stowa

ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOR BELASTING STROMEND WATER

TUSSENRAPPORTAGE



2018
30

stowa

ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOR BELASTING STROMEND WATER

TUSSENRAPPORTAGE



2018
30



INHOUDSOPGAVE

H1	**INLEIDING**	**4**
H2	**PROBLEEMANALYSE**	**10**
2.1	Belasting met niet-milieuvreemde stoffen	11
2.2	De effecten van belasting	11
2.3	Nutriëntenbelasting	19
2.4	Organische belasting	23
2.5	Bronnen van belasting	31
H3	**EEN GEFASEERDE SYSTEEMANALYSE**	**34**
3.1	Quick scan	36
3.2	Globale analyse	39
H4	**LITERATUUR**	**60**
	BIJLAGE	**64**
	SNELSTARTGIDS WATER- EN STOFFENBALANS	

H1 INLEIDING



AANLEIDING

De Kaderrichtlijn Water (KRW) vraagt waterbeheerders waar nodig maatregelen te nemen voor een betere ecologische waterkwaliteit. Om te bepalen of maatregelen bijdragen aan een betere waterkwaliteit is inzicht nodig in het functioneren van het gehele watersysteem. Dit inzicht kan verkregen worden middels een watersysteemanalyse op basis van ecologische sleutelfactoren (ESF's). De ESF-methodiek beoogt de stappen die nodig zijn voor een goede systeemanalyse te concretiseren. De diagnose van het hydrologisch en ecologisch functioneren van wateren staat hierin centraal. Met de uitwerking van de ESF belasting levert dit rapport een bijdrage aan de ESF-methodiek voor stromende wateren.

DOEL

In dit rapport wordt een methodiek gepresenteerd om te bepalen of de belasting van niet-milieuvreemde stoffen (kortweg belasting genoemd) bepalend is voor de waterkwaliteit in stromende wateren. Dit wordt gedaan aan de hand van drie stappen: quick scan, globale analyse en nadere analyse. De laatste stap is op hoofdlijnen uitgewerkt.

AFBAKENING STOFFEN

Bij de uitwerking van de ESF belasting is in samenspraak met de begeleidingscommissie de keuze gemaakt om alleen te kijken naar nutriënten en organische stoffen. Deze stoffen zorgen in de dagelijkse praktijk van het waterbeheer het vaakst voor problemen. Van de andere stoffen wordt alleen een korte omschrijving met de bronnen en routes weergegeven (paragraaf 2.1). Vooral in perioden van lage afvoer ontstaan problemen met nutriënten en organische stoffen.

ESF-METHODIEK

De systematiek van ecologische sleutelfactoren helpt waterbeheerders om te doorgronden welke processen bepalend zijn voor de toestand van het watersysteem (oftewel waarom het is zoals het is). Dit wordt gedaan aan de hand van een watersysteemanalyse, waarbij de ESF´s in samenhang worden beschouwd. De systematiek is in nauwe samenwerking tussen de STOWA, waterbeheerders en adviesbureaus ontwikkeld.

Meer informatie over de ecologische sleutelfactoren is te vinden in:

- STOWA-RAPPORT 2014-19 Ecologische Sleutelfactoren. Begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen;
- STOWA-RAPPORT 2015-17 Ecologische Sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie. Toepassing van de Ecologische Sleutelfactoren 1, 2 en 3 in de praktijk;
- STOWA-RAPPORT 2016-W06 Ecologische Sleutelfactoren voor stromende wateren, een methodiek in ontwikkeling.

De voorliggende rapportage behandelt de ESF belasting voor stromende wateren. De uitwerking van de andere ESF's voor stromende wateren wordt in afzonderlijke publicaties besproken. Voor een volledige analyse van het watersysteem dienen de ecologische sleutelfactoren in onderlinge samenhang te worden beschouwd. Belasting kan daarin niet los worden gezien van de andere ESF's. Zo beïnvloedt de *ESF hydromorfologie* de *ESF belasting*, beïnvloedt de *ESF belasting* de *ESF waterplanten en bufferzone* en beïnvloedt de *ESF waterplanten en bufferzone* op haar beurt weer de *ESF hydromorfologie*.

STROMENDE EN STILSTAANDE WATEREN

Binnen de KRW-systematiek wordt onderscheid gemaakt tussen stilstaande en stromende wateren. Met stromende wateren wordt gedoeld op de grote en kleinere rivieren, en de waterlopen in het vrij-afwaterend deel van Nederland. Voorbeelden van stromende wateren (volgens de KRW-typologie) zijn 'snel stromende wateren' zoals heuvellandbeken in Zuid-Limburg, maar ook 'langzaam stromende wateren' zoals moerasbeken[1] en beken op de hogere zandgronden.

Stromende wateren worden gekenmerkt door een overwegend korte verblijftijd, waardoor vaak sprake is van transportsturing. Dat wil zeggen dat de samenstelling van het toestromende water bepalend is voor de waterkwaliteit. In de categorie stromende wateren vallen echter ook wateren die mede door menselijk handelen gedurende langere tijd stil staan, bijvoorbeeld als gevolg van stuwen of de ontwatering van het stroomgebied.

1 *Voor moerasbeken wordt een nieuw KRW-type uitgewerkt.*

Voor stilstaande wateren is de ESF nutriëntenbelasting besproken in STOWA-rapport 2015-17 [lit. 2] en de ESF organische belasting in een STOWA-rapport dat binnenkort verschijnt [lit. 3]. Er zit overlap in de concrete uitwerking van de ESF organische belasting voor stilstaande wateren en de ESF belasting voor stromende wateren. Om deze reden wordt in de twee rapporten verwezen naar eenzelfde achtergronddocument.

AFB 1.1 OVERZICHT ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN (ESF'S) VOOR STROMENDE WATEREN.
ESF Afvoerdynamiek, Grondwater, Stagnate, Natte doorsnede en Connectiviteit betreffen het gehele stroomgebied van het watersysteem, terwijl ESF Bufferzone en waterplanten, Belasting en Toxiciteitper traject kunnen verschillen. Sleutelfactor Context is geen ecologische sleutelfactor en betreft de context van het gehele stroomgebied. (bron: STOWA [lit. 1])



OVERZICHT SYSTEEMANALYSE VOOR BELASTING

De centrale vraag voor de hier besproken ecologische sleutelfactor is of de belasting een belemmering vormt voor het ecologisch functioneren van het watersysteem. Om deze vraag te beantwoorden wordt een systeemanalyse uitgevoerd die uit drie stappen bestaat: quick scan, globale analyse en nadere analyse. Blijkt uit de quick scan dat er geen negatieve invloed van de organische belasting is, dan is het niet nodig om de twee verdere analysestappen voor deze sleutelfactor uit te voeren. Door deze fasering wordt voorkomen dat veel tijd verloren gaat aan onnodig gedetailleerde analyses. Deze gefaseerde aanpak past in de geest van de systematiek van ecologische sleutelfactoren, waarbij steeds gezocht wordt naar de voor de ecologische toestand meest bepalende processen.

In de quick scan (3.1) staat de vraag centraal of er aanwijzingen zijn om te veronderstellen dat belasting een belemmering vormt. Om deze vraag te beantwoorden volstaat een analyse op hoofdlijnen. Uit een grove beoordeling van de biologische en fysisch-chemische waterkwaliteit blijkt of problemen door belasting wel of niet aannemelijk zijn. Om dit te beoordelen wordt ook gekeken naar de kenmerken van het watersysteem (bijvoorbeeld de waterdiepte) en de aanwezigheid van potentiële belastingbronnen.

In de globale analyse (3.2) wordt allereerst de omvang van de belasting ingeschat en ten tweede of deze hoger is dan de kritische belasting. De omvang van de nutriëntenbelasting kan door middel van een water- en stoffenbalans worden bepaald. Met behulp van het ecologische model PCDitch kan de kritische nutriëntenbelasting worden bepaald.

De kritische organische belasting wordt overschreden wanneer het zuurstofgehalte als gevolg van de belasting onder een vooraf bepaalde grenswaarde daalt, waarbij gewenste soorten niet meer goed kunnen functioneren. Voor de uitwerking van de globale analyse is een tool ontwikkeld met een vereenvoudigd zuurstofmodel. Hierin wordt op basis van systeemkenmerken (bijv. stroomsnelheid) en de emissie vanuit de aanwezige bronnen een stationair zuurstofgehalte berekend.

De zuurstofconcentratie wordt ook bepaald door het voedselweb. Er kan bijvoorbeeld sprake zijn van een grote dag-nachtfluctuatie door waterplanten (met 's nachts te lage zuurstofconcentraties). In de ontwikkelde tools voor de globale ana-

lyse wordt het voedselweb niet expliciet meegenomen, omdat dit te complex is. In de beschouwing van de analyses dient het voedselweb echter wel steeds te worden genomen.

De nadere analyse (3.3) wordt uitgevoerd wanneer inzicht in de ruimtelijke en temporele spreiding van het effect van belasting gewenst is. Hiervoor is een gedetailleerd model nodig, dat de belasting en de andere ESF's integraal analyseert. PCDitch biedt hiervoor de beste aanknopingspunten. Het is binnen de context van dit project echter niet gelukt om tot een volwaardige ontwikkeling van een dergelijk model te komen.

LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 bevat theoretische achtergronden en een toelichting op de keuzes die gemaakt zijn bij de uitwerking van de ESF belasting. In hoofdstuk 3 worden de analysestappen van de systeemanalyse afzonderlijk toegelicht. Hoofdstuk 4 bevat een overzicht van de geraadpleegde literatuur.

In de bijlage is een snelstartgids voor de water- en stoffenbalans opgenomen die in de globale analyse voor de nutriëntenbelasting kan worden gebruikt. In het 'achtergronddocument: quick scan en globale analyse' is meer informatie te vinden over de tool Oxy-val die in de globale analyse voor de organische belasting kan worden gebruikt [lit. 4].

Separaat aan dit rapport is een achtergronddocument 'casus Drentsche Aa' opgesteld [lit. 5]. Dit achtergronddocument gaat in op de toepassing van de ESF belasting op de casus Drentsche Aa, waarbij de analysestappen quick scan en globale analyse zijn doorlopen. Dit document is tevens gebruikt als input voor een overall rapport over de toepassing van ESF´s voor stromende wateren in de Drentsche Aa.

H2 PROBLEEMANALYSE



2.1 BELASTING MET NIET-MILIEUVREEMDE STOFFEN

Tabel 2.1 bevat een lijst van de belangrijkste belastende stoffen die als niet-milieuvreemd worden beschouwd. Het gaat om stoffen die in relevante concentraties in het water kunnen voorkomen. Micronutriënten en sporenelementen, zoals kobalt of mangaan, ontbreken in de lijst, omdat in de dagelijkse praktijk van het waterbeheer zelden sprake is van een probleem met deze stoffen.

In overleg met de STOWA en de begeleidingscommissie is besloten in de ESF belasting alleen te kijken naar de belasting van nutriënten en organische stoffen. Organische belasting en nutriëntenbelasting komen deels uit dezelfde bronnen voort. In paragraaf 2.5 worden deze belastingsbronnen verder toegelicht.

De relatie tussen bronnen, belastingen, concentraties en aangetroffen soorten kan worden beschouwd door onderscheid te maken tussen systeemkenmerken, processen, milieufactoren en soorten (zie afbeelding 2.1). De systeemkenmerken bepalen de transportroutes van stoffen vanuit een bron naar en door het water. Zo zal in grote snel stromende wateren een bepaalde belasting een kleiner effect hebben dan eenzelfde belasting in kleine traag stromende wateren.

Ook de chemische omzettingsprocessen bepalen hoeveel van een stof vanuit een bron het watersysteem bereikt en in welke hoedanigheid. Zo kan nitraat (NO^{3-}) tijdens het transport door nitrificatie deels worden omgezet in stikstof (N2), dat naar de atmosfeer verdwijnt.

2.2 DE EFFECTEN VAN BELASTING

Of het nu gaat om mestuitspoeling, riooloverstorten, ongezuiverde lozingen, ingewaaid blad of uitwerpselen van honden en vogels: het zijn allemaal bronnen van nutriënten en organische stoffen op een watersysteem.

Een te hoge nutriëntenbelasting leidt tot algen- of kroosdominantie, wat belemmerend is voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Ook kan de samenstelling van de leefgemeenschappen veranderen en de biodiversiteit afnemen. De gewijzigde groei van algen en waterplanten heeft ook gevolgen voor de zuurstofhuishouding van het water.

TABEL 2.1 OVERZICHT VAN NIET MILIEUVREEMDE STOFFEN

Overzicht van niet milieuvreemde stoffen, herkomst en globale samenhang met de ecologische toestand

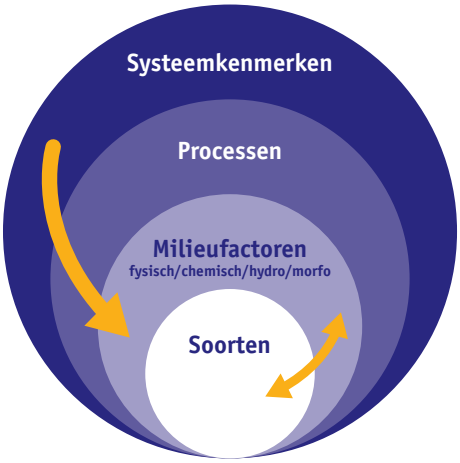
STOF/PARAMETER	HERKOMST EN GLOBALE SAMENHANG MET ECOLOGISCHE TOESTAND
Fosfor (P-totaal)	Afbraak van organische stof in het water (planten, andere organismen) en de bodem (veenlagen), uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden, lozingen vanuit riooloverstorten, industrieel- en RWZI-effluent. Fosfor is een essentiele bouwstof voor ecosystemen, maar in overmaat levert het problemen op. Fosfor is niet direct beschikbaar voor opname, maar kan wel een bron zijn voor blijvende belasting.
Orthofosfaat (P-ortho)	Afbraak van organische stof in het water (planten, andere organismen) en de bodem (veenlagen), uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden, lozingen vanuit riooloverstorten, industrieel- en RWZI-effluent. Fosfaat is een essentiële bouwstof voor ecosystemen, maar in overmaat levert het problemen op. P-ortho is relevant, omdat het voor veel organismen direct opneembaar is en bij lage concentraties groeibeperkend kan zijn.
Stikstof (N-totaal)	De som van organische en anorganisch stikstofverbindingen.
Nitraat (NO_3^-)	Afbraak van organische stof in het water (planten, andere organismen) en de bodem (veenlagen), uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden, lozingen vanuit riooloverstorten, industrieel- en RWZI-effluent. Nitraat is een essentiele bouwstof voor ecosystemen, maar in overmaat levert het problemen op. Bij te lage concentraties is het groeibeperkend voor veel organismen.
Nitriet (NO_2^-)	Nitriet is een omzetting van nitraat. Veel planten kunnen nitriet als stikstofbron gebruiken na omzetting tot ammonium via ammonificatie. Nitriet is in hoge concentratie giftig, maar dit speelt vooral bij menselijke consumptie.
N-org	Afbraak van organische stof in het water (planten, andere organismen) en de bodem (veenlagen). Veelal van natuurlijke herkomst. N-org eerst worden omgezet (mineralisatie) voordat het voor ecosystemen als bouwstof beschikbaar is.
Ammoniak/ Ammonium (NH_3/NH_4)	Bij de afbraak van organisch materiaal (o.a. ureum, eiwitten) wordt ammonium gevormd. Ammonium is in evenwichtsrelatie met ammoniak en afhankelijk van pH en temperatuur. Bij hoge pH en hoge temperatuur wordt veel ammonium omgezet ammoniak, dat al snel toxisch is voor kritische waterplanten. In lage concentraties is NH4 een voedingsbron voor (water)planten.

STOF/PARAMETER	HERKOMST EN GLOBALE SAMENHANG MET ECOLOGISCHE TOESTAND
Kjeldahl-N	De som van organisch stikstok (N-org), ammoniak (NH_3) en ammonium (NH_4).
Kalium (K)	Kalium komt in het milieu van nature voor via verwering of vanuit mariene herkomst. Voor planten is kalium vaak groeilimiterend. Daarom wordt het in de landbouw vaak extra toegediend. Hoewel kalium via o.a. bemesting in het water terecht kan komen, wordt het zelden met milieuproblemen geassocieerd. Kalium zelf is niet in water oplosbaar, maar kaliumverbindingen wel.
TOC	'Total organic carbon' (TOC) is de som van al het organisch gebonden koolstof in water (zowel gebonden aan zwevende stoffen als opgelost). TOC wordt gebruikt voor de meting van organische verontreinigingen in een watersysteem. De organische verontreinigingen kunnen afkomstig zijn uit ongezuiverd proces- en afvalwater. Organisch materiaal kan ook ontstaan door de vorming van biofilm (bacteriën).
DOC	'Dissolved Organic Carbon' (DOC) is de som van het in water aanwezige opgelost koolstof. DOC wordt vooral gevormd door veenafbraak. De afbraak van DOC onttrekt zuurstof aan het oppervlaktewater. In hoge concentraties kan dit daarom leiden tot sterfte van waterorganismen.
Calcium (Ca)	Calcium kan afkomstig zijn uit de verwering van gesteente, uit grondwater en (in beperkte mate) uit door de mens gemaakte bouwstoffen. Calcium kan een remmende werking hebben op de toxiciteit van andere stoffen. Elementen zoals koper, lood of zink zijn in hard water minder giftig.
Magnesium (Mg)	Magnesium heeft een mariene herkomst of is afkomstig vanuit proceswater of de verwering van gesteente. De stof is voor bijna alle organismen essentieel en noodzakelijk voor fotosynthese. Milieuproblemen die indirect kunnen ontstaan, zijn de gevolgen van het gebruik van ontharders.
Sulfaat (SO_4^{2-})	Zwavelverbindingen in het oppervlaktewater hebben vaak een mariene herkomst. Direct of indirect, via afzettingen (Fe2S) en afbraak van veengronden (oxidatie) kan veel sulfaat in het oppervlaktewater terecht komen. Andere bronnen zijn atmosferische depositie (SO2) en landbouw (bemesting). Dit heeft een negatief effect op het waterleven (verarming, interne eutrofiering, sulfide-toxiciteit).
Chloride (Cl^-)	Chloride is voornamelijk afkomstig uit mariene afzettingen. In de Maas was het chloridegehalte jarenlang verhoogd door de lozing van zouten vanuit Franse kalimijnen. Op de hogere zandgronden is het chloride-gehalte overwegend laag. Obligaat zoete organismen zijn gevoelig voor verhoogde chlorideconcentraties.

