

Waterkwaliteit in Waternood



Waterkwaliteit in Waterlood

06

Colofon

Utrecht, 2003

Uitgave:
STOWA, Utrecht

Tekst:

dr.ir. R.H. Aalderink (ARCADIS)
dr.ir. P.J.T. van Bakel (Alterra-WUR)
dr.ir. M.A. Bastiaanssen (ARCADIS)
ing. C. Drost (ARCADIS)
ir. P. Goedhart (Biometris-WUR)
ir. R.A. Nieuwenhuis (ARCADIS)
dr.ir. O. Oenema (Alterra-WUR)
drs. M.R.L. Ouboter (Dienst Waterbeheer en Riolering, voorheen WL|Delft Hydraulics)
ir. O. Schoumans (Alterra-WUR)

Vormgeving:

Nicoline Caris, grafische vormgeving BnO

Druk:

Kruyt Grafisch Advies Bureau

Rapportnummer 2003-02, (STOWA)

Waternoodrapport 6

ISBN nummer 90.5773.205.x

Bestelwijze STOWA publicaties:

Publicaties en het publicatieoverzicht van de STOWA zijn uitsluitend te bestellen bij:
Hageman Fulfilment, adres: Postbus 1110, 3330 CC Zwijndrecht
Telefoonnummer 078 6231754, faxnummer 078 610 42 87, e-mail info@hageman.nl
O.v.v. ISBN-nummer of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

De STOWA in het kort

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefte-inventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: +31 (0)30-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

Inhoud

Colofon
STOWA in het kort

	Samenvatting.....	7
1	Inleiding	9
1.1	Kader Waternood	9
1.2	Deelonderzoek (oppervlakte)Waterkwaliteit	10
	1.2.1 Doel.....	10
	1.2.2 Organisatie	11
1.3	Leeswijzer.....	12
2	Aanpak: de theorie	13
2.1	Van theorie tot module	13
2.2	Kapstok: waterbalans, stofbalansen en concentraties.....	13
	2.2.1 Balansen	14
	2.2.2 Concentraties.....	16
	2.2.3 Globale werking module Waterkwaliteit.....	17
2.3	Waterbalans.....	17
2.4	Stofbalansen N en P: Metamodellen bodem in Nutrical.....	18
	2.4.1 Inleiding.....	18
	2.4.2 Belasting N en P van bodem naar oppervlaktewater	18
	2.4.3 STONE	20
	2.4.4 Metamodellen: materiaal en methoden	20
	2.4.5 Resultaten.....	22
	2.4.6 Lage afvoer	22
	2.4.7 Conclusies en disclaimer.....	23
2.5	Concentraties N en P: Retentie.....	24
2.6	Stofbalans en concentratie Chloride: Clcalc	27
3	Aanpak: de module	29
3.1	Implementatie.....	29
3.2	Randvoorwaarden	29
3.3	Rekencellen, afwateringseenheden en afwateringsgebied	29
3.4	Stappenplan	30
3.5	Gebruiksadvies retentie	32
3.6	scenario's	32
3.7	Cases	33
3.8	Presentatiemethode en interpretatie van resultaten	33

4	Case Groot Wilnis – Vinkeveen.....	35
4.1	Inleiding	35
4.2	Gebiedsbeschrijving	35
4.3	Invoer module	37
4.4	Resultaten en vergelijking met gedetailleerde studie	38
4.5	Beoordeling effecten maatregel	39
	4.5.1 Fluxen.....	39
	4.5.2 Concentraties.....	41
4.6	Conclusies	42
5	Case Linde	45
5.1	Gebiedsbeschrijving	45
5.2	Toepassing in Waterlood	45
5.3	Invoer module Waterkwaliteit.....	46
5.4	Resultaten en vergelijking met modeluitkomsten Sobek	46
5.5	Beoordeling effect maatregelen	48
5.6	Conclusies	50
6	Conclusies	51
6.1	Algemeen	51
6.2	Mogelijkheden en onmogelijkheden.....	51
6.3	Afwijkingen ten opzichte van gewone waterkwaliteitsmodellen.....	52
6.4	Retentie.....	52
6.5	Hoog Nederland en Laag Nederland.....	53
7	Aanbevelingen.....	55
7.1	Ervaring opdoen	55
7.2	Ontwikkelingen.....	55
	Literatuur.....	57
	Bijlagen	
	Bijlage 1 Metamodelen	59
	Bijlage 1A Histogrammen van uitvoervariabelen per kwartaal	76
	Bijlage 1B Residuen tegen gefitte waarden voor Nopp in kwartaal 1	77
	Bijlage 1C Voorbeeld van een <invoerfile> en van de bijbehorende <uitvoerfile>.....	78
	Bijlage 2 Beknopte Handleiding.....	79
	Bijlage 3 Vragen van gebruikers	81
	Bijlage 4 Basiskaarten uit STONE.....	83
	Bijlage 5 Figuren case Groot Wilnis - Vinkeveen	85
	Bijlage 6 Figuren case Linde	89

Samenvatting

Het Waternoodinstrumentarium stelt de gebruiker in staat om het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) zo goed mogelijk af te stemmen op het landgebruik en vice versa. Veranderingen in het GGOR of in het landgebruik kunnen een effect hebben op de oppervlaktewaterkwaliteit. Om te voorkomen dat deze effecten over het hoofd worden gezien, of niet zorgvuldig worden meegewogen bij het definiëren van het GGOR, is de module Waterkwaliteit toegevoegd aan het Waternoodinstrumentarium.

De module Waterkwaliteit maakt het mogelijk om op basis van gegevens ten aanzien van GLG, GHG en landgebruik voor de actuele situatie en voor scenario's te bepalen wat de belasting is van het oppervlaktewater met stikstof (N), fosfaat (P) en chloride (Cl). In de module Waterkwaliteit is gebruik gemaakt van metamodellen om de belasting met N en P vanuit het bodemwater te bepalen. Deze metamodellen zijn gebaseerd op uitkomsten van berekeningen met het STONE-instrumentarium. STONE is een pakket dat wordt gebruikt om op nationale schaal berekeningen uit te voeren in het kader van de mestwetgeving. De metamodellen leveren naast een N en P vracht ook het volume water dat vanaf de bodem naar het oppervlaktewater stroomt. De Cl⁻ vracht wordt bepaald aan de hand van het zoutgehalte in diep grondwater, gegevens over diepe kwel en het volume water dat van de bodem naar het oppervlaktewater stroomt.

Om een inschatting te kunnen maken van het relatieve belang van de belasting uit het bodemwater, kan de gebruiker van andere bronnen aangeven wat de belasting is met N, P en Cl⁻. Hiervoor dienen het volume en de bijbehorende concentraties van iedere bron te worden ingevoerd. Inlaatwater is één van die bronnen. Neerslag en verdamping zijn standaard opgenomen. De gebruiker dient wel de kwaliteit van het regenwater aan te geven. De module Waterkwaliteit sommeert alle vrachten en volumes en bepaalt de mengverhouding.

Alvorens tenslotte een gemiddelde concentratie voor het hele watersysteem wordt berekend door de module, wordt eerst het effect van fysisch-chemische processen in het watersysteem verdisconteerd. Hiervoor moet de gebruiker een retentiefactor opgeven. Daarmee kan worden aangegeven of een watersysteem netto stoffen vastlegt, of dat er netto nalevering optreedt. De retentiefactor wordt per kwartaal ingevoerd, om seizoenseffecten in de processen te weerspiegelen.

Vrijwel alle gegevens worden per kwartaal ingevoerd. Ook de berekeningen vinden plaats per kwartaal. De invoer en uitkomsten zijn gebaseerd op langjarige gemiddelden. Daarbij is er vanuit gegaan dat het in 2003 geldende mestbeleid wordt voortgezet. De metamodellen geven gemiddelde vrachten voor de jaarreeks 2015-2030, er vanuit gaande dat maatregelen consequent worden doorgevoerd. Per kwartaal krijgt de gebruiker als uitkomst inzicht in de langjarig gemiddelde belasting vanaf de bodem en in de concentraties die voor het oppervlaktewater worden berekend. Aan de concentraties mag geen absolute waarde worden toegekend.

De schaal waarop de module Waterkwaliteit zich richt, is die van afwateringsgebieden die minstens 2500 ha groot zijn. Lokale gegevens over GLG, GHG en landgebruik worden in GIS ingelezen. De uitkomsten worden middels tabellen gepresenteerd. De gebruiker kan de uitkomsten in spreadsheets bewerken.

Een tweetal cases is uitgewerkt tijdens de ontwikkeling van het instrument. De case Groot Wilnis - Vinkeveen betreft een poldersysteem in laag Nederland. De case Linde behandelt een beekstelsysteem in hoog Nederland.

De water(kwaliteits)beheerders in Nederland zijn inmiddels zeer vertrouwd met het gebruik van allerlei meer of minder ingewikkelde modellen om het waterbeheer mee te ondersteunen. Veelal zijn modellen in DUFLOW of in SOBEK aanwezig, om uitgebreide studies te doen naar de ontwikkeling van de waterkwaliteit onder diverse scenario's. Dit soort studies kost doorgaans veel tijd en geld. Ook zijn er zeer veel gegevens nodig om betrouwbaar te kunnen modelleren. De module Waterkwaliteit binnen het Waternoodinstrumentarium beoogt geenszins om dergelijke modellen overbodig te maken. Daarvoor is het verschil in aanpak te groot. De kracht van modellen in DUFLOW of SOBEK is het detailniveau, zowel in ruimte als in de tijd. De module Waterkwaliteit is in beide dimensies veel globaler van opzet. Waar detailmodellen rekenen op dag- of uurbasis (soms zelfs in minuten), kent de module Waterkwaliteit slechts 4 kwartalen. En waar detailmodellen gericht zijn op het schaalniveau van individuele watergangen of delen daarvan, kijkt de module Waterkwaliteit aan de inputkant naar afwateringseenheden binnen een afwateringsgebied (peilvakken, c.q. min of meer homogene gebieden binnen een polder, of bovenloop, middenloop, benedenloop in een beekstelsysteem) en aan de outputkant naar een afwateringsgebied in zijn geheel. De kracht van de module Waterkwaliteit is vooral gelegen in de snelheid waarmee op dit schaalniveau een globaal inzicht kan worden verkregen in de effecten van waterbeheer en landgebruik op de waterkwaliteit. Daarbij wordt uitgegaan van langjarig gemiddelde omstandigheden en evenwichtssituaties die op termijn ontstaan bij een consequent beheer. Voor extreme omstandigheden zullen gedetailleerde modellen nog altijd hun nut bewijzen. De zeer geringe rekentijd van de module Waterkwaliteit, in combinatie met de overzichtelijke uitvoer in tabellen die in spreadsheets kunnen worden ingelezen en geanalyseerd, maakt van de module Waterkwaliteit een uiterst praktisch middel om snel en eenvoudig een globaal beeld van de verwachte ontwikkeling van de waterkwaliteit te verkrijgen. Gebiedskennis van de gebruiker is nodig om een zo volledig mogelijke invoer van relevante puntbronnen te garanderen en om de uitkomsten goed te kunnen interpreteren.

Samenvattend zijn de voordelen voor de gebruiker van de module Waterkwaliteit in Waternood:

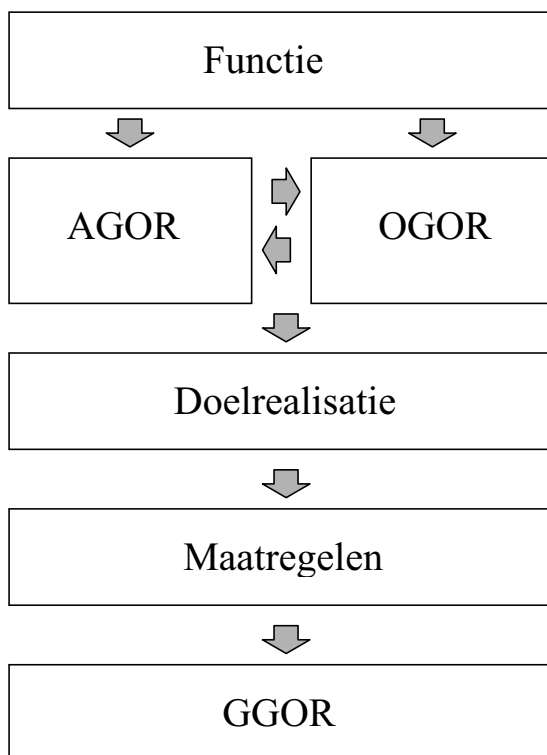
- zeer korte rekentijd;
- eenvoud;
- weinig invoergegevens nodig;
- overzicht op groot schaalniveau;
- eenvoudige verwerking van de resultaten in spreadsheets.

1 Inleiding

1.1 Kader Waternood

Halfweg de negentiger jaren van de vorige eeuw concludeerden de Dienst Landelijk Gebied en de Unie van Waterschappen dat de toen nog vaak gevolgde, traditionele werkwijze voor het beheren en inrichten van regionale watersystemen uit de tijd was geraakt. Om hier wat aan te doen hebben ze de projectgroep Waternood ingesteld. DLG en Unie van Waterschappen hebben in 1998 gezamenlijk het rapport 'Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater' van de projectgroep Waternood (Projectgroep Waternood, 1998) uitgebracht.

In het rapport van de projectgroep Waternood is een nieuwe werkwijze gepresenteerd met als doel om bij het beheren en inrichten van oppervlaktewatersystemen meer dan voorheen, het oppervlaktewatersysteem te beschouwen als middel om de functieafhankelijke wensen die aan het grondwatersysteem worden gesteld, te realiseren. Ook bevordert de aanpak volgens Waternood dat watersystemen en ruimtelijke ordening beter op elkaar worden afgestemd. De werkwijze volgens Waternood is samengevat in onderstaand schema:



Uitgangspunt is een watersysteemanalyse, die uitdrukkelijk betrekking heeft op waterkwantiteit en -kwaliteit. Op basis van de watersysteemanalyse wordt het actuele grond- en oppervlaktewaterregime (AGOR) vastgelegd. Verder is de watersysteemanalyse relevant voor

het opstellen van een waterkansenkaart. Op zijn beurt is een waterkansenkaart een belangrijk hulpmiddel om in het ruimtelijke ordeningsspoor te bevorderen dat functies, bij voorkeur onder te verdelen in verschillende vormen van land- en watergebruik, een juiste plek krijgen. De functies bepalen tevens wat overal het optimale, dat wil zeggen geheel op deze functies afgestemde, grond- en oppervlaktewaterregime is. Toepassing van de Waterloodmethodiek vereist dat de relatie bekend is tussen de mate waarin een functie tot zijn recht komt (= 'doelrealisatie') en de hydrologische omstandigheden. Toepassing van deze relatie bij het vergelijken van OGOR met AGOR maakt inzichtelijk hoe goed in de actuele situatie een functie 'presteert'.

Bij de toetsing van de doelrealisatie spelen diverse criteria een rol; deze zijn voor een belangrijk deel bestuurlijk of beleidsmatig van aard. Het gaat hierbij om de mate waarin en de oppervlakte waarop een doelrealisatie een bepaalde waarde mag onderschrijden en om de gewichten die aan de verschillende functies of vormen van land- en watergebruik worden toegekend. Deze criteria zijn zeer bepalend voor inrichting en beheer van het watersysteem!

Als aan één of meerdere criteria niet wordt voldaan zal in eerste instantie met het ontwikkelen van beheers- en inrichtingsmaatregelen worden geprobeerd de doelrealisaties alsnog aan de criteria te laten voldoen. De pakketten onderzochte maatregelen leveren steeds een verwacht grond- en oppervlaktewaterregime (VGOR) die wordt vertaald in een doelrealisatie. Bij het selecteren van maatregelen vormen de kosten en de kosteneffectiviteit ervan belangrijke randvoorwaarden en ook deze kennen een belangrijke bestuurlijke component.

Lukt het niet om het proces tot tevredenheid af te ronden, dan is er sprake van te scherp geformuleerde criteria of van een discrepantie tussen ruimtelijke ordening en de eigenschappen van het hydrologisch systeem. Dit kan betekenen dat criteria en/of de ruimtelijke ordening moeten worden aangepast, waarna het proces opnieuw wordt doorlopen.

Uiteindelijk mondt een en ander uit in een set beheers- en inrichtingsmaatregelen die leidt tot een grond- en oppervlaktewaterregime waarmee aan alle criteria wordt voldaan. Dit regime is gedefinieerd als het gewenst grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR). Als het GGOR is vastgesteld kunnen de maatregelen om deze te realiseren worden uitgevoerd.

Hierna is het zaak om via een adequaat monitoringsprogramma in de gaten te houden of het systeem op orde is en blijft. Als dit niet zo is, start de cyclus opnieuw.

Waterlood is vooral als filosofie of denkwijze gepresenteerd. De stappen zijn slechts globaal beschreven. Operationele instrumenten om de stappen in de praktijk te kunnen zetten ontbraken veelal, waardoor de toepassing van Waterlood haperde. Dit vormde voor de STOWA reden om het onderzoeksprogramma 'Waterlood' te uit te voeren. Doel van dit programma is het ontwikkelen van een samenhangend geheel van operationele instrumenten waarmee de hierboven toegelichte Waterloodprocedure kan worden doorlopen.

1.2 Deelonderzoek (oppervlakte)Waterkwaliteit

1.2.1 Doel

In het deelonderzoek waterkwaliteit is bestaande kennis ten aanzien van de relaties tussen landgebruik, bodemtype, grondwaterkarakteristieken en de oppervlaktewaterkwaliteit ontsloten. Het betreft zowel kennis in de vorm van vuistregels, als kennis in de vorm van uitgebreide modeluitkomsten.

Doel van het onderdeel waterkwaliteit in Waternood is het vervaardigen van een instrument waarmee de effecten van een nieuw ontwerp, in de zin van een verandering van de grondwaterstand of een verandering in de hoeveelheid in te laten water, op de oppervlakte-waterkwaliteit (fosfaat, stikstof en zout) inzichtelijk worden gemaakt. Deze effecten worden niet uitgedrukt in absolute getallen, maar in orde groottes, bij een schaalniveau vanaf circa 2500 ha. Het instrument moet aangeven of de voorgestelde veranderingen een wezenlijk effect hebben op de waterkwaliteit. In de ontwikkeling van het instrument (we spreken vanaf hier over de 'module Waterkwaliteit') is gestreefd naar volledigheid (dekking van heel Nederland) en een zo goed mogelijke implementatie: volledige integratie in het Waternood-instrumentarium. De ontwikkelaars hebben zich ten doel gesteld om de module Waterkwaliteit een open opzet te geven, opdat de gebruiker voldoende vrijheid heeft om eigen gebiedsspecifieke informatie in te brengen. Dit geldt zowel voor de beschikbare informatie ten aanzien van fysieke omstandigheden en lokale bronnen, als voor de invulling van vuistregels ten aanzien van waterkwaliteitsprocessen.

Voor de volledigheid: de module Waterkwaliteit gaat niet in op de grondwaterkwaliteit.

De module Waterkwaliteit heeft binnen Waternood een effectbeschrijvend karakter. Het instrument kan niet als doelzoekend instrument worden ingezet. Met andere woorden, Waternood geeft geen antwoord op de vraag: 'wat moet ik veranderen aan waterbeheer of landgebruik binnen een gebied, om bepaalde waterkwaliteitsdoelstellingen te halen?' Wel kunnen de effecten van verschillende scenario's met elkaar worden vergeleken.

1.2.2 *Organisatie*

Het onderzoek is uitgevoerd door een samenwerkingsverband tussen Alterra-WUR / Biometris-WUR, WL|Delft Hydraulics, Dienst Waterbeheer en Riolerig (DWR) en ARCADIS. Alterra heeft kennis ingebracht over de belasting van het oppervlaktewater vanaf landbouwgronden. WL|Delft Hydraulics / DWR en ARCADIS hebben samen het concept voor het instrument opgezet. DWR heeft de case Groot Wilnis – Vinkeveen begeleid. ARCADIS heeft het instrument geïmplementeerd, vuistregels voor waterkwaliteitsprocessen (retentie) opgesteld en het projectmanagement verzorgd.

De begeleidingscommissie van STOWA bestond uit:

ir. L.E.A. Moonen (voorzitter) (WS Groot Salland)

ir. T.G.L. Bardeel (HHRS van Rijnland)

J.A. van Berkum M.Sc. (WS Velt en Vecht)

dr.ir. G.A.P. van den Eertwegh (HHRS van Rijnland)

ir. R.C. Gerritsen (WS Vallei en Eem)

ing. M.A.S. Hofman (ZS Limburg)

ir. F.M.R. Leus (RIZA)

drs. M. Schreijer (HHRS van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier)

ir. J. Stroom (HHRS van Rijnland)

ir. S.C.C. Sabrina Helmyr (namens STOWA)

drs. B. van der Wal (STOWA)

Het projectteam bestond uit:
dr.ir. R.H. Aalderink (ARCADIS)
dr.ir. P.J.T. van Bakel (Alterra-WUR)
dr.ir. M.A. Bastiaanssen (ARCADIS)
ing. C. Drost (ARCADIS)
ir. P. Goedhart (Biometris-WUR)
ir. R.A. Nieuwenhuis (ARCADIS)
dr.ir. O. Oenema (Alterra-WUR)
drs. M.R.L. Ouboter (Dienst Waterbeheer en Riolering, voorheen WL|Delft Hydraulics)
ir. O. Schoumans (Alterra-WUR)

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de gehanteerde theorie uiteengezet. In hoofdstuk 3 wordt de vertaling van theorie naar de module Waterkwaliteit beschreven. In hoofdstuk 4 wordt de case Groot Wilnis – Vinkeveen behandeld. Aan de hand van deze case is het instrument geïmplementeerd en getoetst. De tweede case, de Linde, wordt beschreven in hoofdstuk 5. Conclusies zijn aangegeven in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 wordt het rapport afgesloten met een aantal aanbevelingen en verwachtingen voor de toekomst. Bovendien worden hierin enkele tips gegeven aan de gebruiker.

2 Aanpak: de theorie

2.1 Van theorie tot module

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe de module Waterkwaliteit in elkaar zit en hoe daartoe gekomen is. Voorafgaand aan het opstellen van de theoretische basis voor de module is eerst de vraag van de gebruikers geanalyseerd. Zonder volledig te willen zijn, heeft in hoofdlijnen de onderstaande ontwikkeling in die vraag en in het verlengde daarvan in de aanpak plaatsgevonden. In eerste instantie was de vraag gericht op het beschrijven van het effect van veranderend waterbeheer op verandering in de belasting van het watersysteem. De aanpak was gericht op het kwantificeren van belastingen vanaf verschillende bronnen, de zogenaamde fluxenbenadering. Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen de bronnen 'bodem' of 'bodemwater' (ook wel 'percelen' genoemd), puntbronnen, neerslag en inlaat. De resultaten van scenario's zouden kunnen worden vergeleken aan de hand van stijgende of dalende fluxen en de verhoudingen tussen de fluxen.

Let op: overal waar in dit rapport de term 'bodem' wordt gebruikt, wordt de (droge) landbodem bedoeld, niet de waterbodem!

Naar aanleiding van de eerste Waternooddag in 2001, is de aanpak iets veranderd. Op deze dag kwam de wens naar voren om resultaten te presenteren in de vorm van concentraties, de taal van de waterkwaliteitsbeheerders. Om aan deze wens te voldoen, moet een globale waterbalans worden opgesteld. De verhouding tussen zowel waterstromen als stofstromen bepaalt immers in belangrijke mate de concentratie. Tot slot spelen nog processen in het water en in de waterbodem. Deze kunnen leiden tot een toename of afname van concentraties. Overigens moet hierbij direct worden vermeld, dat aan de berekende concentraties geen absolute waarde moet worden toegekend. Daarvoor wordt zowel in tijd als in ruimte veel te globaal gerekend. Binnen een watersysteem in het veld bestaan doorgaans al grote verschillen per locatie. Ook per kwartaal kan een verloop in concentraties voorkomen. Processen kunnen ook sterk verschillen per locatie binnen het systeem. De berekende concentratie mag dan ook niet zonder meer worden vergeleken met geldende normen. Concentratieverschillen tussen scenario's geven aan in welke richting de waterkwaliteit zal veranderen: wordt het beter of wordt het slechter? In dit hoofdstuk en in de aanbevelingen wordt nader ingegaan op de omgang met berekende concentraties.

2.2 Kapstok: waterbalans, stofbalansen en concentraties

Om de verwachte gemiddelde waterkwaliteit in een gebied uit te rekenen, is inzicht nodig in de waterbalans, de stofbalansen (voor N, P en Cl) en de processen in het watersysteem. In dit hoofdstuk wordt de theorie van al deze onderdelen behandeld. Hoe de theorie in de module Waterkwaliteit is verwerkt wordt beschreven in hoofdstuk 3.

2.2.1 Balansen

Het oppervlaktewater in een landelijk watersysteem wordt gevoed door een aantal bronnen: bodemwater (afkomstig van de percelen), puntbronnen (zoals RWZI's of stedelijke kernen), neerslag, inlaat en kwel. Daarnaast zijn er verscheidene afvoermechanismen: verdamping, wegzijging en uiteindelijk uitlaat via een gemaal of onder vrij verval. Op basis van volumegegevens over deze bronnen en afvoermechanismen kan een waterbalans worden opgesteld. Voor chemische stoffen kan per stof een massabalans (stofbalans) worden opgesteld. Daarvoor zijn per bron gegevens nodig over hetzij de stofvracht, dan wel over het volume (uit de waterbalans) en de concentratie. In onderstaande figuur zijn de theoretische onderdelen van een willekeurige massabalans weergegeven. Aan de hand van deze figuur wordt hieronder ingegaan op de aanpak in Waterlood.



In onderstaande overzichten wordt voor de waterbalans, voor de stofbalansen van N en P en voor de stofbalans van chloride aangegeven welke aanpak gevolgd wordt om de balans op te stellen en sluitend te maken. Sommige waarden worden rechtstreeks door de gebruiker ingevuld, andere waarden worden door de module geleverd. Enkele theoretisch onderscheiden balansposten zijn 'verborgen' opgenomen in de module, doordat ze samenvallen met andere balansposten. Zo is 'kwel' een integraal onderdeel van 'bodemwater'. De oorzaak hiervoor is gelegen in de gehanteerde methode, die uitgaat van beschikbare kennis en modellen. Voor de gebruiker is het belangrijk zich te realiseren dat 'verborgen' posten niet overhoopt moeten worden dubbel geteld, door ze onterecht als puntbronnen mee te modelleren.

De term 'bodemwater' is de sluitpost van de water- en stofbalansen van het onverhard gebied. Deze zijn berekend met het STONE instrumentarium. In deze balansen zijn posten als neerslag, verdamping en uitwisseling tussen bodemlagen (van diep tot ondiep) meegenomen. Neerslag, verdamping, kwel en wegzijging hebben in bovenstaand schema en in de onderstaande tabellen daarom alleen betrekking op het oppervlaktewatersysteem.

Waterbalans

Neerslag	Langjarig gemiddelde (1971-2000) van het KNMI
Verdamping	Langjarig gemiddelde (1971-2000) van het KNMI
Bodemwater	De watervolumes die afkomstig zijn van de bodem worden geleverd door een zogenaamd metamodel, op basis van STONE (zie § 2.4)
Puntbronnen	De gebruiker kan zelf puntbronnen aangeven, inclusief het geloosde volume per kwartaal
Kwel	De kwel die afkomstig is uit slootwanden en de slootbodems is integraal onderdeel van de post 'bodewater'
Wegzijging	Wegzijging is niet apart opgenomen in de eerste versie van de module Waterkwaliteit.
Inlaat	Inlaat is opgenomen als puntbron, door de gebruiker op te geven
Uitlaat	Uitlaat is de sluitpost van de waterbalans. Deze wordt berekend door de module Waterkwaliteit. Hierin is wegzijging impliciet opgenomen.

Stofbalansen voor N en P

Neerslag	Concentraties op te geven door gebruiker
Verdamping	Verdamping neemt geen stoffen mee: indampingseffect
Bodemwater	De vrachten N en P die afkomstig zijn van de bodem worden geleverd door twee aparte metamodellen, op basis van STONE (zie § 2.4)
Puntbronnen	De gebruiker geeft zelf de waterkwaliteit van puntbronnen aan
Kwel	De vrachten N en P uit kwel zijn integraal onderdeel van de post 'bodewater'
Wegzijging	Wegzijging is niet apart opgenomen in de eerste versie van de module Waterkwaliteit.
Inlaat	De inlaatwaterkwaliteit wordt door de gebruiker opgegeven
Uitlaat	Uitlaat is de sluitpost van de waterbalans. Hierin is wegzijging impliciet opgenomen. De kwaliteit van het uitgaande water wordt berekend door de module Waterkwaliteit.

Stofbalans voor Cl⁻

Neerslag	Concentratie op te geven door gebruiker
Verdamping	Verdamping neemt geen stoffen mee: indampingseffect
Bodemwater	De vracht Cl ⁻ die afkomstig is van de bodem wordt berekend aan de hand van de mate van voorkomen van diepe kwel en de concentratie daarvan in het diepe grondwater. Bovendien wordt bepaald of er sprake is van afvoer van (ondiep) bodewater
Puntbronnen	De gebruiker geeft zelf de Cl ⁻ concentratie van puntbronnen aan
Kwel	De vracht Cl ⁻ uit kwel is integraal onderdeel van de post 'bodewater'
Wegzijging	Wegzijging is niet apart opgenomen in de eerste versie van de module Waterkwaliteit.
Inlaat	De inlaatwaterkwaliteit wordt door de gebruiker opgegeven
Uitlaat	Uitlaat is de sluitpost van de waterbalans. Deze wordt berekend door de module Waterkwaliteit. Hierin is wegzijging impliciet opgenomen. De kwaliteit wordt berekend door de module.

De waterbalans is de drager van de stofbalansen. Voor stoftransport is immers water nodig. De opbouw van de waterbalans binnen de module Waterkwaliteit wordt besproken in § 2.3 en § 2.4. Uit bovenstaande overzichten blijkt dat bodemwater en kwel enerzijds en wegzijging en uitlaat anderzijds sterk met elkaar samenhangen. In de navolgende paragrafen wordt hierop nader ingegaan. Dit betekent dat in het gebruik van de module Waterkwaliteit de onderstaande bronnen de voornaamste bouwstenen aan de bronnen-kant zijn:

- bodemwater;
- neerslag;
- puntbronnen, waaronder waterinlaat of doorspoeling.

Bij de opbouw van de stofbalansen moet vooral veel aandacht worden besteed aan deze bronnen. De bijdrage van iedere bron moet goed worden ingeschat. In Nederland draagt 'de bodem' ofwel 'het bodemwater' gemiddeld voor meer dan 50% bij aan de belasting van het oppervlaktewater met stikstof (N) en fosfor (P). Vooral landbouwgronden leveren een forse bijdrage. In het kader van het deelonderzoek 'Waterkwaliteit in Waterlood' is veel aandacht uitgegaan naar het opzetten van een methode om de bijdrage van de bodem aan de stofbalansen goed in te schatten. De methode die hiervoor is opgesteld, werkt met zogenaamde metamodellen. Dit is beschreven in § 2.4. Het opstellen van deze metamodellen en het verwerken hiervan in Waterlood, is een stap voorwaarts in de ontsluiting van de kennis over de belasting vanaf de bodem. Deze kennis was tot nu toe slechts beschikbaar voor de groep mensen die met STONE werkt. Voor de kwaliteit van de neerslag voert de gebruiker een vaste waarde voor het hele jaar in. Voor alle puntbronnen in het model moet per kwartaal een langjarig gemiddelde concentratie worden opgegeven.

2.2.2 Concentraties

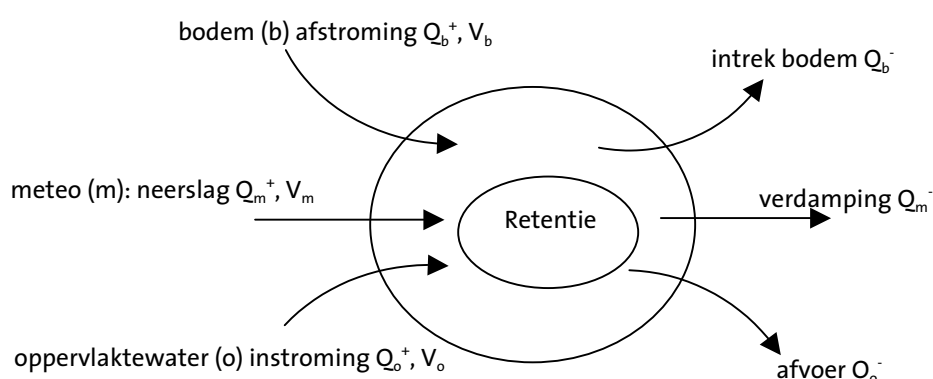
Water- en stofbalansen worden vaak opgesteld op basis van meetgegevens of schattingen. In de module Waterkwaliteit kan geen informatie worden ingevoerd over uitlaat en wegzijging. Daar kan ook geen kwaliteit aan worden toegekend door de gebruiker; die wordt immers berekend door de module. Indien op basis van enkel de balansen een uitspraak zou worden gedaan over de te verwachten waterkwaliteit, dan wordt een belangrijk aspect over het hoofd gezien: processen.

Processen in de waterkolom of in de waterbodem leiden tot afname of toename van stofconcentraties in de waterkolom. Om de processen natuurgetrouw te simuleren zijn uitgebreide waterkwaliteitsmodellen nodig, zoals die beschikbaar zijn in DufLOW en Sobek. De module Waterkwaliteit gaat op een veel eenvoudigere en vooral snellere manier om met processen. Per stof (N en P) worden alle voorkomende processen vertaald tot één factor: de retentiefactor. Deze factor is zeer gebiedsspecifiek en wordt daarom ingevoerd door de gebruiker. Pas nadat de stofbalansen voor N en P zijn blootgesteld aan retentie, kan de verwachte concentratie worden uitgerekend. De theorie achter de retentiefactor is opgenomen in § 2.5.

Chloride gedraagt zich conservatief. De concentratie Cl^- is niet onderhevig aan processen. Daarom is voor Cl^- geen retentiefactor opgenomen. De concentratie Cl^- wordt enkel gestuurd door de belasting (de bronnen) en door indamping. De theorie achter de stofbalans en de concentratieberekening voor chloride is verwoord in § 2.6. De aanpak van Cl^- wijkt af van de aanpak die voor N en P is gehanteerd. N en P zijn gebaseerd op STONE, Cl^- is gebaseerd op chloridekaarten van NITG-TNO en op de hydrologie uit STONE.

2.2.3 Globale werking module Waterkwaliteit

De hierboven beschreven aanpak van waterbalans, stofbalansen en retentie tot aan stofconcentraties is in onderstaande figuur eenvoudig uiteengezet. In de figuur is op hoofdlijnen de rekenprocedure in de module Waterkwaliteit uiteengezet (een nauwkeurig stappenplan is opgenomen in hoofdstuk 3). Alle bronnen in het hele afwateringsgebied komen samen in één waterbakje. Daarin zijn N en P onderhevig aan retentie. Verdamping zorgt voor een verhoging van de berekende concentraties. De sluitposten aan de uitstroomkant zijn intrek in de bodem (infiltratie) en waterafvoer. Beide stromen hebben dezelfde kwaliteit, want het gaat om water uit het zelfde watersysteem. Daarom is voor de module Waterkwaliteit het onderscheid in de grootte van beide stromen op dit moment niet interessant. Het berekenen van de waterkwaliteit is het doel. De concentraties zijn daarom de belangrijkste uitkomst, naast het inzicht in de belasting door de bodem en door de andere bronnen. In de figuur staat Q voor het volume per kwartaal en V voor de stofvracht (N, P en Cl) afkomstig van de desbetreffende bron. Een $+$ staat voor een bronterm, een $-$ staat voor een verdwijnterm in de waterbalans. De vrachten (V) in de figuur zijn allemaal positief.



De volgende paragrafen in dit hoofdstuk gaan dieper in op de balansen, de retentie en de concentraties. In hoofdstuk 3 volgt het stappenplan. In dat hoofdstuk wordt ook een advies gegeven over de omgang met puntbronnen.

2.3 Waterbalans

Voor het open water moet oppervlaktepercentage worden ingevoerd. Het totale oppervlak open water binnen het modelgebied wordt berekend door dit percentage te vermenigvuldigen met het bruto oppervlak. Voor de hoeveelheid neerslag op en verdamping vanaf het open water is in de module Waterkwaliteit reeds een langjarig gemiddelde waarde per kwartaal ingevoerd. Deze gegevens zijn afkomstig van de website van het KNMI en betreffen de gemiddelde waarden over alle weerstations in Nederland in de periode 1971-2000. De bijbehorende verdampingsgegevens zijn eveneens afkomstig van het KNMI, waarbij de referentie-gewasverdamping is gecorrigeerd naar open-watervedamping.

Kwartaal	Neerslag (mm)	Verdamping open water (mm)
jan-mrt	173.0	62.7
apr-jun	166.7	302.1
jul-sep	200.1	279.1
oct-nov	230.8	38.8

De hoeveelheid water die afkomstig is van uit- en afspoeling, het zogenaamde bodemwater, is een zeer belangrijke factor in landelijk gebied. Deze hoeveelheid wordt binnen de module Waterkwaliteit bepaald met behulp van Nutricalc. Dit pakket werkt op basis van een groot aantal factoren, waaronder het bodemtype, het landgebruik en de GLG en GHG (respectievelijk gemiddeld laagste en gemiddeld hoogste grondwaterstand). Nutricalc is een programma dat bestaat uit een set metamodellen, op basis van STONE. In dat modelinstrumentarium vormt kwel een integraal onderdeel van de totale hoeveelheid af- en uitstromend bodemwater. Neerslag op en verdamping vanaf de (droge) bodem zijn eveneens verwerkt in STONE. In § 2.4 wordt diep ingegaan op Nutricalc en de metamodellen.

Voor puntbronnen en inlaatwater wordt van de gebruiker gevraagd het inkomende volume per kwartaal aan te geven. Wegzijing en uitlaat vormen samen de restterm in waterbalans.

2.4 Stofbalansen N en P: Metamodellen bodem in Nutricalc

2.4.1 Inleiding

Om de relatie tussen bodem, grondgebruik en grondwaterregime enerzijds en de belasting van het oppervlaktewater anderzijds te beschrijven is een set metamodellen opgesteld. Een metamodel is een model dat een relatie tussen input en output van een deterministisch model beschrijft, zonder dat de causale verbanden die in het originele model zijn verwerkt, worden overgenomen. Het metamodel is een soort black box model, dat toch een hoge mate van betrouwbaarheid kan hebben, doordat de relaties in het metamodel zijn gebaseerd op een groot aantal input- en outputgegevens van het originele model.

Voor Waterlood zijn metamodellen opgesteld, die de relatie beschrijven tussen de uitkomsten van de nutriëntenuitspoeling, zoals deze worden berekend met het nationale instrumentarium dat ingezet wordt voor de berekening van de nutriëntenuitspoeling (STONE), en de makkelijk beschikbare gebiedskenmerken die als invoer gebruikt zijn bij deze berekeningen op nationale schaal; denk aan bodemtype, bodemgebruik, grondwaterstand (GHG en/of GLG), N-overschot aan het maaiveld, hoeveelheid kwel/wegzijing op grote diepte (13 - mv.), kwelkwaliteit op grote diepte (13 - mv.). Deze relatie tussen modeloutput van STONE (bijv. stikstofvracht naar het oppervlaktewater) onder verschillende omstandigheden (modelinput voor STONE) is met behulp van multiple regressie afgeleid. Tevens zijn metamodellen opgesteld voor de berekening van de afvoer van bodemwater. Deze metamodellen gebruiken dezelfde gebiedskenmerken, maar zijn onafhankelijk van de modellen voor N en P. In totaal zijn 12 metamodellen opgesteld (4 kwartalen, voor waterafvoer en voor de stoffen N en P). In de volgende paragrafen en in bijlage 2 is de methode en de wetenschappelijke verantwoording opgenomen.

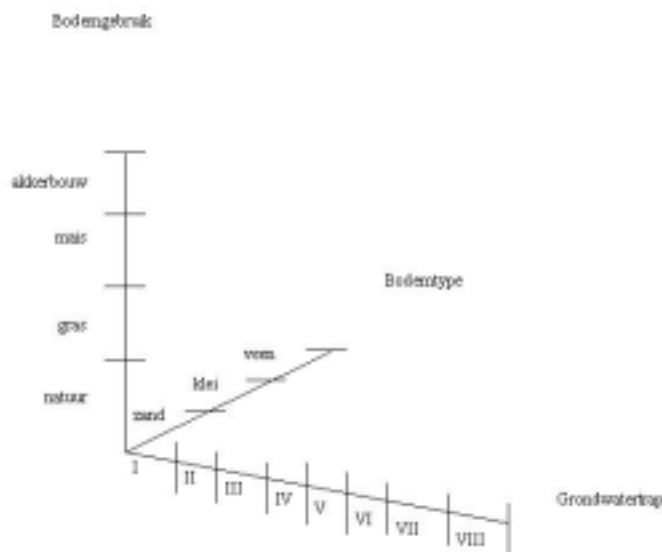
2.4.2 Belasting N en P van bodem naar oppervlaktewater

De belasting van het oppervlaktewater door de bodem wordt in Nederland vooral beïnvloed door bodemtype, hydrologie, klimaat en grondgebruik. Plaatselijk heeft de oppervlaktetmorfologie ook een grote invloed. Verandering van hydrologie, klimaat en of grondgebruik

geeft een verandering in de belasting van het oppervlaktewater. Verandering van de hydrologie kan bijvoorbeeld leiden tot een verandering van de waterstromen in de bodem, verdamping door het gewas, stikstofomzetting in de bodem, nitraatuitspoeling, denitrificatie, fosfaatadsorptie en -desorptie en uitspoeling. Bij gelijktijdige veranderingen in hydrologie, klimaat en grondgebruik kunnen bepaalde effecten worden versterkt dan wel gedeeltelijk worden opgeheven. De optredende veranderingen in de belasting van het oppervlaktewater door veranderingen in hydrologie, bodemtype, grondgebruik en klimaat zijn in het algemeen in kwalitatieve zin bekend, doch de getalsmatige onderbouwing met meetgegevens is heel beperkt.

In Waterlood worden het grondwaterregime en de functietoekenning van een gebied (grondgebruik) als leidraad gebruikt voor het beheer van watersystemen. Om inzicht te krijgen in de effecten van wijzigingen in grondwaterregime op de kwaliteit van het oppervlaktewater zijn relaties nodig tussen grondwaterregime en transport van N, P en Cl uit de bodem naar het oppervlaktewater. Die relaties zijn afgeleid en vertaald tot metamodellen. Deze modellen worden in de volgende paragraaf beschreven.

De indeling in bodemgebruik-bodemtype-grondwatersituatie kan worden geïllustreerd aan de hand van onderstaande vereenvoudigde figuur, waarin een 3 dimensionaal assenstelsel is weergegeven, uitgaande van grondwatertrappen, 4 grondgebruiksklassen en beperkt aantal bodemtypen. Voor ieder van de combinaties in dit assenstelsel zou een belasting met N en P per ha kunnen worden aangegeven. In het metamodel wordt uitgegaan van GLG, GHG en 21 bodemtypen. Bovendien blijkt diepe kwel (of wegzijging) ook een sterke invloed te hebben op de belasting door de bodem. De metamodellen gaan niet uit van een indeling in de discrete categorieën van de onderstaande figuur, maar zijn stuk voor stuk ontwikkeld als een continue relatie.



2.4.3 STONE

De relatie tussen (veranderingen in) waterhuishouding van een bepaalde bodemeenheid met een bepaald bodemgebruik en de belasting van nutriënten op het oppervlaktewater is zeer complex. In het kader van de evaluatie van het mestbeleid voor de vijfde milieuverkenningen (MV5) is voor landelijke toepassingen een aanpak gevolgd waarbij voor een betrekkelijk groot aantal zogenoemde plots (unieke combinaties van hydrologische omstandigheden, bodemeenheid en landgebruik) berekeningen zijn uitgevoerd met een modellenketen, waarbij zoveel als mogelijk is uitgegaan van een procesmatige benadering. Deze zogenoemde STONE-aanpak betekent concreet dat voor 6405 plots verschillende bemestingsscenario's voor de periode 1993-2030 zijn doorgerekend, om zodoende per plot het verloop van de belasting met N en P op het oppervlaktewater te kunnen afschatten. Voor de hydrologie zijn de weerjaren 1971-1985 genomen. Voor een zeker gebied is bekend uit welke plots het gebied is opgebouwd en de totale belasting volgt simpel door een (naar oppervlak) gewogen optelling. Hierbij worden bemestingshoeveelheden aangehouden die voor 2003 gelden en een P-ophoping in de bodem die ontstaat in 2030, indien het huidige beleid wordt voortgezet. Voor meer informatie omtrent de hydrologische gebiedsschematisatie, zoals deze binnen STONE wordt gehanteerd, wordt verwezen naar Kroon e.a., 2001 en Massop e.a., 2000. In bijlage 5 zijn enkele basiskaarten uit STONE opgenomen.

Naast de ongewenstheid van een grote databehoeftte en lange rekestijden, is ook om een aantal inhoudelijke redenen bij het project Waterkwaliteit in Waterlood er niet voor gekozen om integraal met STONE te werken:

- de berekeningen met STONE zijn uitgevoerd voor de huidige waterhuishoudkundige toestand. Verandering in de waterhuishouding zou kunnen betekenen dat de indeling in plots niet meer geldig is;
- indien uit het voorgaande punt zou blijken dat er een noodzaak is één of meerdere nieuwe plots te definiëren, dan zouden er nieuwe berekeningen moeten worden uitgevoerd met een zeer ingewikkeld modelleninstrumentarium met een omvangrijke databehoeftte;
- de STONE-aanpak is nadrukkelijk bedoeld voor landelijke studies. Een regionale aanpak kan leiden tot schijnnaauwkeurigheid.

Er is daarom gekozen voor een metamodellenaanpak, die in de volgende paragraaf wordt besproken. De eerste twee punten vallen weg bij deze methode, doordat de vaste relatie met de locatie (plots) in de metamodellen wegvalt. Er bestaan alleen relaties met parameters die gebiedskenmerken beschrijven. Het laatste punt blijft een punt van aandacht. Met de metamodellen wordt wel regionaal gekeken. Voor de gebiedsgrootte geldt echter een minimum. De toekomst biedt overigens kansen, wanneer een regionaal STONE wordt ontwikkeld. Dan kunnen ook de metamodellen mee ontwikkelen.

2.4.4 Metamodellen: materiaal en methoden

De in de vorige sectie genoemde STONE-aanpak maakt gebruik van een groot aantal invoergegevens en produceert een groot aantal uitvoergegevens die fysisch kunnen worden geduid. Een metamodel maakt hiervan gebruik door met behulp van wiskundige technieken en expertise een wiskundige relatie te leggen tussen (een selectie van) invoervariabelen en relevante uitvoer. Het meest duidelijke voorbeeld hiervan is dat voor een bepaalde (vaststaande) bodemeenheid en een bepaald (vaststaand) landgebruik (lees hiervoor vooral bemestingsscenario) een relatie wordt gelegd tussen de hoogte van de grondwaterstand (invoervariabele) en de N-belasting op het oppervlaktewater (uitvoervariabele). Hoe geringer de grondwaterstandsdiepte des te geringer de N-belasting als gevolg van m.n. denitrificatie. Het proces van denitrificatie wordt echter niet gemodelleerd; de relatie is zuiver een resultaat van een soort *curve fitting* tussen invoer en uitvoer. Dergelijke relaties zijn bijzonder geschikt

voor Waterlood, omdat door maatregelen de grondwaterstandsdiepte kan veranderen en vervolgens via een metamodel zeer snel de verandering van de N-belasting op het oppervlaktewater kan worden berekend (bij overigens gelijkblijvende omstandigheden).

De metamodellenaanpak is in het verleden reeds toegepast op de WSV-resultaten (Mol-Dijkstra e.a., 1999) en er is daarom besloten deze aanpak toe te passen op het materiaal van de recent uitgevoerde STONE-berekeningen (STONE 2.0) waarnaar in de vorige paragraaf reeds is verwezen. Daarbij is de uitvoer beperkt tot de oppervlaktewaterafvoer, de N-belasting en de P-belasting en zijn de volgende keuzes gemaakt:

- er wordt gebruik gemaakt van één bemestingsscenario, namelijk scenario D uit MV5 (uitvoering van bestaand en voorgenomen mestbeleid van de Europese Commissie). Dit scenario sluit het best aan bij het voorgenomen generieke beleid. Gevolg hiervan is, dat er geen effecten van andere bemestingsmaatregelen kunnen worden doorgerekend. Dat is echter ook geen doel binnen Waterlood;
- alleen de in- en uitvoer van de laatste 15 jaar van de simulatieperiode zijn gebruikt (2024-2038), in verband met het zo goed mogelijk bereiken van een evenwichtssituatie.
- Kortom, de metamodellen geven aan wat op termijn gemiddeld mag worden verwacht voor de 4 kwartalen (gebaseerd op de uitkomsten van 15 weerjaren) onder verschillende omstandigheden (zie volgende bullet);
- voor de invoervariabelen is gebruik gemaakt van de veeljarig gemiddelden per kwartaal, per jaar of per periode van de volgende gegevens:
 1. Gemiddeld Hoogste resp Laagste Grondwaterstand (m -mv, langjarige gemiddelden)
 2. Landgebruik (maïs, akkerbouw, natuur of gras, per jaar een vaste waarde)
 3. Bodem (21 PAWN-eenheden (bodemtypen); vaste waarden per locatie)
 4. Kwel of wegzijging op 13 m -mv (mm per kwartaal)
 5. De som van kwel op 13 m -mv en wegzijging op 12 m -mv (mm per kwartaal)
 6. N-concentratie in kwelwater op 13 m -mv (mg-N/l, kwartaalwaarden)
 7. P-concentratie in kwelwater op 13 m -mv (mg-P/l kwartaalwaarden)
 8. De totale P-voorraad tussen 0 en 1 m -mv (kg/ha, jaarwaarde)
- alleen de veeljarig gemiddelden van de kwartaalgegevens van de reeds genoemde uitvoervariabelen zijn gebruikt;
- er is geen onderlinge samenhang tussen de metamodellen voor afvoer en voor nutriënten: waterbalanstermen zijn niet gerelateerd aan stofbalanstermen, evenmin als dat stofbalanstermen onderling gerelateerd zijn.

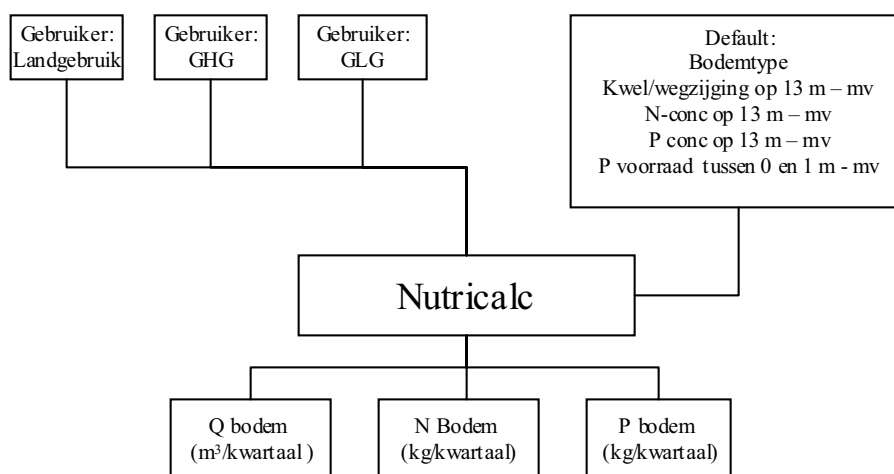
Voor elk kwartaal en elke uitvoervariabele (water afvoer naar oppervlaktewater, N of P vracht naar het oppervlaktewater) is een metamodel opgesteld, waarbij per metamodel zorgvuldig wiskundig is getoetst welke invoervariabelen (punten 1-8 hierboven, al dan niet getransformeerd) moeten worden meegenomen. De metamodellen zijn afgeleid met behulp van lineaire regressie. In de gevallen waar variabelen zijn aangetroffen waarvoor een lineair verband niet volstaat, is gezocht naar een geschikte transformatie. Ook onderlinge interacties zijn meegenomen. In bijlage 1 wordt hierover uitvoerig gerapporteerd.

Opgemerkt wordt nog dat een aantal gebiedskenmerken gerelateerd is aan omstandigheden op 13 m - maaiveld (punten 4-7). Dit heeft alles te maken met het feit dat het oorspronkelijk model (STONE) landelijk deze grens als onderrand heeft gehanteerd. Omdat het metamodel is afgeleid van de STONE uitkomsten en de bijbehorende inputgegevens, komt deze onderrand automatisch ook terug in de metamodellen. Indien deze gegevens op grote diepte in een gebied niet direct bekend zijn, kunnen in eerste instantie (als eerste schatting) de gegevens die gehanteerd zijn voor de nationale toepassingen gebruikt worden. Dit is standaard zo ingesteld in de module Waterkwaliteit. Men dient zich er dan wel van bewust te zijn dat dit

tot een lagere betrouwbaarheid van de uitkomsten kan leiden. In de module Waterkwaliteit zijn de desbetreffende kaarten uit STONE opgenomen.

Tot slot wordt nog opgemerkt wat de betekenis is van het laatste punt. Het ontbreken van een onderlinge relatie tussen waterbalanstermen en stofbalanstermen in de metamodellen betekent dat er niet per definitie een goede concentratie zou kunnen worden berekend voor het uitspoelende bodemwater. Daarom vindt deze berekening pas plaats als alle bronnen bij elkaar zijn opgeteld.

In onderstaande figuur is aangegeven wat de relatie is tussen invoer en uitvoer en welke gegevens de gebruiker moet leveren.



2.4.5 Resultaten

In bijlage 1 is per metamodel de bijdrage aangegeven van verschillende invoervariabelen aan het percentage verklaarde variantie (R^2_{Adj}) en aan een aantal andere wiskundige maatstaven. De resultaten zijn maar voor een deel verklaarbaar. De relatief hoge bijdrage van de kwel of wegzijing aan de voorspelling van de oppervlakteafvoer is volgens verwachting, omdat de neerslag minus verdamping relatief weinig afhangt van bodem en gewas. De bijdrage van de GHG aan de voorspelling van de N- en P- belasting is eveneens conform de verwachting. Voor de overige termen is de verklaring minder voor de hand liggend. Met nadruk wordt er op gewezen dat het vinden van logische verbanden tussen in- en uitvoer niet de doelstelling is van metamodellen. Sterker nog: de kracht van metamodellen is juist dat ze minder 'vooringenomen' zijn ten aanzien van het resultaat.

Per geselecteerde invoervariabele is de variantie-covariantie berekend. Met behulp hiervan is voor een willekeurige combinatie van invoervariabelen de verwachtingwaarde en betrouwbaarheidsinterval van de oppervlakteafvoer, de N- en P-belasting per kwartaal te bepalen. Voor de verwachtingswaarde is dit geoperationaliseerd in het instrumentarium Waterlood.

2.4.6 Lage afvoer

In het Waterloodinstrumentarium wordt gebruik gemaakt van de metamodellen die de N- en P-vrachten per kwartaal aangeven en het afzonderlijke metamodel dat de bruto water-

afvoer vanuit het landelijke gebied (landbouw en natuur) per kwartaal inschat (zie oplossingsmethode voor de berekening van de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater). Deze drie metamodellen geven de vrachten en debieten gebaseerd op het gemiddelde van 15 weerjaren.

Om inzicht te krijgen in de gemiddelde N- en P-concentratie die in een kwartaal uit landbouwgronden uitspoelt, zouden de uitkomsten van de metamodellen voor de vracht (N of P) gedeeld kunnen worden door de uitkomsten van de metamodellen voor waterafvoer. Tussen beide sets metamodellen bestaan echter geen fysieke relaties. Met name in kwartalen met lage waterafvoeren, kunnen hierdoor hoge concentraties ontstaan, doordat door een klein getal gedeeld wordt en elk metamodel een verdere vereenvoudiging van de werkelijk is, waardoor een extra fout wordt geïntroduceerd. Een goed inzicht van de concentratie die uitspoelt zou alleen kunnen worden verkregen door een apart metamodel voor de N- en P-uitspoelingsconcentratie af te leiden. Voor de berekening van de uiteindelijke N- en P-concentraties in het oppervlaktewater, waar alle water- en stofstromen eerst worden gesommeerd en vervolgens pas door elkaar worden gedeeld, zijn aparte uitspoelingsmodellen niet persé nodig. Wel wordt in de module Waterkwaliteit gecontroleerd of de gemiddelde kwartaalconcentratie die uitspoelt bij lage debieten niet hoger wordt dan de waarden die door STONE worden berekend (95% betrouwbaarheidsinterval) en waarop de metamodellen zijn gebaseerd (ter voorkoming van inconsistentie). Indien dit het geval is, dan wordt de vracht bij het lage debiet opnieuw ingeschat door de grensconcentratie uit STONE te vermenigvuldigen met het betreffende lage debiet. Dit om te voorkomen dat er artefacten ontstaan bij lage waterafvoeren uit het landelijke gebied.

2.4.7 Conclusies en disclaimer

De op basis van de STONE 2.0-bestanden zijn metamodellen opgesteld die een redelijke voorstelling geven van de oppervlakteafvoer en de N- en P-belasting van het oppervlaktewater per kwartaal op basis van een groot aantal invoergegevens. Voor Waterlood is vooral van belang de relatie tussen grondwaterstandsdiepte en N- en P-concentratie in het oppervlaktewater. De afgeleide metamodellen geven een verband tussen GHG resp. GLG en N- en P-belasting van het oppervlaktewater uit landbouwgronden. De volgende waarschuwing is echter van groot belang. Bij de STONE-aanpak is (noodzakelijkerwijs) gebruik gemaakt van een ruwe schematisatie van Nederland in circa 6400 representatieve gebieden, ook wel *plots* genoemd. Er is onderzocht tot welk detailniveau deze aanpak nog tot redelijke resultaten leidt en daarbij is voor de hydrologie een gebiedsgrootte van ca. 2500 ha vastgesteld. Met andere woorden; voor gebieden kleiner dan 2500 ha zijn met STONE in principe geen harde uitspraken mogelijk. Dit geldt vervolgens ook automatisch voor alle afgeleide producten, zoals onderhavige metamodellen, want deze zijn mede gebaseerd op de hydrologische gegevens uit STONE. Daarentegen wordt met het instrumentarium Waterlood de hydrologie van een gebied niet met de STONE-aanpak bepaald. In Waterlood kunnen, mede op basis van lokale gebiedskennis van de waterbeheerder, wel goede hydrologische uitspraken worden gedaan voor kleinere gebieden dan 2500 ha. Dit is echter nog niet onderzocht en gekwantificeerd. Mede om deze reden wordt aanbevolen om meer naar de relatieve effecten van maatregelen te kijken, dan naar de absolute uitkomsten van de verschillende varianten die worden doorgerekend.

Naast deze ruimtedisclaimer is er een tijddisclaimer. De relaties zijn gebaseerd op veeljarige gemiddelden en die zo goed mogelijk passen bij een evenwichtssituatie. Dat betekent dat geen uitspraken kunnen worden gedaan voor individuele jaren of ten aanzien van tijdsverlopen.

Tenslotte is er een extrapolatiedisclaimer. Het volgende citaat is afkomstig van Akkermans (2002). "Bij het toepassen van een regressiemodel op nieuwe data is het van belang er op te letten dat het nieuwe invoerpunt niet te ver weg ligt van de data waarop het model is gefit (.).". Dit betekent dat de gebruiker niet te ver mag extrapoleren buiten de grenzen waarop het model is gebaseerd.

De hierboven geschetste voorbehouden bij toepassing van het metamodel leiden tot de volgende uitspraak: de metamodellen zoals in dit rapport beschreven hebben alleen maar de pretentie een richting aan te geven: neemt de nutriëntenbelasting op c.q. de nutriëntenconcentratie in het oppervlaktewater toe of af? Hiervoor is een kwantitatieve benadering nodig, zoals hier is toegepast. Expert judgement voldoet niet altijd als alternatief, omdat het overall effect van processen die elkaar onderling kunnen beïnvloeden niet altijd eenvoudig te voorspellen is.

2.5 Concentraties N en P: Retentie

Inleiding

Om de vertaalslag te maken van de emissie van het land naar de belasting van het oppervlaktewater, dient rekening te worden gehouden met de verwijdering en de vastlegging van nutriënten in de haarvaten. Hierbij moet worden gedacht aan sloten, beken en andere kleine regionale wateren. Er is een groot aantal factoren, dat de retentie van stikstof en fosfaat in dergelijke wateren bepaalt. Verwijdering van stikstof verloopt door nitrificatie en denitrificatie. Redox condities, pH en de aanwezigheid van waterplanten (in verband met de aanwezigheid van biofilms) zijn belangrijke sturende factoren. Voor P geldt dat de vastlegging in de waterbodem een belangrijke rol speelt. Factoren als grondsoort, maar ook pH en Redox condities zijn hier sturend. Ook de vastlegging van N en P in de vegetatie kan een belangrijke verliesterm zijn, mits de vegetatie ook wordt verwijderd. Tenslotte speelt ook de sedimentatie en opwerveling van particulier gebonden nutriënten een belangrijke rol. Deze processen hangen samen met de optredende stroomsnelheden en de karakteristieken van het bodemmateriaal (silt, klei of zand).

Het complex van factoren dat de retentie bepaalt, maakt het moeilijk om generieke kentallen voor de retentie van nutriënten te geven. Daarnaast speelt ook de schaal waarop men kijkt een rol. De retentie in een poldersloot zal anders zijn dan die in een heel peilgebied of stroomgebied. Dit schaaleffect wordt veroorzaakt door verschillen in verblijftijd en in de verhouding tussen water- en landoppervlak.

Lopend onderzoek

Het belang om te komen tot kentallen voor de retentie wordt al enige jaren onderkend. Door een aantal instituten wordt hier onderzoek naar gedaan en er wordt gewerkt aan het ontwikkelen van dergelijke kentallen. Hieronder wordt een aantal van deze onderzoeken beschreven.

RIVM

In het kader van het project "Ketenmodel vermessing" staat de koppeling van STONE en PCDITCH centraal. De retentie in de sloten is één van de belangrijkste vraagstellingen in dit

project. Door het RIVM zijn in het kader van de Nationale Milieuverkenningen, retentiepercentages ontwikkeld op basis van berekeningen met STONE en PCDITCH. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen zand, klei en veen. Uiteindelijk zijn de gegenereerde factoren niet gebruikt, omdat het model STONE aanpassing nodig had. De nieuwe STONE berekeningen zijn inmiddels uitgevoerd. Nieuwe retentiefactoren zijn echter nog niet beschikbaar. Het RIVM is bezig om nieuwe getallen voor retentie en rekenregels te ontwikkelen. Momenteel zijn echter nog geen resultaten beschikbaar, die naar buiten kunnen worden gebracht. Het is niet bekend op welke termijn dit wel het geval zal zijn. De kentallen die worden ontwikkeld, hebben betrekking op de schaal van een stroomgebied.

Alterra - Wageningen Universiteit

Kroeze et al (2001) gebruiken retentiefactoren op een nog grotere schaal. Zij verdelen Nederland in een vijftal districten op basis van hydrologie. Op basis van literatuurgegevens, expert judgement en gestaafd door metingen komen zij tot onderstaande retentiefactoren.

Tabel 1 Geschatte retentiefactoren voor stikstof in een vijftal districten in Nederland (bron Kroeze et. al)

District	Retentie factor voor stikstof
IJsselmeer	0.4-0.6
IJssel	0.2-0.4
Centraal Nederland	0.3-0.7
Delta Zuid	0.1-0.2
Maas	0.2-0.4

Retentiefactoren op de schaal van een sloot worden gegeven door Roest en Groenendijk (1999). De factoren, zijn gebaseerd op modelberekeningen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen slootwand en slootbodem. De factoren zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Percentage retentie voor sloten op basis van een belasting 45 mg N/m² waterbodem, per jaar (Bron Roest en Groenendijk, 1999)

Type	Slootwand	Slootbodem	Slootwand + bodem
Veen	26	29	55
Zand (permanent watervoerend)	4	39	43
Zand (periodiek droogvallend)	2	20	22

RIZA/ WUR

Het RIZA doet samen met de Wageningen Universiteit onderzoek naar retentie in de Beerze (Portielje en de Klein, 2002). Voor stikstof worden waarden gevonden van -30 % tot +30 %. Voor fosfaat liggen de gevonden retenties tussen de 10 % en 60 %. Het blijkt dat de verblijftijd en de aanwezigheid van waterplanten belangrijke sturende factoren zijn. Retentie vertoont een seizoensvariatie. Uit het onderzoek in de Beerze blijkt dat de retentie in het voorjaar (april- mei) het grootst is, daarna neemt de retentie af of wordt zelfs negatief. In de winter gebeurt er vaak helemaal niets. Dit laatste geldt echter niet overal. Er bestaan situaties waar in de winter juist extra nalevering plaatsvindt (negatieve retentie). Door extra opwerveling van slib bij hoge afvoeren, kan het droge stofgehalte in het water toenemen en daarmee ook de concentratie totaal fosfaat. De gebruiker kan deze gebiedskennis zelf inbrengen. De methode daarvoor is beschreven in hoofdstuk 3.

In het kader van het BOREAS project is door het RIZA een methodiek ontwikkeld om retentie te bepalen. Deze methode is gestoeld op GIS en lijkt goed aan te sluiten bij het Waterlood-instrumentarium. De RIZA methode is ontwikkeld voor het stroomgebied van de Beerze. Er zijn afwaterende eenheden gedefinieerd van 500 – 2000 ha en het hoofdwaterlopenstelsel is onderverdeeld in eenheden van 500 tot 2000 m. Als invoer is gebruik gemaakt van STONE berekeningen om uit- en afspoeling vast te stellen. Het model Mozart is gebruikt voor de hydrologische berekeningen. De afvoer en nutriëntenvrachten zijn gesommeerd met behulp van GIS. Uit de afvoer en het volume oppervlaktewater is de verblijftijd berekend. Vervolgens is een eenvoudig eerste orde verwijderingsmodel gebruikt om de retentie te bepalen. De eerste orde verwijderingscoëfficiënt is vastgesteld op basis van gemeten vrachten in de beek. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de boven- en benedenloop van de beek en de haarvaten (sloten en kleine zijbeken). De eerste orde verwijderingscoëfficiënten zijn omgerekend naar halfwaardetijden. Deze zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3 Halfwaardetijden retentie van N en P in het stroomgebied van de Beerze (bron RIZA)

	Benedenloop	Bovenloop	Sloten en kleine zijbeken
Totaal Stikstof	16 ¹ dag	2 dag	4 dag
Totaal Fosfaat	1 ² dag	1 dag	1 dag

¹ De benedenloop wordt sterk beïnvloed door effluent van een RWZI – Stikstof vooral aanwezig in de vorm van ammonium

²De beek wordt gevoed door ijzerrijke kwel – Dit verklaart de lage halfwaardetijd voor fosfaat

Uiteraard zijn deze halfwaardetijden zeer gebiedsspecifiek (zie ook de noten bij de tabel) en kunnen niet zondermeer worden gebruikt. Toepassing van de methode vraagt om nadere vaststelling van gebiedsspecifieke waarden. Deze kunnen worden verkregen door de export aan nutriënten uit een afwaterende eenheid te meten.

Belangrijkste bevindingen

- De retentie van nutriënten in de haarvaten hangt af van een groot aantal factoren. Verblijftijd en de aanwezigheid van vegetatie lijken in belangrijke mate sturend te zijn.
- De ranges die worden genoemd in de literatuur zijn wijd en nog onzeker. Op basis van de thans beschikbare kennis lijkt het niet mogelijk te differentiëren naar verschillende factoren. Het lopend onderzoek op dit terrein kan op termijn een nadere onderbouwing geven van de retentiefactoren en wellicht leidt dit tot kleinere ranges en kunnen factoren worden gerelateerd aan verklarende factoren.
- Vooralsnog moet gebruik worden gemaakt van de bestaande kennis en kan het best worden aangesloten bij factoren die in de praktijk worden gebruikt. Bij de keuze van geschikte retentiefactoren moet gelet worden op het schaalniveau waarvoor deze zijn afgeleid.

Keuze voor de module Waterkwaliteit

De methoden die in deze paragraaf zijn beschreven, zijn niet één-op-één toepasbaar in Waterlood. De theorie is waardevol, maar de hierboven vermelde belangrijkste bevindingen geven aan dat onderzoek voorlopig nodig blijft.

Voor de module Waterkwaliteit is op dit moment gekozen voor een retentiefactor die eigenlijk een omgekeerde retentiefactor is: een doorlaatfactor. De factor in Waternood is een getal tussen 0 en 10, waarmee de som van alle vrachten wordt vermenigvuldigd, alvorens een concentratie wordt uitgerekend. De defaultwaarde in de module Waterkwaliteit is 1, zowel voor N als voor P. Bij deze waarde is er geen sprake van netto retentie.

Voor ieder kwartaal is een aparte factor voor N en voor P opgenomen. De gebruiker kan deze waarden aanpassen. Indien doorgaans netto vastlegging optreedt (bijvoorbeeld fosfaatvastlegging in de bodem, of het effect van denitrificatie), moet de factor kleiner worden gemaakt dan 1. De retentiefactor wordt gebruikt als een 'doorlaatfactor', in tegenstelling tot de betekenis in de hier beschreven theorie. De concentratie die in het oppervlaktewater wordt berekend, zal dan ook afnemen (rechtevenredig met de factor). Indien doorgaans sprake is van nalevering (bijvoorbeeld bij fosfaatverzadigde waterbodems), moet de factor een waarde groter dan 1 krijgen.. Ook hier wordt rechtevenredig gerekend. Is de factor 2, dan wordt de concentratie tweemaal zo hoog als op basis van de inkomende belastingen wordt berekend.

Toekomstige ontwikkelingen

De methode die door het RIZA en WUR (De Blois et al., 2003) wordt ontwikkeld lijkt voor de toekomst veel belovend voor het Waternood instrumentarium. De methode is ook gebaseerd op GIS en kan worden toegepast op het schaalniveau van afwaterende eenheden, zoals die ook in het Waternood instrumentarium wordt gebruikt. Om de methode toe te passen in het nodig eerst de verblijftijd in te schatten. Het probleem is vervolgens een waarde voor de halfwaardetijd (eerste orde verwijderingcoëfficiënt) te schatten. Deze is gebiedsspecifiek. Indien gegevens over vrachten uit het gebied beschikbaar zijn, kan deze worden geschat. Daarnaast wordt momenteel onderzoek uitgevoerd (RIZA/ WUR) dat er op gericht is de halfwaardetijd te relateren aan gebiedskenmerken. Indien dergelijke relaties beschikbaar komen, kunnen deze eenvoudig in het instrumentarium worden ingevoerd.

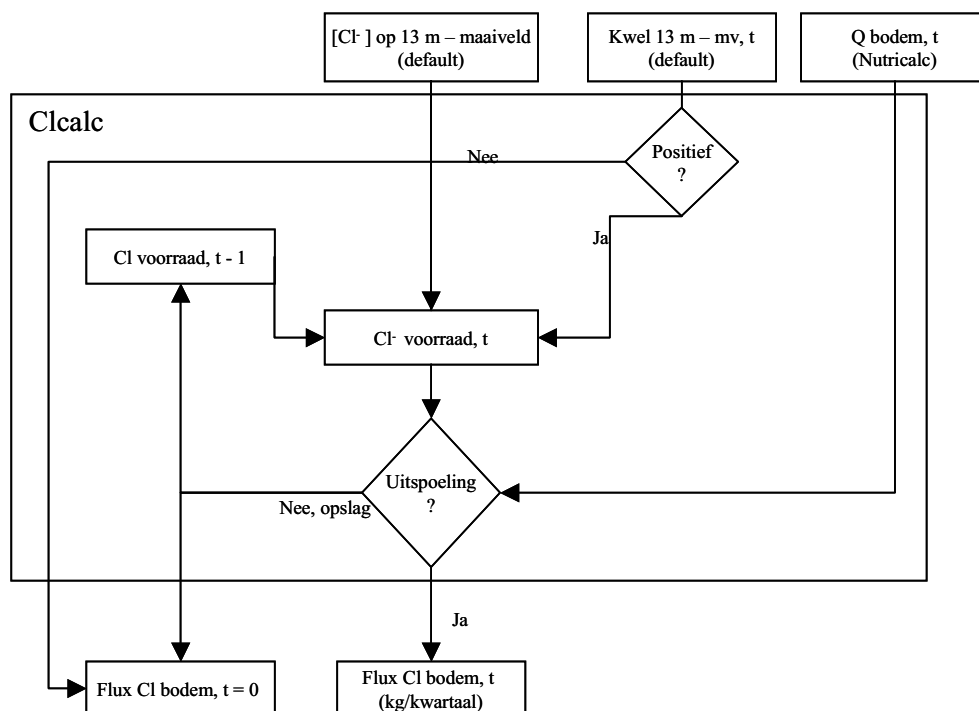
Een eerste indruk van de variatie van de halfwaardetijd voor verschillende studies, kan worden verkregen door gebruik te maken van de diverse balansstudies die overal in het land worden uitgevoerd. Voor verschillende polders en stroomgebieden is en wordt de export van nutriënten gemeten. Door deze resultaten te combineren met de kentallen voor de belasting van het oppervlaktewater (zoals die door Alterra in het kader van waterkwaliteit in Waternood zijn afgeleid), kan een schatting van de halfwaardetijd voor retentie in het openwater worden afgeleid. Door de resultaten van verschillende van deze studies op een rij te zetten kan een overzicht van de variatie worden verkregen en kunnen de waarden wellicht aan specifieke gebiedskenmerken worden gerelateerd.

2.6 Stofbalans en concentratie Chloride: Cl_{calc}

Chloridevrachten worden binnen de module Waterkwaliteit niet via metamodellen berekend. In STONE is chloride niet opgenomen. In de metamodellen komt chloride derhalve ook niet voor. Daarom is voor Cl een andere oplossing gekozen. De werkwijze is als volgt.

- De kwel of wegzijging op 13 m –mv wordt gelezen (mm per kwartaal);
- De Cl concentratie (mg/l) op 13 m –mv wordt gelezen;
- Bij kwel op 13 m –mv wordt een vracht naar het freatisch grondwater bepaald: kwel maal concentratie (kg/ha per kwartaal);
- Als in een kwartaal sprake is van afvoer vanuit de bodem naar het oppervlaktewater (uitkomst metamodel), dan wordt de in de vorige stap berekende Cl vracht als belasting op het oppervlaktewater beschouwd;

- Als in dat kwartaal geen sprake is van afvoer naar het oppervlaktewater, dan is er ook geen belasting met Cl naar het oppervlaktewater. De naar het freatisch grondwater aangevoerde Cl vracht wordt dan opgeslagen tot het volgende kwartaal (Cl- voorraad, t-1 in de figuur). Deze wordt dan opgeteld bij de in dat kwartaal optredende vracht vanuit het diepe grondwater. *Dit wijkt af van de berekeningen voor N en P: daar is geen relatie tussen kwartalen mogelijk;*
- In het volgende kwartaal wordt opnieuw het bovenstaande stappenplan doorlopen.
- Indien wegzijging plaatsvindt van freatisch grondwater naar dieper grondwater, zal er nooit een Cl belasting van het oppervlaktewater plaatsvinden binnen de module Waterkwaliteit. Dit strookt met de zoute kwelverschijnselen in laag Nederland en het vrijwel ontbreken daarvan in hoog Nederland.
- De hier beschreven werkwijze noemen we Clcalc. Het model is vastgelegd in een script binnen de module Waterkwaliteit. In onderstaande figuur is het stappenplan uiteengezet. Duidelijk blijkt dat de gebruiker geen invloed heeft op de invoer of op de resultaten.



Noot

De methode Clcalc is in de casestudies niet getoetst. Voor de case 'Linde' zijn wel berekeningen met Clcalc gedaan, maar meetgegevens om de uitkomsten aan te toetsen zijn niet voorhanden. De functionaliteit is uiteraard wel opgenomen in de module.

3 Aanpak: de module

3.1 Implementatie

De module Waterkwaliteit is geïmplementeerd in het overall Waternood instrumentarium. Binnen Waternood kan de module Waterkwaliteit worden aangeroepen en uitgevoerd. De invoer bestaat uit kaarten en handmatig in te vullen gegevens ten aanzien van puntbronnen, retentie en dergelijke. De kaarten kunnen afkomstig zijn van lokale bestanden of van bestanden uit de landelijk uitgevoerde STONE studie.

De module Waterkwaliteit rekent in een keer de 4 kalenderkwartalen door. Sommige gegevens moeten echter voor ieder kwartaal apart worden ingevoerd. Interactie tussen de kwartalen ontbreekt, behalve voor chloride. Ophoping van chloride in de onverzadigde zone in perioden zonder bruto afvoer is mogelijk.

De metamodellen voor afvoer (Q), stikstof (N) en fosfaat (P) zijn opgenomen in het model Nutricalc. Het model voor chloride (Cl) is als script opgenomen in het instrumentarium. Dit model heet Clcalc.

De uitvoer van de module Waterkwaliteit bestaat uit tabellen. De tabellen kunnen worden geëxporteerd naar een spreadsheet, om analyses mee te doen. In de casestudies wordt hiervan een aantal voorbeelden gegeven.

3.2 Randvoorwaarden

Grote waterpartijen zijn niet geschikt om met Waternood door te rekenen. STONE is ontworpen voor landbouwgebieden, Waternood richt zich ook op landbouw- en natuurgebieden. Meren en plassen moeten buiten het model worden gelaten. Ze kunnen wel als inlaat worden opgenomen, op de randen van het modelgebied.

Het zelfde geldt voor stedelijk gebied. Ook hierover doet noch STONE, noch de module Waterkwaliteit uitspraken. De gebruiker kan stedelijk gebied zelf als puntbron opgeven.

In de STONE kaarten die met de module Waterkwaliteit worden meegeleverd zijn grote water en stedelijke gebieden opgenomen als witte vlekken. Voor het opstellen van de waterbalans en de stofbalansen worden deze gebieden niet meegenomen. Het totaal oppervlak wordt hiervoor gecorrigeerd.

3.3 Rekencellen, afwateringseenheden en afwateringsgebied

Gegevens worden ingevoerd (door de gebruiker of middels de defaultbestanden uit STONE) op een schaalniveau van cellen van 250 m bij 250 m, net als in STONE. Nutricalc en Clcalc worden aangeroepen per cel. Vervolgens worden per afwateringseenheid de afvoer en de stofvrachten gesommeerd. Deze sommen worden vervolgens ingevoerd in de waterbalans op

afwateringsgebiedsniveau. Uitkomsten worden dus pas gegeven op een niveau dat voldoende geaggregeerd is, in verband met de ruimte-disclaimer voor de metamodellen. Het afwateringsgebied moet dan ook groter zijn dan 2500 ha.

In de module Waterkwaliteit is het mogelijk deelgebieden binnen het modelgebied aan te geven. Het totale modelgebied noemen we een afwateringsgebied. De deelgebieden noemen we afwateringseenheden. Daarvan kunnen er circa 10 worden aangewezen binnen het afwateringsgebied. In eerste instantie zijn de afwateringseenheden bedoeld als peilgebieden. Een bepaalde mate van samenvoeging kan daarbij noodzakelijk zijn.

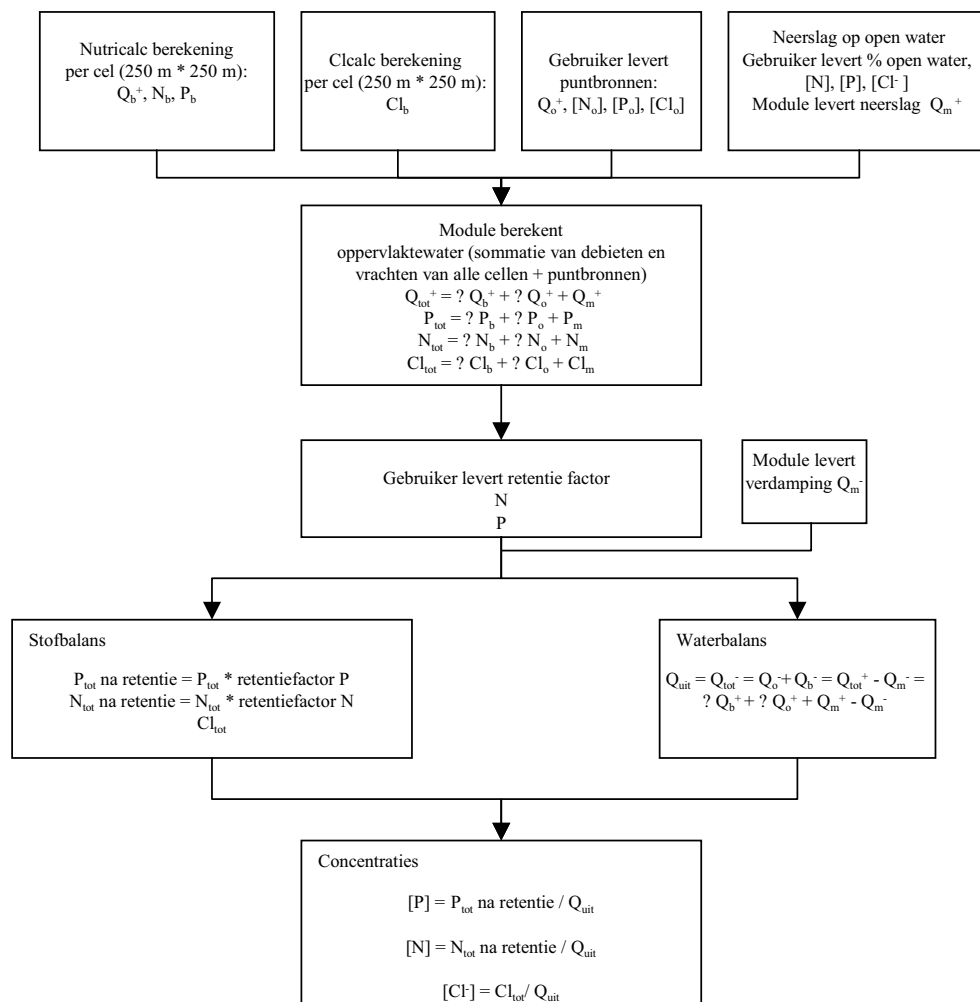
Tijdens de bouw van de module Waterkwaliteit is duidelijk geworden dat het werken met peilgebieden niet zinvol is, zolang de aanvoerbehoefte niet uitgerekend wordt. Vanwege de ontwikkelingskansen die de module Waterkwaliteit zeker in zich heeft, is ervoor gekozen de afwateringseenheden in de software toch te handhaven. De afwateringseenheden kunnen voorlopig het best worden ingezet/aangegeven als gebieden met zoveel mogelijk homogene eigenschappen ten aanzien van landgebruik en GLG/GHG. Hierbij kan vast worden vooruitgedacht naar veranderingen in die factoren voor scenarioberekeningen.

Indien afwateringseenheden al een grootte hebben van meer dan 2500 ha, dan zou uitvoer kunnen worden gegenereerd per afwateringsgebied. Dit wordt nuttig zodra ook balansberekeningen kunnen worden uitgevoerd per afwateringseenheid. Vooralsnog kan dan beter per afwateringseenheid een apart model worden opgezet, als afwateringsgebied.

De resultaten (concentraties) worden geleverd voor het gehele afwateringsgebied. In de uitvoertabellen worden de tussenresultaten van de afwateringseenheden ook getoond. Hiermee kunnen de bijdragen (in fluxen) van de deelgebieden onderling worden vergeleken.

3.4 Stappenplan

In onderstaande figuur is een stappenplan opgenomen, dat de werkwijze van de module Waterkwaliteit weergeeft. In het schema zijn ook de formules opgenomen die voor de berekeningen van de balansen, de retentie en uiteindelijk van de stofconcentraties worden gebruikt. In dit schema is tevens aangegeven waar input van de gebruiker wordt gevraagd, waar de module Waterkwaliteit zelf berekeningen doet en welke uitkomsten geleverd worden.



Hieronder wordt op enkele stappen in het schema kort ingegaan. De belangrijkste inhoudelijke stappen zijn in hoofdstuk 2 reeds verwoord. In de beschrijving hieronder gaat het er vooral om, de gebruiker duidelijk te maken wat er in de module Waterkwaliteit gebeurt, opdat verantwoorde keuzes kunnen worden gemaakt ten aanzien van de waarden van invoergegevens.

Puntbronnen

Het pakket rekent met langjarige gemiddelden. Dit geldt zowel voor de belasting vanaf de bodem, als voor de puntbronnen en inlaten. Daar moet de gebruiker rekening mee houden. Voor iedere puntbron in het model moet per kwartaal een langjarig gemiddelde concentratie worden opgegeven. Dat kan een berekend gemiddelde van meetwaarden zijn. Het is echter nog beter om een verwachte waarde in de toekomst te gebruiken. De metamodellen voor de bodem gaan immers ook uit van evenwichtstoestanden, nadat het nieuwe mestbeleid reeds een aantal jaar in werking zal zijn getreden.

Evenwichtsconcentraties

De concentratie die wordt berekend is een verwachte evenwichtsconcentratie. Met beginconcentraties wordt geen rekening gehouden. Ook is het doorrekenen van opeenvolgende perioden niet relevant. In het pakket wordt het jaar onderverdeeld in 4 kalenderkwartalen (januari-maart, april-juni, juli-september, oktober-december). Voor ieder kwartaal wordt een

langjarig gemiddelde evenwichtssituatie berekend. Tussen de kwartalen bestaat in principe geen uitwisseling. Alleen voor chloride is een uitzondering gemaakt. Dit is in paragraaf 2.6 nader uitgelegd.

Voor het afwateringsgebied worden een waterbalans en stofbalansen opgesteld. De eerste stap hierin is de bepaling van de mengverhouding van de verschillende bronnen. De berekening van de waterkwaliteit gaat uit van het bereiken van een evenwichtstoestand. Er wordt gerekend met langjarige gemiddelden, in plaats van natte of droge jaren. Voor de evenwichtstoestand, na jaren van consequent beheer en consequente (gemiddelde) belasting, is de beginconcentratie niet van belang. Die kan dan ook niet worden ingevoerd. De evenwichtsconcentratie is onderhevig aan retentie. Die verschilt per kwartaal. In de zomer zijn processnelheden anders dan in de winter. Ook waterplanten komen niet in alle kwartalen in even grote mate voor.

Chloride

Chloride gedraagt zich als conservatieve stof. Er vinden geen processen of retentie plaats, in tegenstelling tot de situatie bij N en P. De concentratie in het oppervlaktewater wordt dus geheel bepaald door de mengverhouding van de verschillende bronnen en de chlorideconcentratie in die waterstromen.

