

# TOETSING NUTRICALC AAN GEBIEDSKENNIS EN MEETGEGEVENS



RAPPORT

2011  
**11**

EEN EERSTE VERKENNENDE STUDIE  
TOETSING NUTRICALC AAN GEBIEDSKENNIS EN MEETGEGEVENS

**RAPPORT**

2011

**11**

ISBN 978.90.5773.514.1



# COLOFON

UITGAVE STOWA, Amersfoort, 2011

## AUTEURS

Sebastiaan Schep	Witteveen+Bos
Co Drost	GISwerk
Rikje van de Weerd	Arcadis

## DEELNEMENDE WATERSCHAPPEN

Joost Heijkers	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Ronald Bakkum	Hoogheemraadschap van Delfland
Michelle Talsma	STOWA
Maarten Ouboter	Waternet
Jan Willem Voort	Waternet
Gerrie Roelofs	Waterschap Peel en Maasvallei
Jan Uunk	Waterschap Regge en Dinkel
Annemarie Hoenderboom	Waterschap Rijn en IJssel
Hella Pommarius	Waterschap Rivierenland

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2010-11  
ISBN 978.90.5773.514.1

# TEN GELEIDE

Vanuit de Europese Kaderrichtlijn Water worden eisen gesteld aan de ecologische kwaliteit van watersystemen. Voor het bereiken van deze doelstellingen moeten de juiste maatregelen worden genomen. Hiervoor is kennis noodzakelijk over het ecologisch functioneren van watersystemen.

Het ecologisch functioneren van watersystemen wordt bepaald door verschillende factoren, waaronder de hydrologie, morfologie en belasting met nutriënten. Vooral voor meer stilstaande watersystemen is de nutriëntenbelasting een bepalende factor. Bij een hoge nutriëntenbelasting is sprake van dominantie door algen of kroos, bij een lage nutriëntenbelasting is sprake van een helder plantenrijk systeem.

De af- en uitspoeling van nutriënten bepaalt een belangrijk deel van de nutriëntenbelasting. De behoefte aan kwantificering van deze nutriëntenstroom is groot om inzicht te krijgen in de maatregelen om te komen tot belastingreductie. In deze studie is onderzocht of het model NutriCalc, dat afgeleid is van het nationale modelinstrumentarium STONE kan voorzien in deze behoefte. NutriCalc is hiertoe toegepast in casestudies bij verschillende waterschappen. De ervaringen zijn gezamenlijk geëvalueerd.

Een absolute verificatie van de modelresultaten op basis van fosfaatvrachten binnen de casestudies bleek niet goed mogelijk. Wel kunnen hoge nutriëntenconcentraties in het watersysteem worden gerelateerd aan hoge nutriëntenvrachten uit NutriCalc. Verschillen met metingen kunnen over het algemeen worden toegeschreven aan extreme waarden door de gevoeligheid van het NutriCalc (voor o.a. een hoge kweldruk) en retentie (die gebiedspecifiek is). Door een verbetering van het metamodel of restricties aan gebiedskenmerken kan dit probleem worden ondervangen.

Ondanks onvolkomenheden kan worden geconcludeerd dat NutriCalc een technisch goed toepasbaar en bruikbaar model is. De koppeling met GIS geeft een goed beeld van de ruimtelijke variatie van de af- en uitspoeling van nutriënten. Het model geeft gedetailleerde input voor stofbalansen. Het model kan gebruikt worden bij gebiedsspecifieke analyses. Voor het regionale waterbeheer vormt NutriCalc hiermee een goed alternatief voor STONE.

Amersfoort, 2011

De directeur van de STOWA  
Ir. J.M.J. Leenen

# SAMENVATTING VOOR BELEIDSMAKERS

## WAAROM DEZE STUDIE

Voor veel watersystemen is de af- en uitspoeling van nutriënten uit landbouwgronden de belangrijkste bron van nutriënten. Toch beschikken regionale waterbeheerders niet over modellen, waarmee een goede schatting mogelijk is van de bijdrage van af- en uitspoeling aan de belasting van watersystemen. Het nationale modelinstrumentarium STONE en de Emissieregistratie bieden geen uitkomst.

Een aantal regionale waterbeheerders (waaronder Waternet, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Waterschap Rivierenland) heeft vanaf 2007 ervaring opgedaan met het emissiemodel NutriCalc. NutriCalc is een van STONE afgeleid model, waarmee de af- en uitspoeling van nutriënten regionaal kan worden bepaald op basis van gebiedsspecifieke informatie en relaties uit STONE.

In STONE zit geen goede hydrologie op regionale schaal. Omdat er in STONE wel een goede relatie is ingebouwd tussen hydrologie en af- en uitspoeling (er is veel aandacht gegeven aan processen), kan deze relatie lokaal worden benut. Met de regionale hydrologie kan vervolgens een betere inschatting worden gemaakt van de af- en uitspoeling.

## DOEL VAN DEZE STUDIE

Het doel van deze studie is een toetsing van het emissiemodel NutriCalc (metamodel STONE) door een eerste verkenning aan de hand van gebiedskennis en meetgegevens. Op basis daarvan is beoordeeld of en binnen welke randvoorwaarden het model bruikbaar is voor toepassing binnen het regionaal waterbeheer. De toetsing betreft voornamelijk de betrouwbaarheid van het model. Daarnaast zijn ook andere aspecten onderzocht, zoals gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid.

Het model is ingezet bij nieuwe cases (Hoogheemraadschap van Delfland, Waterschap Rijn en IJssel), bestaande toepassingen zijn geactualiseerd (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland en er is meer aandacht gegeven aan specifieke watersystemen (Bloemendalerpolder, polder de Ronde Hoep, afwateringsgebied van Dam van Brakel). Ten slotte is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De toepassing van NutriCalc is met de betrokken waterbeheerders geëvalueerd. Het model is getoetst op basis van gebiedskennis, vergelijkingen met gemeten concentraties en vergelijkingen met stofbalansen.

## BEVINDINGEN NUTRICALC

Uit deze studie blijkt dat het concept NutriCalc, te weten een metamodel van STONE met een GIS-ondergrond, een technisch goed toepasbaar en tot nu toe enig bruikbaar alternatief voor STONE vormt. NutriCalc kan goed worden toegepast voor de berekening van af- en uitspoeling van nutriënten in een gemiddelde situatie. De resultaten zijn dan in grote lijnen vergelijkbaar met STONE. De bijdrage van snelle afvoerroutes kan niet goed worden bepaald. Met NutriCalc kunnen ruimtelijke verschillen in beeld worden gebracht op een gedetailleerder en voor regionale waterbeheerders relevanter niveau dan STONE. Er zijn nog wel belangrijke aanpassingen nodig, zoals een verbetering van de wijze waarop het model is afgeleid van STONE en een actualisatie van de verouderde STONE database.

### **AANBEVELINGEN VOOR STONE**

De regionale waterbeheerders hechten veel waarde aan STONE. Mede omdat STONE ontwikkeld is voor toepassing op nationaal niveau, is het minder geschikt voor regionale toepassing. Regionale waterbeheerders zouden daarom graag betrokken worden bij verdere ontwikkelingen. Ze onderkennen het belang van aansluiting op nieuwe (kennis)ontwikkelingen, maar zitten tegelijkertijd met een pragmatisch vraagstuk. Voor waterbeheerders is verder STONE-onderzoek 'op de vierkante centimeter' minder relevant, omdat ze nu aan de slag moeten met maatregelen. Het gaat de waterbeheerders om de toepasbaarheid. Aanbevelingen zijn: vereenvoudig het concept, sluit aan bij nieuwe kennis (zoals het belang van snelle afvoer-routes), besteed aandacht aan deelsystemen (hydrologie, bodem en waterkwaliteit), sluit aan bij regionale vragen en voed de modellen met regionale kennis en data.

# 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. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

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 inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstututen 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 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# TOETSING NUTRICALC AAN GEBIEDSKENNIS EN MEETGEGEVENS

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING VOOR BELEIDSMAKERS	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Doelstelling	1
	1.3 Sporenbenadering	2
	1.4 Werkgemeenschap	2
	1.5 Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>NUTRICALC</b>	<b>4</b>
	2.1 Beschrijving NutriCalc	4
	2.2 Invoer NutriCalc	5
	2.3 Toetsing NutriCalc	5



<b>3</b>	<b>SAMENVATTING RESULTATEN</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSIE</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>BEANTWOORDING VRAGEN</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK</b>	<b>17</b>
<b>6.1</b>	Conclusies	17
<b>6.2</b>	Aanbevelingen	18
<b>7</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>21</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	
I	GEVOELIGHEIDSANALYSE	23
II	TOEPASSING NUTRICALC RIVIERENLAND	31
III	TOEPASSING NUTRICALC WATERNET	41
IV	TOEPASSING NUTRICALC HDSR	47
V	TOEPASSING NUTRICALC DELFLAND	49
VI	TOEPASSING NUTRICALC RIJN EN IJSSEL (HUPSELSEBEEK)	55

# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

Afspoeling en uitspoeling van nutriënten uit (voormalige) landbouwgronden bepalen een belangrijk deel van de nutriëntenbelasting van watersystemen, zowel direct (poldersloten) als indirect (kanalen, plassen, etc. benedenstrooms). Het belangrijkste probleem is dat de nutriëntenvrucht moeilijk is te bepalen. Er bestaat dan ook een grote behoefte aan een betere kwantificering hiervan. Een goede inschatting maakt het mogelijk om de bijdrage van deze bron te vergelijken met andere bronnen.

Waterschappen hebben dit jaar in de detailanalyse het maatregelenpakket voor 2015 vastgesteld. Veel waterschappen hebben hierbij gebruik gemaakt van het nationale modelinstrumentarium STONE (Wolf, 2005) of de Emissieregistratie. Met name Waternet heeft uitgebreid ervaring opgedaan met NutriCalc. NutriCalc is een van STONE afgeleid model, waarmee de af- en uitspoeling van nutriënten regionaal kan worden bepaald op basis van gebiedsspecifieke informatie en relaties uit STONE.

In STONE zit geen goede hydrologie op regionale schaal. Omdat er in STONE wel een goede relatie is ingebouwd tussen hydrologie en af- en uitspoeling (er is veel aandacht gegeven aan processen), kan deze relatie lokaal worden benut. Met de regionale hydrologie kan vervolgens een betere inschatting worden gemaakt van de af- en uitspoeling.

Er is landelijk veel discussie over de toepasbaarheid van NutriCalc op lokale schaal. Alterra geeft bijvoorbeeld aan dat een toepassing op regionale schaal onvoldoende betrouwbaar is. De gedachte leeft dat STONE geschikt is om regionale verschillen te beschrijven (tussen hoge zandgronden in Gelderland en Brabant, klei- en veengronden), maar minder geschikt om op lokaal niveau de af- en uitspoeling te kwantificeren. Het afgeleide NutriCalc zou hiervoor dan nog minder geschikt zijn.