STOF/PARAMETER	HERKOMST EN GLOBALE SAMENHANG MET ECOLOGISCHE TOESTAND
Temperatuur (T)	De watertemperatuur is sterk afhankelijk van de luchttemperatuur en blootstelling aan direct zonlicht. Toestroom van grondwater is van belang om een meer stabiele, lage watertemperatuur te krijgen in stromende wateren op de hogere zandgronden. In rivieren is de lozing van industrieel koelwater een belasting voor het oppervlaktewater, omdat bij overschrijding van een kritische watertemperatuur sterfte van waterorganismen kan optreden.
Zuurgraad (pH)	De zuurgraad in het oppervlaktewater is de resultante van de mate van herkomst van water (zuur regenwater versus gebufferd grondwater) en chemische omzettingsprocessen. Organismen hebben hun specifieke pH-range waarbinnen ze voorkomen.
Zuurstof (O_2)	Het zuurstofgehalte is een resultante van watertemperatuur, waterstroming, fotosynthese en afbraak. Diverse organismen komen alleen binnen bepaalde ranges voor zuurstofgehalte voor.
IJzer (Fe^{2+}/Fe^{3+})	IJzer is veelal afkomstig vanuit grondwater. In grondwater komt veel Fe^{2+} voor, maar na oxidatie wordt dit omgezet naar Fe^{3+}, dat zich bindt fosfaat en sulfaat. IJzer is een essentieel element voor bijna alle organismen en speelt in natuurlijke processen een grote rol. Het hangt samen met de trofiegraad van oppervlaktewateren. In hoge concentraties kan Fe^{3+} giftig zijn voor waterorganismen.
Zwevend stof (ZS)	Zwevend stof bestaat uit kleine deeltjes van minerale en organische herkomst en komt van nature voor in het oppervlaktewater. Verhoogde concentraties komen door lozingen vanuit RWZI's of door erosie na piekbuien. Bij een verhoogde concentratie aan zwevende stoffen wordt de transparantie van het water aangetast en vermindert het doorzicht en bijgevolg de fotosynthese. Ook kunnen zwevende stoffen de ademhaling van vissen hinderen. De zwevende deeltjes kunnen bovendien grote hoeveelheden stoffen opstapelen die (zeer) giftig kunnen zijn voor waterorganismen, bijvoorbeeld metalen, pesticiden, minerale oliën en PAK's. Een verhoogd zwevende stofgehalte in traag stromende oppervlaktewateren, kan een verhoogde bezinking veroorzaken waardoor belasting naar de waterbodem kan optreden.

AFB 2.1 WATERSYSTEEMANALYSE

In een watersysteemanalyse wordt onderscheid gemaakt systeemkenmerken, processen, milieufactoren en soorten. De watersysteemanalyse integreert de analyse van de biologische toestand vanuit soorten (1: 'bottom-up') en van systeemkenmerken en processen (2: 'topdown')



Een te hoge organische belasting kan leiden tot zuurstofloosheid, doordat zuurstof nodig is voor de afbraak van organische stoffen. Dit kan resulteren het wegtrekken of sterven van organismen die afhankelijk zijn van zuurstof (bijv. vissen) en daarmee tot een lagere biodiversiteit. Te hoge nitriet- en ammoniumconcentraties hebben toxische effecten op de in het water levende organismen.

Bij wateren met een korte verblijftijd is het instromende water veelal bepalend voor de waterkwaliteit. Processen, zoals zuurstofverbruik vanuit de waterbodem als gevolg van afbraak, zijn dan ondergeschikt. Veel wateren uit de categorie 'stromende wateren' staan als gevolg van menselijk ingrijpen een deel van het jaar stil of stromen zeer langzaam, bijvoorbeeld door drainage of de aanleg van stuwen. Hierdoor neemt de verblijftijd toe en worden lokale processen bepalender voor de waterkwaliteit.

In het kader op de volgende bladzijden worden de effect van belasting besproken voor een aantal verschillende watertypen.

KADER RIVIEREN

Of er problemen met belasting ontstaan hangt in rivieren vooral af van de verblijftijd. Volgens het RIWA-jaarverslag uit 2010 treedt in een gestuwde rivier als de Maas bij een hoge nutriëntenbelasting regelmatig massale algenbloei op [lit. 6]. Het zuurstofgehalte kan, vooral bij lage afvoeren, dalen tot kritieke waarden van 2 tot 5 milligram per liter. In de laatste tien jaar is de jaargemiddelde watertemperatuur gestegen en zijn regelmatig extreem hoge watertemperaturen gemeten (tot 28°C). Hierdoor komen vaker te lage zuurstofconcentraties voor, omdat warmer water minder zuurstof kan bevatten en afbraakprocessen bij een hogere temperatuur sneller verlopen. Rivierwater wordt ook gebruikt voor peilbeheer en doorspoeling van regionale wateren in het westelijk deel van het land. Dit is een extra reden om te streven naar een lage belasting van rivieren.

Nutriënten in rivierwater zijn afkomstig uit rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), ongezuiverd afvalwater, industrieel proceswater en (middels uit- en afspoeling van percelen) uit landbouwgebieden. In de periode 1970-1975 was de zomergemiddelde stikstofconcentratie in de grote rivieren gemiddeld zo'n 6 mg N/l. De zomergemiddelde fosforconcentratie lag in die periode tussen de 0,5 en 1,25 mg P/l, met sterke verschillen tussen de rivieren. De doelstelling voor de waterkwaliteit in de grote rivieren is gebaseerd op de maximaal toegestane zomergemiddelde concentraties: 2,5 mg N/l en 0,14 mg P/l. De aanleg en verbetering van RWZI's, de aansluiting van huishoudens op het riool, de introductie van fosfaatvrije wasmiddelen en de vermindering van industriële lozingen hebben er mede toe geleid dat de nutriëntenconcentraties sinds 1975 aanzienlijk zijn gedaald. In België en Luxemburg kwam de aanleg van RWZI's later op gang dan in de andere landen van het Maas- en Rijnstroomgebied, waardoor de concentraties in de Maas pas recentelijk dalen. [lit. 7]

Naast stikstof en fosfor is ook het gehalte chlorofyl-a sterk gedaald, waardoor het doorzicht is toegenomen. Herstelprogramma's voor de rivierwaterkwaliteit richten zich doorgaans op de beperking van het fosfaatgehalte, omdat in zoetwater fosfor vaak het bepalende nutriënt is voor eutrofiëring.

Ontwikkelingen in de afvoer, zoals het vaker voorkomen van extreem hoge en lage afvoeren, zijn belangrijk met het oog op belasting. In droge jaren zoals 1976 en 2003 waren de concentraties ammonium, nitriet en orthofosfaat in de Maas bij Eijsden aanzienlijk verhoogd [lit. 8]. Als gevolg van de lage afvoer was er minder verdunning. Daarnaast wordt verondersteld dat een verhoogde ammonium- en fosfaatafgifte door de waterbodem onder de stagnante condities heeft bijgedragen aan de stijging van ammonium en fosfaat

in de Maas. Dit is ook in andere rivieren waargenomen. Voor nitraat werden juist lagere concentraties waargenomen tijdens de droge periodes in 1976 en 2003, waarschijnlijk als gevolg van een lagere uitspoeling van landbouwpercelen en een toegenomen denitrificatie (door de hogere watertemperatuur).

In tegenstelling tot de Maas zijn in de Rijn in de droge jaren 1976 en 2003 geen problemen geconstateerd met lagere zuurstofconcentraties en verhoogde concentraties nitraat, nitriet en fosfaat [lit. 9]. Wel zijn toen hogere concentraties chlorofyl-a en ammonium gemeten. De toename van ammonium gedurende de zomerdroogte is echter beperkt vergeleken met de seizoenscyclus van ammonium met hoge concentraties in de winter en lage in de zomer.

Naast opgeloste nutriënten in de waterkolom binden voedingstoffen zich ook aan zwevende deeltjes zoals slib en organische stof. Na bezinking raakt de waterbodem verrijkt met deze gebonden nutriënten. Tijdens hoogwater kunnen deze deeltjes weer mobiel worden en via inundaties terecht komen in de uiterwaarden. De verrijking van het substraat in de uiterwaarden kan problemen opleveren voor de natuurontwikkeling.

Regionale stromende wateren

In het algemeen leidt een verhoogde belasting tot een verhoogde primaire productie, de ophoping van organisch materiaal, een toename van algemene en snelgroeiende algen, en meer waterplanten. Vooral in langzaam stromende delen van beken zijn deze effecten te verwachten. Binnen schone, onverstoorde beken kunnen kleine veranderingen al leiden tot een andere soortensamenstelling van algen, waterplanten en macrofauna. Uiteindelijk leidt het eutrofiëringsproces veelal tot nivellering in levensgemeenschappen en dominante van enkele soorten. Door de invloed van veel verschillende factoren is het lastig de ecologische toestand van een beek te koppelen aan een bepaald nutriëntenniveau [lit. 10]. Afhankelijk van factoren zoals lichtklimaat en nutriëntenconcentraties kan een massale ontwikkeling van algen en waterplanten optreden.

Direct toxische effecten door een overmaat aan nitriet komen in beken normaliter niet of nauwelijks voor [lit. 11].

De ammoniaconcentratie is afhankelijk van de zuurgraad en de temperatuur. Bij een hogere pH en/of hogere temperatuur neemt het ammoniagehalte toe. Bij planten leidt een teveel aan ammonia in de cel tot ontkoppeling van de foto-fosforylering en remming van de ademhaling [lit. 12].

Heuvellandbeken

Door het RIVM zijn 79 bronnen en 12 bronbeken in Zuid-Limburg onderzocht op de aanwezigheid van nutriënten [lit. 13]. In meerderheid zijn de nitraatconcentraties in het grond- en bronwater hoger dan 50 mg/l en afhankelijk van de reistijden in de bodem. De waterkwaliteit van de kleinere bronbeken wordt vooral bepaald door diffuse belasting afkomstig van landbouwemissie en atmosferische depositie. Bij grotere waterlopen speelt vaak ook huishoudelijk en industrieel afvalwater een rol. Door de overmaat aan stikstof wordt de primaire productie in potentie beperkt door fosfaat. De concentraties ammonium en fosfaat zijn in het bronwater echter vaak relatief laag, omdat er vrijwel geen sprake is van mestuitspoeling.

In een ander onderzoek zijn 64 bronnen in Zuid-Limburg onderzocht [lit. 14]. De ecologische toestand bleek op basis van kiezelwieren en macrofauna te kunnen worden beoordeeld als goed tot zeer goed. De stroomsnelheid en de variatie daarin bleek voor diatomeeën de belangrijkste milieufactor te zijn. In kalkrijke bronnen kunnen lage concentraties van 1 - 2 mg N/l leiden tot een toename van eutrafente soorten. Nitraat is geen differentiërende factor meer, doordat de nitraatconcentraties in vrijwel alle Limburgse bronnen tegenwoordig hoog is.

Laaglandbeken

Vergeleken met heuvellandbeken worden laaglandbeken gekenmerkt door een lage stroomsnelheid (< 0,5 m/s). Dit komt enerzijds door een geringer verhang, maar ook doordat laaglandbeken vaak rijkelijk zijn voorzien van stuwen om het achterliggende water op peil te houden. Hierdoor nemen verblijftijden toe en daarmee ook het risico op problemen als gevolg van een hoge belasting. Vooral nutriëntenbelasting vanuit de landbouw is een probleem. In perioden met lage afvoer kan dit leiden tot eutrofiering. Als de stroomsnelheid afneemt of zelfs stagneert, kunnen voedselrijke zwevende deeltjes bezinken en ter plekke zorgen voor een voedselrijke bodem. Dit is vooral te verwachten in stagnant water vóór een stuw. De meeste laaglandbeken op de hogere zandgronden zijn niet verbonden met een grote rivier, waardoor er geen mogelijkheid is om watergangen door te spoelen of met inlaatwater op peil te houden.

Verder worden het waterpeil en de waterkwaliteit van laaglandbeken vaak beïnvloed door de winning van grondwater, dat voor beregening of drinkwaterproductie wordt gebruikt. Vooral in droge, warme perioden en in intensieve landbouwgebieden zijn problemen door belasting te verwachten. Niet alleen in gestuwde beken, maar ook in permanent stromende

systemen zijn negatieve effecten te verwachten, zoals woekerende waterplanten en veranderde flora- en faunagemeenschappen. Woekerende waterplanten zijn vaak het gevolg van de nutriëntrijke waterbodem [lit. 15].

Een verhoogde nutriëntenconcentratie in laaglandbeken vormt ook een probleem voor natuurherstelprojecten in (voormalige) overstromingsgebieden langs de beek. Op die locaties worden veelal de ontwikkeling van een natte, voedselarme tot matig voedselrijke vegetatie nagestreefd die mede afhankelijk is van overstroming met beekwater als buffering tegen verzuring. Doordat bij inundatie met nutriënten verrijkt slib en organisch materiaal in deze overstromingsgebieden wordt afgezet, treedt hier ongewenst eutrofiering op.

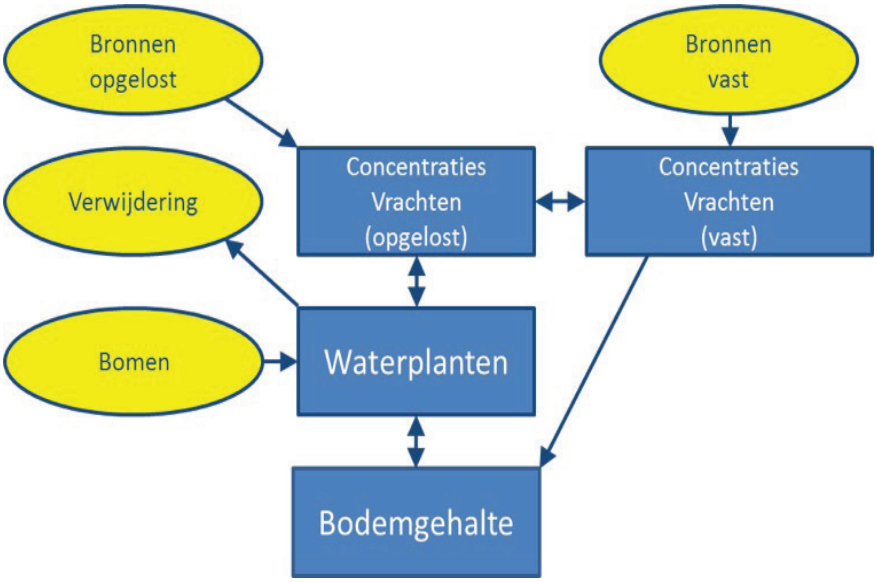
2.3 NUTRIËNTENBELASTING

De invloed van nutriëntenbelasting op de nutriëntenhuishouding in stromende wateren en de wijze waarop deze tot expressie komt (bijvoorbeeld in kroos-, algen- en/of waterplantengroei), hangt af van de bronnen, de systeemkenmerken en de processen in het watersysteem. Vooral de afvoer is van belang. Als er voldoende basisafvoer is zal er sprake zijn van continue verversing, waardoor algen en kroos niet tot ontwikkeling kunnen komen. Bij een verdere toename in de afvoer zullen waterplanten een steeds kleiner deel van de nutriënten kunnen vastleggen. Bij zeer lage afvoeren treedt slib- en nutriëntenophoping op wat vaak gepaard gaat met nalevering van nutriënten vanuit de waterbodem bij hogere watertemperaturen.

Afbeelding 2.2 toont de (globale) samenhang tussen bronnen van nutriënten, ecologische processen en de chemische en ecologische toestand. Bronnen zoals RWZI-effluent of bemesting zorgen voor beschikbaarheid van stikstof en fosfor in het water, zowel opgelost als particulair. De concentratie en omvang van elke transportroute bepaalt de flux van de bron naar het watersysteem (de vrachten N en P in gram per m2 water per dag). Een deel van de nutriënten wordt in de waterbodem gebonden en op een later tijdstip in de levende biomassa (waterplanten) opgenomen en/of chemisch nageleverd. De plantengroei wordt beïnvloed door het fosfaat- en stikstofgehalte van de waterbodem, de mate van verwijdering door bijvoorbeeld schoning van de watergang en de mate van beschaduwing door bijvoorbeeld bomen. De groei van waterplanten beïnvloedt de vastlegging van nutriënten wat weer invloed heeft op de concentraties.

AFB 2.2 RELATIE TUSSEN VOORWAARDEN

Schematisatie op hoofdlijnen van de relatie tussen voorwaarden (gele cirkels), zoals de nutriëntenbelasting (particulair en opgelost) vanuit verschillende bronnen, de mate van beschaduwing door bomen en de mate van verwijdering en processen in het water die leiden tot een (dynamische) toestand (blauwe vakjes) bestaande uit nutriëntenconcentraties (particulair en opgelost), de bedekking met waterplanten en het nutriëntengehalte in de waterbodem.



Typen nutriëntenbelasting

Van nature worden stromende wateren in Nederland niet sterk belast met voedingsstoffen. Nutriënten komen hier vooral traag en in kleine hoeveelheden vrij bij de afbraak van organische stof. Deze afbraak hangt af van de microbiële activiteit in de bodem. In zure systemen is de microbiële activiteit in de bodem gering. Onder gebufferde condities is de microbiële activiteit in de bodem hoger. Via uit- en afspoeling kunnen de gevormde voedingsstoffen in het oppervlaktewater terecht komen, hoewel de af te leggen weg lang is.

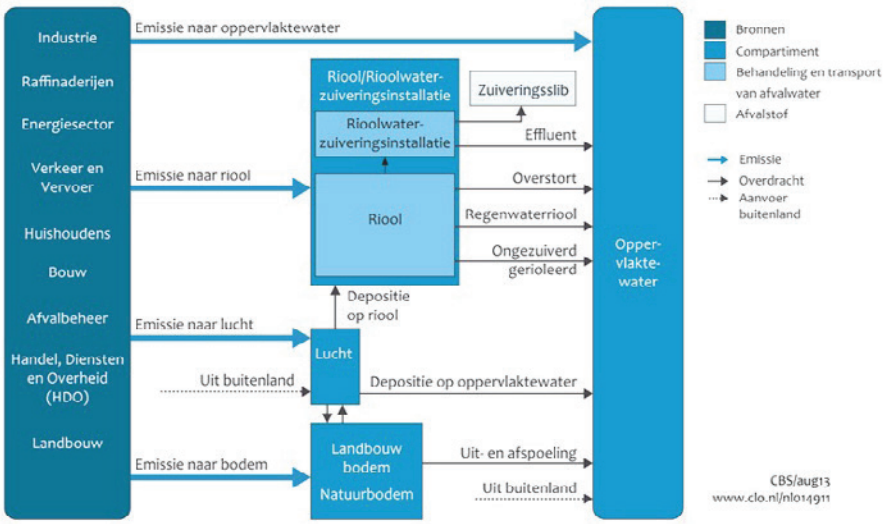
Veel nutriënten komen in het watersysteem terecht via niet-natuurlijke bronnen, zoals bemesting, riooloverstorten en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) en

op een niet-natuurlijke wijze, zoals door ontwatering en drainage (wat gepaard kan gaan met een versnelde afbraak van organische stof). Het gevolg is dat de omvang en de variatie in nutriëntenbelasting veel groter is dan in natuurlijke stromende wateren.

In afbeelding 2.3 zijn schematisch de verschillende bronnen van nutriënten weergegeven, samen met de transportroutes naar het oppervlaktewater.