Waarde van de concentraties

Aan de evenwichtsconcentraties die berekend worden, mag overigens geen absolute waarde worden toegekend. Daarvoor zijn zowel de waterbalans als de stoffenbalans niet gedetailleerd genoeg. Bovendien wordt in de geproduceerde modellen geen rekening gehouden met spreiding in waargenomen concentraties binnen een afwateringsgebied. Er wordt een soort gemiddelde verwachte concentratie berekend, zonder rekening te houden met dode hoeken in een watersysteem, of juist heel snel doorstroomde delen. Spreiding in verblijftijd en lokale omstandigheden zal in werkelijkheid kunnen zorgen voor een grote spreiding in waargenomen concentraties, zowel in tijd als in ruimte.

Ook aan de concentraties die in scenarioberekeningen worden bepaald, mag geen absolute waarde worden toegekend. De richting van de verandering (verbetert of verslechtert de waterkwaliteit?) is de belangrijkste uitkomst.

3.5 Gebruiksadvies retentie

De gebruiker kan zelf op grond van gebiedskennis de retentiefactor invullen. Overigens is het altijd verstandig om eerst een run te doen zonder aanpassing van de defaultwaarden van 1. Dan wordt het beste inzicht in de relatieve belastingen in een variant verkregen.

3.6 scenario's

Een belangrijk doel van het Waterlood instrumentarium is het vergelijken van toekomstscenario's. Met het waterkwaliteitsinstrument kunnen twee soorten scenario's worden doorerekend: scenario's ten aanzien van veranderingen in puntbronnen (waterinlaat, doorspoeling) en, belangrijker nog in de Waterloodsystematiek, veranderingen in landgebruik en grondwaterbeheer.

Veranderingen in het landgebruik kunnen via nieuwe kaartlagen worden aangegeven. De gebruiker is er zelf verantwoordelijk voor, dat nieuwe grondgebruiksvormen realistisch zijn.

Het gewenste grondgebruik moet passen bij het bodemtype en het grondwaterpeil. Het onderdeel Doelrealisatie Landbouw van Waternood kan hierbij handig zijn.

Veranderingen in grondwaterbeheer kunnen worden ingevoerd door de kaarten van GLG en GHG te veranderen. Dit moet buiten de module Waterkwaliteit gedaan worden.

Het is bij veranderingen die een invloed hebben op de belasting vanaf de bodem, dus veranderingen in landgebruik, grondwaterregime, diepe kwel, P-voorraad in de bodem en dergelijke, belangrijk om te realiseren dat de metamodellen zijn vervaardigd op basis van de huidige combinaties van parameters die in Nederland voorkomen. Al te grote afwijkingen daarvan (bijvoorbeeld bloembollenteelt in veenpolders) leiden tot grote extrapolaties in de metamodellen. De waarde van de dan berekende uitkomsten kan niet worden gegarandeerd.

In gangbare integrale waterkwantiteits-/waterkwaliteitsmodellen worden vaak scenario's doorgerekend voor verschillende meteorologische jaren. Dit type scenario's kan uitdrukkelijk **niet** worden doorgerekend met de module Waterkwaliteit. Ook is het niet mogelijk om voor opeenvolgende kwartalen scenario's te bedenken. Er worden geen gegevens doorgegeven van het ene kwartaal naar het andere (behalve voor CI).

3.7 Cases

Om de werking van het instrument te toetsen zijn twee cases uitgevoerd. Een case speelt in laag Nederland, het poldergebied Groot Wilnis - Vinkeveen. De andere case, de Linde, speelt weliswaar in Friesland, maar betreft een gestuwde laaglandbeek. Over Groot Wilnis – Vinkeveen zijn bij de waterbeheerder DWR zeer veel meetgegevens en modellen aanwezig. Het systeemgedrag is goed bekend. De Linde is door ARCADIS uitgebreid gemodelleerd in Sobek en in MODFLOW. De uitwisseling tussen grondwater en oppervlaktewater is iteratief / semi-integraal gemodelleerd. In de volgende hoofdstukken worden de cases beschreven.

3.8 Presentatiemethode en interpretatie van resultaten

In de cases is onderzocht hoe de resultaten het best kunnen worden weergegeven. De resultaten uit de module Waterkwaliteit komen beschikbaar in tabelvorm. Een goed overzicht van de resultaten wordt verkregen door de bijdragen (vrachten) van de verschillende bronnen per kwartaal naast elkaar in een staafdiagram te zetten. De bronnen zijn dan: bodem, puntbronnen, neerslag. Eventueel kunnen de puntbronnen nog nader uitgesplitst worden in een spreadsheet. Extra informatie wordt verkregen door in dezelfde tabel ook retentie mee te nemen. Dit kan worden opgenomen als negatieve vracht. Hierdoor wordt de bijdrage van processen in het gebied duidelijk.

In dezelfde grafiek kan ook een lijngrafiek worden opgenomen met de evenwichtsconcentratie (na aftrek van retentie). De evenwichtsconcentratie kan worden vergeleken met gemeten concentraties. Daarbij is het zeer belangrijk te onderkennen dat de evenwichtsconcentratie een globale toekomstige concentratie is, na uitvoering van het nieuwe mestbeleid. Het is nuttig ook de basisconcentratie (voor aftrek van retentie) met gemeten waarden te vergelijken. Beide vergelijkingen geven een eerste beeld over de orde van grootte van de uitkomsten van Waternood.

De vergelijking van concentraties (en vrachten) van verschillende scenario's is het meest interessant. Daaruit kan blijken of maatregelen een positief effect hebben op de waterkwaliteit, of juist een negatief effect.

4 Case Groot Wilnis – Vinkeveen

4.1 Inleiding

In het ontwikkelingstraject van de module Waterkwaliteit zijn twee cases uitgewerkt. De eerste is een case in laag Nederland. Het betreft de polder Groot Wilnis – Vinkeveen. De tweede case betreft een vrij afwaterend gebied, de beek Linde in Friesland. Deze case is een voorbeeld van een toepassing voor hoog Nederland.

Van de polder Groot Wilnis – Vinkeveen zijn veel meetgegevens beschikbaar. Water- en stofbalansen zijn reeds bekend. Deze case is gebruikt om de module Waterkwaliteit vorm te geven en is daarom uitvoerig beschreven in dit hoofdstuk. De case Linde is ter toetsing uitgevoerd. Deze case wordt in het volgende hoofdstuk beschreven.

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt. Eerst volgt een korte gebiedsbeschrijving. Deze eindigt in een probleemstelling waarvoor de Waternoodmodule is toegepast. De getallen die nodig zijn als invoer, worden op rij gezet in een volgende paragraaf. Wat volgt is een validatieparagraaf: hoe verhouden de resultaten van de Waternoodmodule zich tot resultaten die in de gedetailleerde studie zijn verzameld? Daarna worden de effecten van een vernattingsmaatregel besproken, zoals die is doorgerekend met de Waternoodmodule. Apart wordt aandacht besteed aan de uitvoer van fluxen en de uitvoer van concentraties. Tot slot wordt beschreven wat de waarde is van de module, waar de gebruiker voorzichtig moet zijn en wat nog in de toekomst verwacht mag worden. In bijlage 6 zijn GIS-figuren uit de module Waterkwaliteit opgenomen ter illustratie.

4.2 Gebiedsbeschrijving

De polder Groot Wilnis - Vinkeveen (GWV) ligt in het gebied van de Ronde Venen, tussen Amsterdam en Utrecht, in het noordelijk deel van het veenweidegebied van het Groene Hart. De gemeente de Ronde Venen ontleent haar naam aan de ronde vorm van de ontginningsbasis van waaruit het moerasgebied vanaf de Middeleeuwen in cultuur is gebracht. Figuur 4.1 laat de verdeling van hoogtes zien, die de historische ontwikkeling zo mooi toont.



Figuur 4.1 Hoogteligging van de polders in de Ronde Venen (links) met in de gele cirkel de polder Groot Wilnis - Vinkeveen zuid. De gebieden met een oranje kleur hebben een hoogte van rond -2 m NAP; blauw staat voor een hoogte rond -6 m NAP. De blauwe lijn geeft de hoofdboezem weer (hoogte -0.4 m NAP). Rechts is de polder in meer detail afgebeeld. Met groen en oranje zijn twee peilgebieden weergegeven. Het gemaal ligt in het westelijk deel (gele pijl), de hoofdinlaten liggen in het midden en in het oostelijk deel (rode pijlen). De kleine rode pijlen staan voor kleine inlaten die hoogwatergebiedjes rond bebouwing voeden.

In het gebied lag ooit een hoogveenlens. Deze is vanaf de zeventiende eeuw tot aan het begin van de twintigste eeuw afgegraven. Door de afgraving ontstonden veenplassen, die in de negentiende en twintigste eeuw zijn drooggemalen. De polder waar we het hier over hebben (rechter deel van de figuur) ligt net op de rand van het nog niet afgegraven veen.

Door deze ligging is er een gradiënt in kwel/wegzijging. In het oosten is er net een lichte kwel van enkele tiende millimeters per dag. In het westen is er aan de noordrand een wegzijging van 1 mm per dag. De polder heeft op enkele hectares na een volledig agrarische functie en is in gebruik als weide.

In het westelijk deel van de polder is een ontwikkeling van nieuwe natuur voorzien. Inmiddels is ongeveer de helft verworven van het geheel dat ten westen van de Heinoomsvaart ligt (roze lijn in de figuur, deel van een ander watersysteem).

Op dit moment worden plannen gemaakt voor de inrichting van een aaneengesloten stuk van 145 ha. De natuurdoelen richten zich op open grasland; in eerste instantie weidevogels, met name kemphanen, die een droogval nodig hebben in april/mei; in tweede instantie nat schraalgrasland, waarvoor verschraling nodig is.

Vanwege de plannen in het gebied is DWR (uitvoerend orgaan van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht) al geruime tijd bezig met het monitoren van de waterhuishouding en de waterkwaliteit in het gebied. Hierdoor en door de natuurontwikkeling, leent de polder zich voor het uittesten van de Waternoodmodule Waterkwaliteit. Daarbij moet opgemerkt dat het gebied nog niet vernat is en dat er dus geen gegevens zijn over de ontwikkeling van de waterkwaliteit als gevolg van vernatting.

De verwachting van de toepassing van de module was als volgt. Het verkrijgen van inzicht in de nutriëntfluxen van de percelen (de bodem) naar de sloten, inzicht in hoe deze fluxen veranderen door de voorgestelde vernatting en inzicht in wat de mate van invloed is, die vernatting heeft op de nutriëntconcentraties in de polder. Omdat de polder een wegzijgingsgebied is en de aanpak voor chloride zich met name richt op de invloed van kwel, blijft chloride hier verder buiten beschouwing.

4.3 Invoer module

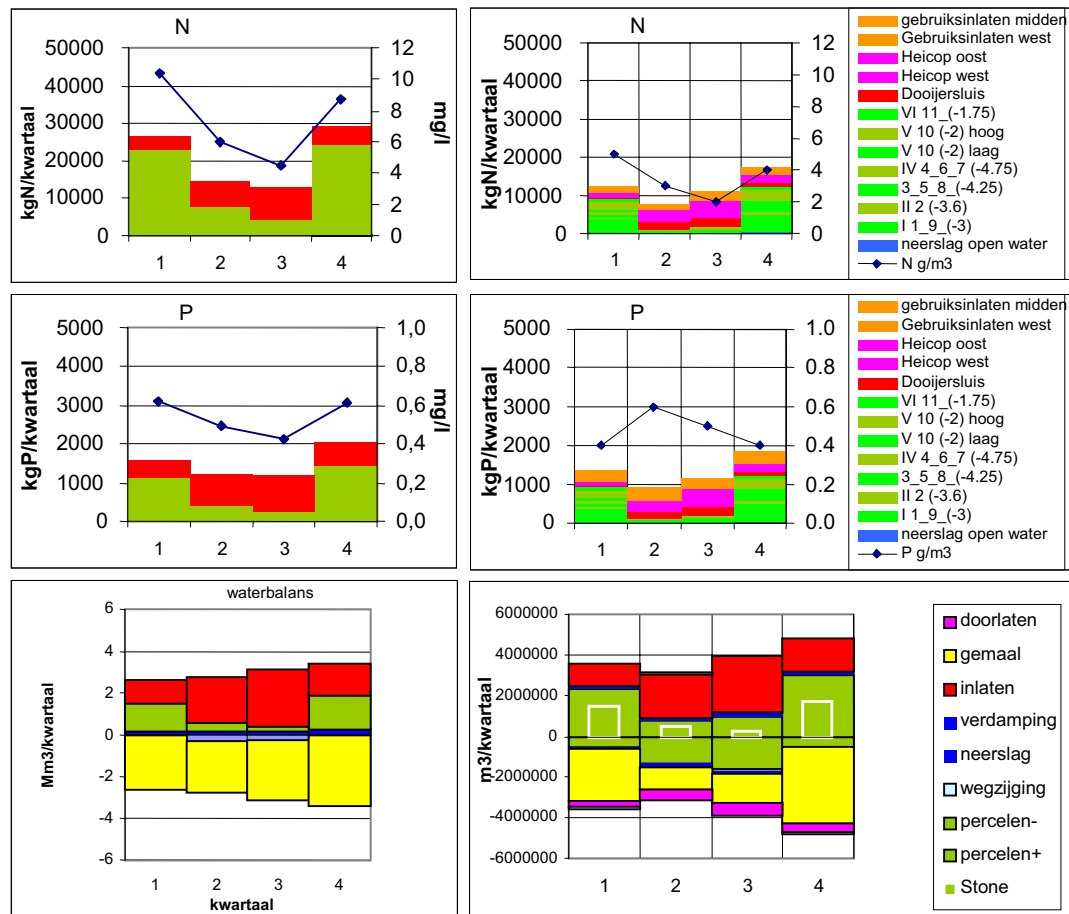
De invoergegevens die de module behoeft zijn weergegeven in tabel 4.1. De invoer is te verdelen in het deel dat nodig is om de nutriëntfluxen te bepalen en het deel dat nodig is om zicht te krijgen op andere fluxen, waarmee de bodemwaterfluxen kunnen worden vergeleken.

Tabel 4.1 Invoergegevens voor de toepassing van Waterlood-Waterkwaliteit op de polder Groot Wilnis - Vinkeveen.

scenario: actueel					vernatting
onderwerp	kwartaal 1	kwartaal 2	kwartaal 3	kwartaal 4	
oppervlak (ha)	1428				
hoeveelheid inlaat					
Mm ³ /kwartaal	1,1	2,2	2,7	1,6	
inlaatconcentratie					
mgN/l	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5	
mgP/l	0,3 - 1				
hoeveelheid neerslag					
mm/kwartaal	173	166,7	200,1	230,8	
verdamping	62,7	302,1	279,1	38,8	
neerslagconcentratie					
mgN/l	0,9	0,9	0,9	0,9	
mgP/l	0,006	0,006	0,006	0,006	
GLG (m-maaiveld)	0,95				0,20
GHG (m-maaiveld)	0,20				0,05
kwel (mm/dag)	0.1 tot -1				
grondgebruik	grasland	grasland	grasland	grasland	
bodemeenheid	veen (3)	veen (3)	veen (3)	veen (3)	
retentie P (-)	0.5				
retentie N (-)	0.5				

4.4 Resultaten en vergelijking met gedetailleerde studie

Figuur 4.2 toont de resultaten van de Waterloodmodule naast die van een gedetailleerde studie. De inlaathoeveelheden in de waterbalans zijn gelijk. Voor Waterlood is gebruik gemaakt van de detailgegevens uit de rechter waterbalans. Met de term 'doorlaten' in de rechter waterbalans worden doorgelaten hoeveelheden water naar andere polders bedoeld.



Figuur 4. 2 Resultaten Waterlood (links) en resultaten detailstudie (rechts), voor N (boven), P (midden) en water (onder).

De volgende constatering zijn te maken:

- In Waterlood worden in de waterbalans de uitgaande termen samengenomen. Dit zit besloten in de methode; het metamodel bevat geen informatie over bruto infiltratie van water van sloten in de bodem. Dit staat vergelijking van de belastingsfluxen niet in de weg.
- De hoeveelheid water die uit de percelen komt is in Waterlood kleiner dan in de detailstudie. Dit is extra verduidelijkt door in de grafiek van de detailstudie in wit het Waterlooddebiet op te nemen. Belangrijke oorzaak hiervan is dat de STONE-berekeningen waarop Waterlood gebaseerd is, zijn uitgevoerd voor de periode 1971 – 1985. De detailberekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 1993 – 1998, een extreem natte periode. Met name de jaren zeventig worden gekenmerkt door relatief droge winters.
- De fluxen van fosfaat uit Waterlood zijn zeer vergelijkbaar met de in detail berekende fluxen. Gezien de verschillen in debieten betekent dit wel dat de (winter-)concentraties in Waterlood aan de hoge kant zijn.

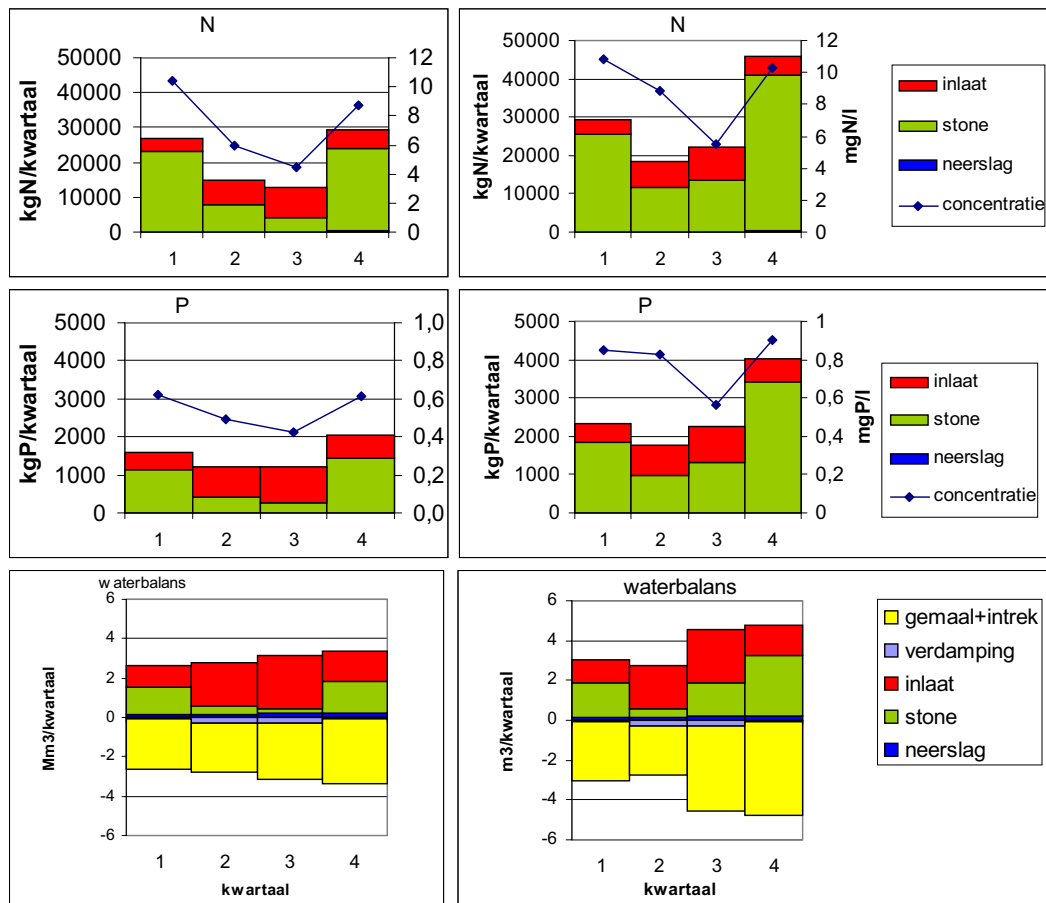
- De P-concentraties die Waternood berekent, zijn van dezelfde orde van grootte als de gemeten concentraties. De verdeling over het jaar is afwijkend. Er is gerekend met een constante retentie van 0.5. In werkelijkheid speelt de bodem een belangrijke rol. In de winter wordt afspoelend fosfaat vastgelegd, naar de zomer toe levert de bodem na. In de module Waterkwaliteit kan de retentie seizoensafhankelijk worden ingesteld. Een betere afstemming op de werkelijkheid is dus mogelijk.
- De stikstofvrachten vanuit de percelen zijn circa tweemaal zo hoog als de veronderstelde stikstofvrachten in de detailstudie. Deze zijn afgeleid uit de concentraties in uiteinden van sloten tijdens natte perioden in het winterhalfjaar. De verwijdering van stikstof door bacteriële processen is dan relatief laag. De gevonden concentratie komt overeen met bevindingen van Rob Hendriks van Alterra, die uitgebreid onderzoek heeft gedaan in het veengebied van Bergambacht (mondelijke communicatie). De STONE-vrachten van stikstof lijken hoog uit te vallen. Deze overschatting is bekend uit STONE. In STONE-kringen is gesproken over de noodzaak tot een gebiedsgerichte toepassing. Nu is Nutricalc (de metamodellen) nog gebaseerd op de STONE studie op landelijke schaal. In de toekomst zal Waternood kunnen meeliften met ontwikkelingen die wellicht nog plaatsvinden. Belangrijk is om de absolute waarden voor concentraties met een korrel zout te nemen. Toepassing zal zich met name kunnen richten op de verandering van fluxen en concentraties bij verandering van het grond- en oppervlakte-waterregime of het landgebruik.

4.5 Beoordeling effecten maatregel

Bij de beoordeling van de effecten van de maatregel 'vernatten' is onderscheid te maken tussen fluxen en concentraties.

4.5.1 Fluxen

Figuur 4.3 geeft de resultaten van de fluxen weer in een diagram. De actuele situatie staat links, het vernattingsscenario rechts.



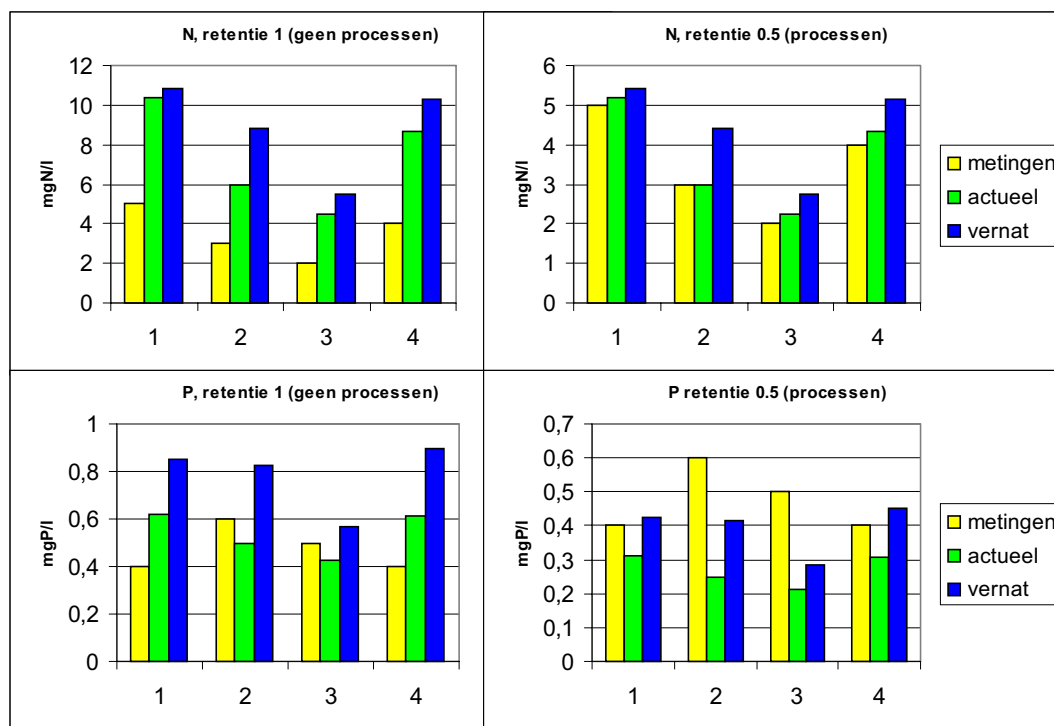
Figuur 4.3 Met de waterkwaliteitsmodule berekende resultaten van de actuele situatie (links) en een vernattingscenario (rechts). De weergegeven concentraties zijn het effect van alle fluxen en zijn dus geen perceelsconcentraties

De vergelijking van de twee rekengevallen laat het volgende zien:

- De debieten vanuit de percelen worden door de vernatting ruim groter. Dit wordt veroorzaakt door de geringere berging in de bodem. Een belangrijke factor in dezen is dat is aangenomen dat de kwel/wegzijing niet verandert. In werkelijkheid zal dit wel zo zijn. De wegzijing zal toenemen, waardoor minder water van de percelen komt. Overigens zal het effect in deze polder niet heel groot zijn omdat de weerstand van het veenpakket voor wegzijing enkele duizenden dagen is.
- De P- en N-fluxen nemen navenant toe met het debiet, voor P zelfs in versterkte mate omdat de perceelsconcentratie ook toeneemt. Belangrijk is om duidelijk te weten dat de weergegeven concentratie het effect is van alle fluxen; het is dus geen perceelsconcentratie. Het is principieel onmogelijk om perceelsconcentraties uit vrachten en debieten terug te rekenen. In het metamodel zijn beide onafhankelijk van elkaar gefit. Delen van de twee groot-heden leidt tot artefacten met name in het zomerhalfjaar, wanneer de waterstroom van de bodem naar het oppervlaktewater klein is.

4.5.2 Concentraties

De concentraties die het gevolg zijn van alle fluxen (percelen, inlaat van water, neerslag, uitstroming naar het gemaal en de intrek van water in de percelen) wordt berekend. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Berekende concentraties voor N (boven) en P (onder), voor de actuele situatie (middelste, groene staaf, uit Waterlood), de vernatting (rechter, blauwe staaf, uit Waterlood) en een representatieve meetwaarde (linker, gele staaf, uit de detailstudie), bij een aanname retentie 1, geen processen (links) en een aanname van gemiddelde processen, retentie 0.5 (rechts).

Uitgangspunt bij de berekening is een stationaire situatie, dat wil zeggen dat de concentratie wordt berekend, die zou optreden als de situatie in het betreffende kwartaal eeuwig duurt. Daarbij zijn de fluxtermen dan homogeen verdeeld, dus gelijktijdig de gemiddelde verdamping en de gemiddelde neerslag, gelijkmatig verdeeld over het kwartaal.

Deze concentraties zijn uiterst kunstmatig en mogen alleen wat betreft orde van grootte vergeleken worden met gemeten waarden.

De resultaten kunnen als volgt worden geïnterpreteerd:

- Stikstofconcentraties worden hoger door verdrassing. Verwacht mag worden dat de concentraties in de percelen lager worden als gevolg van een grotere denitrificatie. De toename van het debiet is evenwel dominant. De verblijftijd wordt korter. Het perceelwater wordt belangrijker bij gelijkblijvende neerslag en inlaat.
- Voor stikstof worden retenties genoemd van 0.5 (persoonlijke communicatie Oscar Schoumans van Alterra). Deze brengen de berekende concentraties in de actuele situatie in goede overeenstemming met de gemiddelde metingen (figuur rechtsboven)

- Fosfaatconcentraties worden ruim hoger door vernatting. Het grotere aandeel perceelswater in de sloot is hier de oorzaak van. De (verwachte) verhoging van de perceelsconcentratie draagt hier verder aan bij; bij vernatting wordt een verminderde ijzeradsorptie verondersteld.
- Een vaste retentie van 0.5 is in deze situatie voor fosfaat niet geschikt. Duidelijk zijn de hoge gemeten concentraties in het zomerhalfjaar, verondersteld als gevolg van bodemnalevering. Dan is een retentiefactor groter dan 1 nodig.

Als geheel kan geconcludeerd worden dat vernatting de slootconcentraties zal doen stijgen. Reden om voorzichtig te zijn met een vernattingsmaatregel als nagestreefde natuurdoelen aquatisch van aard zijn. In het bewuste gebied zijn de natuurdoelen met name terrestrisch (weidevogels, op termijn schraalgrasland). Het is goed om zich er rekenschap van te geven dat er aanvankelijk een tendens zal zijn voor voedselrijkere condities en dat daarop met terreinbeheer (maaïen, afvoeren) zal moeten worden ingespeeld.

4.6 Conclusies

De conclusies uit deze case zijn onder te verdelen in twee categorieën: conclusies ten aanzien van de module Waterkwaliteit en de metamodellen en conclusies voor de waterbeheerder in de polder Groot Wilnis – Vinkeveen.

Ten aanzien van de module Waterkwaliteit kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De module ontsluit kennis over afspoeling van nutriënten naar sloten. Deze kennis zelf is in opbouw. Het kennisniveau van STONE 2.1 is uitgangspunt. Te verwachten is dat STONE en de metamodellen zich verder ontwikkelen en dat de Waternoodmodule, en daarmee de waterbeheerder, hiervan zal kunnen profiteren.
- Met name de stikstofvrachten uit STONE en de metamodellen lijken hoger dan reëel in veengebieden.
- De verandering van de vrachten vanaf de bodem is goed inzichtelijk te maken met de module Waterkwaliteit.
- De vergelijking van de bodemvracht met andere vrachten is eveneens mogelijk. Hiervoor is het wel nodig dat de gebruiker het beschouwde watersysteem goed kent, met name in getalsmatige zin.
- Als een Waternoodgebruiker geheel Waternood doorloopt om het effect van veranderingen ten aanzien van het grond- en oppervlaktewaterregime door te rekenen, zal de module Waterkwaliteit snel een eenvoudig duidelijk maken of de belasting vanaf de bodem toeneemt.
- Dit levert pas inzicht op in het effect op de waterkwaliteit als de verandering ook geplaast kan worden in het gehele kader van het watersysteem. Bijvoorbeeld om vast te stellen of de belasting vanaf de bodem extreem hoog is ten opzichte van andere bronnen.
- Het schaalniveau waarop de module Waterkwaliteit het grootste nut heeft is eerder dat van 'bodemtype' dan dat van vierkante meters.
- De jaargangen van STONE zijn relatief droog, zeker in verhouding tot de jaren '90 van de twintigste eeuw. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de vergelijking van gemeten waarden met de uitkomsten uit de module Waterkwaliteit.
- De retentiefactor is sterk bepalend voor de berekende concentraties. Lopend onderzoek moet nauw gevolgd worden, om in de toekomst betere gebruiksadviezen te kunnen geven. Voor waterbeheerders is het belangrijk om op basis van meetgegevens een retentiefactor in te schatten.

Voor de waterbeheerder in deze polder heeft de toepassing de volgende zaken concreet opgeleverd:

- De door Waterlood berekende trofiegraad van de sloten komt overeen met wat men verwachten kan van een polder in het veenweidegebied.
- Het is de beheerders bekend dat de polder sterk doorstroomd is. Zou de doorstroming worden gereduceerd, dan leidt dat mogelijk tot een verhoging van de nutriëntconcentraties. Een uitzondering hierop vormt het westelijk deel, waar de natuurontwikkeling wordt voorzien. Daar zijn de concentraties in het inlaatwater dermate hoog dat de waterkwaliteit in de huidige situatie ongunstig wordt beïnvloed. De doorspoeling zal moeten worden verminderd. Verwacht wordt dat langdurig een verschralend beheer zal moeten worden gevoerd om te voldoen aan de randvoorwaarden van schraalgrasland.
- Vooraf was de verwachting bij een aantal beheerders, dat de stikstofconcentraties in de sloten zouden afnemen, door een toename van denitrificatie in de bodem. Het gebruik van de module Waterkwaliteit heeft het inzicht geleverd dat naast de toename van denitrificatie ook de toename van de afvoer vanaf de bodem een belangrijke rol speelt. Het cumulatieve effect is een netto toename van de stikstofconcentratie in het oppervlaktewater. Het omgekeerde effect wordt bereikt! Deze uitkomst wordt bevestigd door ervaringen van Alterra.

5 Case Linde

5.1 Gebiedsbeschrijving

De Linde is een laaglandbeek in Friesland. De voeding van de beek is complex. Naast directe neerslag op open water wordt de beek van water voorzien door 3 natuurlijke bronnen: horizontale runoff, ondiepe aanvoer via het freatisch grondwater en diepere kwel. Het gebied wordt gekenmerkt door een onderbroken ondiepe waterscheidende laag, in de vorm van een groot aantal slecht doorlaatbare lenzen. Dit maakt de grondwaterstroming in het gebied complex.

Op de beek wordt geloosd door riooloverstorten en ongezuiverde lozingen. Het Waterschap Sevenwolden bekijkt in een integraal project samen met het Wetterskip Fryslân en andere betrokken partijen de kansen voor beekherstel. ARCADIS voert het technisch onderzoek uit. Voor de modellering van het watersysteem is gebruik gemaakt van de pakketten Sobek en MODFLOW.

In bijlage 7 zijn enkele figuren van het modelgebied opgenomen uit de module Waterkwaliteit.

5.2 Toepassing in Waternood

In Waternood is gebruik gemaakt van de vele digitale kaarten die in het kader van het bovengenoemd project reeds vervaardigd zijn. Vrijwel alle informatie die benodigd is in de module Waterkwaliteit was reeds voorhanden. Dit geldt zelfs voor GLG en GHG kaarten, voor zowel de huidige situatie als voor de voorkeursvariant. Hierdoor is dit een zeer realistische case.

In de voorkeursvariant worden de GHG en de GLG aangepast en wordt op een aantal plaatsen natuur gemaakt, in het kader van de Ecologische HoofdStructuur (EHS). De aanpassing van de GHG en GLG is marginaal. In de bovenstroomse delen ligt de GLG in het basisscenario ca. 7,5 m onder maaiveld. In de optimale variant wordt dit 0,5 m verhoogd naar 7,0 m onder maaiveld. In de huidige situatie overheerst de landbouw. In deze case is ervoor gekozen om de verandering naar natuur niet als kleine stukjes per afwateringseenheid in te voeren, maar het totale areaal aan te ontwikkelen natuur in een tweetal afwateringseenheden te concentreren. Dit vanwege onze aanbeveling om de deelgebieden (afwateringseenheden) binnen het totale gebied zoveel mogelijk homogene kenmerken te geven. Het is echter ook goed mogelijk om per cel van 250 m bij 250 m het landgebruik te veranderen. Na sommatie /aggregatie worden alle bronnen uiteindelijk toch in één waterbakje samengevoegd, om tot een concentratie te komen.

5.3 Invoer module Waterkwaliteit

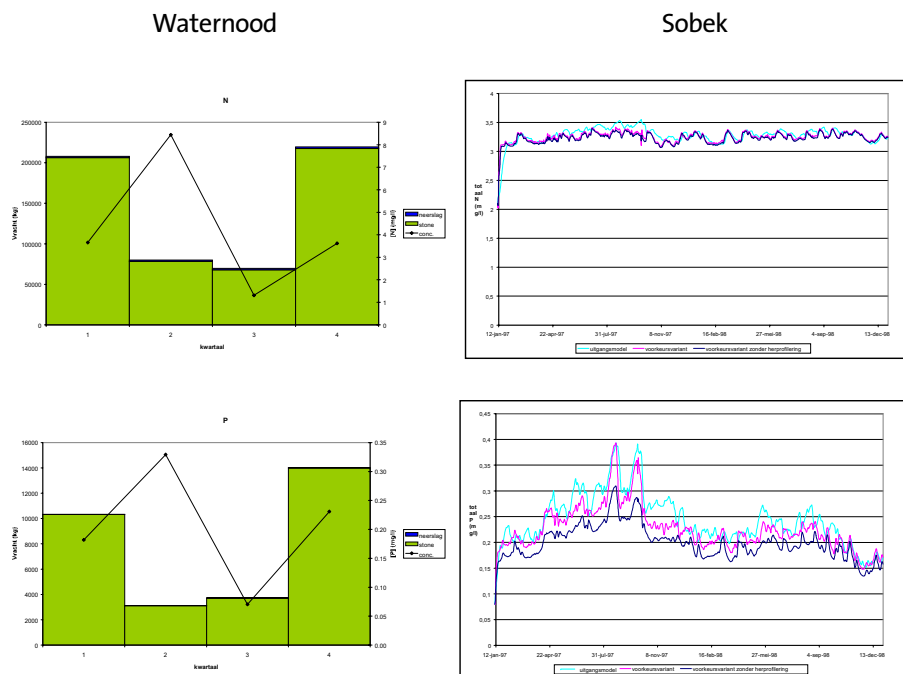
De invoergegevens voor de module zijn weergegeven in Tabel 5.1.

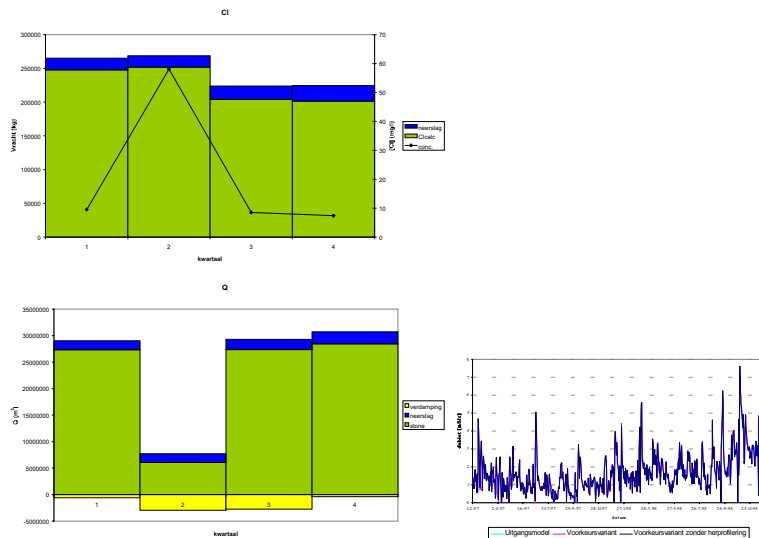
Tabel 5.1: invoergegevens voor de toepassing van Waternood-Waterkwaliteit op het stroomgebied van de Linde.

Onderwerp	Eenheid	Basisscenario				Voorkeursvariant
		Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4	
Oppervlak	ha	13.979				
Neerslag	mm/kwartaal	173	166,7	200,1	230,8	
Verdamping	mm/kwartaal	62,7	302,1	279,1	38,8	
Concentraties in neerslag	mg N/l	0,9	0,9	0,9	0,9	
	mg P/l	0,006	0,006	0,006	0,006	
GLG	m + NAP	-2,7 tot +10,3				-2,7 tot +10,6
GHG	m + NAP	-2,4 tot +10,5				-2,4 tot +10,8
Diepe kwel	mm/dag	0,5 tot -0,7				
Grondgebruik	(-)	Grasland				Grasland/natuur
Bodemeenheid	(-)	Laagveen/zand				
Retentie P	(-)	1 (geen retentie)				
Retentie N	(-)	1 (geen retentie)				

5.4 Resultaten en vergelijking met modeluitkomsten Sobek

In onderstaande figuur staan de resultaten van de Waternoodmodule voor het basisscenario voor stikstof (N), fosfor (P), chloride (Cl) en de waterbalans. Deze zijn vergeleken met de uitkomsten van het model in Sobek en Modflow voor het meest benedenstroomse deel van de Linde bij Rijksweg 32. Het is belangrijk om bij de vergelijking tussen beide uitkomsten in de gaten te houden dat de Waternood resultaten 1 jaar beslaan en de grafieken uit Sobek 2 jaar. In Sobek is chloride niet meegenomen, vandaar dat hier geen vergelijking mogelijk is.





Het blijkt uitermate eenvoudig om snel een scenario op te stellen en door te rekenen. Ook het verwerken en inzichtelijk maken van de resultaten in een spreadsheet is eenvoudig. De uitkomsten wijken op sommige punten af van de gedetailleerde modeluitkomsten. De orde van grootte komt echter goed overeen.

Een vergelijking van de debieten levert het volgende resultaat: het gemiddelde debiet uit de Sobek berekeningen is ca. 1,7 m³/s. Dit is een hoeveelheid water op jaarbasis van 54 miljoen m³. De netto afvoer+intrek op jaarbasis uit Waternood is 90 miljoen m³. Een deel van deze afwijking kan verklaard worden door het niet meenemen van wegzijging in de Linde zelf in de Waternood module. Met name bovenstrooms, waar de grondwaterstand op ca. 7,5 m beneden maaiveld ligt en de bodem uit zand bestaat zal infiltratie optreden, waardoor de afvoer van de Linde afneemt.

In het eerste en vierde kwartaal komen de stikstofconcentraties uit beide modellen redelijk overeen (3,6 mg N/l voor Waternood en 3,3 mg N/l voor Sobek). In kwartaal 2 en 3 lopen de concentraties uiteen. In Sobek blijven de concentraties schommelen rond 3,3 mg N/l, terwijl Waternood concentraties van 8,4 en 1,3 mg N/l laat zien. Dit grote verschil in concentraties tussen kwartaal 2 en 3 in de Waternoodresultaten vraagt nadere bestudering. Geringe afvoer in kwartaal 2 speelt hierbij een grote rol. Het ontbreken van retentie en eventuele verschillen daarin tussen de kwartalen kan verder bijdragen aan het verschil. Ook is het belangrijk te beseffen dat de berekeningen voor de 4 kwartalen steeds volstrekt los staan van elkaar. Er is geen beïnvloeding tussen de kwartalen. Daarom zou eigenlijk niet eens een lijn mogen worden getrokken tussen de berekende waarden voor de concentraties. De lage concentratie in het derde kwartaal wordt veroorzaakt door de sterk toegenomen afvoer van bodemwater (STONE) in die periode, bij ongeveer gelijkblijvende stikstofvracht. Een nadere analyse van de afvoer in het derde kwartaal is zinvol. Dit was helaas niet mogelijk binnen deze casestudie. De lage concentratie kan ook deels worden verklaard uit het feit dat in Waternood geen puntbronnen zijn opgenomen. In de Sobekstudie zijn riooloverstorten en andere lozingen opgenomen.

Hetzelfde geldt in grote lijnen voor de fosfaatconcentratie. De grafieken lijken op het eerste gezicht redelijk overeen te komen, maar omdat de Sobek grafiek 2 jaar beslaat en de Waternoodgrafiek 1 jaar is dit niet het geval. Voor totaal P worden in Waternood voor het basis-

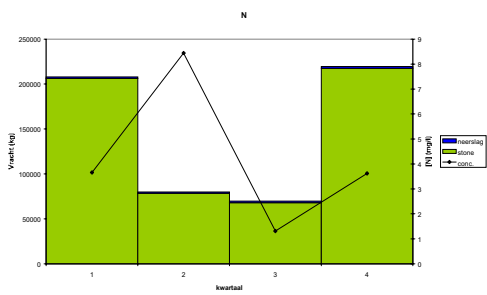
scenario en voor de voorkeursvariant gehalten tussen de 0,15 en de 0,40 gevonden, waarbij het derde kwartaal het hoogst scoort. In de Linde studie zijn twee jaren doorgerekend: 1997 en 1998. De verschillen tussen de jaren zijn significant. De piek in 1997 bedraagt 0,39 mg-P/l voor de basisvariant en 0,31 voor de voorkeursvariant. In 1998 zijn deze getallen respectievelijk 0,27 en 0,22 mg-P/l. In het eerste en vierde kwartaal komen de concentraties redelijk overeen met een concentratie van rond 0,20 mg P/l uit Waternood en ca. 0,22 mg P/l uit Sobek. In het tweede en derde kwartaal blijft de concentratie in het Sobek model gemiddeld rond 0,25 mg P/l, terwijl in Waternood de concentratie in het tweede kwartaal 0,33 mg P/l wordt en in het derde kwartaal 0,07 mg/l. Ook hier spelen de lage afvoer in het tweede kwartaal (wat de berekening van een concentratie gevoeliger maakt) en het ontbreken van retentie een rol, evenals de hoge afvoer in het derde kwartaal en het ontbreken van puntbronnen.

5.5 Beoordeling effect maatregelen

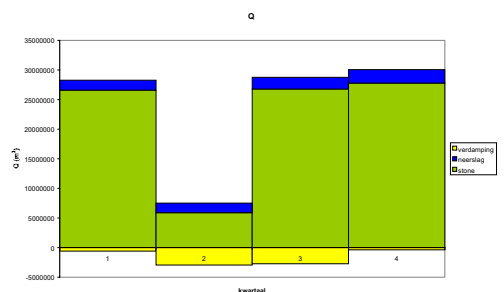
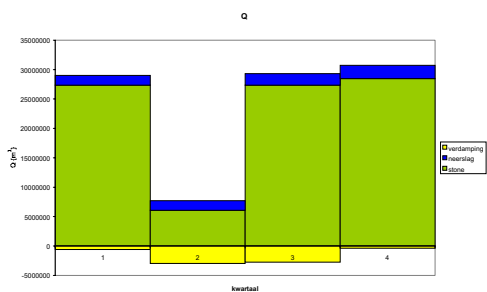
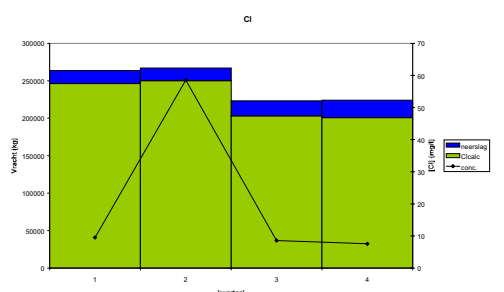
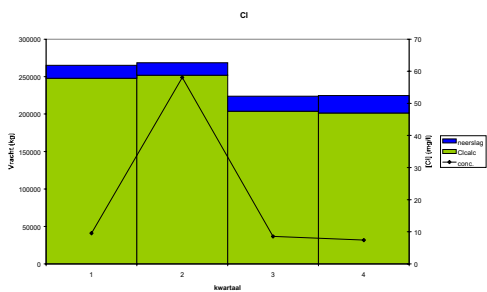
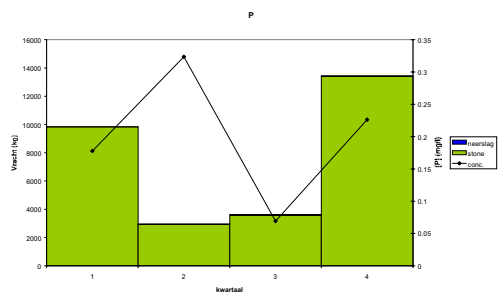
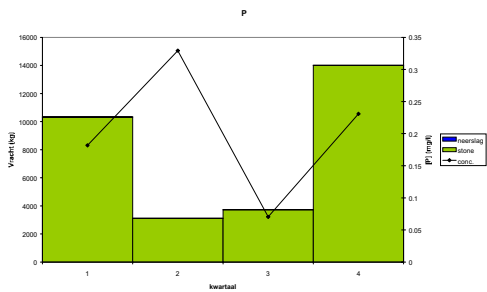
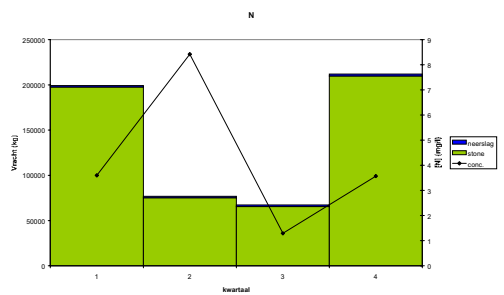
De maatregelen uit de voorkeursvariant zijn ingevoerd in Waternood en doorgerekend. De verschillen kunnen worden vergeleken met de plaatjes uit Sobek, die hierboven zijn opgenomen. Daarin staan ook zowel de actuele situatie als de voorkeursvariant weergegeven.

De onderstaande figuur geeft de resultaten van de effecten van de fluxen weer in een diagram. De actuele situatie staat links, de voorkeursvariant rechts.

Actuele situatie



Voorkeursvariant



De vergelijking van de twee scenario's laat zien dat er nauwelijks verschil is tussen de beide scenario's. De hydrologie verandert bijna niet. De aanpassingen van GLG en GHG zijn dan ook marginaal. Ook de concentraties blijven nagenoeg gelijk. Het effect van de voorgestelde maatregelen op de waterkwaliteit is een geringe verbetering. Dit komt overeen met de resultaten uit Sobek.

5.6 Conclusies

De toepassing van de module Waterkwaliteit voor de case 'Linde' is een typische Waternood-toepassing. Regionale overheden, waaronder DLG en de waterschappen, hebben plannen gemaakt voor beekherstel en een herinrichting van het omliggende gebied. De waterbeheerders willen weten wat het effect zal zijn op de hydrologie en de waterkwaliteit.

De module Waterkwaliteit blijkt globaal dezelfde resultaten op te leveren als de gedetailleerde Sobek/Modflow berekeningen. De orde van grootte van de berekende concentraties komt overeen. In Waternood blijken relatief grote verschillen op te treden tussen de kwartalen. Dit vraagt van de gebruiker een analyse van de waterbalans en de stofbalansen. Modelresultaten uit detailstudies kunnen hierbij helpen, als er niet voldoende meetwaarden aanwezig zijn. Het is belangrijk te beseffen dat de opeenvolgende kwartalen in Waternood elkaar niet onderling beïnvloeden. Het veranderen van de default retentiefactoren kan aanmerkelijk bijdragen aan een betere overeenstemming met de gemeten of gemodelleerde waarden. Het grillige verloop van de concentraties uit de module Waterkwaliteit kan daarmee worden afgezwakt.

Het blijkt zeer eenvoudig om scenario's door te rekenen. De aanpassingen die nodig zijn in de module Waterkwaliteit, om voorgenomen veranderingen in landgebruik of waterbeheer door te voeren, kunnen snel worden ingevoerd.

De uitkomsten van de scenarioberekening laat zien dat het effect van de voorgenomen maatregelen gering is. Bovendien treedt een lichte verbetering op van de waterkwaliteit. Dit geeft de beheerders van het gebied het signaal dat de voorgenomen maatregelen geen bezwaar vormen voor de waterkwaliteit.

In deze case is Clcalc toegepast om de stofbalans en de evenwichtsconcentraties voor chloride te berekenen. Deze functionaliteit blijkt goed te werken. In het Sobekmodel werd chloride niet gemodelleerd. Het is dan ook niet mogelijk geweest om de berekende concentraties te vergelijken met gemeten waarden of andere modeluitkomsten. Die toetsing moet in de praktijk worden uitgevoerd.

6 Conclusies

6.1 Algemeen

De module Waterkwaliteit heeft, als onderdeel van het Waternoodinstrumentarium, een belangrijke bron van kennis ontsloten over de relatie tussen het bodemwater en het landgebruik enerzijds en de oppervlaktewaterkwaliteit anderzijds. De metamodellen die in Nutricalc zijn verwerkt, geven snel toegang tot de resultaten van uitgebreide modelstudies met STONE.

In de module Waterkwaliteit is het mogelijk om snel en eenvoudig scenario's door te rekenen met betrekking tot veranderingen in inlaatregime en puntbronnen en met betrekking tot veranderingen in grondgebruik en GLG/ GHG. Het effect van dergelijke verandering op de waterkwaliteit in het oppervlaktewater wordt snel inzichtelijk gemaakt.

De retentiefactor heeft een enorme invloed op de uitkomsten. Dit is niet verwonderlijk, omdat in deze factor alle processen samenkomen, die zich binnen een kwartaal afspelen in het hele afwateringsgebied. De gebruiker moet daarom voldoende aandacht geven aan de grootte van de factor in ieder kwartaal.

In de navolgende paragrafen wordt puntsgewijs een aantal conclusies beschreven over de mogelijkheden en onmogelijkheden van de module Waterkwaliteit, over de verschillen met gewone waterkwaliteitsmodellen, over retentiefactoren en over de invloed van verschillen tussen hoog en laag Nederland bij het toepassen van de module Waterkwaliteit.

6.2 Mogelijkheden en onmogelijkheden

Bij opgelegde veranderingen ten aanzien van landgebruik en waterbeheer moet altijd rekening worden gehouden met de beperkingen in zowel de tijd als de ruimte. Ook moet worden stilgestaan bij de mogelijkheid dat er een afhankelijkheid kan bestaan tussen de parameters die worden aangepast.

Het is niet mogelijk om natte en droge jaren met elkaar te vergelijken. Toetsen van reacties op extreme situaties kan dus niet. Wel kan middels realistische aanpassing van GLG / GHG worden bekeken wat het effect is van langdurige droogte of vernatting. Bedenk wel dat altijd langjarige evenwichtssituaties worden berekend. Het is op dit moment nog niet mogelijk om Waternood de inlaatbehoefte te laten berekenen.

Waternood is nu nog bedoeld voor landelijk gebied. Grote steden, maar ook grote waterpartijen, worden niet goed beschreven door Waternood. Die gebieden moeten altijd buiten het model gehouden worden. Ze kunnen wel als puntbron worden gedefinieerd.

Watnood is gericht op het beschrijven van effecten. De gebruiker is zelf verantwoordelijk voor het uitvoeren van een cyclisch proces om tot een GGOR te komen. De module Waterkwaliteit werkt niet doelgericht maar gevolggericht (toetsing van effecten in plaats van optimalisering van inrichting en beheer).

Het toetsen van de effecten van veranderingen in peilbeheer is alleen mogelijk op indirecte wijze, via bijstelling van de inlaathoeveelheden en eventueel via aanpassing van GLG en GHG.

6.3 Afwijkingen ten opzichte van gewone waterkwaliteitsmodellen

In Watnood wordt op globaal schaalniveau gekeken naar het waterbeheer. Gewone waterkwaliteitsmodellen gaan veelal met meer detailniveau gepaard. In de module Waterkwaliteit is dan ook niet geprobeerd een standaard waterkwaliteitsmodel na te bouwen. Het doel van dit onderdeel van Watnood is het toetsen van het globale effect van ingrepen in grondwaterstand en landgebruik op de oppervlaktewaterkwaliteit, zonder te kijken naar individuele watergangen.

Het grootste verschil met gangbare waterkwaliteitsmodellen is, dat in Watnood de bodem centraal staat, niet de waterkolom. In lijn met de Watnoodsystematiek wordt vanuit het landgebruik geredeneerd.

Een tweede belangrijk verschil is, dat Watnood rekent met langjarige gemiddelden in plaats van met ingevoerde meetgegevens of extreme voorspellingen.

Ook de rekenperiode verschilt. In Watnood wordt gewerkt met kwartalen, terwijl in gangbare pakketten iedere gewenste tijdstap kan worden gehanteerd.

6.4 Retentie

De retentie van nutriënten in de haarvaten hangt af van een groot aantal factoren. Verblijftijd en de aanwezigheid van vegetatie lijken in belangrijke mate bepalend te zijn.

De ranges die in de literatuur worden genoemd voor retentiefactoren zijn groot en nog onzeker. Op basis van de thans beschikbare kennis lijkt het niet mogelijk te differentiëren naar verschillende verklarende variabelen. Het lopend onderzoek op dit terrein kan op termijn een nadere onderbouwing geven van de retentiefactoren. Wellicht leidt dit tot kleinere ranges, doordat retentiefactoren in de toekomst kunnen worden gerelateerd aan verklarende variabelen.

Vooralsnog moet gebruik worden gemaakt van de bestaande kennis en kan het best worden aangesloten bij factoren die in de praktijk worden gehanteerd. Bij de keuze van geschikte retentiefactoren moet gelet worden op het schaalniveau waarvoor deze zijn afgeleid. De gebruiker kan bij instelling van de retentiefactoren gebruik maken van de debietgegevens uit de module Waterkwaliteit. Deze zijn immers een maat voor de verblijftijd.

Indien de module Waterkwaliteit in de toekomst wordt uitgebreid met een metamodel voor bruto infiltratie en met variabelen ten aanzien van het peilbeheer, dan kan de module Waterkwaliteit de gemiddelde verblijftijd in een afwateringseenheid berekenen. Dan zou de retentiefactor eventueel kunnen worden omgezet in een halfwaardetijd.

6.5 Hoog Nederland en Laag Nederland

In de relaties tussen bodem en waterkwaliteit bestaan verschillen tussen hoog en laag Nederland. De regio's verschillen onderling qua bodemtype en landgebruik. Een ander belangrijk onderscheid is het al dan niet voorkomen van diepe kwel. Diepe kwel blijkt in de meta-modellen een belangrijke verklarende waarde te hebben voor de belasting van het oppervlaktewater. Voor chloride is belasting vanaf de bodem alleen van belang in laag Nederland.

Ook ten aanzien van het waterbeheer zijn verschillen aan te wijzen tussen hoog en laag Nederland, die in Waternood doorwerken. Wateraanvoer is in hoog Nederland niet altijd mogelijk. In laag Nederland is doorgaans een boezemstelsel aanwezig, waarvandaan inlaatwater voor polders kan worden aangevoerd. De reden om water aan te voeren is in hoog Nederland doorgaans het compenseren van verdamping en het bestrijden van verdroging. In laag Nederland wordt daarnaast vaak ingelaten om (enige) doorspoeling te verkrijgen in anders stilstaande watergangen, of voor het verdringen/verdunden van zoute kwel. Er is in beide gevallen sprake van inlaat om waterkwaliteitsredenen. Bij het gebruik van de module Waterkwaliteit kan de gebruiker zelf de inlaathoeveelheden en concentraties invullen. Vooraf moet natuurlijk worden bepaald of dergelijk water (kwantitatief en kwalitatief) beschikbaar is of zal zijn in de toekomst.

7 Aanbevelingen

7.1 Ervaring opdoen

De retentiefactor is een uitermate belangrijke factor in de module Waterkwaliteit. Het verdient aanbeveling om veel onderzoek naar deze factor uit te voeren. Naast de uitgebreide studies die organisaties als RIZA, WUR en ALTERRA doen, is het voor gebruikers belangrijk om zelf met beschikbare monitoringsdata de factor te schatten. Ook kunnen monitoringsnetwerken worden geoptimaliseerd om de retentie beter te kunnen bepalen. Dan ontstaat tevens meer inzicht in de daadwerkelijke afwenteling van een afwateringsgebied. Onze aanbeveling is, om meetgegevens over retentie zoveel mogelijk te delen met anderen. Op dit punt is immers nog veel winst te boeken.

De ontwikkelde module Waterkwaliteit moet uitvoerig in de praktijk worden getoetst. Uit praktijkervaringen komen de beste verbeterpunten naar voren. Ons advies is om die ervaringen vooral te delen. De module Waterkwaliteit is zo opgezet, dat aanpassingen in de rekenwijze relatief eenvoudig kunnen worden doorgevoerd.

7.2 Ontwikkelingen

Ten aanzien van het schaalniveau zijn ontwikkelingen te verwachten. In STONE zijn ontwikkelingen gaande om regionale hydrologie op te nemen. Nieuwe, meer gedetailleerde metamodellen kunnen dan worden opgesteld. De gebruiker zal dan ook de overige invoergegevens met meer detail moeten invoeren.

In de toekomst zouden metamodellen kunnen worden opgesteld om de bruto infiltratie te berekenen. Dan kan, indien waterbakjes per afwateringseenheid worden gemaakt, de watervraag van individuele afwateringseenheden worden bepaald. Scenario's ten aanzien van (flexibel) peilbeheer worden dan interessant. Ook de afvoer (of doorvoer) kan dan worden berekend per afwateringseenheid en voor het hele afwateringsgebied. Dit levert waardevolle schattingen op van de afwenteling op benedenstroomse gebieden. In STONE wordt nu gewerkt met standaard concentraties bij infiltratie. In de ontwikkeling van nieuwe metamodellen moet dit gemak worden afgewogen tegen de mogelijkheid en de wenselijkheid om met de concentratie te werken die door de module Waterkwaliteit zelf wordt berekend.

Een andere mogelijke uitbreiding voor de toekomst is een zogenaamde Nearest Point Analyse. Daarmee kan, op basis van de ingevoerde gebiedskarakteristieken, op de kaart van Nederland worden aangegeven waar gebieden met vergelijkbare karakteristieken voorkomen. Dan kan de gebruiker ten eerste controleren of datgene wat wordt ingevoerd, overeenkomt met de plannen. Bovendien kan de waarde van de berekende concentraties worden getoetst aan gemeten waarden in de vergelijkbare gebieden.

Het zou goed zijn als in de nabije toekomst een waarschuwing aan de gebruiker kan worden gegeven als er te ver moet worden geëxtrapoleerd in de metamodellen. Dit noemen we de zogenaamde witte vlekken in de STONE dataset.

Op dit moment is uitgegaan van het meest waarschijnlijke toekomstscenario ten aanzien van mestgiften. Voor andere toekomstscenario's, zouden aanvullende metamodellen kunnen worden opgesteld. Dan kunnen varianten worden gedraaid ten aanzien van mestgift. Dit kan bijvoorbeeld nuttig zijn voor het vergelijken van het effect van traditionele of van ecologische landbouw.

In de huidige module Waterkwaliteit vindt geen berekening van macro-ionen plaats. Als over de relatie tussen grondsoort, landgebruik en waterbeheer enerzijds en de belasting met macro-ionen anderzijds, vuistregels beschikbaar komen, kan deze kennis ook in de module Waterkwaliteit worden opgenomen.

Literatuurlijst en informatiebronnen

Akkermans, W., 2002. *Metamodel Nutriënten Regionaal*. CBW-notitie WA-2002-julio1.

De Blois, C.J., Leus, F.M.R, Van der Veeren, R., *Integrale analyse van beleid ten aanzien van stofstromen in regionale stroomgebieden. Samenvattend rapport*. RIZA-rapport, in voorbereiding.

De Blois, C.J., Leus, F.M.R, Van der Veeren, R., Burgerhart, N., Peereboom, I., Werkman, W., Stam, G., en Stam, J., *Integrale analyse van beleid ten aanzien van stofstromen in regionale stroomgebieden. Achtergrondrapport I: Ontwikkeling van methodieken en toepassing op drie stroomgebieden van verschillende schaalgrootte*. RIZA-rapport, in voorbereiding.

De Blois, C.J., Leus, F.M.R, Van der Veeren, R., Burgerhart, N., Peereboom, I., Werkman, W., Stam, G., en Stam, J., *Integrale analyse van beleid ten aanzien van stofstromen in regionale stroomgebieden. Achtergrondrapport II: Toepassing en verdere methodiekontwikkeling in het stroomgebied van de Vledder- en Wapserveensche Aa*. RIZA-rapport, in voorbereiding.

Kroeze, et al., 2002. *Uncertainties in the fate of nitrogen I: An overview of sources of uncertainty illustrated with a Dutch case*. In druk. Nutrient Cycling in Agroecosystems.

Kroon, T., P.A. Finke I. Peereboom en A. Beusen. 2001. *Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters*. RIZA-rapport 2001.017. ISBN 9036953715.

Massop H.T.L., T. Kroon, P.J.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. *Hydrologie voor STONE; Schematisatie en parametrisatie*. Wageningen, ALTERRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne. Alterra-rapport 038. Reeks Milieuplanbureau 9.

Mol-Dijkstra, J.P., W. Akkermans, C.W.J. Roest en M.J.W. Jansen, 1999. *Metamodellen voor effecten van N- en P-belasting op de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit*. Technisch Document 61. Staring Centrum, Wageningen.

Portielje, R en Klein, J. de ,2001. *Nutriënten emissie en immissie in stroomgebieden*. RIZA Lelystad, documentnummer 2001.133x.

Projectgroep Waterlood (1998). *Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater*. DLG publicatie g8/2. Dienst Landelijk Gebied en Unie van Waterschappen. Utrecht, Den Haag

Roest, C.W.J en Groenendijk, P. *De weg naar een schone toekomst*. In: Waarheen met het landelijk gebied (Schoute et al eds.) Samson HD Tjeenk Willink (1999)

Geraadpleegde deskundigen ten aanzien van retentie

De Klein – Wageningen Universiteit

Leus - RIZA

Portielje – RIZA

De Blois –RIZA

Jeuken – RIVM

Van Puijenbroek – RIVM

Bijlage 1 Metamodellen

Inleiding

Integraal waterbeheer richt zich op het goed beheren van het watersysteem. Daarbij speelt de waterkwaliteit een grote rol. Het is daarom van belang om de effecten van ingrepen in het waterbeheer op de uit- en afspoeling van nutriënten vanuit de landbouw te kwantificeren. Proces georiënteerde deterministische modellen als SWAP en ANIMO zijn hiervoor bij uitstek geschikt. Deze modellen kunnen echter, om verschillende redenen, niet door waterbeheerders gebruikt worden. Daarom is er behoefte aan vereenvoudigde versies van deze modellen, zogenaamde metamodellen, waarmee met behulp van een beperkt aantal invoervariabelen de gewenste uitvoer wordt voorspeld. In deze notitie wordt verslag gedaan van de zoektocht naar goede metamodellen voor de oppervlaktewaterafvoer en de N- en P-afvoer naar het oppervlaktewater, allen uitgesplitst naar kwartalen.

De in deze notitie beschreven metamodellen zijn gebaseerd op de STONE 2.0 simulaties onder bemestingsscenario D. Voor deze simulaties is Nederland geschematiseerd in 6405 verschillende plots. Voor elke plot is eerst een initialisatie uitgevoerd, waarna de deterministische modellen zijn gedraaid over de periode 1993-2038. Voor alle invoer- en uitvoervariabelen zijn vervolgens de resultaten over de laatste 15 jaar (2024-2038) gemiddeld. Voor de hier relevante uitvoervariabelen is een gemiddelde per kwartaal beschikbaar, terwijl voor de invoervariabelen geldt dat sommige op kwartaalbasis en andere op jaarbasis beschikbaar zijn. De metamodellen zijn opgesteld voor de zo verkregen langjarige gemiddelden voor de 6405 plots. Er zijn metamodellen afgeleid voor de volgende uitvoervariabelen:

- a. Owafv de oppervlaktewaterafvoer op kwartaalbasis (mm/kwartaal);
- b. Noppde N-afvoer naar het oppervlaktewater op kwartaalbasis (kg/ha/kwartaal);
- c. Popp de P-afvoer naar het oppervlaktewater op kwartaalbasis (kg/ha/kwartaal).

Daarbij is gebruikt gemaakt van de volgende invoervariabelen:

1. GLG gemiddeld laagste grondwaterstand op jaarbasis als absoluut getal (m);
2. GHG gemiddeld hoogste grondwaterstand op jaarbasis als absoluut getal (m);
3. Gewas Landgebruik op jaarbasis (1=mais, 2=akkerbouw, 3=natuur, 4=gras);
4. Bodem 21 verschillende bodemtypen op jaarbasis;
5. Kwel13 Kwel op 13 meter op kwartaalbasis (mm/kwartaal);
6. Wegz13 Wegzijging op 13 meter op kwartaalbasis (mm/kwartaal);
7. Somkwel Gedefinieerd als Kwel13 - Wegz12 op kwartaalbasis (mm/kwartaal);
8. Nckwel13 N-concentratie in de kwel op 13 meter op kwartaalbasis (mg/l);
9. Pckwel13 P-concentratie in de kwel op 13 meter op kwartaalbasis (mg/l);
10. SomP Som P o - 1 meter op jaarbasis (kg/ha/jr).

De hier gebruikte simulatiegegevens vormen een deelverzameling van de gegevens waarop reeds eerder door Wies Akkermans metamodellen zijn afgeleid. Zij beschouwde gegevens onder de drie bemestingsscenario's D, E, F, waarbij scenario's E en F staan voor respectievelijk een verlaging en een verhoging van de bemesting ten opzichte van scenario D. Hiervan is reeds eerder in concept verslag gedaan, zie Notitie WA-2002-aproz d.d. 08-04-2002. De hier gebruikte gegevens zijn door Wies Akkermans aangeleverd.

Overwegingen voor het opstellen van de metamodellen

In Bijlage A zijn histogrammen opgenomen van de uitvoervariabelen. De histogrammen voor Nopp en Popp hebben slechts betrekking op die afvoeren met Owafv > 0. De weergegeven klassengrenzen zijn maxima; in het histogram voor Owafv 1^e kwartaal representeert de eerste staaf het aantal waarnemingen kleiner dan 25, de tweede het aantal waarnemingen tussen 25 en 50, etc. Alle uitvoervariabelen zijn scheef naar rechts. Tevens zijn in onderstaande tabel de uitvoervariabelen per kwartaal samengevat in enkele beschrijvende kenmerken. Hierin is Ndata het aantal waarnemingen en Q1 en Q3 zijn respectievelijk het eerste en derde kwartiel, dat wil zeggen de waarden waaronder 25 respectievelijk 75 procent van de waarnemingen liggen.

Uitvoer	Ndata	Mean	StandAfw	Minimum	Q1	Mediaan	Q3	Maximum
Owafv - 1	6405	115.06	90.71	0.00	34.51	114.17	164.49	476.19
Owafv - 2	6405	58.98	67.06	0.00	8.92	35.15	87.18	446.45
Owafv - 3	6405	26.86	38.90	0.00	0.86	12.08	37.97	360.49
Owafv - 4	6405	102.27	92.85	0.00	12.85	88.98	167.71	475.11
Nopp - 1	6404	9.60	8.88	0.00	3.24	7.75	13.04	84.98
Nopp - 2	6355	5.07	6.68	0.00	0.91	2.84	6.55	76.35
Nopp - 3	5847	2.38	4.17	0.00	0.17	1.01	2.82	57.85
Nopp - 4	5745	9.01	9.59	0.00	2.54	6.63	11.90	90.51
Popp - 1	6404	0.68	1.08	0.00	0.08	0.36	0.79	18.73
Popp - 2	6355	0.39	0.80	0.00	0.02	0.14	0.40	12.28
Popp - 3	5847	0.21	0.46	0.00	0.01	0.05	0.20	6.48
Popp - 4	5745	0.73	1.11	0.00	0.08	0.36	0.87	12.33

Nu volgen per uitvoervariabele een aantal overwegingen betreffende de statistische analyse:

- a. Owafv. Wies Akkermans heeft voor de oorspronkelijke variabele, dus zonder transformatie, een meta-model afgeleid. Grafieken van residuen tegen gefitte waarden laten zien dat aan de belangrijke veronderstelling van homogeniteit van variantie redelijk voldaan wordt. Daarom wordt ook hier een meta-model ontwikkeld voor de oorspronkelijke variabele. In formule vorm:

$$\text{Owafv} \sim \text{Normaal}(\mu, \sigma^2); \mu = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p$$

Hierin is σ^2 de restvariantie, ook dispersie genoemd, de x-en representeren de invoer-variabelen en de β 's zijn regressiecoëfficiënten. Mogelijk nadeel van dit model is dat geen rekening gehouden wordt met de niet-negativiteit van de oppervlaktewaterafvoer, zodat het meta-model negatieve voorspellingen kan geven. Deze kunnen echter afgerond worden op nul.

Relevante invoervariabelen voor Owafv zijn GLG, GHG, Gewas, Bodem, Kwel13 en SomKwel. Een mogelijk effect van SomP is ook onderzocht.

- b. Nopp. De N-afvoer naar het oppervlaktewater is in een aantal gevallen gelijk aan nul: in de kwartalen 1 - 4 respectievelijk 1, 50, 558 en 660 keer. De nullen komen slechts voor in combi-

natie met Owafv = 0 en ook omgekeerd is dit het geval. Er kan immers geen N-afvoer zijn als er geen oppervlaktewaterafvoer is. Bij het opstellen van het metamodel worden dan ook, in overeenstemming met de overwegingen van Wies Akkermans, alle plots met Owafv = 0 buiten beschouwing gelaten. Bij toepassing van het metamodel voor Nopp wordt dan eerst de Owafv voorspeld. Indien deze voorspelling kleiner of gelijk is aan nul, dan wordt de voorspelling voor Nopp gelijk gesteld aan nul onafhankelijk van de uitkomst van het metamodel voor Nopp. Slechts bij een positieve Owafv wordt het metamodel voor Nopp gebruikt.

Wies Akkermans heeft metamodellen ontwikkeld voor Log(Nopp) om te compenseren voor de scheefheid in de verdeling van Nopp. Grafieken van residuen tegen gefitte waarden geven echter aan dat na een Log-transformatie de variatie afneemt met het niveau, terwijl voor de oorspronkelijke variabele de variatie juist toeneemt met het niveau. Voor beide geldt dus dat er slecht voldaan is aan de veronderstelling van homogeniteit van variantie. Een voorbeeld van dergelijke grafieken is opgenomen in Bijlage B. Een Log-transformatie wordt toegepast wanneer de variantie evenredig is met het niveau; deze transformatie overcompenseert blijkaar voor de onderhavige data. Wanneer de standaardafwijking evenredig is met het niveau, dan behoort de wortel transformatie toegepast te worden. Inderdaad blijkt uit Bijlage B dat na wortel transformatie de residuen ongeveer gelijk spreiden, onafhankelijk van de gefitte waarde. De variatie neemt nog steeds iets toe met het niveau, maar dit is niet zorgelijk. Een alternatief voor de wortel transformatie is een zogenaamd loglineair model met dispersie (σ^2). Een loglineair model veronderstelt dat de standaardafwijking evenredig is met het niveau en tevens worden de effecten van de invoervariabelen op het gemiddelde van de uitvoervariabele op Log schaal gemodelleerd. In formule vorm:

$$E(\text{Nopp}) = \mu; \quad \text{Var}(\text{Nopp}) = \sigma^2\mu; \quad \text{Log}(\mu) = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_px_p$$

waarin de x-en de invoervariabelen representeren. Dit model geeft de meest bevredigende grafiek van residuen tegen gefitte waarden, zie bijvoorbeeld Bijlage B, en wordt daarom gebruikt voor het opstellen van een metamodel voor Nopp.

Relevante invoervariabelen voor Nopp zijn GLG, GHG, Gewas, Bodem, Kwel13, SomKwel en NcKwel13. Een mogelijk effect van SomP is ook onderzocht.

- c. Popp. Voor de P-afvoer gelden exact dezelfde overwegingen als voor Nopp. Relevante invoervariabelen voor Popp zijn GLG, GHG, Gewas, Bodem, Kwel13, SomKwel, Pckwel13 en SomP.

De hier gepresenteerde resultaten voor Owafv zijn volledig vergelijkbaar met de resultaten zoals gevonden door Wies Akkermans. Immers de verschillende scenario's zijn identiek wat betreft oppervlaktewaterafvoer, grondwaterstanden, kwel en wegzijging. De resultaten voor Nopp en Popp zijn niet vergelijkbaar met de resultaten zoals gevonden door Wies Akkermans. Immers zij gebruikte gegevens van drie scenario's, in plaats van één, die verschillen in bemesting en dus in N en P hoeveelheden. Tevens geldt dat de belangrijke invoervariabelen Noverschot en Poverschot hier niet gebruikt kunnen worden.

In eerste instantie was overeengekomen om een metamodel te ontwikkelen **per** bodemtype, P-voorraadklasse en kwartaal. Dit impliceert voor elke uitvoervariabele 48 (= 3×4×4) verschillende metamodellen. Voor een dergelijk grote hoeveelheid modellen is een zorgvuldige selectie van invoervariabelen nagenoeg onuitvoerbaar binnen de beperkt beschikbare tijd. Tevens worden mogelijk betere voorspellingen verkregen door per kwartaal één metamodel voor alle data af te leiden, waarbij ook interacties met bijvoorbeeld bodemtype onderzocht worden. Indien een dergelijke interactie van belang is, is er in feite sprake van een model **per** bodemtype. De eerder genoemde P-voorraad bleek lastig te definiëren.

Een definitie op basis van P-bindend vermogen én SomP bleek weinig aantrekkingskracht te hebben op de onderzoeker. Daarom is besloten om SomP als representant te nemen voor de

P-voorraad en deze niet in 4 klassen in te delen maar als continue variabele te gebruiken. Er is dus per uitvoervariabele en per kwartaal een metamodel ontwikkeld waarbij bovengenoemde 10 invoervariabelen en hun 2-factor interacties gebruikt zijn. 3-Factor interacties zijn buiten beschouwing gelaten.

Wies Akkermans merkt in haar rapportage op dat voor de meeste invoervariabelen een lineair verband met de uitvoer volstaat, met uitzondering van de invoeren GLG en GHG. Deze worden door haar, overeenkomstig eerdere studies, getransformeerd in $EGHG = \text{Exp}(\lambda_1, GHG)$ en $EGLG = \text{Exp}(\lambda_2, GLG)$, waarbij de coëfficiënten λ uit de data worden geschat. Deze transformatie is ook hier gebruikt voor het metamodel voor Owafv. Echter in de loglineaire modellen voor Nopp en Popp voldoet GHG net zo goed als EGHG. Daarom wordt in deze modellen de oorspronkelijke invoervariabele GHG gebruikt.

Aangezien Somkwel een lineaire combinatie is van Kwel₁₃ en Wegz₁₃, is een model met Somkwel én Kwel₁₃ equivalent met een model met Wegz₁₃ én Kwel₁₃. In een dergelijk model is de invloed van één mm wegzijging verschillend van de invloed van één mm kwel. Voor alle metamodelen is eerst nagegaan of Kwel₁₃ een additioneel effect heeft boven op Somkwel. Indien dit het geval was dan zijn interacties met Somkwel, Kwel₁₃ én Wegz₁₃ verder onderzocht. Tevens zijn in dat geval kwadratische termen in Somkwel, Kwel₁₃ én Wegz₁₃ uitgetoet. Indien Kwel₁₃ geen additioneel effect had, dan zijn in de regel slechts interacties met Somkwel onderzocht.

Indien de interactie tussen Bodem en Gewas van belang is, dan wordt een parameter aangepast voor elk van de 84 cellen in de Bodem × Gewas tabel. Voor cellen met veel waarnemingen is dat geen probleem; er zijn echter ook cellen met weinig waarnemingen. Er zijn, afhankelijk van het kwartaal en de uitvoervariabele, in totaal 9 - 14 cellen met minder dan 10 waarnemingen in de Bodem × Gewas tabel. Voor deze cellen wordt de bijbehorende parameter onnauwkeurig geschat met onnauwkeurige voorspellingen als gevolg. Aangezien deze cellen weinig voorkomende combinaties van Gewas en bodemtype betreffen, wordt dit door de onderzoeker niet als probleem gezien.

Het aantal invoervariabelen en hun interacties is zo groot dat een vorm van selectie van invoervariabelen noodzakelijk is. Immers als variabelen onderling gecorreleerd zijn (zoals bijvoorbeeld GLG en GHG) dan geeft opname van alle variabelen in het model een instabiele schatting van de regressiecoëfficiënten en daarmee onnauwkeurige voorspellingen. Selectie van variabelen leidt veelal tot een aantal min of meer vergelijkbare modellen waaruit het, puur op basis van de statistiek, moeilijk kiezen is. Hier is Genstat procedure SELECT gebruikt en een aangepaste versie hiervan die rekening houdt met de transformatie EGLG. Deze procedure past alle mogelijke modellen aan en sorteert de modellen van goed tot slecht aan de hand van een zelf te kiezen criterium. Als criterium is R²Adjusted gebruikt; dit is het percentage verklaarde variantie (of deviance in geval van een loglineair model) gecorrigeerd voor het aantal geschatte parameters. SELECT is gebruikt om eerst hoofdeffecten te selecteren, daarna zijn 2-factor interacties geselecteerd. Voor continue invoervariabelen in het aldus verkregen definitieve model is ook nog gecontroleerd of de bijbehorende kwadratische term van belang was. Voor een gewoon regressiemodel, zoals gebruikt voor Owafv, is R²adjusted equivalent met de gecorrigeerde correlatie tussen de waarnemingen en de gefitte waarden. Voor een loglineair model, zoals gebruikt voor Nopp en Popp, is het percentage verklaarde deviance echter niet gelijk aan deze correlatie. Daarom wordt voor dit model de gecorrigeerde correlatie tussen de waarnemingen en de gefitte waarden apart berekend en vermeld, zowel op de oorspronkelijke schaal als op Log-schaal.

Voor veel termen (hoofdeffecten of interacties) bleek dat de bijbehorende statistische toets zeer significant was, zonder dat toevoeging van de term tot een duidelijke verbetering leidde van de R^2_{Adjusted} . Dit wordt met name veroorzaakt door het grote aantal waarnemingen (plots) waarop de metamodellen aangepast worden. Daarom is bij het beoordelen van het belang van een term vooral gekeken naar de mate waarin de residuele standaardafwijking σ kleiner wordt. Standaardafwijkingen van voorspellingen zijn immers evenredig met de schatting voor σ . Voor alle metamodellen wordt een sequentie van modellen gegeven met termen in afnemende volgorde van belang. Dit geeft de onderzoeker de gelegenheid om zelf een geschikt model uit de sequentie te kiezen.

Metamodellen voor Oppervlaktewaterafvoer (Owafv)

a. Kwartaal 1 (Owafv)

In onderstaande tabel staan in de eerste kolom de invoervariabelen die aan het metamodel zijn toegevoegd in afnemende volgorde van belang.

Model term	# Par	# TotPar	R2Adj	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	90.71	-
Kwel13	1	2	73.99	46.26	96.1
Wegz13	1	3	92.14	25.43	81.9
EGLG	2	5	94.04	22.14	14.9
Gewas	3	8	95.44	19.36	14.4
Wegz13Kwad	1	9	96.35	17.32	11.8
Bodem	20	29	96.91	15.94	8.7
Bodem . EGLG	20	49	97.17	15.27	4.4
Gewas . Wegz13	3	52	97.31	14.88	2.6

In de tweede kolom (#Par) staat het aantal parameters voor de toegevoegde model variabele en in de derde kolom (#TotPar) het totaal aantal parameters voor alle termen die tot dan toe aan het model zijn toegevoegd. Vervolgens volgen het gecorrigeerde percentage verklaarde variantie (R2Adj), de schatting voor de residuele standaardafwijking (Sigma) en het percentage winst (%Winst) dat in Sigma geboekt wordt door toevoeging van de term.

Opvallend is een verschillend effect van kwel en van wegzijging en een kwadratisch effect van wegzijging (Wegz13Kwad). Na toevoeging van de interactie Bodem . EGLG is nog slechts een marginale winst te behalen. Wies Akkermans behaalde met de termen EGLG, Gewas en Somkwel een R2Adj van 95,3, zie Tabel 8 van haar concept notitie. Door toevoeging van extra termen is hier dus een zekere winst behaald.

b. Kwartaal 2 (Owafv)

In dit geval vond Wies Akkermans een R2Adj van 90.6 met de termen EGLG, Gewas en Somkwel; dat wordt hier aanzienlijk verbeterd door toevoeging van verschillende effecten voor kwel en wegzijging, door toevoeging van interacties van kwel en wegzijging met Gewas en door toevoeging van kwadratische termen (Wegz13Kwad en Kwel13Kwad).

Model term	# Par	# TotPar	R2Adj	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	67.06	-
Kwel13	1	2	75.20	33.39	100.8
Gewas	3	5	86.06	25.03	33.4
Wegz13	1	6	92.41	18.47	35.5
Gewas . Wegz13	3	9	96.50	12.54	47.3
Gewas . Kwel13	3	12	97.30	11.03	13.7
Bodem	20	32	97.64	10.31	7.0
Wegz13Kwad	1	33	97.82	9.90	4.2
Kwel13Kwad	1	34	98.02	9.44	4.9

c. Kwartaal 3 (Owafv)

Wies Akkermans vond een R2Adj van 82.4; dat wordt hier aanzienlijk verbeterd door toevoeging van verschillende effecten voor kwel en wegzijging en door toevoeging van diverse interacties. Na toevoeging van de interactie tussen Gewas en Bodem is nog slechts een kleine winst te behalen.

Model term	# Par	# TotPar	R2Adj	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	38.90	-
Kwel13	1	2	72.31	20.47	90.0
Gewas	3	5	77.34	18.52	10.6
EGLG	2	7	88.93	12.94	43.1
Bodem	20	27	89.74	12.46	3.9
Somkwel	1	28	89.95	12.33	1.0
Gewas . Somkwel	3	31	92.13	10.91	13.0
Kwel13Kwad	1	32	93.50	9.92	10.0
Gewas . Bodem	60	92	94.62	9.02	9.9
Gewas . EGLG	3	95	94.80	8.87	1.7
Bodem . Kwel13	20	115	95.00	8.70	2.0
Bodem . EGLG	20	135	95.32	8.41	3.4

d. Kwartaal 4 (Owafv)

Wies Akkermans vond een R2Adj van 90.6; deze wordt hier aanzienlijk verbeterd door toevoeging van verschillende effecten voor kwel en wegzijging en door toevoeging van diverse interacties. Na toevoeging van de interactie tussen wegz13 en EGLG is nog slechts een kleine winst te behalen.

Model term	# Par	# TotPar	R2Adj	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	92.85	-
Kwel13	1	2	67.90	52.61	76.5
EGLG	2	4	84.80	36.20	45.3
Bodem	20	24	91.62	26.88	34.7
Gewas	3	27	92.69	25.11	7.1
Wegz13	1	28	93.97	22.80	10.1
Gewas . Wegz13	3	31	94.44	21.89	4.2
Bodem . Wegz13	20	51	94.88	21.01	4.2
Kwel13 . EGLG	1	52	95.45	19.81	6.1
Wegz13 . EGLG	1	53	95.98	18.63	6.3
Bodem . Kwel13	20	73	96.21	18.08	3.0
Bodem . EGLG	20	93	96.36	17.72	2.0

Metamodellen voor N-afvoer (Nopp)

a. Kwartaal 1 (Nopp)

In onderstaande tabel staan in de eerste kolom de termen die aan het metamodel zijn toegevoegd in afnemende volgorde van belang. In de tweede (#Par) staat het aantal parameters voor de toegevoegde model term en in de derde kolom (#TotPar) het totaal aantal parameters voor alle termen die tot dan toe aan het model zijn toegevoegd. Vervolgens volgen het gecorrigeerde percentage verklaarde deviance (% Devian), de gecorrigeerde correlatie tussen de waarnemingen en de gefitte waarden (R2Adj), dezelfde correlatie, maar dan tussen Log van de waarnemingen en de Log van de gefitte waarde (R2AdjLog), de schatting voor de dispersie parameter Sigma (σ) en het percentage winst (%Winst) dat in Sigma geboekt wordt door toevoeging van de term.

Wies Akkermans vermeldt in Tabel 8 van haar concept notitie percentages verklaarde variatie voor metamodellen op Log(Nopp). Aangezien hier een ander, namelijk loglineair, model is toegepast en slechts de gegevens van scenario D zijn gebruikt, kunnen de percentages uit Tabel 8 niet zonder meer vergeleken worden met de hier gepresenteerde R2AdjLog. In dit geval is het door haar gevonden percentage gelijk aan 80.4 en deze is hoger dan de hier gevonden R2AdjLog.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	2.746	-
GHG	1	2	57.49	44.68	59.37	1.790	53.4
Somkwel	1	3	68.89	57.63	64.90	1.531	16.9
Gewas	3	6	73.16	64.01	67.50	1.422	7.7
Bodem	20	26	76.59	68.58	68.76	1.328	7.1
Nckwel13	1	27	80.37	75.69	69.90	1.217	9.2
Gewas . Bodem	60	87	81.66	77.61	70.77	1.176	3.5
Kwel13	1	88	82.57	78.22	72.22	1.146	2.6
Bodem . Somkwel	20	108	83.24	79.31	73.17	1.124	2.0

Zonder Nckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 74.50. Weglating van deze term zou dus in dit geval overwogen kunnen worden. Eventueel kan de gehele modelselectie zonder Nckwel13 herhaald worden. Het is dan mogelijk dat andere dan de hier genoemde interacties dan van belang zijn.

b. Kwartaal 2 (Nopp)

In dit geval vond Wies Akkermans een percentage verklaarde variantie van 85.6. Na toevoeging van Kwel13 wordt er nog slechts een marginale winst behaald. Zonder Nckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 79.98.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	2.549	-
Somkwel	1	2	51.59	41.22	44.03	1.774	43.7
Gewas	3	5	65.36	54.74	50.75	1.500	18.2
GHG	1	6	78.74	66.98	75.49	1.176	27.6
Bodem	20	26	81.10	69.89	75.21	1.108	6.1
Nckwel13	1	27	84.18	76.74	75.43	1.014	9.3
Bodem . GHG	20	47	85.28	78.78	72.52	0.978	3.6
Gewas . Bodem	60	107	86.29	80.67	72.79	0.944	3.6
Kwel13	1	108	87.47	82.18	75.66	0.902	4.6
Bodem . Somkwel	20	128	88.03	83.50	76.33	0.882	2.3
Gewas . Somkwel	3	131	88.56	84.53	76.68	0.862	2.3

c. Kwartaal 3 (Nopp)

In dit geval vond Wies Akkermans een percentage verklaarde variantie van 75.7. Na toevoeging van de interactie Gewas . Bodem wordt er nog slechts een marginale winst behaald. Zonder Nckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 76.95.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	2.042	-
GHG	1	2	46.88	31.95	47.60	1.488	37.2
Somkwel	1	3	60.06	45.30	53.62	1.291	15.3
Gewas	3	6	70.79	55.11	59.52	1.104	17.0
Bodem	20	26	76.31	61.53	61.94	0.994	11.0
Nckwel13	1	27	78.30	64.75	62.97	0.951	4.5
Bodem . GHG	20	47	80.95	71.33	64.71	0.892	6.7
Bodem . Somkwel	20	67	82.21	74.29	66.52	0.861	3.5
Gewas . Bodem	60	127	83.97	78.78	66.81	0.818	5.3
Gewas . Somkwel	3	130	84.46	79.63	67.41	0.805	1.6

d. Kwartaal 4 (Nopp)

In dit geval vond Wies Akkermans een percentage verklaarde variantie van 81.8. Na toevoeging van de interactie Gewas . Bodem wordt er nog slechts een marginale winst behaald. Zonder Nckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 79.20.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	2.876	-
GHG	1	2	54.33	43.76	55.91	1.943	48.0
Somkwel	1	3	63.95	49.74	63.29	1.727	12.5
Bodem	20	23	71.00	59.91	66.85	1.549	11.5
Gewas	3	26	75.64	65.97	68.78	1.420	9.1
Nckwel13	1	27	79.30	71.01	70.13	1.308	8.5
Kwel13	1	28	81.09	73.11	73.85	1.251	4.6
Bodem . Somkwel	20	48	82.72	75.52	74.83	1.195	4.6
Bodem . GHG	20	68	84.23	79.28	75.50	1.142	4.6
Gewas . Bodem	60	128	85.52	81.47	76.05	1.095	4.4
Gewas . GHG	3	131	85.98	82.05	74.55	1.077	1.6

Metamodellen voor P-afvoer (Popp)

a. Kwartaal 1 (Popp)

In dit geval vond Wies Akkermans een percentage verklaarde variantie van 86.9. Na toevoeging van de interactie Gewas . Bodem wordt er nog slechts een marginale winst behaald. Zonder Pckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 60.86, en zonder SomP 63.31.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	1.015	-
GHG	1	2	42.03	21.48	65.82	0.773	31.3
Gewas	3	5	58.51	39.02	69.81	0.654	18.2
Pckwel13	1	6	67.46	43.48	71.88	0.579	12.9
Somkwel	1	7	74.96	53.81	75.66	0.508	14.0
Bodem	20	27	76.99	57.45	76.14	0.487	4.3
SomP	1	28	78.09	59.09	76.10	0.475	2.5
Bodem . SomP	20	48	80.35	63.73	76.36	0.450	5.6
Gewas . Bodem	60	108	82.60	67.54	77.07	0.423	6.3
Bodem . Somkwel	20	128	83.44	69.22	77.70	0.413	2.5
Bodem . GHG	20	148	84.44	70.61	72.54	0.400	3.1

b. Kwartaal 2 (Popp)

In dit geval vond Wies Akkermans een percentage verklaarde variantie van 88.7. Na toevoeging van de interactie Gewas . Bodem wordt er nog slechts een marginale winst behaald. Zonder Pckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 70.07, en zonder SomP 67.95.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	0.892	-
GHG	1	2	35.10	15.47	66.96	0.719	24.1
Gewas	3	5	60.79	40.26	72.02	0.559	28.7
Pckwel13	1	6	65.28	40.57	73.35	0.526	6.3
Somkwel	1	7	78.16	55.10	78.62	0.417	26.1
Bodem	20	27	80.30	60.27	78.20	0.396	5.3
SomP	1	28	81.40	62.56	78.28	0.385	2.9
Bodem . SomP	20	48	83.69	69.11	78.68	0.360	6.8
Gewas . Bodem	60	108	85.46	72.14	78.90	0.340	5.9
Bodem . Somkwel	20	128	86.29	74.00	78.88	0.330	3.0
Bodem . GHG	20	148	87.52	75.32	77.86	0.315	4.8

c. Kwartaal 3 (Popp)

In dit geval vond Wies Akkermans een percentage verklaarde variantie van 82.2. De laatste interactie Bodem . GHG hoort duidelijk nog in het model thuis. Zonder Pckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 69.12, en zonder SomP 71.58.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	0.692	-
GHG	1	2	42.47	24.92	49.98	0.525	31.9
Gewas	3	5	58.92	40.97	57.05	0.444	18.3
Pckwel13	1	6	63.06	41.19	58.71	0.421	5.4
Somkwel	1	7	73.89	55.19	64.04	0.354	19.0
Bodem	20	27	77.96	59.10	65.70	0.325	8.9
SomP	1	28	78.04	58.81	65.73	0.324	0.2
Bodem . SomP	20	48	80.03	64.79	66.88	0.309	4.9
Gewas . Bodem	60	108	81.67	68.05	66.96	0.296	4.3
Bodem . Somkwel	20	128	82.71	69.08	67.25	0.288	3.0
Bodem . GHG	20	148	85.14	73.51	72.63	0.267	7.8

d. Kwartaal 4 (Popp)

In dit geval vond Wies Akkermans een percentage verklaarde variantie van 84.2. De laatste interactie Bodem . GHG hoort duidelijk nog in het model thuis. Zonder Pckwel13 wordt, met verder dezelfde termen in het model, een R2Adj bereikt van 68.33, en zonder SomP 73.18.

Model term	# Par	# TotPar	% Devian	R2Adj	R2AdjLog	Sigma (σ)	% Winst
Constant	1	1	0.00	-	-	1.055	-
GHG	1	2	38.46	26.00	48.64	0.828	27.5
Gewas	3	5	51.79	38.20	55.10	0.732	13.0
Pckwel13	1	6	65.78	47.76	59.22	0.617	18.7
Somkwel	1	7	73.01	58.23	65.10	0.548	12.6
Bodem	20	27	77.24	62.97	68.39	0.503	8.9
SomP	1	28	77.39	62.72	68.41	0.502	0.3
Bodem . SomP	20	48	79.10	65.85	69.27	0.482	4.0
Gewas . Bodem	60	108	81.06	68.55	69.87	0.459	5.0
Bodem . Somkwel	20	128	82.34	69.90	71.61	0.443	3.5
Bodem . GHG	20	148	84.11	72.74	76.00	0.420	5.5
SomkwelKwad	1	149	85.14	75.59	77.67	0.407	3.4

Samenvatting gevonden modellen

De gevonden modellen voor elk van de 12 uitvoervariabelen, dat wil zeggen de laatste regel in elk van de tabellen, zijn opgenomen in onderstaande tabel. Hierin is met een X aangegeven dat een invoervariabele, of interactie, in het betreffende model zit. De modellen zelf zijn verticaal weergegeven, eerst de vier modellen voor Owafv, dan die voor Nopp en tenslotte de 4 meta-modellen voor Nopp. Het is te zien dat de modellen binnen een uitvoer categorie veel gemeenschappelijk hebben; dit geldt met name voor Popp en Nopp. Merk op dat voor Owafv2 noch GLG noch GHG in het model is opgenomen.

Term	O1	O2	O3	O4	N1	N2	N3	N4	P1	P2	P3	P4
GLG	X		X	X								
GHG					X	X	X	X	X	X	X	X
Gewas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bodem	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kwel13	X	X	X	X	X	X		X				
Wegz13	X	X		X								
Somkwel			X		X	X	X	X	X	X	X	X
Nckwel13					X	X	X	X				
Pckwel13									X	X	X	X
Somp									X	X	X	X
Wegz13Kwad	X	X										
Kwel13Kwad		X	X									
SomkwelKwad												X
Gewas . GLG			X									
Gewas . GHG								X				
Gewas . Bodem			X		X	X	X	X	X	X	X	X
Gewas . Kwel13		X										
Gewas . Wegz13	X	X		X								
Gewas . Somkwel			X			X	X					
Bodem . GLG	X		X	X								
Bodem . GHG						X	X	X	X	X	X	X
Bodem . Kwel13			X	X								
Bodem . Wegz13				X								
Bodem . Somkwel					X	X	X	X	X	X	X	X
Bodem . SomP									X	X	X	X
GLG . Kwel13				X								
GLG . Wegz13				X								
Aantal	8	8	11	11	8	10	9	10	10	10	10	11

Implementatie van de metamodellen

Veronderstel dat de relevante invoervariabelen voor een te voorspellen plot verzameld zijn in een vector x . Veronderstel verder dat β de vector van parameterschattingen is, met bijbehorende variantie-covariantiematrix Σ . Dan wordt de voorspelling voor de verwachtingswaarde van deze plot gegeven door $(\beta' x)$ met variantie $(x' \Sigma x)$. Hieruit kan eenvoudig een 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend worden: $(\beta' x) \pm \sqrt{(x' \Sigma x)}$. Voor een loglineair model is $(\beta' x)$ een voorspelling op Log-schaal, en dus $\text{Exp}(\beta' x)$ een voorspelling op de oorspronkelijke schaal. En het betrouwbaarheidsinterval wordt gegeven door $\text{Exp}[(\beta' x) \pm \sqrt{(x' \Sigma x)}]$. Dit kan voor alle modellen eenvoudig geïmplementeerd worden.

Het metamodel voor Nopp en Popp wordt slechts gebruikt indien de voorspelde Owafv positief is. In andere gevallen wordt de voorspelde Nopp en Popp gelijk gesteld aan nul en kan geen betrouwbaarheidsinterval gegeven worden.

Dit is geïmplementeerd in een Fortran programma genaamd Nutricalc.EXE, met dien verstande dat de voorspellingen $(\beta' x)$ wel geïmplementeerd zijn, maar het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval niet. De rationale hiervoor is dat de meeste invoervariabelen van grid bestanden worden ingelezen en dat slechts GLG en GHG door gebruikers zelf worden bepaald. Het risico van extrapolatie, met een groot betrouwbaarheidsinterval, is dan gering. Het programma controleert wel op extreme GLG en GHG, zie hieronder. De aanroep van het programma is

```
Nutricalc.EXE <invoerfile> <uitvoerfile>
```

waarbij de extensie .EXE niet mag ontbreken. Voor nutricalc.exe mag eventueel een directory staan. Het programma verwacht de file Nutricalc.UNF in dezelfde directory als de EXE. Deze UNF file bevat de parameterschattingen voor de 12 metamodellen. De <invoerfile> en <uitvoerfile> mogen spaties bevatten maar dan moeten de files omgeven zijn door dubbele quotes ("). Indien de file Nutricalc.unf niet gevonden kan worden, of indien <invoerfile> niet gevonden of geopend kan worden, of indien <uitvoerfile> niet aangemaakt kan worden, dan wordt een foutmelding naar het scherm geschreven.

De <invoerfile> bevat de invoervariabelen 1-10 in de volgorde en eenheden zoals beschreven op pagina 1, vooraf gegaan door een identificatienummer. De invoerfile is een zogenaamde komma gescheiden (CSV) file met op elke regel een nieuwe set van invoervariabelen waarvoor voorspellingen berekend moeten worden. De eerste regel van de <invoerfile> bevat de namen van de kolommen. De uitvoer file bevat de voorspellingen volgens de 12 metamodellen. Elke regel bevat, voorafgegaan door het identificatienummer, de 12 voorspellingen in de volgorde Owafv1, Nopp1, Popp1 voor kwartaal 1 en vervolgens voor de kwartalen 2,3 en 4. De <uitvoerfile> is een geformatteerde komma gescheiden (CSV) file, waarbij de uitvoervariabelen in 2 decimalen gegeven worden. De eerste regel van de <uitvoerfile> bevat de namen van de kolommen. In Bijlage C is een voorbeeld van een <invoerfile> en de bijbehorende <uitvoerfile> opgenomen.

De volgende restricties gelden voor de invoergegevens:

1. Het identificatienummer mag niet langer zijn dan 12 cijfers. Indien het nummer langer is dan 12 cijfers dan bevat de uitvoerfile 12 sterretjes in plaats van het identificatienummer
2. Als $GLG < 0.0$ dan wordt als voorspelling 12 maal -1.00 weggeschreven
3. Als $GLG > 8.0$ dan wordt als voorspelling 12 maal -2.00 weggeschreven
4. Als $GHG < 0.0$ dan wordt als voorspelling 12 maal -3.00 weggeschreven
5. Als $GHG > 6.5$ dan wordt als voorspelling 12 maal -4.00 weggeschreven
6. Als $GHG > GLG$ dan wordt als voorspelling 12 maal -5.00 weggeschreven

Aangezien negatieve voorspellingen voor Owafv kunnen voorkomen, en Nopp en Popp nooit negatief voorspeld worden, kan de controle op een foutieve invoer beter aan de hand van de voorspellingen van Nopp of Popp uitgevoerd worden. Indien de invoer meerdere fouten bevat, bijvoorbeeld $GLG < 0.0$ én $GHG < 0.0$, dan wordt alleen de eerst optredende fout volgens bovenstaande volgorde opgemerkt.

De minima en maxima voor GLG en GHG zijn tot stand gekomen in overleg met Jan van Bakel. Eerder was voorgesteld om deze maxima af te laten hangen van het bodemtype. Per bodemtype zou dan de maximale GLG/GHG in de STONE simulaties gebruikt worden, en deze staan in onderstaande tabel. Nadeel hiervan is dat GLG en GHG in STONE langjarige gemiddelden zijn en er dus in werkelijkheid grotere waarden dan in onderstaande tabel kunnen optreden. Daarom wordt als generieke bovengrens de maximale waarde in de STONE simulaties genomen, dus 6.5 voor GHG en 8.0 voor GLG (beide iets naar boven afgerond). Overigens is de implementatie in het Fortran programma zodanig dat een bodemtype afhankelijk maximum en minimum eenvoudig ingevoerd kan worden.

Bodemtype	Aantal simulaties	Minimum (GLG)	Maximum (GLG)	Minimum (GHG)	Maximum (GHG)
1	153	0.16	6.54	-0.01	5.42
2	299	0.22	5.97	0.01	5.11
3	143	0.15	3.00	-0.01	1.78
4	65	0.25	1.61	0.00	0.91
5	437	0.19	6.44	0.02	5.47
6	75	0.32	1.65	0.04	0.26
7	237	0.28	6.61	0.04	5.72
8	103	1.39	6.82	0.49	5.87
9	1189	0.36	6.93	0.04	6.03
10	149	0.79	6.64	0.16	5.61
11	293	0.76	6.93	0.09	5.45
12	413	0.21	6.64	0.06	5.71
13	307	0.56	6.87	0.08	5.93
14	95	0.94	6.64	0.36	5.84
15	635	0.38	7.84	0.02	6.37
16	668	0.23	7.66	0.02	6.16
17	288	0.44	6.71	0.07	3.40
18	219	0.20	6.35	-0.01	5.15
19	518	0.31	6.35	0.01	5.56
20	63	0.75	6.33	0.08	5.40
21	56	0.42	7.22	0.06	5.31

De voorspellingen van het Fortran programma Nutricalc.EXE zijn voor alle STONE simulaties vergeleken met voorspellingen zoals verkregen met GenStat (het programma waarmee de modellen zijn aangepast). De voorspellingen komen overeen tot de laatste decimaal.

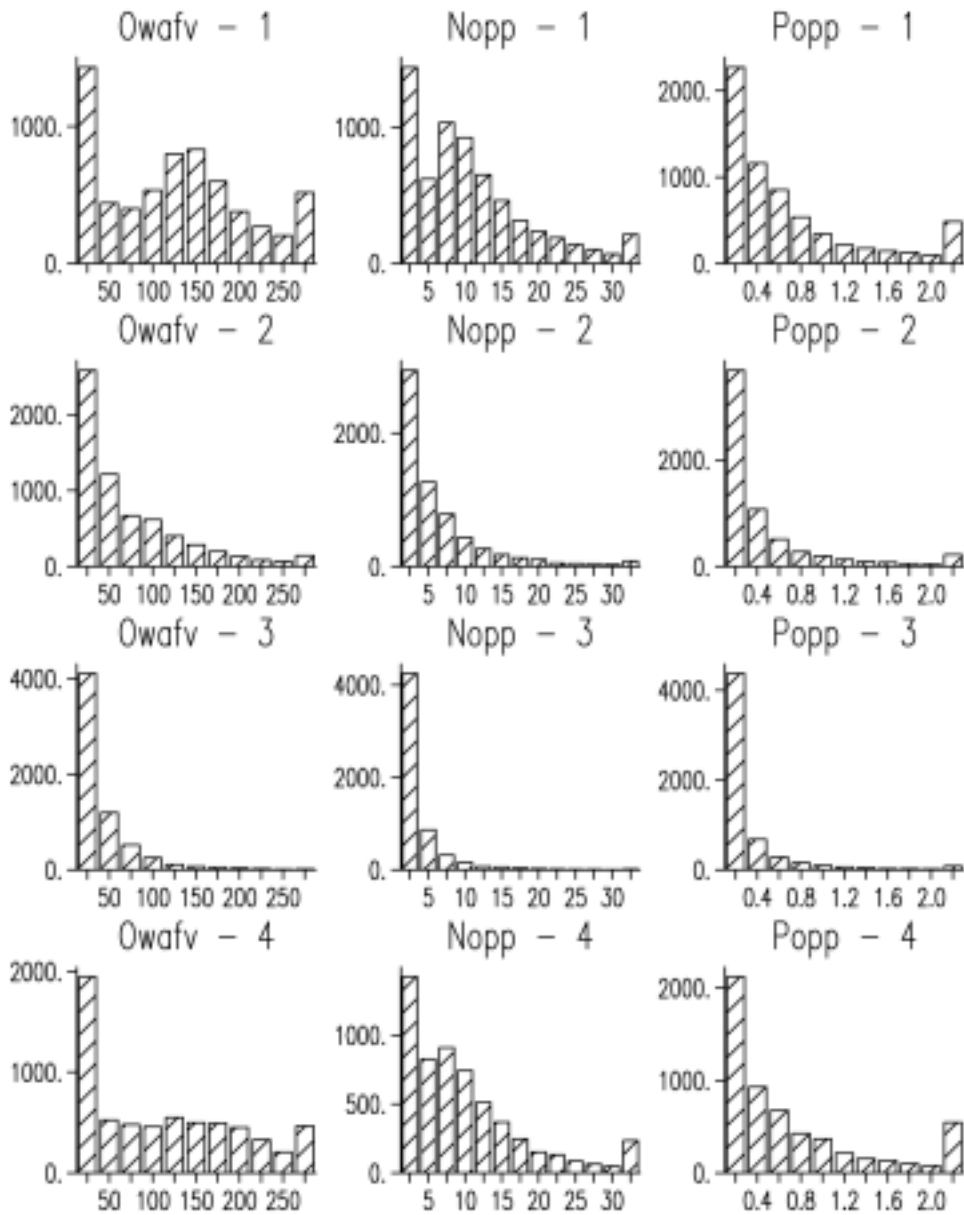
Lage afvoeren

In onderstaande tabellen is aangegeven welke bovengrenzen voor uitstromende concentraties worden aangehouden bij lage afvoeren, uitgesplitst naar bodemtypes.

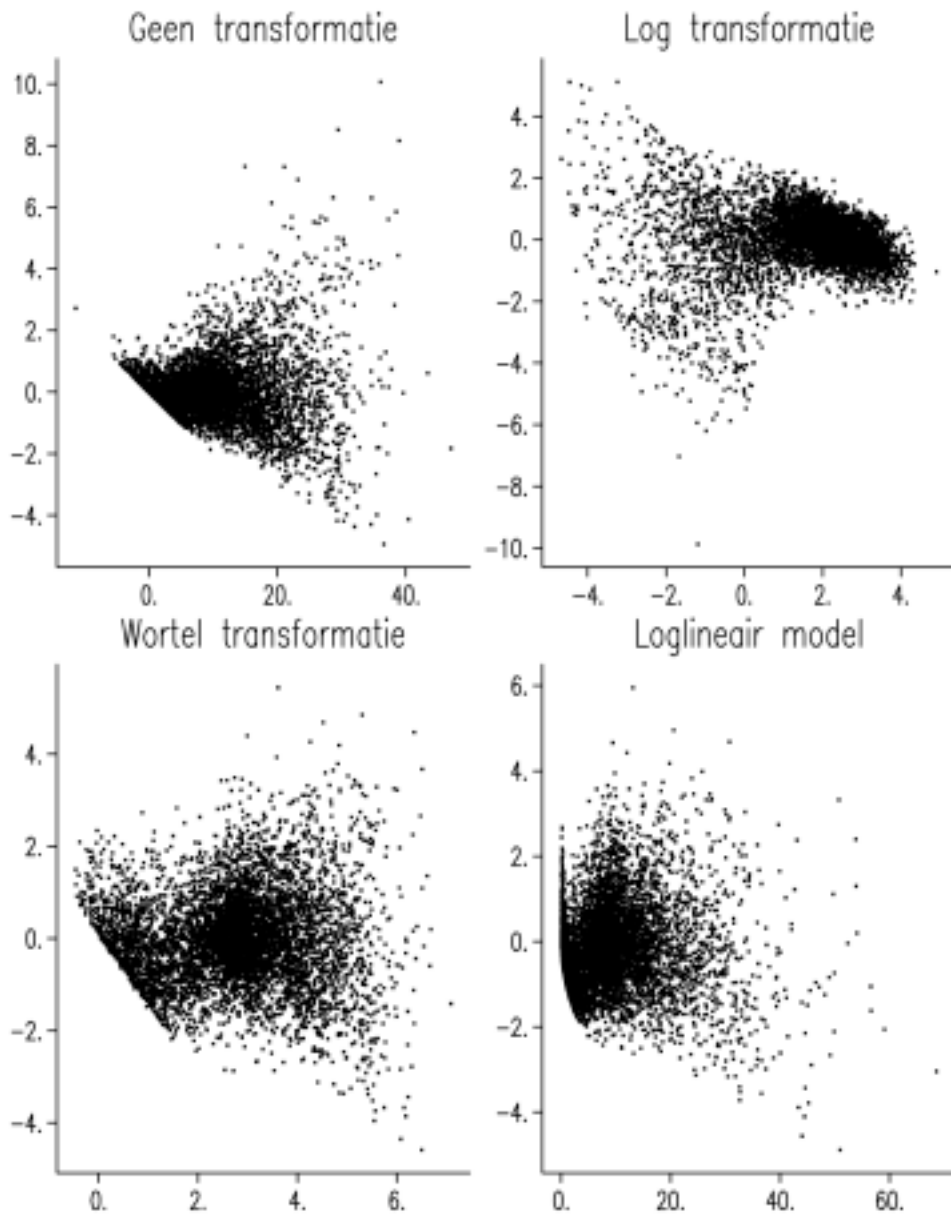
GS	agriculture	bovengrens	
		Nconc 95%	Pconc 95%
klei	landbouw	13.44	1.32
laagveen	landbouw	33.30	2.66
moerig	landbouw	23.15	3.05
zand	landbouw	19.91	1.78
klei	natuur	10.04	0.99
laagveen	natuur	15.77	0.56
moerig	natuur	15.29	0.96
zand	natuur	14.48	0.35

GS	BFE
laagveen	1
laagveen	2
laagveen	3
laagveen	4
moerig	5
moerig	6
zand	7
zand	8
zand	9
zand	10
zand	11
zand	12
zand	13
zand	14
klei	15
klei	16
klei	17
klei	18
klei	19
klei	20
zand	21

Bijlage 1A Histogrammen van uitvoervariabelen per kwartaal



Bijlage 1B
Residuen tegen gefitte waarden voor Nopp in kwartaal 1



Bijlage 1 C Voorbeeld van een <invoerfile> en van de bijbehorende <uitvoerfile>

<invoerfile> hierin is Lgn2 het Gewas en Bodemall het Bodemtype.

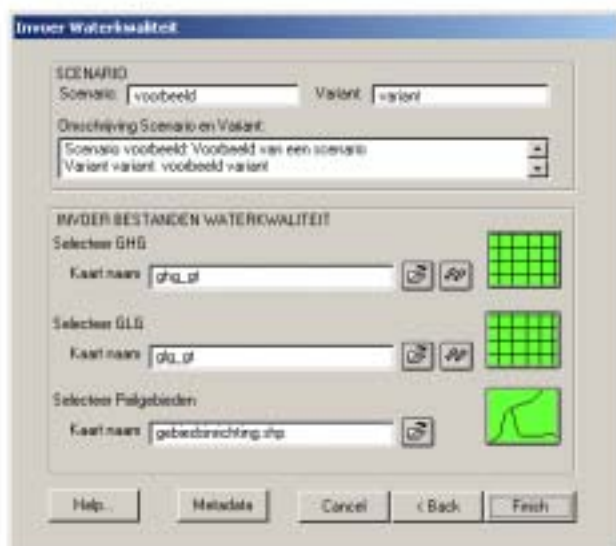
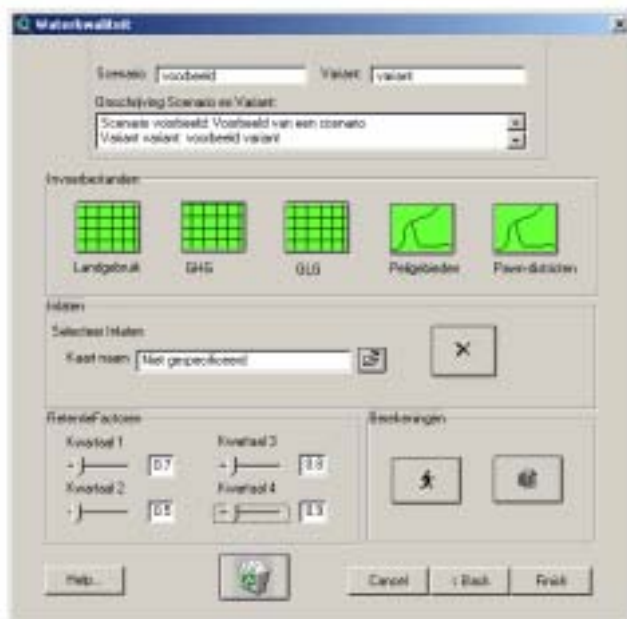
```
"Value","GLG","GHG","Lgn2","Bodemall","Kwel13","Wegz13","Somkwel","Nckwel13","Pckwel13","Somp"
1,0.310,0.040,3,7,218.970,0.000,218.970,3.390,0.120,1068.400
51,2.200,0.900,4,15,0.000,23.900,-23.900,0.000,0.000,2143.200
199,2.060,0.490,4,17,0.000,25.907,-25.907,0.000,0.000,2836.900
298,1.380,0.750,4,18,3.791,0.000,3.791,3.690,0.140,3519.800
789,0.960,0.310,2,2,11.340,0.000,11.340,1.430,0.120,2816.600
888,1.220,0.620,4,2,23.787,0.000,23.787,3.690,0.140,936.870
889,1.440,0.600,4,5,0.000,44.433,-44.433,0.000,0.000,1195.400
890,1.160,0.330,3,5,25.609,0.000,25.609,2.310,0.120,1257.400
891,2.780,1.940,3,7,0.000,156.260,-156.260,0.000,0.000,869.680
892,1.290,0.570,4,7,0.000,3.791,-3.791,0.000,0.000,1310.800
1334,1.320,0.590,4,9,31.105,0.000,31.105,1.430,0.120,1443.900
1482,1.220,0.580,2,5,0.000,36.595,-36.595,0.000,0.000,3292.000
1483,3.020,1.550,1,11,0.000,63.158,-63.158,0.000,0.000,5921.800
3591,0.380,0.020,3,2,131.500,0.000,131.500,6.651,0.160,704.630
6403,5.510,4.110,1,15,0.000,87.739,-87.739,0.000,0.000,3557.400
6404,4.660,3.000,2,15,0.000,92.885,-92.885,0.000,0.000,5339.300
```

<uitvoerfile> hierin zijn, ten behoeve van de presentatie de kolommen Owafv4, Nopp4 en Popp4 verwijderd.

```
"Value","Owafv1","Nopp1","Popp1","Owafv2","Nopp2","Popp2","Owafv3","Nopp3","Popp3"
1, 352.48, 14.43, 0.92, 204.66, 10.49, 0.63, 235.36, 10.13, 0.72
51, 70.84, 4.28, 0.18, 12.03, 0.75, 0.04, 1.32, 0.15, 0.01
199, 87.00, 6.62, 0.29, 20.73, 1.47, 0.08, 4.21, 0.40, 0.03
298, 119.56, 7.84, 0.28, 34.84, 1.84, 0.09, 5.14, 0.76, 0.04
789, 156.57, 14.99, 0.49, 93.69, 8.68, 0.25, 50.47, 3.02, 0.11
888, 133.72, 13.51, 0.08, 44.06, 2.56, 0.03, 16.94, 0.42, 0.00
889, 65.95, 7.36, 0.20, 8.18, 1.21, 0.06, 1.35, 0.43, 0.02
890, 135.73, 10.73, 0.31, 44.28, 3.45, 0.11, 17.93, 1.26, 0.05
891, 19.02, 0.29, 0.00, 8.19, 0.03, 0.00, 0.52, 0.01, 0.00
892, 99.28, 9.19, 0.46, 24.82, 2.59, 0.14, 5.18, 0.51, 0.03
1334, 136.27, 13.15, 0.27, 47.58, 4.11, 0.09, 17.18, 1.03, 0.03
1482, 97.88, 10.27, 0.55, 48.10, 4.13, 0.24, 22.54, 1.64, 0.09
1483, 35.21, 4.11, 0.17, 29.68, 2.00, 0.05, 2.83, 0.28, 0.00
3591, 265.51, 19.17, 0.89, 127.48, 10.65, 0.43, 146.02, 10.78, 0.44
6403, 15.93, 0.23, 0.00, 10.07, 0.04, 0.00, 6.82, 0.00, 0.00
6404, 18.16, 0.46, 0.01, 7.36, 0.07, 0.00, -2.20, 0.00, 0.00
```

Bijlage 2 Beknopte Handleiding

Hieronder zijn enkele invoerschermen opgenomen van de module Waterkwaliteit. Een uitgebreide handleiding voor het gebruik van het Waternoodinstrumentarium wordt uitgebracht door STOWA.



Bijlage 3 Vragen van gebruikers

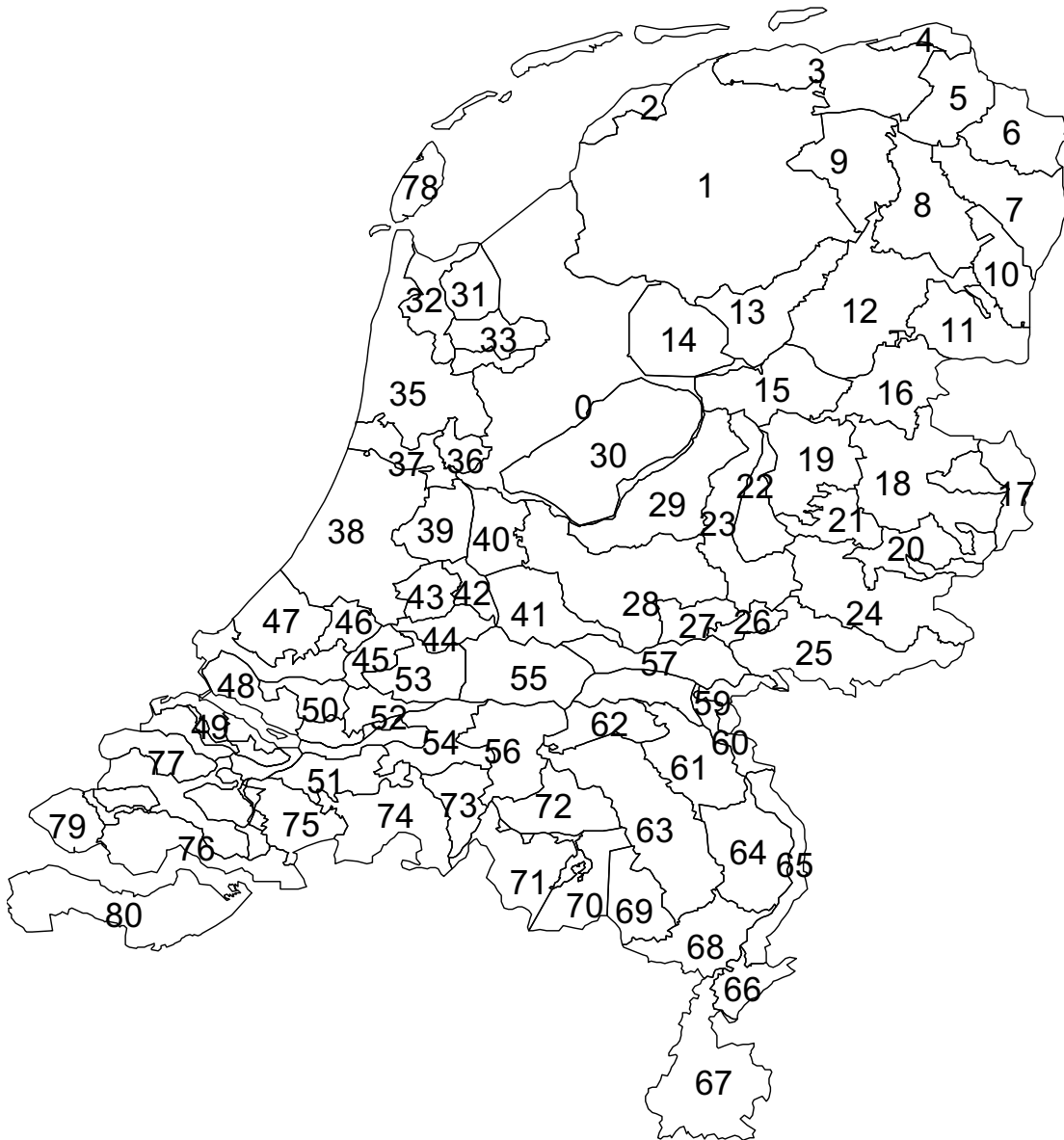
In deze bijlage is een lijst met vragen van waterbeheerders opgenomen. Deze lijst is opgesteld in de begeleidingscommissie. De vraag in de BC was, of deze inhoudelijke vragen met de module Waterkwaliteit kunnen worden beantwoord. Onder iedere vraag is daarom aangegeven of, en zo ja hoe de waterbeheersvraag met de module Waterkwaliteit kan worden beantwoord.

Lees bij 'wat gebeurt er ...' in de onderstaande vragen steeds 'wat gebeurt er met de nutriënten en met chloride?'

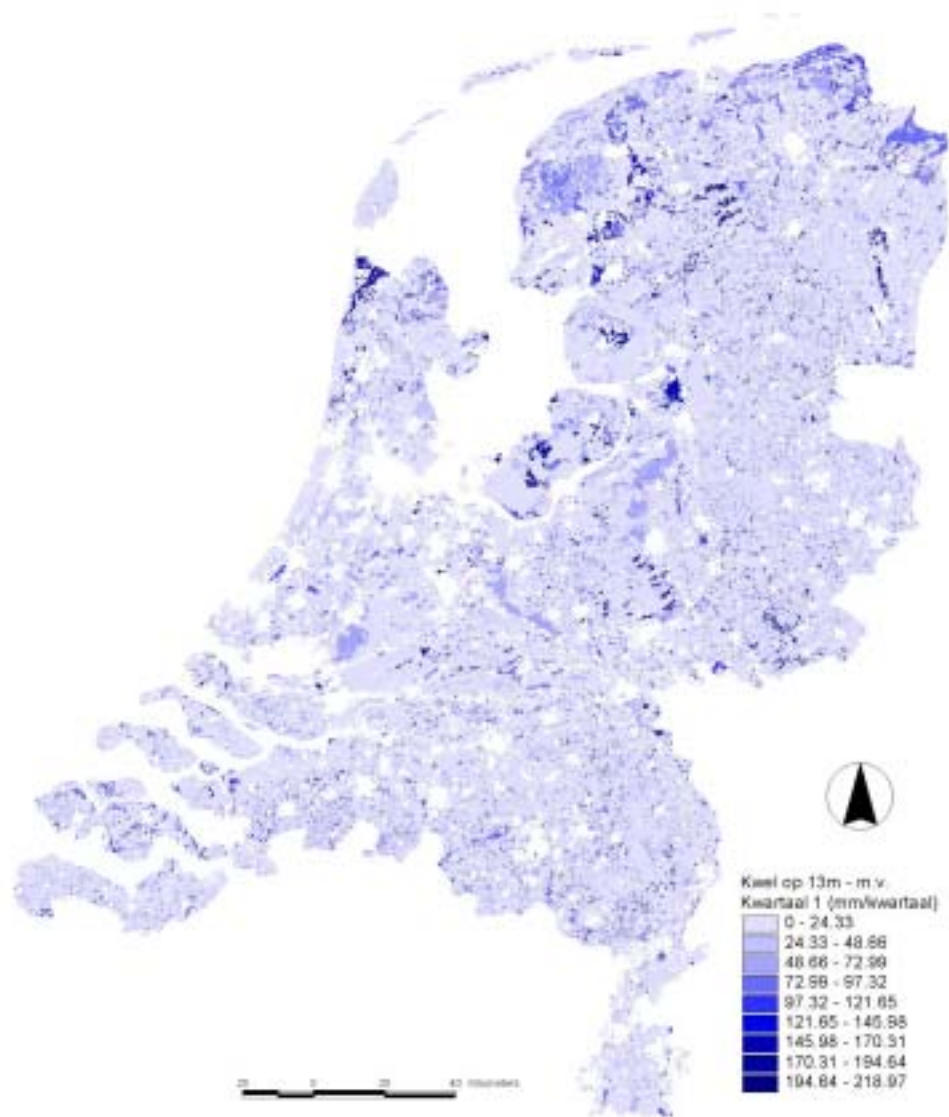
- Wat gebeurt er wanneer ik de waterstand in het veenweidegebied 10 of 20 cm (of nog meer) onder het huidige minimum peil laat zakken.
Antwoord: bepaal buiten Waterlood wat het effect is op GLG en GHG, voer deze in in de module Waterkwaliteit.
- Wat gebeurt er wanneer ik in de winter de waterstand 10 of 20 cm (of nog meer) laat stijgen boven maximumpeil en deze waterstand vasthoudt tot ver in het voorjaar in een diepe droogmakerij.
Antwoord: Ook hiervoor is de beïnvloeding via GLG en GHG van belang. Deze maatregel heeft echter ook een waterconserverende component. In totaal zal minder inlaat nodig zijn. Ook uitlaat zal als gevolg daarvan afnemen. De inlaat kan met een bakmodel buiten Waterlood worden berekend en vervolgens in de module Waterkwaliteit worden aangepast.
- Wat gebeurt er wanneer ik de waterstand 10 tot 20 cm (of meer) laat zakken onder het minimumpeil in een diepe droogmakerij in de loop van de zomer.
Antwoord: zelfde aanpak als bij veenweidegebied. Invloed via GLG/GHG.
- Wat gebeurt er als ik regenwater langer vasthoud door verhoging van de waterstand in een droogmakerij aan de oostkant van Texel met een natuurlijk (brein)zoute kwel
Antwoord: op deze vraag geeft de module Waterkwaliteit voor chloride geen antwoord. Het wegdrukken van ondiepe zoute kwel kan niet worden gesimuleerd. Zoute kwel is in de module Waterkwaliteit gerelateerd aan de kwel op 13 m –mv. Deze waarde staat vast in de onderliggende gegevens.
- Wat gebeurt er als ik een droogmakerij in de winter onder water zet
Antwoord: dit grijpt in op de GHG, mogelijk ook op de GLG. Via die variabelen is een invloed te simuleren. Als het onder water zetten ook bedoeld is om inlaat in de zomer te reduceren, kan de inlaat (buiten Waterlood ingeschat) worden verlaagd.
- Wat gebeurt er als ik een droogmakerij in de zomer plas/dras laat staan
Antwoord: ingreep via GHG/GLG en inlaatreductie.

- Wat gebeurt er als ik dynamisch peilbeheer toepas in het landbouwgebied (vnl. zandgrond) in de kop van Noord-Holland
Antwoord: GHG/GLG zullen een natuurlijk verloop krijgen. Veranderingen inschatten buiten de module Waterkwaliteit. Dynamisch peilbeheer is bij uitstek een inlaatreducerende maatregel.
- Wat gebeurt er als ik flexibel peilbeheer toepas in een natuurgebied in het veenweide gebied
Antwoord: GHG/GLG zullen een natuurlijk verloop krijgen. Veranderingen inschatten buiten de module Waterkwaliteit. Flexibel peilbeheer zorgt voor inlaatreductie. Nieuwe inlaat buiten Waterlood berekenen.
- Idem in het zandgebied in de binnenduinrand
Antwoord: GHG/GLG zullen een natuurlijk verloop krijgen. Veranderingen inschatten buiten de module Waterkwaliteit. Flexibel peilbeheer zorgt voor inlaatreductie. Nieuwe inlaat buiten Waterlood berekenen.
- Wat gebeurt er als ik beregening toepas op landbouwgronden?
Antwoord: Beregening van de bodem kan niet als watervraag of wateraanbod richting de bodem worden ingevoerd. Het effect van beregening kan echter wel meegenomen worden: door de grondwaterstand (uitgedrukt in GLG en GHG) aan te passen. In die gebieden waar beregening bij de vaste landbouwpraktijk hoort, is dit immers ook in STONE (en daarom ook in het metamodel) verwerkt. Het is dan zaak om ook een eventuele extra aanvoerbehoefte als puntbron mee te nemen. De waterkwaliteit zal door een groter aandeel inlaatwater worden beïnvloed.

Bijlage 4 Basiskaarten uit STONE



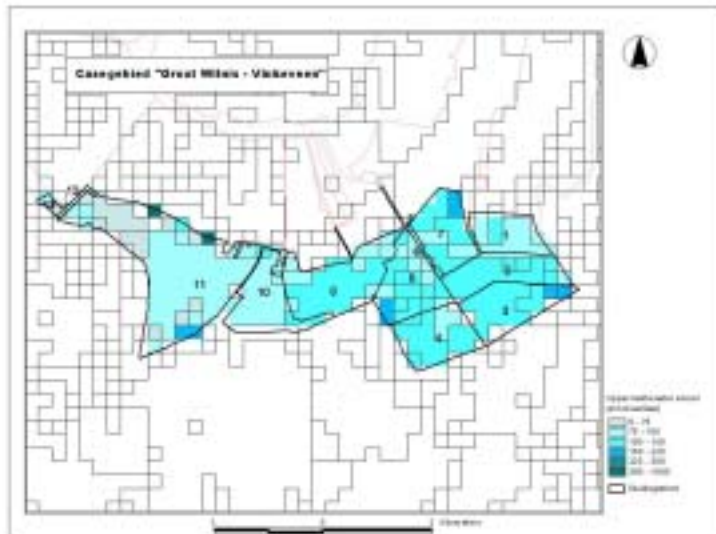
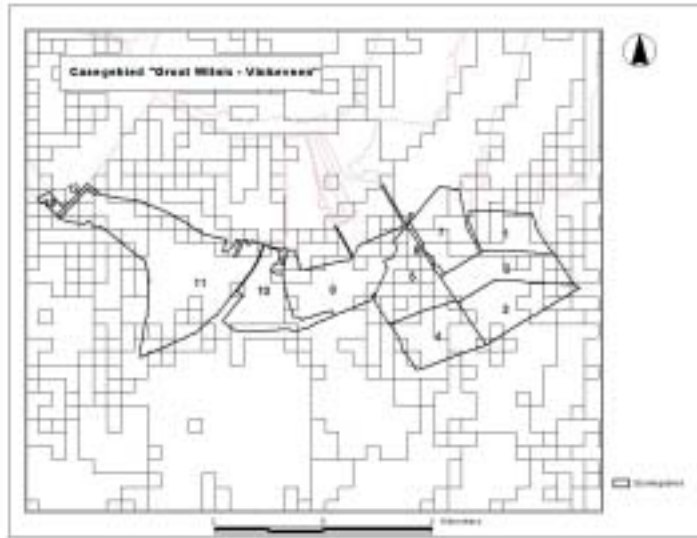
Figuur B4.1: PAWN eenheden

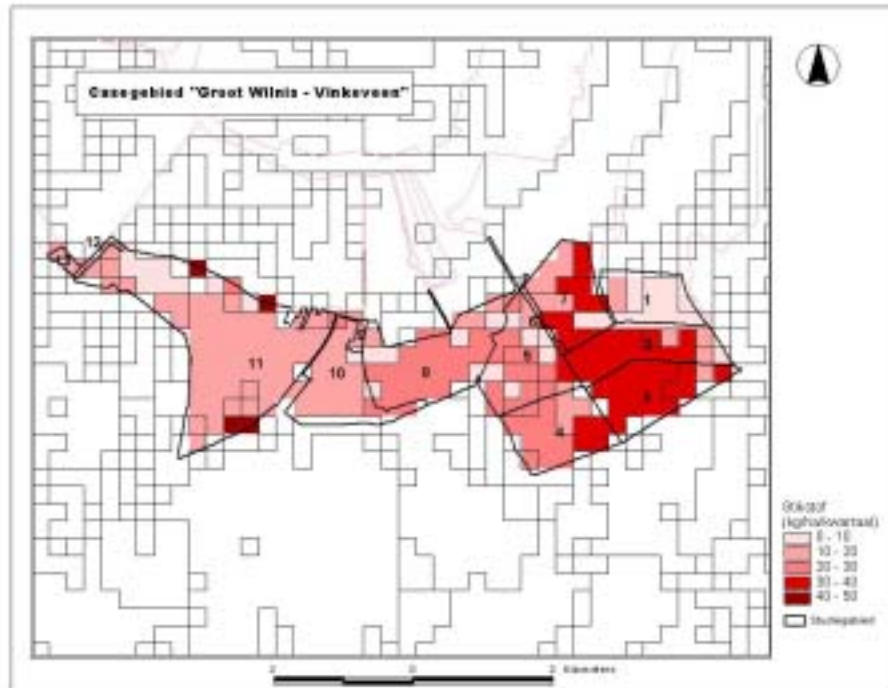


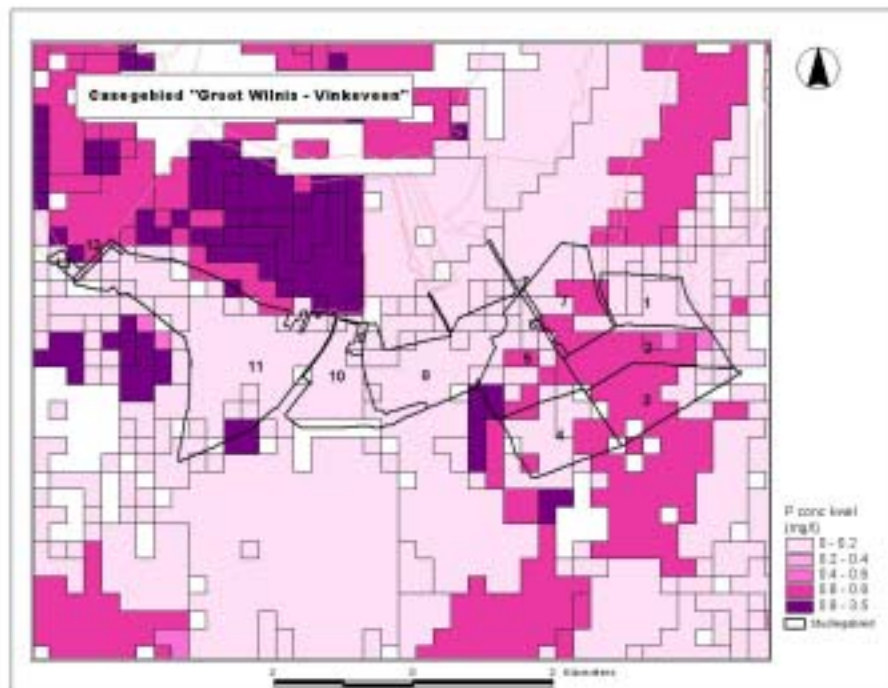
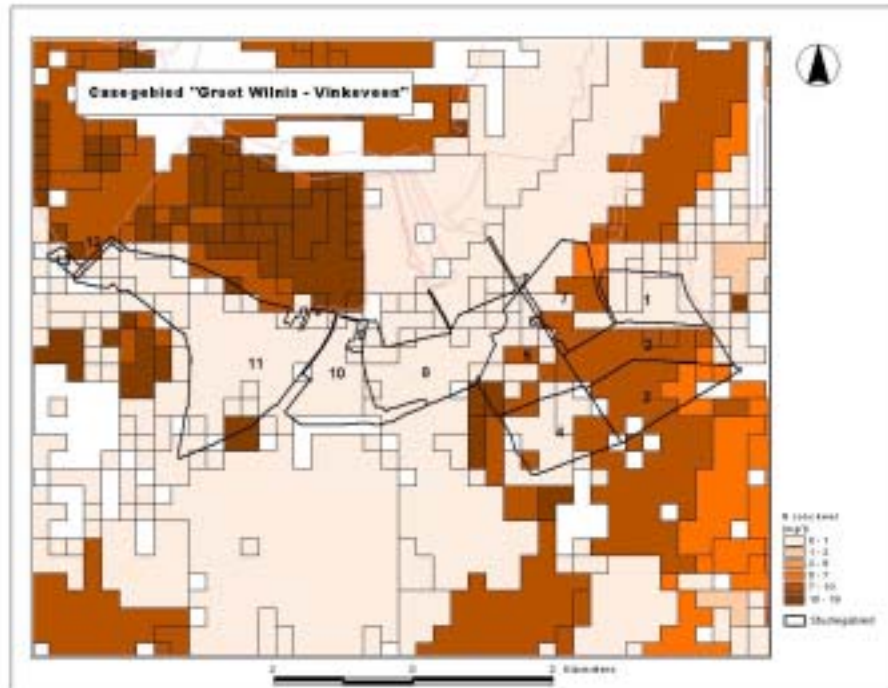
Figuur B4.2: Kwelkaart op 13 m –maaveld

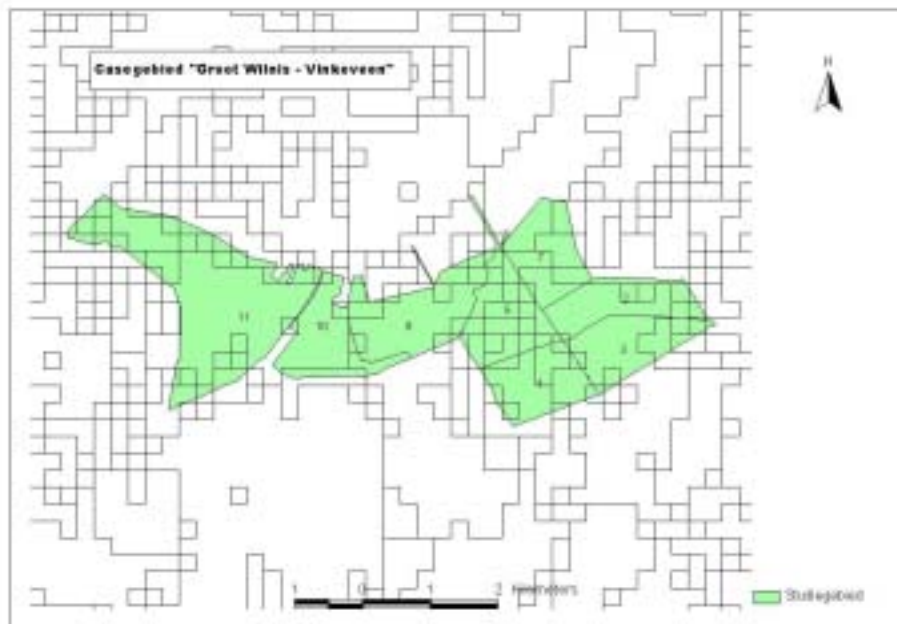
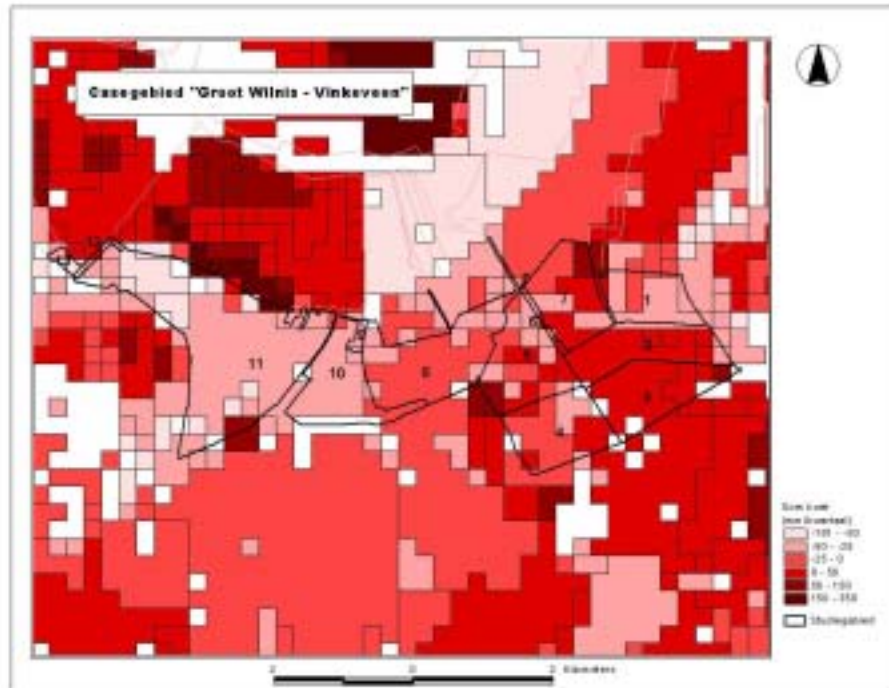
Bijlage 5 Figuren case Groot Wilnis – Vinkeveen

Op de onderstaande kaarten zijn de gegevens van het eerste kwartaal weergegeven.



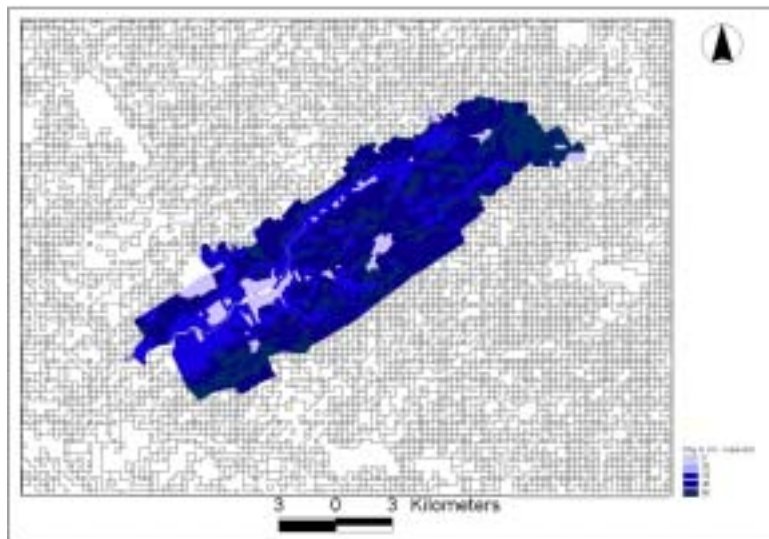
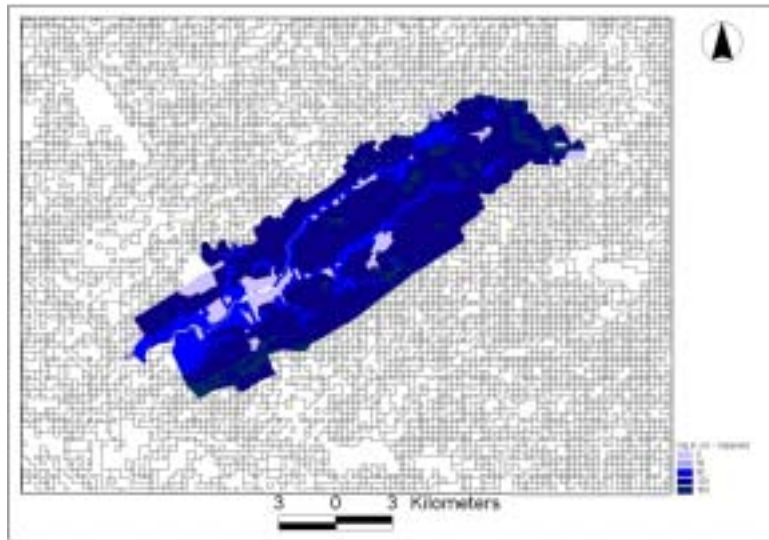






Bijlage 6 Figuren case Linde

In de onderstaande figuren staan de GLG en GHG in het onderzoeksgebied weergegeven.



Op de onderstaande kaarten zijn de gegevens van het eerste kwartaal weergegeven.