Uit een toepassing van NutriCalc in de Bommelerwaard (Rivierenland) is gebleken dat het model erg hoge nutriëntenvruchten berekend. Het model zou gevoelig zijn voor kwel en wegzijging. Met voorliggende verkennende studie wordt het emissiemodel NutriCalc getoetst. Zo wordt meer inzicht verkregen in de bruikbaarheid van het model voor regionale waterbeheerders.

### 1.2 DOELSTELLING

Het doel van deze studie is een toetsing van het emissiemodel NutriCalc (metamodel STONE) door een eerste verkenning aan de hand van gebiedskennis en meetgegevens. Op basis daarvan is beoordeeld of en binnen welke randvoorwaarden het model bruikbaar is voor toepassing binnen het regionaal waterbeheer. De toetsing betreft voornamelijk de betrouwbaarheid van het model. Daarnaast zijn ook andere aspecten onderzocht, zoals gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid.

Een belangrijk neven doel is het uitwisselen van kennis en ervaringen tussen de waterschappen. De afgelopen jaren is hier mede door de grote tijdsdruk (te) weinig aandacht aan besteed. Nu is er ruimte om gezamenlijk op te trekken en van elkaar te leren.

De belangrijkste vragen hierbij zijn:

- voorspelt NutriCalc de P-vracht van de uitspoeling op regionale schaal goed?
- heeft NutriCalc op regionale schaal een meerwaarde ten opzichte van STONE?
- is er voldoende draagvlak onder de werkgemeenschap om te investeren in NutriCalc?
- hoe moet/kan NutriCalc worden verbeterd?
- wat is de geldigheid en bruikbaarheid van NutriCalc?

### 1.3 SPORENBENADERING

Er is uitgegaan van een benadering in 3 sporen (zie verder 2.3):

1. gevoeligheidsanalyse;
2. gebiedsbrede toepassing voor Stichtse Rijnlanden, Delfland en Rivierenland (Bommelerwaard);
3. gebiedsspecifieke toepassing voor Waternet (Bloemendalerpolder, Ronde Hoep), Rivierenland (afwateringsgebied Van Dam van Brakel) en Rijn en IJssel (onderzoeksgedebied Hupselse Beek).

### 1.4 WERKGEMEENSCHAP

Een belangrijk aspect van deze studie is dat het gedragen is door vertegenwoordigers van waterschappen. Hiervoor is een werkgemeenschap gevormd, bestaande uit mensen die het werk uit hebben gevoerd (projectteam) en mensen die data en systeemkennis aan hebben geleverd van systemen die zij kennen (kernteam bestaande uit vertegenwoordigers van waterschappen). Er is uitgegaan van een flexibele benadering en de in de werkgemeenschap en het projectteam aanwezige expertise. Door deze benadering was het mogelijk om in korte tijd een groot aantal cases afkomstig van verschillende beheersgebieden te analyseren.

De werkgemeenschap bestond uit de volgende mensen:

<b>naam</b>	<b>organisatie</b>
Sebastiaan Schep	Witteveen+Bos
Co Drost	GISwerk
Rikje van de Weerd	Arcadis
Joost Heijkers	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Ronald Bakkum	Hoogheemraadschap van Delfland
Michelle Talsma	STOWA
Maarten Ouboter	Waternet
Jan Willem Voort	Waternet
Gerrit Roelofs	Waterschap Peel en Maasvallei
Jan Uunk	Waterschap Regge en Dinkel
Annemarie Hoenderboom	Waterschap Rijn en IJssel
Hella Pommarius	Waterschap Rivierenland

## 1.5 LEESWIJZER

Het resultaat van deze studie is een beknopt rapport met een uitgebreide beschrijving van de gevoeligheidsanalyse en de specifieke toepassingen in de bijlagen. In hoofdstuk 2 is het model NutriCalc toegelicht en is beschreven hoe de resultaten in het algemeen zijn geïnterpreteerd. Hoofdstuk 3 geeft een samenvatting van de resultaten. In hoofdstuk 4 zijn de belangrijkste bevindingen bediscussieerd. In hoofdstuk 5 is antwoord gegeven op de vragen. In hoofdstuk 6 zijn conclusies getrokken met aanbevelingen voor het vervolgtraject.

In bijlage I zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse weergegeven met discussie. In de bijlagen II t/m VI zijn per (en door de) waterbeheerder de verschillende toepassingen van NutriCalc beschreven (Rivierenland (II), Waternet (III), HDSR (IV), Delfland (V), Rijn en IJssel (VI)). Deze bijlagen beginnen met een beschrijving van de invoer van het model. Vervolgens zijn de resultaten weergegeven. In de laatste paragraaf volgt de analyse met een korte discussie.

# 2

## NUTRICALC

### 2.1 BESCHRIJVING NUTRICALC

NutriCalc is een waterkwaliteitsmodule die in de voorgaande versie van het Waternood-instrumentarium werd gebruikt (Aalderink 2003). Het is een metamodel dat is gebaseerd op een multiple regressieanalyse op basis van aan de ene kant de gebiedskenmerken die als invoer zijn gebruikt voor STONE en aan de andere kant de modelresultaten van STONE. Dit maakt het mogelijk om met NutriCalc op basis van gebiedsspecifieke informatie de N- en P-uitspoeling te bepalen.

STONE is het landsdekkende nutriëntenemissiemodel dat ontwikkeld is voor het evalueren van effecten van milieu- en landbouwbeleid op de belasting met stikstof en fosfaat van het grond- en oppervlaktewater. De ontwikkelde metamodellen zijn gebaseerd op de STONE 2.0 simulaties onder bemestingsscenario D. Inmiddels is een verbeterde versie van STONE (versie 2.3) uitgekomen, waarin de hydrologische berekeningen sterk zijn verbeterd ten opzichte van voorgaande versies (door de koppeling Nagrom-Swap).

Voor de ontwikkeling van STONE 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 (Aalderink, 2003).

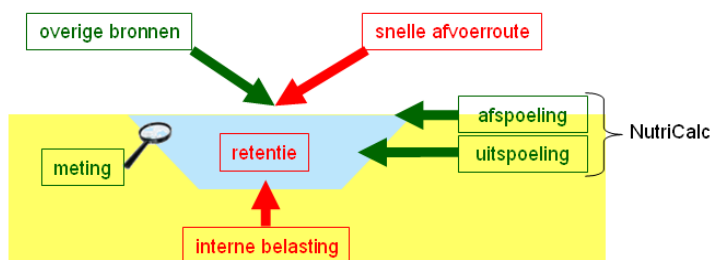
Er zijn metamodellen afgeleid voor de volgende uitvoervariabelen:

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

De berekende oppervlaktewaterafvoer is voor deze studie minder relevant. De N- en P-afvoer naar het oppervlaktewater wel. Binnen deze studie ligt de focus op de P-afvoer (zie kader "P-belasting centraal"). Snelle afvoerroutes worden niet meegenomen (zie afbeelding 2.1).

Van belang is wat NutriCalc precies berekent en waarmee de resultaten vergeleken worden. NutriCalc berekent de af- en uitspoeling van nutriënten op elk denkbaar schaalniveau. In deze studie is uitgegaan van een berekening van de P-afvoer op perceelsniveau. De resultaten zijn beoordeeld op basis van expert kennis, relatieve vergelijkingen van de berekende af- en uitspoeling met gemeten concentraties voor beheersgebieden en absolute vergelijkingen op basis van stofbalansen. Dit laatste is in afbeelding 2.1 geschematiseerd. Belangrijk is dat twee onzekere factoren een rol spelen bij de vergelijking van de berekende af- en uitspoeling met metingen, te weten de retentie in het watersysteem en de interne belasting vanuit de waterbodem. Ook de bijdrage van andere bronnen is onzeker.

AFBEELDING 2.1 SCHEMATISATIE AF- EN UITSPOELING IN RELATIE TOT METINGEN EN ONZEKERHEDEN



### P-BELASTING CENTRAAL

De nadruk van het onderzoek ligt op de P-belasting. Fosfor wordt vaak beschouwd als sleutel-nutriënt in het ecologisch functioneren van watersystemen. Door de hoge N-depositie vanuit de lucht wordt de primaire productie vaak bepaald door de P-beschikbaarheid (Smolders, 2006). Een bijkomend voordeel is dat de P-belasting beter stuurbaar is dan de N-belasting (Jaarsma, 2008). Het verschil in P en N kan wel inzichtelijk zijn. In een NutriCalc studie van Arcadis (2008) bleek het patroon in N uitspoeling door de kwartalen overeen te komen met het patroon van N concentraties. Bij P was er een verschil zichtbaar.

## 2.2 INVOER NUTRICALC

De benodigde invoer van NutriCalc is weergegeven in tabel 2.1. In de bijlagen II t/m VI is per gebied een toelichting opgenomen.

TABEL 2.1

INVOER NUTRICALC

invoervariabele	beschrijving
GLG	gemiddeld laagste grondwaterstand op jaarbasis als absoluut getal (m)
GHG	gemiddeld hoogste grondwaterstand op jaarbasis als absoluut getal (m)
Gewas	Landgebruik op jaarbasis (1=mais, 2=akkerbouw, 3=natuur, 4=gras)
Bodem	21 verschillende bodemtypen op jaarbasis
Kwel13	Kwel op 13 meter op kwartaalbasis (mm/kwartaal)
Wegz13	Wegzijing op 13 meter op kwartaalbasis (mm/kwartaal)
Somkwel	Gedefinieerd als Kwel13 - Wegz12 op kwartaalbasis (mm/kwartaal)
Nckwel13	N-concentratie in de kwel op 13 meter op kwartaalbasis (mg/l)
Pckwel13	P-concentratie in de kwel op 13 meter op kwartaalbasis (mg/l)
SomP	P-voorraad in de bovenste meter op jaarbasis (kg/ha/jr)

## 2.3 TOETSING NUTRICALC

Voor de toetsing van het emissiemodel NutriCalc is uitgegaan van een benadering in 3 sporen.

### SPOOR 1 GEVOELIGHEIDSANALYSE

In dit spoor is specifiek onderzoek gedaan naar gesignaleerde knelpunten aan de hand van een gevoeligheidsanalyse. Hierin is de bijdrage van alle parameters aan de berekende nutriëntenvrachten onderzocht aan de hand van een fictieve dataset met invoergegevens. Deze fictieve dataset is opgebouwd door een random variatie van parameterwaarden binnen een bandbreedte die in bepaalde gevallen ruimer is dan in STONE. Dit heeft geleid tot 32.000 modelberekeningen voor vier kwartalen (in totaal dus 128.000 berekeningen).