AFB 2.3 RELEVANTE NUTRIËNTENBRONNEN EN -ROUTES

Schematisch overzicht van relevante nutriëntenbronnen en -routes naar het oppervlaktewater (bron: CBS & CLO)



Nutriënten en afvoerdynamiek

De ondergrond, de hydrologische inrichting van het watersysteem en de meteorologische omstandigheden bepalen hoeveel van de nutriënten uit de bronnen in het oppervlaktewater terechtkomen en de verdeling hiervan over de tijd. Afbeelding 2.4 geeft het verband weer tussen het cumulatieve neerslagoverschot, de grondwaterstanden en de grondwaterstromen. In de bovengrond zijn de nutriëntenconcentraties hoger dan in de diepere gelegen grondlagen. Veel van de

nutriënten bevinden zich in de bovenste 15 meter van de bodem en spoelen bij piekbuien uit.

Bij droge omstandigheden is de grondwaterstand laag en wordt de beek gevoed met relatief nutriëntenarm grondwater. Bij natte omstandigheden (en dientengevolge een hoge grondwaterstand) stroomt het ondiepe en relatief nutriëntrijke grondwater deels indirect (via greppels en slootjes) en deels direct naar de beek. Vooral bij een hoge neerslaghoeveelheid is sprake van een hoge vracht nutriënten. Dit geldt met name voor fosfaat dat relatief ondiep in de bodem zit, met name in de bovenste 50 cm van de bodem. Pas als de bovenste 50 cm verzadigd raakt spoelt fosfaat uit (grofweg HS-klassen 6 en 7, zie afbeelding 2.4). Nitraat zit dieper in de bodem en wordt daarom ook bij lagere grondwaterstanden en een lagere neerslagintensiteit afgevoerd. Doordat nitraat in staat is om in de ondergrond pyriet (FeS2) te oxideren, kan dieper in de bodem ook sulfaat (SO_4) vrij komen.

Indien aanwezig kunnen ook riooloverstorten bij piekbuien extra bijdragen aan de nutriëntenbelasting.

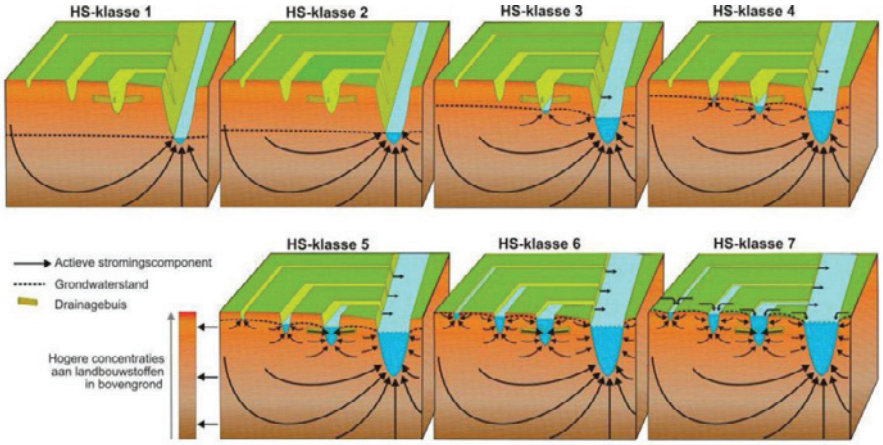
Het project 'Sturen op basisafvoer' laat zien dat de basisafvoer van beken kan worden gedomineerd door grondwater of door RWZI-effluent.[1] De verdeling tussen deze twee bronnen is afhankelijk van de aanwezigheid van RWZI's, grondwateronttrekkingen en de geohydrologische kenmerken van het beekdal. Ten slotte kan de basisafvoer ook gedomineerd worden door inlaatwater. Beken die volledig afhankelijk zijn van grondwater vallen bij aanhoudende droogte vaak voor langere tijd droog (weken tot maanden). Sprengen vormen hier een uitzondering op, omdat deze continue door grondwater gevoed worden.

Indien een beek voornamelijk gevoed wordt door (gebufferd) grondwater, dan komt dit vaak tot uitdrukking in een lage nutriëntenconcentratie en een hoog aandeel calcium (Ca^{2+}) en waterstofcarbonaat (HCO_3^-).

1 *Dit project is uitgevoerd in opdracht van de stichting SKB Duurzame ontwikkeling ondergrond. De voor dit rapport relevante resultaten zijn beschreven in [lit. 17].*

AFB 2.4 GRONDWATERSTROMINGSCOMPONENTEN

Illustratie van grondwaterstromingscomponenten die onder verschillende afvoeromstandigheden (HS-klassen) bijdragen aan het oppervlaktewater en bepalend zijn voor de waterkwaliteit (bron: lit. 16). HS staat voor 'hydrograph separation', waarbij HS-klasse 1 staat voor 100% basisafvoer en HS-klasse 7 voor 90 tot 100% snelle afvoer. Afhankelijk van de HS-klasse wordt de samenstelling van het grondwater bepaalt door diep grondwater (HS-klasse 1) tot oppervlakkig perceelswater (HS-klasse 7)

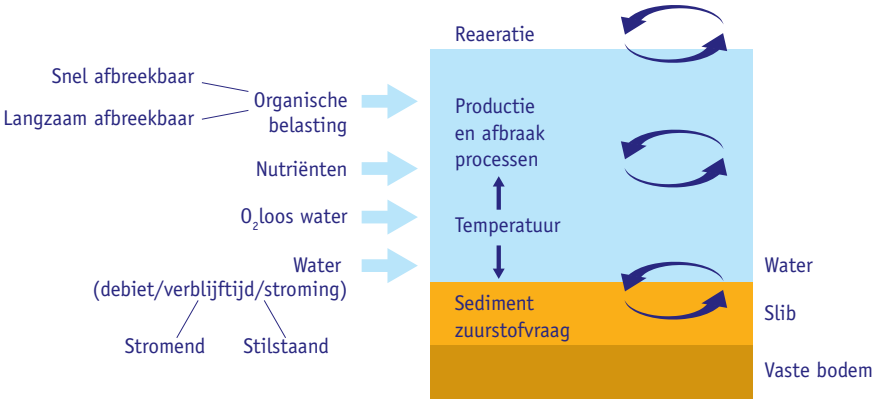


2.4 ORGANISCHE BELASTING

De invloed van organische belasting op de zuurstofhuishouding in stromende wateren hangt af van de bronnen, de systeemkenmerken en de processen in het watersysteem. Als er voldoende basisafvoer is zal door de stroming, continue verversing en verhoogde reaeratie minder snel sprake zijn van te lage zuurstofconcentraties. Naast organische belasting spelen ook de nutriëntenbelasting, de zuurstofconcentratie van het instromende water en de hydrologie van het watersysteem een rol (zie afbeelding 2.5).

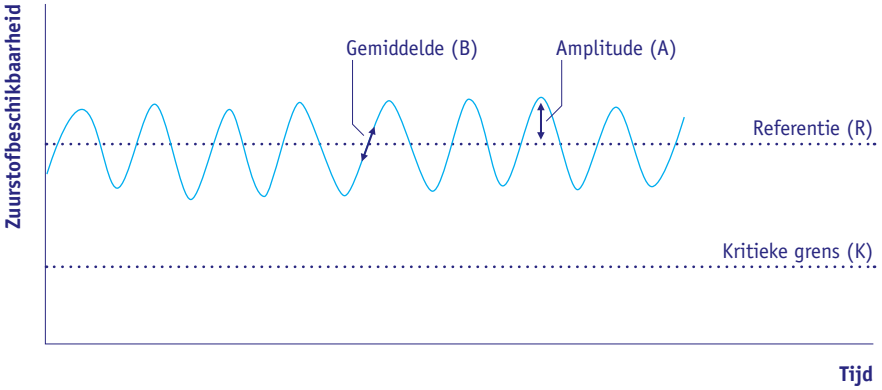
AFB 2.5 BRONNEN EN PROCESSEN DIE DE ZUURSTOFHUISHOUDING

Schematisch overzicht van bronnen en processen die de zuurstofhuishouding bepalen



AFB 2.6 ZUURSTOFBESCHIKBAARHEID

De zuurstofbeschikbaarheid in het systeem fluctueert in dag- en nachtritme met amplitude (A) rond een gemiddelde (B), ten opzichte van een kritieke grens (K). Het gemiddelde wordt in de volgende afbeeldingen steeds als referentie (R) gebruikt.



In een natuurlijke situatie verandert de zuurstofbeschikbaarheid continu, onder andere doordat primaire producenten (algen, waterplanten, etc.) overdag zuurstof

produceren en 's nachts verbruiken. Ook kan de zuurstofconcentratie van inkomende waterstromen variëren. Afbeelding 2.6 toont een schets van de zuurstofbeschikbaarheid die in een dag- en nachtritme fluctueert met amplitude A rond gemiddelde B. Dit gemiddelde is ook de referentielijn (R, weergegeven in grijs) die wordt gehanteerd in de voorbeelden in afbeelding 2.7. Ook is de kritieke grens (K) voor het systeem aangegeven. Deze is afhankelijk van welke functionele soort(en) worden beschouwd.

Typen organische belasting

Op hoofdlijnen onderscheiden we drie typen van organische belasting:

- een piekbelasting van snel afbrekend organisch materiaal, bijvoorbeeld afkomstig uit een riooloverstort. Dit zorgt voor een tijdelijke dip in de zuurstofconcentratie, die afhankelijk van de omvang en tijdsduur kan zorgen voor sterfte van organismen;
- een continue belasting van snel afbrekend organisch materiaal, bijvoorbeeld RWZI-effluent. De zuurstofconcentratie is hierdoor langdurig lager;
- een belasting met langzaam afbrekend materiaal. Vaak betreft dit een belasting die zich ophoopt in de waterbodem, bijvoorbeeld bladval. Deze belasting heeft ook een langdurig effect.

De invloed van organische belasting op de zuurstofhuishouding hangt naast het type organische belasting ook af van de omvang van de belasting, de watersysteemkenmerken en de processen in het watersysteem. De zuurstofconcentratie wordt niet alleen door organische belasting bepaald, maar ook door de nutriëntenbelasting, voedselwebprocessen, de zuurstofconcentratie van eventueel inlaatwater en de ligging en de hydrologische context van het watersysteem.

De effecten van verschillende typen organische belasting zijn weergegeven in de grafieken in afbeelding 2.7:

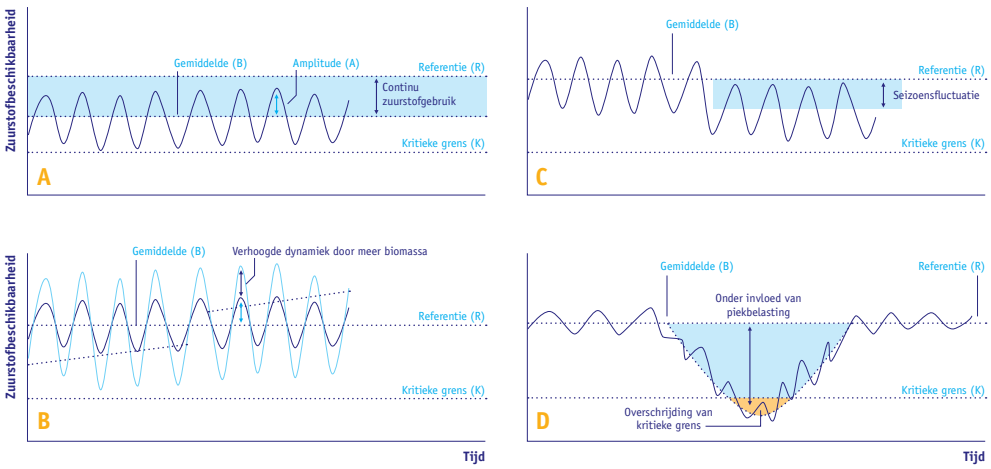
- A: een constante inlaat van organisch materiaal of een continue zuurstofvraag vanuit de waterbodem kan de gemiddelde zuurstofbeschikbaarheid verlagen;
- B: een verhoogde biomassa algen en waterplanten kan de amplitude van het dag- en nachtritme versterken;
- C+D: piekbelastingen en seizoenschommelingen kunnen tijdelijk de beschikbaarheid van zuurstof verlagen. De onderschrijdingsduur is hier belangrijk voor het effect op organismen.

Er is sprake van een kritische organische belasting wanneer de organische belasting ertoe leidt dat de zuurstofconcentratie onder een kritische grens komt. De kritieke grens voor organische belasting is afhankelijk van systeemkenmerken, zoals verblijftijd, waterdiepte en strijklengte.

NB! We hanteren dus twee kritische grenzen voor de analyse van organische belasting: een kritische grens voor zuurstofbeschikbaarheid, welke afhankelijk is van welke functionele soort(en) worden beschouwd en een kritische grens voor organische belasting, welke afhankelijk is van kenmerken van het watersysteem.

AFB 2.7 ZUURSTOFBESCHIKBAARHEID

Beïnvloeding van de zuurstofbeschikbaarheid door verschillende vormen van organische belasting: A) verlaging van het gemiddelde, B) vergroting van de amplitude, C) periodieke verandering van het gemiddelde en D) tijdelijke beïnvloeding



Grenswaarden en kritische belasting

Organische belasting is belemmerend voor het ecosysteem wanneer de zuurstofhuishouding als gevolg van deze belasting onvoldoende is voor de gewenste soorten. De eisen van de gewenste soorten bepalen wanneer een bepaalde zuurstofhuishouding problematisch is en daarmee ook de kritieke hoogte van de belasting.

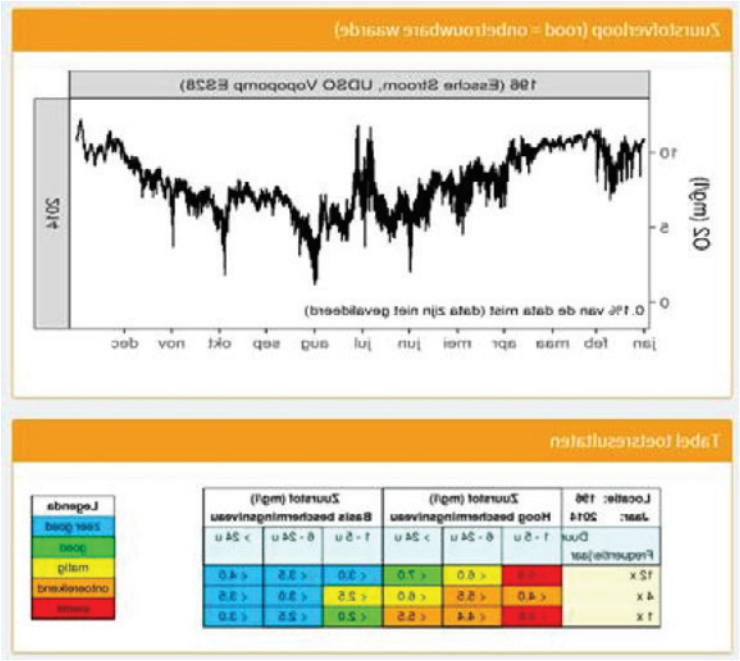
De kritische belasting is die belasting waarbij de zuurstofconcentratie onder deze grenswaarde daalt. De minimaal toelaatbare concentratie is afhankelijk van welke soorten in het specifieke water gewenst zijn, de ruimtelijke variatie in het zuurstofgehalte, de duur van de lage concentraties en de vluchtmogelijkheden voor organismen in het specifieke water.

Er zijn voor de ESF belasting géén grenswaarden afgeleid voor de minimale zuurstofconcentraties in het oppervlaktewater. Deze waarden zijn immers soortspecifiek en daarmee ook systeemspecifiek. Vanuit de Kaderrichtlijn Water is per KRW-watertype een range gegeven van de gewenste zuurstofverzadigingsgraad in de zomerperiode. Dit geeft, gebaseerd op de kennis van de doelsoorten en hun milieu, de boven- en ondergrens van de gewenste achtergrondconcentratie. Deze ranges kunnen worden gebruikt als indicatie voor de kritische grenswaarde, de minimaal toelaatbare zuurstofconcentratie. Voor wateren zonder KRW-typering kan het meest vergelijkbare KRW-watertype als vertrekpunt worden gebruikt. Deze KRW-waarden zeggen echter niet direct iets over de toegestane fluctuatie als gevolg van het dag- en nachtritme. In tabel 2.2 is per KRW-watertype de ondergrens bij klasse goed en zeer goed weergegeven.

Bij waterschap De Dommel is in het kader van het Kallisto-project een ecologisch toetsinstrument voor de zuurstofhuishouding ontwikkeld, waarbij de omvang van de toelaatbare dip in de zuurstofconcentratie afhankelijk is van de (onderschrijdings)duur en frequentie van deze dip [lit. 18]. De toetswaarden voor zuurstof zijn opgesteld op basis van responscurves van specifieke organismen. Deze methode is goed bruikbaar voor die situaties waarbij het ontvangend watersysteem bijvoorbeeld sterk door (piek)emissies vanuit de waterketen wordt beïnvloed en waarbij online zuurstofmetingen worden uitgevoerd. Enkele andere waterbeheerders passen deze methodiek inmiddels ook toe, zoals waterschap Rijn en IJssel. Afbeelding 2.8 geeft een impressie van de webapplicatie, waarin meetgegevens worden gevisualiseerd en getoetst.

AFB 2.8 **IMPRESSIE VAN EEN DEEL VAN DE WEBAPPLICATIE VAN "KALLISTO"**

Per locatie wordt een grafiek met meetgegevens (boven) en een tabel met toetsresultaten (onder) getoond, waarbij uit wordt gegaan van grenswaarden die afhankelijk zijn van de duur en de frequentie van de dips in de zuurstofconcentratie.



KADER **RELATIE KRITISCHE GRENS ZUURSTOFBESCHIKBAARHEID MET ONDERSCHRIJDINGSDUUR**

De gevoeligheid van organismen voor een laag zuurstofgehalte is niet alleen afhankelijk van de zuurstofconcentratie, maar ook van de tijdsduur van de lage concentratie en de frequentie (hoe vaak een zuurstofdip voorkomt). Mobiele soorten zoals vissen kunnen tijdelijk migreren naar zuurstofrijkere waterdelen. Voor soorten die meer plaatsgebonden zijn, kunnen bepaalde habitats (zoals oevers) tijdelijk als toevluchtsoord dienen. De verschillen in zuurstofbehoefte van soorten maakt ze geschikt als indicator voor de zuurstofhuishouding. Ook kunnen normen voor het zuurstofgehalte worden afgeleid van de eisen van bepaalde doelsoorten. De genoemde variaties in het zuurstofgehalte in tijd en ruimte maken het, samen met variaties in het habitatgebruik van soorten, lastig om een enkel-

voudige norm voor een watersysteem af te leiden. Ondanks deze complexiteit geven de soortspecifieke eisen en de kennis van het milieu waarin deze soorten worden aangetroffen wel richting aan het vaststellen van kritische grenswaarden.

