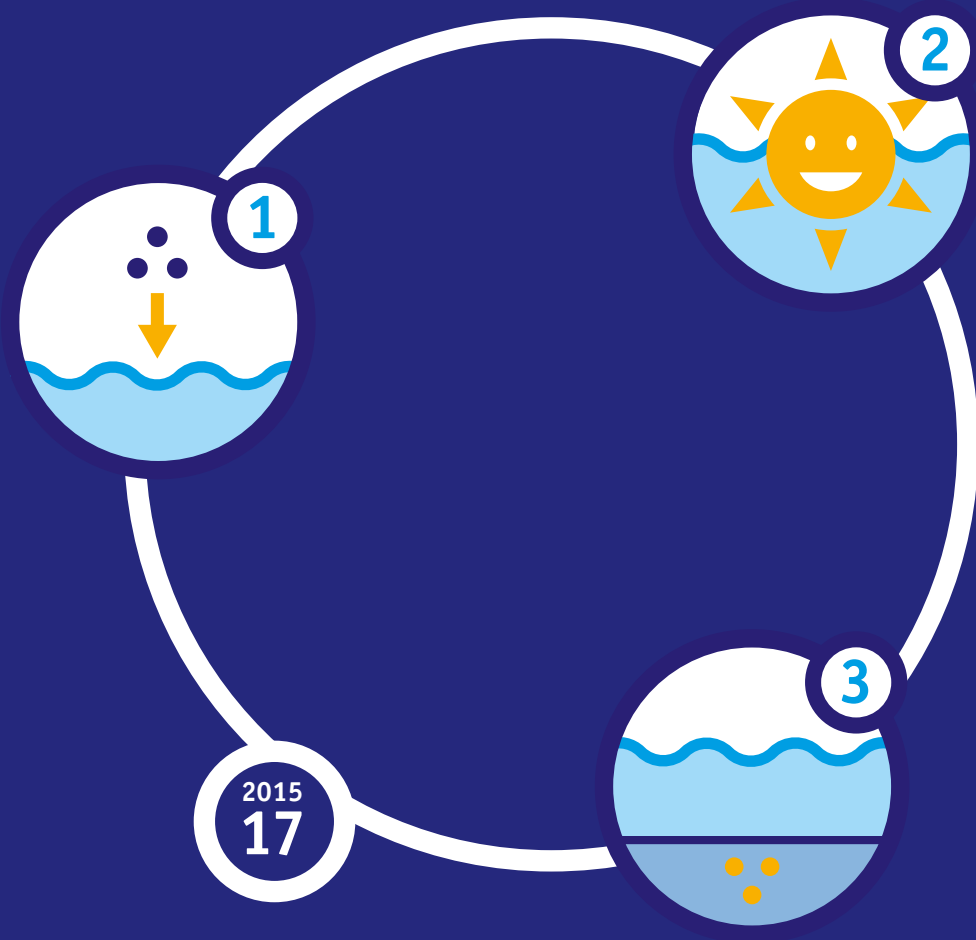


ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN VOOR HET HERSTEL VAN ONDERWATERVEGETATIE

TOEPASSING VAN DE ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN
1,2 EN 3 IN DE PRAKTIJK



ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN VOOR HET HERSTEL VAN ONDERWATERVEGETATIE

TOEPASSING VAN DE ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN
1,2 EN 3 IN DE PRAKTIJK



Productiviteit water



Lichtklimaat



Productiviteit bodem



Habitatgeschiktheid



Verspreiding



Verwijdering



Organische belasting



Toxiciteit



Context

COLOFON

UITGAVE

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Sebastiaan Schep (Witteveen+Bos), Bas van der Wal (STOWA), Tessa van der Wijngaart (STOWA)

EINDREDACTIE

Bert-Jan van Weeren (tekst en van weeren), Deventer

KLANKBORDGROEP

Leon Lamers (Radboud Universiteit Nijmegen), Niels Lenting (Hoogheemraadschap van Delfland), Bruce Michielsen (Hoogheemraadschap van Rijnland), Laura Moria (Waternet), Leonard Osté (Deltares), Maarten Ouboter (Waternet), Ellis Penning (Deltares).

REFERAAT

De ecologische sleutelfactoren vormen een denkkader voor het uitvoeren van een ecologische watersysteemanalyse. Ze geven inzicht in het ecologisch functioneren van een watersysteem. Deze kennis is cruciaal voor het bepalen van realistische waterkwaliteitsdoelen en het vaststellen van effectieve maatregelen. De eerste drie ecologische sleutelfactoren vormen de voorwaarden voor het herstel van ondergedoken waterplanten.

TREFWOORDEN

Ecologische sleutelfactor, systeemanalyse, waterplanten, voorwaarden, productiviteit, belasting, lichtklimaat, ecologische toestand, waterbodembodem, watersysteem.

VORMGEVING

Vormgeving Studio B, Nieuwkoop

STOWA 2015-17

ISBN 978.90.5773.695.7

AMERSFOORT, SEPTEMBER 2015

COPYRIGHT

De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

Het samenspel van algen, voedingsstoffen, vissen, kleine waterdieren, planten en ander onderwaterleven, intrigeert ecologen. Wat voor effect hebben voedingsstoffen op planten en dieren en hoe beïnvloeden die op hun beurt elkaar? Antwoorden op deze vragen voeden de verwondering over dit voedselweb. Maar kennis over deze processen is ook essentieel voor het op peil houden en verbeteren van de ecologische waterkwaliteit. Dat is een belangrijke taak van de waterbeheerders.

Al zijn deze processen ingewikkeld, we zijn op dit moment al heel goed in staat om de sleutelprocessen in watersystemen aan te wijzen. De hiermee verkregen kennis over het functioneren van deze systemen, stelt ons in staat realistische waterkwaliteitsdoelen op te stellen en bijbehorende effectieve maatregelen te nemen.

In dit document wordt het denkkader van de zogenoemde ecologische sleutelfactoren (ESF'en) voor (nagenoeg) stilstaande wateren toegelicht. De ESF'en stellen waterbeheerders in staat een goede systeemanalyse te doen van een watersysteem. Ze geven een antwoord op de vraag: waarom is het zoals het is, en wat moeten we doen om verbetering te bewerkstelligen? Ze vormen zo een goede aanvulling op de kennis en methoden die we hebben om de ecologische toestand in beeld te brengen.

In dit rapport wordt specifiek ingegaan op de uitwerking van de eerste drie ecologische sleutelfactoren: de productiviteit van het water, het lichtklimaat en de productiviteit van de (water)bodem. Deze bepalen gezamenlijk het voorkomen van ondergedoken waterplanten. Deze waterplanten zijn op hun beurt weer een voorwaarde voor het voorkomen van andere organismen. Met behulp van de stappen die worden beschreven, kan voor een watersysteem de vraag worden beantwoord waarom er geen ondergedoken waterplanten aanwezig zijn, of waarom er van een soort een woekering optreedt. Deze kennis geeft handvatten voor het kiezen van haalbare doelen en effectieve maatregelen.

Een systeemanalyse is een integrale analyse van alle sleutelfactoren. Dit rapport zal daarom in een later stadium worden uitgebreid met de uitwerking van de andere ecologische sleutelfactoren voor stilstaande wateren, wanneer deze beschikbaar zijn. Ook zal de in dit rapport beschreven uitwerking van de ecologische sleutelfactoren 1, 2 en 3 worden aangepast aan de nieuwste stand van kennis, zodra hiervoor aanleiding is. Dit rapport is daarom een levend document.

Amersfoort, september 2015

Joost Buntsma
Directeur STOWA

INHOUD

COLOFON	2
TEN GELEIDE	3
1. INLEIDING	5
1.1 De ecologische sleutelfactoren	5
1.2 Systeemanalyse	5
2. OPBOUW VAN DE SYSTEEMANALYSE	7
2.1 De ecologische toestand en de voorwaarden	7
2.2 Samenvatting ESF 1-3	8
2.3 Aandachtspunten	10
3. HET BEPALEN VAN DE ECOLOGISCHE TOESTAND	11
3.1 Meetgegevens	11
3.2 Voorbeelden van toestandsv variabelen	11
4. ESF 1 PRODUCTIVITEIT WATER	16
4.1 Centrale vraag	16
4.2 Systeemanalyse in stappen	16
5. ESF 2 LICHTKLIMAAT	20
5.1 Centrale vraag	20
5.2 Systeemanalyse in stappen	20
6. ESF 3 PRODUCTIVITEIT BODEM	23
6.1 Centrale vraag	23
6.2 Systeemanalyse in stappen	24
7. EN NU?	25
8. LITERATUUR	26
STOWA IN HET KORT	27

1. INLEIDING

Het behouden en verkrijgen van schoon water is één van de taken waar waterbeheerders voor staan. Hiervoor stellen ze waterkwaliteitsdoelen op. Voor het bereiken van deze doelen is het nodig maatregelen te nemen. Het is belangrijk dat de doelen die gekozen worden haalbaar zijn en dat de maatregelen goed gekozen worden, zodat ze effectief bijdragen aan het bereiken van de gekozen doelen. Hiervoor is een analyse nodig van het watersysteem.

1.1 DE ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN

De ecologische sleutelfactoren (ESF'en) bieden een kapstok voor het uitvoeren van goede watersysteemanalyses. Er zijn ecologische sleutelfactoren voor (overwegend) stilstaande wateren en voor (overwegend) stromende wateren. Dit rapport gaat over de ESF'en voor stilstaande wateren. Deze zijn toepasbaar op ondiepe meren en plassen, sloten en kanalen.

De ESF'en helpen om inzicht te krijgen in het ecologisch functioneren van een watersysteem. Dit doen ze heel expliciet doordat ze binnen een systeemanalyse de voorwaarden onder de aandacht brengen, die bepalend zijn voor de ecologische toestand die je kunt waarnemen (zie voor meer uitleg over voorwaarden en toestand hoofdstuk 2). De ecologische sleutelfactoren maken helder waarom de ecologische waterkwaliteit is zoals die is, ze helpen te bepalen waar - bij onvoldoende kwaliteit - de schoen wringt en ze bieden logische handvatten voor het vaststellen van haalbare doelen en het nemen van effectieve maatregelen.