**SPOOR 2 GEBIEDSBREDE TOEPASSING**

In dit spoor is NutriCalc voor verschillende gebieden toegepast op perceelsniveau maar op regionale schaal beoordeeld. De gebieden dekken een belangrijk deel van de variatie in gebiedskarakteristieken in het land (onder andere rivierengebied, veenweidegebied, hogere zandgronden). De resultaten zijn beoordeeld op basis van expert kennis, waarbij uitgegaan is van algemene karakteristieken zoals bodemtype (zand, klei, veen), landgebruik (landbouw, natuur) en hydrologie (wegzijging, kwel). Bovendien is een vergelijking gemaakt met gemeten concentraties.

**SPOOR 3 GEBIEDSSPECIFIEKE TOEPASSING**

In dit spoor is NutriCalc meer in detail getoetst door toepassing op een aantal duidelijk afgebakende gebieden. Hierbij zijn voor elk van de gebieden water- en stofbalansen opgesteld. Op basis van deze balansen is een vracht uit het gebied bepaald. Deze is vergeleken met de bij het gemaal gemeten vracht. In de Hupselsebeek is uitgebreid onderzoek gedaan naar nutriëntenstromen (onder andere af- en uitspoeling). NutriCalc kan hierdoor op het meest fundamentele niveau worden onderzocht, namelijk door een directe vergelijking van de met NutriCalc berekende af- en uitspoeling met de in het veld gemeten af- en uitspoeling.

# 3

## SAMENVATTING RESULTATEN

Hieronder zijn de resultaten van het onderzoek samengevat. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in de bijlagen I t/m VI. Het gaat om de gevoeligheidsanalyse (I) en de verschillende toepassingen in het beheersgebied van Rivierenland (II), Waternet (III), HDSR (IV), Delfland (V) en Rijn en IJssel (VI).

### SPOOR 1 GEVOELIGHEIDSANALYSE

De gevoeligheid voor de verschillende parameters is duidelijk verschillend. Het model is vooral gevoelig voor extremen in kwel, GLG/GHG en P-voorraad. De P-voorraad uit STONE, die als invoer is gebruikt, geeft bovendien een overschatting, omdat uitgegaan wordt van een berekende P-voorraad voor de periode 2024-2038. De P-voorraad wordt hoger door meer bemesting.

Daarnaast valt op dat de relatie tussen een bepalende factor en de berekende P-belasting in bepaalde gevallen verschillend is voor de vier kwartalen. Geconstateerd is dat er soms sprake is van het toepassen van 1) foutieve transformaties (gevolg: relaties die fysisch en/of chemisch niet logisch zijn) en 2) een 'overfitting' door het toekennen van een te groot aantal verklarende variabelen. Een voorbeeld van een foutieve transformatie is het kwadraat van kwel (opgenomen in de berekening af- en uitspoeling water in kwartaal 2 en 3 en fosfor in kwartaal 4). Dit betekent dat bij een toename van kwel op een bepaald moment sprake zal zijn van een afname van de vracht P en de hoeveelheid water.

Het verdient aanbeveling om de informatie en ook de methodiek van deze gevoeligheidsanalyse te gebruiken bij een eventuele verbeterde versie van NutriCalc. Het metamodel zou ten slotte opnieuw moeten worden afgeleid. Binnen een zekere bandbreedte (welke in deze studie niet precies is onderzocht) geeft de foutieve afleiding geen grote afwijkingen. Hoe specifieke een gebied, hoe groter de fout wordt als gevolg van deze afleiding.

### SPOOR 2 GEBIEDSBREDE TOEPASSING

Er is uitgegaan van een relatieve vergelijking van de gemeten concentratie met de berekende belasting. In sommige gevallen is uitgegaan van expert kennis. Over het algemeen komen de gebiedsspecifieke verschillen overeen met de verwachting. Er is niet specifiek gekeken naar retentie.

Uit de fosfaatbalans voor de Bommelerwaard (Rivierenland) is geconcludeerd dat de met NutriCalc berekende fosfaatvrachten qua orde grootte overeenkomen met de inschattingen die zijn gemaakt voor de stoffenbalans. Er is sprake van een grote onzekerheid in de stoffenbalans, omdat de uitwisseling tussen deelgebieden niet goed kan worden bepaald. Door deze onzekerheid kan geen uitspraak worden gedaan over de kwaliteit van de uitkomsten in vergelijking met eigen inschattingen of STONE.



In het beheersgebied van Delfland is NutriCalc toegepast op drie gebieden, te weten polder Berkel, Zuidpolder van Delfgauw en de Holierhoekse- en Zouteveensepolder. Voor polder Berkel en de Zuidpolder van Delfgauw geldt dat in de huidige situatie ook andere bronnen van belang zijn. Dit maakt de analyse lastiger. De berekende fosfaatvrachten komen 'aardig overeen' met de verzamelde gegevens. Het is goed mogelijk meetgegevens binnen de polders te reproduceren. De Holierhoekse- en Zouteveensepolder bestaat voor 95 % uit grasland (veenweidegebied). Omdat er slechts beperkt water wordt ingelaten voor peilhandhaving is deze polder bij uitstek de meest geschikte polder om de relatie tussen berekende uitspoelingsgegevens uit de bodem te relateren aan waargenomen stofconcentraties in het oppervlaktewater. De verschillen tussen de afzonderlijke meetlocaties komen qua orde grootte goed overeen met de door NutriCalc berekende waarden.

In het beheersgebied van HDSR is de analyse gedaan voor het gehele beheersgebied. Er is een vergelijking gemaakt met gemeten nutriëntenconcentraties in de winter (wintergemiddelde), omdat dan de invloed van gebiedsvreemd water beperkt is. Uit deze analyse blijkt dat NutriCalc over het algemeen de verschillen tussen metingen goed kan verklaren.

### **SPOOR 3 GEBIEDSSPECIFIEKE TOEPASSING**

Op het schaalniveau van afwateringsgebieden en polders is een vergelijking gemaakt met meetgegevens (debieten, concentraties) bij gemalen of stuwen.

In de Hupselsebeek (Rijn en IJssel) wordt de fosfaatvracht met een factor 3 tot 4 overschat. Dit is deels te verklaren door retentie in het watersysteem die grofweg kan variëren van 39 tot 72 % in laaglandbeken (de Klein, 2008) en het feit dat een vergelijking is gemaakt met slechts één meetjaar (hoewel dit meetjaar juist relatief nat was met als gevolg een vrij lage retentie en daardoor een relatief hoge fosfaatvracht). Verder is dit te verklaren door de gevoeligheid van het model voor minder voorkomende (extremere) waarden. Een beperkt deel van de percelen bepaalt een groot deel van de P-belasting: ruim 10 % van de percelen zorgt bijvoorbeeld voor 50 % van de berekende P-belasting. Als voor dit alles zou worden gecorrigeerd komt de berekende P-belasting veel beter in de buurt van de gemeten P-belasting, ook met een retentie in de orde grootte die overeenkomt met de door De Klein berekende percentages.

Het afwateringsgebied Van Dam van Brakel is hydrologisch geïsoleerd van de overige gebieden binnen de Bommelerwaard en daarom nader geanalyseerd. De aanvoer van kwel is erg groot, waardoor geen water hoeft te worden ingelaten. De met NutriCalc berekende fosfaatvracht is beoordeeld op basis van de resulterende retentie in het gebied. De berekende retentie (80 %) is hoger dan in de andere gebieden binnen de Bommelerwaard (69 %). Met name in het derde kwartaal worden hoge fosfaatvrachten berekend bij een hoge kwelfluxen. De hogere retentie kan worden verklaard uit het feit dat sprake is van een relatief geïsoleerd systeem met een langere verblijftijd in vergelijking met de andere systemen. Jeroen de Klein toont in zijn proefschrift aan dat de retentie in lijnvormige wateren toeneemt bij een langere verblijftijd (de Klein, 2008).

Voor de Ronde Hoep geldt dat de berekende vrachten op basis van de stoffenbalans (met als belangrijkste input NutriCalc) in de buurt liggen van de berekende fosfaatvrachten op grond van de metingen. Er zijn twee verschillende jaren geanalyseerd. In het natte jaar 2002 is sprake van een onderschatting, in het droge jaar 2003 juist van een overschatting. Voor de Bloemendalerpolder leiden de berekeningen met NutriCalc tot een overschatting van zo'n 25 tot 200 % afhankelijk van het kwartaal. De variatie over de kwartalen wordt wel goed gesimuleerd: in het zomerhalfjaar is de fosfaatvracht duidelijk lager dan in het winterhalfjaar. De overschatting kan worden verklaard door retentie. De resultaten van beide deelgebieden zijn niet op perceelsniveau geanalyseerd.

# 4

## DISCUSSIE

De resultaten laten zien dat de verschillen tussen de met NutriCalc en water- en stofbalansen berekende fosfaatvracht en de op basis van metingen ingeschatte fosfaatvracht soms groot zijn. Dit heeft te maken met een aantal factoren. De invloed van deze factoren is globaal onderzocht. Ze worden hieronder verder toegelicht. Mogelijke factoren zijn:

- NutriCalc voorspelt geen juiste fosfaatvracht;
- toetsing en interpretatie meetresultaten
- onzekerheid stofbalans;
- gevoeligheid metamodel;
- onzekerheid invoer;
- retentie.

### **NUTRICALC VOORSPELT GEEN JUISTE WAARDEN**

De meest voor de hand liggende oorzaak van de afwijking tussen de met NutriCalc en water- en stofbalansen berekende fosfaatvracht en de op basis van metingen ingeschatte fosfaatvracht is dat NutriCalc geen juiste fosfaatvracht berekend. Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat de fosfaatvracht op perceelsniveau soms (veel) te hoog is. Dit heeft te maken met de gevoeligheid voor een aantal parameters in het model (zie verder kopje gevoeligheid). Zolang NutriCalc wordt toegepast op percelen met gebiedskenmerken binnen de bandbreedte van het onderliggende model STONE is het resultaat van beide modellen in theorie vergelijkbaar. Dit is niet specifiek onderzocht, maar in het algemeen geven de resultaten van de verschillende gebiedsstudies geen aanleiding om dit ter discussie te stellen. Als er toch sprake is van afwijkingen ten opzichte van STONE, dan ligt de oorzaak hiervan bij de wijze waarop het metamodel is afgeleid (zie kopje metamodel).

### **TOETSING EN INTERPRETATIE MEETRESULTATEN**

De toetsing van NutriCalc is voornamelijk afhankelijk van de kwaliteit van de meetdata. Toetsing is op verschillende manieren mogelijk. Hieronder is aangegeven wat voor- en nadelen zijn, voor welke methode gekozen is en wat de gevolgen van deze keuze zijn voor de onzekerheid in de toetsing.