KADER

ZUURSTOFBESCHIKBAARHEID IN NATUURLIJKE WATEREN

Er komen van nature watersystemen voor met langdurig lage zuurstofconcentraties. Deze wateren vormen daarmee habitats voor bepaalde soorten die zich aan lage of sterk fluctuerende zuurstofconcentraties hebben aangepast, bijvoorbeeld vissen zoals zeelt, kroeskarper en de grote modderkruiper, en bepaalde soorten muggen- en vliegenlarven (o.a. Chironomus sp. en Eristalis sp.). Andere soorten zijn juist afhankelijk van constante en hoge zuurstofgehalten, bijvoorbeeld snoekbaars, beekprik, barbeel, beekforel en zalm. Vaak gaat het om soorten die vooral in (snel)stromend water voorkomen.

TABEL 2.2

ONDERGRENS VOOR DE ZUURSTOFCONCENTRATIES

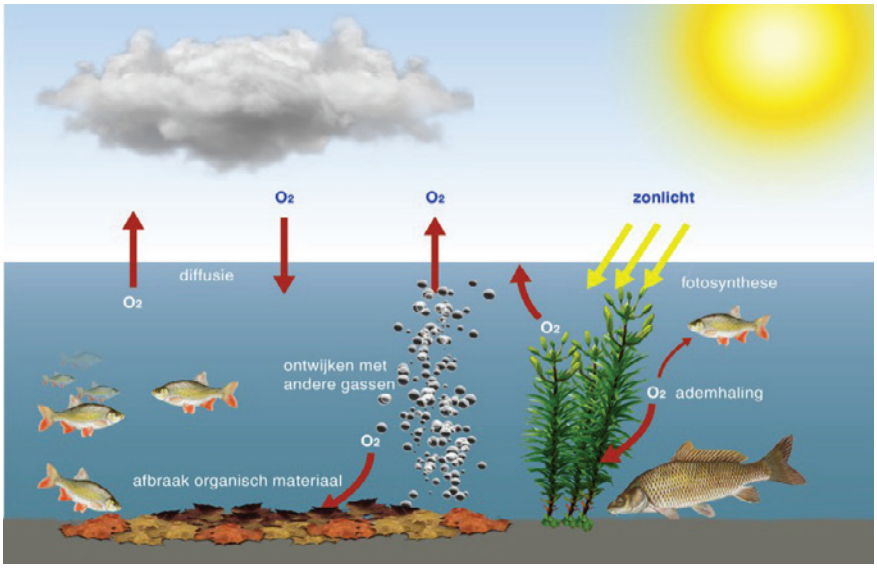
Bij klasse goed en zeer goed voor de KRW-maatlat per KRW-watertype. Het betreft beoordelingswaarden voor de zomerhalfjaargemiddelde concentratie op basis van de zuurstofverzadiging en de bovengrens voor de watertemperatuur (Bron: lit. 19).

WATERTYPE	WATERTYPE	ZEER GOED	GOED
R4	permanent langzaamstromende bovenloop op zand	5,1 mgO_2/l	4,7 mgO_2/l
R5-8, R12-13	meerdere watertypen	6,0 mgO_2/l	5,8 mgO_2/l
R14, 15, 18	meerdere watertypen	6,8 mgO_2/l	6,6 mgO_2/l
R16	snelstromende rivier/nevengeul op zandbodem of grind	7,0 mgO_2/l	6,6 mgO_2/l
R17	snelstromende bovenloop op kalkhoudende bodem	6,0 mgO_2/l	6,0 mgO_2/l

De kringlopen van koolstof en nutriënten in het oppervlaktewater

Organische belasting maakt onderdeel uit van de koolstofcyclus, die direct verband houdt met de zuurstofhuishouding én met de nutriëntencycli. Door fotosynthese wordt koolstof omgezet in organisch materiaal (nutriënten zijn vaak limiterend voor dit proces, en niet het koolstof). Bij dit proces komt zuurstof vrij (productie). De afbraak van afgestorven organisch materiaal verbruikt juist zuurstof, net als respiratie door organismen in het watersysteem. In een gezond ecosysteem zijn de productie en consumptie van zuurstof in evenwicht (zie ook afbeelding 2.9).

AFB 2.9 ZUURSTOFUITWISSELING IN WATER



Wordt er vanuit een externe bron organisch materiaal aangevoerd (langzaam of snel afbrekend, wel of niet opgelost) dan kan het systeem in onbalans raken: er wordt dan meer zuurstof verbruikt voor de afbraak van dit organische materiaal dan dat er door productie en reaeratie wordt aangevoerd. Ook door de aanvoer van (teveel) nutriënten kan een onbalans ontstaan in de zuurstofhuishouding. Er wordt dan onder invloed van fotosynthese overdag meer zuurstof geproduceerd dan het water kan bevatten (oververzadiging), waardoor een deel van het zuurstof het water weer verlaat. Vervolgens is er onvoldoende zuurstof beschikbaar voor enerzijds de respiratie en anderzijds de afbraak van de hoge biomassa. Ten slotte kan aanvoer van zuurstofarm water voor een onbalans zorgen.

Met het ecologische model PCDitch kunnen de verschillende kringlopen integraal worden beschouwd, waarbij de gevolgen voor nutriënten (algen- en kroosontwikkeling) en zuurstof tegelijkertijd in beeld kunnen worden gebracht. De resultaten zijn op dit moment echter nog onvoldoende betrouwbaar voor een brede toepassing door waterbeheerders.

2.5 BRONNEN VAN BELASTING

Veel bronnen dragen zowel bij aan de nutriëntenbelasting als aan de organische belasting. In onderstaande Tabel 2.3 wordt per bron aangegeven of een bron met name bijdraagt nutriëntenbelasting en/of aan organische belasting, wordt een korte toelichting gegeven en wordt aangegeven of het een bron is die met name in landelijk en/of stedelijk gebied voorkomt.

TABEL 2.3 VEEL VOORKOMENDE BRONNEN VAN BELASTING,

Toelichting op veel voorkomende bronnen van belasting, waarbij is aangegeven of het om een bron van organische belasting en/of nutriëntenbelasting gaat en of de bron van toepassing is op landelijk en/of stedelijk gebied

BRON	TOELICHTING	NUTRIËNTEN	ORGANISCH	LANDELIJK	STEDELIJK
Neerslag	Neerslag is met name een bron van stikstof, inclusief droge atmosferische depositie.	N		x	x
Kwel	Kwelwater is met name een bron van nutriënten.	N,P		x	x
Mestuitspoeling	Met name in kleine beken in het landelijk gebied kan uitspoeling van mest vanuit de percelen een grote bron van belasting zijn. Bemestingsstoffen uit het verleden (vooral fosfor) kunnen door ophoping in de percelen decennia later nog steeds uitspoelen.	N,P	x	x	
Hemelwater-afvoer/Afstroming verhard oppervlak	Mogelijke bronnen zijn: foutieve aansluitingen van huishoudelijk afvalwater op het hemelwaterstelsel en de indirecte afvoer van hondenpoep, bladval en ander straatvuil via straatputjes.	N,P	x		x

BRON	TOELICHTING	NUTRIËNTEN	LANDELIJK		
			ORGANISCH		STEDELIJK
Riooloverstorten	Overstorten worden geactiveerd om te voorkomen dat bij hevige neerslag het rioolwater op ongewenste plekken vrijkomt, zoals in woningen of op straat. De belasting vanuit deze bron is afhankelijk van het overstortingsvolume, de concentratie zuurstofverbruikende stoffen en de overstortingsfrequentie.	N,P	x		x
DWA-nooduitlaten	Bij gescheiden rioleringsstelsels wordt het hemelwater los van het afvalwater afgevoerd. Het afvalwater wordt ook wel aangeduid als de droog-weer-afvoer (DWA). Een DWA-nooduitlaat wordt geactiveerd wanneer het afvalwater onverhoopt niet kan worden afgevoerd of er teveel afvalwater is. Dat laatste gebeurt vooral wanneer foutief toch regenwater op het DWA-stelsel is aangesloten, dat niet is berekend op een afvoer met zo'n omvang.	N,P	x		x
RWZI-effluent	Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) lozen met een relatief constant debiet. Dit effluent is schoner dan rioolwater, maar bevat over het algemeen nog wel een vracht zuurstofverbruikende stoffen (met name CZV).	N,P	x	x	x
IBA's en septic tanks[1]	In buitengebieden waar de afstand tot een rioolstelsel groot is wordt voor huishoudelijk afvalwater soms gebruik gemaakt van IBA's. Op basis van bezinking en anaerobe afbraak wordt dit afvalwater enigszins gezuiverd voordat het naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd.	N,P	x	x	

BRON	TOELICHTING	NUTRIËNTEN	LANDELIJK		
			ORGANISCH		STEDELIJK
Bladval	Bladeren van vegetatie rond de watergang vormen op de waterbodem een laag van langzaam afbrekend organisch materiaal. Bij een dikke bladlaag kan vooral in het zomerhalfjaar sprake zijn van een grote, relatief constante zuurstofvraag vanuit de waterbodem.	N,P	x	x	x
Hondenpoep	Met name in stedelijk gebied vormt hondenpoep nog regelmatig een probleem voor de zuurstofhuishouding.	N,P	x		x
Watervogels	In stedelijk gebied kan door het voeren van eenden lokaal een grote hoeveelheid organisch materiaal in het water terechtkomen. Verder zijn watervogels alleen een potentiële bron van belasting wanneer ze door elders te foerageren voedingsstoffen het gebied inbrengen.	N,P	x	x	x
Lokvoer voor vissen	Sportvissers gebruiken soms lokvoer bij het vissen. Dit kan lokaal voor een hoge belasting zorgen.	N,P N,P	x x	x x	x x
Sliblaag	De waterbodem verbruikt zuurstof door afgestorven waterplanten en doordat materiaal vanuit de verschillende bronnen naar de waterbodem zinkt.				

1 *De term IBA (individuele behandeling afvalwater) wordt meestal gebruikt voor andere vormen van individuele afvalwaterbehandeling, waarbij hogere zuiveringsrendementen worden behaald dan met een septic tank.*

H3 EEN GEFASEERDE SYSTEEMANALYSE



De systeemanalyse heeft als doel om in te schatten wat de invloed van belasting op de ecologische processen in het oppervlaktewater is. In het kader van deze sleutelfactor is de vraag specifiek of belasting een belemmering vormt voor een (betere) ecologische toestand. Omdat waterkwaliteitsproblemen meerdere oorzaken kunnen hebben, is het uitvoeren van een systeemanalyse noodzakelijk. Zo'n analyse geeft ook systematisch inzicht in de vraag welke informatie nog ontbreekt om goed te begrijpen waarom de waterkwaliteit is zoals die is. De systeemanalyse vormt een onmisbare voorbereidende stap op het treffen van kosteneffectieve maatregelen.

Om een onnodig detailniveau en onnodige investeringen te voorkomen, bestaat de systeemanalyse uit drie achtereenvolgende stappen: quick scan, globale analyse en nadere analyse. De quick scan is een kwalitatieve analyse, bedoeld om in te schatten of belasting een probleem kan zijn in het betreffende stromende water. Blijkt uit de quick scan dat er geen negatieve invloed van belasting is, dan is het niet nodig om de twee verdere analysestappen voor deze sleutelfactor uit te voeren. Indien er wel negatieve invloed van belasting wordt verwacht, dan kan een globale kwantitatieve analyse worden uitgevoerd. Indien er nog meer duiding nodig is, kan een gedetailleerde analyse worden uitgevoerd, waarin bijvoorbeeld naar de ruimtelijke en temporele spreiding van de belasting wordt gekeken of betere metingen worden gedaan.

KADER

BEGRENZING VAN HET TE ONDERZOEKEN GEBIED

Voor verschillende stappen in de systeemanalyse, zoals het analyseren van systeemkenmerken, metingen en het inventariseren van bronnen van belasting is het belangrijk om eerst de relevante begrenzing van het watersysteem en stroomgebied te bepalen. Aanvankelijk is het hele bovenstrooms gelegen stroomgebied van het te onderzoeken water van belang. Uit praktische overwegingen wordt vaak een kleinere gebiedsgrens gekozen, bijvoorbeeld bij een inlaatpunt of een kwantiteitsmeetpunt. Inzicht in de begrenzing van het stroomgebied en het gehele watersysteem helpt om de kwantiteits- en kwaliteitsgegevens voor de specifieke meetpunten op een goede wijze te interpreteren. Een analyse van de begrenzing is ook nodig voor een goed beeld van de relatie tussen de ligging van verschillende waterlopen in een stroomgebied, dominante waterstromen en dominante belastingbronnen. Het is belangrijk om na te gaan of en op welke manier een watersysteem is verbonden met andere watersystemen (inclusief eventuele verbindingen ten behoeve van inlaat) en met het grondwater (hoe diep snijdt het watersysteem bijvoorbeeld in).

3.1 QUICK SCAN

In de quick scan wordt een eerste beoordeling van het watersysteem gemaakt aan de hand van vragen over de hydrologische en ecologische toestand, een grove schatting van de omvang van bronnen en waterstromen en andere kenmerken van het water. De uitkomst van deze eerste analysestap is een grove toestandsbeoordeling en een eerste duiding van de belasting en de mogelijke invloed daarvan op de waterkwaliteit. Deze analysestap vraagt een inschatting van de aanwezigheid en omvang van potentiële bronnen van belasting, en de gevoeligheid van het watersysteem hiervoor. Daartoe wordt een inventarisatie uitgevoerd op basis van direct beschikbare gegevens. Dit geeft tevens een inschatting hoeveel tijd er nodig zou zijn voor de eventueel later uit te voeren globale en nadere analyse.

Relevante vragen in de quick scan zijn:

1. zijn er van het te onderzoeken water kenmerken bekend die kunnen samenhangen met verhoogde belasting, zoals woekerende waterplanten, algen, kroos, zuurstofloosheid, stank, slibrijke bodem en flora en/of fauna die wijzen op een te hoge belasting (bijv. uit KRW-beoordeling)?
2. heeft het stromende water hydrologische kenmerken die problemen met belasting in de hand werken, bijvoorbeeld delen met lage afvoer, lage stroomsnelheid, lage peilen en/of stuwen?
3. welke bronnen van nutriëntenbelasting en/of organische belasting zijn aanwezig?

Met deze vragen in het achterhoofd wordt vervolgens in korte tijd enige informatie verzameld over het watersysteem.

Grove beoordeling ecologische toestand

Als eerste stap kan worden nagegaan of er recente studies of veldverslagen beschikbaar zijn die informatie verschaffen over de toestand van het stromende water. Bevraag veldmedewerkers naar de ecologische toestand van het te onderzoeken stromende water. Het meest optimale is om zelf via een gericht veldbezoek een indruk te krijgen van de ecologische toestand. Veldwaarnemingen dienen tijdens het groeiseizoen (april - september) te worden gedaan. Bij de interpretatie is het van belang te beseffen dat de kenmerken van een beek of rivier sterk kunnen varieren in ruimte en tijd. Het maakt bijvoorbeeld nogal verschil of het waterlichaam natuurlijk is of genormaliseerd, of er voor of achter een stuw is gemeten en of er

tijdens hoge of lage afvoersituatie is gemeten. Sommige aan belasting gerelateerde problemen worden pas zichtbaar tijdens langdurige warme perioden.

Indicatoren voor een te hoge belasting zijn: een uitbundige groei van oeverplanten die kenmerkend zijn voor zeer voedselrijke milieus (bijv. Liesgras), woekerende waterplanten (bijv. Smalle waterpest, Sterrekroos), overmatige groei van algen en kroos, zuurstofloosheid, stank en/of een slibrijke waterbodem. Er zijn ook kenmerken die niet direct op het oog zichtbaar zijn, maar wel relevant zijn bij het beoordelen van de ecologische toestand, bijvoorbeeld de samenstelling van levensgemeenschappen. Dergelijke informatie blijft in de quick scan vaak nog buiten beschouwing.

Traditioneel wordt macrofauna veel gebruikt bij het beoordelen van de saprobiegraad, waarmee de hoeveelheid (afbreekbaar) organische materiaal in oppervlaktewater wordt aangeduid (Grieks: sapros = verrot). De macrofauna-samenstelling is ook een indicator voor de zuurstofhuishouding. Het voordeel is dat macrofauna tot op zeker hoogte in het veld te determineren zijn. Het nadeel is echter dat niet duidelijk wordt waardoor de slechte zuurstofhuishouding veroorzaakt wordt.

Fysisch-chemische waterkwaliteit

Zijn er metingen gedaan aan de waterkwaliteit van de watergang? Hoge nutriëntenconcentraties, hoge BZV-gehalten[1] en lage zuurstofconcentraties zijn indicatief voor een te hoge belasting. Kanttekening is wel dat de concentratie iets anders is dan de belasting. Zo geeft de fosforconcentratie de hoeveelheid fosfor per volume op een bepaald moment weer, terwijl de fosforbelasting aangeeft hoeveel fosfor er per dag per m2 wateroppervlak het systeem binnenkomt. Om deze reden wordt aanvullend gekeken naar bronnen van belasting (zie “aanwezigheid van potentiële bronnen van belasting”).

Stroomsnelheid

De stroomsnelheid is voor belasting een relevante factor. Dit onderdeel zal in de meeste gevallen al worden beschouwd bij de analyse van de ESF hydromorfologie.

1 *BZV = biologisch zuurstofverbruik; de hoeveelheid zuurstof die nodig is om het organisch materiaal af te breken.*

Relevante vragen zijn:

- hoe hoog is de stroomsnelheid?
- zijn er delen van het gebied waar het water (periodiek) stil staat?
- zijn er plekken waar sprake is van ophoping van slib/sediment?

Lage stroming treedt op bij lage afvoer en/of bij situaties waarbij de watergang in verhouding tot het reguliere debiet te groot gedimensioneerd is. Bij stuwen kan stagnatie van water optreden wanneer het waterpeil beneden stuwpeil zakt. Ook kan door overmatige bezinking van sediment de watergang te ondiep worden, wat weer gevolgen heeft voor de watertemperatuur en de zuurstofconcentratie.

Aanwezigheid van potentiële bronnen van belasting

- Is er sprake van veel landbouw in het stroomgebied (met bijbehorende bemesting)? Ligt er veel akkerbouw nabij de beek (wat kan leiden tot versneld afspoelen van fosfor)? Wordt er veel mais verbouwd (wat vaak gepaard gaat met een hoge mestgift)? Is er meer bekend over de verspreiding van nutriënten in bodem en grondwater?
- Liggen er veel RWZI's en riooloverstorten in het stroomgebied (deze puntbronnen liggen meestal in of nabij bebouwd gebied)?
- Zijn er (andere) potentiele puntbronnen van organische belasting en/of nutrientenbelasting aanwezig (bijv. industriële lozingen)?
- Is de beek aangesloten op andere waterlopen? Zo ja, is de waterkwaliteit van die waterlopen bekend?
- Ligt er langs de beek veel bos (in verband met bladval)?