Voor stilstaande wateren is uitgegaan van een onderverdeling in negen onafhankelijke sleutelfactoren, waarbij sprake is van een zekere hiërarchie. Er zijn acht ecologische sleutelfactoren en één sleutelfactor die het bredere perspectief van het watersysteem beschouwt. De sleutelfactoren zijn gegroepeerd, waarbij iedere groep een specifiek aspect van waterkwaliteit behandelt.

De sleutelfactoren 1, 2 en 3 gaan over voorwaarden voor het voorkomen van ondergedoken waterplanten. Het betreft de productiviteit van het water, het lichtklimaat en de productiviteit van de (water)bodem. De sleutelfactoren 4, 5 en 6 gaan over voorwaarden voor specifieke soortgroepen. Het betreft de habitatgeschiktheid, de verspreiding en de verwijdering. De sleutelfactoren 7 en 8 gaan over specifieke omstandigheden. Het betreft organische belasting en toxiciteit. De sleutelfactor 9, context, gaat over de afweging tussen functies van watersystemen. Vanzelfsprekend moeten de sleutelfactoren in de systeemanalyse integraal worden beschouwd en in samenhang met de ecologische toestand.

In dit rapport werken we de ESF'en 1, 2 en 3 inhoudelijk verder uit. Dit document is bedoeld voor mensen die de ESF'en willen gebruiken bij het uitvoeren van watersysteemanalyses, bijvoorbeeld medewerkers van waterschappen en adviesbureaus. Wilt u meer weten over ecologische sleutelfactoren in het algemeen, dan verwijzen we u graag naar de STOWA-uitgave 'Ecologische Sleutelfactoren, begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen' (2014-19). In dit rapport wordt het denkkader van de ESF'en toegelicht aan de hand van illustraties en voorbeelden. Het denkkader van de ESF'en kan ook goed worden gebruikt om over waterkwaliteit en ecologie te communiceren met verschillende partijen en mensen van verschillende achtergronden.

1.2 SYSTEEMANALYSE

Dit rapport ondersteunt waterbeheerders en medewerkers van adviesbureaus bij het uitvoeren van een systeemanalyse met behulp van de ESF'en. Voor ESF 1 (Productiviteit water), 2 (Lichtklimaat) en 3 (Productiviteit bodem) wordt beschreven welke stappen gevolgd kunnen worden om een systeemanalyse uit te voeren. Hierbij geven wij links naar concrete hulp-

middelen. De eerste drie ecologische sleutelfactoren beschrijven de voorwaarden waaronder ondergedoken waterplanten (weer) kunnen groeien. Dit is voor veel wateren de eerste stap naar verbetering van de waterkwaliteit en ecologische kwaliteit in bredere zin.

Wij realiseren ons dat het opstellen van een systeemanalyse meer is dan het volgen van een stappenplan. Het is daarmee lastig een 'standaard recept' te geven voor de precieze invulling van een systeemanalyse. De invulling is afhankelijk van onder andere het gebied, de beschikbare gegevens en het kennisniveau.

Het kan helpen om bij een systeemanalyse steeds van grof naar fijn te werken, startend met een integrale blik op het gehele systeem. In een eerste stap kunnen de ESF'en als checklist worden gebruikt om globaal in beeld te brengen wat er speelt in en rond een watersysteem. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van beelden van het systeem, maar ook van de ervaring van mensen die erbij betrokken zijn. In een tweede stap kan worden ingezoomd op ESF'en die in het bijzonder van belang lijken voor een gebied, waarbij bijvoorbeeld een waterbalans wordt opgesteld.

In een derde stap zou gekozen kunnen worden voor nader modelmatig onderzoek of voor aanvullende metingen, indien op grond van de resultaten van de tweede stap blijkt dat er nog onvoldoende kennis is van een ESF.

Omdat we graag willen weten waarom de waterkwaliteit en ecologie zijn zoals ze worden waargenomen, is het wenselijk met de analyse zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid te blijven. Dit kan worden gedaan door zoveel mogelijk gebruik te maken van waarnemingen in het veld, kritisch om te gaan met meetgegevens en gebruik te maken van kennis en ervaringen van operationeel beheerders. Vanzelfsprekend kunnen ook modellen helpen bij het verkrijgen van een beter begrip, maar het modelleren moet geen doel op zich zijn. De ervaring leert dat afwijkingen tussen modelresultaat en metingen vaak helpen om een stap verder te komen in de analyse.

2. OPBOUW VAN DE SYSTEEMANALYSE

Het doel van de systeemanalyse volgens de ESF'en is een zo goed mogelijke duiding van de ecologische toestand (hoe is het gesteld in het systeem?) en van de voorwaarden voor deze toestand (wat maakt dat het is zoals het is?). De ESF'en staan zoveel als mogelijk voor de voorwaarden en bieden daarmee een aanvulling op wat er al aan methodieken beschikbaar is om de ecologische toestand in beeld te brengen (zie definitie ESF in box 1). Alleen als het beeld van de ecologische toestand in overeenstemming is met de voorwaarden, is er sprake van begrip (we snappen waarom 'het is zoals het is'). Dit begrip is van belang voor het identificeren van kansrijke maatregelen. In dit hoofdstuk lichten we de termen ecologische toestand en voorwaarden toe. Ook geven we een samenvatting van de eerste drie ESF'en.

BOX 1 DEFINITIE ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN

De ecologische sleutelfactoren helpen bij het verkrijgen van inzicht in het ecologisch functioneren van een watersysteem, doordat zij zoveel als mogelijk voor combinaties van onafhankelijke voorwaarden staan, die bepalend zijn voor de ecologische toestand die je kunt waarnemen.

2.1 DE ECOLOGISCHE TOESTAND EN DE VOORWAARDEN

Het maken van een onderscheid tussen de ecologische toestand en de onderliggende voorwaarden in een systeemanalyse is essentieel, maar dit is niet altijd gemakkelijk. Het helpt om te bedenken dat de toestand geen toevalligheid is, maar altijd een resultante van voorwaarden. Vaak is de toestand het gevolg van iets wat in het verleden heeft plaatsgevonden. Dit illustreren we aan de hand van het eenvoudige voorbeeld in Box 2.

BOX 2 TOESTAND EN VOORWAARDEN: EEN EENVOUDIG VOORBEELD

Een bekeerglas is gevuld met water van 70 °C (toestand). Hoe is de temperatuur van het water hoger geworden dan de omgevingstemperatuur? Het bekeerglas staat op een uitgeschakelde gaspitt (voorwaarde). De voorwaarde en toestand komen niet overeen. Hoe komt het dat de toestand en voorwaarden niet overeenkomen? Hiervoor is het nodig terug te kijken in de tijd. Dan blijkt dat 10 minuten geleden de gaspitt aan stond en het water naar 100 °C is verwarmd. Na vijf minuten was de temperatuur 100 °C en werd de gaspitt uitgeschakeld. Na weer vijf minuten is het water afgekoeld tot 70 °C; de toestand die we nu waarnemen. Dit voorbeeld laat zien dat het scheiden van toestand en voorwaarden belangrijk is voor het begrip van processen in het watersysteem. Ook laat het voorbeeld zien dat het tijdsaspect een belangrijke factor is bij het koppelen van toestand en voorwaarde.

De voorwaarden bepalen via een optredend proces de toestand (zie ook box 3). Indirect geeft de toestand een beeld van deze voorwaarden. Een hoge algenconcentratie (toestand) wijst bijvoorbeeld op een te hoge nutriëntenbelasting (voorwaarde) via het proces primaire productie door algen. Andersom vertelt de voorwaarde iets over de toestand. Een hoge organische belasting (voorwaarde) gaat bijvoorbeeld via het proces afbraakprocessen vaak gepaard met zuurstofloosheid (toestand). Een belangrijk verschil tussen toestand en voorwaarden is dat de voorwaarden bepalend zijn voor de toestand, maar de toestand niet bepalend is voor de voorwaarden.

Je kunt zeggen dat wanneer je langs de kant van een water staat, alles dat je kunt zien en meten op één punt in het water toestandsvariabelen zijn. Voor het in beeld brengen van de voorwaarden kijk je breder, tot op het niveau van het hele watersysteem, inclusief de randen, de bodem etc. Een andere vergelijking is die met een model. Alles wat je in een model stopt, kun je zien als voorwaarden; alles wat met een model wordt berekend, zijn toestandsvariabelen.

We spreken in dit rapport over toestandsvariabelen die de ecologische toestand in beeld brengen. We bedoelen hiermee chemische variabelen, zoals de zuurstofconcentratie en de fosforconcentratie en de aanwezigheid van organismen als macrofyten en algen. In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op de toestandsvariabelen.

De toestand kan soms verbloemen wat er daadwerkelijk aan de hand is. Zo kan een plas, ondanks een hoge belasting, helder zijn door de aanwezigheid van filterende mosselen. De algenconcentratie kan, ondanks een hoge belasting, laag zijn door opwerveling van anorganisch materiaal door bodemwoelende vis. In beide gevallen vormt de belasting een belangrijk knelpunt, hoewel dit niet direct in de toestand tot uiting komt. Door dit vast te stellen wordt voorkomen dat onzekere doelen worden vastgesteld (in het geval van de mosselen een helder plantenrijk water als doel), of dat niet-effectieve maatregelen worden genomen (in het geval van de opwerveling als maatregel het uitvoeren van actief visstandbeheer). Het in beeld brengen van voorwaarden, naast het in beeld brengen van de toestand, is daarom cruciaal om vast te stellen waar de schoen wringt. Ook kun je als beheerder op voorwaarden sturen, met als doel het veranderen van de toestand.

BOX 3 VOORBEELDEN VAN VOORWAARDE, BIJBEHOREND PROCES EN ECOLOGISCHE TOESTAND

Hieronder staan enkele eenvoudige voorbeelden die het verschil tussen de voorwaarden en de ecologische toestand verduidelijken. Tussen de voorwaarde en de toestand wordt het bijbehorende proces benoemd. In de praktijk is de toestand de resultante van een complex aan processen en voorwaarden.

