                 | Status           | Local Biodiversity Intactness                     | Maat voor de soortenrijkdom en abundantie in een gebied relatief aan een onverstoorde situatie.                                                                                                                                                                         |
|            |                            | Impact           | Potentially Disappeared Fraction of Species (PDF) | Maat voor het potentieel verlies van soorten in een gebied als gevolg van menselijke drukfactoren. Deze index is ontwikkeld voor implementatie in life cycle assessments.                                                                                               |
|            | Intactheid en functioneren | Impact           | Biodiversity Habitat Index                        | Schatting van de proportie behouden diversiteit na habitat verlies, fragmentatie of degradatie. Deze index kan gebruikt worden als indicator voor lokaal uitsterven.                                                                                                    |

| Schaal    | Categorie (Focus)  | Type   | Index                                                  | Beschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------|--------------------|--------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nationaal | Economische impact | Impact | rePLANET                                               | De verandering in de fractie van behaalde diversiteitsdoelen gebaseerd op het inflatiemodel van de Consumer Price Index.                                                                                                                                                                                                       |
|           |                    | Impact | PV Nature Methodology                                  | Een maat voor de evaluatie van biodiversiteitsdoelen gebaseerd op machine-learning big data-analyse uit onder andere bio-akoestiek en verschillende soorten beeld-data. De methode wordt gebruikt voor het uitgeven van certificaten voor investeringsvoordelen.                                                               |
|           | Governance         | Impact | Biodiversity Net Gain (BNG)                            | Een Britse strategie met als doel om elk bouwproject een toename van 10% biodiversiteit te laten verwezenlijken via een mitigatie hiërarchie.                                                                                                                                                                                  |
|           |                    | Status | Biodiversity Intactness Index (BII)                    | Een index voor de biodiversiteitsstatus in een (terrestrisch) gebied. De maat combineert data voor landgebruik, ecosysteem dekking, soortenrijkdom en veranderingen in dichtheden met de Shannon index als basis. De maat functioneert het best op nationaal niveau, maar kan regionaal gebruikt worden                        |
|           | Rewilding          | Status | Rewilding Score                                        | Een score voor de evaluatie van verwildering voor ecologisch functioneren. De maat is het gemiddelde voor 19 indicatoren voor de aspecten voedselweb complexiteit, natuurlijke verstoring en verspreiding. Diversiteit wordt niet direct gemeten, maar geïnterpreteerd aan de hand van de veranderingen in drukfactor-respons. |
| Planetair | Governance         | Status | Living planet Index (LPI)                              | Maat ontwikkeld door het WWF ter monitoring van de snelheid waarmee soorten uitsterven.                                                                                                                                                                                                                                        |
|           |                    | Impact | Species Threat Abatement and Restoration (STAR)        | Het potentieel van interventies voor een soort om bij te dragen aan global sustainability targets. Deze maat wordt gebruikt voor het prioriteren van investeringen                                                                                                                                                             |
|           |                    | Impact | Biodiversity Impact Credit (BIC)                       | Kwantificatie van de (som van) veranderingen in kans op wereldwijd uitsterven van soorten als gevolg van het handelen van een organisatie.                                                                                                                                                                                     |
|           |                    | Impact | Evolutionarily Distinct and Globally Endangered (EDGE) | Maat voor de verandering in verwacht verlies aan evolutionaire informatie voor een soort. De waarde wordt bepaald met behulp van veranderingen in Rode lijst categorie, evolutionair verlies en evolutionaire historie.                                                                                                        |
|           |                    | Impact | Global extinction probability                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

#### 4.1.4 Essentiële biodiversiteit variabelen

Vervolgens kunnen aan de hand van Essential Biodiversity Variables (EBV) veranderingen in biodiversiteit in kaart worden gebracht (Navarro et al., 2017; Pereira et al., 2013). Via deze weg is het mogelijk om indicatoren te kiezen die representatief zijn voor ecologische responsen (Tabel 4-2). Deze kunnen vervolgens worden gekoppeld aan bijvoorbeeld ecosysteemdiensten, om zo een concreet beeld te krijgen van de impacts op menselijk welzijn (Balvanera et al., 2022). Ook kunnen zo onderliggende drivers worden geïdentificeerd (Mace & Baillie, 2007), zoals bijvoorbeeld de invloed van landgebruik op habitat beschikbaarheid (Durán et al., 2020).