Nutriëntenbelasting

Om een indruk te krijgen van het belang van de verschillende bronnen dienen ook de transportroutes bekend te zijn van de bronnen naar het oppervlaktewater. Het doorgronden van de stofstromen begint met een goede analyse van de waterstromen. De stroming van het water bepaalt namelijk in belangrijke mate de omvang en de route van de stofstromen. Zo is een hoge concentratie van een puntbron weinig relevant indien dit gekoppeld is aan een klein volume vanuit de bron en/of als de waterstroom sporadisch optreedt. Andersom kunnen bronnen met een lage concentraties relevant zijn wanneer deze langdurig actief zijn en/of een groot volume betreffen. Een goede inschatting van de nutriëntenbelasting vergt kennis over de variatie van concentraties in ruimte en tijd en hoe deze zijn gekoppeld

aan waterstromen binnen het stroomgebied. In de quick scan kan echter worden volstaan met een eerste kwalitatieve inschatting.

Organische belasting

Metingen van lage zuurstofconcentraties zijn samen met veldobservaties, zoals stank, indicaties van een slechte zuurstofhuishouding. Een eerste inventarisatie van de potentiële bronnen van organische belasting helpt bij dergelijke indicaties om in te schatten of organische belasting de achterliggende oorzaak is. In het veld is namelijk niet te zien of een zuurstoftekort wordt veroorzaakt door te hoge organische belasting en/of een te hoge productiviteit van water of bodem.

Voor de quick scan kunnen de in de volgende paragraaf gepresenteerde Exceltools ('Water- en stoffenbalans' voor nutriënten en 'Oxy-val' voor organische belasting) grof en vanuit conservatieve aannames worden ingevuld voor een eerste analyse van de belasting. Met conservatief bedoelen we een hoge inschatting van de omvang van de bronnen. Voor 'Oxy-val' geldt dat als de tool zelfs bij een conservatieve inschatting van de organische belasting aangeeft dat de zuurstofconcentratie hoger is dan het minimaal toelaatbare gehalte, er vanuit kan worden gegaan dat organische belasting niet bepalend is voor de waterkwaliteit.

3.2 GLOBALE ANALYSE

Indien uit de quick scan blijkt dat belasting mogelijk een probleem vormt, dan kan dit verder worden onderzocht met een globale analyse. Bij een globale analyse wordt onderscheid gemaakt tussen de voorwaarden en de toestand van het watersysteem:

- de fysisch-chemische en biologische toestand van het water wordt zo goed mogelijk bepaald op basis van beschikbare meetgegevens. Een goede interpretatie van de meetgegevens is nodig voor een goed begrip van het functioneren van het systeem. Om een gemeten zuurstofconcentratie te kunnen beoordelen is het belangrijk om de afvoer van het betreffende moment te weten;
- de voorwaarden betreffen de kenmerken van het watersysteem, zoals de waterdiepte, en de eigenschappen en omvang van potentiële belastingsbronnen. De bronnen, de transportroutes (via grond- en oppervlaktewater) en de processen die optreden tijdens transport bepalen uiteindelijk de belasting op een watersysteem. Het effect van die belasting is afhankelijk van de kenmerken van het ontvangende watersysteem.

Voor het kwantificeren van de belasting zijn twee tools ontwikkeld, te weten de 'Water- en stoffenbalans' voor nutriënten en 'Oxy-val' voor organische belasting. Beide tools zijn ontwikkeld en toepasbaar in Excel. De tools berekenen de omvang van respectievelijk de nutriëntenbelasting en de organische belasting op basis van systeemkenmerken, beschikbare metingen, default kentallen (die door de gebruiker specifiek kunnen worden gemaakt voor een watersysteem) en kenmerken van de bronnen.

Water- en stoffenbalans (§3.2.2)

De omvang van de waterstromen bepaalt samen met de concentraties van stoffen in deze waterstromen (N, P) de nutriëntenbelasting. Er is gekozen voor een eenvoudige methode om tot een waterbalans te komen zonder dat daar metingen voor nodig zijn, omdat deze methode daarmee in alle watersystemen toepasbaar is. De waterbalans helpt om tot inzicht te krijgen in de orde van grootte van waterstromen en de belasting op een watersysteem. Op basis van vrij beschikbare meteorologische gegevens, gebiedskenmerken en een vereenvoudigd waterbalansmodel[1] kan al veel worden gezegd over de werking van het watersysteem. De waterbalans is gebaseerd op eenvoudige relaties tussen het neerslagoverschot, grondwaterstanden in het stroomgebied en uit- en afspoeling van water.

De ruimtelijke heterogeniteit en de verbinding met omliggende watersystemen wordt genegeerd. Het is daarom belangrijk om vooraf een analyse van de belangrijkste waterstromen te maken, inclusief een analyse van de begrenzing van het watersysteem (zie ook het eerdere kader "Begrenzing van het te onderzoeken gebied"). De variatie in tijd wordt juist gedetailleerd in beeld gebracht met een berekening van waterstromen op dagbasis en reeksen van circa 20 jaar. Dit helpt om het voor de systeemanalyse vereiste begrip in de temporele dynamiek met lage en hoge afvoeren te komen.

Met metingen wordt de waterbalans vanzelfsprekend beter. Het idee is dat de hydrologische metingen niet gebruikt worden als invoer, maar ter vergelijking met berekeningen. Een groot voordeel is dat de berekende afvoer kan worden vergele-

1 *Het betreft een zogenaamd 'lumped hydrological model' dat vrij te downloaden is via http://www.stowa.nl/projecten/E-learning_module___rekentool_voor_opstellen_waterbalans_. Voor meer informatie zie [lit. 20].*

ken met de gemeten afvoer, ook wanneer de meetgegevens maar voor een beperkte periode beschikbaar zijn. Naast een vergelijking op basis van de afvoer is ook een vergelijking op basis van waterstanden en chloridegegevens mogelijk. Met de rekentool is het verder mogelijk om berekeningen uit te voeren op basis van een massabalans voor conservatieve stoffen, zoals voor chloride[1]. Op basis van berekende chlorideconcentraties kan een vergelijking worden gemaakt met gemeten chlorideconcentraties. Hiermee kan een beter beeld worden verkregen van de bijdrage van verschillende bronnen in droge en natte perioden. Zo worden inlaatwater, overstorten en effluent uit de RWZI bijvoorbeeld gekenmerkt door hogere chlorideconcentraties dan grondwater. Verhoogde chlorideconcentraties in een watersysteem wijzen dan ook op een hoger aandeel van dergelijke bronnen.

Nutriënten gedragen zich in tegenstelling tot chloride niet conservatief als gevolg van verschillende processen. Hierbij worden nutriënten bijvoorbeeld in een andere vorm omgezet, zoals in gasvorm, en worden nutriënten in de waterbodem vastgelegd. Om deze reden kan geen nutriëntenbalans worden gemaakt. Wel kan de omvang en samenstelling van de nutriëntenbelasting worden bepaald. In de meeste gevallen zullen voor de diverse bronnen van nutriënten meetgegevens ontbreken, waardoor de nutriëntenemissies uit deze bronnen moet worden ingeschat. Ook zijn aannamen nodig ten aanzien van chemische omzettingen tijdens transport door het bodem- en het grondwatersysteem en vanwege de retentie in de waterloop als gevolg van binding aan de waterbodem of vastlegging in waterplanten.

Deze aanpak is succesvol toegepast in de delen van Nederland met peilbeheersing en er wordt aangenomen dat eenzelfde aanpak in veel gevallen ook werkbaar is in vrij-afwaterend Nederland [lit. 21]. Er zijn uitzonderingen, zoals sommige beken op de Veluwe. Hier is in grote delen van het stroomgebied de deklaag afwezig en is er sprake van een dik watervoerend pakket. Het gevolg is dat het neerslagoverschot een lange weg in het grondwater aflegt voordat het tot afvoer komt. In deze gevallen is er geen sprake van een directe relatie tussen het neerslagoverschot en grondwaterstanden in het stroomgebied (zie afbeelding 3.1).

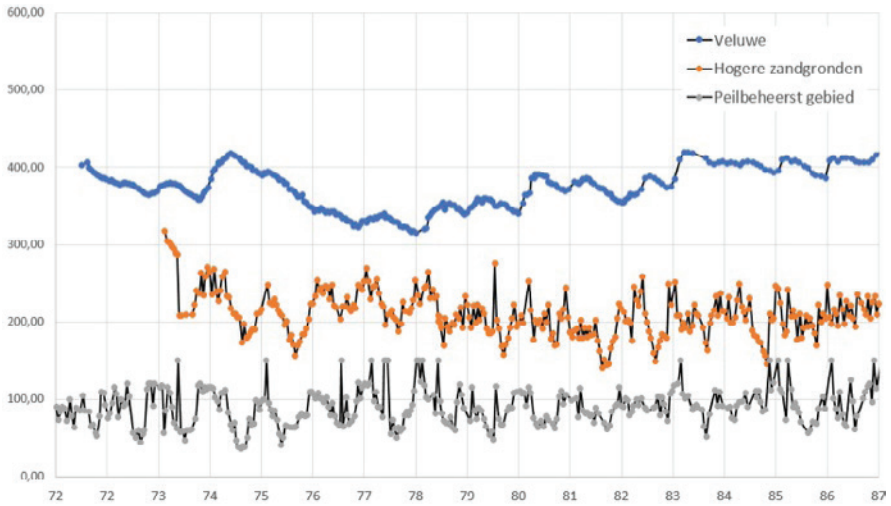
1 *Conservatief betekent in deze context dat er geen fysische, chemische of biologische omzettingen van stoffen plaatsvinden. In tegenstelling tot nutriënten is chloride in de praktijk een conservatieve stof en daarom geschikt om de waterbalans te controleren door de gemeten en berekende chlorideconcentraties te vergelijken.*

Oxy-val (§3.2.3)

De Oxy-val tool werkt qua principe vergelijkbaar als de water- en stoffenbalans. In de tool Oxy-val kunnen kenmerken van het watersysteem en informatie over aanwezige bronnen van organische belasting worden ingevuld, waarna automatisch een inschatting wordt gemaakt van de te verwachten zuurstofconcentratie als gevolg van de organische belasting. Deze zuurstofconcentratie kan worden vergeleken met meetgegevens. Hoe meer gebruik wordt gemaakt van metingen hoe beter de inschatting van de zuurstofconcentratie wordt. Naast de zuurstofconcentratie worden ook de NH4-concentratie en het biologisch zuurstofverbruik (BZV) berekend.

AFB 3.1 VERLOOP VAN DE GRONDWATERSTAND OP DE VELUWE

Verloop van de grondwaterstand in m+NAP op de Veluwe, in een vrij-afwaterende hogere zandgrond en in een peilbeheerst gebied. Op de Veluwe is het verloop van de grondwaterstand gedempt en wordt het langjarig verloop van het neerslagoverschot gevolgd. In het vrij-afwaterende en het peilbeheerst gebied is een nauwere relatie aanwezig tussen grondwaterstand en het neerslagoverschot (bron: Dinoloket)



Er zijn ook grote verschillen met de water- en stoffenbalans. De Oxy-val tool is bijvoorbeeld stationair van opzet en de hydrologie is sterk vereenvoudigd (de gebruiker geeft de afvoer handmatig op). De Oxy-val tool houdt in tegenstelling tot de water- en stoffenbalans wel rekening met belangrijke processen, waardoor de relatie tussen organische belasting en zuurstof in beeld kan worden gebracht.

Voor beide tools geldt dat gegevens dienen te worden verzameld over de kenmerken van het watersysteem en de aanwezigheid en omvang van potentiële bronnen. Dit zijn bronnen die vaak zowel aan de nutriëntenbelasting als aan de organische belasting bijdragen (zie Tabel 2.3).

3.2.1 Gegevens verzamelen

In deze paragraaf worden de te verzamelen gegevens opgesomd. Tabel 3.1 (algemene informatiebronnen) en Tabel 3.2 (digitale leggers met informatie over de ligging van waterlopen en kunstwerken voor waterbeheerders met een groot aandeel stromende wateren in het beheergebied) bevatten een overzicht van informatiebronnen die gebruikt kunnen worden. Voor geografische gegevens geldt dat er vaak de mogelijkheid is om de informatie als GIS-bestand te downloaden

Herkomst en omvang van waterstromen

Een deel van de vrij-afwaterende gebieden wordt alleen gevoed door neerslagwater. Een ander deel heeft ook te maken met wateraanvoer van elders: RWZI-effluent of inlaatwater uit andere watersystemen. Om de waterstromen goed in beeld te krijgen, dienen onderstaande gegevens bekend te zijn of geschat te worden:

- begrenzing van het stroomgebied;
- ligging en dimensies van de watergangen;
- locatie van stuwen met de aldaar gemeten debieten voor zover beschikbaar;
- debiet van inkomende waterstromen, zoals actieve inlaten zover dit speelt;
- debiet van RWZI's of andere lozingspunten;
- kwel- en wegzijging door het jaar heen;
- neerslag en verdamping.

TABEL 3.1 **INFORMATIEBRONNEN VOOR EEN GLOBALE ANALYSE VAN BELASTING**

ONDERWERP	GEGEVENSBRON
Begrenzing stroomgebied	Kaart met WIS-eenheden (Waterstaatskundig Informatie Systeem): http://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/wis MOZART-afwateringseenheden: http://al-ng023.xtr.deltares.nl/geoserver/web/ Kies bij Configuratie voor voorvertoning. In zoekveld 'lsw' invullen. Rechts is een selectiemenu zichtbaar (onder all formats). Onderaan in het kopje 'WFS' staat 'shapefile'. Kies deze voor het downloaden van een shapefile. Zie verder: http://nhi.nu/documenten/DR4/NHI2008DR4_v1.2_ROW.pdf
Watergangen	Topografische kaart (TOP10), te benaderen via het platform 'publieke dienstverlening op de kaart' (PDOK): https://www.pdok.nl/nl/producten/pdok-downloads/basisregistratie-topografie/topnl/topnl-actueel/top10nl
Kunstwerken (stuwen, etc.)	Zie tabel 3.2 in dit rapport voor de URL's van de online legger.
Neerslag en verdamping	Gegevens op dagbasis voor 50 KNMI-meteostations: http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi
Kwel- en wegzijging	Kwelkaarten van het Nederlands Hydrologische Instrumentarium (NHI): http://www.nhi.nu/nl/index.php/data/nhi-lhm/uitvoer/kwel/ Deze kaarten hebben een grid van 250 x 250 m. Voor veel gebieden zijn ook kwelkaarten berekend op basis van regionale grondwatermodellen, met een grid van 25 x 25 m (niet online beschikbaar).
Debieten	Meetreeksen zijn vaak beschikbaar via het waterschap, maar niet publiekelijk ontsloten.
Ligging RWZI's en overstorten	Zie tabel 3.2 in dit rapport voor verwijzingen naar de leggers. Een landelijke kaart van RWZI's is nog niet publiekelijk ontsloten.
Landgebruik	Het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN) geeft landsdekkend het landgebruik in 39 klassen weer. Onderscheid is mogelijk in verschillende vormen van landbouw, natuur en bebouwd gebied. https://www.wur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-Producten/Kaarten-en-GIS-bestanden/Landelijk-Grondgebruik-Nederland.htm
Natuurareaal	De ligging van natuurgebieden is te downloaden via het nationaal georegister (www.nationaalgeoregister.nl) door te zoeken op 'Natura2000' en 'NNN'. Voor het Natuurnetwerk Nederland (NNN) zijn kaarten per provincie beschikbaar.
Atmosferische depositie	Beschikbaar via het RIVM: http://geodata.rivm.nl/gcn/

TABEL 3.2 **DIGITALE LEGGERS**

Verwijzingen naar digitale leggers met informatie over de ligging van waterlopen en kunstwerken

WATERBEHEERDER	URL NAAR LEGGER
Rijkswaterstaat	https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/apps/geonetwork/
Waterschap Aa en Maas	https://www.aaenmaas.nl/pagina/vergunningen-en-regels/legger.html
Waterschap Brabantse Delta	https://www.brabantsedelta.nl/producten/legger.html
Waterschap De Dommel	https://www.dommel.nl/producten/legger.html
Waterschap Drents Overijsselse Delta	https://www.wdodelta.nl/wdodelta-kaart/
Waterschap Hunze en Aa's	https://opendata.hunzeenaas.nl/opendataportaal/srv/dut/catalog.search#/home
Waterschap Limburg	https://www.waterschaplimburg.nl/overons/regels-wetgeving-0/wetten-regels/legger/
Waterschap Noorderzijlvest	https://www.noorderzijlvest.nl/regel-infobalie/meer-info-pagina/legger/
Waterschap Rijn en IJssel	https://www.wrij.nl/thema/kennis-informatie/legger/
Waterschap Rivierenland	https://www.waterschaprivierenland.nl/common/beleid/keur-en-legger/legger-wateren.html
Waterschap Vallei en Veluwe	https://www.vallei-veluwe.nl/water/keur-legger/
Waterschap Vechtstromen	https://kaarten.vechtstromen.nl/openbaar/
Wetterskip Fryslân	https://www.wetterskipfryslan.nl/kaarten/leggerkaart

Aard en omvang van bronnen

Organische belasting en nutriëntenbelasting kunnen afkomstig zijn uit puntbronnen (bijvoorbeeld RWZI's) en uit diffuse bronnen (bijvoorbeeld landbouwuitspoeling). De aanwezigheid en omvang van de volgende bronnen dient ten minste in kaart te worden gebracht:

- landbouwareaal;
- natuurareaal;

- RWZI's;
- ongerioleerde lozingen;
- hemelwaterafvoer;
- industriële lozingen;
- atmosferische depositie;
- bladval;
- overig:
- lokvoer voor vissen;
- eendenvoer;
- hondenpoep.

Zowel de huidige als de historische belasting is van groot belang. Het bodemtype is hierbij medebepalend. Veel bodems zijn opgeladen met fosfaat, dat bijvoorbeeld via uit- en afspoeling in het stromende water terecht gekomen is. Ook kan er sprake zijn van oplading met organische stof als gevolg van bijvoorbeeld bladval.

Waterbodem

Voor zowel organische belasting als nutriëntenbelasting kan er sprake zijn van nalevering uit de waterbodem. Om de omvang van deze nalevering te schatten, kunnen (indien aanwezig) meetgegevens over de kwaliteit van de waterbodem worden gebruikt, zoals het totaal P gehalte en/of het organisch stof gehalte. Ook is het nuttig om te weten wanneer de watergangen voor het laatst zijn gebaggerd.

Transportroutes

Een bovenstrooms gelegen bron kan de waterkwaliteit in een waterloop beïnvloeden. De concentratie kan benedenstrooms afnemen door chemische omzettingsprocessen en/of verdunning. Een lagere concentratie betekent dus niet automatisch een 'natuurlijke zuivering'. Het is belangrijk om concentraties aan bronnen om te rekenen naar belastingen en vervolgens weer naar concentraties benedenstrooms. Een deel van de nutriënten en organische stoffen is niet opgelost, maar bestaat uit vaste stof (als onderdeel van of gebonden aan kleine zwevende deeltjes). De transportroute van vaste stof (waarbij afstroming belangrijk is) is vaak anders dan van opgeloste stoffen (waarbij uitspoeling via het grondwater domineert).