- Een hoge organische belasting (voorwaarde) zorgt via afbraakprocessen (proces) voor zuurstofloosheid (toestand)
- Een hoge nutriëntenbelasting (voorwaarde) zorgt via primaire productie door algen (proces) voor een hoge algenconcentratie (toestand)
- Een hoog Totaal-P gehalte in de bodem (voorwaarde) zorgt via primaire productie door planten (proces) voor een woekering van ondergedoken waterplanten (toestand), mits er voldoende licht op de bodem valt (voorwaarde)
- De aanwezigheid van fijn slib (voorwaarde) in combinatie met een grote strijklengte (voorwaarde) zorgt via resuspensie en transport (processen) voor een beperkt doorzicht (toestand)
- De aanwezigheid van veel bodemwoelende vis (voorwaarde) zorgt via opwoeling van de bodem (proces) voor een beperkt doorzicht (toestand)

2.2 SAMENVATTING ESF 1-3

In tabel 1 geven we een korte samenvatting van ESF 1, 2 en 3. In hoofdstuk 4, 5 en 6 beschrijven we deze vervolgens uitgebreid. Per sleutelfactor wordt een veel voorkomende kenmerkende toestand omschreven als de betreffende ESF niet voldoet. Bij iedere ESF staat de centrale vraag omschreven die zal worden behandeld bij de uitgebreide systeemanalyse. De vergelijking die daarbij wordt genoemd, is daarvan een specificering. Verder wordt per ESF een aantal voorwaarden genoemd.

De ESF'en kunnen worden gebruikt om een waardeoordeel te geven, door het beantwoorden van de genoemde vragen in tabel 1. Indien de vraag met ja kan worden beantwoord, staat de ESF 'op groen'; indien de vraag met nee wordt beantwoord, staat de ESF 'op rood' (afbeelding 1). De vragen kunnen worden beantwoord door het toetsen van de voorwaarden (zoals de externe belasting) aan een grenswaarde (zoals de kritische belasting). Het beantwoorden van de vragen helpt bovendien bij het uitvoeren van een systeemanalyse.

De grenswaarden zijn geen harde grenzen, maar slechts een hulpmiddel voor het beantwoorden van vragen. Daarvoor moet je ook goed naar de toestand kijken (voorwaarden en

Tabel 1. Een opsomming van de eerste drie ecologische sleutelfactoren met een kenmerkend beeld van de toestand, de bijbehorende centrale vraag, de vergelijking die wordt gemaakt in de systeemanalyse en een aantal voorwaarden.

ESF	Naam	Centrale vraag	Beeld van de toestand	Vergelijking	Voorwaarden
ESF1	Productiviteit Water	Zijn de condities zodanig dat algen- of kroos-dominantie geen belemmering vormt voor de groei van ondergedoken waterplanten? (zo ja, dan voldoet ESF 1)	Aanwezigheid van algen of kroos (als ESF 1 niet voldoet)	Vergelijk de externe belasting met de kritische belasting en beschouw tevens de verblijftijd	<ul style="list-style-type: none"> • Verblijftijd • Nutriëntenbelasting • N/P-ratio van de belasting • Diepte • Strijklengte
ESF2	Lichtklimaat	Valt er voldoende licht op de bodem voor plantengroei? (zo ja, dan voldoet ESF 2)	Troebel water (als ESF 2 niet voldoet)	Vergelijk het percentage licht op de bodem met het kritische percentage licht op de bodem voor de kieming van ondergedoken planten (of als alternatief het doorzicht met het kritische doorzicht)	<ul style="list-style-type: none"> • Inlaat/lozing van troebel water • Interne bronnen van vertroebelende bestanddelen, zoals afkalvende oevers • Krachten op de bodem, zoals wind, vis en recreatievaart • Opwervingsgevoeligheid van de bodem
ESF 3	Productiviteit Bodem	Is de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem voldoende laag om een diverse ondergedoken vegetatieontwikkeling mogelijk te maken? (zo ja, dan voldoet ESF 3)	Dominantie van eutrafente soorten (als ESF 3 niet voldoet en ESF 2 wel voldoet)	Vergelijk het totaal-P gehalte in de bodem met het kritische totaal-P gehalte van de bodem (voor N is nog geen kritisch totaalgehalte bekend)	Totaal N- en -P gehalte in de bodem

toestand moeten in overeenstemming met elkaar zijn). Ook moet het bredere plaatje in ogenschouw worden genomen; er is immers niet één belasting, deze varieert in ruimte en tijd. Ten slotte moeten uitdrukkelijk ook de kennis en ervaring van de betrokken beheerder worden meegenomen in de uiteindelijke beoordeling.

Elke ecologische sleutelfactor heeft een logische koppeling met een bepaald type maatregelen. Afhankelijk van de beoordeling van de verschillende sleutelfactoren wordt duidelijk welke type maatregelen wel en niet bij kunnen dragen aan het op orde krijgen van de sleutelfactor en daarmee aan een betere ecologische kwaliteit. Soms is een nadere kwantificering noodzakelijk, bijvoorbeeld om te bepalen of het saneren van een zuivering voor voldoende vermindering van de nutriëntenbelasting zorgt (ESF 1). Uiteindelijk helpen de ecologische sleutelfactoren zo om effectieve maatregelpakketten te identificeren en deze te verbinden aan duidelijk herkenbare doelen.



Afbeelding 1. Het icoon van ESF 2 (Lichtklimaat) in neutrale kleur, in het groen (voldoet wel) en rood (voldoet niet).

2.3 AANDACHTSPUNTEN

Bij het uitvoeren van een systeemanalyse zijn de onderstaande punten belangrijk.

- Maak zoveel mogelijk gebruik van waarnemingen en metingen die uitgevoerd zijn in het betreffende watersysteem. Bij het stappenplan dat hier wordt beschreven, worden voorbeelden van relevante monitoringgegevens genoemd. Deze zijn niet uitputtend. Het betrekken van mensen die het watersysteem goed kennen, kan veel relevante informatie opleveren.
- Het is belangrijk niet blind te varen op de rekenregels en normen die in dit document worden genoemd; het uiteindelijke doel is systeembegrip. Afhankelijk van de specifieke situatie in het watersysteem, kan afgeweken worden van deze rekenregels en grenswaarden. Het vastleggen van deze keuzes helpt bij het herleiden van alle beslissingen die worden genomen naar aanleiding van de analyse.
- De begrenzing van een waterlichaam ten behoeve van een systeemanalyse is over het algemeen anders dan de begrenzing van een waterlichaam ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water (KRW). De begrenzing voor een systeemanalyse sluit aan bij het hydrologisch en/of ecologisch functioneren van het watersysteem. Zie ook de voorbeeldcasus in box 4 op de volgende bladzijde.
- Een goede systeemanalyse maak je bij voorkeur niet alleen. Het gezamenlijk beschouwen van een watersysteem met bijvoorbeeld operationeel beheerders, medewerkers van beheer en onderhoud en beleidsmedewerkers vergroot het inzicht in het functioneren van het systeem.
- Wanneer je start met een systeemanalyse is het prettig en verhelderend om eerst eens naar het functioneren van het watersysteem in zijn geheel te kijken. Hierbij spelen vragen als: in wat voor gebied ligt het watersysteem, wat is de begrenzing van het stroomgebied en hoe lopen de belangrijkste waterstromen? De leidraad voor een landschapsecologische systeemanalyse kan worden gebruikt ter inspiratie.

BOX 4 VOORBEELDCASUS

Het belang van een goede hydrologische en ecologische begrenzing van een watersysteem

Het vaststellen van de begrenzing van een watersysteem voor een systeemanalyse is niet altijd eenvoudig, maar wel erg belangrijk. De hydrologisch en ecologisch relevante begrenzing kan bovendien verschillend zijn. Twee voorbeelden illustreren het belang van een goede beschouwing van de begrenzing van een waterlichaam.

Een waterschap wil de kwaliteit van een troebel en plantenarm meer verbeteren. Bij het vaststellen van de hydrologische begrenzing blijkt dat het meer onderdeel is van de boezem en wordt beïnvloed door een groot afwaterend gebied. Dit zorgt voor een grote belasting met nutriënten. Deze belasting is slechts beperkt te beïnvloeden en het is in dit geval moeilijk om de waterkwaliteit te verbeteren. Het juist kiezen van de begrenzing van het watersysteem is voor deze systeemanalyse van essentieel belang voor het goed begrijpen van de aanwezige toestand in het meer en de keuze van een realistisch doel met bijpassende maatregelen.

Een waterschap beheert een geïsoleerd, laag belast en overwegend helder watersysteem. In een deel van het systeem komen echter periodiek algenbloeien voor. Het waterschap wil weten waarom dit gebeurt. De hydrologische begrenzing van het systeem is simpel. De ecologische begrenzing is veel lastiger. Na een nadere beschouwing van het watersysteem door een ecologische bril, blijkt het systeem te bestaan uit een aantal ecologisch verschillend functionerende deelsystemen. De ecologisch relevante begrenzing is in dit geval een begrenzing per deelsysteem. Het is noodzakelijk de deelsystemen apart te analyseren om de vinger op de zere plek te leggen. Daar waar de nutriëntenbelasting van het gehele systeem onder de kritische grens ligt, is dit bij één van de deelsystemen niet het geval. Met een kleine aanpassing van het beheer is het probleem waarschijnlijk op te lossen.

3. HET BEPALEN VAN DE ECOLOGISCHE TOESTAND

Het belang van het bepalen van de ecologische toestand (hierna toestand genoemd) van een watersysteem is groot. Een goede duiding van deze toestand geeft, naast een analyse van de voorwaarden, inzicht in het functioneren van een watersysteem en draagt bij aan het maken van de juiste keuzes bij het nemen van maatregelen en het evalueren van doelen. Het duiden van de toestand van een watersysteem wordt al op uitgebreide schaal gedaan binnen het waterbeheer. Bijvoorbeeld om de waterkwaliteit te toetsen aan normen, zoals voor de Zwemwaterrichtlijn of de Kaderrichtlijn Water, of om trends te volgen in de ontwikkeling van de waterkwaliteit. In dit hoofdstuk worden handvatten gegeven voor het duiden van de toestand van een watersysteem ten behoeve van een goede systeemanalyse.

3.1 MEETGEGEVENS

Voor een goed beeld van de toestand kan gebruik worden gemaakt van reeds aanwezige meetgegevens van een watersysteem. Maar voor een goede systeemanalyse zijn vaak extra metingen nodig. De ervaring leert dat er al veel winst valt te behalen door het ontsluiten van alle beschikbare metingen en informatie binnen een waterschap. Er blijkt in de praktijk meer gemeten te worden dan dat er wordt gerapporteerd, bijvoorbeeld voor de KRW.