Directe toetsing van uit- en afspoeling is vrijwel onmogelijk: het is niet mogelijk om uit- en afspoeling op perceelsniveau goed te meten. Hiervoor zou een perceel volgezet moeten worden met meetapparatuur. Zelfs dan spelen plaatselijke factoren die van invloed zijn op snelle oppervlakkige transportroutes nog een grote rol (Rozemeijer, 2008).

Indirecte toetsing door het meten van nutriëntenconcentraties in sloten is ook problematisch: de nutriëntenconcentratie is immers een afgeleide van de externe nutriëntenbelasting, de interne nutriëntenbelasting en systeemspecifieke processen. Binnen een polder kan je nog kiezen tussen enerzijds metingen in de haarvaten van een slotensysteem en anderzijds tussen metingen bij het gemaal waar al het water uit de polder zich verzamelt.

- voordeel van de haarvaten is dat er weinig uitwisseling plaatsvindt met ander water. Nadeel is dat er weinig meetpunten in haarvaten liggen en dat bij het afstromen van oppervlaktewater en uittreden van grondwater naar de sloot chemische processen toch al voor verstoring zorgen. Bovendien zijn plaatselijke verstoringen dan bepalend voor de metingen. De meting is dus niet representatief voor het hele perceel of polder;
- voordeel van een meting bij het gemaal is dat er relatief veel metingen beschikbaar zijn en dat de metingen representatief zijn voor de polder. Groot nadeel is dat er vaak sprake is van retentie in het slootsystemen en soms ook van verstoring door andere bronnen, zoals inlaat van gebiedsvreemd (boezem)water. In combinatie met een goede waterbalans kan op basis van concentratiemetingen een goede inschatting worden gemaakt van de P-vrachten uit de verschillende gebieden. Dit kan worden vergeleken met de berekende P-vrachten op basis van NutriCalc, waarbij gecorrigeerd wordt voor de termen als wegzijging en kwel.

In dit onderzoek is gekozen voor toetsing op basis van waterkwaliteitsgegevens bij gemalen. Dit is vooral een praktische keuze geweest, omdat de waterkwaliteit over het algemeen alleen structureel bij gemalen gemeten wordt. Andere locaties zijn vaak ad hoc bemeten, veel monitoringsdata is daardoor niet geschikt. Het gevolg hiervan is dat bij de toetsing aan de hand van metingen bij gemalen rekening moet worden gehouden met retentie (zie verder kopje retentie). Daarnaast is de meetfrequentie vaak beperkt tot maandelijks metingen, terwijl de P-concentratie in werkelijkheid sterk kan schommelen. Door Rozemeijer (2008) wordt dit duidelijk aangetoond in de Hupselsebeek.

#### **MODELMATIGE TOETSING**

Een modelmatige toetsing was binnen dit onderzoek niet haalbaar en ook niet wenselijk, omdat met een dergelijke toetsing een nieuwe onzekerheid wordt geïntroduceerd. Voordeel van zo'n toetsing is dat beter rekening gehouden met de complexe fysische, chemische en ecologische processen in lijnvormige wateren. Waternet heeft in 2007 goede ervaring opgedaan met een analyse van NutriCalc in combinatie met het voor sloten ontwikkelde ecologisch model PCDitch (Janse 2005). Met NutriCalc is de nutriëntenbelasting berekend, terwijl met PCDitch is bepaald vanaf welke nutriëntenbelasting een watersysteem gedomineerd wordt door kroos (kritische nutriëntenbelasting). Ook in polder Bergambacht is een analyse gemaakt van de effecten van nutriëntenbelasting op de waterkwaliteit, waarbij de modellen SWAP/ANIMO en PCDitch gezamenlijk zijn ingezet (van Liere, 2002).

#### **ONZEKERHEID STOFBALANS**

Het is niet eenvoudig om de met NutriCalc berekende fosfaatvracht te vergelijken met gemeten fosfaatvrachten, omdat bijna altijd sprake is van andere bronnen. In de verschillende studies is daarom altijd een water- en stofbalans opgesteld, waarbij NutriCalc de fosfaatvracht door af- en uitspoeling berekend. De onzekerheid in de berekening van de fosfaatvracht uit andere bronnen is groot. Hoe groter de invloed van andere bronnen, hoe groter de onzekerheid. In de specifiekere analyses is daarom altijd uitgegaan van relatief geïsoleerde systemen. In laag Nederland spelen twee bronnen echter (vrijwel) altijd een rol, te weten kwel en/of inlaat van gebiedsvreemd water. Zowel debieten als bijbehorende P-concentraties zijn vaak moeilijk in te schatten, omdat ze niet of nauwelijks geregistreerd worden (inlaat vindt vaak plaats via stuwtejes). Een andere belangrijke bron is de interne nalevering vanuit de baggerlaag. In veel poldersystemen is sprake van een baggerachterstand. De interne nalevering is vaak onbekend en wordt daarom soms meegenomen als sluitpost in de stofbalans. Als ten slotte ook nog

sprake is van bronnen als particuliere inlaatjes, glastuinbouw, volkstuinten, sportvelden, overstorten etc. en/of als er uitgegaan wordt van doorspoelbeheer (gevolg zeer veel inlaat van gebiedsvreemd water) wordt het nog lastiger om NutriCalc op een betrouwbare manier te toetsen.

### **GEVOELIGHEID METAMODEL**

Bij het onderzoek in de Hupselsebeek is geconstateerd dat er grote verschillen zijn tussen de berekende vrachten in verschillende percelen. De gemiddelde P-vracht wordt sterk bepaald door een beperkt aantal percelen, waarin een zeer hoge vracht wordt berekend. Zonder deze percelen is de met NutriCalc berekende vracht significant lager. Ook in gebieden met een hoge kwelintensiteit, zoals afwateringsgebied Van Dam van Brakel (Rivierenland) en de Bethunepolder en de Horstermeer (Waternet, eerdere analyse), geven de berekeningen met NutriCalc sterke overschattingen van de fosfaatuitspoeling. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt de gevoeligheid van NutriCalc voor bijvoorbeeld een combinatie van een lagere GLG en GHG met een grotere P-voorraad in de bodem en een hoge kwelintensiteit.

De oorzaak van deze afwijkingen ligt deels bij de gekozen bandbreedte van de invoer. In bepaalde gevallen is de bandbreedte groter dan die van STONE. Dit geldt voor kwel, wegzijging en de P-concentratie in kwel. Verder is de kwaliteit van het metamodel ontoereikend. Er zijn te veel parameters opgenomen in het model, er is uitgegaan van onjuiste (fysisch/chemisch niet logische) transformaties en parameters komen vaker binnen het zelfde regressiemodel voor terwijl ze geen toegevoegde waarde hebben. Het gevolg is bijvoorbeeld dat in kwartaal 4 de P-vracht in NutriCalc eerst toeneemt bij toenemende kwel, maar later weer afneemt. Ten slotte is de vraag gerechtvaardigd of de toegepaste regressietechniek wel bruikbaar is voor het ontsluiten van STONE. Verwacht mag worden dat met een nieuw metamodel significante verbeteringen mogelijk zijn.

### **ONZEKERHEID INVOER**

Voor de invoer in NutriCalc worden diverse bronnen gebruikt waarover een vertaal/aggregatie slag plaats vindt om ze te kunnen gebruiken. Ook is de kwaliteit/actualiteit dan wel de geschiktheid van de bron voor de toepassing wisselend. De onzekerheid in invoer kan groot zijn. Dit geldt voor bepaalde gebieden voor de GxG's, kwel en ook SomP. De verschillen kwamen voort uit niet verklaarbare lokale verschillen, het meenemen van onderliggende grondwatermodellen van kwel in sloten en beperkte kwaliteitsindicatie door de waterbeheerder. Dit geldt voornamelijk voor de P-voorraad in de bodem, maar ook voor kwel en wegzijging en de N- en P-concentratie in de kwel. Het voor de P-voorraad gebruikte bestand is verouderd en onvoldoende gedetailleerd. Bovendien is de P-voorraad in STONE, die bij gebrek aan beter als invoer is gebruikt, berekend voor de periode 2024-2038.

Daarnaast speelt ook de wijze van aggregeren van bepaalde invoerbronnen op bijvoorbeeld perceelsniveau een rol. Voor de berekeningen is uitgegaan voor zo eenvoudig mogelijke benadering zonder veel middelingen of filteringen. Hierdoor is zoveel mogelijk recht gedaan om niet vooringenomen bepaalde invoerparameters aan te passen en de modelresultaten te beïnvloeden.

## RETENTIE

De invloed van retentie op de resultaten is niet uitgebreid onderzocht, hoewel de invloed groot is. Retentie beïnvloedt het transport van nutriënten. Onder retentie wordt verstaan het geheel aan verwijderingsprocessen in het watersysteem. Door fysische, chemische en biologische processen is er per definitie sprake van een afwijking van berekende vrachten op basis van metingen (bij gemalen) en berekende vrachten met NutriCalc (belasting vanuit percelen).

Retentie is van belang omdat met NutriCalc de af- en uitspoeling berekend is in de 'uiteinden' van het watersysteem, terwijl over het algemeen een vergelijking is gemaakt met metingen bij gemalen. De retentie is sterk afhankelijk van gebiedskenmerken (verblijftijd, waterplanten), maar ook van de meteorologische condities (neerslag, verdamping, temperatuur) in het meetjaar. De gemiddelde retentie in sloten wordt geschat op 30 tot 50 % (bij korte verblijftijden) en in beekbovenlopen op 50 % (De Klein 2008). Modelberekeningen laten zien dat de retentie in sloten in de zomer kan oplopen tot 90 % bij langere verblijftijden en bij aanwezigheid van waterplanten (indicatieve berekeningen Witteveen+Bos met model nutriëntenretentie De Klein 2008 en PCDitch).

De retentie in sloten en beekbovenlopen is voornamelijk het gevolg van sedimentatie (De Klein 2008). Dit hangt voor een belangrijk deel samen met de verblijftijd. Hoe langer de verblijftijd, hoe hoger de retentie. Ook de aanwezigheid van waterplanten en ijzer(ont)bindende stoffen (onder andere SO<sub>4</sub>, Fe, Al, Ca in water en bodem) beïnvloeden de retentie. De verblijftijd varieert in tijd en ruimte:

- tijd: NutriCalc doet een voorspelling over een langjarige gemiddelde N- en P-vracht. In werkelijkheid meet je momentopnames. De verschillen tussen jaren zijn groot door bijvoorbeeld verschillen in neerslag en temperatuur. In droge jaren zal een groot deel van de af- en uitgespoelde P-vracht in een gebied achterblijven, omdat er dan nauwelijks sprake is van waterafvoer. Het onderzoek in de Ronde Hoep bevestigt dit. De gemeten vrachten verschillen binnen twee (hydrologische uiteenlopende) meetjaren al een factor 2. In de andere gebieden is een vergelijking gemaakt met slechts één meetjaar;
- ruimte: in de geïsoleerde delen van gebieden is de verblijftijd veel langer dan in delen van gebieden dichtbij aan- of afvoerpunten. De retentie in deze delen is dan ook vele malen hoger.