Naast puntbronnen is bij nutriënten vaak sprake van diffuse bronnen, zoals uit- en afspoeling vanuit percelen. Kennis van de verdeling van nutriënten in de bodem-

lagen en het grondwater is van belang om de omvang van de belasting te kunnen inschatten. De belasting vanuit de bodem en het grondwater is afhankelijk van het neerslagpatroon en de mate waarin verschillende delen van het bodem- en grondwatersysteem tot afvoer kunnen komen.

Chemische omzettingsprocessen

Nutriënten en organische stof gedragen zich niet als een conservatieve stof, maar worden in bijvoorbeeld oxidatie- en reductieprocessen omgezet. Zo kan stikstof worden opgenomen door aanwezige waterplanten of door denitrificatie als N2O (lachgas) verdwijnen naar de atmosfeer. Chemische omzettingsprocessen beïnvloeden ook de mobiliteit van stoffen. De omzettingsprocessen zijn onder andere afhankelijk van de stroomsnelheid, verblijftijd, temperatuur, redoxpotentiaal en zuurgraad.

KADER **VELDBEZOEK VOOR DE GLOBALE ANALYSE**

Het is aan te raden om tijdens de globale analyse een veldbezoek uit te voeren. Dit geeft niet alleen een beeld van de ecologische toestand van het water, maar ook informatie over de karakteristieken van het afvoergebied. Het is sterk aan te raden om eerst te inventariseren welke informatie beschikbaar is en deze te analyseren op bruikbaarheid, zodat tijdens het veldbezoek de nog ontbrekende informatie kan worden verzameld en de reeds beschikbare informatie kan worden gecontroleerd. Over een veldbezoek zijn in het 'Handboek ecohydrologische systeemanalyse beekdallandschappen' richtlijnen en tips opgenomen [lit. 22].

3.2.2 Water- en stoffenbalans: een tool voor nutriëntenbelasting

Om inzicht te krijgen in de omvang van de nutriëntenbelasting wordt in de globale analyse gebruik gemaakt van een water- en stoffenbalans. De water- en stoffenbalans is vrij beschikbaar; een downloadlink en snelstartgids zijn te vinden in bijlage I. De tool is tot nu toe met name toegepast voor stilstaande wateren. Met kleine aanpassingen van de parameters is de water- en stoffenbalans ook toepasbaar voor veel vrij-afwaterende systemen.

De onderdelen van het model

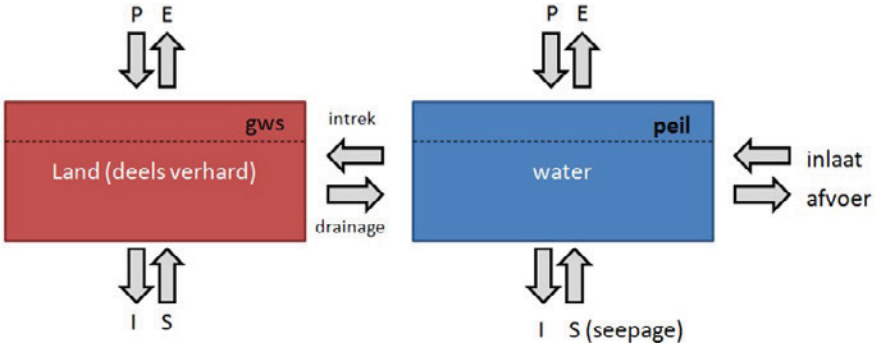
In de water- en stoffenbalans wordt het oppervlaktewatersysteem geschematiseerd

in één 'bakje', waar tot maximaal vier stroomgebieden aan gekoppeld kunnen worden. In elk stroomgebied wordt onderscheid gemaakt in: het oppervlaktewater, het onverhard oppervlak, het verhard oppervlak en gedraineerd oppervlak (zie afbeelding 3.2).

De volgende in- en uitgaande stromen worden in het model meegenomen: neerslag, verdamping, infiltratie/wegzijging en kwel. Deze 'verticale stromen' worden in mm/d opgegeven in het model. Het model berekent in- en uitgaande waterstromen (inlaat en afvoer) alsmede de uitwisseling tussen de verschillende 'bakjes' (intrek en drainage/uitspoeling). De uitwisseling tussen land en water is gebaseerd op de grondwaterstand (er wordt vanuit gegaan dat het oppervlaktewaterpeil gelijk blijft). Indien relevant kunnen extra waterstromen worden meegenomen, zoals grondwateronttrekking (verliesterm uit het landbakje, dit vraagt gedetailleerde kennis van de formules) of effluentlozingen (ingaande term in het waterbakje).

AFB 3.2 SCHEMATISERING VAN DE WATER- EN STOFFENBALANS

P: precipitatie (neerslag), E: evaporatie (verdamping), I: infiltratie/wegzijging, S: seepage (kwel), gws: grondwaterstand, peil: oppervlaktewaterpeil



De werking van het model

Neerslag en verdamping vormen belangrijke invoertermen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van reeksen van een representatief KNMI-station. Kwel en infiltratie kunnen worden ingeschat of afgeleid met behulp van kwelkaarten of grondwatermodellen. Voor ieder 'bakje' kunnen andere kwel- en infiltratiewaarden worden

ingevoerd. Het model berekent een (ruimtelijk gemiddelde) grondwaterstand voor het landbakje op basis van neerslag, verdamping, kwel en infiltratie. Als de grondwaterstand boven het maaiveld komt dan wordt aangenomen dat dit direct wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. Het oppervlaktewaterpeil wordt berekend op basis van neerslag, verdamping, kwel, infiltratie, uitwisseling met land (intrek en drainage/uitspoeling), inlaat en afvoer.

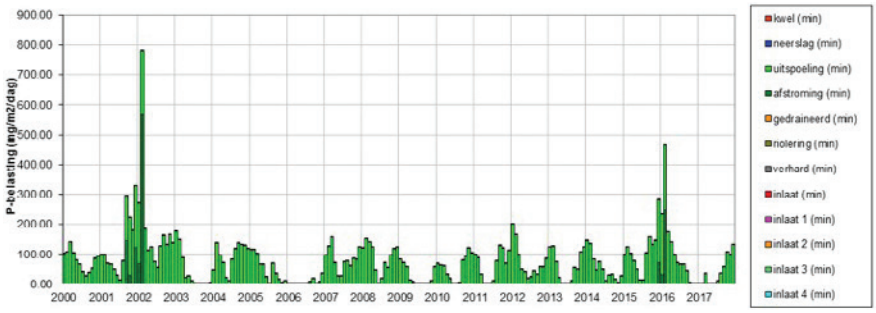
De waterbalans kan worden gecontroleerd aan de hand van beschikbare meetwaarden, zoals peilen, inlaat- en afvoerdebieten en chlorideconcentraties. Er kan ook een vergelijking worden gemaakt met gemeten grondwaterstanden, maar dit is nu beperkt gefaciliteerd. Het inzicht in waterstromen kan worden aangescherpt door in te zoomen op extremere perioden, bijvoorbeeld een langdurig droge periode.

De berekende fosforbelasting

De water- en stoffenbalans levert inzicht op in de omvang van de waterstromen en de bijbehorende nutriëntenbelasting. Eén van de relevante uitkomsten is de berekende fosforbelasting, die per dag of als maand- of jaargemiddelde kan worden weergegeven (zie afbeelding 3.3 ter illustratie).

AFB 3.3 FOSFORBELASTING

Berekende externe fosforbelasting (mg P/m2/d) voor het bovenstroomse deel van het Andersche Diep (onderdeel Drentsche Aa) [lit. 5]



De fosforbelasting kan worden vergeleken met de kritische belasting, die kan worden berekend met de modellen PCDitch (voor lijnvormige wateren en daarmee het

meest relevant) en PCLake (voor meren en plassen en zeer ruim gedimensioneerde watergangen). Van deze modellen zijn eenvoudige metamodellen beschikbaar. De metamodellen zijn binnen bepaalde randvoorwaarden toepasbaar, zoals een zeer lage afvoer, en gaan uit van een steady-state-situatie. De modellen zelf houden rekening met variaties in tijd, bijvoorbeeld een variërende afvoer. Ten slotte zijn de modellen te koppelen aan hydrodynamische modellen als SOBEK waarmee rekening wordt gehouden met variaties in zowel in tijd als ruimte. Zie verder hieronder.

KADER

HET BEREKENEN VAN DE KRITISCHE P-BELASTING

Voor meer uitleg over wat de kritische P-belasting is, verwijzen we naar de uitgave 'Van helder naar troebel en weer terug' [lit. 23] of de website van het PBL [lit. 24]. We beschrijven hieronder twee mogelijke manieren om de kritische P-belasting te bepalen: een minimale variant en een uitgebreidere (of gewenste) variant.

a De minimale variant

Gebruik voor de minimale variant de PCLake en PCDitch metamodellen. Let hierbij op de randvoorwaarden waarbinnen de metamodellen geldig zijn. PCDitch wordt gebruikt voor lijnvormige wateren. De waterdiepte, afvoer/debiet en bodemtype zijn van belang voor de kritische belasting:

1 De waterdiepte kan worden bepaald op basis van meetgegevens;
2 De afvoer (debiet in mm/d) kan worden bepaald op basis van de waterbalans;
3 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.

b De gewenste variant

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

sen 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.

Grotendeels overgenomen uit: Ecologische Sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie, STOWA-rapport 2015-17 [lit. 2]

3.2.3 Oxy-val: een tool voor organische belasting

In Oxy-val kunnen meetgegevens samen met informatie over de aanwezige bronnen en kenmerken van het watersysteem worden ingevuld, waarna de zuurstofconcentratie wordt ingeschat. Op basis van de ingevoerde data schat Oxy-val in of organische belasting tot te lage zuurstofconcentraties leidt. Naast de zuurstofconcentratie worden ook de NH4-concentratie en het BZV berekend.

KADER MEER INFORMATIE OVER OXY-VAL

Voor de uitwerking van de ESF organische belasting in stilstaande wateren is een achtergronddocument opgesteld met daarin een handleiding van de tool Oxy-val en een toelichting op de gebruikte kentallen. Om dubbele teksten te voorkomen en ervoor te zorgen dat er in de toekomst niet twee documenten moeten worden beheerd is er voor gekozen om de informatie niet te kopiëren, maar naar dit achtergronddocument te refereren [lit. 4].

Opzet van de tool

In Oxy-val worden watersysteemkenmerken alsmede informatie over aanwezige bronnen van organische belasting ingevoerd. Op basis van deze ingevoerde gegevens schat Oxy-val in of organische belasting tot te lage zuurstofconcentraties leidt.

Watersysteemkenmerken betreffen de hydrologische kenmerken, zoals wateroppervlak en wateraanvoer, en de mate van windinvloed. Van de aanwezige poten-

tiële bronnen van organische belasting (bijvoorbeeld riooloverstorten of mestuitspoeling) kan de omvang worden ingevoerd. Oxy-val berekent de belasting van zuurstofverbruikende stoffen op basis van kentallen (BZV en NH4) voor de ingevoerde bronnen. In plaats van kentallen kunnen per bron systeemspecifieke waarden voor de kwaliteit van de waterstroom worden ingevuld. Op basis van de watersysteemkenmerken (met name de windinvloed en mate van stroming) wordt een inschatting gemaakt van de gevoeligheid van het watersysteem voor organische belasting in relatie tot zuurstof. Deze gevoeligheid komt tot uiting in de hoogte van de reaeratiecoëfficiënt. Deze coëfficiënt bepaalt sterk de omvang van de zuurstofinbreng vanuit de lucht.

In de tool kunnen ook de meetwaarden van de zuurstofconcentratie, het biologisch zuurstofverbruik (BZV) en het ammoniumgehalte worden ingevoerd. Deze parameters geven een indicatie van problemen die samenhangen met organische belasting. Deze gemeten waarden worden vergeleken met de berekende concentraties.

Benodigde gegevens invoeren

Oxy-val bevat in het tabblad 'invulblad' een aantal 'blokken' waar per watersysteem gegevens kunnen worden ingevoerd. Deze worden hieronder toegelicht.

- GRENSWAARDE ZUURSTOF Bepaal per watersysteem het minimaal toelaatbare zuurstofgehalte. Deze waarde is van belang voor de toetsing van de berende zuurstofconcentratie en de berekening van de afbraakconstanten. Standaard staat deze waarde ingesteld op 5,0 mg O_2/l. Dit is echter een concentratie die lager is dan de ondergrens van de KRW-normen in de klassen 'goed' en 'zeer goed' voor de meeste stromende wateren (zie tabel 2.2). Deze default waarde is echter gekozen omdat de tool ook voor stilstaande wateren wordt gebruikt.
- BRONNEN De aanwezige bronnen dienen samen met de kwantificering (aantal, debiet, oppervlak etc.) te worden ingevoerd. De tool bevat per bron kentallen voor het snel afbreekbare BZV, het langzaam afbreekbare BZV en het zuurstofverbruik door ammonium. De kentallen kunnen in Oxy-val worden aangepast. Ook wordt in de tool per potentiële bron een toelichting gegeven.
- MORFOLOGIE Op basis van de ingevoerde dimensies (lengte, breedte, diepte en vorm) wordt het watervolume berekend, wat onder meer de relatieve aanvoer van zuurstof via reaeratie beïnvloedt. Hoe dieper het water, hoe langer het bij

eenzelfde reaeratie-snelheid duurt voordat het zuurstofniveau weer terug is op verzadigingsniveau. Anderzijds geldt ook dat bij een grotere diepte (en dus een groter volume) de inkomende belasting meer wordt verdund. De ingevoerde dimensies worden ook gebruikt om de belasting te berekenen vanuit bronnen die zijn aangegeven als aantal per oeverlengte, zoals bladval en hondenpoep.

- HYDROLOGIE Er dient te worden aangegeven hoe het water is verbonden met bovenstrooms gelegen wateren. De tool bevat een rekenhulp om het debiet van het inkomende water te schatten.
- REAERATIE De watertemperatuur, de bedekkingsgraad van drijflagen (kroos, flab e.d.), de windinvloed en de mate van stroming worden ingevoerd zodat de reaeratieconstante kan worden berekend.
- KWALITEIT AANVOERWATER De defaultwaarden van de kwaliteit van het aanvoerwater kunnen worden aangepast. Het gaat om zuurstof, biologisch zuurstofverbruik (BZV) en ammonium.
- TOESTAND Tot slot kunnen in de tool de waarden van enkele toestandsparameters worden ingevoerd, die in de output-grafieken worden vergeleken met de berekende waarden. Het gaat om zuurstof, biologisch zuurstofverbruik (BZV), ammonium en sedimentair zuurstofverbruik (SZV).

Uitkomsten van Oxy-val

Na het invoeren van alle gegevens berekent Oxy-val de totale zuurstofvraag van de organische belasting. Ook wordt per water de gevoeligheid voor organische belasting beoordeeld, afhankelijk van de afvoer en de windinvloed. Deze gevoeligheid wordt gebruikt bij het berekenen van de invloed van reaeratie. Per water wordt de verwachte zuurstofconcentratie berekend en vergeleken met de ingevoerde norm[1]. Ten slotte worden berekende waarden vergeleken met gemeten waarden.

De uitkomsten van Oxy-val worden samengevat in verschillende grafieken:

- een grafiek waarin per watersysteem de minimaal toelaatbare zuurstofconcen-

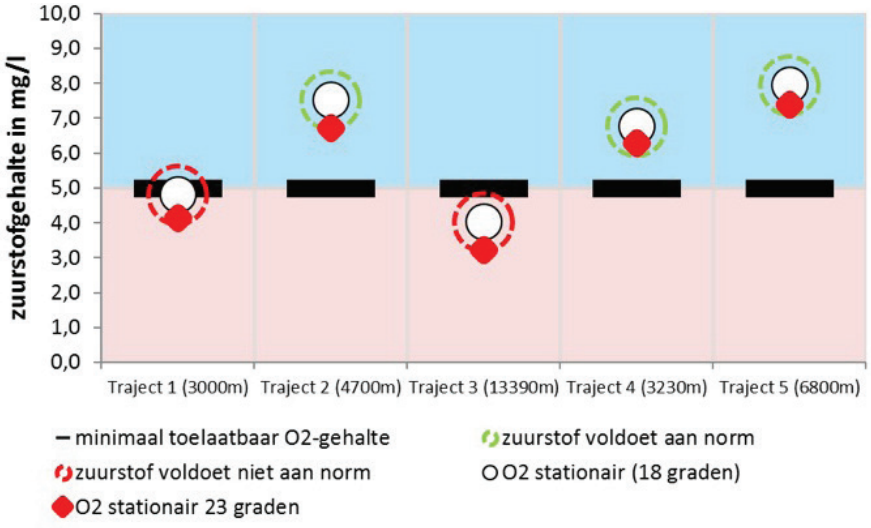
1 *De verwachte zuurstofconcentratie wordt op basis van de ingevoerde gegevens bepaald. Bij een verhouding berekende zuurstofconcentratie ten opzichte van de minimaal toelaatbare zuurstofconcentratie van meer dan 1,25 is de verwachting dat er voldoende reaeratie is ten opzichte van de organische belasting. Het risico dat het minimaal toelaatbare zuurstofgehalte als gevolg van organische belasting wordt onderschreden wordt daarom laag ingeschat. Bij een verhouding van 1 - 1,25 wordt het risico als matig beoordeeld, bij 0,75 - 1 als hoog en bij < 0,75 als zeer hoog.*

tratie en de berekende zuurstofconcentratie wordt weergegeven (zie afbeelding 3.4 ter illustratie):

- een grafiek waarin berekende en gemeten zuurstofconcentraties worden weergegeven. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen de berekende zuurstofconcentratie zonder en met geactiveerde riooloverstorten (zie afbeelding 3.5 ter illustratie);
- staafdiagrammen met daarin het aandeel van de zuurstofvraag per bron. Het aandeel van de zuurstofvraag is weergegeven als absolute hoeveelheid voor het gehele water (in gO_2/d) en per vierkante meter (in $gO_2/m^2/d$) (niet afgebeeld);
- staafdiagrammen waarin per water het aandeel van de zuurstofvraag van biologisch zuurstofverbruik (BZV), ammonium (NH4) en sedimentair zuurstofverbruik (SZV) is weergegeven (niet afgebeeld).