Een logisch vertrekpunt voor het beoordelen van de toestand vormen de parameters die worden gemeten ten behoeve van de KRW. De biologische gegevens geven inzicht in de (hoeveelheid) aanwezige organismen in een watersysteem, zoals visstandgegevens of chlorofyl-a metingen. Daarnaast zijn er abiotische gegevens, zoals totaal-N in het water en het doorzicht.

Voor een goede systeemanalyse is het van belang de volgende vragen te stellen bij het gebruik van bestaande metingen:

- Is het aantal locaties waar de parameters worden gemeten voldoende, gezien vanuit het functioneren van het watersysteem, en zijn de locaties representatief voor het watersysteem?
- Is de frequentie van metingen van deze parameters voldoende, gezien de dynamiek die in het watersysteem aanwezig is?

Op basis van bovenstaande vragen of het ontbreken van kennis over onderdelen van het watersysteem, is het meestal nodig aanvullende metingen te doen bij het uitvoeren van een systeemanalyse. Hoeveel gegevens nodig zijn om voldoende inzicht te krijgen in de toestand van een watersysteem, is afhankelijk van onderliggende vraag van de systeemanalyse en de complexiteit van het watersysteem.

3.2 VOORBEELDEN VAN TOESTANDSVARIABLEN

De duiding van de toestand staat in eerste instantie los van de ESF'en. In deze paragraaf geven we een aantal voorbeelden van toestandsvARIABLEN. Deze lijst is niet uitputtend. Het zijn voorbeelden van gegevens die gebruikt kunnen worden om informatie te krijgen over de toestand van een watersysteem en de processen die plaatsvinden in het watersysteem. Vul deze lijst vooral zelf aan waar dit gewenst is en wanneer andere relevante gegevens beschikbaar zijn. Het combineren van gegevens is belangrijk en zorgt voor een goede duiding en ontrafeling van de toestand.

➤ ABIOTISCHE TOESTANDSVARIABLEN

De algemeen fysisch-chemische kwaliteitselementen die voor de KRW worden gemeten, vormen een goed vertrekpunt bij het bepalen van de ecologische toestand van een watersysteem. De aandachtspunten genoemd in paragraaf 3.1 zijn bij het gebruik van deze gegevens wel van groot belang. De hydromorfologische kwaliteitselementen die voor de KRW worden gemeten, zijn geen toestandsvariabelen maar sluiten wel goed aan bij de analyse van de voorwaarden (zie tabel 2 voor alle hydromorfologische kwaliteitselementen voor meren). Hieronder geven we een aantal voorbeelden van veel gebruikte abiotische toestandsvariabelen en de informatie die ze kunnen verschaffen.

Tabel 2. De hydromorfologische kwaliteitselementen (KRW) voor meren, opgedeeld naar parameters (Van der Molen en Pot, 2007)

Kwaliteitselement	Parametergroep	Parameter
Hydrologisch regime	Kwantiteit en dynamiek van de waterstroming	<ul style="list-style-type: none"> • Oppervlak variatie • Waterdiepte • Volume • Volume variatie
	Verblijftijd	<ul style="list-style-type: none"> • Verblijftijd
	Verbinding met het grondwaterlichaam	<ul style="list-style-type: none"> • Kwel
Morfologie	Variatie van de meerdiepte	<ul style="list-style-type: none"> • Bodemoppervlak/volume • Waterdiepte variatie
	Structuur van de meeroever	<ul style="list-style-type: none"> • Helling oeverprofiel

ALGEMEEN FYSISCH-CHEMISCHE KWALITEITSELEMENTEN

Totaal P-concentratie in het water

Fosfor is een belangrijke voedingsstof voor de primaire productie van algen en planten. Het verloop van de P-concentratie in het water door het jaar heen geeft goede informatie over de toestand en de processen die plaatsvinden. Een voorbeeld hiervan is dat een toename van de P-concentratie in de zomer een indicatie kan zijn voor nalevering van P uit de waterbodem. Het maken van een conservatieve P-balans is een mogelijkheid om dergelijke processen in beeld te krijgen.

PO₄-concentratie in het water

De PO₄-concentratie in het water vertelt iets over de beschikbare hoeveelheid P voor algen en planten en geeft hiermee meer inzicht in het wel of niet optreden van P-limitatie.

Totaal N-concentratie in het water

Stikstof is net als fosfor een belangrijke voedingsstof voor de primaire productie van algen en planten. Het verloop van de N-concentratie in het water gedurende het jaar geeft goede informatie over de toestand en de processen die plaatsvinden.

Temperatuur van het water

De temperatuur van het water kan iets vertellen over de herkomst van het water en de mate van beschaduwing.

Zuurgraad/pH van het water

De zuurgraad van het water kan iets vertellen over de mate van buffering, maar ook over aanwezigheid van waterplanten (de aanwezigheid van veel waterplanten kan leiden tot een hoge pH). De zuurgraad is ook bepalend voor het voorkomen van soorten.

Doorzicht

Licht is essentieel voor de groei van planten en algen. Op grond van het doorzicht kan vastgesteld worden of er voldoende licht tot aan de bodem reikt (bij de analyse van voorwaarden kijken we hier concreet naar, zie hoofdstuk 5). De variatie in doorzicht gedurende het jaar zegt iets over de bijdrage van verschillende lichtverstorende deeltjes, zoals algen en anorganisch slib. De variatie in doorzicht geeft ook meer inzicht in wat er gaande is in het voedselweb, zoals de bijdrage van zoöplankton in het voorjaar (filtering van deeltjes) of bodemwoelende vis (meer deeltjes als gevolg van opwoeling).

Chlorideconcentratie

De chlorideconcentratie geeft belangrijke informatie over de herkomst van het water en de saliniteit van het water. Sterke fluctuaties in chlorideconcentraties wijzen bijvoorbeeld op korte verblijftijden en een sterk wisselende watersamenstelling (bijvoorbeeld een afwisseling van gebiedseigen water en inlaatwater). De chlorideconcentratie is ook bepalend voor de soorten die kunnen voorkomen.

Zuurstofconcentratie in het water

Zuurstof is essentieel voor het leven onder water. Veel processen worden gereguleerd via de zuurstofconcentratie in het water, zoals microbiële afbraakprocessen. De zuurstofconcentratie is de resultante van verschillende biotische en abiotische processen. Hij geeft dan ook een goed beeld van deze processen. In wateren met een hoge biomassa waterplanten is de zuurstofconcentratie overdag bijvoorbeeld vaak erg hoog, terwijl er in de nacht sprake kan zijn van zuurstofloosheid.

AANVULLENDE TOESTANDSVARIABLEN

Zwevend stofgehalte en gloeirest

Met de metingen zwevend stof en gloeirest kan onderscheid worden gemaakt tussen organische en anorganische deeltjes. Deze metingen geven informatie over welke deeltjes naast algen beschaduwning veroorzaken.

Alkaliniteit (hardheid)

De alkaliniteit van het water bepaalt het voorkomen van specifieke soorten (zacht- en hardwatersoorten) in verband met de koolstofbeschikbaarheid (samen met pH: kooldioxide versus bicarbonaat).

De SO₄-concentratie in het water

SO₄ in het water kan zorgen voor mineralisatie van organisch materiaal en speelt een belangrijke rol bij het vrijkomen van P in de bodem. De sulfiden die hierbij vrijkomen, kunnen toxisch zijn. Een daling van de SO₄-concentratie in de zomer wijst vaak op sulfaatreductie in de bodem als gevolg van microbiële afbraakprocessen.

Overige ionen in het water (o.a. HCO₃⁻, Ca, Mg, K, Na en Fe)

Het voorkomen van ionen is essentieel voor het voorkomen van specifieke soorten en kan ook informatie geven over de herkomst van het water. Hoge concentraties aan Ca, Mg en Fe kunnen bijvoorbeeld wijzen op de invloed van kwelwater.

Ionen in het bodemvocht (HCO₃, N, P, Fe, Ca, S)

De gehalten van de verschillende ionen in het bodemvocht geven een beeld van de processen die in de bodem plaatsvinden, waaronder de mate van microbiële afbraak en chemische nalevering op een bepaald tijdstip. Over bodemprocessen is meer te lezen in het STOWA-rapport 2014-30 'Het onderste boven, de waterbodem in ecologisch perspectief';

De STOWA uitgaven 'Van helder naar troebel...en weer terug' (2008-04) en 'Aquatische ecologie (...)' (2014-25) geven meer achtergrondinformatie over veel van de genoemde toestandsvariabelen.

BIOLOGISCHE TOESTANDSVARIABLEN

De vier biologische kwaliteitselementen die worden gemeten voor de KRW (algen, waterplanten, macrofauna en vissen), geven goede informatie over de aanwezigheid van de betreffende organismen en de heersende condities. Bij alle groepen is informatie over de soortensamenstelling en over de biomassa/abundantie gewenst. De eerder genoemde aandachtspunten in paragraaf 3.1 zijn ook hierbij van groot belang, namelijk voldoende en voldoende frequente metingen.

Onderstaand geven we enkele voorbeelden van de informatie die uit de aanwezigheid van de betreffende organismen kan worden gehaald. Het is wederom belangrijk om de resultaten in samenhang te beschouwen. Hierbij moet je je realiseren dat sommige kwaliteitselementen een meer generiek beeld geven voor het gehele watersysteem (vis), terwijl andere vooral iets vertellen over de lokale condities (waterplanten, macrofauna).

Macrofyten

Dominantie van kroos duidt op een hoge belasting met voedingsstoffen. Een woekering van waterplanten kan duiden op een hoge nalevering van voedingsstoffen uit de bodem. Soorten als waterpest en grof hoornblad gedijen goed onder fosfaatrijke condities. Meer bijzondere soorten wijzen over het algemeen juist op nutriëntenarmere en meer specifieke condities (bijvoorbeeld de vorm waarin koolstof beschikbaar is en de saliniteit van het water). Houd er bij de systeemanalyse rekening mee dat de aan- of afwezigheid van waterplanten vooral iets zegt over de lokaal heersende (standplaats)condities.

Fytoplankton en fytobenthos

Een hoge chlorofyl a-concentratie in het water duidt op een hoge belasting met voedingsstoffen. De soortensamenstelling vertelt veel over de heersende condities in het watersysteem, bijvoorbeeld over de mate van stroming, de voedselrijkdom, de lichtbeschikbaarheid en de nutriëntenlimitatie.