Tabel 4-2 Overzicht van ecologische niveaus en aan biodiversiteit geassocieerde kenmerken, beschrijvingen en indicie. Aangepast uit Quebec Centre for Biodiversity Science & McGill University, 2024.

| Schaalniveau | Grootheid                   | Beschrijving                                                                                                    | Index                                                                                 |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Populatie    | Genetische differentiatie   | Verschil in genetische samenstelling tussen populaties.                                                         | Wright's fixation index, Jost's D                                                     |
|              | Inteelt                     | Mate van voortplanting tussen verwante individuen.                                                              | Inbreeding coefficient                                                                |
|              | Effectieve populatiegrootte | Aantal individuen in een ideale populatie met dezelfde mate van genetisch verlies als de beoordeelde populatie. | Effective population size (Ne)                                                        |
| Soort        | Genetische diversiteit      | Variatie aan genetische eigenschappen binnen een soort.                                                         | Nei's Gene Diversity, Shannons index                                                  |
|              | Verspreiding                | Ruimtelijke indeling van individuen van een soort over een aaneengesloten gebied.                               | Habitat suitability, Species distribution models, Area of habitat                     |
|              | Abundantie                  | Voorspeld aantal van individuen van een soort over een aaneengesloten gebied.                                   | Shannons index, Hills number                                                          |
|              | Morfologie                  | Variatie aan fysieke eigenschappen van individuen binnen een soort.                                             | Shannons index, Simpsons index                                                        |
|              | Fenologie                   | Aanwezigheid en aantal van gedragingen door tijd (zoals broedgebied).                                           | Peak/mean (onset) day, Pairwise overlap                                               |
|              | Verplaatsing                | Gedragingen gerelateerd aan mobiliteit van organismen, zoals dispersie en migratie.                             | Afstand uit mark-recapture, Least-cost path analysis, species temperature index (STI) |
|              | Reproductie                 | (a)Seksuele voortplanting van organismen, zoals ontwikkelingsduur en voortplantingssucces.                      | Mean clutch size, Fecundity rate                                                      |
| Gemeenschap  | Taxonomische diversiteit    | (Fylogenetische) diversiteit aan soorten in een soortgemeenschap.                                               | Shannons index, Simpsons index                                                        |
|              | Diversiteit aan traits      | Diversiteit aan functionele eigenschappen van organismen in een soortgemeenschap.                               | Functional richness, Functional evenness, Rao quadratic entropy                       |
|              | Diversiteit aan interacties | De diversiteit en structuur van ecologische interacties binnen een soortgemeenschap.                            | Interaction diversity, Interaction evenness                                           |
|              | Ecosysteem fenologie        | Duur en mate van cyclische processen en relaties, zoals                                                         | Peak/mean (onset) day, Pairwise overlap,                                              |

| Schaalniveau      | Grootheid               | Beschrijving                                                                                                                                | Index                                                  |
|-------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                   |                         | timing van bloei van vegetatie en geassocieerde bestuivers.                                                                                 | (Phenological) Synchrony Index                         |
|                   | Verplaatsing            | Gedragingen gerelateerd aan mobiliteit van organismen, zoals dispersie en migratie.                                                         | Community temperature index (CTI)                      |
| <b>Ecosysteem</b> | Primaire productie      | Snelheid van vastlegging van energie in organisch materiaal, voornamelijk via fotosynthese.                                                 | Net Primary Productivity (NPP)                         |
|                   | Ecosysteem fenologie    | Duur en mate van cyclische processen en relaties in een ecosysteem, zoals mediatie van algenbloei en activiteit van vegetatie door klimaat. | Peak/mean (onset) day, (Phenological) Synchrony Index  |
|                   | Levende bedekking       | Fractie van oppervlak bedekt met levende organismen zoals planten en algen.                                                                 | Biodiversity Intactness Index, Protected area coverage |
|                   | Ecosysteem verspreiding | Horizontale verdeling van verschillende ecosystemen.                                                                                        | Ecosystem Integrity Index, Canopy Cover and Openness   |
|                   | Verticaal profiel       | Verticale verdeling van ecosystemen                                                                                                         | Canopy Arrangement, Canopy rugosity                    |

## 5 Deltares software

Deltares heeft verschillende softwarepakketten ontwikkeld waarmee voorspellingen van (veranderingen in) habitats en ecotopen (oppervlakken met specifieke hydro- morfo- en antropogene dynamiek) en het daaruit volgende voorkomen van soorten kan worden berekend.

### 5.1 D-Eco Impact

Deze tool kan worden gebruikt voor flexibele ruimte en tijdsafhankelijke analyses van ecologische effecten, onafhankelijk van de locatie, beschikbare data of kennis. D-Eco Impact heeft geen gebruikersinterface en is bedoeld om te integreren in andere software. Zo dient deze als rekenkern voor onder andere REACT.