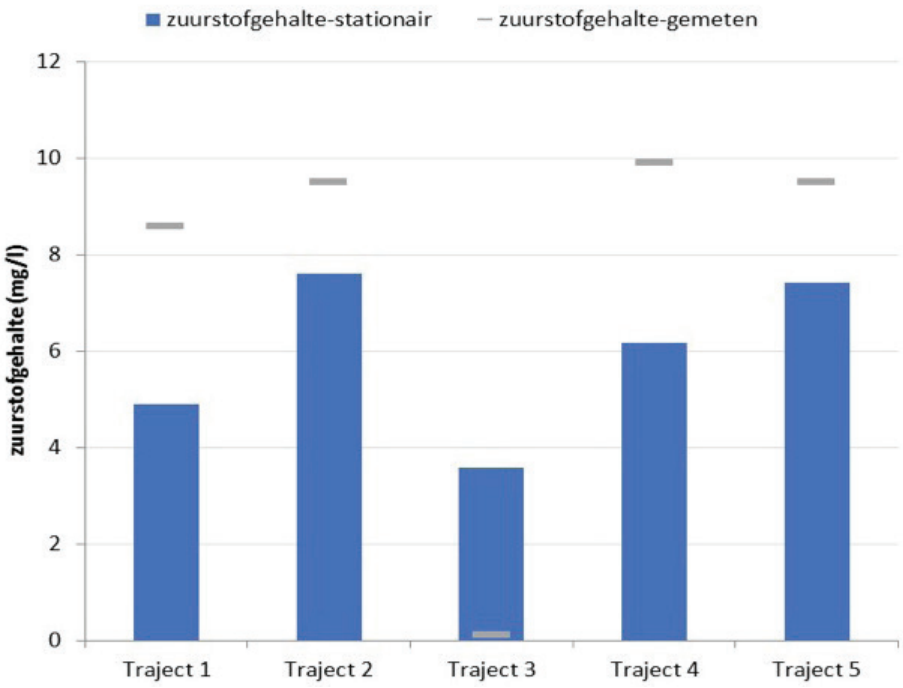
AFB 3.4 VOORBEELDOUTPUT VAN OXY-VAL

Het berekende zuurstofgehalte op basis van twee verschillende watertemperaturen voor vijf trajecten in de oosttak van de Drentsche Aa (Andersche Diep-Rolderdiep-Gasterensche Diep) in vergelijking met het minimaal toelaatbare zuurstofgehalte (in dit geval de default temperatuur) [lit. 5]



AFB 3.5 VOORBEELDOUTPUT OXY-VAL

Voorbeeldoutput Oxy-val voor vergelijking tussen berekende en gemeten concentraties op basis van vijf trajecten in de oosttak van de Drentsche Aa. Er is hier geen sprake van geactiveerde overstorten.



3.3 NADERE ANALYSE

Soms is een globale analyse onvoldoende om inzicht te krijgen in de relatie tussen nutriëntenbelasting, organische belasting, nutriënten- en zuurstofconcentratie en de ecologische toestand, bijvoorbeeld doordat de ruimtelijke en temporele dynamiek in het systeem groot is en/of omdat er te weinig metingen van het systeem beschikbaar zijn. In dat geval is er behoefte aan betere metingen en/of geavanceerdere modellen.

Er is behoefte aan een model dat de hydrologie, het sedimenttransport, de nutrienten- en koolstofkringloop, het voedselweb en de zuurstofhuishouding koppelt

en/of aan een model dat de ruimtelijke en temporele dynamiek beter kan benaderen dan de water- en stoffenbalans en de Oxy-val tool.

In het kader van dit project is onderzocht met welke bestaande instrumenten of modellen een nadere analyse van de belasting kan worden uitgevoerd. Vanwege de samenhang tussen nutriënten, organische belasting en andere sleutelfactoren is het wenselijk dat een model deze integraal modelleert. Zo'n instrument is echter niet beschikbaar en de ontwikkeling van een dergelijk integraal model valt buiten de scope van dit project.

Er zijn een aantal mogelijkheden om bestaande instrumenten door te ontwikkelen dan wel te koppelen. Concreet zijn daarvoor de volgende aanknopingspunten:

- PCDitch kan worden doorontwikkeld, waarbij de zuurstofhuishouding verder in dit instrument wordt uitgewerkt. Daarbij is het van belang dat het model ook bij een hoog zuurstofverbruik en een lage zuurstofconcentratie nog betrouwbare resultaten produceert. Door PCDitch te koppelen aan SOBEK, wordt de ruimtelijke en temporele spreiding inzichtelijk, waarbij nutriënten en organische belasting integraal kunnen worden beschouwd (zie verder de laatste alinea en afbeelding 3.8);
- het is mogelijk om de zuurstofhuishouding in detail te modelleren in DELWAQ (bijv. TEWOR). De rol van het voedselweb wordt niet gemodelleerd, maar er zijn wel processen beschikbaar waarmee de zuurstofproductie en -consumptie van het voedselweb kunnen worden gecompenseerd. Ook reaeratie kan in detail worden opgenomen. Het belangrijkste knelpunt is dat over het algemeen onvoldoende systeem- en proceskennis bij de waterbeheerders aanwezig is om deze processen in detail te modelleren.

Dat er momenteel nog geen gedetailleerd integraal instrument beschikbaar is, betekent niet dat er geen mogelijkheden zijn om een nadere analyse uit te voeren en meer grip te krijgen op de problematiek van belasting in stromende wateren. Hieronder wordt ingegaan op voorbeelden van hoe waterbeheerders met behulp van bestaande instrumenten en monitoring meer grip kunnen krijgen op de voor belasting relevante aspecten van het watersysteem:

- HYDROLOGISCHE ANALYSE Wanneer nog niet beschikbaar, kan eerst een jaarronde waterbalans worden opgesteld van het watersysteem en vervolgens een stromingsmodel (bijvoorbeeld in SOBEK) waarmee meer grip wordt verkregen

op de ruimtelijke en temporele variatie in afvoeren en de herkomst van water. Met behulp van SOBEK-modules, bijvoorbeeld DELWAQ, kan ook reaeratie en de rol van verschillende bronnen in de zuurstofhuishouding ruimtelijk en in meer detail in beeld worden gebracht;

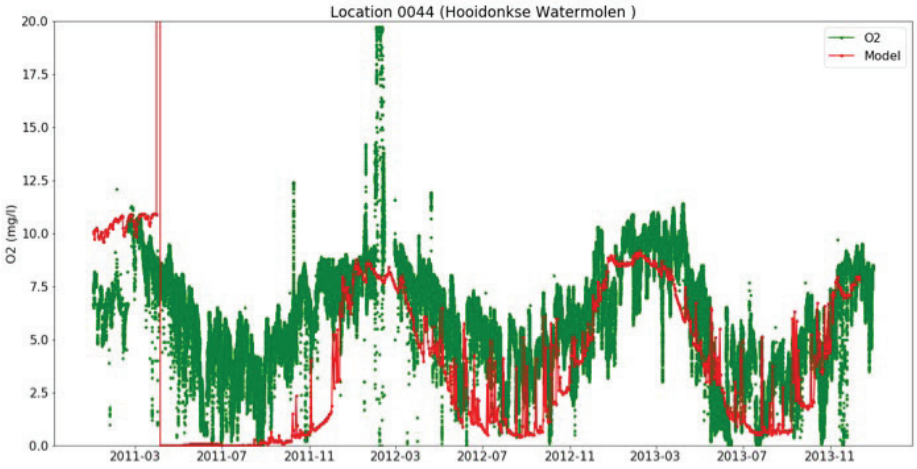
- ANALYSE VOEDSELWEB De rol van het voedselweb kan in meer detail in beeld worden gebracht met een modellering in een ecologisch model, zoals PCDitch.[1] Daarmee kan meer inzicht worden verkregen in de invloed van de productiviteit water op de zuurstofhuishouding in het gebied;
- AANVULLENDE WATERKWALITEITSMETINGEN Het kan zeer wenselijk zijn de toestand beter in beeld te brengen op basis van gerichte (continue) metingen, zoals de nutriënten-, zuurstof- en BZV-concentraties in het oppervlaktewater. Daarmee wordt meer grip verkregen op de ruimtelijke en temporele variatie in de concentraties. Bij waterschap de Dommel wordt bijvoorbeeld de zuurstofconcentratie sinds enkele jaren op verschillende locaties continue gemeten, online gevolgd en getoetst. De hierbij gebruikte toetsingswaarden zijn opgesteld op basis van responscurves van specifieke organismen, waarbij gekeken is naar zowel de onderschrijdingsduur als de frequentie van lage zuurstofconcentraties;
- OVERIGE ANALYSES Er kan ook worden gemeten aan de nutriëntenconcentraties en het zuurstofverbruik van de waterbodem en het effluent van relevante bronnen.

In het kader van een onderzoeksproject wordt momenteel gewerkt aan een koppeling van SOBEK met het ecologisch model PCDitch. Deze koppeling biedt veel perspectief en lijkt voldoende basis te vormen voor een prototype van het gewenst instrument voor de nadere analyse. In afbeelding 3.8 is ter illustratie een eerste resultaat gegeven van deze koppeling om de zuurstofconcentratie in stromend water te modelleren.

1 *De modellen PCLake en PCDitch kunnen in 0D worden uitgevoerd of middels een koppeling met een hydrologische model ruimtelijk worden uitgevoerd. De resultaten zijn op dit moment echter nog onvoldoende betrouwbaar voor een brede toepassing door waterbeheerders.*

AFB 3.8 VOORBEELDOUTPUT KOPPELING SOBEK EN PCDITCH

Voorbeeldoutput koppeling SOBEK en PCDitch voor een meetlocatie in de Dommel. Het gemodelleerde zuurstofverloop (rode lijn) volgt na de initiatie-periode van enkele maanden veelal de trend en ordegrote van de gemeten concentratie (groene lijn)



H4 LITERATUUR



1 Reeze, B. en Buijse, T. (2015) Ecologische sleutelfactoren voor stromende wateren, een methodiek in ontwikkeling. Amersfoort: STOWA. Rapportnummer 2015-W-06.
2 Van Weeren, B. (ed.) (2015) ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN VOOR HET HERSTEL VAN ONDERWATERVEGETATIE. TOEPASSING VAN DE ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN 1, 2 EN 3 IN DE PRAKTIJK. Amersfoort: STOWA. Rapportnummer 2015-17. ISBN 90-577-3695-7.
3 Schep, S. et al. (nog niet gepubliceerd) Uitwerking ecologische sleutelfactor organische belasting - Hoofdrapport. Amersfoort: STOWA.
4 Schep, S. et al (nog niet gepubliceerd) Uitwerking ecologische sleutelfactor organische belasting - Achtergronddocument: quick scan en globale analyse. Amersfoort: STOWA.
5 Schep, S. et al. (nog niet gepubliceerd) Uitwerking ecologische sleutelfactor belasting stromende wateren - Achtergrondrapport casus Drentsche Aa. Amersfoort: STOWA.
6 Bannink, A. (2011) Jaarrapport 2010: Maas. De kwaliteit van het Maaswater in 2010. RIWA,
7 CBS, PBL, RIVM en WUR (2016). Vermesting in grote rivieren, 1970-2014 (indicator 0249, versie 10 , 13 april 2016). www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen. URL: http://www.clo.nl/indicatoren/nl0249-vermesting-in-grote-rivieren (bezocht op 20 april 2018).
8 Van Vliet, M.T.H. & Zwolsman, J.J.G. Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Maas, H2O (2007), 40, no. 9, p. 29-33.
9 Van Bokhoven, A. & Zwolsman, J.J.G. Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Rijn. H2O (2007), 40, no. 9, p. 34-37.
10 Karosas, A & Edwards, F.K. (2014). Deliverable 2.16: Guidelines on ecological thresholds for temperature, low flows, and nutrients in European rivers. EU FP7 REFRESH deliverable 2.16 Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford UK, January 2014.
11 Verdonschot, P.F.M., Nijboer R.C. en Higler, L.W.G. (2002). Nutriënten in stromende wateren. Overzicht van normen. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 516b. ISSN 1566-7197.
12 Bloemendaal, F. & Roelofs, J. (1988). Eutrofiëring en oligotrofiëring. In: Bloemendaal, F. en Roelofs, J. Waterplanten en waterkwaliteit. Zeist: KNNV. ISBN

90-501-1014-2.

13 Hendrix W.P.A.M. & Meinardi, C.R. (2004). Bronnen en bronbeken van Zuid-Limburg: Kwaliteit van grondwater, bronwater en beekwater. Bilthoven: RIVM. Rapport 500003003/2004.

14 Boonstra, H., Van Dam, H., Bijkerk, R. en Wanink, J.H. (2015). Bronnen van inspiratie: Verkennende analyse van vijf jaar bronnenonderzoek in Zuid-Limburg. Haren: Koeman en Bijkerk bv. KenB 2015-014 / AWN 1405.

15 Smolders, A., Lucassen, E., Roelofs, J., Kramer-Hoenderboom, A. & Lenssen, J. Woekering van waterplanten in beken tot op de bodem uitgezocht. H2O-Online (2017), 16 februari 2017. URL: https://www.h2owaternetwerk.nl/images/H2O-Online_170216_Woekering_waterplanten.pdf (bezocht op 20 april 2018).

16 Rozemeijer, J.C., Broers, H.P., Passier, H. (2008). Een quickscan inventarisatie van de bijdrage van het grondwater aan de oppervlaktewaterkwaliteit in Noord-Brabant. Eindrapport, Deelrapport I van het Aquaterra/Stromon project. Utrecht: TNO, TNO-rapport 2008-U-R0406/A.

17 Dit project is uitgevoerd in opdracht van de stichting SKB Duurzame ontwikkeling ondergrond. De hier relevante resultaten zijn beschreven in: M.J.M. Kuijper, Hendriks, D.M.D., Van Dongen, R.J.J., Hommes, S., Waaijenberg, J., Worm, B. (2012). Sturen op Basisafvoer: Een analyse van zomerafvoeren in het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel en hoe daar in de toekomst mee om te gaan. Utrecht: Deltares, rapport 1202530-000.

18 De Klein, J., Evers, N., Van Zanten, O., Barten, I. en Peeters, E. (2015) Een Ecologisch Toetsinstrument voor beoordeling van het effect van piekbelasting uit rioolwaterzuivering en riooloverstorten op de rivier de Dommel (geüpdatet versie 2015). Wageningen University and Research en Waterschap De Dommel.

19 Van der Molen, D.T. & Pot, R. (ed.) (2007) REFERENTIES EN MAATLATTEN VOOR NATUURLIJKE WATERTYPEN VOOR DE KADERRICHTLIJN WATER. Utrecht: STOWA. Rapportnummer 2007-32. ISBN 90-577-3383-3.

20 Wolfs V. & Willems, P. (2017). Methodologie karakteriseren afvoerdynamiek – Deel 1 Opzetten van een methodologie om de afvoerdynamiek van een stroomgebied te karakteriseren, Sumaqua.

21 Diek, R., Schep, S. & Pelsma, T. Flexibeler peil Naardermeer beter voor hoogveenbossen. H2O-Online (2014), 5 november 2014. URL: https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/367-flexibeler-peil-naardermeer-beter-voor-hoogveenbossen (bezocht op 20 april 2018).

22 Besselink, D. Logemann, D., Van de Werfhorst, H., Jansen en Reeze, B. (2017) HANDBOEK ECOHYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE BEEKDALLANDSCHAPPEN. Amersfoort: STOWA. Rapportnummer 2017-05. ISBN 90-577-3730-5.

23 Jaarsma, N., Klinge, M. en Janse, J. (2008) VAN HELDER NAAR TROEBEL... EN WEER TERUG. EEN ECOLOGISCHE SYSTEEMANALYSE EN DIAGNOSE VAN ONDIEPE MEREN EN PLASSEN VOOR DE KADERRICHTLIJN WATER. Utrecht: STOWA. Rapportnummer 2008-04. ISBN 90-577-3386-4.

24 PBL, De kritische fosfaatbelasting van meren: een inleiding. URL: http://www.pbl.nl/nl/dossiers/water/modellen/InleidingKritischeFosfaatbelastingOndiepeMeren (bezocht op 1 mei 2018)

BIJLAGE SNELSTARTGIDS WATER- EN STOFFENBALANS

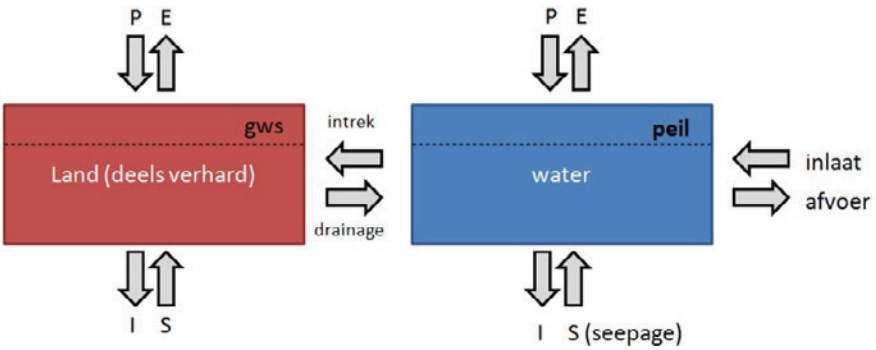
De water- en stoffenbalans (WSB) is vrij te downloaden via de website van de STOWA. Deze snelstartgids is gebaseerd op de versie met de datum 1 september 2017. Naast de tool zelf wordt op de STOWA-website ook een e-learningmodule over de WSB aangeboden.

URL: http://www.stowa.nl/projecten/E-learning_module___rekentool_voor_opstellen_waterbalans_

Er kunnen maximaal vier gebieden in de WSB worden meegenomen. Elk gebied is onderverdeeld in twee type 'bakjes': perceelbakjes en een bakje open water. In afbeelding i.1 zijn de waterstromen en bakjes weergegeven voor een peilbeheerst watersysteem. Voor stromende wateren zou de WSB idealiter moeten worden aangepast door het landbakje op te delen in een onverzadigde zone en een dieper gelegen verzadigde zone. Zolang dit nog niet het geval is kan voor niet al te steile beken gebruik worden gemaakt van de WSB voor peilbeheerste wateren. In het vervolg van deze snelstartgids wordt aangegeven waar extra op gelet moet worden bij het gebruik van de tool voor stromende wateren.

AFB I.1 SCHEMATISERING VAN DE WATER- EN STOFFENBALANS

Voor peilbeheerste watersystemen. P: precipitatie (neerslag), E: evaporatie (verdamping), I: infiltratie, S: seepage (kwel), gws: grondwaterstand



De 'perceelbakjes'

Het landoppervlak kan worden opgedeeld in vier ondergronden. Ieder type onder-

grond heeft zijn specifieke afwateringskenmerken. Dit gaat vooral om de snelheid waarmee het land afwatert op het oppervlaktewatersysteem. Het watertekort- en overschot in de perceelbakjes wordt bepaald op basis van kwel, infiltratie, neerslag en verdamping. Als het waterpeil in het bakje boven het evenwichtspeil uitkomt, spoelt water in de percelen uit naar het open water. Andersom gaat er water van het open water door intrek naar de percelen, wanneer het peil in het bakje onder het evenwichtspeil uitkomt. Het grondwaterpeil in de perceelbakjes wordt onafhankelijk van het waterpeil in het open water berekend.