Vis

De vissamenstelling geeft een goede indicatie van de toestand van een watersysteem. Een hoge visbiomassa wijst op een hoge productiviteit in het watersysteem. Een groot aandeel aan grote bodemwoelende vissen, zoals brasems, duidt vaak op een belangrijke rol voor het benthisch voedselweb (veel productie in de waterbodem) en als gevolg daarvan beperkte lichtcondities. Een lagere visbiomassa met verschillende vissoorten duidt vaak op voedselarmere omstandigheden en meer diverse habitatstructuren.

Het is belangrijk om bij de systeemanalyse niet naar de aantallen te kijken, maar naar de bijdrage in biomassa van de verschillende soorten. Ook de lengteverdeling is van belang voor de analyse. Houd er bij de systeemanalyse rekening mee dat de gehanteerde visbemonsteringsmethode zeer bepalend kan zijn voor de resultaten. Een goede visstandopname is cruci-

aal, waarbij met name het moment van bevissen en een evenwichtige verdeling over de habitats bepalend zijn voor de bruikbaarheid van de opname (zie ook [Handboek Hydrobiologie](#)).

Macrofauna

Verskillende soortgroepen indiceren specifieke condities, zoals de aan- of afwezigheid van detritus, de aan- of afwezigheid van structuur, de zuurstofcondities en de mate van stroming. Net als bij waterplanten, is het voor de systeemanalyse relevant te beseffen dat de macrofaunasamenstelling vooral iets zegt over de lokaal aanwezige condities.

Tot slot: ook soortgroepen die niet voor de KRW worden bemonsterd, kunnen een goed beeld geven van de toestand van een watersysteem. Hierbij kan worden gedacht aan zoöplankton en sieraalgen. Zie voor meer uitleg over al deze soortgroepen ook het standaardwerk '[Aquatische ecologie \(...\)](#)', het [online handboek ecologische waterbeoordeling](#) van de WEW en het [Handboek Hydrobiologie](#).

4. ESF 1 PRODUCTIVITEIT WATER

4.1 CENTRALE VRAAG

De centrale vraag voor ESF 1, Productiviteit Water, is of de condities zodanig zijn dat algen- of kroosdominantie belemmerend is voor de groei van ondergedoken waterplanten. Deze vraag beantwoorden we door te onderzoeken of de externe belasting lager of hoger is dan de kritische belasting. De invulling van deze vraag is afhankelijk van de verblijftijd van het water (zie paragraaf 4.2).

Indien uit een analyse blijkt dat de externe P- of N-belasting hoger is dan de kritische P- of N-belasting, is de productiviteit dusdanig dat algen of kroos kunnen domineren. ESF 1 staat in dat geval 'op rood'. Indien de externe P- of N-belasting lager is dan de kritische P- of N-belasting is de productiviteit van het water niet belemmerend voor het groeien van ondergedoken waterplanten. ESF 1 staat in dat geval 'op groen'.

Een aandachtspunt hierbij zijn andere lichtverstorende deeltjes, die kunnen zorgen voor minder groei van algen of kroos dan wordt verwacht op basis van een analyse van ESF 1. Ook kan de aanwezigheid van filterende mosselen zorgen voor afwezigheid van algen, terwijl ESF 1 op rood staat. Deze aspecten komen aan de orde bij ESF 2.

4.2 SYSTEEMANALYSE IN STAPPEN

Via een analyse van de toestand (zie hoofdstuk 3) hebben we een beeld verkregen van het actuele ecologische functioneren van het watersysteem. Dit beeld kunnen we vervolgens vergelijken met een analyse van de voorwaarden voor deze ESF. Dat kan worden gedaan via de zes stappen die we hieronder beschrijven.

1. STEL EEN WATERBALANS OP VOOR HET BETREFFENDE WATERSYSTEEM

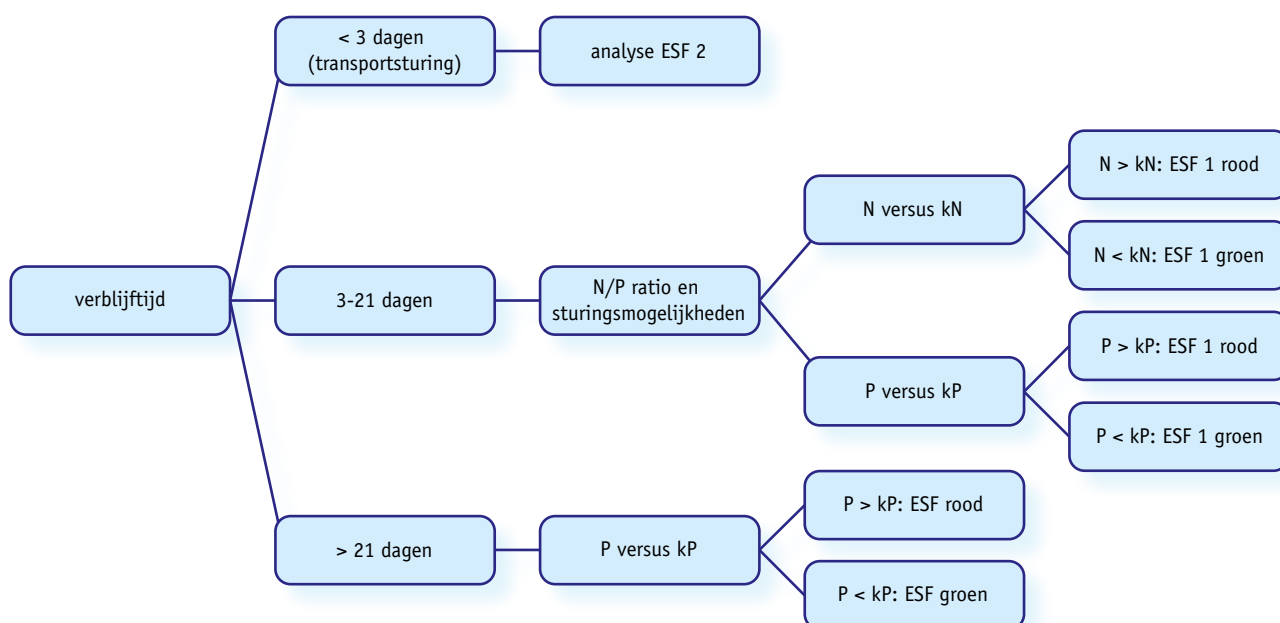
Aandachtspunten bij het maken van een waterbalans zijn:

- a. Er moet worden nagedacht over de begrenzing van het watersysteem. De hydrologische begrenzing is gebaseerd op aan- en afvoergebieden. Deze begrenzing kan anders zijn dan de ecologisch relevante begrenzing (zie ook de voorbeeldcasus bij paragraaf 2.3, box 4);
- b. De waterbalans wordt opgesteld om meer grip te krijgen op de werkelijke waterstromen. Het gaat dus om het in beeld krijgen van de werkelijke waterstromen en de invloed van het dagelijks beheer hierop;
- c. De waterbalans wordt opgesteld op basis van de volgende voorwaarden: 1) gebiedskarakteristieken als het oppervlak land, het oppervlak water, de gemiddelde waterbodemoogte en de bodemsamenstelling van het land (bijv. porievolume), en 2) hydrologische voorwaarden als wegzijging, kwel, neerslag en verdamping;
- d. Het identificeren van bruto stromen. Een voorbeeld is dat er soms netto geen kwel optreedt, maar bruto wel (bijvoorbeeld wanneer in het ene deel van een watersysteem kwel optreedt en in het andere deel wegzijging). Dit is van belang voor het bepalen van de nutriëntenbelastingen;
- e. De minimale tijdstap van de waterbalans wordt afgeleid op basis van de dynamiek van de hydrologie en de waterkwaliteit. Voor een systeemanalyse in stilstaande wateren is het opstellen van de waterbalans op dagbasis een veelgemaakte keuze;
- f. Ter controle van de waterbalans kan zoveel mogelijk gebruik gemaakt worden van beschikbare meetgegevens zoals waterpeil, debieten (inlaat en uitlaat) en chloride of EGV (of andere conservatieve stoffen). Blijf deze echter ook altijd kritisch beschouwen op betrouwbaarheid, met name de in- en uitlaatregistraties.

2. GEBRUIK DE VERBLIJFTIJD VOOR HET BEPALEN VAN HET VERVOLG VAN DE ANALYSE

De waterbalans geeft inzicht in het hydrologisch functioneren van een watersysteem en de rol van de diverse waterstromen. Uit de waterbalans kunnen de verblijftijd van het water en de variatie hierin worden afgeleid. Deze geven inzicht in de sturing van processen in het watersysteem en geven richting aan de verdere analyse (zie afbeelding 2). Hiervoor hanteren we grove grenzen als vuistregel (aantal dagen) (Baranyi et.al., 2002, Preiner et.al., 2008, Aspetsberger et.al., 2002). Het is vooral belangrijk om te kijken in welke orde van grootte de verblijftijd zich bevindt en wat dit vertelt over het functioneren van het watersysteem. We onderscheiden korter dan drie dagen, drie dagen tot drie weken of langer dan drie weken.

Afbeelding 2. Beslisschema voor ESF 1 'Productiviteit Water' (kN is de kritische N-belasting en de kP is de kritische P-belasting)



Wanneer de gemiddelde verblijftijd korter is dan drie dagen, is een systeem vaak overwegend transportgestuurd en bepaalt de samenstelling van het inlaatwater direct of er algen en/of kroos in het water aanwezig zullen zijn en of het water helder of troebel is. Primaire productieprocessen in het ontvangende oppervlaktewater zijn ondergeschikt. Let wel: processen als opwoeling van het sediment door bijvoorbeeld vis of juist filtering door mosselen kunnen wel een rol spelen in het systeem zelf (in dit geval beide ESF 2). De vervolgstap voor de systeemanalyse is een analyse van het lichtklimaat (ESF 2). Algen kunnen wel een probleem zijn, maar deze zijn een resultante van een hoge productiviteit van het water van waaruit water wordt ingelaten.