➤ [D-Eco Impact wiki](#)

### 5.2 D-Water Quality (DELWAQ)

Invloeden van toekomstige scenario's op de chemische en abiotische omstandigheden binnen oppervlaktewateren, kunnen worden voorspeld met DELWAQ. Zo kunnen de voor biodiversiteit noodzakelijke omstandigheden uit waterkwaliteit, algengroei en sediment(transport) met de tool worden gesimuleerd.

➤ [DELWAQ wiki](#)

### 5.3 KRW-Verkenner

Voor het berekenen van de toestand en potentieel van een KRW-waterlichaam, is de KRW-Verkenner ontwikkeld. Deze analyseert de effectiviteit van maatregelen op de chemische en ecologische kwaliteit en geeft zo inzicht hoe KRW-doelen gehaald kunnen worden.

➤ [KRW-Verkenner wiki](#)

### 5.4 NBSDynamics

Interacties tussen ecologie en hydrodynamica en de daaruit volgende invloed op de groei van ecologie zoals koraalriffen en zeegrasbedding kan gesimuleerd worden met NBSDynamics.

➤ [NBSDynamics GitHub](#)

### 5.5 Rapid Ecological Assessment and Communication Tool (REACT)

Voor snelle analyses en ecologische voorspellingen in rivierbassins kan REACT worden gebruikt. Deze tool gebruikt een combinatie van datastromen waarbij algemeen beschikbare abiotische data kan worden afgestemd met stakeholder engagement en velddata. Vervolgens kunnen scenario's worden gebruikt om voorspellingen te doen.

➤ [REACT wiki](#)

## 6 Beheer en nieuwe natuur

Als Deltares brengen wij via een combinatie van kwalitatieve en kwantitatieve methoden in beeld hoe de kwaliteit van watersystemen bedreigd of hersteld worden. Als onderdeel hiervan werken wij aan de bewustwording voor het belang van weerbare en gezonde van water- en ondergrondse systemen, als basis van natuur en het menselijk leven. Via digitale en innovatieve methoden geven wij het water, de bodem en het ecosysteem een stem. Op deze manier inspireren en faciliteren wij belanghebbenden om bewust en duurzaam gebruik te maken van onze omgeving. Zo kan er effectief worden gepland om de ecologische gezondheid van zoet- en zoutwater systemen – en de functies die zij vertegenwoordigen – te beschermen.

### 6.1 Herstel of creatie

Hierbij is het belangrijk om ervan bewust te zijn dat de wereld, en daarmee ook de natuur, verandert. Deze veranderingen kunnen negatief zijn, omdat de waterkwaliteit bijvoorbeeld verslechtert. In dat geval kunnen we met beheer aansturen op herstel, om zo terug te keren naar de originele staat. Het kan echter ook dat een verandering bijvoorbeeld het temperatuurprofiel voor een gebied verandert, waardoor de originele gemeenschap hier niet meer kan leven. In dat geval is herstel niet mogelijk en vraagt de verandering om nieuwe oplossingen. Hierbij kan er worden aangestuurd op een beheertype dat aansluit op de nieuwe omstandigheden, waarbij er ook natuur kan worden gecreëerd. Hieronder gaan we in op de voor- en nadelen van herstel van natuur gekenmerkt door vrije, natuurlijke processen en creatie van nieuwe natuur.

#### 6.1.1 Vrije, natuurlijke processen

Veelal wordt de 'ideale' staat van natuur beschreven als natuurlijke landschappen en ecosystemen, vrij van grootschalige menselijke ingrepen. Hieronder vallen Nederlandse landschappen als de binnenlandse dennen- en loofbossen, heidegebieden, veengebieden, wandelende rivieren en de duingebieden, stuifzanden en wadden aan de kust. Deze natuur kenmerkt zich door haar veelal voedselarme omstandigheden en vrije, natuurlijke processen. Voor de aquatische natuur omvat dit zoal een vrije meandering en dynamiek door seizoenale droogte en overstromingen, waardoor biotopen vanzelf verschuiven en verjongen. Vrije natuur kent door deze dynamiek een hoge ruimtelijke diversiteit in biotopen, en daarmee ook een hoge soortenrijkdom.

Een groot deel van de Nederlandse natuur is vastgelegd door inpoldering, verstedelijking, versnippering door infrastructuur en vastlegging van de rivieren. Toch zijn er nog fragmenten te vinden waar natuurlijke processen meer de ruimte krijgen, zoals de Biesbosch, Veluwe en delen van de wadden zee.

#### 6.1.2 Knelpunten voor natuurherstel

Dit streefbeeld voor natuurherstel, van natuurlijke gebieden met vrije, natuurlijke processen kent verschillende knelpunten, waarbij twee thema's in Nederland dominant zijn. Zo kunnen klimaat en ruimtelijk gebruik beperkend zijn. Dit zijn zeker niet de enige knelpunten, maar deze representeren de veranderende (fysieke) omgeving (het klimaat verandert) en conflicten in prioritering met andere sectoren (ruimtelijke beperkingen).

#### 6.1.2.1 Het klimaat verandert

Door veranderingen in klimaat en inrichting komt het voor dat ecologische randvoorwaarden van soorten niet voldoende gedekt worden. In geval van temperatuur uit dit zich als de noordwaartse migratie van koude minnende soorten. Bij veranderingen in verzilting is er een landinwaartse verschuiving van zoetwatersoorten. Wanneer adaptatie en mitigatie maatregelen lang uitblijven zullen deze verschuivingen ervoor zorgen dat de soortsaamenstelling van een gebied verandert. Als dit ook voor de omringende gebieden geldt zal herkolonisatie niet mogelijk zijn, waardoor herstel van de (randvoorwaarden van de) originele natuur simpelweg geen toekomst heeft, en de verandering permanent wordt.

#### 6.1.2.2 Ruimtelijke beperkingen

Bovendien zijn veel natuurgebieden niet groot genoeg om een zelfstandig functionerend systeem te kunnen vormen. Dit komt onder andere doordat het niet groot is om voldoende territoria van (grote) predatoren te kunnen huisvesten. Door het gebrek aan die predatoren, moeten sommige prooipopulaties door de mens klein worden gehouden (bv door afvangst of afschot). Beheer is in dit soort gevallen dus een voorwaarde voor natuur. Ook kan deze versnippering ertoe leiden dat populaties gebruik moeten maken van meerdere gebieden, omdat bijvoorbeeld niet elk habitat dat nodig is binnen de levenscyclus beschikbaar is in een natuurgebied. De populaties zijn dan sterk afhankelijk van de connectiviteit, waarbij er problemen ontstaan tijdens het herhaaldelijk verplaatsen tussen de gebieden.

Wanneer een huidig (natuur)gebied dus niet aan de vereiste grootte of klimatologische randvoorwaarden voldoet voor het originele natuurtype, kan er beter worden ingezet op nieuwe (beheerde) natuur.

### 6.2 Beheerde natuur

#### 6.2.1 Natuur met mensen

Beheerde natuur verwijst naar natuur die actief wordt beïnvloed en onderhouden door menselijke ingrepen. Hieronder valt onder andere het onderhoud aan vegetatie, herintroduceren of verwijderen van plant en diersoorten of het aanpassen van bijvoorbeeld verblijftijden en waterstanden. Hierbij is het al vrij snel duidelijk dat natuur zonder menselijke ingrepen in Nederland, zoals het nu is, niet mogelijk is. Het peil wordt grootschalig en actief beheerd omwille van waterveiligheid. En aan de kust waar peilbeheer minder speelt is spuien nodig tegen verzilting van drinkwater en zijn suppleties van de zandplaten nodig voor het behoud van bebouwing. Natuur in de polder is dan ook een combinatie van de twee: het vrijlaten waar mogelijk en beheer om te corrigeren voor gebrek aan natuurlijke processen als dynamiek.

Ook wanneer wij ons ervoor afsluiten beïnvloeden wij namelijk de wereld om ons heen. Natuur zonder beheer zou betekenen dat een natuurgebied los zou moeten staan van menselijke verstoring zoals landgebruik, watermanagement en klimaatverandering. Dat is simpelweg niet mogelijk.

#### 6.2.2 Is nieuwe natuur ook natuur?

Nieuwe natuur, waarbij het doel niet is om terug te keren naar een situatie voor menselijke ingrepen, maar naar een natuurtype dat aansluit bij de huidige en toekomstige klimatologische en ruimtelijke omstandigheden, vormt een middenweg. Nieuwe natuur richt zich op het ontwikkelen van veerkrachtige landschappen en biodiversiteit, met menselijke invloeden en ingrepen als bewust onderdeel. Hierbij kan er op adaptiviteit worden ingezet, waarbij ecotopen en natuurzones door de tijd mogen verschuiven.

Op ecosysteemniveau kan er worden gewerkt aan 'nieuwe' habitats als Nature-based Solutions, zoals rifballen als bescherming van windmolens, of gebieden als helofytenfilter voor drinkwater. Op community niveau kan er gericht worden ingezet op randvoorwaarden voor bepaalde doelgroepen die de veerkracht van de gemeenschap tegen verstoring uit klimaat, invasieve soorten of vervuiling verhogen.

De Markerwadden zijn een goed voorbeeld van deze insteek. De ontwikkeling van dit gebied is ingezet om de waterkwaliteit van het Markermeer te verhogen, door habitat te bieden voor vogel-, vis- en plantgemeenschappen via onder andere luwtewerking te stimuleren. Ook het project Ruimte voor de Rivier is een voorbeeld van nieuwe natuur. Binnen dit project krijgen rivieren meer ruimte door uiterwaardvergraving en dijkverlegging. Het project combineert waterveiligheid met de ontwikkeling van natuurlijk dynamische rivierlandschappen. Via deze weg kunnen we ondanks en dankzij menselijk handelen de natuur versterken.

## 7 Kaderdefinities

### **Biodiversiteit**

De variabiliteit in levende organismen van alle bronnen — inclusief terrestrisch, marien en andere aquatische ecosystemen — en de ecologische complexiteit waar zij deel vanuit maken. Hieronder valt diversiteit in genetische, fenotypische, fylogenetische en functionele eigenschappen, en veranderingen in dichtheden en verspreiding voor tijd en ruimte voor soorten, soortgemeenschappen en ecosystemen.

### **Biodiversiteitsverlies**

De achteruitgang van een of meer van de aspecten van biodiversiteit in een specifieke omgeving door sterfte (inclusief uitsterven), vernietiging of handmatige verplaatsing. Dit kan plaatsvinden op verschillende ruimtelijke niveaus, van lokaal tot globaal, resulterend in verlies van totale diversiteit op dezelfde schaal.

### **Community (ecologisch)**

De soortsamenvatting in een gebied van ten minste twee samenlevende soorten, welke (in verschillende mate) (in)direct interacteren.

### **Connectiviteit**

De verbondenheid van aan elkaar gerelateerde habitats, zo dat planten en dieren zich vrij tussen de (patches van) habitats kunnen bewegen. Voorbeelden hiervan zijn leef-, paai-, rust- foerageergebieden. In de Nederlandse grote wateren is de connectiviteit over het algemeen laag door dammen, dijken, sluizen en stuwen. Zogenaamde corridors zoals vistrappen kunnen een oplossing bieden.

### **Dynamiek**

Een belangrijk en natuurlijk mechanisme voor het behoud en realiseren van diversiteit en connectiviteit. Voorbeelden voor meren zijn variatie in waterpeil en de invloed van wind. Voor estuaria zijn voorbeelden getijdeslag en sedimentverplaatsing. Voor rivieren kan je denken aan afvoerverschillen met wisselende waterstanden en stroomsnelheden en morfodynamiek.

### **Ecosysteem**

Een dynamische soortgemeenschap van planten, dieren en micro-organismen en hun niet levende omgeving als een functionele groep

### **Ecosysteem degradatie**

Een lange-termijn achteruitgang in een ecosysteem haar structuur, gevoeligheid (voor verandering), functionaliteit of capaciteit voor het leveren van ecosysteem diensten.

### **Ecosysteem dienst**

Een ondersteunende, regulerende, culturele dienst of bevoorrading van goederen, geleverd door een ecosysteem aan mensen als inherent onderdeel van haar functioneren. Voorbeelden hiervan zijn bestuiving, nutriënt cycli, stikstof fixatie, hout en voedsel.

### **Ecosysteem verschuiving**

Een lange-termijn verschuiving in een ecosysteem haar ruimtelijke structuur, soortgemeenschap, functionaliteit of ecosysteem diensten.

**Waterkwaliteit**

De (balans van) fysische, chemische en biologische karakteristieken van een waterlichaam. Waterkwaliteit is in wisselwerking met de community. Hoge concentraties voedingsstoffen kunnen leiden tot de dominantie van algen en daarmee het verlies van andere soorten. Ook hoge temperaturen kunnen leiden tot lagere oplosbaarheid van zuurstof en toenemende stratificatie in de waterkolom, wat kan leiden tot het afsterven van soorten.