Naast sedimentatie zijn ook de opname en afgifte van nutriënten in het voedselweb (algen, ondergedoken waterplanten, kroos, vis) van belang. Ondergedoken waterplanten kunnen nutriënten opnemen uit het water en (tijdelijk) vastleggen. De nutriënten die door algen worden opgenomen blijven beschikbaar in het water. In natte perioden worden door algen opgenomen nutriënten afgevoerd, terwijl de door planten opgenomen nutriënten achterblijven in het systeem. De ecologische toestand van het watersysteem (dominantie algen, kroos of planten) is dus direct bepalend voor de retentie. Het seizoen speelt daarbij ook een belangrijke rol. Vissen zijn ten slotte door bodemwoeling in staat de in de bodem vastgelegde nutriënten weer beschikbaar te maken in het water. De retentie wordt daar mee verminderd.

# 5

## BEANTWOORDING VRAGEN

### **VRAAG 1: VOORSPELT NUTRICALC DE P-VRACHT VAN DE UITSPOELING OP REGIONALE SCHAAL GOED?**

Deze analyse geeft onvoldoende grond voor een harde uitspraak over het voorspellend vermogen van emissiemodel NutriCalc op regionale schaal. Er zijn te veel onzekerheden. De belangrijkste zijn de retentie, de invloed van droge en natte jaren en het gebrek aan goede metingen. Over het algemeen komen de berekende fosfaatvrachten redelijk overeen met verwachtingen en metingen. Het model is gevoelig voor lokale extremen in kwel en de combinatie GLG/GHG en een hoge P-voorraad. Dit leidt soms tot forse overschattingen van de fosfaatvracht. In een gemiddelde situatie zijn de resultaten in grote lijnen vergelijkbaar met STONE.

### **VRAAG 2: HEEFT NUTRICALC OP REGIONALE SCHAAL EEN MEERWAARDE TEN OPZICHTE VAN STONE?**

NutriCalc heeft als toepassing op regionale schaal een meerwaarde ten opzichte van STONE omdat:

- het gebruiksgemak van NutriCalc vele malen groter is dan dat van STONE. NutriCalc is eenvoudig toepasbaar, voor iedereen toegankelijk en kan worden gekoppeld aan GIS, waardoor resultaten geografisch en op perceelsniveau kunnen worden gepresenteerd. STONE is niet goed toepasbaar;
- de berekening met NutriCalc verlopen snel. STONE is complex;
- het is mogelijk om scenario's door te rekenen door de koppeling met stuurfactoren;
- toepassing van NutriCalc op lokale en/of regionale schaal leidt tot meer begrip van het systeem en het signaleren van knelpunten. Het is dus diagnostisch en biedt een goede basis voor gebiedsspecifieke maatregelen.

### **VRAAG 3: IS ER VOLDOENDE DRAAGVLAK ONDER DE WERKGEMEENSCHAP OM TE INVESTEREN IN NUTRICALC?**

Voordat deze vraag beantwoord kan worden moet onderscheid worden gemaakt in het concept NutriCalc, te weten een metamodel van een onderliggend model en de huidige uitwerking van dit concept, te weten het model dat er nu ligt. De werkgemeenschap staat kritisch ten opzichte van het huidige model NutriCalc, maar wil wel verder investeren in het concept NutriCalc.

Voor waterbeheerders is verder (STONE-)onderzoek 'op de vierkante centimeter' minder relevant, omdat waterbeheerders nu aan de slag moeten met maatregelen. Het gaat de waterbeheerders om de toepasbaarheid. De STONE-ontwikkeling is juist niet gericht op toepassing, maar op inhoudelijk verdieping.

Waterbeheerders kunnen dus niet op deze ontwikkelingen wachten. Bovendien is de oplossingsrichting niet die waar waterbeheerders zelf voor zouden kiezen. Waterbeheerders willen een regionaal, eenvoudig en snel toepasbaar model. De waterbeheerders onderkennen wel het belang van aansluiting op nieuwe (kennis)ontwikkelingen, maar zitten tegelijkertijd met een pragmatisch vraagstuk.

Voor waterschappen is het idee of concept NutriCalc, te weten een metamodel met een GIS-ondergrond op dit moment daarom het enige toepasbare en bruikbare alternatief. Het gaat bovendien niet om de precieze absolute uitkomsten, maar om inzicht in het (hydrologisch, chemisch en ecologisch) functioneren van hun beheersgebied. Het is voldoende als goede schattingen gedaan kunnen worden die gebruikt kunnen worden voor stofbalansen en waterkwaliteitsmodellen en voor de vergelijking van de bijdrage met andere bronnen. Met dat inzicht kunnen gebiedsspecifieke maatregelen worden genomen.

#### **VRAAG 4: HOE MOET/KAN NUTRICALC WORDEN VERBETERD?**

Er moet onderscheid worden gemaakt in korte en lange termijn verbeteringen.

##### **KORTE TERMIJN VERBETERINGEN**

Voor het gebruik van het huidige model NutriCalc op korte termijn stellen we de volgende verbeteringen voor:

- beter en actueler basisbestand P-voorraad voor de periode rond 2010 in plaats van 2024-2038;
- begrenzing van het model voor uitschieters en vreemde combinaties, bijvoorbeeld op basis van 95-percentiel.

Een nadeel van NutriCalc is dat de resultaten moeilijk te interpreteren zijn. Met een beknopte handleiding (eenvoudige praktijkrichtlijnen) is dit te ondervangen. Daarin staan:

- korte omschrijving van de toepasbaarheid met verwijzing naar achtergrond documentatie;
- beschrijving hoe om te gaan met invoer parameters (praktisch);
- beschrijving achterliggende formules;
- beschrijving van de te doorlopen stappen en kanttekening per stap;
- beschrijving van de interpretatie uitvoer (wat is het resultaat en hoe te interpreteren).

Daarnaast is het model nog lastig toe te passen. Dit kan worden ondervangen door een eenvoudige (al ontwikkelde) tool, waarmee op basis van shapefiles NutriCalc is door te rekenen;

##### **LANGE TERMIJN VERBETERINGEN**

Voor de lange termijn zijn verschillende oplossingen mogelijk:

- verbetering onderliggend model: verbeteringen van het onderliggend model leiden automatisch tot een verbetering van het metamodel. In eerste instantie moet worden ingezet op verbetering van STONE. Om inzicht te krijgen in de potentiële verbetering kan op korte termijn al een nieuwe update van NutriCalc worden gemaakt op basis van data uit de laatste STONE-versie. Deze data is al beschikbaar, dus kost relatief weinig tijd en geld;
- verbetering afleiding metamodel: voor het afleiden van het metamodel is een gedegen statistische analyse en validatie vereist. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt immers dat het model zeer gevoelig is voor lokale extremen. Geconstateerd is dat er te veel factoren in het regressiemodel zijn opgenomen en relaties gebruikt zijn die fysisch en/of chemisch niet



verklaarbaar zijn. Het ligt voor de hand om een nieuw regressiemodel af te leiden met minder factoren of uit te gaan van andere technieken. Een voorbeeld van een alternatieve techniek is een ‘white box’ neuraal netwerk. Dit type neuraal netwerk is beter in staat relaties te voorspellen. Bovendien is een goede interpretatie van uitkomsten mogelijk (in tegenstelling tot black-box neuraal netwerken);

- afstemmen parameters op regionaal waterbeheer: kwel en wegzijging op 13 meter diepte moeten bijvoorbeeld worden vervangen door kwel en wegzijging op 1 meter diepte.

Voor een goede toetsing van het model is verder een betere inschatting nodig van de retentie. Hiervoor is een veel uitgebreidere analyse nodig (meer gebieden, meer meetjaren). Een eerste actie zou kunnen zijn om de retentie als gevolg van droge en natte jaren beter in te schatten. Dit is wellicht mogelijk op basis van (reeds bestaande) waterbalansen.

#### **VRAAG 5: WAT IS DE GELDIGHEID EN BRUIKBAARHEID VAN NUTRICALC?**

De studie biedt zoals gezegd onvoldoende grond om te toetsen of het mogelijk is om met NutriCalc de absolute fosfaatvrucht uit percelen te berekenen. Dit geldt voornamelijk voor de gedetailleerde toepassingen (Ronde Hoep, Bloemendalerpolder, Hupselse Beek, Afwateringsgebied van Dam van Brakel): 1) langjarige tijdreeksen ontbreken, waardoor geen goede vergelijking mogelijk is met de langjarige voorspelling die NutriCalc doet en 2) de gebieds-specifieke retentie is een black box, waar door de (keuze voor) geringe diepgang van deze studie nog onvoldoende inzicht in is ontstaan.

De regionale toepassingen op het niveau van beheersgebieden (Bommelerwaard, beheersgebied HDSR en eerdere analyse Waternet) die beoordeeld zijn op basis van gebiedskennis laten zien dat NutriCalc de regionale verschillen inzichtelijk maakt en helpt om het watersysteem als geheel beter te begrijpen.

# 6

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK

### 6.1 CONCLUSIES

Het doel van deze studie is een toetsing van het emissiemodel NutriCalc (metamodel STONE) door een eerste verkenning aan de hand van gebiedskennis en meetgegevens. Op basis daarvan is beoordeeld of en binnen welke randvoorwaarden het model bruikbaar is voor toepassing binnen het regionaal waterbeheer. De toetsing betreft voornamelijk de betrouwbaarheid van het model. Daarnaast zijn ook andere aspecten onderzocht, zoals gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid.

Een absolute verificatie van de modelresultaten op basis van fosfaatvrachten is binnen deze studie niet goed mogelijk gebleken. Dit heeft te maken met verschillende factoren, waarvan het gebrek aan goede meetgegevens en (de keuze voor) het gebrek aan diepgang binnen deze verkennende studie de belangrijkste zijn: 1) er is sprake van onzekerheid in de invoer van systeemkenmerken, 2) de bruikbare meetpunten in afwateringsgebieden liggen vaak in de buurt van gemalen of andere kunstwerken, waardoor retentie in het watersysteem en andere bronnen van invloed zijn op de berekende fosfaatvracht, 3) er is onvoldoende inzicht in de retentie en de invloed van andere bronnen binnen afwateringsgebieden, 4) de meetfrequentie is beperkt tot maandelijks metingen, waardoor hogere P-concentraties vaak niet gemeten worden, 5) er is niet gewerkt met langjarige meetreeksen, terwijl neerslag en verdamping een belangrijke invloed hebben op de berekende fosfaatvracht.

Een relatieve verificatie op basis van gebiedskennis heeft wel een beeld gegeven van de betrouwbaarheid van het model. Over het algemeen geeft het model resultaten die overeenkomen met het beeld van de regionale waterbeheerders. Verschillen met metingen kunnen over het algemeen worden toegeschreven aan extreme waarden door de gevoeligheid van het model en retentie. Het model is gevoelig voor specifieke factoren, waaronder GLG en GHG, kwel en de P-voorraad in de bodem. Dit is bevestigd door de gevoeligheidsanalyse. Door een verbetering van het metamodel of restricties aan gebiedskenmerken kan dit probleem worden ondervangen. Ten slotte zou de retentie beter in beeld moeten worden gebracht. Dit kan met het door Jeroen de Klein (de Klein, 2008) ontwikkelde retentiemodel voor nutriënten en het ecologische model PCDitch (Janse, 2005).

Hoewel het emissiemodel NutriCalc op een aantal punten kan worden verbeterd is gebleken dat het model praktisch gezien een goed toepasbaar instrument is. Het is zeer snel in tegenstelling tot veel andere modellen en door de koppeling met GIS geeft het een goed beeld van de variatie van de af- en uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater binnen het beheersgebied. Het model geeft gedetailleerde input voor stofbalansen. Het gebruik leidt tot vragen en zet aan tot gebiedsspecifieke analyses en kennis. Dit is bijvoorbeeld van belang voor het nemen van kosteneffectieve maatregelen die vereist zijn voor het behalen van doelstellingen voor de KRW.

Dit alles in overweging nemende is geconcludeerd dat het concept NutriCalc, te weten een metamodel van STONE of een ander model met een GIS-ondergrond, een technisch goed toepasbaar en (tot nu toe enig) bruikbaar alternatief voor STONE vormt. Het gaat de waterbeheerders enerzijds niet om precieze absolute uitkomsten, maar om inzicht in het (hydrologisch, chemisch en ecologisch) functioneren van hun beheersgebied. Met dat inzicht kunnen degelijk onderbouwde gebiedsspecifieke maatregelen worden genomen. Anderzijds is voor de waterbeheerders een schatting/berekening nodig die voldoende betrouwbaar is voor het gebruik in stofbalansen en waterkwaliteitsmodellen en voor het vergelijken met andere bronnen. Hiervoor lijkt Nutricalc nog niet voldoende nauwkeurig in alle omstandigheden.

Regionale waterbeheerders willen een regionaal, eenvoudig en snel toepasbaar model. De waterbeheerders onderkennen wel het belang van aansluiting op nieuwe (kennis)ontwikkelingen, maar zitten tegelijkertijd met een pragmatisch vraagstuk. Voor waterbeheerders is verder STONE-onderzoek 'op de vierkante centimeter' minder relevant, omdat ze nu aan de slag moeten met maatregelen. Het gaat de waterbeheerders om de toepasbaarheid.

De kritiek die Alterra heeft op de toepassing van STONE of afgeleide instrumenten om op regionale schaal fosfaatvrachten te kwantificeren is begrijpelijk. Er zijn echter geen bruikbare alternatieven voorhanden. De betrouwbaarheid is belangrijk, maar ook andere aspecten wegen mee. Met name de eenvoudige toepasbaarheid heeft de doorslag gegeven. De betrouwbaarheid moet worden geborgd door een begrenzing van het model voor extremen en door een goede handleiding met eenvoudige praktijkrichtlijnen, zodat gebruikers de modelresultaten op waarde kunnen schatten.

## 6.2 AANBEVELINGEN

Het concept NutriCalc, te weten een metamodel van STONE of een ander model met een GIS-ondergrond, vormt zoals gezegd een goed toepasbaar en (enig) bruikbaar alternatief voor STONE. Deze studie is echter verkennend van opzet geweest, waardoor een goede verificatie niet mogelijk is gebleken. De verschillende knelpunten zijn eerder in het rapport benoemd. Aanbevolen wordt om deze studie een vervolg te geven, zodat meer inzicht ontstaat in de in deze studie geïdentificeerde onzekerheden. Verdere verbeterpunten zijn opgenomen onder vraag 4 in hoofdstuk 5.

### **METEN, METEN, METEN**

De toetsing van het model zou in het vervolg gericht moeten worden op het niveau van afwateringsgebieden. Er moeten (veel) meer (verschillende) gebieden worden geselecteerd, waarvan langjarige tijdreeksen beschikbaar zijn. Dit geeft meer inzicht in de hydrologische retentie (verschillen per jaar), maar ook in de chemische en ecologische retentie die afhankelijk zijn van gebiedsspecifieke kenmerken. Er kan hierbij gebruik worden gemaakt van modellen als PCDitch of het door de Klein ontwikkelde retentiemodel, maar ook van eenvoudig te bepalen gebiedsspecifieke factoren als het percentage open water. Knelpunt blijft dat het aantal meetlocaties beperkt is. Hier valt op korte termijn weinig aan te doen.

Verder is het goed om nog eens aandacht te vragen voor het belang van metingen: onder andere hoogfrequente P-metingen in plaats van niet representatieve maandelijkse metingen, niet alleen metingen bij gemalen maar op meer plaatsen in een watersysteem (bijv. haarvaten, grondwaterkwaliteit) en metingen random in tijd en ruimte in plaats van vaste punten en

vaste tijdstippen. De berekende vrachten kunnen nu niet goed getoetst worden aan gemeten vrachten, omdat de gemeten vrachten geen goed beeld geven van de werkelijkheid.

Zonder betrouwbare kalibratiereeksen kan de achterliggende theorie in de toegepaste modellen wel goed zijn, maar zullen de uitkomsten nooit overeen kunnen komen met metingen en waarnemingen. In de bestaande instrumenten zit veel kennis over de processen, maar veel van deze instrumenten vragen om een te groot aantal moeilijk te meten of te schatten gebiedspecifieke invoerparameters, waardoor de uitkomsten ook steeds minder betrouwbaar worden. Er moet bijvoorbeeld meer energie gestoken worden in het begrijpen van af- en uitspoelingprocessen in klei-, veen- of zandgebieden (met kwel en/of wegzijging) in relatie tot de bemestingstoestanden.

Op de lange termijn zouden grootschalige meetprojecten moeten worden opgestart om het model te valideren op basis van regionale hydrologische data en lokale metingen. Om meer inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van het model zou het model op verschillende gebieden en op verschillende schaalniveaus moeten worden toegepast, dus op perceels-, peilvak- en polderniveau en in polders met zowel kwel- als wegzijging. Daarbij kan bijvoorbeeld samenwerking worden gezocht met WLTO en andere belangenorganisaties.

#### **NIEUW METAMODEL**

Er zijn belangrijke verbeteringen mogelijk in het metamodel. Het huidige metamodel bevat te veel en vaker voorkomende parameters (in verschillende transformaties). De toegepaste transformaties zijn niet altijd zinvol en introduceren zelfs fouten, omdat de resulterende relaties niet fysisch/chemisch verklaarbaar zijn (voornamelijk buiten de bandbreedte van STONE). Tegenwoordig zijn bovendien betere technieken beschikbaar om dergelijke modellen af te leiden (zogenaamde 'white box neurale netwerken'). Op basis van de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse wordt verwacht dat een verbetering van het metamodel een aanzienlijke verbetering geeft van berekende fosfaatvrachten.

#### **TOETSING MET BEHULP VAN PCD<sub>ITCH</sub> / RETENTIEMODEL DE KLEIN**

De toetsing van de fosfaatvracht door af- en uitspoeling uit percelen wordt bemoeilijkt door verschillende onzekerheden. Naast de onzekerheid in de invoer zijn de onzekerheden het gevolg van de toetsing aan de hand van metingen bij gemalen of andere kunstwerken. Er is sprake van een black box. Ten slotte introduceert de frequentie van meten een extra onzekerheid. Dit knelpunt kan worden omzeild door toetsing van NutriCalc met behulp van modellen als PCDitch of het retentiemodel van De Klein (2008). Met het retentiemodel van De Klein kan een inschatting worden gemaakt van de retentie op basis van onder andere verblijftijd en aanwezigheid van waterplanten.

PCDitch is een ecologisch model voor sloten, waarbij de fosfaatvracht (of belasting) als input wordt gebruikt. Met PCDitch wordt voorspeld of een sloot gedomineerd is door algen, kroos of waterplanten. Dit kan worden vergeleken met de werkelijke situatie die vaak bekend is. Nadeel is dat een tweede modelnauwkeurigheid wordt geïntroduceerd. De combinatie van NutriCalc met het percentage open water (die samen de nutriëntenbelasting op het open water bepalen) in combinatie met de kritische belasting (die met PCDitch kan worden bepaald) biedt ook een goed bruikbaar diagnostisch kader. Deze benadering is niet uitgebreid onderzocht, omdat de focus van het onderzoek anders lag, maar Waternet heeft goede ervaringen met het gecombineerde gebruik van modellen opgedaan. De gebiedsanalyses met NutriCalc en PCDitch ten behoeve van de KRW detailanalyse binnen Waternet hebben geresulteerd in

een beeld dat consistent is met het praktijkbeeld: gebieden met hoge fosfaatuitspoelingen volgens NutriCalc en lage percentages open water zijn voedselrijk met een sterke mate van kroosbedekking. In zijn huidige vorm is NutriCalc in combinatie met PCDitch dus al een waardevol instrument gebleken. Het is een benadering die past bij de werkelijkheid, waarin waterbeheerders op dit moment moeten manoeuvreren

#### **AANBEVELINGEN VOOR STONE**

De regionale waterbeheerders hechten veel waarde aan STONE. De voorspellende waarde van NutriCalc is bovendien direct afhankelijk van de kwaliteit van STONE. Mede omdat STONE ontwikkeld is voor toepassing op nationaal niveau, is het voor regionale toepassing minder geschikt. De regionale waterbeheerders zouden daarom graag betrokken worden bij verdere STONE-ontwikkelingen. Hieronder volgen daarom een aantal concrete aanbevelingen vanuit de regionale waterbeheerders:

- 1 het huidige STONE-concept sluit onvoldoende aan bij nieuwe kennis (bijv. het belang van snelle afvoerroutes), het gewenste detailniveau en is gebaseerd op te complexe onderliggende modellen. Er is een nieuw concept nodig, waarbij onderliggende modellen worden vervangen of modellen worden toegevoegd: onder andere koppeling met een oppervlaktewaterkwaliteitsmodule (NUSWA, SOBEK WQ of PCDitch), aansluiting bij het NHI, koppeling met GIS;
- 2 calibreer en valideer de afzonderlijke deelsystemen (hydrologie, oppervlaktewaterkwaliteit, bodemkwaliteit), zodat je echt weet waar de onnauwkeurigheden ontstaan;
- 3 leidt per relevante combinatie van bodemtype (klei, veen, zand) en landgebruik een meta-model af, dat qua gebruiksgemak en output overeenkomt met NutriCalc. Dus afzonderlijke modellen, rekening houdend met regionale verschillen;
- 4 zorg bij de voeding van de onderliggende modellen en bij de validatie voor regionale kennis en data en sluit aan bij regionale vragen.

# 7

## LITERATUUR

Aalderink, R.H., van Bakel, P.J.T., Bastiaanssen, M.A., Drost, C., Goedhart, P., Nieuwenhuis, R.A., Oenema, O., Ouboter, M.R.L., Schoumans, O. 2003. Waterkwaliteit in Waterlood. STOWA nr. 2003,02. Utrecht.

Arcadis. 2008. Studie Bommelerwaard.

Jaarsma, N.G., Klinge, M. en L. Lamers, 2008. Van helder naar troebel... en weer terug. STOWA nr. 2008.04. Utrecht.

Janse, J.H., 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches, proefschrift, Wageningen Universiteit

Klein, J.J.M. de, 2008. From ditch to delta: nutrient retention in running waters, proefschrift, Wageningen Universiteit

Liere van, L., Janse, J., Jeuken, M. en P. Puijenbroek van, 2002. Effect of nutrient loading on surface waters in polder Bergambacht, The Netherlands, Agricultural Effects on Ground and Surface Waters: Research at the Edge of Science and Society (Proceedings of a symposium held at Wageningen, October 2000).

Rozemeijer, J. en Y. Velde van der. 2008. Oppervlakkige afstroming ook van belang in het vlakke Nederland. H2O 19: 92-94.

Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers en J. Roelofs. 2006. De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. Vakblad voor Natuur, Bos en Landschap 3 (4): 5-11.

Wolf, J., A. Beusen, P. Groenendijka T. Kroon, R. Rötter and H. van Zeijts. 2005., The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modeling and Software 18, 597-617.



## BIJLAGE 1

# GEVOELIGHEIDSANALYSE

## I.1 INLEIDING

Voor deze studie zijn drie sporen uitgewerkt. In dit hoofdstuk zijn de resultaten gepresenteerd van het derde spoor de gevoeligheidsanalyse. Het doel is een indicatie van de gevoeligheid van de berekende nutriëntenfluxen als functie van de verschillende parameters.

## I.2 METHODETTT

NutriCalc berekent drie fluxen, te weten water, totaal N en totaal P. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in vier kwartalen. Voor de gevoeligheidsanalyse zijn de verschillende invoerparameters van het emissiemodel NutriCalc random gevarieerd binnen de bandbreedte, zoals gegeven in tabel I.1. De GHG is tevens een functie van de GLG, zodat de GHG nooit hoger is dan de GLG. Het aantal gecombineerde variaties bedraagt 32.000. De bandbreedte is groter dan in STONE. Verder is gekeken naar de verschillen in berekende nutriëntenfluxen in de verschillende kwartalen.

TABEL I.1 BANDBREEDTE INVOERPARAMETERS GEVOELIGHEIDSANALYSE EMISSIEMODEL NUTRICALC

parameter	eenheid	analyse laag	analyse hoog	STONE laag	STONE hoog
GLG	m	0.16	6.54	0.16	6.54
GHG	m	0.00	5.42	0	5.42
Lgn2	-	1	4	1	4
Bodemall	-	1	21	1	21
Kwel13	mm/kwartaal	0.00	900	0	338.38
Wegz13	mm/kwartaal	0.00	482	0	181.34
Somkwel	mm/kwartaal	n.v.t.	n.v.t.	-181.34	338.38
Nckwel13	mg/l	0.00	50	0	18.64
Pckwel13	mg/l	0.00	10	0	3.5017
Somp	kg/ha,j	200	13275	199.8	13275

Bekend is dat de berekening van de waterflux niet voldoende betrouwbaar is. In deze gevoeligheidsanalyse ligt de nadruk op de P-flux.

## I.3 RESULTATEN

De resultaten zijn in onderstaande afbeelding I.1 t/m I.9 en tabel I.2 weergegeven. In de afbeeldingen zijn boxplots weergegeven voor de relatie tussen de parameters enerzijds en de P-flux anderzijds. De boxplots bestaan uit de mediaan (vierkant) en respectievelijk de 25 en 75 percentiel-waarde. Verder is in afbeelding I.10 een frequentieverdeling gepresenteerd.

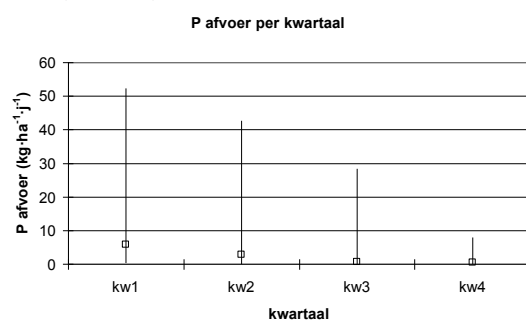
In afbeelding I.1 en tabel I.2 is de variatie in P-fluxen te zien over de vier kwartalen. Er is een duidelijke relatie met de vier kwartalen. In het eerste kwartaal zijn de berekende P-fluxen het hoogst. In het tweede kwartaal, derde en vierde kwartaal zijn de berekende P-flux steeds lager.



Vooral in het vierde kwartaal is de flux altijd (relatief) laag. Verder laat de tabel zien dat er ook veel extreme modeluitkomsten gegenereerd worden binnen de gehanteerde bandbreedte, hoewel dit een beperkt deel van de modeluitkomsten betreft.

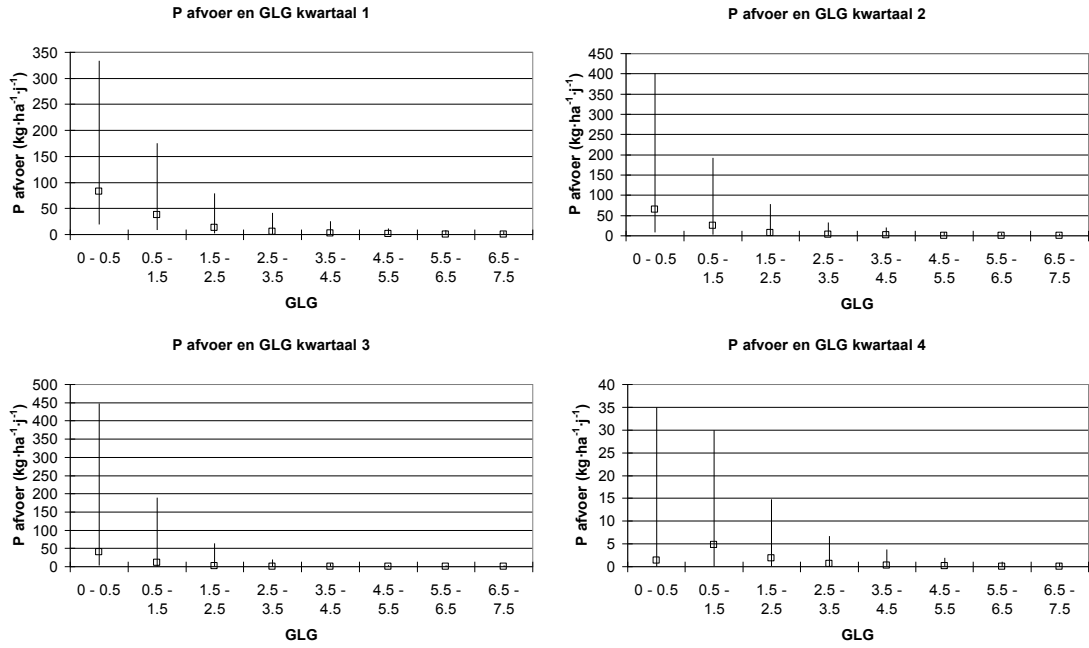
De gevoeligheid voor de verschillende parameters is duidelijk verschillend, hoewel de gehanteerde bandbreedte per parameter hier ook op van invloed is. Daarnaast valt op dat de relatie per kwartaal soms verschillend is. Factoren die gevoelig reageren zijn (in afnemende volgorde) met name kwel (vooral kwartaal 3 laat extreme waarden zien bij een kwel van 6 mm/d en hoger), maar ook de GLG en in mindere mate de GHG, de P-concentratie in de kwel (vooral in kwartaal 1 is een sterke toename te zien van de P-flux bij een toenemende kwelconcentratie) en het bodemtype (hier is kwartaal 3 juist niet gevoelig, verder is de relatie met de verschillende typen per kwartaal verschillend).

In afbeelding I.10 is een indicatie te zien van de werkelijke spreiding. Voor de GHG in kwartaal 4 is dit een mooie verdeling. In veel andere gevallen is deze verdeling veel minder duidelijk. Het gaat erom dat de spreiding zeer groot is. Dit betekent dat een combinatie van parameters met een afwijkende waarde kan leiden tot een zeer hoge waarde voor de P-flux. Opgemerkt moet worden dat de bandbreedte voor deze studie wel erg groot is. In de praktijk zullen de extreme waarden dan ook niet voorkomen.

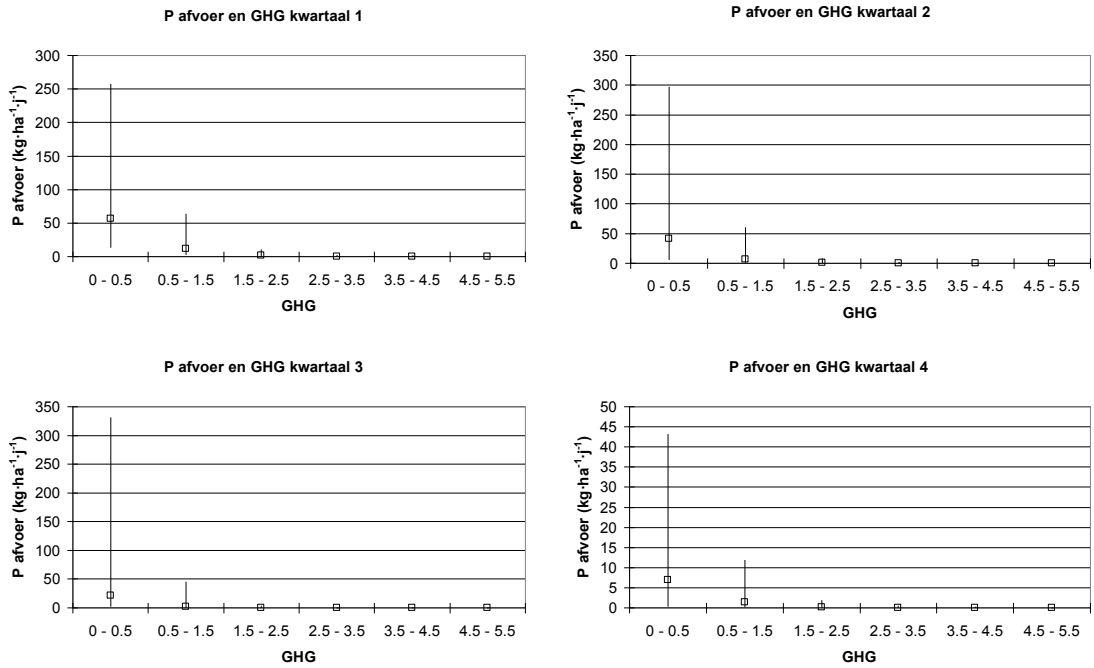
AFBEELDING I.1 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAALTABEL I.2 VERDELING P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAA

kwartaal	25p	50p	75p	90p	95p	maximum	gemiddelde	scheefheid	stdev
kw1	0.4	5.8	52	306	860	318886	383	39	4526
kw2	0.1	2.9	43	377	1281	369470	712	26	7807
kw3	0.0	0.6	28	668	3893	399147	2494	13	19582
kw4	0.0	0.4	8	50	138	203726	144	45	2914