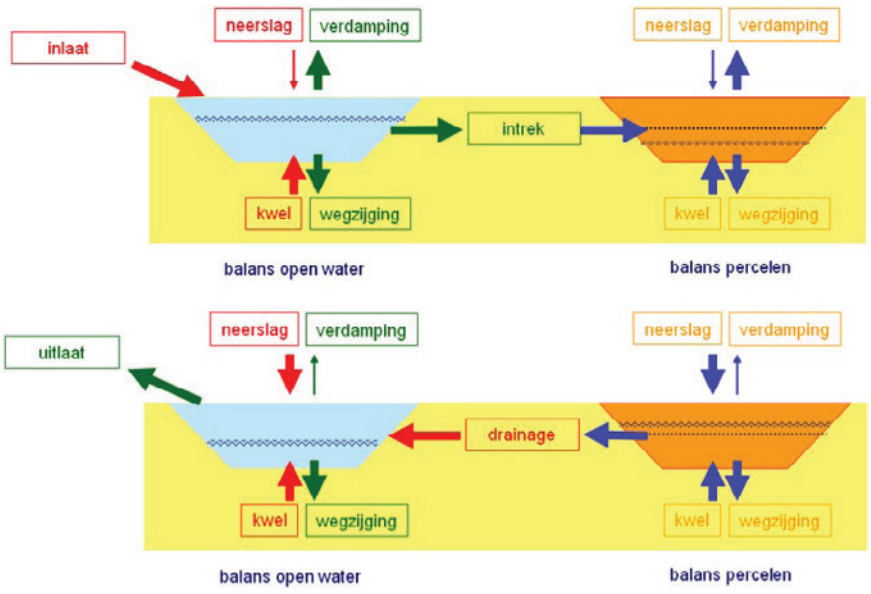
Het 'bakje' open water

Het watertekort- en overschot in het watersysteem wordt bepaald op basis van:

1 kwel en wegzijging;
2 neerslag en verdamping;
3 drainage en intrek.

AFB I.2 WERKING VAN DE WATER EN STOFFENBALANS

In een droge periode (boven) en een natte periode (onder)



Wanneer het peil in het bakje open water boven het evenwichtspeil (+ marge) uitkomt wordt er water afgevoerd via een stuw of een gemaal. Andersom wordt er water aangevoerd als het peil in het bakje onder het evenwichtspeil (+ marge) uitkomt. In afbeelding i.2 is dit geschematiseerd in een aanvoersituatie (droge zomer) en een afvoersituatie (natte winter). In het rood is aangegeven welke waterstromen chloride of nutriënten aanvoeren.

DIMENSIES

Per gebied dient in de WSB voor het bakje percelen te worden aangegeven wat het oppervlak is van de volgende ondergrondcategorieën (zie afbeelding i.3):

- verhard oppervlak (kolom B);
- gemeentelijke riolering (kolom C);
- onverhard oppervlak (kolom D).

In kolom E dient het oppervlak van het bakje water te worden ingevoerd. In kolom G dient te worden aangegeven welke fractie van het onverharde oppervlak gedraineerd is. In cel D13 dient de waterbodemhoogte te worden ingevoerd.

AFB I.3 INVOERVELDEN VOOR DE DIMENSIES VAN DE BAKJES

(tabblad Uitgangspunten)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	naam watersysteem (id)								
2	GEOMETRIE	verhard m2	Gem. Riolering m2	onverhard m2	water m2	fractie water	fractie gedraineerd	fractie onverhard ongedraineerd	fractie onverhard gedraineerd
3	deelgebied 1	0	0	0	500000	1.00	0	0	0
4	deelgebied 2	0	0	0	0	#DEEL/0!	0	0	0
5	deelgebied 3	0	0	0	0	#DEEL/0!	0	0	0
6	deelgebied 4	0	0	0	0	#DEEL/0!	0	0	0
7	Totaal Afvoergebied			500000		m2			
8	opp. gedraineerd			0		m2			
9	opp. verhard			0		m2			
10	opp. Gemengd gerioleerd			0		m2			
11	opp. water (Awat1)			500000		m2			
12	waterbodemhoogte			-3.10		m NAP	0.45 gemiddelde waterdiepte (m)		

STOFCONCENTRATIES VAN IN- EN UITGAANDE POSTEN

In de rijen 15 t/m 32 kunnen de chloride- en fosforconcentraties worden ingevuld voor de ingaande posten (zie afbeelding i.4). In kolom B en C is genoteerd in welk tabblad de debieten van de betreffende posten zijn te vinden. Kolom D en E worden gebruikt om eventuele onzekerheden over de fosforconcentratie te verwerken. In kolom D kan de fosforconcentratie worden ingevuld zoals die naar verwachting

minimaal zal zijn. In kolom E kan een hogere concentratie worden ingevuld. In de grafische uitvoer (in het tabblad presentatie) wordt voor beide kolommen duidelijk gemaakt wat de totale berekende fosforbelasting is.

AFB I.4 INVOERVELDEN VOOR STOFCONCENTRATIES VAN DE IN- EN UITGAANDE POSTEN

(tabblad Uitgangspunten)

	A	B	C	D	E	F
14	STOFCONCENTRATIES; DEFINITIES IN- en UITSTROOM					
15	posten	Debiet (m3/d)		P_ondergrens	P_increment	Cl
16		winter	zomer	(mgP/l)	(mgP/l)	(mg/l)
17	neerslag	rekenhart	rekenhart	0.00	0.0	6
18	kwel	uitgangspunten	uitgangspunten	0.40	0.2	400
19	verhard	rekenblad	rekenblad	0.40	0.0	10
20	riolering	uitgangspunten	uitgangspunten	3.00	0	100
21	gedraineerd	rekenblad	rekenblad	0.40	0.0	70
22	uitspoeling	rekenblad	rekenblad	0.40	0.0	40
23	afstroming	rekenblad	rekenblad	0.40	0.0	25
24	inlaat1	0	0	0.15	0.0	100
25	inlaat2	0	0	0.15	0.1	200
26	inlaat3	0	0	0.15	0.00	250
27	inlaat4	0	0	0.05	0.05	100
28	inlaat peilbeheer	rekenhart	rekenhart	0.15	0	100
29	uitlaat1	0	0	x	x	x
30	uitlaat2	0	0	x	x	x
31	uitlaat3	0	0	x	x	x
32	uitlaat4	0	0	x	x	x
33	initiële concentratie chloride	x	x	90	x	x
34	normlijnen in grafiekjes	x	x	8	13	x

KWEL EN WEGZIJGING

Per type ondergrond kan de kwelflux worden opgegeven voor het zomer- en voor het winterhalfjaar (zie afbeelding i.5). Voor het open water worden de kwelflux en de wegzijgingsflux afzonderlijk ingevoerd. Voor de perceelbakjes wordt alleen de nettoflux opgegeven: > 0 mm bij nettokwel en < 0 mm bij nettowegzijging.

UITSPOELING EN INTREK

In de WSB wordt de uitwisseling van water tussen het open water en de percelen berekend. Er is sprake van uitspoeling wanneer het grondwaterpeil de perceelbakjes boven het evenwichtspeil komt. Een fractie van het water in de grondkolom boven het evenwichtspeil spoelt dan uit naar het oppervlaktewater (zie ook afbeelding i.6). Deze fracties kunnen per type ondergrond worden ingevoerd (zie afbeelding i.7).

AFB I.5 INVOERVELDEN VOOR KWEL- EN WEGZIJGINGSFLUXEN

(tabblad Uitgangspunten)

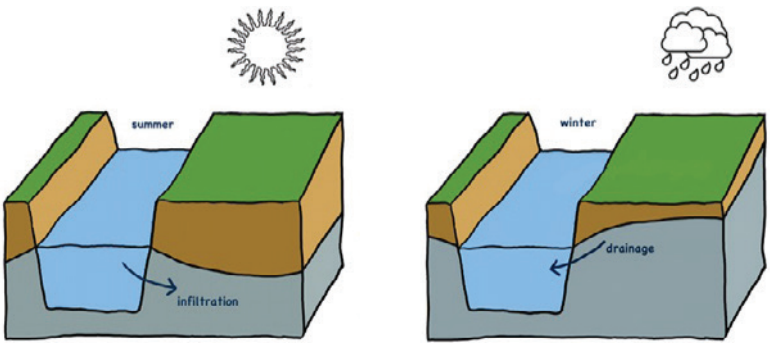
	A		B	C
36	GEOHYDRO		zomer (mm/d)	winter (mm/d)
37	kwel - water	Let op! Absolute waarde	0.00	0.00
38	wegzijging - water	Let op! Absolute waarde	0.00	0.00
39	kwel - onder verhard	kwel +, wegzijging -	0.00	0.00
40	kwel - onder gedraineerd		0.00	0.00
41	kwel - deelgebied 1		0.00	0.00
42	kwel - deelgebied 2		0.00	0.00
43	kwel - deelgebied 3		0.00	0.00
44	kwel - deelgebied 4		0.00	0.00

Er is sprake van intrek wanneer het grondwaterpeil onder het evenwichtspeil komt. Een fractie van de beschikbare bergingsruimte in de ondergrond wordt dan gevuld met water vanuit het bakje open water. Deze fracties kunnen per type ondergrond worden ingevoerd (zie afbeelding i.7).

KADER UITSPOELING EN INTREK IN STROMENDE WATEREN

Voor stromende wateren wordt aangeraden om f_intrek op 0 te zetten. Een beek heeft een relatief klein volume ten opzichte van het landoppervlak. Ook wordt het vrijwel nooit water in een beek ingelaten. Bij droge omstandigheden kan een beek droogvallen. In beken zal er namelijk zelden sprake zijn van intrek, maar veeleer van uitspoeling. f_uitspoeling hoog in te schatten (bijv. 0,01).

AFB I.6 SITUATIE MET INTREK (LINKS) EN UITSPOELING (RECHTS)



AFB I.7 INVOERVELDEN VOOR BODEMKENMERKEN

Per type ondergrond (tabblad Uitgangspunten)

D	E	F	G	H	I	J	K	L
	verhard	onder verhard	gedraineerd boven	gedraineerdonder	deelgebied 1	deelgebied 2	deelgebied 3	deelgebied 4
f_uitpoel (-)	0.000	0.001	0.500	0.001	0.020	0.020	1.000	0.100
f_intrek (-)	0.000	0.001	0.500	0.001	0.010	0.010	0.500	0.050
bergingsruimte (-)	1	0.2	0.3	0.3	0.100	0.100	0.200	0.200
drooglegging (m)	0.002	0.5	0.7	0.2	0.5	0.5	1	0.5
equilibrium level (m)	0	0	0	0	0	0	0	0
minimum level (m)	0							
init level (m)	0	0	0	0	0	0	0	0

WATERPEILEN

De optelsom van alle waterstromen resulteert in een volume, dat in de WSB omgerekend wordt naar een waterpeil in het bakje open water. Wanneer het waterpeil boven de bovengrens komt, wordt water het gebied uitgelaten. Wanneer het waterpeil onder de ondergrens komt, wordt water ingelaten. Dit laatste is in stromende wateren vaak niet mogelijk.

In de WSB kan het minimale (C64:67) en het maximale waterpeil (E64:67) worden ingevuld; zie afbeelding i.8. Het jaar is hierbij opgedeeld in vier periodes, die standaard als volgt zijn ingedeeld:

- 1 januari tot 15 maart;
- 15 maart tot 1 mei;
- 1 mei tot 15 augustus;
- 15 augustus tot 1 januari.

AFB I.8 INVOERVELDEN VOOR WATERPEILEN

(tabblad Uitgangspunten).

	A	B	C	D	E	F
61	PEILBEHEER					
62		variabele maximale en minimale peilen (mNAP)				
63		periode	min		max	
64	maximale en minimale peilen	15/3-1/5	-2.7	x	-2.65	
65		1/5-15/8	-2.7	x	-2.65	
66		15/8-1/10	-2.7	x	-2.65	
67		1/10-15/3	-2.7	initieel peil (mNAP)	-2.65	
68		peilmarge rond gemeten peil (optioneeel):			-2.65	
69						
70						
71	maximale aflaatcapaciteit	99999999 m3/dag			69444 m3/min	

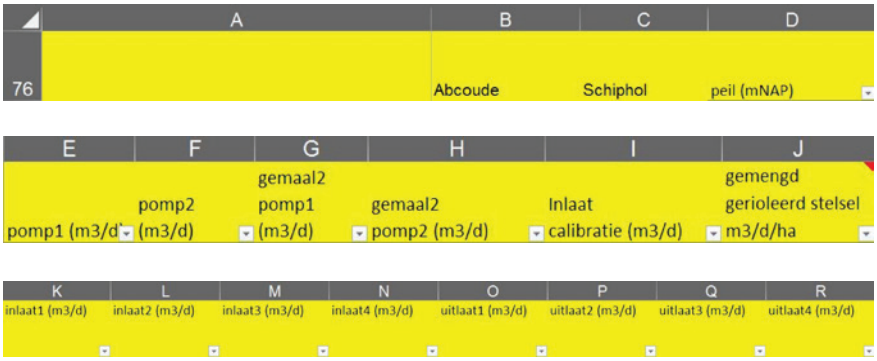
Het initiële peil (cel D68) is het waterpeil op dag 1. In cellen B71 kan de maximale aflaatcapaciteit worden ingevuld. Standaard staat de capaciteit praktisch gezien op onbeperkt.

TIJDSERIES VOOR DE KWALITEIT EN KWANTITEIT VAN DE IN- EN UITGAANDE POSTEN

Vanaf rij 76 kunnen meetseries met gegevens over de kwantiteit en de kwaliteit van de in- en uitgaande posten worden ingevoerd (zie afbeelding i.9).

AFB I.9 INVOERVELDEN VOOR MEETREEKSEN WATERKWANTITEIT

(tabblad Uitgangspunten)



KWANTITEIT

- neerslag (kolom B);
- verdamping (kolom C);
- waterpeil (kolom D);
- polder- en rioleringsgemalen (kolom E t/m J); [1]
- in- en uitlaten (kolom K t/m R).

KWALITEIT

- Gemeten concentraties in het waterlichaam en de in- en uitgaande posten, zoals RWZI-effluent (kolom W t/m).

1 De gegevens uit de E t/m I zijn geen harde in- of uitgaande posten van de balans, maar kunnen worden vergeleken met de berekende waterfluxen om die te valideren. De kolommen J t/m R zijn wel posten die in als harde data in de balans worden meegenomen.

AFB I.10 INVOERVELDEN VOOR MEETREEKSEN CHLORIDECONCENTRATIES

(tabblad Uitgangspunten)

W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
Zoekmatrices Chloride											
	locatie		locatie		locatie		locatie		locatie		locatie
Immissie1	Cl	Inlaat1	Cl	Inlaat2	Cl	Inlaat3	Cl	Inlaat4	Cl	Inlaat Peilbeheer	Cl
datum	(mg/L)	datum	Bron (mg/L)	datum	Bron (mg/L)	datum	Bron (mg/L)	datum	Bron (mg/L)	datum	Bron (mg/L)

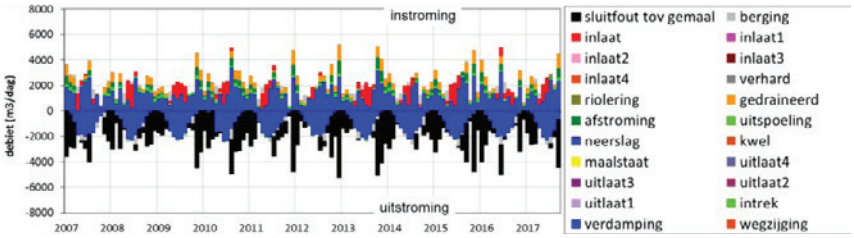
OUTPUT

Het tabblad 'presentatie' bevat de belangrijkste output van de water en stoffenbalans, in de vorm van een aantal grafieken waarin de onderstaande zaken op dag- of maandbasis zijn weergegeven voor de onderzochte periode:

- het debiet (in m^3/dag) van de verschillende in- en uitgaande posten (zie afbeelding i.11 ter illustratie);
- het waterpeil (m+NAP);
- de belasting (in mgP/m^2/dag) door de verschillende ingaande posten (zie afbeelding i.12 ter illustratie).

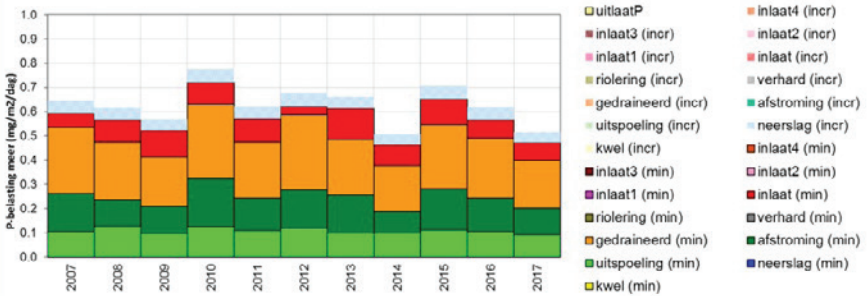
AFB I.11 VOORBEELDOUTPUT WATER- EN STOFFENBALANS

Het debiet (m^3/dag) per in-/uitgaande post voor een fictief voorbeeld. De opmaak is aangepast t.b.v. de leesbaarheid in dit rapport



AFB I.12 VOORBEELDOUTPUT WATER- EN STOFFENBALANS

P-belasting (mgP/m²/dag) per ingaande post voor een fictief voorbeeld. De opmaak is aangepast t.b.v. de leesbaarheid in dit rapport



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 de 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.

STOWA
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

Bezoekadres
Stationsplein 89, vierde etage
3818 LE Amersfoort

t. 033 460 32 00
e. stowa@stowa.nl
i. www.stowa.nl

COLOFON TUSSENRAPPORTAGE

Amersfoort, Juni 2018

Uitgave
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer | Postbus 2180 | 3800 CD Amersfoort

Auteurs
Sebastiaan Schep (Witteveen+Bos), Hein Tanis (Witteveen+Bos), Remco van Ek (Witteveen+Bos), Marieke Fennema (Witteveen+Bos), Nico Jaarsma (Nico Jaarsma Aquatische ecologie & fotografie), Jeroen Mandemakers (Witteveen+Bos)

Begeleidingscommissie Stromende wateren
Peter Paul Schollema (Waterschap Hunze en Aa's), Marco Beers (Waterschap Brabantse Delta), Ronald Gylstra (Waterschap Rivierenland), Gertie Schmidt (Waterschap Vechtstromen), Auke de Ridder (Waterschap Drents Overijsselse Delte), Marieke Ohm (RWS), Rob Fraaije (Waterschap Aa en Maas), Ineke Barten (Waterschap De Dommel), John Lenssen (Waterschap Rijn en IJssel), Bas van der Wal (STOWA).

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 ecologische sleutelfactor uitgewerkt in dit rapport kijkt naar de belasting van niet-milieuvreemde stoffen (kortweg belasting genoemd) en of deze bepalend is voor de waterkwaliteit in stromende wateren. Wanneer deze ecologische sleutelfactor 'op groen' staat, is een vormen niet-milieuvreemde stoffen geen belemmering voor de ecologische kwaliteit.

Trefwoorden
Belasting, niet-milieuvreemde stoffen, belasting, waterplanten, macrofauna, biodiversiteit, planten, vissen, macrofauna, ecologische sleutelfactoren, stromende wateren, watersysteemanalyse, waterkwaliteitsdoelen, waterkwaliteit, maatregelen, hydrologische omstandigheden.

Vormgeving Shapeshifter.nl | Utrecht
Druk DPP | Houten

STOWA 2018-30
ISBN 978.90.5773.800.5

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 tijd 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.

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE AMERSFOORT
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT