

BAGGERNUT, MAATREGELLEN BAGGEREN EN NUTRIËNTEN



RAPPORT

2012
40



Compilatie van beelden van het project BaggerNut, samengesteld door Ronald Bakkum (Hoogheemraadschap van Delfland)



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

stowa



WATERPROEF



Waterschap
Amstel, Gooi en Vecht



**WETHERSKIP
FRYSLÂN**



Radboud Universiteit Nijmegen



Waterschap Veluwe

water**net**

Deltares

Enabling Delta Life



Witteveen + Bos

 **Provincie
Noord-Holland**



Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Hoogheemraadschap van
Rijnland



Waterschap
Rivierenland


WATERSCHAP
Hunze en Aa's

 **ARCADIS**
Infrastructuur, milieu, gebouwen

 Waterschap
Brabantse Delta


Reest & Wieden
waterschap



hoogheemraadschap
**Hollands
Noorderkwartier**



Hoogheemraadschap van Delfland



Hoogheemraadschap van
Schieland en de Krimpenerwaard

BAGGERNUT, MAATREGELEN BAGGEREN EN NUTRIËNTEN
OVERKOEPELEND RAPPORT

RAPPORT

2012

40

ISBN 978.90.5773.582.0



COLOFON

- UITGAVE** Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, STOWA, Amersfoort
- AUTEURS** Tessa van der Wijngaart (STOWA), Gerard ter Heerdt (Waternet), Ronald Bakkum (Hoogheemraadschap van Delfland), Leon van den Berg (Radboud Universiteit Nijmegen), Bob Brederveld (Witteveen+Bos), Jeroen Geurts (Radboud Universiteit Nijmegen), Nico Jaarsma (Witteveen+Bos), Leon Lamers (Radboud Universiteit Nijmegen), Leonard Osté (Deltares), Moni Poelen (B-Ware), Fons Smolders (B-Ware), Rikje van de Weerd (ARCADIS).
- PROJECTGROEP** Ronald Bakkum (Hoogheemraadschap van Delfland), Leon van den Berg (Radboud Universiteit Nijmegen), Sophie Boland (ARCADIS), Bob Brederveld (Witteveen+Bos), Theo Claassen (Wetterskip Fryslân), Herman van Dam (Stichting Waterproef), Ben Eenkhoorn (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Ronald Gylstra (Waterschap Rivierenland), Gerard ter Heerdt (Waternet), Jack Hemelraad (Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard), Peter Heuts (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden), Nico Jaarsma (Witteveen+Bos), Hermen Keizer (Waterschap Brabantse Delta), Jan van Kempen (Waterschap Vallei en Eem), Joep de Koning (Hoogheemraadschap van Delfland), Leon Lamers (Radboud Universiteit Nijmegen/B-ware), Bruce Michielsen (Hoogheemraadschap van Rijnland), Leonard Osté (Deltares), Moni Poelen (B-ware), Peter Paul Schollema (Waterschap Hunze en Aa's), Renée Talens (ARCADIS), Roelof Veeningen (Wetterskip Fryslân), Dwight de Vries (Waterschap Reest en Wieden), Rikje van de Weerd (ARCADIS), Tessa van der Wijngaart (STOWA)
- REFERAAT** BaggerNut geeft een overzicht van bestaande en nieuwe kennis op het gebied van interne nalevering van nutriënten van de waterbodem naar de waterlaag. De waterbeheerder wordt geholpen om een snelle en kostenefficiënte inschatting te maken van de interne nalevering. Ook wordt de waterbeheerder geholpen om deze nalevering in het watersysteem te beschouwen en hij wordt geholpen met het bedenken van eventuele maatregelen om de interne nalevering te verminderen. Een groot aantal systeemanalyses en bepalingen van de nalevering in de praktijk geven een goed voorbeeld van de toepassingen van BaggerNut.
- AFBEELDING VOORKANT**
samengesteld door Ronald Bakkum (Hoogheemraadschap van Delfland)
- TREFWOORDEN** Interne eutrofiëring, eutrofiëring, waterbodem, interne nalevering, baggeren, nutriënten, water- en stoffenbalans, systeemanalyse
- STOWA** STOWA 2012-40
ISBN 978.90.5773.582.0
- COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
- DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

HET WATERMOZAÏEK / STOWA IN HET KORT

WAT IS WATERMOZAÏEK?

In het kennisprogramma Watermozaïek onderzoekt de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) samen met waterschappen en andere kennispartners bestaande en innovatieve maatregelen voor het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit. Waterkwaliteit is een speerpunt in de Kaderrichtlijn Water (KRW). Onder de paraplu van het kennisprogramma testen waterbeheerders maatregelen in de praktijk uit, waardoor kennis wordt verzameld over de haalbaarheid, de betaalbaarheid en de effectiviteit ervan.

RESULTATEN

De oogst van het kennisprogramma Watermozaïek is meervoudig. Watermozaïek:

- levert een nieuwe kijk op maatregelen waar waterschappen met het oog op de Kaderrichtlijn Water hard aan werken of over aan het nadenken zijn. Van veel van deze maatregelen is (nog) niet precies bekend hoe (kosten)effectief ze zijn. Door het werk binnen het Watermozaïek is hierover veel meer bekend geworden;
- heeft zeer interessante nieuwe maatregelen ontwikkeld en uitgetest;
- introduceert een nieuw diagnosesysteem, waarmee waterbeheerders hun watersystemen kunnen analyseren en de ecologische ontwikkelingen daarin kunnen volgen en bijsturen: het KRW-Volg- en Stuursysteem (VSS);
- ontsluit reeds bestaande wetenschappelijke kennis en maakt deze praktisch toepasbaar. Hierbij spelen de binnen het programma georganiseerde kennisdagen een belangrijke rol. STOWA brengt tijdens deze dagen waterschappers en wetenschappers met elkaar in contact. Zij kunnen op deze manier direct kennis en ervaringen uitwisselen

SAMEN DOEN

Dat mensen van waterschappen, Rijkswaterstaat, kennisinstellingen, universiteiten en adviesbureaus onder de vlag Watermozaïek nauw met elkaar samenwerken, biedt de beste garantie dat het programma de juiste kennis oplevert voor de praktijk van het regionale waterbeheer. Waterschappers en wetenschappers hebben bij het begin van het programma samen kennisvragen geformuleerd. Deze vragen vormen de basis voor de projecten die binnen het programma bestaan en nog worden uitgevoerd.

STOWA

STOWA, de initiatiefnemer van Watermozaïek, is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart en verspreidt kennis die nodig is voor de opgaven waar waterbeheerders voor staan.

VAN DENKEN NAAR DOEN

De resultaten van onderzoeksprojecten worden via het onderzoeksprogramma Watermozaïek van STOWA uitgewisseld met waterbeheerders die toepassing in hun beheersgebied overwegen.

INNOVATIEPROGRAMMA KADERRICHTLIJN WATER

Het project wordt mede gefinancierd vanuit het innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water, uitgevoerd door Agentschap NL in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Kijk voor meer informatie op www.watermozaiek.nl

TEN GELEIDE

Elk water heeft een bodem. Een open deur uiteraard, maar de wisselwerking tussen bodem en water is lange tijd onderbelicht geweest in het waterkwaliteitsbeheer. Terwijl deze wisselwerking toch zeer relevant is. Waterbeheerders nemen kostbare maatregelen om de kwaliteit van het water te verbeteren. Het is regelmatig gebleken dat vervolgens de aard van de waterbodem roet in het eten kan gooien, waardoor de gewenste situatie van schoon, helder en levend water niet wordt bereikt. Er is dus alle reden de relatie tussen water en waterbodem indringender te bekijken.

Vandaar het project BaggerNut¹. De drijvende kracht achter dit project is het streven om het ingewikkelde samenspel tussen water, bodem en organismen beter te begrijpen. Want als we meer weten over deze wisselwerking, kunnen we beter sturen op een goede waterkwaliteit.

BaggerNut heeft zich specifiek beziggehouden met het proces en de gevolgen van het ophopen en vrijkomen van de voedingsstoffen stikstof en fosfaat in en uit de waterbodem. In veel gebieden in Nederland wordt het oppervlaktewater al jaren fors belast met deze voedingsstoffen. Dat zie je terug in de waterkwaliteit, maar ook in de waterbodem. Door jarenlange lozingen is de waterbodem, net als een batterij, opgeladen met stikstof en fosfaat. En nu de lozingen op het oppervlaktewater langzaam minder worden, gaat die batterij z'n werk doen. Men spreekt in dit verband ook wel over de bodem als naleverende 'bron'. De opgeslagen voedingsstoffen komen weer vrij, met vaak ongewenste algenbloei, kroosdekken of waterplantenexplosies als gevolg.

In dit overkoepelende rapport worden de belangrijkste bevindingen van het project BaggerNut beschreven. In het project is behalve nieuwe kennis ontwikkeld, ook veel bestaande kennis bij elkaar gebracht. Door deze bundeling en verrijking van kennis begrijpen we de relaties tussen bodem, water en organismen inmiddels veel beter.

Het project heeft naast kennis twee instrumenten opgeleverd, de Quickscan en de Bodemdiagnose Tool, zodat elke waterbeheerder praktische handvatten heeft om de rol van de waterbodem in zijn of haar watersysteem beter in beeld te brengen. Bovendien heeft onderzoek in het kader van BaggerNut opgeleverd dat met relatief beperkte metingen en dus kosten een betrouwbare uitspraak kan worden gedaan over de nalevering van stoffen uit de bodem. Dit kon tot dusver alleen tegen hoge kosten, wat grootschalig toepassen in de weg stond. BaggerNut heeft daarmee het kosteneffectief vergroten van het inzicht en het effectgericht monitoren voor waterbeheerders binnen bereik gebracht.

Eenieder die meer informatie wenst kan verder lezen in de onderzoeksrapporten, waarin alle bevindingen uitgebreid worden toegelicht. Toepassing van de kennis en de instrumenten die

¹ Het project BaggerNut is onder de penvoering van het Hoogheemraadschap van Delfland tot stand gekomen in een zeer stimulerende samenwerking met twaalf waterschappen, twee kennisinstellingen, twee adviesbureaus, een laboratorium en de STOWA. Het onderzoek was onderdeel van het onderzoeksprogramma Watermozaïek (STOWA). Het project is mede gefinancierd vanuit het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water van het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

in dit rapport zijn beschreven, zullen leiden tot het doelmatiger inzetten van middelen bij het streven naar de doelen van de Kaderrichtlijn water.

Het inzicht dat is verworven helpt ook bij het (eventueel) opnieuw definiëren van de meest passende maatregelen in de tweede generatie Stroomgebiedbeheerplannen, die in 2015 moeten zijn opgesteld.

Het is daarom dat we dit rapport van harte aanbevelen!



Mr. M.A.P. van Haersma Buma,
Dijkgraaf Hoogheemraadschap van Delfland



Mr. J.H. Oosters,
Voorzitter Bestuur STOWA

VOORWOORD

Kort na afloop van een overleg bij STOWA in Amersfoort ergens in het najaar van 2009, zo rond het indienen van ons projectvoorstel voor subsidie vanuit het KRW innovatiefonds, zat ik in de trein met de collega's Gerard ter Heerdt van Waternet en Leon Lamers van de Radboud Universiteit Nijmegen. Ietwat gekscherend spraken we, vanuit de volle overtuiging dat we de subsidie in de wacht zouden slepen, van het aanbreken van een nieuw tijdperk. Een nieuw tijdperk voor eutrofiëringproblematiek bestrijdend Nederland en daarbuiten, een tijdperk van voor BaggerNut, zoals ons project inmiddels betiteld was, en een tijdperk na BaggerNut. De wereld van de interne eutrofiëring zou nooit meer hetzelfde zijn, die zou een enorme sprong voorwaarts maken. En als het niet gekscherend was, was dit wellicht ietwat megalomaan of overmoedig van ons, maar op zijn minst waren we overtuigd van de waarde van ons werk en ons projectvoorstel. En er sprak ambitie uit en passie, beide noodzakelijke voeding voor potentieel succes.

Intussen bevinden we ons in het laatste kwartaal van 2012 en BaggerNut in een afrondend stadium. Het project werd gehonoreerd, uiteraard, en gedurende de uitvoering heeft de overtuiging, de ambitie en de passie ons altijd vergezeld, ons nooit verlaten. Dat is en was bijzonder, zeker in een consortium met 18 partijen. Er zijn gedurende de uitvoering soms stevige discussies gevoerd over de koers, maar altijd met het doel het beste resultaat te behalen. Er is hard en gepassioneerd gewerkt om kennishiaten in te vullen, om de vele laboratoriumexperimenten optimaal uit te nutten, alle daarin verscholen kennis aan te boren, en last but not least zijn er producten gerealiseerd.

Alles wat we vooraf voor ogen hadden? Nee, zo eerlijk moeten we zijn. Het is ons bijvoorbeeld niet gelukt om nu al bruikbare handvatten op te leveren waarmee de waterbeheerder op een eenvoudige en betrouwbare manier een uitspraak kan doen over de mate van baggeraanwas en de invloed van potentiële maatregelen daarop. Maar we mogen ook onze zegeningen tellen. Er is nog nooit zoveel kennis over de interne eutrofiëring in verschillende type wateren bij elkaar gebracht als dat nu gedaan is. Maar vooral dat deze kennis vervolgens is doorvertaald in voor de waterbeheerder handzame producten is een zegening. Er is een stuk kostenefficiënter, op basis van enkele relatief eenvoudige laboratoriumexperimenten, een uitspraak te doen over de mate van nalevering van stikstof en fosfor vanuit de waterbodem en hoe de chemische route zich verhoudt tot biologische routes. Nog zo'n zegening. Wij noemden het product dat dit ondersteunt de Quicksan. Er is een tool ontwikkeld, waarmee we een uitspraak kunnen doen of die interne belasting relevant is ten opzichte van de overige belastingen en, indien dit zo is, aan welke maatregelen de waterbeheerder kan denken. Wij noemden dit product de Bodemdiagnose.

Ja, de wereld van de interne eutrofiëring heeft een grote sprong voorwaarts gemaakt gedurende de uitvoerperiode van BaggerNut, daarvan ben ik overtuigd. Het heeft kennis en producten opgeleverd die ik zelf gebruik en toepas in de uitvoering van mijn werk als systeemanalist en ecooloog bij een waterschap, in mijn geval het Hoogheemraadschap van Delfland. Nu al, in wat wie weet ooit in de eutrofiëringwetenschap bekend komt te staan als het jaar nul na BaggerNut.

Ronald Bakkum
penvoerder BaggerNut

SAMENVATTING

Bagger en nalevering van nutriënten vanuit de waterbodem zijn in veel stilstaande wateren in Nederland een grote belemmering voor het verkrijgen van een goede waterkwaliteit. Voorafgaand aan het project BaggerNut is geconstateerd dat waterbeheerders moeilijk kunnen inschatten of er sprake is van deze zogeheten interne eutrofiëring. Daarnaast weten we nog onvoldoende van de processen die baggervorming en interne eutrofiëring veroorzaken. En tot slot is niet goed bekend welke maatregelen effectief zijn in het beperken of stoppen van interne eutrofiëring. In het project BaggerNut wilden we een aantal van deze onzekerheden wegnemen. Er is een tweetal instrumenten ontwikkeld, waardoor waterbeheerders de interne belasting op een betrouwbare maar eenvoudige en goedkope wijze kunnen kwantificeren (de Quickscan) en kunnen nagaan hoe groot de rol van deze belasting is op het watersysteem en met welke maatregelen de nalevering kan worden beperkt (de Bodemdiagnose tool). Hierdoor komt een goede waterkwaliteit en ecologie voor veel wateren dichterbij.

Als belangrijke start van het project is bestaande literatuur over nalevering van nutriënten vanuit de waterbodem bijeen gebracht. De fysisch-chemische routes en de biologische routes zijn beschreven en zoveel mogelijk gekwantificeerd. Om een aantal routes verder te verduidelijken en kwantificeren zijn er veld-, mesocosmos- en laboratoriumexperimenten en metingen gedaan binnen het project.

Door middel van de genoemde experimenten en metingen zijn diverse naleveringsroutes gekwantificeerd. Op 29 locaties verspreid over Nederland, in sloten, vaarten en meren, met zandige, kleiige en venige ondergrond is het oppervlaktewater, het bodemvocht en de bodem bemonsterd. Met in het veld gestoken kolommen zijn in een laboratorium proeven uitgevoerd om de nalevering van nutriënten van de waterbodem naar de waterlaag te meten. De genomen monsters zijn uitgebreid geanalyseerd aan de hand van een aantal parameters. Deze metingen en experimenten hebben het inzicht opgeleverd dat de concentratie opgelost fosfor in het bodemvocht de meest nauwkeurige voorspelling geeft van de nalevering van fosfor uit de bodem. De temperatuursafhankelijkheid is ook bepaald, waardoor een inschatting gegeven kan worden van het verloop van de nalevering gedurende de seizoenen. De methode van bodemvochtbemonstering is in een protocol en in een filmpje vastgelegd zodat alle waterbeheerders deze eenvoudige methode ook kunnen uitvoeren.

Wanneer een voorspelling gewenst is van de nalevering na baggeren kan het beste de concentratie Olsen-P in de onderlaag gebruikt worden. Een interessant inzicht is ook dat de nalevering van fosfor goed correleert met de nalevering van stikstof. Het voorspellen van de baggerproductie blijft lastig en er is geen goede indicator gevonden om de afbraaksnelheid van de bodem gemakkelijk te kunnen bepalen.

De experimenten met planten tonen dat door afbraak van planten een grote flux van nutriënten naar de waterlaag kan ontstaan. Bij een maximale bedekking kan dit een flux van 100 mg P per vierkante meter per dag opleveren, gedurende de eerste 50 dagen. De temperatuur heeft hierop een grote invloed. De experimenten met vissen laten zien dat de aanwezigheid van witvis in hoge dichtheden zorgt voor een lagere fosfaatconcentratie in het water, door betere aerering van de bodem. We praten hier over concentraties en niet over fluxen, deze vertaalslag is nog niet gemaakt. Karpers en brasems verhogen de troebelheid van het water

enorm en verlagen daardoor het doorzicht. Naast directe predatie op zoöplankton zorgt dit in de experimenten voor een afname van ondergedoken waterplanten.

Experimenten met kroos laten zien dat de aanwezigheid van een gesloten kroosdek zorgt voor een drastische daling in zuurstofconcentraties in de waterlaag en toplaag van de bodem. Mobilisatie van P en accumulatie van ammonium in het water nemen hierdoor toe. Experimenten gericht op de rol van zuurstof tonen dat een geringe daling van zuurstofconcentraties zorgt voor een verhoging van de mobilisatie van P, met name in ijzerrijke bodems.

Om een Quickscan voor interne nalevering te kunnen maken, zijn de gegevens uit de veldmetingen en experimenten diepgaander bestudeerd en zijn relaties afgeleid. Hieruit kwam naar voren dat de beste indicator voor fosfaatnalevering, het P-gehalte in het porievocht, een lineaire relatie vertoont met de nalevering van P vanuit de bodem. Voor bodems met een hoog aandeel aan beschikbaar ijzer is de relatie anders. De Fe:P en de Fe:S ratio's in het porievocht kunnen dan worden gebruikt om een goede inschatting van de nalevering te maken. De inschatting van de nalevering van P door middel van totaalgehalten van de bodem is ook mogelijk. Dan is totaal-P de beste indicator. Dit geldt echter alleen wanneer de Fe-S/P ratio kleiner is dan 1,4. Het Olsen-P gehalte heeft een lineaire relatie met de P nalevering en is een goede indicator voor het inschatten van de nalevering na baggeren.

De nalevering in de experimenten nam lineair toe met de temperatuur, de correctiefactoren hiervoor zijn opgenomen in de Quickscan tool.

Om de berekende nalevering in het watersysteem te beschouwen, is de Bodemdiagnose ontwikkeld. De Bodemdiagnose geeft een advies over de mate waarin de waterbodem het halen van de KRW-doelen belemmert. Dit doet de tool door de interne processen zo-veel mogelijk te kwantificeren en de impact van deze processen ten opzicht van de externe belasting te bepalen. De interne processen die worden gekwantificeerd zijn diffusie/dispersie, opwerveling en bezinking van zwevend stof en de productie van detritus.

De bevindingen uit de veldmetingen, experimenten en de Quickscan relaties zijn verwerkt in deze tool. Verder zijn andere bestaande kennisregels van interne processen bijeengebracht en gebruikt. De handreiking en tool zijn zo opgezet dat ze de waterbeheerder eerst leiden door een eerste diagnose. Deze diagnose geeft een advies of het gebruik van de Bodemdiagnose aangeraden wordt en zo ja, voor welke onderdelen. Vervolgens wordt een analyse gemaakt voor één of meer modules van de tool. Er zijn drie modules beschikbaar: het doorzicht, de nutriëntenbalans en de zuurstofhuishouding. Wanneer zwevende deeltjes de beperkende factor zijn voor de waterkwaliteit, wordt de eerste module gebruikt. Als nutriënten het grootste probleem vormen, wordt de tweede module gebruikt. De module zuurstof geeft een inschatting van het risico op lage zuurstofconcentraties door de bodem. Voor de modules moeten verschillende parameters worden ingevoerd, voor de module nutriëntenbalans geldt dat een water- en stoffenbalans moet worden ingevoerd. De tool berekent vervolgens met de gekozen module de autonome ontwikkeling op basis van een balansmodel. De output van het model is de concentratie nutriënten in de bodem en in het oppervlaktewater over meerdere jaren. De EKR scores worden ook berekend, zodat kan worden bekeken of het KRW-doel wordt behaald.

Het effect van maatregelen kan worden berekend door de relevante invoer of instellingen in de Bodemdiagnose te wijzigen. Voor vier typen maatregelen, namelijk het reduceren van opwerveling, baggeren, afdekken van de waterbodem en het toevoegen van P-bindende stoffen, worden handvatten beschreven voor het wijzigen van de invoer. Door de gewenste

module daarna te gebruiken kan de ontwikkeling op het watersysteem worden berekend. Deze kan vervolgens worden vergeleken met de autonome ontwikkeling.

BaggerNut levert inhoudelijke rapporten en een aantal tools op waarmee waterbeheerders nu de interne nalevering kunnen kwantificeren, kunnen kijken of de bodem een probleem vormt voor de KRW-doelen, en geholpen worden hoe ze iets aan de nalevering van de bodem kunnen doen. En bovendien is een concrete diagnose opgesteld voor een aantal waterlichamen. Voor deze waterlichamen is het realiseren van de KRW doelen door middel van kosteneffectieve maatregelen een stap dichterbij.

BAGGERNUT, MAATREGELEN BAGGEREN EN NUTRIËNTEN

INHOUD

1	INLEIDING	8
2	STRUCTUUR VAN HET PROJECT BAGGERNUT	12
	SAMENWERKINGSVERBAND	12
	KENNISMONTAGE	13
	DEELPROJECTEN	13
3	INLEIDING OP BODEMPROCESSEN EN INTERNE NALEVERING	15
	WAT VERSTAAN WE ONDER NALEVERING	15
	NETTO-BRUTO	15
	NALEVERINGSROUTES	16
	FOCUS VAN BAGGERNUT	17
4	KENNISONTWIKKELING DOOR VELDMETINGEN EN EXPERIMENTEN	18
	NALEVERINGSEXPERIMENTEN	18
	EXPERIMENTEN MET VISSSEN, PLANTEN, ZUURSTOF EN TEMPERATUUR	24

5	ONTWIKKELING QUICKSCAN	31
	CHEMISCHE NALEVERINGSROUTES	32
	FYSISCHE EN BIOLOGISCHE NALEVERINGSROUTES	34
	UITVOERING VAN DE QUICKSCAN: MONSTERNAME EN VERWERKING	35
6	ONTWIKKELING BODEMDIAGNOSE	38
	DE WATER- EN STOFFENBALANS	38
	DE BODEMDIAGNOSE IN HET KORT	39
	FASE 1, DE EERSTE DIAGNOSE	40
	FASE 2, BEREKENING VAN DE ACTUELE TOESTAND	41
	FASE 3, BEREKENING VAN DE AUTONOME ONTWIKKELING	44
	FASE 4, MAATREGELEN DOORREKENEN	45
	RESULTATEN	45
7	SYSTEEMANALYSES	46
	WATERSYSTEEMANALYSES DOOR ARCADIS EN/OF DELTARES	47
	WATERSYSTEEMANALYSES DOOR WITTEVEEN+BOS EN HET HOOGHEEMRAADSCHAP VAN DELFLAND	50
	GELEERDE LESSEN	52
8	KENNIS DELEN	54
9	GEBRUIK VAN DE RESULTATEN VAN BAGGERNUT	59
	GEBRUIK QUICKSCAN EN BODEMDIAGNOSE TOOL	59
	STAP 1; EERSTE DIAGNOSE	59
	STAP 2; BODEMDIAGNOSE VOOR ZWEVEND STOF	61
	STAP 3; BODEMDIAGNOSE VOOR NUTRIËNTENBALANS	61
	STAP 4; NAAR MAATREGELEN	62
	STAP 5; VAN HUISARTS NAAR SPECIALIST	63
	GEBRUIK RESULTATEN INTERNE EUTROFIËRING EN SYSTEEMANALYSES	63
	GEBRUIK RESULTATEN KENNISMONTAGE EN EXPERIMENTEEL ONDERZOEK	64
	REFERENTIES	65

1

INLEIDING

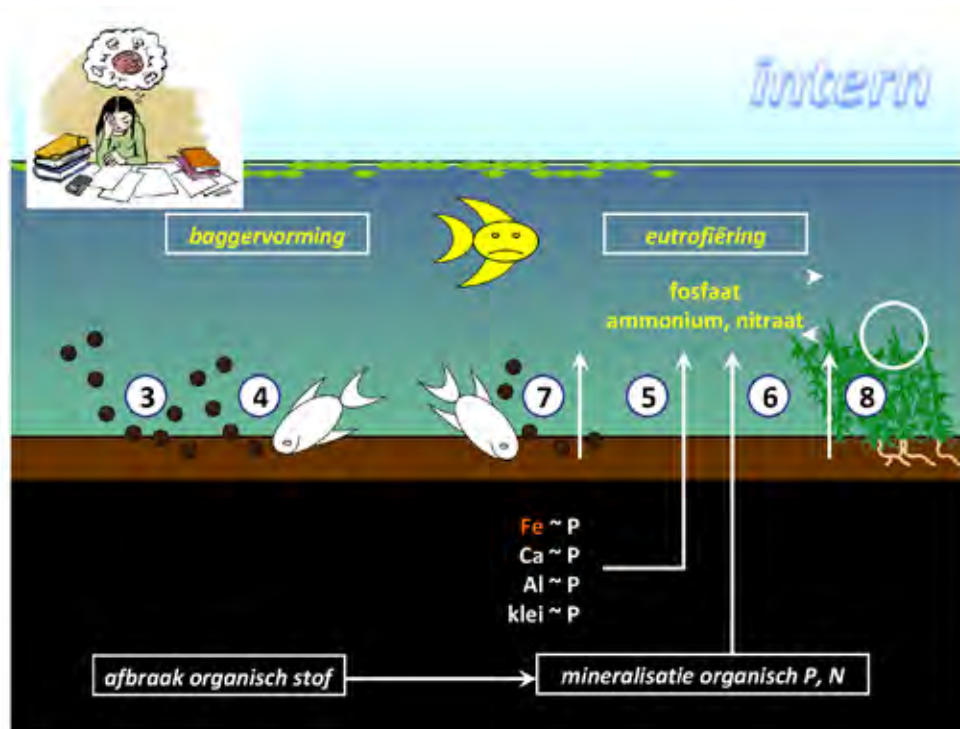
NAAR EEN KOSTENEFFECTIEVE MANIER OM MET INTERNE EUTROFIËRING OM TE GAAN

Algenbloeien, dikke kroosdekken, explosieve ontwikkeling van waterplanten, allemaal problemen die de waterbeheerder tegen kan komen en die er toe leiden dat de doelen voor de Europese Kaderrichtlijn Water niet worden gehaald. De belasting van het oppervlaktewater met nutriënten is één van de belangrijkste oorzaken voor het niet halen van de doelen in 2015 (Ligtvoet et al., 2008). Zo worden de doelen voor fosfor in regionale wateren in zeer veel gevallen niet gehaald. In bijna 50% van de waterlichamen zullen de fytoplanktondoelen niet worden gehaald. Dat heeft ook een sterk negatief effect op de andere biologische kwaliteitselementen (Pot, 2005). Om de KRW-doelen te behalen moet dus de nutriëntenbelasting verder omlaag. Dit probleem heeft duidelijk raakvlakken met andere beleidsterreinen. Denk hierbij aan het niet voldoen aan de Zwemwaterrichtlijn en het niet halen van Natura2000 beheerdoelen.



De overlast door algenbloeien, kroosdekken en overmatige plantengroei, en de schade aan natuur en milieu vraagt om maatregelen. Kostbare maatregelen, veelal. Zo is volgens de Ex ante evaluatie KRW voor EUR 332.000.000,- aan baggermaatregelen gepland (Ligtvoet et al., 2008). Maar om kosteneffectieve maatregelen te ontwikkelen is kennis nodig over de bronnen van de voedingsstoffen. Is de bron van nutriënten wel de bagger of is het een andere? En die kennis ligt vaak nog niet voor het oprapen. En als de bronnen al bekend zijn, moet ook beoordeeld worden in hoeverre deze bijdragen aan de problemen, die in het watersysteem worden waargenomen. Zonder deze kennis is het bedenken van maatregelen tasten in het duister.

De zoektocht naar de bronnen van de nutriënten begint in de regel met een watersysteemanalyse. Het handboek "van helder naar troebel en weer terug" (Jaarsma et al. 2008) biedt hiervoor geschikte handvatten. De basis van een watersysteemanalyse is een waterbalans. Die kan worden opgesteld met behulp van modellen als Sobek, Duflow of simpel in Excel. Daarmee worden de waterstromen van, naar en door het watersysteem zichtbaar. Voor veel waterbeheerders is dit goed uitvoerbaar. De volgende stap is het opstellen van een nutriëntenbalans, door de nutriëntenconcentraties in alle waterstromen te meten. Ook deze stap is meestal nog wel uitvoerbaar. De Nationale Emissieregistratie is een bruikbare bron van geregionaliseerde emissiegegevens (RIVM, 2012). En zo zijn er nog wel



meerdere. Vaak is het ook nog mogelijk om puntbronnen (RWZI's) of diffuse bronnen (vogels: Hahn et al. 2007; 2008) in de nutriëntenbalans op te nemen. Daarmee is de externe eutrofiëring bekend. Maar dan.... Een belangrijke bron van nutriënten kan de waterbodem zijn, waaruit veel nutriënten kunnen vrijkomen. Dat wordt interne eutrofiëring of nalevering genoemd. Ouder (Lijklema, 1985; 1986; Boers, 1986; 1991; Sas, 1989) en recenter (Jeppesen et al., 2005; Lamers et al., 2001; Lamers, 2006; Smolders et al., 2006; Michielsen et al., 2007; Gulati et al., 2008) onderzoek laat zien dat de hoeveelheden nutriënten die uit de bodem vrijkomen bijzonder groot kunnen zijn. Deze interne eutrofiëring kan zo sterk zijn dat herstel van de natuurkwaliteit met meer dan tien jaar wordt vertraagd of zelfs geheel wordt verhinderd (Scheffer 2001; Sondergaard et al. 2003; Gulati et al. 2008). De Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water (Ligtvoet et al., 2008) laat zien dat bij het uitvoeren van alle haalbare en betaalbare maatregelen geen 100% doelbereik wordt gerealiseerd. In die gevallen zal er gezocht moeten worden naar KRW-maatregelen om de interne eutrofiëring sterk te verminderen. Volgens voorlopige schattingen zal dat voor 50% van de waterlichamen in Nederland nodig zijn (ter Heerdt, 2008).

Helaas was de mate van interne nalevering tot op heden niet eenvoudig te kwantificeren. En ook niet opgenomen in een bron als de emissieregistratiedatabase, die zich puur focust op de externe bronnen. Dit tekort aan begrip van het totale plaatje staat het bedenken van (kosten)effectieve maatregelen in de weg.

In het voorjaar van 2009 zijn door waterbeheerders uit het Nederlands Platform van Waterschapsecologen de naar hun idee belangrijkste kennisvragen opgesteld. De focus van de kennisvragen betreft ingreep-effect kennis, in het bijzonder op ecologisch gebied. Deze kennisvragen zijn vervolgens uitgezet bij wetenschappelijke instanties (universiteiten en kennisinstituten). Deze instanties hebben inhoudelijk gereageerd op de kennisvragen, door aan te geven wat al bekend was uit wetenschappelijk onderzoek en wat niet (zie STOWA, 2012). Uit de kennisvragen 1: Interne P-belasting en hoe deze zo nodig aan banden te leggen en 19: Baggeren als KRW-maatregel, is het project BaggerNut voortgekomen. Het acroniem BaggerNut staat hierbij voor "maatregelen BAGGERen en NUTriënten.

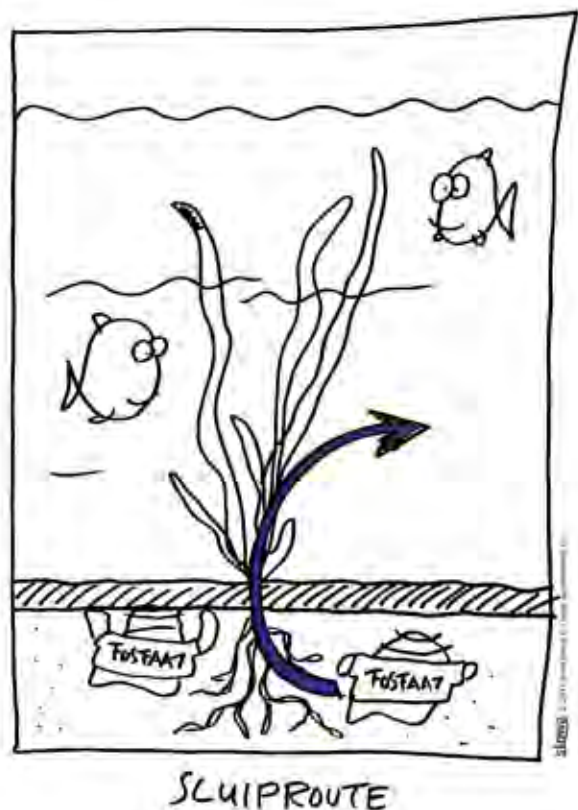
Voor het bepalen van de interne eutrofiëring bestaan methodes. De beste en meest betrouwbare, is door middel van kolomproeven (Boers 1991; Voerman 2010). Kolommen met ongestoorde bodem worden in het laboratorium gezet, met een laag water van verschillende samenstelling er boven. Uit de verandering van de nutriëntconcentraties kan de mate van interne eutrofiëring worden bepaald. Maar deze methode is arbeidsintensief en daardoor zeer kostbaar. Een set van 12 kolommen en de bijbehorende bodem en watermonsters in het veldonderzoek binnen BaggerNut kostte €23.000,-. Daarmee konden de nalevering op één locatie goed en op twee locaties globaal bepaald worden. Dergelijk kosten staan een routinematige toepassing stevig in de weg. Bovendien kunnen dergelijke analyses alleen uitgevoerd worden door gespecialiseerde onderzoeksinstituten.

Daarom worden ook wel goedkopere bepalingen als de Olsen-P extractie of de lactaat-acetaat extractie gebruikt. Deze methodes zijn echter ontwikkeld voor de landbouw, de nalevering vanuit waterbodems geven ze niet goed weer. En nog vervelender: deze methodes geven vooral het risico op nalevering weer en niet de actuele aanvoer in gram per m² per jaar. En voor het opstellen van een bruikbare nutriëntenbalans is het nu juist de actuele aanvoer het "getal" dat we nodig hebben.

Er bestond en bestaat een grote behoefte aan een betrouwbare, maar eenvoudige en betaalbare methode om de nalevering in g./m²./jr te bepalen, die door elk laboratorium uit te voeren is. Het ontwikkelen van deze "Quickscan"-methode is één van de doelen en peilers van het project BaggerNut.

Als de nutriëntenbelasting, intern en extern, bekend is, komen we bij de volgende stap: beoordelen of en in hoeverre die verschillende belastingen de oorzaak van het probleem met de waterkwaliteit kunnen zijn. Dat hangt niet alleen van de hoogte van die belasting af, maar ook van de eigenschappen van het watersysteem: oppervlakte, diepte, strijklengte, verblijftijd, visstand, plantengroei, buffering, kleur etc. Een belasting die in het ene systeem veel te hoog is en tot algenbloei leidt, is in een ander systeem geen probleem. Bovendien is het goed mogelijk dat het probleem niet veroorzaakt blijkt te worden door een te hoge belasting alleen, maar ook, of vooral, door zwevende stoffen. Zie ook hiervoor het boekje "van Helder naar Troebel en weer terug" (Jaarsma et al. 2008). Voor het doen van een dergelijke beoordeling zijn verschillende modellen beschikbaar als "PCLake/PCDitch" (Janse 2005), het "Screeningsmodel" (Hin et al. 2010) of Delft3D-ECO (Deltares, 2012). In het diagnosestadium van de systeemanalyse wordt toepassing van dergelijke modellen echter soms als te complex en te kostbaar beschouwd; enkele tienduizenden euro's. Er is daarom behoefte aan een betrouwbare, laagdrempelige en betaalbare "Bodemdiagnose tool". Het ontwikkelen hiervan is een tweede belangrijk doel en peiler van BaggerNut.

Bij verschillende waterschappen leefde in 2009 al de sterke behoefte om de mate van in-terne eutrofiëring te bepalen en systeemanalyses uit



te voeren, al dan niet in combinatie met elkaar. Deze behoefte is ingevuld in de uitvoering van BaggerNut. Het bepalen van de interne eutrofiëring wordt gedaan op de “moeilijke” manier, dus met kolomproeven. Dat liep parallel met de ontwikkeling van de Quicksan. De Bodemdiagnose tool is ontwikkeld en toepassingsgereed gemaakt tijdens de uitvoering van de systeemanalyses. Uitvoering van deze toepassingen vormen een derde doel van BaggerNut. Deze benadering bood de zeldzame mogelijkheid om de Quicksan en de Bodemdiagnose tool te baseren op recente informatie uit de praktijk.

Al sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw wordt er onderzoek naar interne eutrofiëring gedaan. Er is dus een enorme hoeveelheid informatie aanwezig. Maar deze informatie was slecht toegankelijk en beschikbaar. Voor het ontwikkelen van de instrumenten en het uitvoeren van de toepassing is binnen BaggerNut zo veel mogelijk bestaande informatie verzameld. Deze beschikbare informatie is vervolgens gebruikt om belangrijke kennisleemtes te identificeren. En omdat de ontbrekende kennis van belang is, is binnen BaggerNut het nodige aanvullende experimenteel onderzoek gedefinieerd en uitgevoerd om deze kennis te ontwikkelen. Dit is het vierde doel van BaggerNut.

BaggerNut levert belangrijke nieuwe kennis op. De oude en nieuw ontwikkelde kennis, samen met de ontwikkelde instrumenten en de resultaten van de toepassingen, wordt inzichtelijk en beschikbaar gemaakt in de vorm van symposia, publicaties en rapporten. Beschikbaar voor de wetenschap en de waterbeheerder; het vijfde doel van BaggerNut.

2

STRUCTUUR VAN HET PROJECT BAGGERNUT

SAMENWERKINGSVERBAND

Het Project BaggerNut is een samenwerkingsverband van twaalf waterschappen, twee kennisinstituten, twee ingenieursbureaus, een waterschapslaboratorium en STOWA (figuur 2.1). Het project is mede mogelijk gemaakt door een subsidie vanuit het Innovatie-programma Kaderrichtlijn Water van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, uitgevoerd door het Agentschap NL (zie projectaanvraag BaggerNut 2009). Door deze samenwerking wordt veel bestaande kennis bijeengebracht, is er een grote laboratorium- en onderzoekscapaciteit, is er de mogelijkheid om op grote schaal veldonderzoek en systeemonderzoek uit te voeren en is er toegang tot het bestaande modelinstrumentarium. De grote inbreng van de waterschappen garandeert de praktische toepasbaarheid van de producten. De kennisinstituten en ingenieursbureaus borgen de wetenschappelijke kwaliteit. Het waterschapslaboratorium kijkt of de resultaten toepasbaar zijn. STOWA/Watermozaïek draagt bij aan de integratie van het project met de andere lopende projecten en de verspreiding en verankering van de producten. Een stuurgroep en een projectgroep, waarin de diverse partners vertegenwoordigd waren, hielden de vorderingen bij, bediscussieerden de resultaten en stuurden het verloop van het project bij.

FIGUUR 2.1 DE PARTNERS BINNEN HET PROJECT BAGGERNUT



KENNISMONTAGE

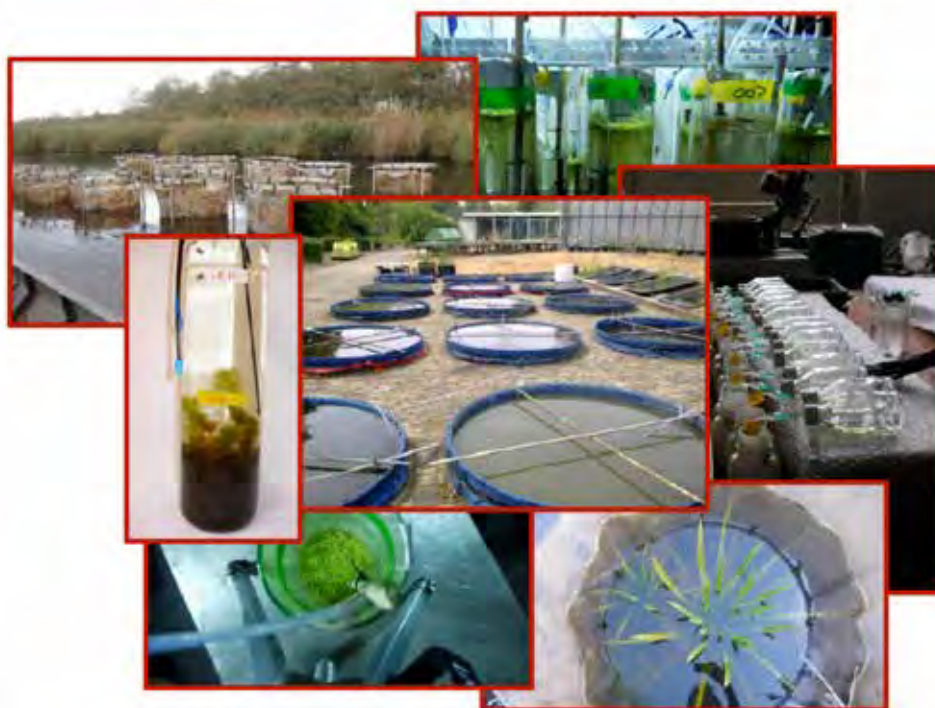
Het project BaggerNut is begonnen met een uitgebreide “kennismontage”, uitgevoerd door de kennisinstituten en ingenieursbureaus, ieder vanuit zijn eigen expertise. Daarbij werd intensief gebruik gemaakt van literatuuronderzoek. Maar ook de expertise van de onderzoeksinstituten, ingenieursbureaus en waterschappen vormde een belangrijke input. Hierdoor ontstond een “state of the art” kennispakket. De gevonden kennis werd door de experts verwerkt in schema’s en tabellen, die zowel kwalitatieve als kwantitatieve informatie bevatten. Tijdens de kennismontage werd ook duidelijk welke onzekerheden en kennisleemten er nog bestonden. Op basis hiervan is een onderzoeksprogramma opgezet waarin door experimenteel onderzoek de nodige kennis werd ontwikkeld, de onzekerheden werden weggenomen en de kennisleemten opgevuld. De nieuw ontwikkelde kennis werd in de kennismontage opgenomen. De resultaten van de kennismontage vormen de basis van de verschillende deelrapporten.

DEELPROJECTEN

Om een complex project als BaggerNut overzichtelijk te houden zijn vijf deelprojecten gevormd, waarin de verschillende partners vanuit hun expertise aan verschillende onderwerpen werkten.

- In het deelproject “Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND)” werkten B-WARE en de Radboud Universiteit Nijmegen samen aan het bepalen van de interne eutrofiëring. In 29 waterlichamen is voor de deelnemende waterschappen de interne eutrofiëring bepaald met kolomproeven. Onderdeel daarvan is een reeks experimenten om na te gaan hoe de bodem in de kolommen onder verschillende omstandigheden reageert. De resultaten van dit deelproject vormen een belangrijke input voor de ontwikkeling van de Quickscan.
- Het deelproject “Experimenten RUN en B-Ware” onderzocht door middel van experimenten de rol van vissen, planten, zuurstof en temperatuur bij de nalevering van nutriënten. De definitie van de experimenten is daarbij gebaseerd op geïdentificeerde kennislacunes op basis van literatuuronderzoek. Een deel van dit onderzoek diende als bevestiging van het MIND-onderzoek (figuur 2.2).
- In het deelproject “Quickscan voor de bepaling van de nalevering van nutriënten door de waterbodem” ontwikkelden Witteveen+Bos, in samenwerking met de Radboud Universiteit Nijmegen en B-WARE, de Quickscan.
- In het deelproject “Bodemdiagnose” ontwikkelden Arcadis en Deltares de Bodemdiagnose tool. Daarbij werd intensief gebruik gemaakt van de in de andere werkpakketten verzamelde en ontwikkelde kennis.
- In het deelproject “Systeemanalyses” zijn voor 25 waterlichamen een systeemanalyse inclusief toepassing van de Quickscan en de Bodemdiagnose tool uitgevoerd. Een substantieel deel daarvan is uitgevoerd door Arcadis en Deltares, een klein deel door Witteveen+Bos. Dat bood tegelijkertijd de mogelijkheid om de ontwikkeling van de “Bodemdiagnose” vorm te geven en de uiteindelijk ontwikkelde tool te testen en verbeteren.

FIGUUR 2.2. EEN OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE EXPERIMENTEN



3

INLEIDING OP BODEMPROCESSEN EN INTERNE NALEVERING

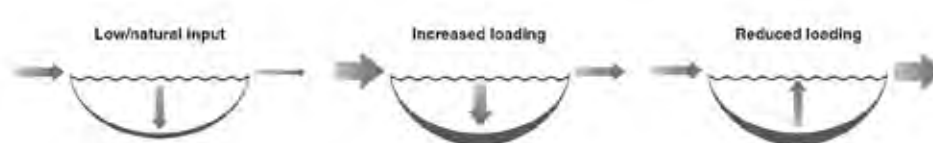
In dit hoofdstuk geven we een inhoudelijke inleiding op bodemprocessen en interne nalevering. We gaan in op de definitie van interne nalevering, de typen routes die er zijn in het systeem voor interne nalevering en de bepalende omgevingsfactoren die die routes beïnvloeden. Vervolgens geven we aan op welke routes en omgevingsfactoren BaggerNut zich zal richten. In het rapport 'Quick Scan' is meer diepgaande informatie te vinden over bodemprocessen en interne nalevering.

WAT VERSTAAN WE ONDER NALEVERING

Met nalevering wordt in dit rapport bedoeld de verplaatsing van nutriënten (N & P) vanuit de waterbodem naar de waterkolom. Vooral de grootte van de stroom (flux) is erg belangrijk. Een naleveringsflux wordt vaak uitgedrukt in eenheden van mg nutriënten/m²/dag of g nutriënten/m²/jaar.

Nalevering van de bodem ontstaat vaak wanneer er na een periode van hoge nutriëntenbelasting veel nutriënten in de bodem zijn opgeslagen. Wanneer de externe nutriëntenbelasting wordt verminderd, kunnen deze door een aantal processen weer vrijkomen. De bodem werkt dus als buffer voor nutriënten (figuur 3.1).

FIGUUR 3.1 ILLUSTRATIE VAN VERANDERING VAN DE EXTERNE AANVOER, RETENTIE EN (NETTO) NALEVERING VAN FOSFAAT IN EEN MEER. DE DIKTE VAN DE PIJLEN GEEFT DE RELatieve GROOTTE VAN DE FLUX WEER (NAAR SONDERGAARD, ET. AL. 2003)



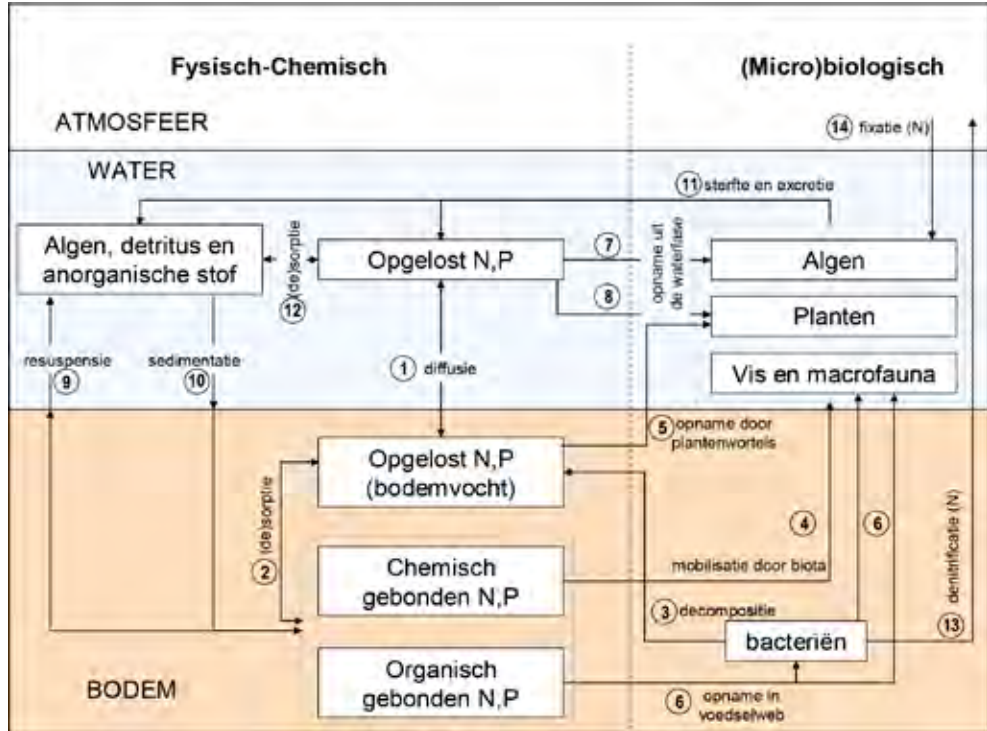
NETTO-BRUTO

De *netto* nalevering (wat wordt er meetbaar verplaatst aan de hand van concentratie-veranderingen) bestaat uit *bruto* componenten: een flux vanuit de waterbodem naar de waterkolom en vice versa. Wanneer er gesproken wordt van een naleverende waterbodem is de flux vanuit de waterbodem naar de waterkolom groter dan de omgekeerde flux. Wanneer de waterbodem nutriënten bindt, is de flux vanuit de waterkolom richting waterbodem groter. Dit zegt echter niets over de bruto fluxen; bijvoorbeeld wanneer er geen nalevering of binding is, wil niet zeggen dat er geen uitwisseling van nutriënten tussen waterbodem en waterkolom plaatsvindt, alleen de resultante van deze uitwisselingen is nul. Het is dus belangrijk niet alleen de netto nutriëntstromen in beeld te hebben, juist de bruto stromen kunnen veel informatie over het functioneren van het systeem geven.

NALEVERINGSROUTES

Er zijn veel routes waarlangs nutriënten vanuit de waterbodem in de waterkolom terecht kunnen komen. Deze zijn verdeeld in fysisch-chemische en (micro)biologische processen (figuur 3.2). De routes zijn in het figuur weergegeven met de nummers 1 tot en met 14.

FIGUUR 3.2 BELANGRIJKSTE ROUTES VOOR FOSFOR EN STIKSTOF TUSSEN WATERBODEM EN WATERKOLOM



Bepalende factoren voor de grootte van de naleveringsroutes

Belangrijke omgevingsfactoren die invloed hebben op de routes uit figuur 1.3 zijn opgenomen in tabel 3.1. De tabel is niet bedoeld om uitputtend te zijn in de factoren die invloed hebben op de routes, maar om een aantal invloedrijke factoren te laten zien. Een aantal factoren heeft zowel negatieve als positieve invloed op de nalevering doordat ze tegengestelde effecten hebben op verschillende routes. Planten hebben bijvoorbeeld een positieve invloed op sedimentatie, maar mobiliseren tegelijkertijd wel P uit de bodem.

De processen zijn op dezelfde wijze genummerd als in figuur 3.2. In veel gevallen zal onderzoek niet een specifieke route kunnen kwantificeren, maar een combinatie van routes. Bijvoorbeeld, nalevering door planten kan verlopen via de mobilisatie van chemisch gebonden P (4) en door opname van opgelost P uit het bodenvocht (5). Ook kunnen planten de diffusie van P naar de waterlaag (1) versterken doordat ze een zuurstofarm milieu creëren.

TABEL 3.1 NALEVERINGSROUTES EN BELANGRIJKE FACTOREN DIE INVLOED HEBBEN OP DE ROUTE. IN ROOD FACTOREN DIE POSITIEF BIJDRAGEN AAN EEN FLUX RICHTING WATERKOLOM, IN GROEN FACTOREN DIE POSITIEF BIJDRAGEN AAN VASTLEGGING IN DE WATERBODEM VOOR DE GENOEMDE ROUTE; IN ZWART NEUTRAAL

hoofdroute	vorm in bodem	route	nr.	sturende factoren
fysisch-chemisch	particulair (gebonden) p, algen, ortho p	resuspensie	9	wind, vis, planten, stroming
	particulair (gebonden) p, algen, ortho p	sedimentatie	10	wind, vis, planten, stroming
	chemisch gebonden p	(de)sorptie precipitatie/ oplossen	2 & 12	zuurgraad, redoxpotentiaal, [fe], [al], [ca], alkaliniteit, anaerobie, sulfaat, zuurstof
	ortho-p	diffusie	1	concentratieverschillen
(micro) biologisch	organisch (gebonden) p	decompositie	3	bacteriën, zuurgraad, redox, anaerobie, alkaliniteit, zuurstof, nitraat, sulfaat
	chemisch gebonden p	mobilisatie	4	(benthivore) vis (vertering)
	chemisch gebonden p	mobilisatie	4	planten (via zuurgraad & aerobie)
	ortho-p	opname	5	planten
	organisch (gebonden) p	metabolisatie	6	benthische macrofauna en vis, zuurgraad, redox

Een aantal van deze routes en de factoren die de routes beïnvloeden zijn bekend uit ander onderzoek. Binnen BaggerNut is deze kennis door middel van een literatuurstudie bij elkaar gebracht. De chemische en biologische routes, bepalende factoren en bekende indicatoren zijn in het rapport 'Quick Scan' terug te lezen.

FOCUS VAN BAGGERNUT

Binnen BaggerNut kijken we zowel naar de fysisch-chemische als de biologische routes.

“Chemische” nalevering

Traditioneel wordt veel gekeken naar de “chemische” nalevering van nutriënten. Dit is feitelijk route (1) uit figuur 3.2, het transport (middels diffusie) van opgeloste nutriënten vanuit het bodemvocht naar de waterlaag. Daarachter zitten uiteraard enkele chemische en biologische “bodempromessen” die dit faciliteren, zoals afbraak van organisch materiaal (3) en desorptie van P gebonden aan bodemcomplexen (2). Vooral de laatste jaren is ook veel gewerkt aan indicatoren voor de kwantificering van deze route. Een belangrijk deel van het onderzoek, de kolomexperimenten en de Quickscan, waren ook gericht op het in beeld brengen en kwantificeren van deze route.

Biologische routes

De invloed van de biota (algen, planten, vissen, macrofauna) op de nalevering beoogden we in dit project inzichtelijk te maken en te kwantificeren. Dit gebeurde door experimenten, veldwerk en literatuurstudie. Voorbeelden zijn de opname van nutriënten door planten uit de bodem, bioturbatie door macrofauna en het foerageren van vis in de bodem.

Sedimentatie en resuspensie

Ook sedimentatie en resuspensie zijn van belang, zij het vooral voor de uitwisseling van particuliere deeltjes (algen, detritus en anorganische deeltjes) tussen bodem en water. Deze partikels kunnen overigens weer opgeloste nutriënten binden, opnemen (algen) of afstaan. Niet alleen fysische factoren zoals wind, maar ook de biota beïnvloeden de resuspensie en sedimentatie. Planten beïnvloeden deze processen vooral door een toename van de sedimentatie en een afname van de resuspensie, dit doordat deze de bodem in een geërodeerde toestand houdt. In BaggerNut zijn deze routes alleen bekeken aan de hand van literatuur.

4

KENNISONTWIKKELING DOOR VELDMETINGEN EN EXPERIMENTEN

Ten behoeve van het ontwikkelen van de Quick Scan en de Bodemdiagnose tool is in het project BaggerNut onderzoek uitgevoerd door middel van veldmetingen, experimenten in het laboratorium en mesocosmos-experimenten. Het onderzoek was vooral gericht op het kwantificeren van de chemische en biologische naleveringsroutes. Verschillende typen experimenten zijn uitgevoerd:

- Naleveringsexperimenten. Deze zijn bedoeld om de chemische naleveringsflux te kwantificeren en te kunnen relateren aan metingen aan bodems in het veld;
- Aquarium/kweekvijverexperimenten. Hiermee wordt vooral de biologische flux van nutriënten onderzocht, echter ook seizoensvariatie;
- Mesocosmos-experimenten in het veld. Toetsing van de gevonden relaties onder veldcondities, met bijbehorende voedselwebprocessen.

In dit hoofdstuk worden de aanpak en de resultaten van dit onderzoek toegelicht. Er zijn twee uitgebreide rapporten waarin de experimenten en veldmetingen uitgebreider zijn beschreven, namelijk het rapport 'MIND' en het rapport 'Resultaten en experimenten RUN en B-Ware'.

NALEVERINGSEXPERIMENTEN

De naleveringsexperimenten zijn bedoeld om data te verzamelen over de naleveringspotenties van de bemonsterde waterbodems. Bovendien is er een inschatting gemaakt van de afbraaksnelheid van de bodem, met het oog op de baggerproductie. Met behulp van deze gegevens zijn we in staat zijn om, aan de hand van zo eenvoudig mogelijk te meten parameters, een inschatting te maken van de nutriëntennalevering en baggerproductie in verschillende typen oppervlaktewateren, zonder telkens experimenten te moeten uitvoeren. Bij deze experimenten is ook de rol van twee belangrijke mogelijke stuurvariabelen onderzocht: alkaliniteit (hardheid van het water) en sulfaat.

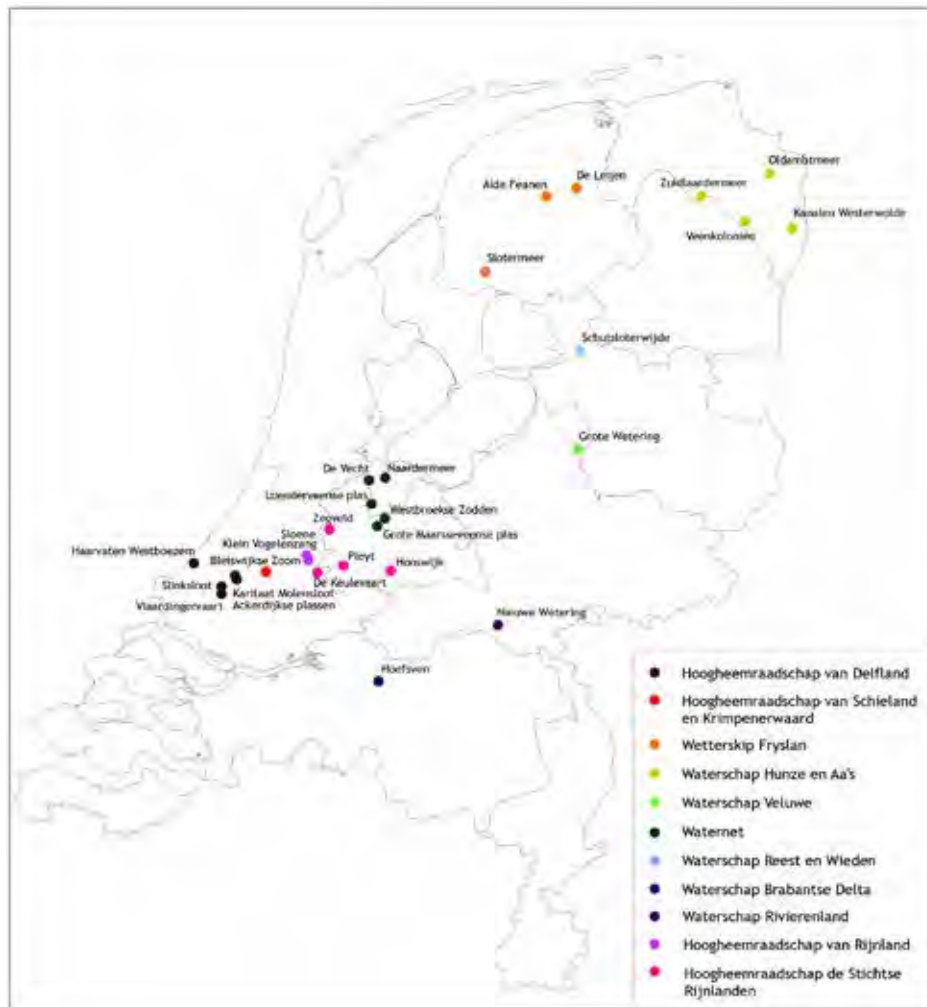
Uitvoering

Ten behoeve van de naleveringsexperimenten zijn gegevens verzameld over de waterbodems van 29 locaties (zie figuur 4.2) die door de waterbeheerders in het project zijn aangedragen. Het betreft gegevens over de samenstelling van de bodem en het porievocht op de locaties zelf en gegevens van de nalevering en afbraak onder verschillende condities in het lab. Alle bodems hebben meerdere behandelingen ondergaan, waarbij in bovenstaand water is gevarieerd in sulfaatgehalte, alkaliniteit, werveling en zuurstof. Iedere behandeling is in triplo uitgevoerd (figuur 4.1).

FIGUUR 4.1. DE CILINDEREXPERIMENTEN IN DE KLIMAATCEL



FIGUUR 4.2 DE LIGGING VAN DE 29 ONDERZOEKSLocatIES VAN BAGGERNUT. DE LOCATIES HEBBEN PER WATER- OF HOOGHEEMRAAD-SCHAP EEN OVEREENKOMSTIGE KLEUR.



Resultaten

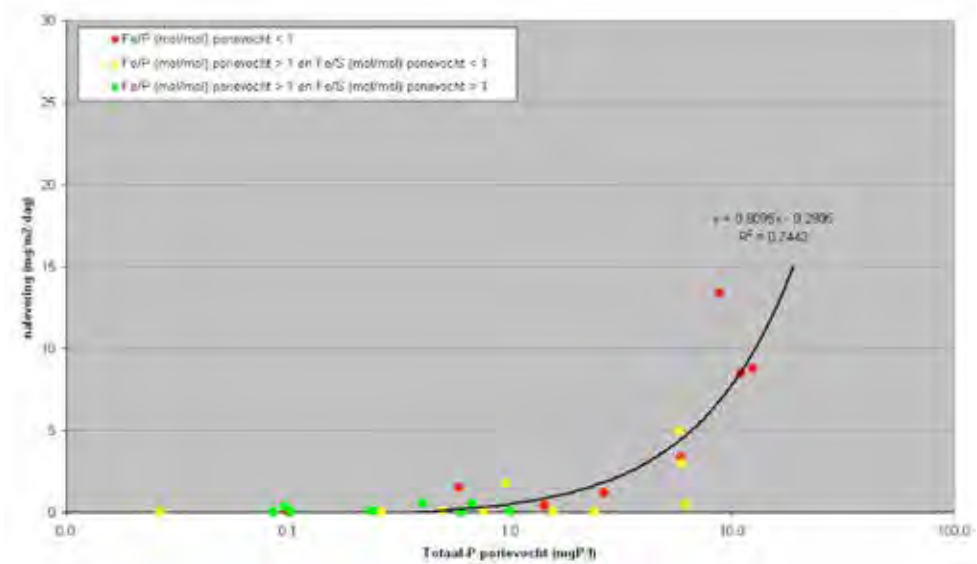
De naleveringsexperimenten hebben een forse hoeveelheid data opgeleverd. Er is aan veel bodem- en bodemvochtparameters gemeten om een goede vergelijking te kunnen maken welke parameters het meest bruikbaar zijn om de nalevering(spotentie) te kunnen inschatten. Er is met de ongeveer 60 parameters die voor alle 29 bodems zijn gemeten, eerst een verkennende analyse uitgevoerd. Hiervoor zijn de parameters opgesplitst in twee categorieën: bodemparameters (parameters die aan

bodem gemeten worden) en porievochtparameters (parameters van het porievocht). Op de parameters zijn multiple regressies uitgevoerd, per categorie en met alle parameters samen, waarbij de best voorspellende parameters geselecteerd worden. De voorspellende waarde voor iedere parameter is berekend voor P-nalevering, N-nalevering en afbraak. Uit deze analyse kwamen een aantal goed voorspellende parameters naar voren: P-totaal, ijzer en sulfaat (zowel in het porievocht en de bodem). De belangrijkste resultaten worden hieronder kort toegelicht.

Relaties met porievocht

De chemische nalevering van P (diffusie vanuit de bodem) kan goed worden voorspeld aan de hand van de P-concentratie in het porievocht (figuur 4.3). In de meeste gevallen laat het gehalte in het poriewater een goede relatie zien met de nalevering onder labcondities. Deze relatie vertoont een zeer sterke gelijkheid met de theoretisch verwachte diffusiesnelheid. In bodems met veel ijzer en weinig zwavel in het porievocht gaat de relatie niet altijd op en is de nalevering soms duidelijk geringer. De ratio's van Fe/P en Fe/S (mol/mol) in het bodemvocht zijn daarom indicatief voor de risico's van nalevering, gunstig is een Fe/P ratio > 1 bij een Fe/S ratio eveneens > 1 (figuur 4.3).

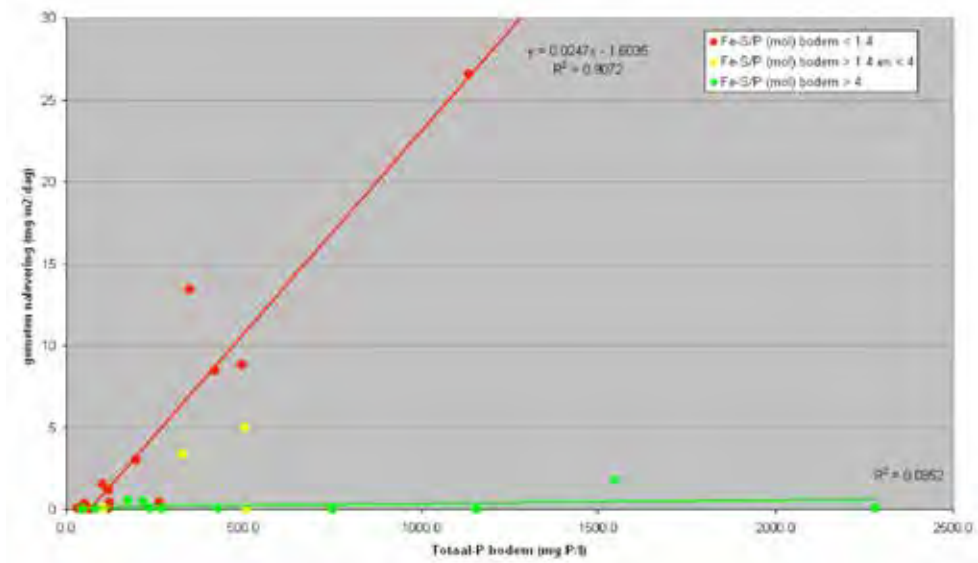
FIGUUR 4.3 DE RELATIE TUSSEN P PORIEVOCHT EN NALEVERING



Relaties met totaalgehalten in de bodem

Ook wanneer naar totaalgehalten in de bodem wordt gekeken, kan een relatie met de nalevering worden gevonden. Daarbij spelen ijzer en zwavel eveneens een cruciale rol. In ijzerrijke bodems met een gering zwavelgehalte is de nalevering gering. In bodems met weinig ijzer of veel zwavel vertoont de nalevering een duidelijke positieve relatie met het P-gehalte. De ratio (Fe-S)/P is indicatief voor de risico's van nalevering; een ratio > 4 (op molbasis) in de bodem is gunstig. Bij ratio's < 1,4 vertoont de nalevering een duidelijke positieve relatie met totaal-P. De duidelijkste relatie wordt gevonden door gebruik te maken van het P gehalte in mg/l versgewicht (zie figuur 4.4). De relatie tussen totaal-P in de bodem en de nalevering is minder duidelijk wanneer het P-gehalte wordt uitgedrukt in drooggewicht.

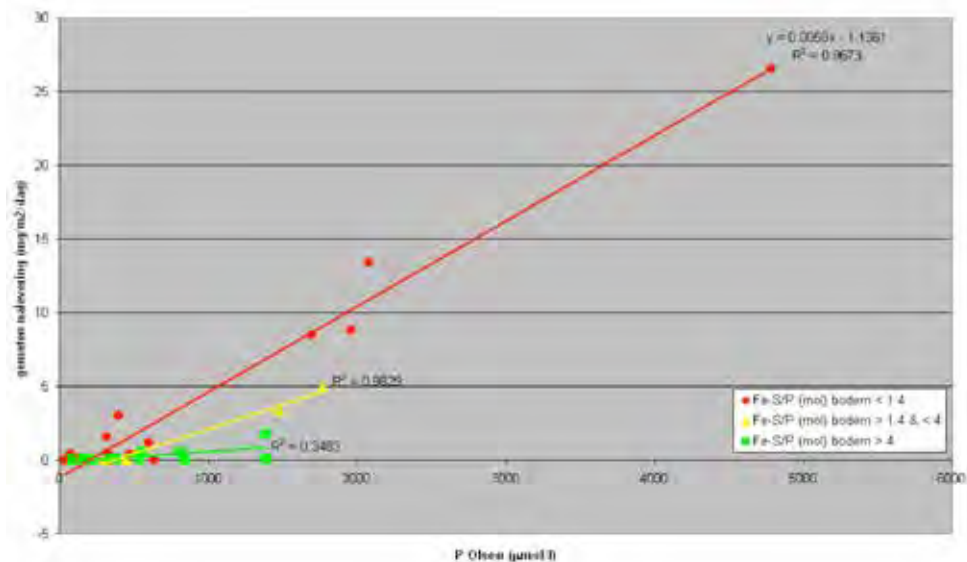
FIGUUR 4.4 DE RELATIE TUSSEN TOTAAL-P IN DE BODEM OP BASIS VAN VERSGEWICHT EN DE GEMETEN P-NALEVERINGSFLUX



Olsen-P

Wanneer naar de data van Olsen-P in de bodem wordt gekeken, is een duidelijke relatie zichtbaar (figuur 4.5). Bij een lage Fe-S/P ratio is er weinig ijzer beschikbaar voor binding van P. Hierdoor is de nalevering hoog (rode lijn). Wanneer de Fe-S/P ratio toeneemt, neemt de kans op nalevering af; Dit is te zien aan de helling van de gele en groene regressielijnen. Bodems met een hoge Fe-S/P-ratio leveren dus minder na dan op basis van de rode regressielijn wordt voorspeld.

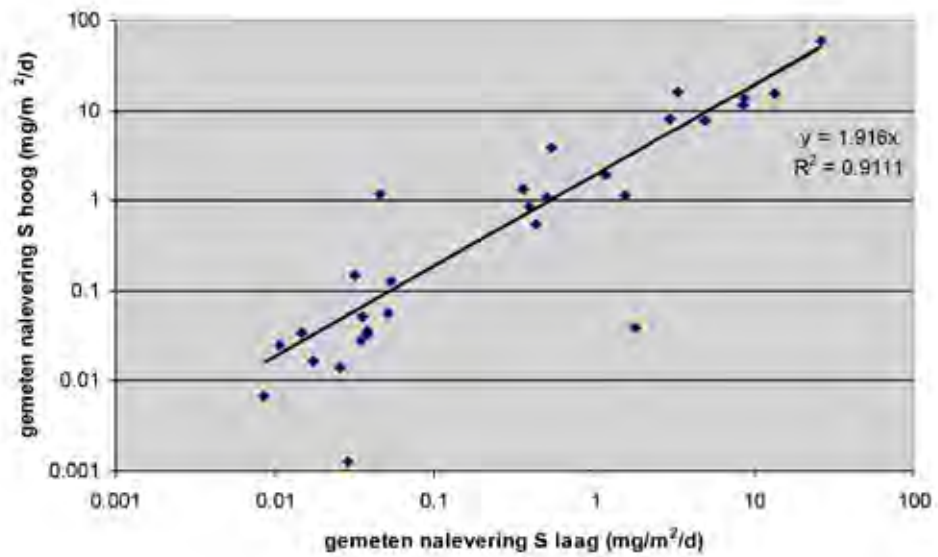
FIGUUR 4.5 DE RELATIE TUSSEN OLSEN-P EN NALEVERING LAAT EEN DUIDELIJKE RELATIE ZIEN VOOR PUNTEN MET EEN LAGE FE-S/P-RATIO



Sulfaatbehandeling

De naleveringsexperimenten zijn ook uitgevoerd met een verhoogd sulfaatgehalte in het bovenstaande water. In figuur 4.6 is te zien dat de nalevering onder invloed van hogere sulfaatconcentraties gemiddeld met een factor 1.9 toeneemt.

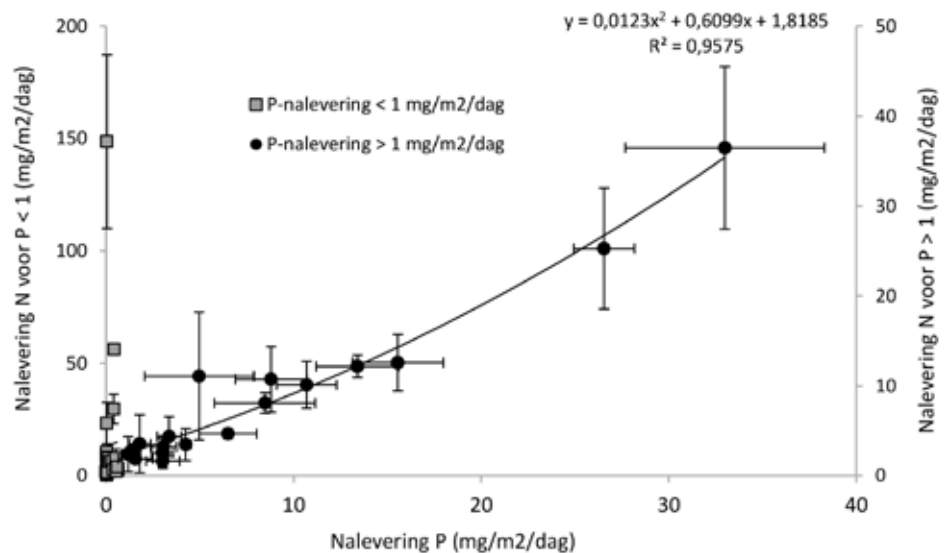
FIGUUR 4.6 DE GEMETEN NALEVERING BIJ EEN LAGE SULFAATCONCENTRATIE IN HET BOVENSTAANDE WATER UITGEZET TEGEN DE NALEVERING BIJ EEN HOGE SULFAATCONCENTRATIE



Nalevering van stikstof

De nalevering van fosfor correleert goed met de nalevering van stikstof. Dit geeft dus de mogelijkheid om met een eenvoudige meting aan het bodemvocht zowel de fosfor- als de stikstofnalevering te voorspellen. Deze relatie geldt alleen voor bodems met een P-nalevering hoger dan 1 mg/m²/dag (figuur 4.7).

FIGUUR 4.7 DE CORRELATIE TUSSEN DE NALEVERING VAN STIKSTOF NAAR DE WATERLAAG EN DE NALEVERING VAN FOSFOR, GEGEVEN IN MG PER M² PER DAG. ER IS ONDERSCHIED GEMAAKT TUSSEN P-NALEVERING LAGER DAN 1 MG/M²/DAG (BLOKJES) EN HOGER DAN 1 MG/M²/DAG (BOLLETJES)

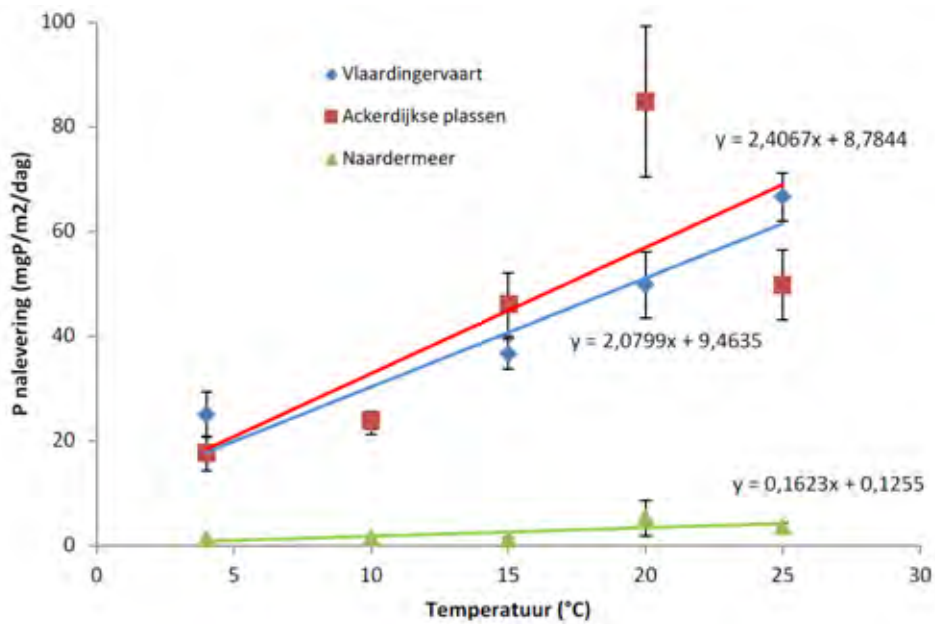


Temperatuureffect

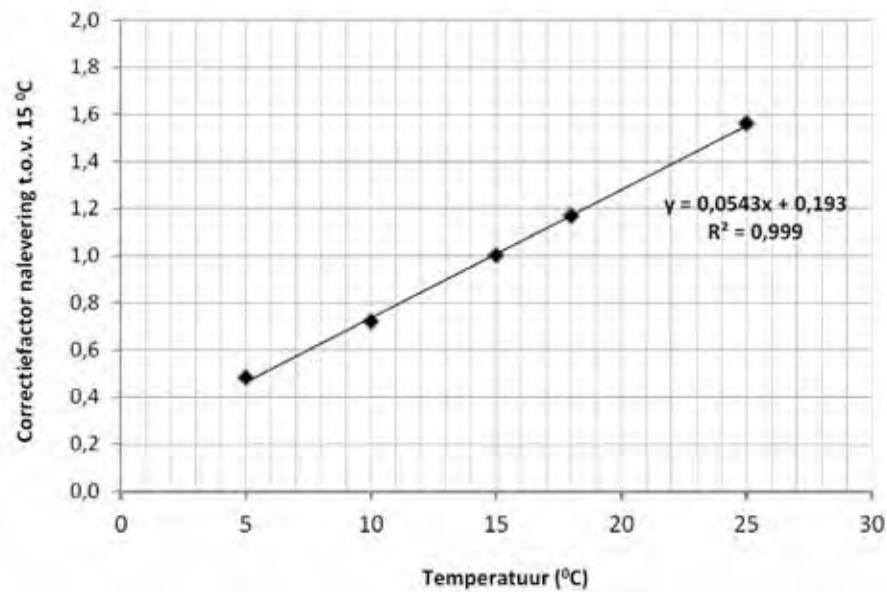
In figuur 4.8 is te zien dat bij toenemende temperatuur de nalevering ook toeneemt. In absolute zin is de toename voor de drie verschillende locaties echter niet gelijk. Relatief gezien is de toename echter wel goed te vergelijken (figuur 4.9).

De toename in nalevering is ook groter dan puur op basis van de diffusievergelijking verwacht mag worden. Dit betekent dat er in werkelijkheid, onder invloed van een toename van de temperatuur, nog andere processen zijn die bijdragen aan de nalevering. Een belangrijke factor is waarschijnlijk de toename van afbraak van organisch materiaal in de waterbodem. Hierdoor zal ook de redoxtoestand veranderen, waardoor ijzergebonden P kan vrijkomen. Logischerwijs zal door een toename in afbraak de concentratie (van P) in het bodemvocht toenemen, waardoor weer de nalevering toe zal nemen.

FIGUUR 4.8 HET EFFECT VAN TEMPERAATUUR OP DE P-NALEVERING VOOR DRIE VERSCHILLENDE LOCATIES



FIGUUR 4.9 HET RELATIEVE TEMPERATUUREFFECT OP DE P-NALEVERINGSFLUX



EXPERIMENTEN MET VISSSEN, PLANTEN, ZUURSTOF EN TEMPERATUUR

Naast de naleveringsexperimenten in het laboratorium zijn er ook laboratorium-, aquarium- en kweekvijverexperimenten uitgevoerd die zich vooral richtten op de rol van biologische activiteit (micro-organismen, planten en vissen) op de nalevering van nutriënten en de vorming van bagger. Hierbij is ook gekeken naar de seizoensvariatie, om de gestandaardiseerde naleveringsproeven in een breder perspectief te kunnen plaatsen.

Zeer snel groeiende soorten als Grof hoornblad en Smalle waterpest zijn in staat om grote hoeveelheden in de bodem opgeslagen nutriënten zeer efficiënt op te nemen, en bij afsterven aan de waterlaag af te geven. In waterlichamen met verbeterd doorzicht kan dit een belangrijk knelpunt vormen. Er is grote behoefte aan kwantificering van deze bijdrage, zodat het waterbeheer hierop gericht kan zijn. Er kan hiermee ook ingeschat worden in hoeverre maatregelen als maaien en afvoeren zinvol kunnen zijn om voldoende nutriënten af te voeren. In troebele wateren kan juist de massale groei en afbraak van algen de nutriëntenstromen sterk beïnvloeden. Bovendien kunnen in eutrofe wateren juist drijfbladplanten als Kroossoorten of Kroosvaren een knelpunt vormen voor herstel van de waterkwaliteit, door licht weg te vangen. Daarnaast zal de dichtheid van benthivore vissoorten een belangrijke rol spelen bij de mobilisatie van nutriënten en de vorming van bagger. Er wordt meestal vanuit gegaan dat deze activiteit alleen leidt tot verhoogde mobilisatie van nutriënten door opwerveling, terwijl het inbrengen van zuurstof bijvoorbeeld ook juist kan leiden tot immobilisatie van fosfaat. De opwerveling kan ook verhoogde baggerproductie veroorzaken. Deze biologische mechanismen vormen een belangrijk hiaat in de bestaande kennis over interne nutriëntenmobilisatie en baggervorming.

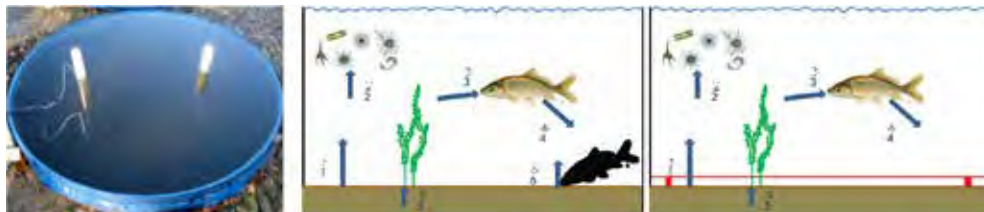
Experimenten met planten

Om de afbraak van waterplanten en de nutriëntenflux via waterplanten beter te kunnen begrijpen en kwantificeren zijn experimenten uitgevoerd in het laboratorium. Hiervoor zijn van een viertal soorten waterplanten (Smalle waterpest, waterviolier, aarvederkruid en Klein kroos) scheut- en bladmateriaal verzameld op verschillende locaties. Om de afbraaksnelheid van het plantmateriaal te kunnen meten werd het plantmateriaal geïncubeerd in infuusflessen. Onder gecontroleerde omstandigheden (een hoge temperatuur, in het donker en onder aerobe omstandigheden) zijn metingen verricht aan diverse parameters. Daarnaast werd van de soort krabbenscheer ook materiaal in het veld verzameld. Dit plantmateriaal werd geïncubeerd onder verschillende temperaturen en in verschillende media. Hiermee kon de temperatuursafhankelijkheid van de afbraak van krabbenscheer worden onderzocht voor verschillende milieus.

Experimenten met vissen

Om de effecten van visactiviteit op de nalevering in watersystemen te kunnen kwantificeren zijn experimenten uitgevoerd in bassins. Karpers en brasems (de soorten apart en twee vissen per bassin) werden gehouden in bassins van 1,85 m diameter en 90 cm diep. De bassins waren gevuld met slib en water van een specifieke veldlocatie. In het experiment werden de effecten van karpers en brasems en de aanwezigheid van planten op de nutriëntenconcentraties getest. Alle behandelingen zijn in 3-voud uitgevoerd. In een aantal bassins werd het de vissen onmogelijk gemaakt om door de bodem te woelen door gespannen gaas boven het slib. De waterpestplanten werden beschermd tegen vraat door kooien van gaas (figuur 4.10). Maandelijks werden nutriëntenconcentraties, alkaliniteit, turbiditeit en pH bepaald.

FIGUUR 4.10 FOTO VAN EEN VAN DE BASSINS DIE GEBRUIKT ZIJN VOOR HET VISSEXPERIMENT (LINKS). MIDDEN EN RECHTS EEN WEERGAVE VAN DE DWARSDOORSNEDE VAN EEN BASSIN MET DAARIN SCHEMATISCH DE PROCESSEN DIE VAN INVLOED ZIJN OP DE NUTRIËNTCONCENTRATIES IN DE WATERLAAG. MIDDEN DE SITUATIE WAARBIJ VISSEN KUNNEN WOELLEN, RECHTS DE SITUATIE WAARBIJ EEN GAAS VLAK BOVEN DE SLIBLAAG WOELLEN VOORKOMT. 1=NALEVERING P, 2=OPNAME P DOOR ALGEN, 3=OPNAME P DOOR VISSEN, 4=EXCRETIE P DOOR VISSEN, 5=OPNAME P DOOR PLANTEN, 6=NETTO MOBILISATIE P DOOR WOELLEN VAN VISSEN



Experimenten met zuurstof en kroos

Verschillende experimenten zijn uitgevoerd in cilinders in het veld en kolomproeven in het laboratorium om de invloed van kroos en zuurstof op de nalevering beter te kunnen kwantificeren.

Experimenten met cilinders in het veld

Op twee locaties, namelijk de Ackerdijkse plassen en Het Hol, zijn cilinderexperimenten uitgevoerd om de invloed van het aanwezige slib op de waterkwaliteit in het veld te toetsen (figuur 4.11). Hierbij is ook gekeken naar de invloed van waterplanten (Klein kroos) op de sturende processen. Gedurende twee jaar is de water- en bodemvochtkwaliteit maandelijks gevolgd. Per locatie werden 12 cilinders geplaatst. De cilinders werden in het sediment vastgezet en staken een stuk boven het water uit. In de Ackerdijkse plassen werd in 6 cilinders kroos uitgezet. In de helft van deze cilinders was de bodem gebaggerd. Het bedekkingspercentage van het kroos werd gevolgd. Hetzelfde werd in Het Hol gedaan, maar dan met krabbenscheerplanten. Voor de krabbenscheerplanten werd het gewicht en de diameter bijgehouden.

FIGUUR 4.11 CILINDERS IN DE ACKERDIJKSE Plassen



Experimenten met kolommen in het laboratorium

De nalevering van gestoken bodems uit de Alblasserwaard is bepaald met de volgende behandelingen: nalevering in het donker zonder kroos, nalevering in het licht met kroos en nalevering in het licht zonder kroos (figuur 4.12).

Van gestoken bodems uit de Ackerdijkse plassen is de invloed van BZV (biochemisch zuurstofverbruik) op de nalevering bepaald. Dit is gedaan door van 10 kolommen met klei en 10 kolommen met veen, in het donker, de zuurstofconcentratie te bepalen. De BZV werd bepaald op basis van deze zuurstofmetingen. De BZV is de hoeveelheid zuurstof die nodig is voor biologische afbraak van organische stof in een bepaalde hoeveelheid water. De nalevering uit deze bodems was bekend.

Als laatste is de rol van zuurstof ook bekeken in cilinders gestoken in de Ackerdijkse plassen. Weer met klei en veen. De cilinders werden in een waterbad van 18 graden gehouden, in het donker, voor 8 weken. De behandelingen veel zuurstof, geen zuurstof en een intermediaire hoeveelheid zuurstof zijn toegepast. De nalevering van deze bodems was ook bekend.

FIGUUR 4.12 WEERGAVE VAN DE CILINDEREXPERIMENTEN, WAARBIJ KROOS TE ZIEN IS IN DE GROEN GELABELDE CILINDERS

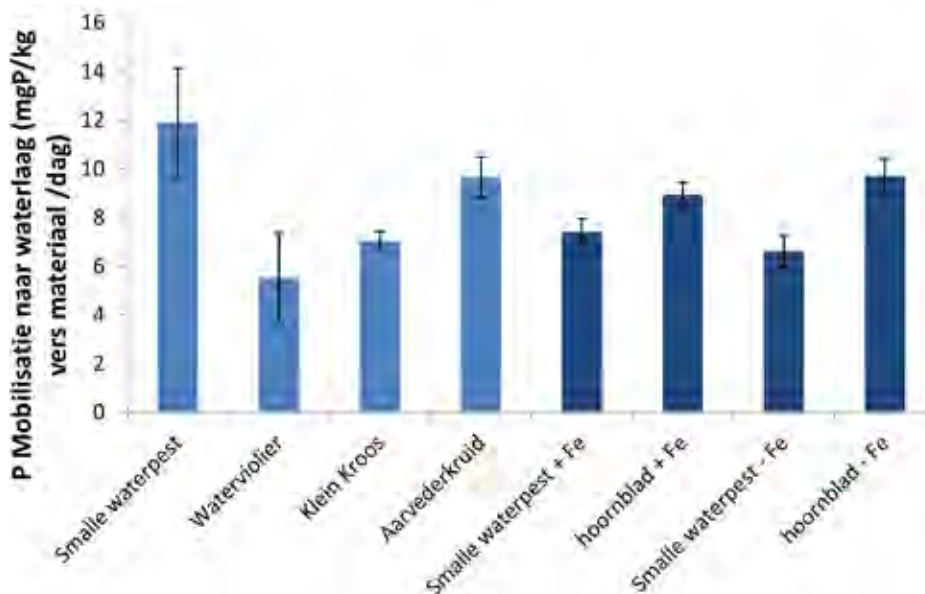


RESULTATEN

Experimenten met planten

Uit de experimenten met waterplanten in het laboratorium kan geconcludeerd worden dat de levering van nutriënten zoals N en P naar de waterlaag bij de afbraak van dichte waterplantvegetaties zeer hoog kan zijn. Bij een maximale bedekking moet rekening worden gehouden met fluxen tot 100 mg P per vierkante meter per dag gedurende de eerste 50 dagen van afbraak. Deze flux is enkele malen hoger dan de gemeten maximale directe fluxen uit de bodem zoals in de MIND experimenten is bepaald. De afbraaksnelheid van planten is sterk afhankelijk van de temperatuur. De P mobilisatie viervoudigde bij een temperatuurstijging van 10°C. Er zijn verschillen in de afbraaksnelheid en P mobilisatie tussen de verschillende soorten waterplanten. Krabbenscheer breekt bijvoorbeeld moeilijk af, terwijl kroos en waterpest veel gemakkelijker afbreken (figuur 4.13).

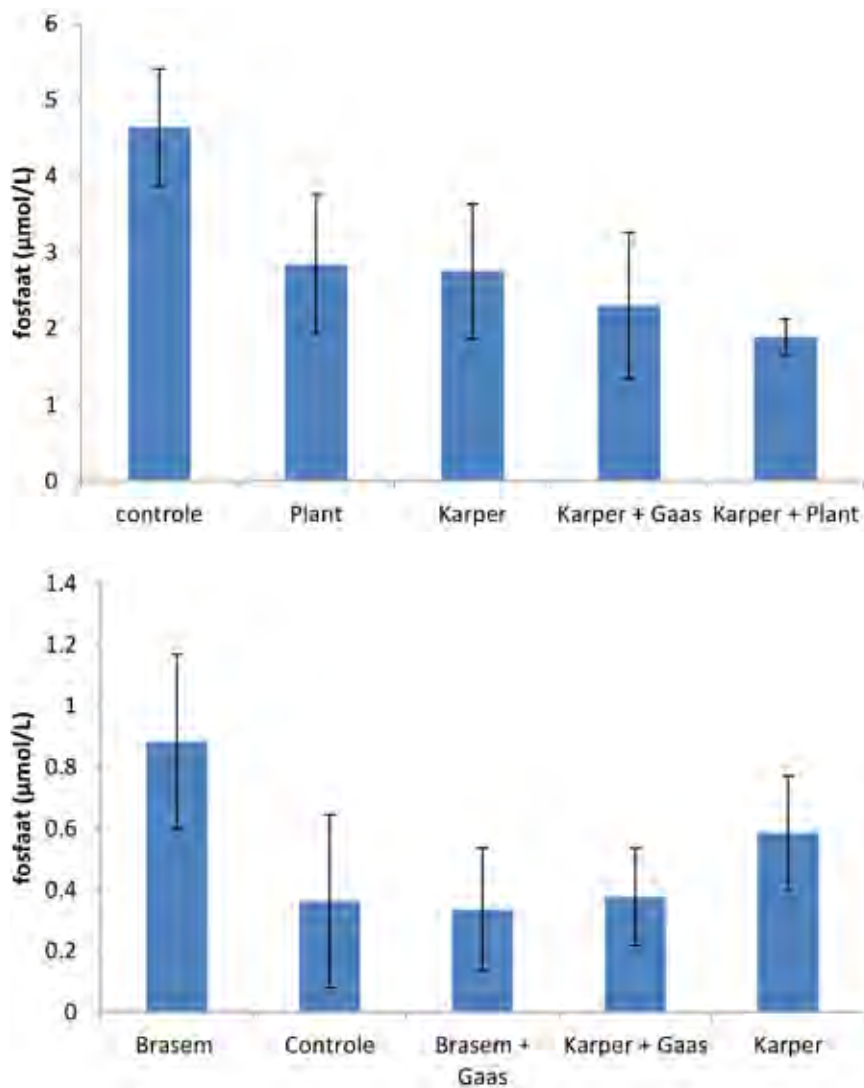
FIGUUR 4.13 P-MOBILISATIE NAAR DE WATERLAAG VOOR ALLE GETESTE PLANTEN (BEHALVE KRABBENSCHIEER) IN MGP/KGVERS/DAG. +FE OF -FE NOTATIE VAN ADDITIONEEL EXPERIMENT. +FE: BEIJZERDE SITUATIE -FE: ONBEIJZERDE SITUATIE



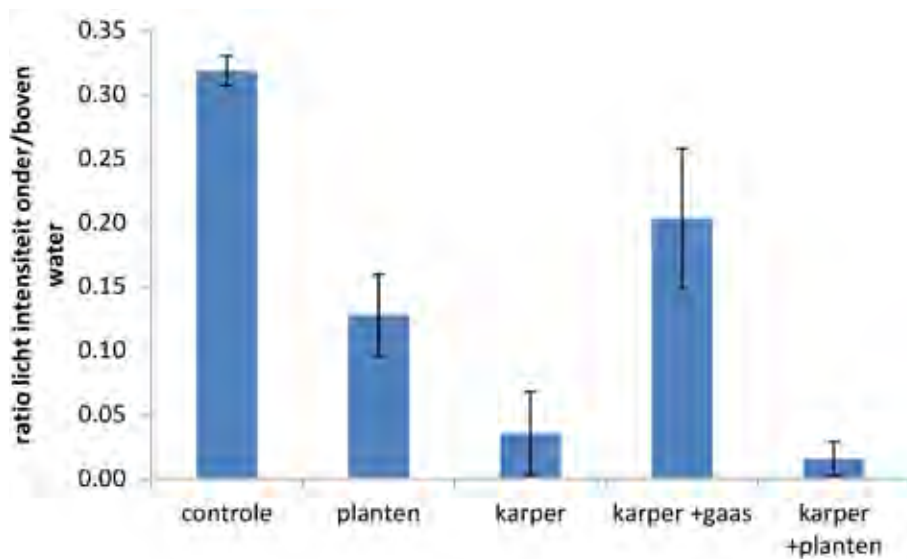
Experimenten met vissen

Uit de experimenten met karper en brasem kan geconcludeerd worden dat de aanwezigheid van witvis in hoge dichtheden (500 kg/ha) geen direct negatief effect heeft op de chemische kwaliteit van het water. Er wordt zelfs minder fosfaat in het water gemeten waar vissen aanwezig waren door betere aerering van de waterbodem (figuur 4.14). De effecten in de zomerperiode domineren boven die in de winterperiode (zie verschil in schaal van de figuren). We praten hier wel over concentraties van nutriënten in het water en niet over fluxen, zoals bij de andere experimenten wordt gedaan. Deze vertaalslag is nog nodig voordat duidelijke uitspraken kunnen worden gedaan over het effect van vis op de nalevering. Karpers en brasems verhogen wel de troebelheid in het water enorm en dragen daardoor bij aan de sterke vermindering van de hoeveelheid licht dat doordringt op de bodem (figuur 4.15). Naast directe predatie op zoöplankton zorgt dit in de experimenten voor een afname van ondergedoken waterplanten en algen en habitatverlies.

FIGUUR 4.14 GEMIDDELDE PO_4^{3-} CONCENTRATIE IN DE WATERLAAG IN DE ZOMERPERIODE (BOVEN) EN WINTER/VOORJAAR (ONDER)



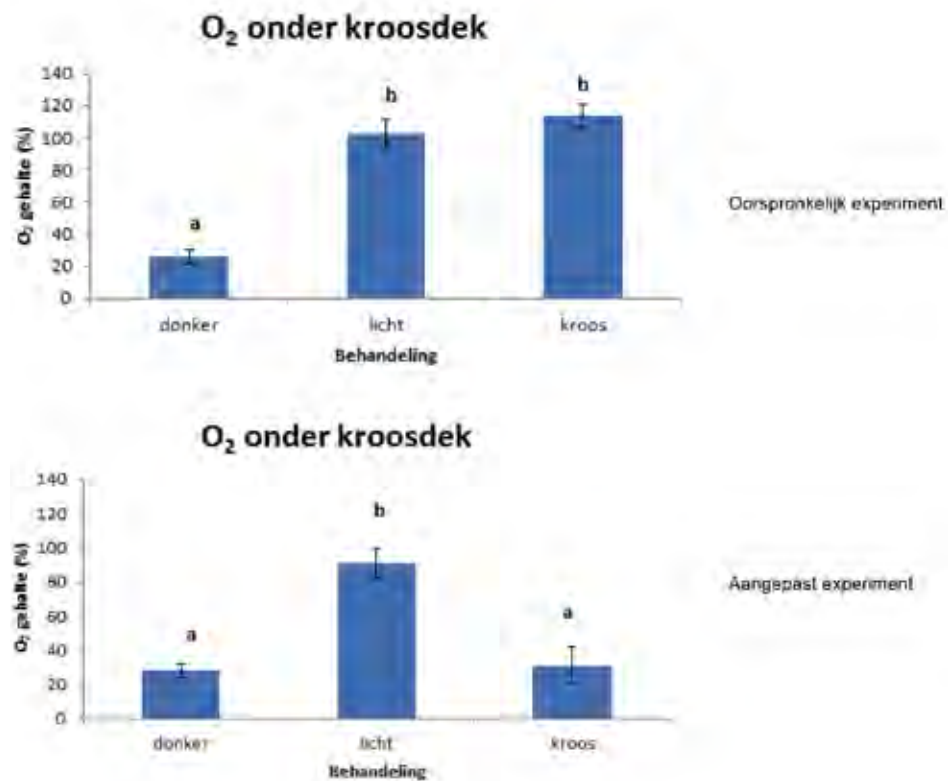
FIGUUR 4.15 RATIO VAN LICHTINTENSITEIT ONDER- EN BOVENWATER. EEN LAGERE RATIO BETEKENT DAT DE BAKKEN TROEBELER ZIJN EN MINDER LICHT DOORLATEN.



Experimenten met zuurstof en kroos

Uit de verschillende experimenten met cilinders in het veld en kolommen in het laboratorium kan een aantal conclusies worden getrokken over de rol van zuurstof en kroos bij de nalevering. De aanwezigheid van een gesloten kroosdek (of 100% bedekking van een andere drijvende soort) zorgt voor een drastische daling in de zuurstofconcentraties in de waterlaag en toplaag van de bodem (figuur 4.16). Op locaties waar waterplanten een gesloten dek vormen en daarmee de lichtdoorval hinderen zal, onder water (donkere omstandigheden) de zuurstofaanvoer vanuit de atmosfeer sterk afnemen, de zuurstofconsumptie de overhand krijgen en daarmee de zuurstofbeschikbaarheid sterk dalen. Op deze locaties zal de P mobilisatie en de ammonium (NH_4^+) accumulatie in de waterlaag sterk toenemen. Dit stimuleert de groei van drijfbladplanten (meer nutriënten) zoals kroos waardoor dit proces van afdekken van de waterlaag in stand gehouden wordt. Doordat NH_4^+ in de waterlaag (en ook sulfide in de bodem en waterlaag) kan accumuleren tot toxische concentraties, zullen gevoelige waterplanten (zoals Krabbenscheer) en macrofauna afsterven.

FIGUUR 4.16 HET ZUURSTOFGEHALTE IN DE CILINDERS, BIJ DRIE BEHANDELINGEN: DONKER, LICHT EN KROOS. DE BOVENSTE GRAFIEK GEEFT HET OORSPRONKELIJKE EXPERIMENT WEER, DE ONDERSTE GRAFIEK IS DE HERHALING, WAARBIJ DE ZIJKANTEN VAN DE CILINDERS WERDEN AFGEDEKT, ZODAT ER GEEN LICHTTOEVOER WAS VIA DE ZIJKANTEN EN WAARMEE DE VELD-SITUATIE BETER BENADERD WERD.



Zuurstof speelt een belangrijke rol in de mobilisatie en immobilisatie van P. De metingen tonen dat bij een geringe daling van de zuurstofconcentraties (tot ongeveer 20%) er al een verhoging van de P mobilisatie plaatsvindt, met name in ijzerrijke bodems. De resultaten tonen verder dat de nalevering bij kunstmatige toevoeging van zuurstof nagenoeg stilgelegd kan worden, wat duidt op de sterke rol van ijzeroxidatie bij het vastleggen van fosfaat vanuit de bodem.

Bij de effecten van de zuurstofconcentratie moet rekening gehouden worden met effecten van temperatuur. De afbraak van organisch materiaal, een zuurstofconsumerend proces, verloopt namelijk sneller bij hogere temperatuur (optimum bij ongeveer 25°C).

Baggeren kan noodzakelijk zijn om een voedselrijke sliblaag te verwijderen. Deze maatregel hoeft echter niet altijd gericht te zijn op de aanpak van P-fluxen. Ook als de sliblaag niet sterk voedselrijk is (weinig P), kan baggeren oplossingen bieden voor bepaalde plantensoorten, zoals blijkt uit de resultaten in het Hol. Krabbenscheer en andere doelsoorten zullen profiteren van een verlaging van NH_4^+ concentraties als gevolg van baggeren en een toename van de CO_2 -beschikbaarheid.

Op locaties met helder water, maar (nog steeds) een hoge beschikbaarheid van nutriënten in de bodem, zullen snelgroeiende waterplanten als Smalle waterpest en Grof hoornblad gaan woekeren. Een beheersmaatregel die hierdoor veelvuldig en in toenemende mate zal moeten worden toegepast is het maaien en afvoeren van de onderwatervegetatie. Zoals uit de experimenten blijkt, kan het tijdig maaien en afvoeren van deze P-rijke vegetatie een enorme impact hebben op de P-balans (afvoer van P) van het betreffende ecosysteem.

5

ONTWIKKELING QUICKSCAN

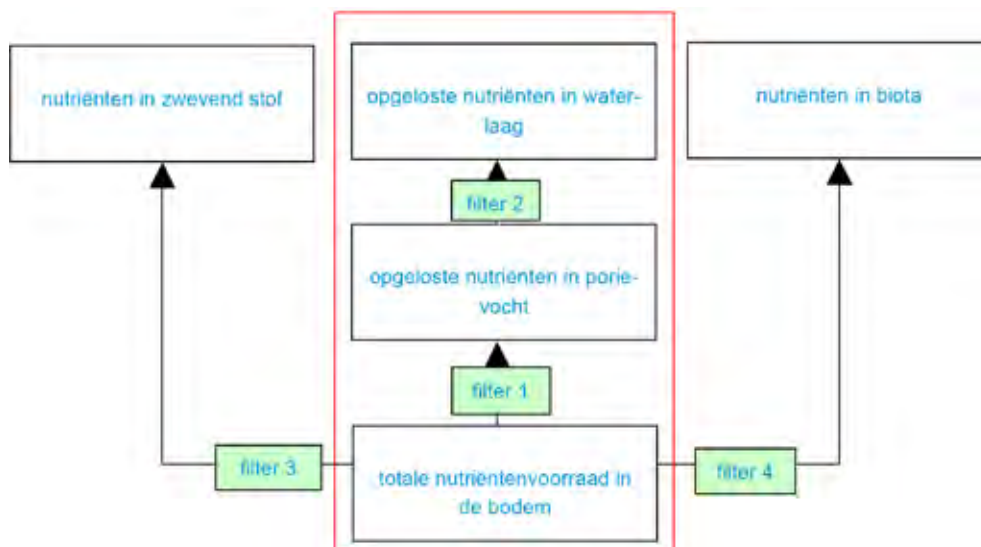
In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de bestaande en nieuwe kennis, uit de experimenten, is vertaald naar een Quicksan voor interne nalevering. In het rapport 'Quicksan' kunt u verder lezen over dit onderdeel van BaggerNut.

De belangrijkste vraag die de Quicksan moet beantwoorden is: hoe groot is de interne nalevering van nutriënten (P en N) vanuit de waterbodem? Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- chemische nalevering: dit is de nalevering van opgeloste nutriënten vanuit de bodem naar de waterlaag;
- biologische nalevering: dit is de nalevering van opgeloste en geadsorbeerde nutriënten vanuit de bodem via planten en dieren naar de waterlaag;
- fysische nalevering: dit is opwerveling van particulier bodemmateriaal.

Figuur 5.1 laat deze drie hoofdroutes zien: fysisch, chemisch en biologisch. Daarbij zijn "filters" aangegeven tussen de totale nutriëntenvoorraad in de bodem en de verschillende routes waarlangs nutriënten in de waterlaag terecht kunnen komen. De totale nutriëntenvoorraad bestaat onder andere uit nutriënten in organische stof, geadsorbeerde nutriënten (bijvoorbeeld aan kleideeltjes of organisch stof) of chemisch gebonden nutriënten (bijvoorbeeld aan ijzer, calcium en aluminium). Ook nutriënten in het poriëvocht horen daarbij. Adsorptie en binding zijn vooral relevant voor P.

FIGUUR 5.1 BELANGRIJKSTE ROUTES VAN NUTRIËNTENNALEVERING VANUIT DE WATERBODEM

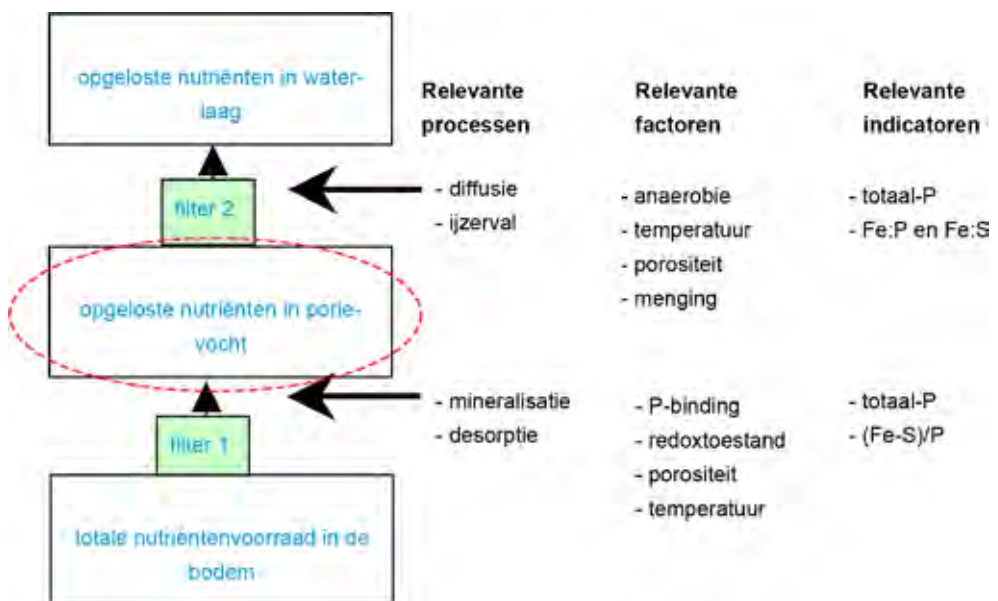


De nadruk voor de inschatting van nalevering binnen BaggerNut ligt op de chemische route. Er is hiervan al vrij veel bekend, de aanvullende experimenten die zijn uitgevoerd leveren voldoende informatie op om deze route goed in te kunnen schatten. Van routes die lopen via opwerveling van bodemdeeltjes en via de planten en dieren is minder bekend, hiervoor zijn experimenten uitgevoerd die worden aangevuld met relaties uit literatuur.

CHEMISCHE NALEVERINGSROUTES

In figuur 5.2 is een schematische weergave getoond van de chemische nalevering van nutriënten vanuit de waterbodem. De relevante processen, omgevingsfactoren en indicatoren zijn weergegeven. De twee 'filters' staan onder de figuur toegelicht.

FIGUUR 5.2. SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE CHEMISCHE NALEVERING VAN NUTRIËNTEN VANUIT DE WATERBODEM



Ter toelichting op de figuur:

- filter 1:** het porievocht kan worden aangevuld met nutriënten vanuit de vaste bodem, belangrijke processen daarbij zijn mineralisatie (afbraak van organisch materiaal) en desorptie, vooral het vrijkomen van (ijzer)gebonden P onder invloed van reductieprocessen. Afbraak is een sterk temperatuurgestuurd proces, waarbij verschillende (openvolgende) oxidatoren kunnen worden gebruikt. Belangrijk zijn zuurstof en nitraat. Wanneer deze zijn opgebruikt kan ijzer worden gereduceerd, ijzergebonden P kan daarbij vrijkomen. Bij afbraak onder invloed van sulfaat ontstaat sulfide, samen met ijzer kan dit neerslaan tot slecht oplosbare (ijzer)sulfides;
- filter 2:** het porievocht is als het ware het "doorgeefluik" voor nutriënten naar de waterlaag. De drijvende kracht achter de flux is het concentratieverschil tussen porievocht en waterlaag. Het proces is diffusie en de belangrijkste factoren die de diffusiesnelheid bepalen zijn het concentratieverschil, de temperatuur en de porositeit van de bodem (dit hangt sterk samen met het vochtgehalte). Fosfaat dat diffundeert naar de waterlaag kan worden "weggevangen" door ijzer (ijzerval).

Indicatoren

De kolomexperimenten voor de bepaling van de P en N nalevering zijn op een zeer gestructureerde wijze opgezet en uitgevoerd. Tegelijkertijd met de bemonstering van de bodems zijn veldmetingen uitgevoerd aan de bodem betreffende het porievocht. De waarde van deze dataset heeft zich bewezen, op basis hiervan is een aantal goede indicatoren geselecteerd voor de bepaling van de chemische nalevering aan de hand van veldmetingen. In de meeste gevallen worden deze indicatoren ook ondersteund door de literatuur. Vooral in het geval van de indicatoren, die zijn gebaseerd op totaalgehalten in de bodem, komt een aantal nieuwe inzichten naar voren.

Schatting van nalevering op basis van gehalten in het porievocht

De beste indicator voor de fosfaatnalevering op basis van metingen in het porievocht is het totaal-P gehalte in het porievocht van de toplaag (bovenste 5-10 cm). Het P gehalte in het porievocht (in mgP/l) vertoont een lineaire relatie met de nalevering van P vanuit de bodem in mgP/m²/d). De indicator geeft vertrouwen vanwege de sterke overeenkomst met de theoretisch verwachte diffusie, maar heeft de voorkeur boven de diffusievergelijking zelf vanwege de eenvoudige relatie.

Enkele bodems uit de dataset blijken niet te voldoen aan deze relatie, ze leveren minder na dan verwacht. Deze bodems blijken te beschikken over een hoger aandeel beschikbaar ijzer, dit ijzer kan P binden en verkleint daarmee het risico op nalevering. Als indicatoren voor het risico op het daadwerkelijk naleveren van fosfaat worden Fe:P en Fe:S ratio's in het porievocht gebruikt. Voor beide geldt een ratio > 1 (mol/mol) als gunstig en < 1 als ongunstig. Ook dit is opgenomen in de Quicksan tool.

Schatting van nalevering op basis van totaalgehalten in de bodem

Voor het schatten van de nalevering van de bodem op basis van totaalgehalten in de bodem, kwam het totaal-P gehalte in de toplaag (5-10 cm) als beste indicator uit de dataset naar voren. Deze is voor bodems in de dataset echter alleen indicatief wanneer de Fe-S/P ratio kleiner is dan 1,4. Voor bodems met Fe-S/P ratio's groter dan 4 is het naleveringsrisico klein. Voor intermediaire bodems is het lastig aan te geven.

In de Quicksan zijn relaties voor de nalevering opgenomen op basis van versgewicht (mgP/l verse bodem) en drooggewicht (mgP/kg droge bodem). Hoewel de relaties op basis van versgewicht duidelijk beter presteren, zullen deze gegevens niet altijd beschikbaar zijn. Dan kunnen de relaties met drooggewicht worden gebruikt.

Schatting van nalevering voor onderliggende bodem

Als indicator voor de fosfaatnalevering op basis van metingen aan de onderliggende bodem is gekozen voor het Olsen-P gehalte. De P nalevering vertoont een lineaire relatie met het Olsen-P gehalte. Deze is in de Quicksan tool ingebouwd. Overigens geldt ook hier dat dit vooral geldt voor bodems met een Fe-S/P ratio kleiner dan 1,4. Voor bodems met Fe-S/P ratio's groter dan 4 is het naleveringsrisico klein. Voor intermediaire bodems is het lastig aan te geven.

Invloed van sulfaat en alkaliniteit

In de naleveringsexperimenten is het effect van een hoog sulfaatgehalte in het bovenstaande water onderzocht. De nalevering bij deze behandeling was gemiddeld circa 2 maal zo hoog. Behandelingen met een hoge alkaliniteit lieten geen verhoogde nalevering zien. De factor 2 hogere nalevering onder hoge sulfaatgehalten is in de Quicksan tool ingebouwd.

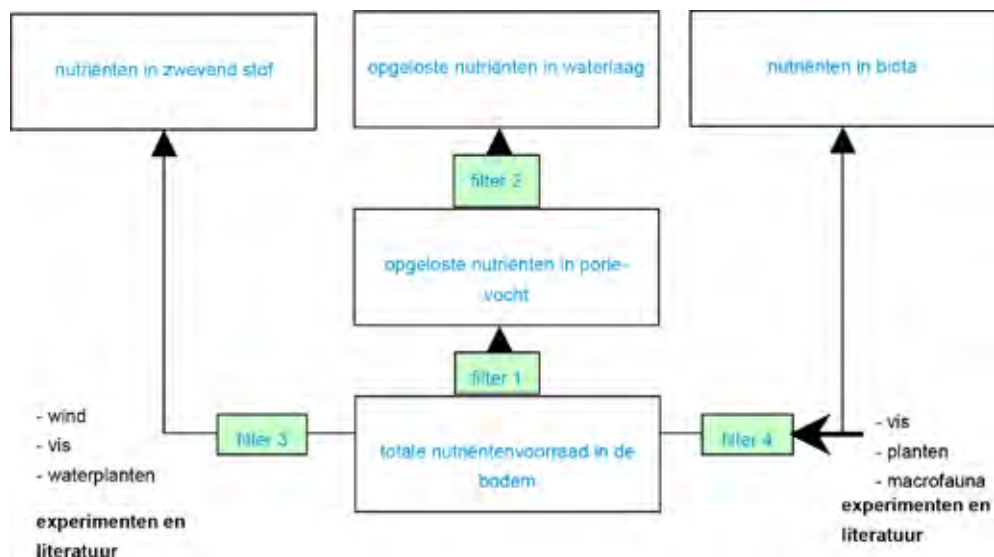
Effect van temperatuur op de nalevering

Als onderdeel van de experimenten is gekeken naar de nalevering bij verschillende temperaturen in het lab. De nalevering in de experimenten nam lineair toe met de temperatuur. In andere (veld) studies werden deels vergelijkbare en deels sterkere temperatuureffecten gevonden. De temperatuur beïnvloedt in het veld allerlei processen (o.a. diffusie, afbraak, algengroei), waardoor het effect waarschijnlijk systeemspecifiek is. Daarom is het moeilijk een algemene correctiefactor af te leiden. Vooral nog is er echter geen reden om af te wijken van de correctiefactoren die binnen BaggerNut zijn afgeleid. Deze zijn in de Quickscan tool ingebouwd.

FYSISCHE EN BIOLOGISCHE NALEVERINGSROUTES

In figuur 5.3 is een schematische weergave getoond van de fysische en biologische nalevering van nutriënten vanuit de waterbodem. De relevante processen en omgevingsfactoren zijn weergegeven. De twee 'filters' (3 en 4) staan onder de figuur toegelicht.

FIGUUR 5.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE FYSISCHE EN BIOLOGISCHE NALEVERING VAN NUTRIËNTEN VANUIT DE WATERBODEM



Ter toelichting op de figuur:

filter 3: de opwerveling van particulier P, zoals detritus en anorganisch gebonden P maar ook algen (!) is vooral afhankelijk van windwerking (strijk lengte) in combinatie met planten, vissen en de waterdiepte. Van belang is natuurlijk ook de bezinksnelheid van de deeltjes. Hieruit blijkt al dat dit erg systeemspecifiek is;

filter 4: de nalevering van fosfaat vanuit de bodem via biota is natuurlijk sterk afhankelijk van het voedselweb. In een systeem dat wordt gedomineerd door benthivore vis (brasem of karper) zijn de naleveringsroutes heel anders dan in een systeem dat wordt gedomineerd door ondergedoken waterplanten. Ook de wijze waarop nutriënten in de bodem aanwezig zijn (wijze van binding, poriëvochtgehalten) zijn van belang.

Biologische routes

De biologische naleveringsroutes verlopen via waterplanten, vis, macrofauna en (bodem)algen. Binnen BaggerNut is de nalevering via groei en decompositie (afbraak) van waterplanten onderzocht. Ook zijn experimenten met vis uitgevoerd. De resultaten van deze experimenten zullen, samen met

relaties uit de literatuur, input voor de “Quickscan+” leveren. We beogen in deze uitgebreide versie van de Quickscan tool in te bouwen dat, op basis van enkele kenmerken van het biotisch systeem, een inschatting gemaakt kan worden van nutriëntenfluxen vanuit de bodem die lopen via de biota. Hiermee wordt dus getracht om de hoeveelheid en de typen planten en vissen te verdisconteren in de nalevering vanuit de waterbodem.

UITVOERING VAN DE QUICKSCAN: MONSTERNAME EN VERWERKING

De Quickscan bestaat uit drie stappen: bemonstering in het veld, analyse van de monsters en berekening van de naleveringsflux vanuit de bodem met behulp van de Quickscan Exceltool.

De te gebruiken parameters

Op basis van de bovenstaande resultaten kan de naleveringsflux het beste bepaald worden aan de hand van de concentraties in het porievocht van P, Fe en S. De nalevering kan ook worden bepaald op basis van de totaalwaarden in de bodem van P, Fe en S op basis van droog- of versgewicht. Wanneer er een inschatting nodig is van de nalevering van P vanuit de waterbodem na baggeren, is een Olsen-P analyse van de waterbodem nodig.

Bemonstering in het veld

Het bemonsteren de bodem vindt plaats vanuit een boot (figuur 5.4). Met een zuigerboor wordt per locatie tien keer de bovenste 10 cm van de bodem verzameld. Dit vormt samen een homogeen monster. Dit monster wordt luchtdicht in een plastic zakje gedaan en gemengd. Uit dit monster wordt vervolgens porievocht onttrokken door middel van een spuit met een zeer fijn filter eraan vast. Heel belangrijk bij dit proces is dat het monster anaeroob blijft; toename van zuurstof verkleint immers de hoeveelheid ongebonden P. Het verpakken moet dus snel gebeuren zonder dat er zuurstof bijkomt. Het monster in het zakje kan vervolgens gebruikt worden voor het bepalen van de totaalwaarden, waarbij rekening gehouden wordt met het onttrokken poriewater. Als het gaat om het monstern van de laag onder de te baggeren laag wordt dieper gestoken en Olsen-P geanalyseerd. De precieze methode van deze bemonstering staat beschreven in het rapport “PROTOCOL: Verzamelen bodemvocht van onderwaterbodem” dat in het kader van BaggerNut is beschreven. Er is ook een filmpje gemaakt waarin de bemonstering visueel wordt toegelicht.

FIGUUR 5.4 HET BEMONSTEREN VAN ONDERWATERBODEM MET BEHULP VAN DE ZUIGERBOOR VANUIT EEN BOOT.



Analyse in het laboratorium

Het bodemvocht wordt vervolgens geanalyseerd in het laboratorium. Voor het bepalen van de naleveringsflux moet in ieder geval totaal-P, Fe en S in het bodemvochtmonster worden bepaald. Elementen zoals ijzer (Fe), fosfor (P) en zwavel (S) worden meestal aangezuurd gemeten op een ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer). Deze methoden zijn bekend bij de waterschapslaboratoria.

Voor het schatten van de naleveringsflux door middel van de totaalgehalten van bodemmonsters moet totaal-P, Fe en S aan gedroogd materiaal worden bepaald. De totaalgehalten via een destructie (met salpeterzuur en waterstofperoxide) en het Olsen-P gehalte met natriumbicarbonaat. Ook hiervoor zijn standaardmethoden, die bekend zijn bij de laboratoria.

Naleveringsflux berekenen met de Quickscan tool

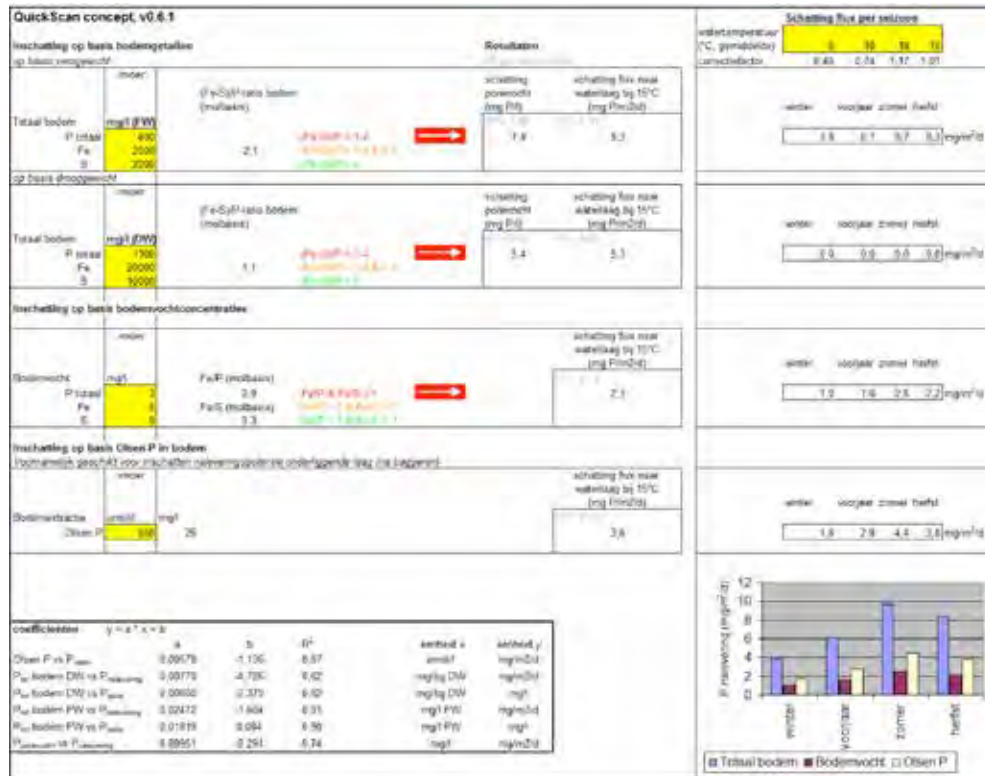
De gehalten totaal-P, Fe en S in het bodemvocht kunnen vervolgens in mg/l worden ingevoerd in de Quickscan tool (figuur 5.5). Wanneer omrekeningen van molen naar mg/l of andersom gewenst zijn, kan de, binnen BaggerNut gemaakte exceltool 'De Zoutjes', gebruikt worden. De Quickscan tool is een excelfile waarin een aantal vlakjes geel gemarkeerd staan. Deze vlakjes dienen te worden ingevuld door de gebruiker. De Quickscan tool gebruikt de relaties die in BaggerNut zijn gebruikt en berekent de schatting van de flux naar de waterlaag in mg P per vierkante meter per dag voor 15 graden Celcius. Voor de verschillende seizoenen wordt deze flux vervolgens omgerekend door middel van een temperatuurcorrectie. De standaardtemperaturen kunnen worden aangepast door de gebruiker. De Quickscan tool gebruikt verschillende algoritmen voor verschillende verhoudingen tussen P, Fe en S. De gemeten totaalgehalten van bodemmonsters (totaal-P, Fe en S) kunnen ook in de Quickscan tool in mg/l worden ingevoerd. Er wordt vervolgens een berekening gemaakt waarmee een schatting van P in mg/l P in het porievocht wordt gegeven. En die schatting wordt omgerekend naar een flux naar de waterlaag. Verder werkt de tool hetzelfde als voor porievocht.

Wanneer gewenst kan de Olsen-P waarde ingevoerd worden in de Quickscan tool, in micromol per liter. Daaruit wordt vervolgens de naleveringsflux berekend.

Resultaten

Uit de Quickscan krijgt een waterbeheerder uiteindelijk een geschatte, doch betrouwbare flux van P naar de waterlaag in mg per vierkante meter per dag. Om te bepalen of deze flux negatief bijdraagt aan de waterkwaliteit in een waterlichaam, is inpassing van dit getal in een systeemanalyse nodig. Zie hiervoor hoofdstuk 7 en 9.

FIGUUR 5.5 EEN PRINTSCREEN VAN DE QUICKSCAN TOOL. LINKS STAAN DE VERSCHILLENDE INDICATOREN EN RELATIES. RECHTS WORDT DE BEREKENDE FLUX OMGEREKEND MET BEHULP VAN DE CORRECTIEFACTOR VOOR VERSCHILLENDE TEMPERATUREN. RECHTSONDER WORDEN DE RESULTATEN IN EEN GRAFIEKJE GETOOND



6

ONTWIKKELING BODEMDIAGNOSE

In dit hoofdstuk wordt de Bodemdiagnose, die is ontwikkeld binnen het project BaggerNut, beschreven. Hierbij wordt ingegaan op de structuur van de tool en de verschillende modules. Voor het maken van de Bodemdiagnose zijn veel kennisregels bij elkaar gebracht. Een uitgebreide beschrijving van de Bodemdiagnose en deze kennisregels staan in het rapport 'Kennisregels in de Bodemdiagnose'. In voorliggend rapport wordt ook kort ingegaan op een aantal waterbodemgerichte maatregelen en hoe deze in de Bodemdiagnose doorgerekend kunnen worden. Een uitgebreide beschrijving hiervan staat in het rapport 'Maatregelen in de Bodemdiagnose'. Voor uitgebreide hulp bij het invoeren van parameters in de Bodemdiagnose is een bestand met toelichting op het invoerscherm beschikbaar.

De Bodemdiagnose beschrijft de bijdrage van de bodem als onderdeel van het functioneren van het watersysteem en geeft de mogelijkheid om het effect van waterbodemgerichte maatregelen in te schatten. Hiermee beoogt de Bodemdiagnose een advies te geven over de mate waarin de waterbodem het behalen van de KRW-doelen belemmert. De Bodemdiagnose is een instrument dat zich bevindt tussen de geavanceerde modellen en eenvoudige vuistregels. In de tool wordt gestreefd naar een optimale combinatie van metingen en kennisregels, met een sluitende water- en stoffenbalans als randvoorwaarde.

DE WATER- EN STOFFENBALANS

Om het functioneren van een watersysteem te begrijpen is het maken van een water- en stoffenbalans een belangrijke stap, omdat de waterkwaliteit uiteindelijk wordt bepaald door de nutriëntenvracht waarmee het systeem wordt belast. De essentie van een water- en stoffenbalans is weergegeven in figuur 6.1. De aanvoer kan uit verschillende typen bronnen bestaan: instromend oppervlaktewater, instromend grondwater, depositie en lozingen, zie "Van Helder naar Troebel en weer terug" (Jaarsma et al. 2008). Op basis van de aanvoer gaat zich in het watersysteem een evenwicht instellen waarbij de interne processen (vastlegging in de waterbodem en in planten en dieren, nalevering uit de bodem, afsterven van organismen, etc.) afgestemd zijn op de externe belasting.

FIGUUR 6.1 DE ESSENTIE VAN EEN WATER- EN STOFFENBALANS



Als de belasting op het systeem lager wordt, zal het systeem zich ontwikkelen naar een nieuwe stationaire situatie. Dit kan vertraagd worden, omdat er nog voorraad in het systeem aanwezig is. De tijdsduur die nodig is om tot een nieuwe stationaire (stabiele) situatie te komen kan in tijd variëren. Vooral voor fosfaat kan de waterbodem lange tijd naleveren zodat de P-concentraties in het oppervlaktewater (en algengroei) hoger zijn dan op basis van de externe belasting verwacht wordt. Wanneer dit het behalen van doelen voor dit waterlichaam in de weg staat, kan de waterbeheerder de interne processen aanpakken. Het is voor de waterbeheerder van groot belang om inzicht te hebben in de omvang en snelheid van de interne processen, omdat anders het effect van maatregelen niet eenduidig te voorspellen is.

DE BODEMDIAGNOSE IN HET KORT

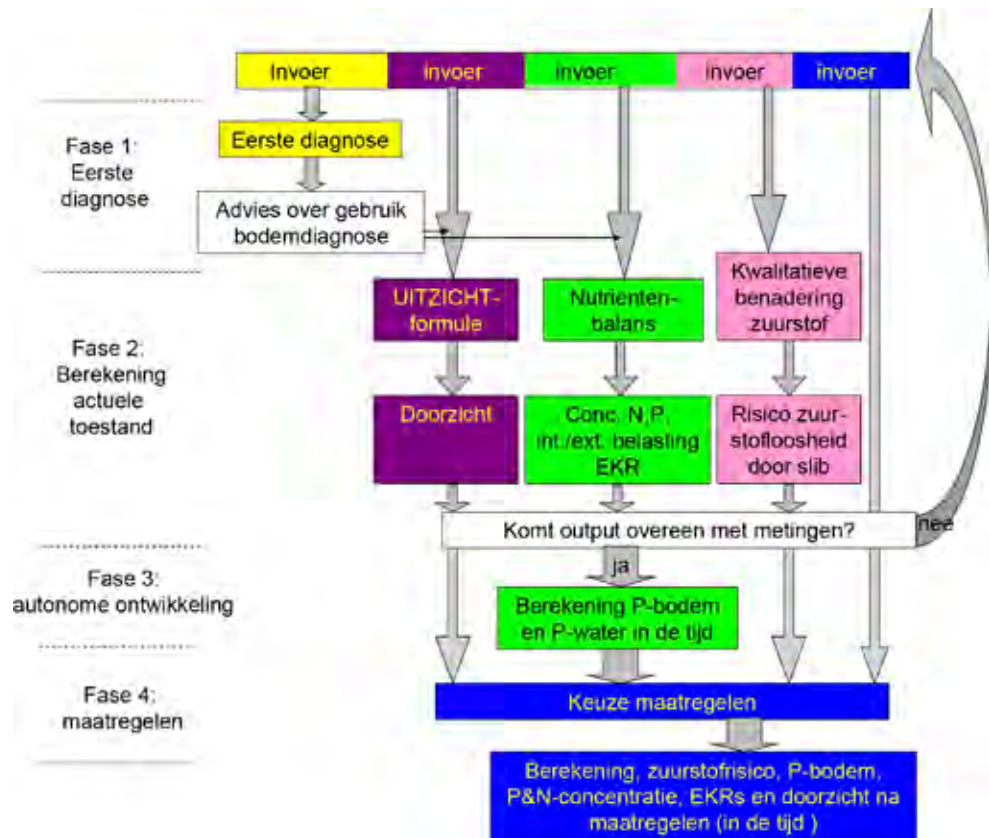
Het belangrijkste doel van de Bodemdiagnose betreft het kwantificeren van de interne processen en het bepalen van de impact van interne processen ten opzichte van de externe belasting. Er is gekozen voor een eenvoudig balansmodel als basis (figuur 6.1). De interne processen worden in balansmodellen als een black box benaderd met een (retentie)factor. In de Bodemdiagnose worden de verschillende interne processen gekwantificeerd, namelijk: diffusie/dispersie, opwerveling en bezinking van zwevend stof en productie van detritus. De balans wordt gesloten met een sortiefactor. Tevens zijn er mogelijkheden om opname door planten en aanwas van bagger mee te nemen.

Naast het kwantificeren van interne processen kan de Bodemdiagnose:

- Helpen bij het opstellen en verder ontwikkelen (fine-tuning) van water- en stoffen-balansen. Dat houdt in dat de balansen op een verantwoorde manier kloppend worden gemaakt, zodat de berekende en gemeten concentraties met elkaar in overeenstemming zijn. De Bodemdiagnose beschrijft de samenhang en omvang van processen. Het wordt aangeraden om te fine-tunen met de invoer- en/of procesparameters, die de grootste onzekerheid hebben;
- Inzicht geven in de autonome ontwikkeling van fosfaatgehalten in water- en waterbodem;
- Inzicht geven in de impact van maatregelen die aangrijpen op interne fluxen en/of op invoerposten van het systeem.

In figuur 6.2 staat de Bodemdiagnose schematisch weergegeven. Kort gezegd werkt de tool als volgt. Op basis van de geconstateerde problemen wordt invoer in de Bodemdiagnose ingevoerd. Vervolgens berekent de Bodemdiagnose een huidige toestand. Als de beschrijving van de toestand acceptabel is worden maatregelen geïnventariseerd. De kansrijke maatregelen leiden tot aanpassing van de invoer en vervolgens wordt de bodemdiagnose nogmaals 'gedraaid' om de toestand na uitvoering van een maatregel te berekenen. Deze fases worden hier kort besproken.

FIGUUR 6.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BODEMDIAGNOSE



FASE 1, DE EERSTE DIAGNOSE

Fase 1 betreft de eerste diagnose waarin een advies wordt gegeven of de nutriëntenbalans moet worden uitgewerkt, of dat vooral naar het zwevend stof moet worden gekeken, of dat het uitvoeren van de Bodemdiagnose wordt afgeraden. De eerste diagnose geeft geen advies over het wel of niet uitvoeren van de module zuurstof. De aanpak van zuurstof in de Bodemdiagnose is zodanig eenvoudig, dat een eerste diagnose geen meerwaarde heeft en meteen de module zuurstof kan worden uitgevoerd. Als de beheerder een goed beeld heeft van het systeem en de mogelijke oorzaken van de matige of slechte toestand kent, kan de eerste diagnose worden overgeslagen.

In de eerste diagnose wordt alleen op basis van doorzicht en chlorofyl in oppervlaktewater en de P- en Fe-gehalten in de waterbodem een advies gegeven over welke onderdelen van de Bodemdiagnose voor die locatie nuttig zijn. Dat houdt in dat waterbeheerder naast monitoring van het oppervlaktewater in ieder geval P en Fe gemeten moet hebben in de waterbodem. Voor het 'naleveringsdeel' van de eerste diagnose, worden beheerders die al over P-totaal, Fe, en S-totaal beschikken geadviseerd om de Quicksan tool te gebruiken voor het inschatten van de nalevering. Als alleen P en Fe bekend zijn, kan de eerste diagnose direct gebruikt worden. Als geen van de gegevens bekend zijn, wordt de beheerder aangeraden om de parameters te meten die nodig zijn voor de Quicksan. De opbouw van de eerste diagnose is weergegeven in figuur 6.3.

FIGUUR 6.3

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE EERSTE DIAGNOSE IN DE BODEMDIAGNOSE

**FASE 2, BEREKENING VAN DE ACTUELE TOESTAND**

Na de eerste diagnose volgt fase 2: berekening van de actuele toestand van het systeem. Het gaat hierbij om het berekenen van het doorzicht, stoffluxen, en het risico voor zuurstofloosheid. Voor deze onderdelen zijn drie modules beschikbaar in de Bodemdiagnose.

Bij de invoer wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van kwartaalgemiddelde meetwaarden van de afgelopen 5 tot 10 jaar. Op basis van alle invoer berekent de Bodemdiagnose een resultante P-concentratie in het oppervlaktewater. De orde van grootte moet gelijk zijn met de gemeten P-concentratie in het oppervlaktewater. Als de berekende en de gemeten waarden erg ver uit elkaar liggen, moet opnieuw naar de invoer worden gekeken. En als het echt niet lukt om metingen en berekeningen bij elkaar te krijgen, is het verstandiger de Bodemdiagnose niet verder te gebruiken. Dat kan komen door onzekerheden in de data of omdat de locatie op bepaalde punten buiten de reikwijdte van de Bodemdiagnose valt en dat geavanceerdere kennis en methoden nodig zijn om het systeem te beschrijven. Een van de mogelijkheden is de inzet van geavanceerdere modellen, zoals Delft3D-Eco of PCLake.

Als de simulatie acceptabel is, kunnen de resultaten worden bekeken. De nutriëntenbalansen en de zwevend stofbalans worden grafisch weergegeven. Hiermee kan snel overzicht worden verkregen welke bronnen hoeveel bijdragen. Ook wordt de verhouding tussen de interne en externe belasting gepresenteerd.

De externe belasting kan ook getoetst worden op de kritische belasting. De kritische belasting is de maximale belasting die een plas kan hebben om in een heldere toestand te blijven. De kritische belasting wordt niet berekend in de Bodemdiagnose maar door de gebruiker opgegeven. Een waarde voor de kritische belasting kan gevonden worden in de literatuur (Jaarsma et al., 2008, Janse, 2005) vanuit experimenten of kan voor meren en sloten bepaald worden met modellen als PCLake en PCDitch of metamodelen hiervan. Bij het doorvoeren van maatregelen kan bekeken worden of het mogelijk is om met deze maatregel onder de kritische belasting te komen.

Op basis van nutriëntenconcentraties en enkele systeemvariabelen wordt de EKR-score uitgerekend. Wanneer voor de locatie geen EKR-scores beschikbaar zijn, dan wordt hiermee een indicatie gegeven van de ecologische kwaliteit. Wanneer er wel EKR-scores beschikbaar zijn, dan geeft de vergelijking van de gemeten en berekende EKR-score inzicht in de kwaliteit van de EKR berekening voor dit systeem. Het is geen reden om de invoer in de Bodemdiagnose aan te passen.

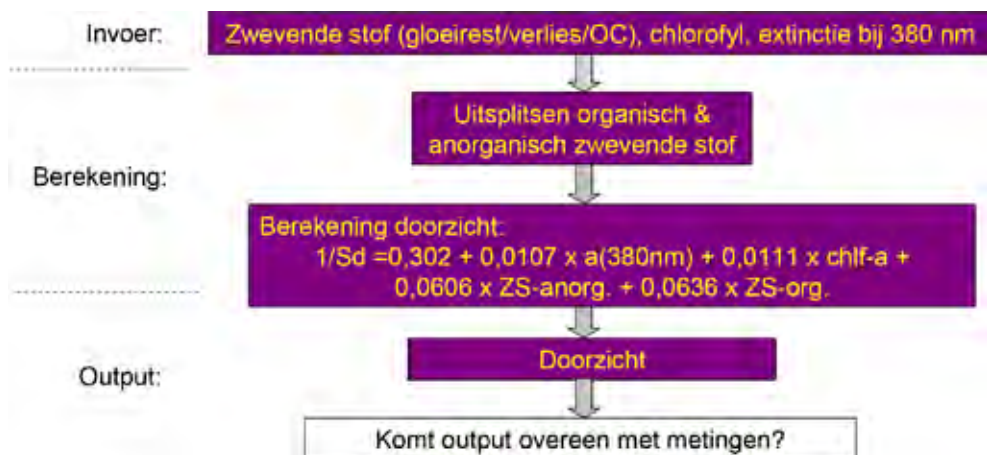
De verschillende modules worden hieronder toegelicht.

Module zwevend stof en doorzicht

De module zwevend stof is primair bedoeld voor wateren die geen of weinig algenbloei kennen, maar wel doorzichtproblemen. Een laag doorzicht leidt tot sterke lichtuitdoving waardoor de ontwikkeling van vegetatie wordt geremd of geheel achterwege blijft. Doorzicht wordt in veel systemen gemonitord, maar in de Bodemdiagnose wordt onderscheid gemaakt tussen algenbloei en een te hoge concentratie zwevend stof. Als de oorzaak van troebel water bekend is, kunnen de maatregelen beter worden bepaald. Deze module geeft handvatten om te achterhalen of (anorganisch) zwevend stof inderdaad een belangrijke bijdrage levert aan lichtuitdoving.

Figuur 6.4 geeft de stappen van de berekening weer. Allereerst zijn invoerparameters nodig voor chlorofyl, extinctie (gefiltreerd monster) en zwevend stof. Chlorofyl is meestal wel gemeten. Extinctie is vaak niet gemeten, maar als er geen metingen zijn, is de waarde standaard ingesteld op 1,6. Zwevend stof wordt op diverse locaties gemeten, maar de doorzichtberekening vraagt onderscheid tussen organisch en anorganisch zwevend stof.

FIGUUR 6.4 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BEREKENING VAN DOORZICHT IN DE BODEMDIAGNOSE (OC = ORGANISCH KOOLSTOF, SD = SECCHI-DIEPTE, A = DE ABSORPTIE BIJ 380 NM, CHL-F-A = CHLOROFYL-A, ZS = ZWEVEND STOF, ANORG. = ANORGANISCH, ORG. = ORGANISCH)

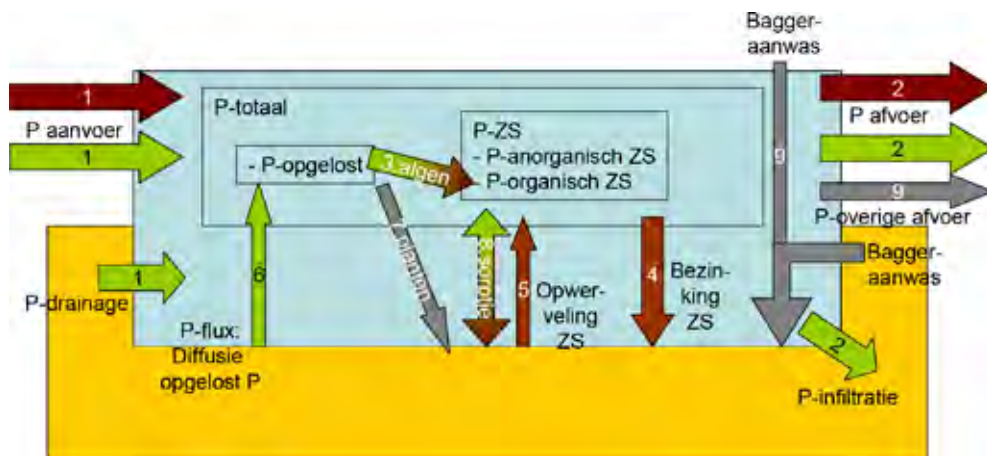


Module algenbloei en nutriënten, het balansmodel

Deze module is bedoeld voor watersystemen waarvoor de normen voor de nutriënten en/of algen (EKR fytoplankton) niet worden gehaald. De nutriëntenconcentraties zijn namelijk een resultante van zowel de externe aanvoer als de interne processen. In veel gevallen wordt een resultante processterm gebruikt voor de interne processen. In BaggerNut worden de relevante interne processen zoveel mogelijk onafhankelijk van elkaar bepaald. Er wordt per kwartaal (ca 91 dagen) een balans opgesteld. De essentie van de balans is weergegeven in figuur 6.1.

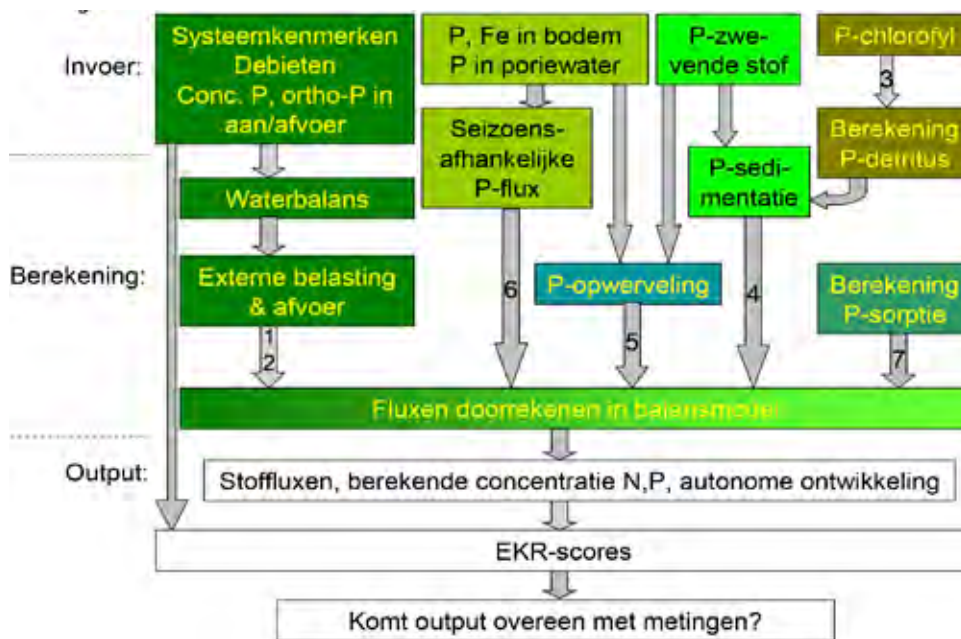
Meestal worden interne processen gefit met een vaste term, maar in BaggerNut zijn de waterbodemerelateerde processen apart gekwantificeerd, zoveel mogelijk op basis van metingen en gecombineerd met kennisregels. Niet alle processen komen in de Bodemdiagnose terug. Figuur 6.5 toont de fluxen die wel worden meegenomen in de Bodemdiagnose. De nummers zijn zoveel mogelijk gelijk aan figuur 3.2.

FIGUUR 6.5 PROCESSEN DIE WORDEN MEEGENOMEN IN HET BALANSMODEL VAN DE BODEMDIAGNOSE. VERKLARING VAN DE PIJLEN: BLAUW = TOTAAL P (OPGELOST + GEBONDEN), GROEN = OPGELOST P, BRUIN = P GEBONDEN AAN VASTE DEELTJES, GRIJS = WORDT NIET BEREKEND, OPGENOMEN VIA OP TE GEVEN WAARDE BIJ INVOER, OKERGEEL = BETREFT VASTE DEELTJES BODEM OF DEELTJES DIE METEEN BODEM WORDEN, BIJV. AFKALVING VAN OEVERS OF BLADVAL



Figuur 6.6 geeft de berekeningsstappen van de module algenbloei en nutriënten weer.

FIGUUR 6.6 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE MODULE ALGENBLOEI EN NUTRIËNTEN IN DE BODEMDIAGNOSE



Berekening van Ecologische Kwaliteits Ratio's

Voor de berekening van EKR's is gekozen aan te sluiten bij de KRW-verkenner. In BaggerNut is dus niet gewerkt aan eigen rekenregels. Op termijn zouden nieuwe kennisregels gekoppeld kunnen worden, als de stuurparameters van de nieuwe kennisregels aansluiten bij de Bodemdiagnose. Een nieuwe versie van de Bodemdiagnose tool kan dan andere, maar ook meer betrouwbare, KRW-scores opleveren dan de huidige.

De huidige KRW-verkenner kent ecologische kennisregels die worden gebruikt om EKR-scores van de vier biologische kwaliteitselementen (macrofyten, macrofauna, vissen en fytoplankton) te berekenen op waterlichaamniveau. Dit is vooral nuttig als ingeschat moet worden welk effect een maatregel kan hebben. De Bodemdiagnose volgt de methodiek van de KRW-Verkenner voor regionale wateren. De rekenregels zijn gebaseerd op het rapport van Evers et al. (2009). De methodiek is gebaseerd op regressiebomen. Deze leggen relaties tussen EKR-scores en verschillende waterkwaliteit- en inrichtingvariabelen. Naast zomergemiddelde P- en N-concentraties zijn dat: BZV, chloride, peildynamiek, connectiviteit, meandering, beschaduwing, verstuwung, oeverinrichting, scheepvaart, onderhoud. Watertypen zijn ingedeeld in clusters. Per cluster zijn rekenregels afgeleid per biologisch kwaliteitselement.

Module zuurstof

De impact van de waterbodem op de zuurstofhuishouding van het water wordt in de Bodemdiagnose kwalitatief bepaald. De achtergrond hiervan is dat wanneer het zuurstof-verbruik van het sediment (SZV) verantwoordelijk is voor een groot deel van de zuurstofvraag (en groter is dan een achtergrond van 1 mg/l) de kans groot is dat de waterbodem het zuurstofgehalte in het water bepaalt en negatief beïnvloedt. Het gaat hier dus om de impact op het zuurstofgehalte in het water. Mogelijk gaat dit samen met een anoxische bodem, maar dit is nog niet aangetoond. Om de impact van de waterbodem in het systeem te bepalen is een beslismatrix opgesteld waarin per watertype (meer, kanaal, slootsysteem) op basis van een aantal kenmerken van het systeem wordt geschat of de waterbodem van grote invloed zal zijn op de zuurstofhuishouding van het watersysteem. De grenzen binnen deze matrix zijn nog niet uitgebreid getest.

In figuur 6.7 wordt de methode schematisch weergegeven. Deze bestaat uit een beslismatrix waarin de volgende kenmerken worden gebruikt: diepte, stroming, sediment zuurstofverbruik (ingeschat op basis van bodemeigenschappen) en risico voor opwerveling.

De gebruikte grenzen in de beslismatrix zijn gebaseerd op grenzen vanuit TEWOR (Van den Boomen & Icke, 2004) en expert judgement.

FIGUUR 6.7 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE MODULE ZUURSTOF IN DE BODEMDIAGNOSE



FASE 3, BEREKENING VAN DE AUTONOME ONTWIKKELING

Als de gebruiker voldoende vertrouwen heeft in de beschrijving van de huidige toestand, kan fase 3 uitgevoerd worden: de berekening van de autonome ontwikkeling. Deze optie geldt alleen voor de module algengroei en nutriënten. De Bodemdiagnose rekent vanuit de huidige situatie een aantal jaren door, tot het systeem naar stationaire toestand toegaat. Als het systeem stationair is treedt er geen verandering op. Dit geeft inzicht in wat er gaat gebeuren als een beheerder geen maatregelen neemt.

De autonome ontwikkeling wordt berekend voor het verloop van P in het oppervlaktewater en P in de bodem (bodembalans) voor een periode van 10 jaar. Dit wordt gedaan door per kwartaal op basis van de aanvoer, afvoer en interne processen een nieuwe concentratie te berekenen. Deze concentratie

wordt meegenomen naar het volgende kwartaal. Zowel de P in het water als de P in de bodem worden grafisch weergegeven. Voor het berekenen van de autonome ontwikkeling worden grotendeels dezelfde vergelijkingen gebruikt.

FASE 4, MAATREGELN DOORREKENEN

In fase 4 worden nieuwe gegevens ingevoerd op basis van de maatregelen. De manier waarop een beheerder maatregelen kan invoeren wordt beschreven in het rapport 'Maatregelen in de Bodemdiagnose'. De maatregelen worden op een vergelijkbare manier doorgerekend als de autonome ontwikkeling. Op die manier kan de autonome ontwikkeling worden vergeleken met de ontwikkeling bij uitvoering van een bepaalde maatregel.

Er zijn vier typen maatregelen beschreven in het maatregelenrapport:

- Opwerveling reducerende maatregelen (visbeheer, vermindering boten/recreatie/wind-werking, stabilisatie van de bodem (smart soils), licht bezanden);
- Bron weghalen: baggeren;
- Contact nutriënten waterbodem en oppervlaktewater afsnijden: afdekken;
- Vergroten P-bindingscapaciteit: toepassen van P-bindende stoffen.

Voor deze maatregelen worden de volgende aspecten beschreven:

1. Korte beschrijving van de maatregel en ervaring;
2. Advies in de bodemdiagnose: in welke situaties/systemen kan de maatregel worden toegepast?;
3. Kwantificeren van de maatregel: handvatten voor wijzigen invoer.

Als de maatregel gekwantificeerd is wordt, met deze gegevens als invoer, een vergelijkbare berekening gemaakt als in de autonome ontwikkeling.

In de resultaten worden de trend in de P-concentratie in het water en het P-gehalte in de bodem grafisch gepresenteerd. Verder wordt voor 1 en 5 jaar na de maatregel de EKR-score berekend. Het relatieve verschil tussen de berekende EKR-score in de huidige situatie en de berekende EKR na resp. 1 en 5 jaar wordt gebruikt. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de berekende EKR voor de huidige situatie lager is dan de gemeten EKR. Als de EKR na 5 jaar wel hoger is dan de huidige situatie, maar nog steeds lager de gemeten EKR blijft, wordt de verhoging dus opgeteld bij de gemeten EKR.

RESULTATEN

In hoofdstuk 9 kunt u verder lezen over de samenhang van de resultaten uit de Bodemdiagnose met de Quicksan resultaten en met de bredere systeemanalyse.

7

SYSTEEMANALYSES

Binnen BaggerNut zijn verschillende watersysteemanalyses uitgevoerd. De reeks systeemanalyses bestaat uit twee delen, elk met een enigszins andere benadering, omdat naast de BaggerNut instrumenten aanvullende instrumenten zijn gebruikt. Het eerste deel is uitgevoerd door ARCADIS en/ of Deltares en maakt gebruik van een water- en stoffenbalans, waarin de interne processen (nalevering, opwerveling/bezinking, productie van algen) niet als resultante factor zijn meegenomen, maar zijn uitgesplitst. Tevens heeft Deltares voor enkele locaties het Screeningmodel Nutriënten toegepast en vergeleken met de opgestelde watersysteemanalyses met behulp van de Bodemdiagnose.

Het tweede deel is uitgevoerd door Witteveen+Bos en het Hoogheemraadschap van Delfland. Bij deze analyses zijn tevens water- en stoffenbalansen gemaakt. Voor kwantificering van de interne processen werd gebruik gemaakt van de modellen PCLake/PCDitch. Met PCLake/PCDitch konden ook de kritische grenzen van de systemen worden bepaald. In dit hoofdstuk wordt een eerste aanzet gedaan voor systeemvergelijkingen en worden de belangrijkste lessen vanuit de systeemanalyses weergegeven. In tabel 7.1 wordt een overzicht gegeven van de uitgevoerde systeemanalyses.

TABEL 7.1 OVERZICHT VAN UITGEVOERDE SYSTEEMANALYSES BINNEN BAGGERNUT

LOCATIE	WATERSCHAP/ HOOGHEEMRAADSCHAP
Hoefsvan	Brabantse Delta
Haarvaten Westboezem, Vlaardingervaart, Slinksloot, Karitaat Molensloot, Ackerdijkse plassen	Delfland
De Leijen, Alde Faenen (Boezem en deelsystemen), Slotermeer	Fryslân
Kanalensysteem Westerwolde, kanalensysteem Veenkoloniën, Oldambtmeer, Zuidlaardermeer	Hunze en Aa's
Schutzloterwijdte, Beulakerwijdte, Bovenwijdte, Giethoornse meer, Belterwijdte west	Reest en Wieden
Klein Vogelenzang (onderdeel Reeuwijkse Plassen)	Rijnland
Twaalf vergelijkbare A-watgangen (sloten) in de Alblasserwaard	Rivierenland
Bleiswijkse Zoom	Schieland en Krimpenerwaard
De Keulevaart, Meijepolder, Zegveld, de Pleijt en Honswijk	Stichtse Rijnlanden
Grote Wetering	Veluwe

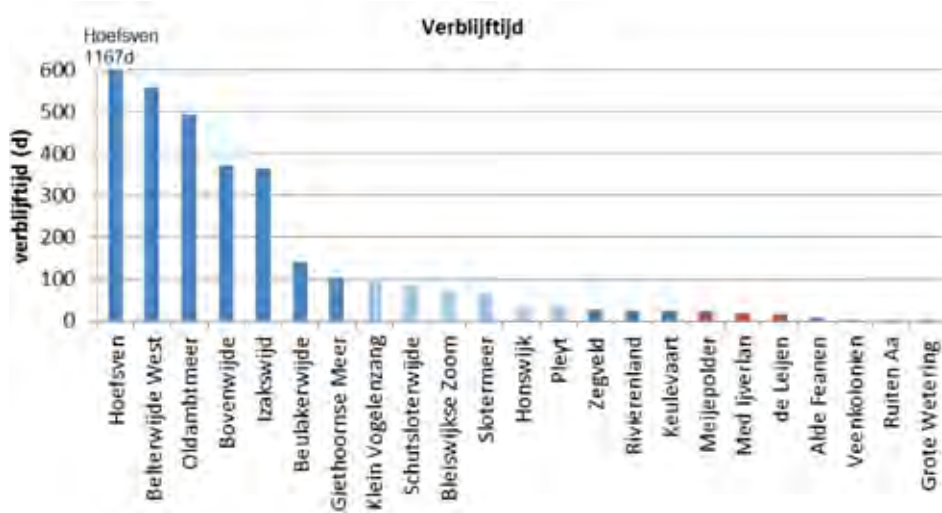
In de watersysteemanalyses zijn water- en stoffenbalansen gemaakt voor de verschillende systemen. In de meeste systemen is gefocust op fosfor (P). In een aantal systemen is ook stikstof (N) meegenomen. Er zijn systeemanalyses uitgevoerd in poldersystemen, kanaalsystemen en in meersystemen. Per watersysteem zijn deze balansen, in combinatie met informatie over de huidige ecologische toestanden en andere systeeminformatie, gebruikt om te adviseren over (waterbodem)maatregelen.

WATERSYSTEEMANALYSES DOOR ARCADIS EN/OF DELTARES

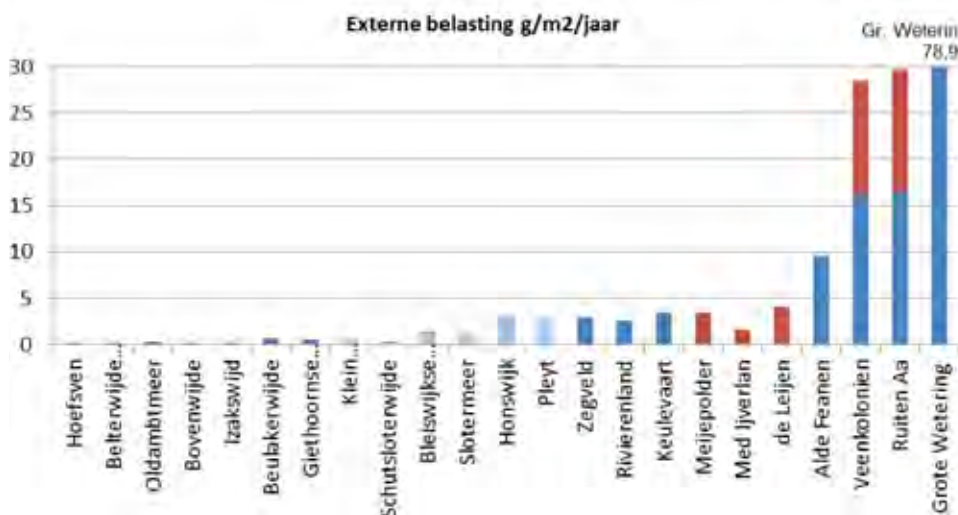
Grote verschillen tussen en binnen de systemen

De bestudeerde systemen verschillen onderling sterk in eigenschappen. De verblijftijden nemen toe in de volgorde kanaalsystemen, poldersystemen en meren. Wat we ook zien is dat de externe belasting afneemt in dezelfde volgorde. Zie figuur 7.1 en 7.2.

FIGUUR 7.1 VERBLIJFTIJDEN IN VERSCHILLENDE WATERSYSTEMEN

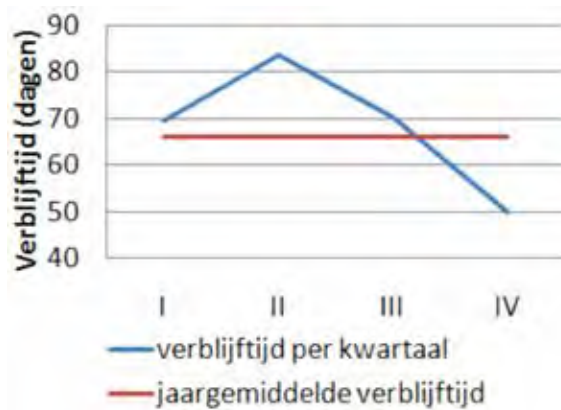


FIGUUR 7.2 EXTERNE BELASTINGEN IN VERSCHILLENDE WATERSYSTEMEN



Ook binnen typen systemen kunnen de verblijftijden en externe belasting sterk verschillen en daarmee ook de ecologische omstandigheden en waterkwaliteit. In het Slotermeer (Bloemerts; Tietema, en van de Weerd 2012) ligt de gemiddelde verblijftijd rond 68 dagen, en in het Hoefsven (Osté 2012) bijna op 3 jaar. Binnen een systeem kunnen de verblijftijden en ook de belasting sterk verschillen per kwartaal. Figuur 7.3 laat het verloop van de verblijftijd zien van het Slotermeer, door het jaar heen (Bloemerts; Tietema, en van de Weerd 2012).

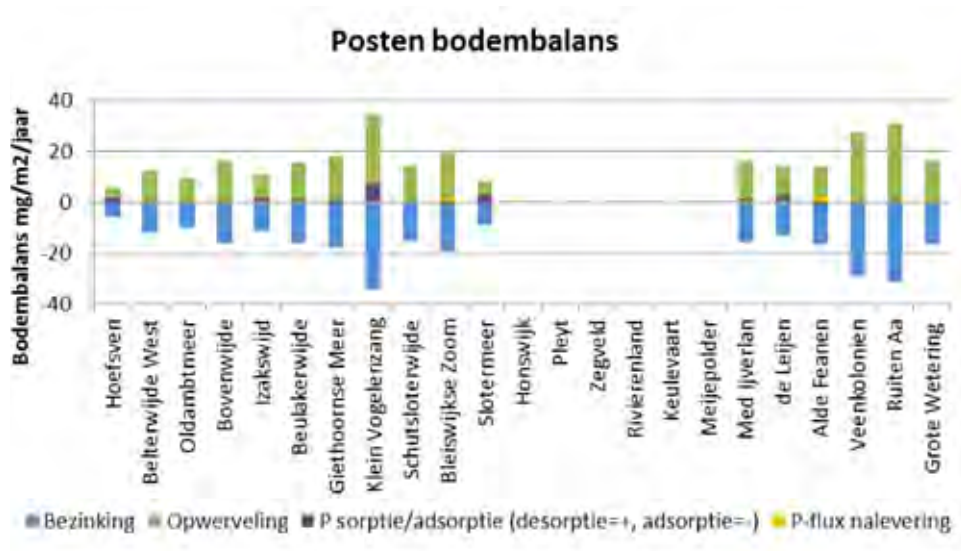
FIGUUR 7.3 VERBLIJFTIJD IN HET SLOTERMEER



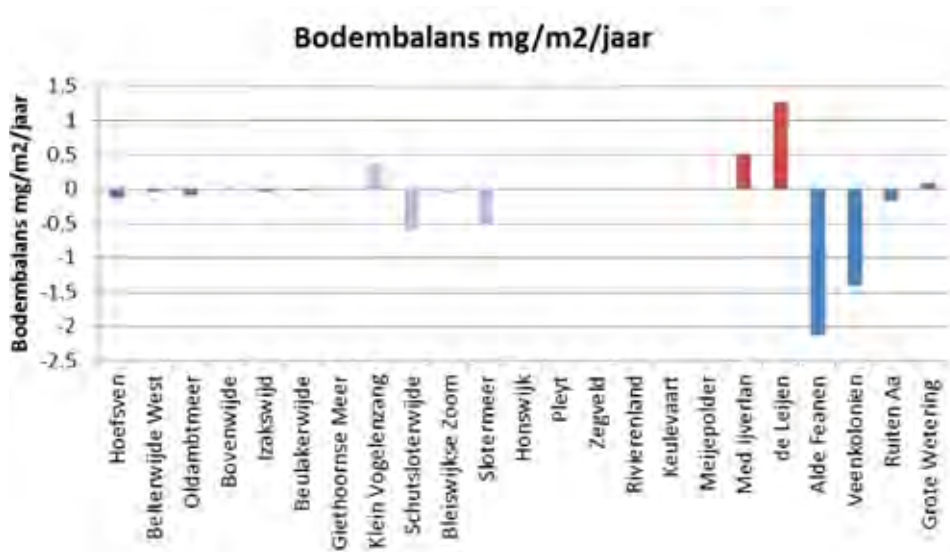
Doel van BaggerNut is om inzicht in de rol van de waterbodem te krijgen in verschillende systemen. Hierbij speelt P een belangrijke rol en hier is dan ook op gefocust. In de watersysteemanalyse binnen BaggerNut zijn de verschillende aan- en afvoerroutes en processen zo goed mogelijk in kaart gebracht. Uitwisseling van fosfor met de bodem wordt in veel studies als een restpost beschouwd in de P balans van een watersysteem. Binnen BaggerNut is deze restpost inzichtelijk gemaakt. Naast een P-balans voor het water, is ook een P-balans voor de bodem berekend. Deze balansen samen komen op nul uit. De bodembalans geeft aan of er op jaarbasis nalevering van P van de bodem naar het water is (positief) of andersom (negatief).

Figuur 7.4 geeft de posten van de bodembalans weer voor de verschillende systemen. In Figuur 7.5 is de netto bodembalans weergegeven. We zien hier dat er systemen zijn waarin P ophoopt in de waterbodem (het boezemsysteem van Alde Feanen, (Bloemerts; Tietema, en van de Weerd 2012)) en systemen waarin P wordt gemobiliseerd (Klein Vogelenzang (Osté en Harezlak 2012)).

FIGUUR 7.4 POSTEN IN DE BODEMBALANSEN IN VERSCHILLENDE SYSTEMEN



FIGUUR 7.5 NETTO BODEMBALANSEN IN VERSCHILLENDE SYSTEMEN



Het belang van opwerveling en bezinking

Figuur 7.4 laat zien dat in alle systemen bezinking en opwerveling dominante fluxen van P zijn. Deze fluxen zijn ingeschat op basis van kentallen en op basis van gemeten zwevend stof gehalten. In veel systemen zijn deze fluxen grotendeels in balans. Wanneer er echter netto sedimentatie of resuspensie optreedt, kan de P-concentratie in waterbodem en oppervlaktewater en de P-balans in het systeem sterk beïnvloed worden door deze processen. In de Beulakerwilde (Penning; Cornelisse; Thiange, en Osté 2012) zijn daadwerkelijk metingen gedaan aan bezinking van het slib. Hieruit bleek dat de bezinksnelheden, gebruikt in de Bodemdiagnose, passen bij de kleinste deeltjes, en deze zijn dus zeker niet te hoog gekozen.

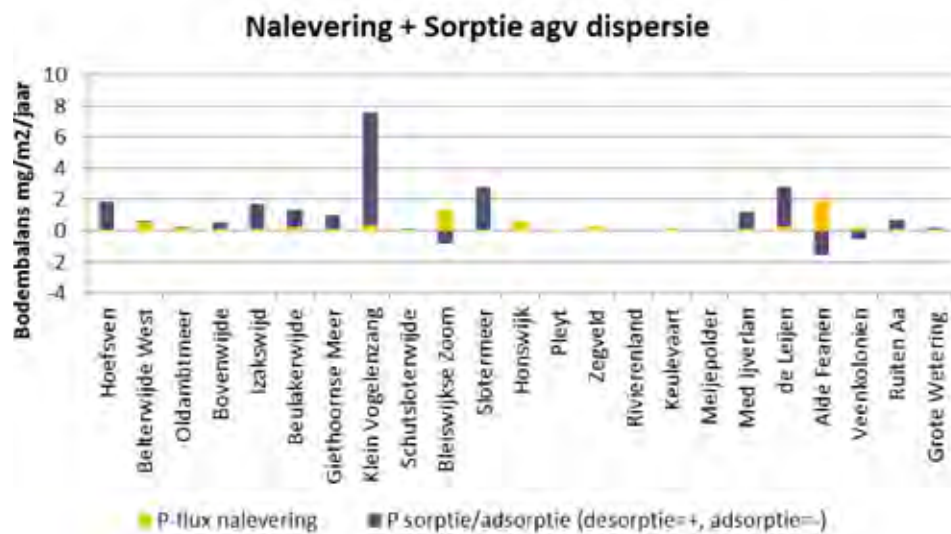
Extra flux als gevolg van beroering van de bodem

Binnen BaggerNut is veel aandacht besteed aan het onafhankelijk meten van de naleveringsfluxen als gevolg van diffusie. Ook is er aandacht besteed aan andere mechanismen van nalevering (chemische en biologische nalevering). In figuur 7.6 zijn deze fluxen weergegeven. In geel is de onafhankelijk gemeten flux weergegeven voor nalevering als gevolg van diffusie. In paars wordt de aanvullende flux weergegeven zoals berekend met de Bodemdiagnose. Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat er naast nalevering als gevolg van diffusie nog belangrijke bodemfluxen van P zijn die niet te verwaarlozen zijn. In de Bodemdiagnose hebben we deze flux sortitie als gevolg van dispersie genoemd.

Sortitie als gevolg van dispersie is een vorm van chemische nalevering. Door beroering van de bodem kunnen concentratieverschillen tussen P in waterbodemvocht en oppervlaktewater veel sneller opgeheven worden (dispersie). Wanneer de concentratie in het bodemvocht daalt, treedt er desorptie op van aan de bodem gebonden P om het evenwicht tussen waterbodem en bodemvocht weer te herstellen. Deze concentratie wordt weer gemakkelijk uitgewisseld etc. Dit fenomeen wordt versterkt wanneer beroering groter is en de beroerde laag dieper is. Daarnaast is het afhankelijk van de voorraad gemakkelijk beschikbaar P in de waterbodem.

Ook adsorptie aan de waterbodem kan bij beroering sterker optreden. Ook dit is afhankelijk van de mate en diepte van beroering en de grootte van de adsorptiecapaciteit.

FIGUUR 7.6 NALEVERING EN SORPTIE ALS GEVOLG VAN DISPERSIE IN VERSCHILLENDE WATERSYSTEMEN



De naleveringsfluxen in figuur 7.6 vallen in bijna alle systemen hoger uit dan de bodem-balans omdat er in deze systemen netto sedimentatie van P plaatsvindt. Hier worden deze P-fluxen deels door gecompenseerd.

De P-vraag van algen als maat voor de interne eutrofiëring

In enkele meren is niet alleen een watersysteemanalyse gemaakt conform BaggerNut, maar is ook een modelberekening gemaakt om alle interne en externe fluxen in kaart te brengen (Osté, Harezlak, en Bloemerts 2012; Osté en Harezlak 2012). Het screeningsmodel is een eutrofiëringmodel op basis van Delft3D-ECO, bedoeld om inzicht te verwerven in de bijdrage van de bodem aan de waterkwaliteit van het bovenstaande water. Op basis van de afmetingen, de water- en stoffenbalans, het bodemtype (klei, veen, zand), de gehalten C en P in de waterbodem en de aanwezigheid van stikstoffixerende algen (ja/nee) is een berekening gemaakt. De resterende gegevens liggen al in het screeningsmodel vast, zoals: de meteorologie en de procescoëfficiënten. Deze laatste zijn deels afhankelijk van de keuzes voor bodemtype en de aanwezigheid van stikstoffixeerders. Hoewel het aantal meren beperkt was, berekende het model consequent een hogere nalevering vergeleken met gemeten diffusiefluxen. Ook in de Bodemdiagnose moest de interne nalevering hoger verondersteld worden, hetgeen is gedaan door een dispersie/desorptiefactor toe te voegen als sluitpost. In het screeningsmodel en de Bodemdiagnose wordt de interne nalevering sterk beïnvloed door de P-vraag van algen; anders kunnen de gemeten chlorofylconcentraties niet verklaard worden.

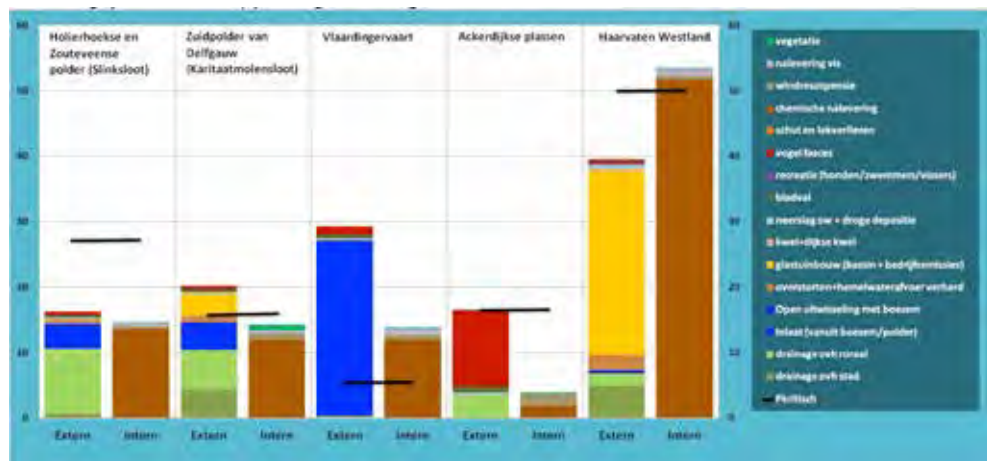
WATERSYSTEEMANALYSES DOOR WITTEVEEN+BOS EN HET HOOGHEEMRAADSCHAP VAN DELFLAND

In het algemeen zien we bij alle vijf waterlichamen, waar in het beheergebied van het Hoogheemraadschap van Delfland experimenten zijn uitgevoerd, een zeer hoog P-gehalte (Jaarsma; Brederveld; Bakkum, en de Koning 2012). Dit is een vrij algemeen beeld in laag-Nederland. Naast de hoge belasting vanuit drainage, glastuinbouw, inlaat en overige bronnen, is de voormalige mariene historie verklarend; het grondwater is P-rijk, de bodem bindt slecht P, een hoge SO_4^- -concentratie zorgt voor slechte binding en anaerobe afbraak van organisch materiaal. N-limitatie is kenmerkend voor deze voormalige brakke/mariene systemen.

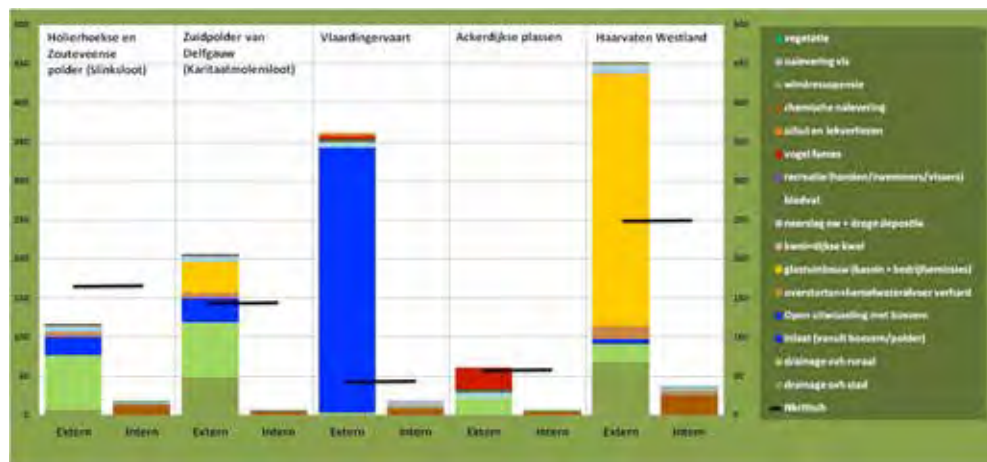
Ook de waterbodems laten dit zien: uit de resultaten van BaggerNut blijkt dat er veel S, veel mobiel P en veel naleveringspotentie is in de bodems. In een aantal gevallen is er echter, ondanks extreem hoge P-gehalten, niet of nauwelijks sprake van waterkwaliteitsproblemen. Er zijn echter ook weinig bijzondere natuurwaarden. De N-gehalten zijn vooral in de zomer vaak ten opzichte van P relatief laag en op een aantal locaties is (in de zomer) sprake van N-limitatie.

Voor alle Delflandse locaties zijn met behulp van PCLake/PCDitch kritische belastinggrenzen bepaald. Hierdoor werd het mogelijk de eveneens opgestelde belastingprofielen en stofbalansen te toetsen op een theoretisch omslagpunt van helder plantenrijk naar troebele of kroesgedomineerde systemen.

FIGUUR 7.7 EXTERNE (PER LOCATIE LINKS), INTERNE (PER LOCATIE RECHTS) EN KRITISCHE P-BELASTING (ZWARTE STREEP) IN MGP/M²/DAG



FIGUUR 7.8 EXTERNE (PER LOCATIE LINKS), INTERNE (PER LOCATIE RECHTS) EN KRITISCHE N-BELASTING (ZWARTE STREEP) IN MGN/M²/DAG



GELEERDE LESSEN

Lessen van ARCADIS en/of Deltares

- De eerste diagnose van de Bodemdiagnose leverde voor een aantal systemen de conclusie op dat niet de algen maar overig zwevend stof de oorzaak is voor troebelheid (Schutsloterwilde (Osté; Harezlak, en Bloemerts 2012), Ruiten Aa Kanaal (Bakx; Tietema, en van de Weerd 2012)).
- De algenpomp kan een grote rol spelen in watersystemen. Dit bleek bijvoorbeeld in MedIJverlan (een deelstysteem van Alde Feanen, (Bloemerts; Tietema, en van de Weerd 2012)) maar ook in de meren bij Reest en Wieden (Osté; Harezlak, en Bloemerts 2012) en in Klein Vogelenzang (Osté en Harezlak 2012). De algenpomp speelt vooral wanneer er beroering van de bodem plaatsvindt in een watersysteem. Wanneer algen opgelost P consumeren daalt de concentratie van opgelost P. Door dispersie (en diffusie) daalt dan het concentratieverschil tussen bodemvocht en oppervlaktewater weer, komt er P beschikbaar voor de algen en komt er weer nieuwe P vanuit de waterbodem vrij als gevolg van desorptie. Als gevolg van groei van algen komt er dus anorganisch P vanuit de bodem vrij. De algen zetten opgelost anorganisch P om in organisch P dat deels (als zwevend stof) in het oppervlaktewater blijft en deels weer naar de waterbodem bezinkt. In deze systemen, met lage externe belasting en laag ingeschatte nalevering als gevolg van diffusie, kan door werking van de algenpomp de nalevering vanuit de bodem vele malen hoger worden dan de externe belasting en nalevering als gevolg van diffusie.
- Zomer- en wintersituaties kunnen sterk verschillen. Als gevolg van landbouwuitspoeling kan de waterbodem in de winter opladen (Alblasserwaard (Bloemerts en van de Weerd 2012), boezemsysteem Alde Feanen (Bloemerts; Tietema, en van de Weerd 2012)). Waarna het P zich in het slib ophoopt en gedeeltelijk in de zomer vrijkomt. In de Alblasserwaard is gebleken dat op polderschaal de baggerhistorie niet van belang is voor het P-gehalte van de bodem en voor de ecologische waterkwaliteit. Het aanwezige slib wordt sterk beïnvloed door de landbouwuitspoeling in de omgeving. Daarnaast kan het slib zich ook gemakkelijk verplaatsen (Bloemerts en van de Weerd 2012).
- Uit AqMaD analyses voor HDSR (de Vlieger; van de Weerd; de Jong, en van Harderveld 2012) en Waterschap Veluwe (de Vlieger en van de Weerd 2012) blijkt dat in deze systemen stikstofverbindingen mogelijk ook een beperkende factor zijn voor de ontwikkeling van waterplanten en daarmee voor de ecologische kwaliteit.
- Omdat de zwevend stofbalans en ook de algen van groot belang zijn voor het functioneren van een systeem zijn goede metingen van het zwevend stof gehalte en chlorophyl-a van groot belang.

Lessen uit Delfland van Witteveen+Bos en het Hoogheemraadschap van Delfland (Jaarsma; Brederveld; Bakkum, en de Koning 2012)

- Er is een grote ruimtelijke variatie binnen de systemen. De beschouwde waterlichamen kennen allen een gradiënt, wat eenduidig toetsen en beoordelen complex maakt. Poldersystemen kennen een grote ruimtelijke variatie in diepte, verblijftijd, soms ook substraattypen. Hoofdwatergangen blijken vooral gestuurd te worden door de kwaliteit van het inlaatwater (verblijftijdsturing), het achterland kent vaker procesgestuurde systemen.

- P levert vaak flink na, de bijdrage van N is beperkt

Uit de stoffenbalansen blijkt dat P uit de waterbodem in een aantal systemen een substantieel aandeel van de totale P-belasting levert. Voor N levert de waterbodem een beperkt tot zeer beperkt aandeel van de totale N-belasting. De N:P verhouding van de meeste wateren is daarnaast laag en N is soms limiterend. Dit hangt samen met denitrificatie onder invloed van afbraakprocessen in de waterbodem. De N-verwijdering door afbraakprocessen in de waterbodem is daarom in ecologisch opzicht wellicht nog relevanter dan de hoge P-nalevering. Anders gezegd, hoewel de bodems veel P naleveren, hebben ze door stikstofverwijdering op dit moment eerder een positief dan een negatief effect op de waterkwaliteit.

De absolute naleveringsfluxen binnen Delfland zijn veelal hoog tot extreem hoog, ongeacht of we naar P of N kijken, de hoogste waarnemingen binnen BaggerNut zijn allen afkomstig van de Delflandse wateren. Dit hangt samen met hoge externe P-belastingen en hoge sulfaatbelastingen.
- Verblijftijd versus procesgestuurde systemen.

Vrijwel alle systemen hebben delen met een dusdanig lange verblijftijd (>7 dagen) dat processen sturend zijn. De hoofdwatgangen in de polderwaterlichamen en de haarvaten in het Westland combineren een aan- en een afvoerfunctie en kennen in algemene zin daardoor een kortere verblijftijd. De waterkwaliteit van het inlaatwater is daarmee bepalend voor de ecologische ontwikkeling, meer dan interne nalevering vanuit de waterbodem.
- Voldoende verblijftijd en doorzicht en nog geen planten.

Bij een doorzicht van 0,6 maal de diepte (doorzicht/diepte > 0,6) wordt verondersteld dat er voldoende licht op de bodem doordringt voor plantengroei (o.a. Scheffer, 1998, Jaarsma et. al., 2008). Dit wordt in het veld waargenomen, echter niet in al deze gevallen treffen we dan ook waterplanten aan. Blijkbaar is er iets anders limiterend of remmend. Uit de experimenten is voor meerdere locaties een indicatie afgegeven voor het voorkomen van sulfide- of ammoniumtoxiciteit voor de groei van ondergedoken planten.

8

KENNIS DELEN

De grote hoeveelheid kennis die binnen BaggerNut is verzameld en ontwikkeld, is behalve in dit rapport beschreven in een reeks rapporten, Excel-bestanden en zelfs twee filmpjes. Deze zijn allemaal te downloaden op de website van de STOWA via www.watermozaiek.nl (klik door naar het project BaggerNut). Dit hoofdstuk geeft een overzicht van alle BaggerNut-publicaties per onderwerp.

Algemeen:

Anonymus. BaggerNut, Maatregelen BAGGERen en NUTriënten. Subsidie-aanvraag Inno-vatieprogramma Kaderrichtlijn Water. Delft: Hoogheemraadschap van Delfland; 2009.



Coco Productions. [Film]: BaggerNut, de bodem in beeld. STOWA; 2012.

T. van der Wijngaart (STOWA), G.N.J. ter Heerdt (Waternet), R. Bakkum (Hoogheem-raadschap van Delfland), L.J.L. van den Berg (Radboud Universiteit Nijmegen), R.J. Brederveld (Witteveen+Bos), J.J.M. Geurts (Radboud Universiteit Nijmegen), N.G. Jaarsma (Witteveen+Bos), L.P.M. Lamers (Radboud Universiteit Nijmegen), L.A. Osté (Deltares), M.D.M. Poelen (B-Ware), A.J.P. Smolders (B-Ware), H. van de Weerd (ARCADIS). Eindrapport BaggerNut, maatregelen baggeren en nutriënten. STOWA; 2012.

Veldmetingen en experimenten:

De veldmetingen en experimenten (H4) worden beschreven in twee documenten:

1. Poelen, M. D. M.; van den Berg, L. J. L.; ter Heerdt, G. N. J.; Bakkum, R.; Smolders, A. J. P.; Jaarsma, N. G.; Brederveld, B., and Lamers, L. P. M. Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BaggerNut) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie. (MIND-BaggerNut) Eindrapportage. Nijmegen: B-Ware Research Centre; 2012; 2012-18.

In dit rapport vindt u het volgende:

- Een literatuuroverzicht over de relatie tussen een aantal bodemparameters en de nalevering van fosfor en stikstof;
- Een beschrijving van de monsternamen in de gebieden waarin de interne eutrofiëring wordt bepaald en de verschillende naleveringsexperimenten;
- De gevonden relaties tussen bodemparameters en nutriëntennalevering;
- Een beschrijving, per gebied, van de bodemkarakteristieken en de nalevering, plus een korte discussie;
- Een samenvatting van de conclusies uit dit rapport.

2. van den Berg, L. J. L.; Poelen, M. D. M.; Jaarsma, N. G.; Geurts, J. J. M.; Brederveld, R. J., and Lamers, L. P. M. WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) - De rol van vissen, planten, zuurstof en temperatuur bij de nalevering van nutriënten. Resultaten experimenten RUN en B-Ware. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2012.

In dit rapport vindt u het volgende:

- Een onderzoek naar de afbraak van waterplanten en de nutriënten die daarbij vrij komen;
- Een mesocosmos onderzoek naar effecten van vis op de nalevering;
- Twee reeksen mesocosmos-experimenten om de invloed van slib, baggeren, en waterplanten op de nalevering te testen;
- Een veldonderzoek naar de relaties tussen slibaanwas, aanwezigheid van flora en fauna en de nalevering;
- Een onderzoek naar het biochemische zuurstofverbruik;
- Een onderzoek naar de effecten van zuurstof op de nalevering;
- Een onderzoek naar de effecten van de temperatuur op de nalevering.

Quickscan:

De Quickscan en het gebruik ervan is in de volgende zes documenten beschreven:

1. Jaarsma, N. G.; Brederveld, R. J.; Pelen, M. D. M.; van den Berg, L. J. L., and Lamers, L. P. M. Quickscan voor de bepaling van de nalevering van nutriënten door de waterbodem. Deventer: Witteveen+Bos; 2012.

In dit rapport vindt u het volgende:

- Een uitgebreid literatuuronderzoek naar de relatie tussen omgevingsfactoren, bodem-parameters en de nalevering, met bijzondere aandacht voor kwantitatieve relaties.
- Een beknopte weergave van de bovengenoemde veldmetingen en experimenten, met de nadruk op kwantitatieve relaties.
- De keuze van betrouwbare en bruikbare formules en algoritmen
- De vertaling van de verkregen relaties naar de Quickscan
- Een beschrijving van de Quickscan.

2. Poelen, M.; van den Berg, L.; Bakkum, R., and Lamers, L. Quickscan voor inschatting interne nutriëntenmobilisatie. H2O. 2011; 22:39-42.

Een beknopt overzicht over de achtergronden, werking en gebruik van de Quickscan.

3. Quickscan Tool [Excel]. Anonymus. Deventer: Witteveen+Bos; 2012.

Dit is het rekenmodel waarmee de gebruiker de interne eutrofiëring kan bepalen. Het bevat tevens de gebruiksaanwijzing voor het gebruik van de tool.

4. Anonymus. PROTOCOL: Verzamelen bodemvocht van onderwaterbodem. Nijmegen: Radboud Universiteit en B-Ware; 2012.

Dit rapportje beschrijft in detail hoe de bodemmonsters voor het gebruik van de Quickscan genomen moeten worden en hoe de verdere analyses gaan.

5. Coco Productions. [Film]: BaggerNut, bodemvochtmeting. STOWA; 2012.
Dit instructieve filmpje demonstreert hoe de bodemmonsters voor het gebruik van de Quickscan genomen moeten worden.



6. de Zoutjes [Excel]. Anonymus. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen en Onderzoekcentrum B-Ware; 2012.

Dit Excelbestand maakt het omrekenen van molen naar mg/liter en omgekeerd zeer een-voudig.

Bodemdiagnose tool:

De Bodemdiagnose tool en het gebruik ervan is in de volgende vier documenten beschreven:

1. Osté, L. van de Weerd, H. Kennisregels in de bodemdiagnose BaggerNut. Delft: Deltares; 2012; 1201327-000.

In dit rapport vindt u het volgende:

- Een uitgebreid literatuuronderzoek naar de relatie tussen omgevingsfactoren, bodem-parameters, de nalevering en zwevende stof, met bijzondere aandacht voor kwantitatieve relaties.
- De keuze van betrouwbare en bruikbare formules en algoritmen.
- Een beschrijving van de verschillende balansmodellen in de Bodemdiagnose.
- Een beschrijving van de verschillende stappen waarmee waterkwaliteitsproblemen kunnen worden geanalyseerd.

2. Bodemdiagnose tool [Excel]. Osté, L. van de Weerd, H. Arcadis en Deltares; 2012.

Dit is het rekenmodel waarmee in verschillende stappen waterkwaliteitsproblemen kunnen worden geanalyseerd. Hiermee kan een redelijk eenvoudig waterkwaliteitsmodel worden opgesteld, waarmee het effect van maatregelen kan worden ingeschat.

Voor het gebruik van de Bodemdiagnose kan de gebruiker de werkbladen 'welkom' en 'overzicht sheet' raadplegen. Tevens is in sommige excel-cellen een opmerking geplaatst met suggesties en tips.

3. ARCADIS, 2012, Memo Invoerscherm Bodemdiagnosetool: toelichting, kenmerk 076730530:A.

Dit document geeft een uitvoerig overzicht van alle invoerparameters: de in te vullen waarde en relevantie plus wat er gebeurt er als een verkeerde waarde wordt ingevuld.

4. Osté, L.A. en H. van de Weerd. Maatregelen in de Bodemdiagnose BaggerNut. Advies voor het reduceren van de bijdrage van de waterbodem. Delft: Deltares; 2012; 1201327-000.

Voor een reeks mogelijke maatregelen wordt het volgende beschreven:

- Beschrijving van de maatregel en ervaringen tot nu toe.
- Advies: in welke situaties/systemen kan de maatregel worden toegepast.
- Kwantificeren van de maatregel met de Bodemdiagnose tool: handvatten voor wijzigen invoer.

Systeemanalyses:

De resultaten van de 25 systeemanalyses zijn te vinden in onderstaande 17 rapporten. Deze zijn deels verschillend, want gebiedsanalyses zijn maatwerk. Deze analyses bevatten voorbeelden van:

- Gebiedsbeschrijvingen
 - Resultaten eerste diagnose
 - Resultaten Quicksan
 - Waterbalansen
 - Zwevende stof balansen
 - Nutriëntenbalansen
 - Resultaten zwevende stof diagnose
 - Resultaten
 - Berekeningen van de effecten van mogelijke maatregelen
1. Bakx, W.; Tietema, E., van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Veenkoloniën. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076432955:B.
 2. Bloemerts, M.; Tietema, E., van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Alde Feanen. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076311807:C.
 3. Bloemerts, M.; Tietema, E., van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Sloterveer. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076300524:B.
 4. Bloemerts, M. van de Weerd, H. BaggerNut, Rivierenland - Watersysteemanalyse Alblasserwaard (memo). Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076515621:A.
 5. de Vlieger, B. van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Grote Wetering. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076435277:B.
 6. de Vlieger, B.; van de Weerd, H.; de Jong, H., and van Harderveld, H. BaggerNut, Watersysteemanalyses en vergelijking van 5 poldergebieden. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076720299:0.2.
 7. de Vlieger, B.; van de Weerd, H., Reeze, B. Verbetering van de ecologische waterkwaliteit van de weteringen: onderzoek naar de bijdrage van kwaliteitsbaggeren. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 075982257:0.2.
 8. Jaarsma, N.; Brederveld, B.; Bakkum, R., de Koning, J. Systeemanalyses Delfland. Rapport BaggerNut. Deventer: Witteveen+Bos & Hoogheemraadschap van Delfland.; 2012.
 9. Osté, L. BaggerNut, Watersysteemanalyse en Slibdiagnose voor het Hoefsven. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076412151:C.
 10. Osté, L. Harezlak, V. BaggerNut, Watersysteemanalyse en Slibdiagnose Bleiswijkse Zoom. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076297953:B.
 11. Osté, L. Harezlak, V. BaggerNut, Watersysteemanalyse Klein Vogelenzang CONCEPT. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076008146:B.

12. Osté, L. Harezlak, V. BaggerNut, Watersysteemanalyse Oldambtmeer. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076412117:C.
13. Osté, L.; Harezlak, V., Bloemerts, M. BaggerNut, Watersysteemanalyse de Leijen. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012.
14. Osté, L.; Harezlak, V., Bloemerts, M. BaggerNut, Watersysteemanalyse en Slibdiagnose voor de Schutsloterwijde. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076433684:B.
15. Penning, W. E.; Cornelisse, J.; Thiange, C., Osté, L. Zwevende stof in de Beulakkerwijde. Delft: Deltares; 2012; 1206456.
16. Tietema, E. van de Weerd, H. BaggerNut, Opschaling Wieden. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076452476:0.15.
17. van der Toorn, L.; Tietema, E., van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Westerwolde. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076299509:B.

9

GEBRUIK VAN DE RESULTATEN VAN BAGGERNUT

GEBRUIK QUICKSCAN EN BODEMDIAGNOSE TOOL

De resultaten van BaggerNut en met name de Quickscan en Bodemdiagnose tool, zijn belangrijke hulpmiddelen bij het uitvoeren van een systeemanalyse, zoals beschreven in “Van Helder naar Troebel en weer terug” (Jaarsma et al. 2008). BaggerNut voegt daaraan een belangrijke extra eerste stap toe; een eerste diagnose om na te gaan waar het probleem zit.

Soms heeft de waterbeheerder goed begrip van het probleem, maar soms heeft hij alleen geconstateerd dat er sprake is van een troebele toestand, normoverschrijdingen voor nutriënten en/of onvoldoende EKRscores. Uit de systeemanalyses binnen BaggerNut (zie H7) blijkt dat dergelijke problemen veroorzaakt kunnen worden door andere factoren dan de bodem of de nutriëntenbelasting. De eerste diagnose stap van de Bodemdiagnose tool laat zien of dat het geval is of niet. Als de bodem of de nutriëntenbelasting het probleem niet zijn, wordt de volgende stap, het opstellen van water en nutriëntenbalansen in een aantal gevallen overbodig. Zie hiervoor hoofdstuk 5 en de onderliggende documenten.

De wensen van waterbeheerders zijn net zo verschillend als de wateren die ze onder hun hoede hebben. Iedereen kan en zal de resultaten van BaggerNut passend bij de eigen behoefte willen gebruiken. Er is dus geen standaard “BaggerNutaanpak” te formuleren. Maar een waterbeheerder zou de volgende stappen kunnen doorlopen.

STAP 1; EERSTE DIAGNOSE

Het verzamelen van de benodigde data voor een eerste diagnose

Voor een eerste diagnose zijn nodig zomergemiddelden chlorofyl en doorzicht (Secchi diepte) in het water en de minimaal de gehalten van fosfaat (P) en ijzer (Fe) in de bodem, graag ook zwavel (S). Voor het goed inschatten van de nalevering uit de bodem zijn totaal-P, Fe en S in het bodemvocht nodig. Vaak zijn de waterkwaliteitsgegevens bij een waterschap al aanwezig, soms de bodemgegevens ook. Zo niet, dan moet er worden gemeten. Meet dan meteen ook: zwevend stof (onderscheid tussen organisch en anorganisch) en de extinctie (gefiltreerd bij 380 nm), dat kost niet veel extra (zie hieronder) en kan later zeer van pas komen bij een eventuele vervolgstap. Gebruik voor het meten van de bodemparameters de Quickscanmethode. Het verzamelen van waterkwaliteitsdata wordt bekend geacht.

Toepassing van de Quickscan in het kort

Bodemmonsters voor de Quickscan worden vanuit een bootje met een zuigerboor genomen. De methode staat uitgebreid beschreven in hoofdstuk 5 en de onderliggende documenten. De monsters kunnen dan met standaardmethodes door een laboratorium worden geanalyseerd op fosfor (P), ijzer (Fe) en zwavel (S). Omdat deze monsternamen redelijk snel gaat, kunnen zeker tien monsters op een dag worden genomen. Een goed gespreide, representatieve steekproef is dus mogelijk. Dit hoeft slechts één keer te gebeuren in juni of juli, de Quickscan berekent automatisch de nalevering in de vier seizoenen.

De gegevens worden ingevoerd in de Quickscan tool, deze rekent dan de hoogte van de interne belasting uit. Als de invoerparameters erg uitzonderlijk zijn geeft de Quickscan dat aan.

De kosten van de monitoring voor een eerste diagnose, inclusief Quickscan

Belangrijk criterium voor de Quickscan is, naast betrouwbaarheid, de kostprijs. Deze blijft, voor een uitgebreide analyse, onder de € 3.200,-.

Voor de Quickscanmonitoring moet in het algemeen een speciale velddag worden georganiseerd, vandaar dat hiervoor kosten worden opgevoerd. De waterkwaliteit-monitoring kan in de regel in een lopend programma worden opgenomen, vandaar dat de kosten pm. zijn gesteld. In totaal komen de kosten op € 3.183,-. Deze kosten zijn gebaseerd op de ervaring van Gerard ter Heerdt bij Waternet, ze kunnen per waterschap verschillen (tabel 9.1).

TABEL 9.1. KOSTEN VOOR QUICKSCAN MONSTERING EN WATERKWALITEITSMONSTERING

QUICKSCAN-MONSTERING; SCHATTING KOSTEN PER TIEN MONSTERS	EURO
VELDWERK 1 DAG (2 PERSONEN, INCL. KOSTEN AUTO, BOORMATERIAAL ED.)	940
RAPPORTAGE 1 DAG, 1 PERSOON	235
10 FILTERTJES	90
10 BODEMVOCHTANALYSES OP P, FE EN S.	610
10 BODEMANALYSES OP P, FE EN S.	490
TOTAAL	2365
WATERKWALITEIT-MONSTERING; SCHATTING KOSTEN PER ZES MAANDEN	EURO
VELDWERK EN RAPPORTAGE PM.	
CHLOROFYL	242
DOORZICHT	112
ZWEVEND STOF	353
EXTINCTIE	112
TOTAAL	818

Interpretatie van de eerste diagnose

De gegevens van de hoeveelheid zwevend stof en chlorofyl en de nalevering worden ingevoerd in de Bodemdiagnose tool. Op basis daarvan maakt de Bodemdiagnose een eerste schatting van het probleem. Dat kan de hoeveelheid zwevend stof zijn en/of algenbloei als gevolg van een te hoge externe belasting of interne belasting. En soms blijkt er geen probleem te zijn of is er in dit stadium geen duidelijke oorzaak aan te wijzen. De eerste diagnose adviseert welke vervolgstappen, de diagnose voor zwevend stof en/of nutriënten, al dan niet uitgevoerd moeten worden.

STAP 2; BODEMDIAGNOSE VOOR ZWEVEND STOF

Benodigde data

De benodigde data zijn chlorofyl, zwevend stof (onderscheid tussen organisch en anorganisch), de extinctie (gefiltreerd bij 380 nm) en het doorzicht (Secchi diepte). Als er geen metingen voor extinctie of onderverdelingen in organisch/anorganisch zijn, gebruikt het model standaardwaarden.

Interpretatie zwevend stof

Het model berekent het doorzicht (Secchi diepte) en vergelijkt dat met het gemeten doorzicht. Als deze redelijk overeenkomen, dan mag worden aangenomen dat dit deel van het model klopt. De beheerder kan dan nagaan welke fractie (algen, dode organische stof, anorganische stof) het doorzicht bepaalt. Een groot effect van anorganische stof kan duiden op opwerveling of de inlaat van troebel water. Een groot effect van algen duidt op een te hoge nutriëntenbelasting. Dit zet de beheerder weer op het spoor van eventuele maatregelen.

Als de output niet overeenkomt met het gemeten doorzicht, moet worden nagegaan welke parameters die afwijking kunnen veroorzaken en kunnen deze worden aangepast. Het rapport "Kennisregels in de Bodemdiagnose" biedt daarvoor enige handvatten. Omdat de parameters goed in het Excelmodel zijn te vinden, zijn dergelijke aanpassingen technisch niet moeilijk.

STAP 3; BODEMDIAGNOSE VOOR NUTRIËNTENBALANS

Benodigde data

Nu is het van belang om over een waterbalans te beschikken. Op basis hiervan en een reeks waterkwaliteitsparameters (zie onder) worden de externe belasting en de afvoer berekend. De volgende posten worden onderscheiden: neerslag, verdamping, kwel, wegzijging, inlaat, uitlaat. Daarnaast moet rekening gehouden worden met puntbronnen (RWZI's), diffuse bronnen (vogels) en de in- en uitlaat voor de peilfluctuatie.

De benodigde waterkwaliteitsdata zijn chlorofyl, zwevend stof (onderscheid tussen organisch en anorganisch), P-totaal en P-ortho. Als er vermoedens zijn dat er sprake is van stikstoflimitatie zijn ook N-totaal, NH_4 , NO_2 en NO_3 van belang (zie intermezzo). Voor elk van bovenstaande balansposten is deze reeks nodig.

De interne belasting wordt berekend met de Quickscan, als dat nog niet gedaan is.

Intermezzo: Hoe om te gaan met stikstof?

De oplettende lezer zal opgemerkt hebben dat er in Quickscan en Bodemdiagnose tool sprake is van een sterke fixatie op fosfor en dat stikstof als belangrijke voedingsstof wordt verwaarloosd. Voor een deel heeft dat een praktische reden. Het meten en modelleren van stikstofstromen wordt flink bemoeilijkt doordat er door verschillende bacteriële processen stikstof van het water naar de atmosfeer ontsnapt. En om het nog lastiger te maken zijn er ook algen die stikstof uit de atmosfeer naar het water kunnen "pompen". Er zijn -mede- daarom geen mooie correlaties tus-sen eenvoudige bodemparameters en de nalevering van stikstof (zie MIND-rapportage) en zit stikstof niet in de Quickscan. Een "eenvoudig" model als de Bodemdiagnose ook voor Stikstof op te stellen is op dit moment niet doenlijk. Voor een ander deel moeten we echter ook toegeven dat de huidige onderzoekscultuur naar eutrofiëring toch vooral op fosfor is gericht.

Er is met BaggerNut echter wel veel kennis over de nalevering van stikstof verzameld en ontwik-keld. Deze is te vinden in MIND en in de experimenten van RUN en B-Ware. Een belangrijke con-clusie uit MIND is dat de nalevering van stikstof sterk gecorreleerd is met die van fosfor. Behalve de binding aan metalen gaat het waarschijnlijk om de zelfde biologische en fysische processen. Een deskundige gebruiker moet in staat geacht worden met de informatie uit MIND zelf een re-delijke inschatting van de N-nalevering te kunnen maken.

In een eventueel vervolg op BaggerNut zal bij de verdere verbetering van de Quicksan en Bodemdiagnose worden geprobeerd om ook de N-nalevering betrouwbaar op te nemen.

Interpretatie van het balansmodel

Op basis van alle invoer berekent de Bodemdiagnose een resultante P-concentratie in het oppervlaktewater. Deze moet orde van grootte gelijk zijn met de gemeten P-concentratie. Als de berekende en de gemeten waarden erg ver uit elkaar liggen moet opnieuw naar de invoer worden gekeken. De kwaliteit van de Bodemdiagnose is sterk afhankelijk van de waterbalans, deze moet goed sluitend zijn. Als het echt niet lukt om metingen en berekeningen bij elkaar te krijgen, is het verstandiger de Bodemdiagnose niet verder te gebruiken. Dat kan komen door de onzekerheden in data of omdat de meetwaarden op bepaalde punten buiten de referentie dataset van de Bodemdiagnose vallen. In dat geval is een meer specialistische aanpak nodig, zie verderop in dit hoofdstuk.

Als de simulatie acceptabel is, kunnen de resultaten worden bekeken. De nutriëntenbalans en de zwevend stofbalans worden grafisch weergegeven. Hiermee kan snel overzicht worden verkregen welke bronnen hoeveel bijdragen. Ook wordt de verhouding tussen de interne en externe belasting gepresenteerd.

De externe belasting kan ook getoetst worden op de kritische belasting als de gebruiker over deze informatie beschikt. De kritische belasting is de maximale belasting die een plas kan hebben om in een heldere toestand te komen of te blijven. Bij het doorvoeren van maatregelen kan bekeken worden of het mogelijk is om met deze maatregel onder de kritische belasting te komen.

STAP 4; NAAR MAATREGELEN

Als de Bodemdiagnose naar tevredenheid operationeel is, zijn de bronnen van algenbloei en troebel water voldoende bekend en kunnen maatregelen globaal worden doorgerekend. Dat wordt gedaan door de invoer op een of meerdere punten te wijzigen. De wijzigingen zijn niet voorgeprogrammeerd, maar er is een apart BaggerNutrapport Maatregelen (Osté en De Weerd, 2012) gemaakt. In dat rapport zijn 4 (typen) maatregelen opgenomen, die in de onderstaande hoofdstuknummers zijn beschreven:

- 1) Opwerveling reducerende maatregelen (visbeheer, vermindering boten/recreatie/windwerking, stabilisatie van de bodem (smart soils), licht bezanden);
- 2) Bron weghalen: baggeren;
- 3) Contact nutriënten waterbodem en oppervlaktewater afsnijden: afdekken;
- 4) Vergroten P-bindingscapaciteit: toepassen van P-bindende stoffen.

Voor deze maatregelen worden de volgende aspecten beschreven:

1. Korte beschrijving van de maatregel en ervaring.
2. Advies in de bodemdiagnose: in welke situaties/systemen kan de maatregel worden toegepast?
3. Kwantificeren van de maatregel: handvatten voor wijzigen invoer.

Als de maatregel gekwantificeerd is wordt, met deze gegevens als invoer, een vergelijkbare berekening gemaakt als in de autonome ontwikkeling.

In de resultaten worden de trend in de P-concentratie in het water en het P-gehalte in de bodem grafisch gepresenteerd. Verder wordt 1 en 5 jaar na de maatregel de EKR-score berekend. Het relatieve verschil tussen de berekende EKR-score in de huidige situatie en de berekende EKR na resp. 1 en 5 jaar wordt gebruikt. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de berekende EKR voor de huidige situatie lager is dan de gemeten EKR. Als de EKR na 5 jaar wel hoger is dan de huidige situatie, maar nog steeds lager dan de gemeten EKR blijft, wordt de verhoging dus opgeteld bij de gemeten EKR.

STAP 5; VAN HUISARTS NAAR SPECIALIST

De uitkomst van het doorlopen van deze stappen kan zijn dat er maatregelen worden overwogen om de KRW- of overige doelen van het watersysteem te halen. Deze maatregelen kunnen kostbaar en ingrijpend zijn. Dan wordt het belangrijk om rekening te gaan houden met de speciale eigenschappen van BaggerNut.

BaggerNut kan beschouwd worden als de huisarts onder de watermodellen: klantvriendelijk, betrouwbaar en met een brede kennis. Maar in ernstige gevallen zal een huisarts doorverwijzen naar een specialist. Wateren waar kostbare en ingrijpende maatregelen worden overwogen, kunnen beschouwd worden als een ernstig geval. Afhankelijk van de ernst van de situatie is het dan van belang om aanvullend specialistisch onderzoek te laten doen naar een aantal zaken, afhankelijk van de behoefte:

- Verdere detaillering en verbetering van de water en nutriëntenbalans.
- Een nog zekerdere bepaling van de nalevering door meer monsters, monsters op verschillende diepten of kolomproeven.
- Een meer gedetailleerde ecologische modellering met Delft3D-Eco, PCLake en PCDitch of metamodellen hiervan. Bij het gebruik van dergelijke modellen moet een breed scala aan systeemeigen eigenschappen ingevoerd worden, met speciale aandacht voor de P/N ratio. (zie het STOWA-rapport "Ecologische instrumenten" van Geest et al. 2009).

Verder kan het van belang zijn om rekening te gaan houden met de effecten van de maatregelen op de plantengroei en het effect van de plantengroei op het watersysteem. De Bodemdiagnose biedt al mogelijkheden om de verandering in lichtklimaat en de kans op plantengroei in te schatten. De aquarium-, kweekvijver- en mesocosmos-experimenten geven een indruk van de hoeveelheid biomassa die kan worden gevormd, maar ook van de hoeveelheid nutriënten die door planten kunnen worden gemobiliseerd.

Opwerveling van bodemmateriaal door wind en/of vis kan de interne belasting zowel doen toenemen of afnemen. Ook hiervoor leveren de aquarium-, kweekvijver- en mesocosmos-experimenten aanvullende informatie.

GEBRUIK RESULTATEN INTERNE EUTROFIËRING EN SYSTEEMANALYSES

De onderzoeken die de deelnemende waterschappen in hun watersystemen hebben laten uitvoeren zijn in de eerste plaats voor de opdrachtgevers van belang. Maar daarnaast kan iedereen er over beschikken, als voorbeeld van hoe zo'n analyse aangepakt kan worden in een breed scala van watertypen. Ze geven een overzicht van hoe de verschillende stappen genomen zijn, hoe de water en nutriëntenbalansen in elkaar zitten, welke aanvullende analyses zijn gedaan. En ze geven aan hoe al deze gegevens geïnterpreteerd kunnen worden. Belangrijk is ook de conclusie dat elk systeem anders is, zie ook hoofdstuk 6.

In de rapportage 'MIND' staan alle onderzoeken naar de interne eutrofiëring in de 29 gebieden bij elkaar. Ook deze rapportage is voor beheerders die een gebiedsanalyse wil gaan uitvoeren van belang. Het illustreert de grote variatie die tussen, en soms binnen, watersystemen kan worden aangetroffen.

GEBRUIK RESULTATEN KENNISMONTAGE EN EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

BaggerNut heeft een verbijsterende hoeveelheid oude en nieuwe kennis bijeengebracht, zie hoofdstuk 3, 4, 5 en 6. Deze kennis is in detail terug te vinden in de onderliggende rapporten en andere publicaties, zie hoofdstuk 7. Tezamen bevatten deze BaggerNut rapporten de meest uitgebreide informatie over de stand van de kennis over bodem en interne eutrofiëring die op dit moment beschikbaar is. Iedereen die onderzoek of maatregelen op dit gebied van plan is, wordt uitgenodigd om in de BaggerNut rapporten te grasduinen. Ze zijn allemaal beschikbaar via de STOWA-website (www.watermozaiek.nl).

REFERENTIES

1. Anonymus. BaggerNut, Maatregelen BAGGERen en NUTriënten. Subsidieaanvraag Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water. Delft: Hoogheemraadschap van Delfland; 2009.
2. de Zoutjes [Excel]. Anonymus. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen en Onderzoekcentrum B-Ware; 2012.
3. PROTOCOL: Verzamelen bodemvocht van onderwaterbodem. Anonymus. Nijmegen: Radboud Universiteit en B-Ware; 2012.
4. Quicksan Tool [Excel]. Anonymus. Deventer: Witteveen+Bos; 2012.
5. ARCADIS. Memo Invoerscherm Bodemdiagnosetool: toelichting. Apeldoorn: Arcadis; 2012; 076730530:A.
6. Bakx, W.; Tietema, E., and van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Veenkoloniën. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076432955:B.
7. Bloemerts, M.; Tietema, E., and van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Alde Feanen. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076311807:C.
8. Bloemerts, M.; Tietema, E., and van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Sloterveer. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076300524:B.
9. Bloemerts, M. and van de Weerd, H. BaggerNut, Rivierenland - Watersysteemanalyse Alblasserwaard (memo). Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076515621:A.
10. Boers, P. C. M. The release of dissolved phosphorus from lake sediments. Wageningen: Landbouwuniversiteit te Wageningen; 1991.
11. Boers, P. C. M. Studying the phosphorus release from the Loosdrecht lakes sediments, using a continuous flow system. Hydrobiological Bulletin. 1986; 20(1/2):51-60.
12. Boers, P. C. M. and van Liere, L. Het vrijkomen van fosfor uit onderwaterbodems; een vergelijk van verschillende bodemtypen. van den Bergen, V. W. J.; Kerkhoff, M. A. T., and Wehman, R. C. C., Red. Onderwaterbodems, rol en lot. Rotterdam: Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging, Sectie Milieuchemie; 1985.
13. Busch, E. Film: BaggerNut, bodemvochtmeting. STOWA; 2012.
14. Busch, E. Film: BaggerNut, de bodem in beeld. STOWA; 2012.
15. de Vlieger, B. and van de Weerd, H. BaggerNut, watersysteemanalyse Grote Wetering. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076435277:B.
16. de Vlieger, B.; van de Weerd, H.; de Jong, H., and van Harderveld, H. BaggerNut, Watersysteemanalyses en vergelijking van 5 poldergebieden. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076720299:0.2.

17. de Vlieger, B.; van de Weerd, H., and Reeze, B. Verbetering van de ecologische waterkwaliteit van de weteringen: onderzoek naar de bijdrage van kwaliteitsbaggeren. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 075982257:0.2.
18. Deltares. publicwiki.deltares.nl [Web Page]. 2012; Accessed 2012. Available at: <http://publicwiki.deltares.nl/display/MAWQECO/Model+Applications+for+water+quality+and+ecology>.
19. Evers, C. H. M. and Keukelaar, F. Verbeteren datasets en afleiding ecologische rekenregels voor de KRW-verkenner. Op basis van Regressieboom-analyse en Neuraal netwerk. 's-Hertogenbosch: Royal Haskoning; 2009.
20. Gulati, R D.; Dionisio Pires, L. M., and van Donk, E. Lake restoration studies: Failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures. *Limnologica*. 2008.
21. Hahn, S; Bauer, S, and Klaassen, M. Estimating the contribution of carnivorous waterbirds to nutrient loading in freshwater habitats. *Freshwater Biology*. 2007; 52:2421-2433.
22. Hahn, S; Bauer, S, and Klaassen, M. Quantification of allochthonous nutrient input into freshwater bodies by herbivorous waterbirds. *Freshwater Biology*. 2008; 53:181-193.
23. Hin, J. A.; Osté, L. A., and Schmidt, C. A. Handreiking Beoordelen Waterbodems. Methoden ter bepaling van de mate waarin het realiseren van kwaliteitsdoelen van een watersysteem wordt belemmerd door verontreinigde waterbodems. Ministerie van Infrastructuur en Milieu - DG Water; 2010.
24. Jaarsma, N.; Brederveld, B.; Bakkum, R., and de Koning, J. Systeemanalyses Delfland. Rapport BaggerNut. Deventer: Witteveen+Bos & Hoogheemraadschap van Delfland.; 2012.
25. Jaarsma, N.; Klinge, M., and Lamers, L. Van Helder naar Troebel en weer terug. Utrecht: STOWA; 2008.
26. Jaarsma, N. G.; Brederveld, R. J.; Pelen, M. D. M.; van den Berg, L. J. L., and Lamers, L. P. M. Quickscan voor de bepaling van de nalevering van nutriënten door de waterbodem. Deventer: Witteveen+Bos; 2012.
27. Janse, J. H. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Wageningen: Wageningen University; 2005.
28. Jeppesen, E. et al. Lake responses to reduced nutrient loading - an analysis of contemporary longterm data from 35 case studies. *Freshwater Biology*. 2005; 50:1747-1771.
29. Lamers, L., ed. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2003-2006. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; 2006; DK nr. 2006/057-0.
30. Lamers, L.; Klinge, M., and Verhoeven, J. OBN Preadvies laagveenwateren. Wageningen: Expertisecentrum LNV Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij; 2001.

31. Ligtvoet, W.; Beugelink, G.; Brink, C.; Franken, R., and Kragt, F. Kwaliteit voor Later. Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving; 2008; PBL 50014001/2008.
32. Lijklema, L. Eutrophication, the role of sediments. Hydrobiological Bulletin. 1985; 1:98-105.
33. Lijklema, L. Phosphorus accumulation in sediments and internal loading. Hydrobiological Bulletin. 1986; 20(1/2):213-224.
34. Michielsen, B.; Lamers, L., and Smolders, F. Interne eutrofiëring van veenplassen belangrijker dan voorheen erkend? H2O. 2007; 51-54.
35. Osté, L. BaggerNut, Watersysteemanalyse en Slibdiagnose voor het Hoefsvan. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076412151:C.
36. Osté, L. and Harezlak, V. BaggerNut, Watersysteemanalyse en Slibdiagnose Bleiswijkse Zoom. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076297953:B.
37. Osté, L. and Harezlak, V. BaggerNut, Watersysteemanalyse Klein Vogelenzang CONCEPT. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076008146:B.
38. Osté, L. and Harezlak, V. BaggerNut, Watersysteemanalyse Oldambtmeer. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076412117:C.
39. Osté, L.; Harezlak, V., and Bloemerts, M. BaggerNut, Watersysteemanalyse de Leijen. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012.
40. Osté, L.; Harezlak, V., and Bloemerts, M. BaggerNut, Watersysteemanalyse en Slibdiagnose voor de Schutsloterwijde. Delft: Deltares & ARCADIS; 2012; 076433684:B.
41. Bodemdiagnose tool [Excel]. Osté, L. and van de Weerd, H. Arcadis en Deltares; 2012.
42. Osté, L. and van de Weerd, H. Kennisregels in de bodemdiagnose BaggerNut. Delft: Deltares; 2012; 1201327-000.
43. Osté, L. and van de Weerd, H. Maatregelen in de Bodemdiagnose BaggerNut. Advies voor het reduceren van de bijdrage van de waterbodem. Delft: Deltares; 2012; 1201327-000.
44. Penning, W. E.; Cornelisse, J.; Thiange, C., and Osté, L. Zwevende stof in de Beulakkerwijde. Delft: Deltares; 2012; 1206456.
45. Poelen, M.; van den Berg, L.; Bakkum, R., and Lamers, L. Quickscan voor inschatting interne nutriëntenmobilisatie. H2O. 2011; 22:39-42.
46. Poelen, M. D. M.; van den Berg, L. J. L.; ter Heerdt, G. N. J.; Bakkum, R.; Smolders, A. J. P.; Jaarsma, N. G.; Brederveld, B., and Lamers, L. P. M. Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BaggerNut) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie. (MIND-BaggerNut) Eindrapportage. Nijmegen: B-Ware Research Centre; 2012; 2012-18.

47. Pot, R., red. Default-MEP/GEP's voor sterk veranderde en kunstmatige wateren. Concept versie 8 (30 november 2005). 2005.
48. RIVM. Loket Emissieregistratie [Web Page]. 2012. Available at: www.emissieregistratie.nl.
49. Sas, H. Lake restoration by reduction of nutrient loading: expectations, experiences, extrapolations. Sankt Augustin: Hans Richarz Publikations-Service; 1989.
50. Scheffer, M. Ecology of shallow lakes. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers; 2001.
51. Smolders, A. J. P.; Lamers, L. P. M.; Lucassen, E. C. H. E. T.; van der Velde, G., and Roelofs, J. G. M. Internal eutrophication: How it works and what to do about it - a review. *Chemistry and Ecology*. 2006; 22(2):93-111.
52. Sondergaard, M.; Jensen, J. P., and Jeppesen, E. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*. 2003; 506-509:135-145.
53. STOWA. Ecologische Instrumenten. Overzicht voor het Nederlandse waterbeheer. Utrecht: STOWA; 2009.
54. STOWA. Watermozaiek [Web Page]. 2012. Available at: http://www.stowa.nl/Thema_s/Watermoza_ek/index.aspx.
55. ter Heerdt, G. N. J. Achtergronddocument afleiding KRW-doelen in het AGV-gebied. Amsterdam: Waternet; 2010.
56. ter Heerdt, G. N. J. Projectvoorstel Waternet IJzersuppletie in laagveenplassen. Een mitigerende maatregel ter vervanging verdwenen ijzerrijke kwel. Amsterdam: Waternet; 2009; KRW08079.
57. Tietema, E. and van de Weerd, H. BaggerNut, Opschaling Wieden. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076452476:0.15.
58. van den Berg, L. J. L.; Poelen, M. D. M.; Jaarsma, N. G.; Geurts, J. J. M.; Brederveld, R. J., and Lamers, L. P. M. WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) - De rol van vissen, planten, zuurstof en temperatuur bij de naleve-ring van nutriënten. Resultaten experimenten RUN en B-Ware. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2012.
59. van den Boomen, R. and Icke, J. Tewor voor Duflo en Sobek. Uniformering waterkwaliteitsprocessen en -coëfficiënten. Utrecht: STOWA; 2004.
60. van der Toorn, L.; Tietema, E., and van de Weerd, H. BaggerNut, Watersysteemanalyse Westerwolde. Apeldoorn: ARCADIS; 2012; 076299509:B.
61. Voerman, S. Effect of wind turbulence and iron addition on nutrient mobilisation in a peat lake. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2010

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 50
Stationsplein 89
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