## 8 Referenties

- Allgeier, S., Friedrich, A., & Brühl, C. A. (2019). Mosquito control based on *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) interrupts artificial wetland food chains. *Science of The Total Environment*, 686, 1173–1184. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.358>
- Azzone, G., & Noci, G. (1998). Seeing ecology and “green” innovations as a source of change. *Journal of Organizational Change Management*, 11(2), 94–111. <https://doi.org/10.1108/09534819810212106>
- Bairey, E., Kelsic, E. D., & Kishony, R. (2016). High-order species interactions shape ecosystem diversity. *Nature Communications*, 7(1), 12285. <https://doi.org/10.1038/ncomms12285>
- Balvanera, P., Brauman, K. A., Cord, A. F., Drakou, E. G., Geijzendorffer, I. R., Karp, D. S., Martín-López, B., Mwampamba, T. H., & Schröter, M. (2022). Essential ecosystem service variables for monitoring progress towards sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 54, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101152>
- Bannar-Martin, K. H., Kremer, C. T., Ernest, S. K. M., Leibold, M. A., Auge, H., Chase, J., Declerck, S. A. J., Eisenhauer, N., Harpole, S., Hillebrand, H., Isbell, F., Koffel, T., Larsen, S., Narwani, A., Petermann, J. S., Roscher, C., Cabral, J. S., & Supp, S. R. (2018). Integrating community assembly and biodiversity to better understand ecosystem function: The Community Assembly and the Functioning of Ecosystems (CAFE) approach. *Ecology Letters*, 21(2), 167–180. <https://doi.org/10.1111/ele.12895>
- Beng, K. C., & Corlett, R. T. (2020). Applications of environmental DNA (eDNA) in ecology and conservation: Opportunities, challenges and prospects. *Biodiversity and Conservation*, 29(7), 2089–2121. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01980-0>
- Bordalo, M. D., Machado, A. L., Campos, D., Coelho, S. D., Rodrigues, A. C. M., Lopes, I., & Pestana, J. L. T. (2021). Responses of benthic macroinvertebrate communities to a Bti-based insecticide in artificial microcosm streams. *Environmental Pollution*, 282, 117030. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117030>
- CBS, PBL, RIVM, & WUR. (2016, June 10). *Verlies natuurlijkheid in Nederland, Europa en de wereld*. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl144003-verlies-natuurlijkheid-in-nederland-europa-en-de-wereld>
- Daly, A. J., Baetens, J. M., & De Baets, B. (2018). Ecological Diversity: Measuring the Unmeasurable. *Mathematics*, 6(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/math6070119>
- Davies, T. J., & Cadotte, M. W. (2011). Quantifying Biodiversity: Does It Matter What We Measure? In F. E. Zachos & J. C. Habel (Eds.), *Biodiversity Hotspots* (pp. 43–60). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_3)
- Davis, S. C., Anderson-Teixeira, K. J., & DeLucia, E. H. (2009). Life-cycle analysis and the ecology of biofuels. *Trends in Plant Science*, 14(3), 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.12.006>
- Degerickx, J., Roberts, D. A., McFadden, J. P., Hermy, M., & Somers, B. (2018). Urban tree health assessment using airborne hyperspectral and LiDAR imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.021>

- Díaz-Ferguson, E. E., & Moyer, G. R. (2014). History, applications, methodological issues and perspectives for the use of environmental DNA (eDNA) in marine and freshwater environments. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1273–1284.
- Dickie, I. A., Boyer, S., Buckley, H. L., Duncan, R. P., Gardner, P. P., Hogg, I. D., Holdaway, R. J., Lear, G., Makiola, A., Morales, S. E., Powell, J. R., & Weaver, L. (2018). Towards robust and repeatable sampling methods in eDNA-based studies. *Molecular Ecology Resources*, 18(5), 940–952. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12907>
- Duelli, P., & Obrist, M. K. (2003). Biodiversity indicators: The choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1–3), 87–98. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00072-0)
- Duguma, D., Hall, M. W., Rugman-Jones, P., Stouthamer, R., Neufeld, J. D., & Walton, W. E. (2015). Microbial communities and nutrient dynamics in experimental microcosms are altered after the application of a high dose of Bti. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 763–773. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12422>
- Durán, A. P., Green, J. M. H., West, C. D., Visconti, P., Burgess, N. D., Virah-Sawmy, M., & Balmford, A. (2020). A practical approach to measuring the biodiversity impacts of land conversion. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(8), 910–921. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13427>
- Eitzinger, B., Abrego, N., Gravel, D., Huotari, T., Vesterinen, E. J., & Roslin, T. (2019). Assessing changes in arthropod predator–prey interactions through DNA-based gut content analysis—Variable environment, stable diet. *Molecular Ecology*, 28(2), 266–280. <https://doi.org/10.1111/mec.14872>
- Fargione, J. E., Plevin, R. J., & Hill, J. D. (2010). The Ecological Impact of Biofuels. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41(Volume 41, 2010), 351–377. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144720>
- Feld, C. K., Martins Da Silva, P., Paulo Sousa, J., De Bello, F., Bugter, R., Grandin, U., Hering, D., Lavorel, S., Mountford, O., Pardo, I., Pärtel, M., Römbke, J., Sandin, L., Bruce Jones, K., & Harrison, P. (2009). Indicators of biodiversity and ecosystem services: A synthesis across ecosystems and spatial scales. *Oikos*, 118(12), 1862–1871. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17860.x>
- Gasparatos, A., Doll, C. N. H., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. (2017). Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 161–184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030>
- Gerstle, V., Bollinger, E., Manfrin, A., Pietz, S., Kolbenschlag, S., Feckler, A., Entling, M. H., & Brühl, C. A. (2024). Trophic effects of Bti-based mosquito control on two top predators in floodplain pond mesocosms. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(33), 45485–45494. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34124-w>
- Gerstle, V., Manfrin, A., Kolbenschlag, S., Gerken, M., Islam, A. S. M. M. U., Entling, M. H., Bundschuh, M., & Brühl, C. A. (2023). Benthic macroinvertebrate community shifts based on Bti-induced chironomid reduction also decrease Odonata emergence. *Environmental Pollution*, 316, 120488. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120488>
- Greenhalgh, J. A., Genner, M. J., Jones, G., & Desjonquères, C. (2020). The role of freshwater bioacoustics in ecological research. *WIREs Water*, 7(3), e1416. <https://doi.org/10.1002/wat2.1416>
- Hershey, A. E., Lima, A. R., Niemi, G. J., & Regal, R. R. (1998). Effects of bacillus thuringiensis israelensis (bti) and methoprene on nontarget macroinvertebrates in minnesota wetlands. *Ecological Applications*, 8(1), 20. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0041:EOBTIB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0041:EOBTIB]2.0.CO;2)

- Holmes, A., Eagle, A., & Hees, N. (2023). *Review of Biodiversity Metrics: Considering Approaches Relevant to the Natural Capital Laboratory—Birchfield*. (Landscape Project). University of Cumbria.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- Ives, A. R., & Carpenter, S. R. (2007). Stability and Diversity of Ecosystems. *Science*, 317(5834), 58–62. <https://doi.org/10.1126/science.1133258>
- Lagadic, L., Schäfer, R. B., Roucaute, M., Szöcs, E., Chouin, S., de Maupeou, J., Duchet, C., Franquet, E., Le Hunsec, B., Bertrand, C., Fayolle, S., Francés, B., Rozier, Y., Foussadier, R., Santoni, J.-B., & Lagneau, C. (2016). No association between the use of Bti for mosquito control and the dynamics of non-target aquatic invertebrates in French coastal and continental wetlands. *Science of The Total Environment*, 553, 486–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.096>
- Leibold, M. A., Chase, J. M., & Ernest, S. K. M. (2017). Community assembly and the functioning of ecosystems: How metacommunity processes alter ecosystems attributes. *Ecology*, 98(4), 909–919. <https://doi.org/10.1002/ecy.1697>
- Licci, S., Nepf, H., Delolme, C., Marmonier, P., Bouma, T. J., & Puijalon, S. (2019). The role of patch size in ecosystem engineering capacity: A case study of aquatic vegetation. *Aquatic Sciences*, 81(3), 41. <https://doi.org/10.1007/s00027-019-0635-2>
- Lindseth, A. V., & Lobel, P. S. (2018). Underwater Soundscape Monitoring and Fish Bioacoustics: A Review. *Fishes*, 3(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/fishes3030036>
- Living Planet Report 2022 | WWF*. (n.d.). Retrieved July 2, 2024, from <https://www.wwf.org.uk/our-reports/living-planet-report-2022>
- Ludwig, D., & Macnaghten, P. (2020). Traditional ecological knowledge in innovation governance: A framework for responsible and just innovation. *Journal of Responsible Innovation*, 7(1), 26–44. <https://doi.org/10.1080/23299460.2019.1676686>
- Mace, G. M., & Baillie, J. E. M. (2007). The 2010 Biodiversity Indicators: Challenges for Science and Policy. *Conservation Biology*, 21(6), 1406–1413. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00830.x>
- Mace, G. M., Norris, K., & Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>
- Marshall, E., Wintle, B. A., Southwell, D., & Kujala, H. (2020). What are we measuring? A review of metrics used to describe biodiversity in offsets exchanges. *Biological Conservation*, 241, 108250. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108250>
- McFadden, I. R., Sendek, A., Brosse, M., Bach, P. M., Baity-Jesi, M., Bolliger, J., Bollmann, K., Brockerhoff, E. G., Donati, G., Gebert, F., Ghosh, S., Ho, H.-C., Khaliq, I., Lever, J. J., Logar, I., Moor, H., Odermatt, D., Pellissier, L., de Queiroz, L. J., ... Narwani, A. (2023). Linking human impacts to community processes in terrestrial and freshwater ecosystems. *Ecology Letters*, 26(2), 203–218. <https://doi.org/10.1111/ele.14153>
- Meng, P., Wang, H., Qin, S., Li, X., Song, Z., Wang, Y., Yang, Y., & Gao, J. (2022). Health assessment of plantations based on LiDAR canopy spatial structure parameters. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 712–729. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2059114>

- Navarro, L. M., Fernández, N., Guerra, C., Guralnick, R., Kissling, W. D., Londoño, M. C., Muller-Karger, F., Turak, E., Balvanera, P., Costello, M. J., Delavaud, A., El Serafy, G., Ferrier, S., Geijzenborffer, I., Geller, G. N., Jetz, W., Kim, E.-S., Kim, H., Martin, C. S., ... Pereira, H. M. (2017). Monitoring biodiversity change through effective global coordination. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 29, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.005>
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J., Bruford, M. W., Brummitt, N., Butchart, S. H. M., Cardoso, A. C., Coops, N. C., Dulloo, E., Faith, D. P., Freyhof, J., Gregory, R. D., Heip, C., Höft, R., Hurr, G., Jetz, W., ... Wegmann, M. (2013). Essential Biodiversity Variables. *Science*, 339(6117), 277–278. <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2006). Functional diversity: Back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9(6), 741–758. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>
- Poulin, B., Lefebvre, G., & Paz, L. (2010). Red flag for green spray: Adverse trophic effects of Bti on breeding birds: Bti effects on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 884–889. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01821.x>
- Quebec Centre for Biodiversity Science, & McGill University. (2024). *What are EBVs?* GEO BON. <https://geobon.org/ebvs/what-are-ebvs/>
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Smol, J. P., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, J. C., Dudgeon, D., & Cooke, S. J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94(3), 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation—Eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32(2), 319–332. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00112-3)
- Ritter, B. (2001). *Nelson science 10* (1st ed.). Nelson Thomson Learning. [https://openlibrary.org/books/OL19663797M/Nelson\\_science\\_10](https://openlibrary.org/books/OL19663797M/Nelson_science_10)
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoin, H. K., Landerer, F. W., & Lo, M.-H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557(7707), 651–659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1>
- Runting, R. K., Bryan, B. A., Dee, L. E., Maseyk, F. J. F., Mandle, L., Hamel, P., Wilson, K. A., Yetka, K., Possingham, H. P., & Rhodes, J. R. (2017). Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: A review. *Global Change Biology*, 23(1), 28–41. <https://doi.org/10.1111/gcb.13457>
- Schmeller, D. S., Courchamp, F., & Killeen, G. (2020). Biodiversity loss, emerging pathogens and human health risks. *Biodiversity and Conservation*, 29(11), 3095–3102. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02021-6>
- Schweizer, M., Miksch, L., Köhler, H.-R., & Triebkorn, R. (2019). Does Bti (*Bacillus thuringiensis* var. *Israelensis*) affect *Rana temporaria* tadpoles? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181, 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.080>
- Sheppard, S. K., & Harwood, J. D. (2005). Advances in molecular ecology: Tracking trophic links through predator–prey food-webs. *Functional Ecology*, 19(5), 751–762. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.01041.x>

- Skidmore, A. K., Coops, N. C., Neinavaz, E., Ali, A., Schaepman, M. E., Paganini, M., Kissling, W. D., Vihervaara, P., Darvishzadeh, R., Feilhauer, H., Fernandez, M., Fernández, N., Gorelick, N., Geijzendorffer, I., Heiden, U., Heurich, M., Hobern, D., Holzwarth, S., Muller-Karger, F. E., ... Wingate, V. (2021). Priority list of biodiversity metrics to observe from space. *Nature Ecology & Evolution*, 5(7), 896–906. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01451-x>
- Symondson, W. O. C. (2002). Molecular identification of prey in predator diets. *Molecular Ecology*, 11(4), 627–641. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2002.01471.x>
- Waghray, D., & Herweijer, C. (2020). *Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy* (New Nature Economy Series). World Economic Forum. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_New\\_Nature\\_Economy\\_Report\\_2020.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Nature_Economy_Report_2020.pdf)

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

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)