Wanneer de gemiddelde verblijftijd tussen de 3 en de 21 dagen bedraagt, dan is de volgende stap kijken welk nutriënt limiterend is in het systeem. Dit kan worden gedaan door eerst afzonderlijk de N- en P-belasting te bepalen en daarmee de N/P-ratio van de externe belasting te bepalen (zie punt 3). Als deze ratio kleiner is dan 3 is N het limiterende nutriënt, tussen de 3 en 10 is N of P limiterend en boven de 10 is P limiterend. Deze grenswaarden zijn bepaald op basis van de door Redfield bepaalde grens voor N- en P-limitatie (7,2 g/g) en op basis van het proefschrift van Jan Janse (Redfield, 1958 en Janse, 2005). Daarnaast is het belangrijk om te kijken welke sturingsmogelijkheden er zijn om de fosfor- dan wel stikstofbelasting in het water te verlagen. Als er twijfels bestaan of P of N het sturende nutriënt is, kies dan voor P;

er is nog weinig ervaring met sturing op N onder deze condities. Afhankelijk van de conclusie kan de externe N-belasting worden uitgezet tegen de kritische N-belasting, of de externe P-belasting worden uitgezet tegenover de kritische P-belasting.

Wanneer de verblijftijd langer is dan 21 dagen kan de externe P-belasting worden uitgezet tegen de kritische P-belasting. Een beschouwing van de N-belasting is in dit geval minder zinvol, omdat maatregelen gericht op het reduceren van de N-belasting de groei van N-fixerende blauwalgen in de hand kan werken. Bij een verblijftijd korter dan 21 dagen is dit risico veel minder groot, omdat deze blauwalgen trager groeien dan andere algen.

3. BEPAAL DE N- EN/OF P-BELASTING

Deze belastinganalyse geeft inzicht in de bronnen van nutriënten. Ken hiervoor P- en N-concentraties toe aan de waterstromen. Gebruik hiervoor meetgegevens, of kentallen indien er geen meetgegevens beschikbaar zijn. Voorbeelden van bronnen zijn het inlaatwater, afstroming en uitspoeling en kwel. De externe N- en P-belasting vanuit omliggende percelen is vaak een belangrijke bron, maar hierover is nog weinig bekend. Voor een eenvoudige analyse kunnen kentallen worden gebruikt uit bijvoorbeeld het rapport over het DOVE onderzoek (STOWA 2007-14). Of het programma Nutricalc kan worden gebruikt (zie STOWA 2011-11). Watervogels kunnen ook een belangrijke bron zijn van nutriënten. Er is een rekenmodel beschikbaar om deze bron van nutriënten te berekenen.

4. BEREKEN DE KRITISCHE P-BELASTING (DE KRITISCHE N-BELASTING KAN ALLEEN BEPAALD WORDEN DOOR ERVAREN GEBRUIKERS)

Voor meer uitleg over de kritische P-belasting verwijzen we naar de uitgave 'Van helder naar troebel en weer terug' (STOWA 2008-04) of de website van het PBL. We beschrijven hieronder twee mogelijke manieren om deze te bepalen: een minimale variant en een uitgebreide variant. Belangrijk om te vernoemen is dat de waterbodem onderdeel is van de kritische grens die wordt berekend.

a. De minimale variant

Gebruik voor de minimale variant de PCLake en PCDitch metamodellen. Let hierbij op randvoorwaarden waarbinnen de metamodellen geldig zijn (zie voor uitleg randvoorwaarden PCLake en PCDitch). PCDitch wordt gebruikt voor lijnvormige wateren en PCLake voor meren. De waterdiepte, verblijftijd, bodemtype en voor meren ook de strijklengte worden hierbij gebruikt.

- I. De waterdiepte kan worden bepaald op basis van meetgegevens.
- II. De verblijftijd kan worden bepaald op basis van de waterbalans.
- III. Het bodemtype kan worden bepaald op basis van een bodemkaart waarbij onderscheid wordt gemaakt in dominante bodemtypen (zand, klei en veen). Een aspect om rekening mee te houden is dat de waterbodem lager ligt dan de omliggende landbodem. Als gevolg hiervan kan het bodemtype afwijken.
- IV. De strijklengte (de doorsnede van het meer in de dominante windrichting) kan handmatig of meer geavanceerd worden bepaald. Hierbij is het van belang rekening te houden met de overheersende windrichting en de vorm van het meer. Als ruwe schatting kan hiervoor de wortel uit het oppervlak worden gebruikt.

b. De gewenste variant

Gebruik voor de gewenste variant de modellen PCLake en PCDitch. De modellen kunnen gebruikt worden om een kritische-belastinggrens te berekenen (dit noemen we de statische toepassing van PCLake). De modellen kunnen ook worden toegepast in een dynamische omgeving om variaties in de tijd, van bijvoorbeeld algen en nutriënten, te duiden (dit noe-

men we de dynamische toepassing van PCLake). Ten slotte kunnen de modellen ook ruimtelijk worden toegepast door koppelingen met hydrodynamische modellen als SOBEK en Delft3D.

De resultaten kunnen worden vergeleken met metingen. Dit geeft veel inzicht in de processen die bepalend zijn voor de toestand, zoals die aangetroffen wordt. De ervaring is dat juist afwijkingen tussen berekeningen en metingen meer inzicht opleveren in het functioneren. De kennisregels die ten grondslag liggen aan de modellen en de modellen zelf, zijn op aanvraag beschikbaar. Het werken met PCLake en PCDitch vraagt wel ervaring met, en kennis van de modellen. Met de modellen zelf is het in tegenstelling tot de metamodellen ook mogelijk een kritische N-belasting te bepalen. Op de [website van STOWA](#) staat meer informatie over de modellen.

5. BEKIJK OF DE P- (OF N-)BELASTING HOGER OF LAGER IS DAN DE KRITISCHE P- (OF N-)BELASTING

6. BEPAAL MOGELIJKE MAATREGELEN

Wanneer de belasting hoger is dan de kritische belasting (en de resultaten van de dynamische toepassing eenzelfde beeld geven), vormen de voorwaarden van ESF 1 een belemmerende factor voor het voorkomen van ondergedoken waterplanten. Wanneer deze uitkomst niet past bij het doel dat is opgesteld voor het betreffende water, kan worden bepaald welke (type) maatregelen kansrijk zijn. De waterbalans en de belastinganalyse geven inzicht in kansrijke stuurknoppen voor het beïnvloeden van de situatie. Het is bijvoorbeeld duidelijk welke bronnen het meeste bijdragen aan de externe belasting en tot hoe ver de belasting moet worden teruggedrongen om onder de kritische belasting uit te komen. Daarnaast kan gekeken worden of de kritische belasting verhoogd kan worden door het systeem robuuster te maken (zie de uitgave '[Van helder naar troebel en weer terug](#)' (STOWA 2008-04)), bijvoorbeeld door het creëren of vergroten van ondiepe zones.

In box 5 wordt als voorbeeld een watersysteem beschreven waarbij de verblijftijd een cruciale factor bleek te zijn voor de aanwezige waterkwaliteit.

BOX 5 VOORBEELDCASUS

De invloed van de verblijftijd

Een onderdeel van een hoogbelaste boezem, waarvan aanvankelijk werd verondersteld dat deze doodlopend was, heeft verrassend genoeg een redelijk goede waterkwaliteit. Op de meeste plekken is een groot doorzicht en groeien planten. Een analyse van dit watersysteem liet zien dat de nutriëntenbelasting in het water, conform verwachting, hoger is dan de kritische belasting. Echter, uit deze analyse bleek ook dat deze belasting, door een zeer korte verblijftijd van het water, niet tot uiting komt in de vorm van algen- of kroesbloei. Dit laatste was erg verrassend en bleek het gevolg van het gevoerde inlaatbeheer in een ander watersysteem. Van een doodlopende tak was dus geen sprake. Het verminderen van de inlaat naar het aangrenzende watersysteem zou vergaande gevolgen hebben voor de waterkwaliteit in het beschouwde boezemsysteem. Deze analyse, waarbij onderscheid werd gemaakt tussen voorwaarden en toestand en waarbij hydrologie en ecologie in samenhang werden beschouwd, geeft duidelijke handvatten voor het beheer van dit deel van de boezem, maar ook voor de omliggende watersystemen.

5. ESF 2 LICHTKLIMAAT

5.1 CENTRALE VRAAG

De centrale vraag bij ESF 2, Lichtklimaat, is of er voldoende licht op de bodem valt voor (ondergedoken) plantengroei. We beantwoorden deze vraag door te kijken of het percentage licht op de bodem hoger is dan een vastgesteld kritisch percentage licht op de bodem voor plantengroei, op voldoende oppervlak van het watersysteem. Het is voor deze ESF lastig om het causale verband te leggen tussen de drukken op het systeem en de toestand en het is dus moeilijk om onafhankelijke voorwaarden te noemen. We gaan voor deze ESF uit van een combinatie van toestandsvariabelen en leggen vervolgens de verbinding met de moeilijk kwantificeerbare voorwaarden. Voor de analyse van ESF 2 ligt de nadruk op andere vertroebelende bestanddelen in het water dan algen. Uit de analyse van ESF 1 komt al naar voren of algen al dan niet een potentieel probleem vormen voor de groei van ondergedoken waterplanten.

Het lichtklimaat is niet belemmerend voor de groei van ondergedoken waterplanten als op ten minste 70 procent van de bodem (met een minimale diepte van 50 centimeter) van een watersysteem meer dan 4 procent van het opvallende licht valt. Wortelende waterplanten hebben in dat geval voldoende licht om te groeien. Wanneer niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, is het lichtklimaat wel een belemmerende factor voor het voorkomen van ondergedoken waterplanten. De gekozen percentages en getallen zijn eerste vuistregels voor een beoordeling op systeemniveau. Ze moeten zich nog bewijzen in de praktijk.

5.2 SYSTEEMANALYSE IN STAPPEN

Wanneer het onderstaande stappenplan (zie voor een visualisatie afbeelding 3) wordt gevolgd, wordt duidelijk of het lichtklimaat een probleem vormt in het betreffende watersysteem. Daarnaast geeft de analyse richting bij het zoeken naar de oorzaak van het probleem, deze is echter niet kwantitatief.

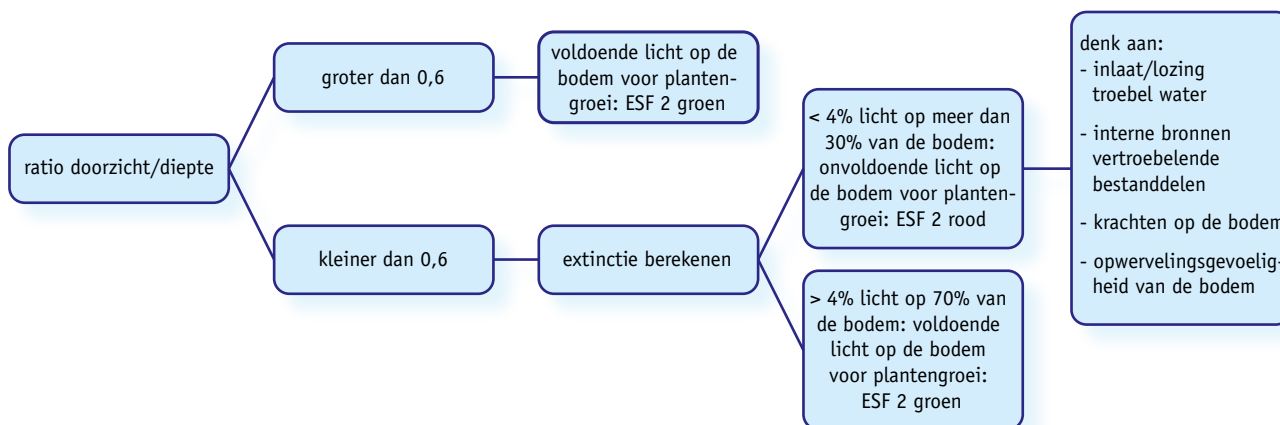
1. BEPAAL DE RATIO DOORZICHT/DIEPTE

De ratio doorzicht/diepte is een eenvoudig te bepalen getal dat toch al goede informatie geeft (zie punt 2 en 3 in box 6 om te kunnen bepalen of er op voldoende oppervlak van het watersysteem voldoende licht valt). Wanneer deze oppervlaktegewogen ratio groter is dan 0,6 (Hosper, 1997, Scheffer, 1998) is er sprake van bodemzicht en dit betekent in principe dat er voldoende licht op de bodem valt voor plantengroei. De ESF is groen als dit het geval is. Wanneer deze ratio kleiner is dan 0,6 valt er in principe niet voldoende licht op de bodem voor plantengroei. De ESF staat dan op rood.

2. BEREKEN DE EXTINCTIE

Het berekenen van de extinctie geeft een nauwkeuriger beeld van het lichtklimaat en van de factoren die hieraan ten grondslag liggen. De rekenmodule onderwaterlicht (zie de STOWA website) (gebaseerd op het model UITZICHT (Buiteveld, 1995)) kan voor deze berekening gebruikt worden, in combinatie met het stappenplan uit box 1. Hiermee kan, mits er voldoende gegevens aanwezig zijn, een onderscheid gemaakt worden in de bijdragen van algen (chlorofyl), detritus, anorganisch materiaal (bijvoorbeeld kleideeltjes) en humuszuren (achtergrondkleuring, vooral in veengebieden) aan het lichtklimaat. Deze analyse geeft inzicht in de mate waarin vertroebeling (afgezien van kroos en algen) bijdraagt aan het voorkomen van plantengroei. De analyse geeft richting aan het achterhalen van de bron van de vertroebeling en de stuurknoppen die er dus zijn om de situatie te beïnvloeden. De analyse geeft inzicht in welk aandeel het grootst is, maar is niet kwantitatief.

Afbeelding 3. Beslisschema voor ESF 2 'Lichtklimaat'



3. BEPAAL HET AANDEEL VAN ALGEN ALS DOORZICHTBEPERKENDE FACTOR

De systeemanalyse die is gedaan om ESF 1 te bepalen geeft informatie over het potentiële aandeel dat algen hebben in de vertroebeling. Dit kan afwijken van het werkelijke aandeel, omdat algen zelf ook weer gehinderd worden door het lichtklimaat.

BOX 6. ESF 2: DE EXTINCTIE BEPALEN

- Bereken het percentage licht dat valt op de bodem ($I_z/I_0 = \text{straling op diepte } z/\text{straling aan de oppervlakte}$) met behulp van (een aangepaste vorm van) de formule van Lambert-Beer ($I_z/I_0 = e^{-(k \cdot z)}$). Zie hiervoor de rekenmodule onderwaterlicht.
 - Bepaal de extinctiecoëfficiënt (k in m^{-1}), een maat voor de uitdoving van licht, met behulp van het model UITZICHT (Buiteveld, 1995). Het model geeft inzicht in de belangrijkste bijdragen aan de extinctie van licht in het water.
 - Bepaal de diepte (z in meters) van het water. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gewerkt met dieptes die zijn bepaald bij vegetatieopnamen (diepteverdeling).
- Bereken op hoeveel procent van de bodem van een watersysteem voldoende licht valt. Er worden uiteenlopende percentages gebruikt als drempelwaarde voor het licht dat de bodem moet bereiken om plantengroei mogelijk te maken, variërend van één tot tien procent. Wij gebruiken in dit rapport vier procent als vuistregel.
- Bekijk of op meer dan zeventig procent van de bodem voldoende licht voor plantengroei is en of de diepte op die plekken ten minste vijftig centimeter is.

Vaak kan bovenstaand stappenplan maar voor één meetpunt in een watersysteem worden toegepast. Alternatief is om de ESF voor deelgebieden in te vullen. De ruimtelijke verschillen kunnen erg groot zijn. Onderstaand stappenplan kan dan worden toegepast (gebaseerd op bovenstaand stappenplan).

- Bereken per locatie de hoeveelheid licht dat op de bodem valt
- Toets per locatie aan de 4% norm
- Hoe vaak voldoet de locatie aan de toets van ESF 2
- Vergelijk de uitkomst met de 70% norm

4. BEPAAL HET AANDEEL VAN ELK VAN DE VERTROEBELENDE DEELTJES (NIET ZIJNDE ALGEN)

Om te kunnen bepalen waar het aandeel aan vertroebelende deeltjes, die niet algen zijn, vandaan komt, is een onderzoek nodig in relatie tot andere mogelijke bronnen. De rekenmodule onderwaterlicht geeft een inschatting van de bijdrage van verschillende licht vertroebelende deeltjes. Vanuit gebiedskennis zijn er misschien ook al vermoedens van de bron van vertroebelende deeltjes. Deze kunnen richting geven aan de volgorde van de volgende stap-

pen in de systeemanalyse. Hierna volgen enkele vragen die meer inzicht kunnen geven in potentiële bronnen van vertroebeling. Kwantitatieve methoden voor de bepaling van de bronnen zijn niet beschikbaar. Daarvoor ontbreekt op dit moment nog kennis.

5. ONDERZOEK OF ER INLAAT OF LOZING IS VAN TROEBEL WATER

Denk hierbij aan de inlaat van humusrijk water of lozing vanuit niet natuurlijke bronnen. Kijk daarnaast of er andere interne bronnen zijn van vertroebelende bestanddelen. Denk hierbij aan afkalvende oevers of een afbrekende waterbodem.

6. ONDERZOEK OF ER KRACHTEN ZIJN OP DE BODEM, ZOALS KRACHTEN DOOR SCHEEPVAART, WIND, STROMING OF ORGANISMEN

Denk hierbij aan de aanwezigheid van veel scheepvaart of recreatievaart, een groot aandeel aan bodemwoelende vis (een hoog P-gehalte in de bodem kan hier ook toe leiden) of een grote strijklengte (zie ESF 1).

7. ONDERZOEK WAT DE OPWERVELINGSGEVOELIGHEID IS VAN DE BODEM OP BASIS VAN STRUCTUUR, ORGANISMEN EN VEGETATIE

Hierbij zijn de volgende subvragen van belang:

- wat is het aanwezige bodemtype en wat is de korrelgrootte? Hierbij is de schuifspanning een relevante factor;
- zijn er ondergedoken waterplanten of mossels aanwezig in het watersysteem, en zo ja: welke bedekking hebben deze?

8. ONDERZOEK OF ER FILTERENDE MOSSELEN AANWEZIG ZIJN

Naast vermindering van de opwervingsgevoeligheid van de bodem kunnen mosselen ook op andere manieren zorgen voor een goed lichtklimaat (ESF 2 voldoet), terwijl er wel bronnen zijn van zwevende deeltjes en/of de belasting met nutriënten te hoog is. Dit is een aandachtspunt bij ESF 1 en 2. Zie voor meer informatie bijvoorbeeld [het STOWA werkrapport over quagga mosselen](#).

9. BEPAAL MOGELIJKE MAATREGELEN

Indien niet op ten minste zeventig procent van de bodem (met een minimale diepte van 50 centimeter) van een watersysteem meer dan vier procent van het opvallende licht valt, is het lichtklimaat belemmerend voor de groei van ondergedoken waterplanten. Wanneer dit niet past bij het voor het betreffende water opgestelde doel, kan worden bepaald welke (type) maatregelen kansrijk zijn. Je kunt externe of interne bronnen aanpakken. Een voorbeeld is het verkleinen van de inlaat van troebel water. Ook kunnen de krachten op de bodem worden verkleind, bijvoorbeeld door het verkorten van de strijklengte waardoor de invloed van wind kleiner wordt. Ook kan de opwervingsgevoeligheid van de bodem worden verkleind, bijvoorbeeld door het afdekken van een slibbige bodem met zand.

6. ESF 3 PRODUCTIVITEIT BODEM

6.1 CENTRALE VRAAG

De centrale vraag bij ESF 3, Productiviteit Bodem, is of de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem voldoende laag is om een diverse, ondergedoken vegetatieontwikkeling mogelijk te maken. Het gaat bij deze ESF niet om het bepalen van de directe nalevering van nutriënten uit de bodem naar het oppervlaktewater, maar om het bepalen van de rol van de bodem in de productiviteit van de vegetatie. Er is nog relatief weinig onderzoek uitgevoerd op dit gebied. Het onderzoek dat tot nu toe is gedaan, richt zich vooral op fosfor en dan met name op totaal-fosforgehaltes in bodemvocht en bodem. Veel van het beschikbare onderzoek is uitgevoerd voor terrestrische bodems.

Op basis van de kennis die nu beschikbaar is, kiezen wij voor de totale voorraad fosfor in de bodem als een indicatie voor de potentiële nalevering van fosfor naar de waterlaag. We gebruiken op dit moment een vaste grenswaarde voor totaal-P tot waarbij een soortenrijke onderwatervegetatie wordt verwacht. De totaal-P grenswaarde hebben we gesteld op 500 mg/kg bodem. De waarde komt uit het proefschrift van [Van Zuidam, 2013](#) en is gebaseerd op studies in sloten. Het getal lijkt echter ook voor andere stilstaande watertypen op te gaan. De grenswaarde is een eerste vuistregel. We plaatsen hier wel enkele kanttekeningen bij.

- De beschikbaarheid van de voorraad fosfor voor planten verschilt per systeem, omdat de beschikbaarheid afhankelijk is van de binding van P aan bijvoorbeeld ijzer en organische complexen. Bovendien wordt de beschikbaarheid van de voorraad fosfor voor planten vermoedelijk ook bepaald door systeemkenmerken, zoals de waterdiepte en de vorm van het watersysteem. De grenswaarde zou derhalve idealiter systeemspecifiek moeten worden bepaald op basis van systeemkenmerken en de fractionering van P. Op dit moment is een fractionering van P niet eenvoudig mogelijk (dit kost veel meer tijd dan een totaal-P meting). Bovendien ontbreken kennisregels voor het bepalen van dergelijke systeemspecifieke grenswaarden.
- Het totaal-N gehalte in de bodem is ook een belangrijke factor voor de productiviteit van de bodem en wellicht even belangrijk als, of zelfs belangrijker dan het totaal P-gehalte. In N-gelimiteerde omstandigheden is het totaal N-gehalte zelfs allesbepalend. Op dit moment wordt er meer onderzoek gedaan naar de rol van stikstof in de bodem voor ondergedoken waterplanten (onder meer door de Radboud Universiteit Nijmegen). Er is nog geen kwantitatieve relatie beschikbaar die gebruikt kan worden in een systeemanalyse.
- Vermoedelijk zou de grenswaarde voor totaal P beter kunnen worden gebaseerd op volume-eenheden bodem, omdat planten wortelen in een bepaald volume aan bodem. Dit is echter nog niet mogelijk.

Ammonium- en sulfidotoxiciteit kunnen ook een rol spelen in de productiviteit van de vegetatie. In hoogproductieve watersystemen wordt organisch materiaal gevormd. Dit organisch materiaal wordt weer afgebroken onder invloed van (o.a.) sulfaat, nitraat en bicarbonaat. Hierbij kunnen sulfide en ammonium worden gevormd. Een hoge productiviteit van de waterbodem gaat vaak samen met toxische condities aan de wortelzone. Omdat dezelfde sturende factoren een rol spelen, is het niet nodig om dit onderscheid te maken. Met de huidige kennis is dit ook nog niet goed mogelijk.

We stellen in dit rapport dat de productiviteit van de bodem het ontstaan en voorkomen van een soortenrijke, niet-woekerende onderwatervegetatie niet belemmert, indien het totaal-P gehalte van de bodem lager is dan 500 mg/kg bodem. ESF 3 staat in dit geval op groen. Als het totaal-P gehalte van de bodem hoger is dan 500 mg/kg, vormt de productiviteit van de bodem

wel een belemmering voor het voorkomen van een soortenrijke, niet-woekerende onderwatervegetatie. ESF 3 staat in dit geval op rood.

6.2 SYSTEEMANALYSE IN STAPPEN

Door een analyse van de toestand (zie hoofdstuk 3) is een beeld verkregen van het huidige ecologisch functioneren van het watersysteem. Het is belangrijk deze kennis te vergelijken met een analyse van de voorwaarde van deze ESF aan de hand van het onderstaande stappenplan (zie ook afbeelding 4).

1. NEEM WATERBODEMMONSTERS VAN HET BETREFFENDE WATERSYSTEEM

2. BEPAAL VAN DEZE WATERBODEMMONSTERS HET TOTAAL-P GEHALTE

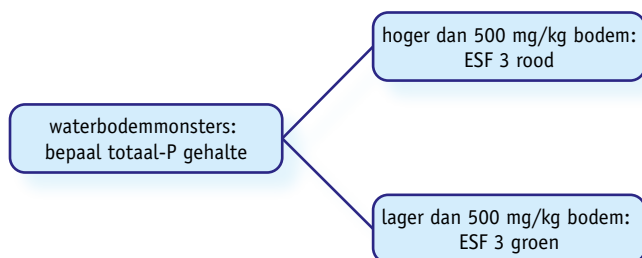
3. BEPAAL OF HET TOTAAL- P GEHALTE ONDER OF BOVEN DE GRENSSWAARDE LIGT

Is het totaal-P gehalte in de bodem lager dan 500 mg/kg bodem? Dan is de productiviteit van de bodem vermoedelijk geen belemmering voor het voorkomen van ondergedoken waterplanten. Let hierbij op de opmerkingen die zijn gemaakt in paragraaf 6.1. De grenswaarde is een eerste vuistregel. Een specifiek aandachtspunt is het totaal-P gehalte van de bodem in veenplassen. Dit kan hoger zijn dan 500 mg/kg bodem, waarbij toch een gevarieerde waterplantvegetatie kan ontstaan.

4. BEPAAL MOGELIJKE MAATREGELLEN

Indien het totaal-P gehalte hoger is dan 500 mg/kg bodem, kan de bodem zorgen voor het ontstaan van een woekerende waterplantenvegetatie. Indien dit niet past bij het doel dat is gesteld voor het betreffende watersysteem, zijn diverse maatregelen mogelijk voor het verlagen van deze 'interne belasting'. Zie hiervoor bijvoorbeeld STOWA rapport 2014-30 'Het onderste boven, de waterbodem in ecologisch perspectief'. Maatregelen die de nutriëntenvrucht in de bodem verminderen, kunnen het best alleen genomen worden indien de externe aanvoer van nutriënten voldoende laag is (ESF 1 staat dan op groen). Anders is de kans groot dat het optredende herstel van korte duur is.

Afbeelding 4. Beslisschema voor ESF3 'Productiviteit bodem'



7. EN NU?

Een systeemanalyse stopt natuurlijk niet na het analyseren van ecologische sleutelfactoren 1, 2 en 3. Zoals we in hoofdstuk 1 al hebben aangegeven, moeten voor een volledige systeem-analyse alle negen sleutelfactoren integraal worden beschouwd. Dit is nodig om een volledig beeld te krijgen van de ecologische toestand waarin een watersysteem zich bevindt en de onderliggende voorwaarden; de sleutel tot het opstellen van realistische doelen en effectieve maatregelen.

STOWA werkt op dit moment de resterende sleutelfactoren inhoudelijk en kwantitatief uit. Zodra we hiermee klaar zijn, zullen we deze kennis direct ontsluiten, op soortgelijke wijze als we dit hebben gedaan met de eerste drie sleutelfactoren.

Tot slot: het feit dat deze kennis er nog niet is, wil allerminst zeggen dat waterbeheerders tot die tijd niets zouden kunnen doen. De ESF'en 4 tot en met 9 kunnen waterbeheerders op dit moment al kwalitatief meenemen in hun watersysteemanalyses. Dit levert weliswaar nog niet het complete beeld op, maar al wel een goed beeld waarmee waterbeheerders daadwerkelijk aan de slag kunnen om de ecologische kwaliteit van hun watersystemen op orde te brengen en te houden.

8. LITERATUUR

- Aspetsberger, F., Huber, F., Kargl, S., Scharinger, B., Peduzzi, P., & Hein, T. (2002). Particulate organic matter dynamics in a river floodplain system: impact of hydrological connectivity. *Archiv für Hydrobiologie*, 156(1), 23-42.
- Baranyi, C., et al. (2002). Zooplankton biomass and community structure in a Danube River floodplain system: effects of hydrology. *Freshwater Biology*, 47.3: 473-482.
- Beers, M. et al. (2014). *Handboek Hydrobiologie*. STOWA 2014-02.
- Buiteveld, H. (1995). A model for calculation of diffuse light attenuation (PAR) and secchi depth. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 29(1) 55-65.
- Van Gogh, I. (2014). *Het onderste boven, de waterbodem in ecologisch perspectief*. STOWA 2014-30.
- Hosper, H. (1997). *Clearing lakes: an ecosystem approach to the restoration and management of shallow lakes in the Netherlands*. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Hoogenboom, H. (2014). *Aquatische ecologie. Functioneren en beheren van zoete en brakke aquatische ecosystemen*. KNNV Uitgeverij.
- Ijff, S. (2014). *De quaggamossel in Nederland, een vloek of een zegen? Effecten van de quaggamossel op het waterkwaliteitsbeheer in Nederland*. STOWA 2014-W-04.
- Jaarsma, N., Klinge, M., Lamers, L. (2008). *Van helder naar troebel... en weer terug. Een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de Kaderrichtlijn Water*. STOWA 2008-04.
- Janse, J. H. (2005). *Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches*. Diss., Universiteit Wageningen.
- Von Meijenfildt, N. et al. (2014). *Ecologische Sleutelfactoren, begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen*. STOWA 2014-19.
- Van der Molen D.T., Pot. R. (2007). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water*. STOWA 2007-32.
- Van der Molen, P.C. et al. (2010). *Landschapsecologische systeemanalyse*.
- Preiner, S., Drozdowski, I., Schagerl, M., Schiemer, F. and Hein, T. (2008). The significance of side-arm connectivity for carbon dynamics of the River Danube, Austria. *Freshwater Biology*, 53: 238-252.
- Redfield, A.C. (1958). *The biological control of chemical factors in the environment*, American Scientist.
- Scheffer, M. (1998). *Ecology of shallow lakes*. Springer Science & Business Media.
- Schep, S. Drost, G. Van de Weerd, R. (2011) *Toetsing Nutricalc aan gebiedskennis en meetgegevens*. STOWA 2011-11.
- Van de Weerd, H. en Torenbeek, R. (2007). *Uitspoeling van meststoffen uit grasland, emissieroutes onder de loep*. STOWA 2007-14.
- Van Zuidam, J., (2013). *Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery*. Thesis Wageningen University, Wageningen.

STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk- juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' - de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft - om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

DE GRONDBEGINSELEN VAN STOWA ZIJN VERWOORD IN ONZE MISSIE:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