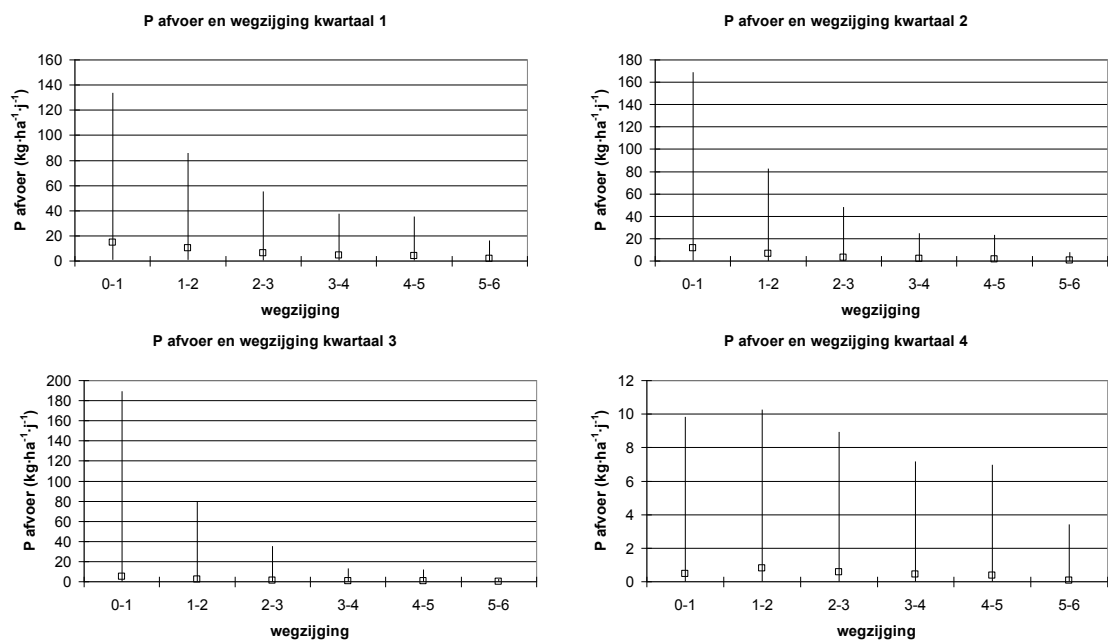
AFBEELDING I.2 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT GLG



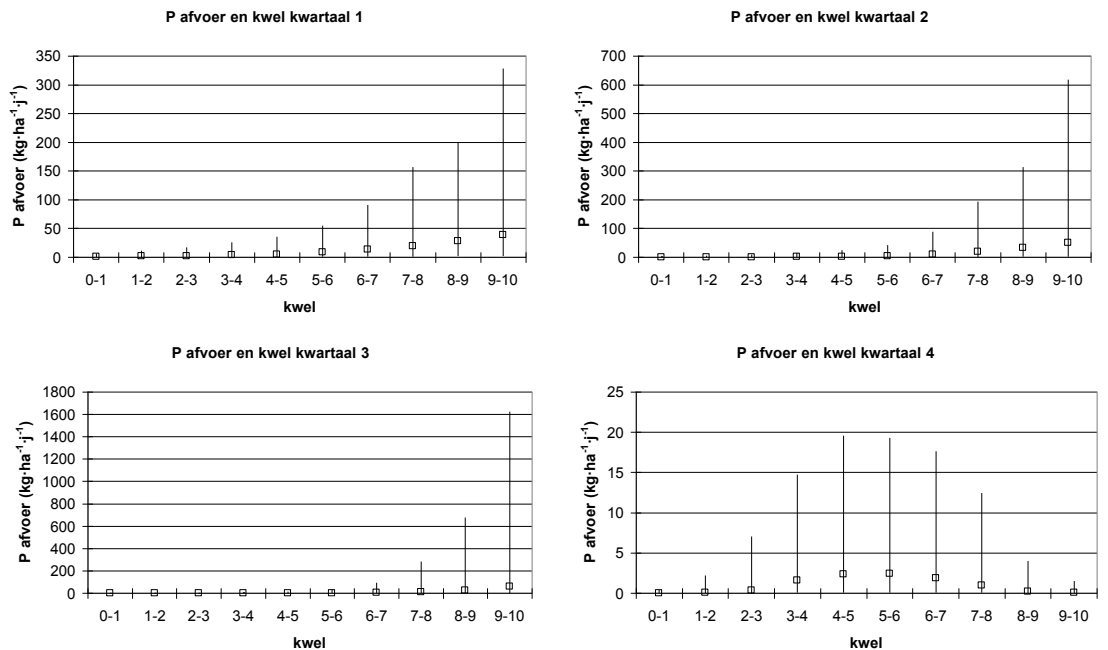
AFBEELDING I.3 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT GHG



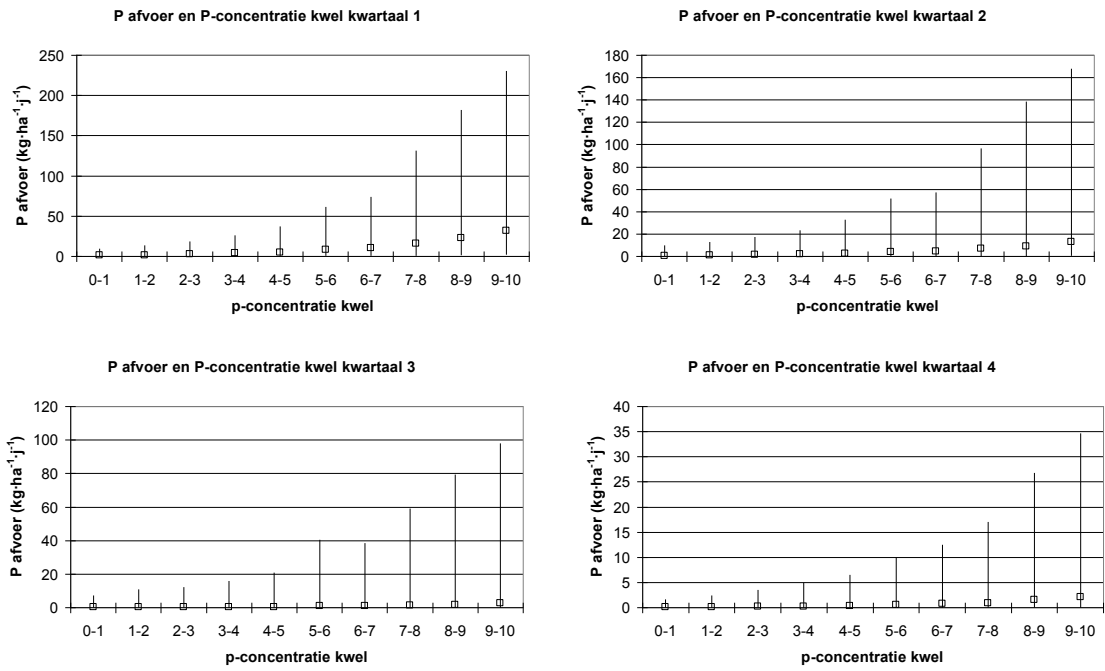
AFBEELDING I.4 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT WEGZIJGING



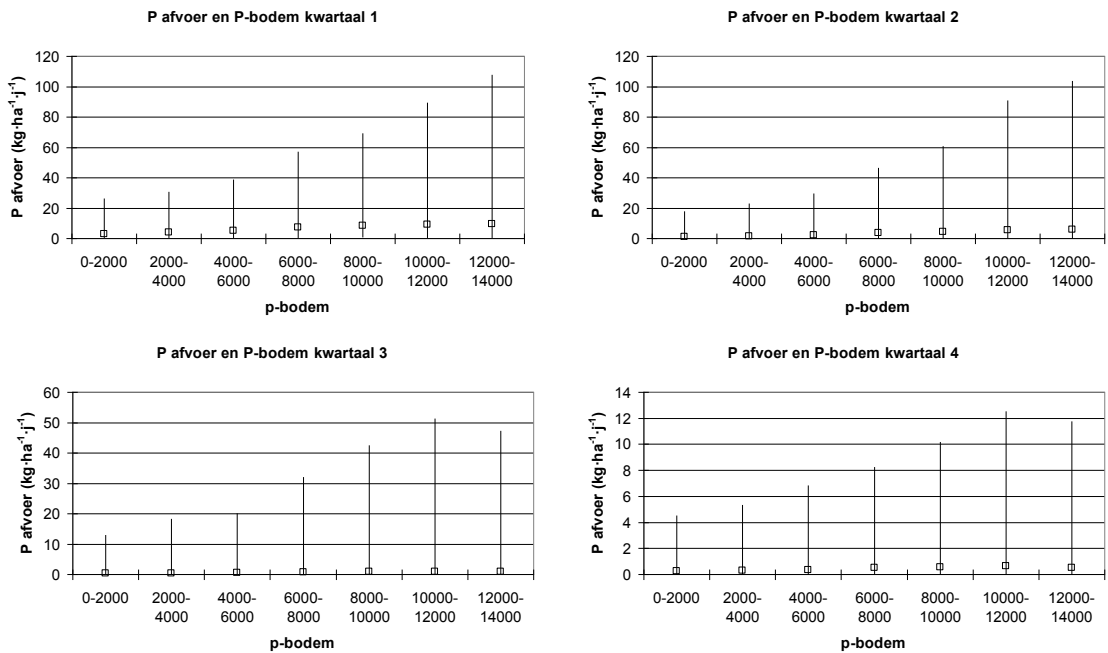
AFBEELDING I.5 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT KWEL



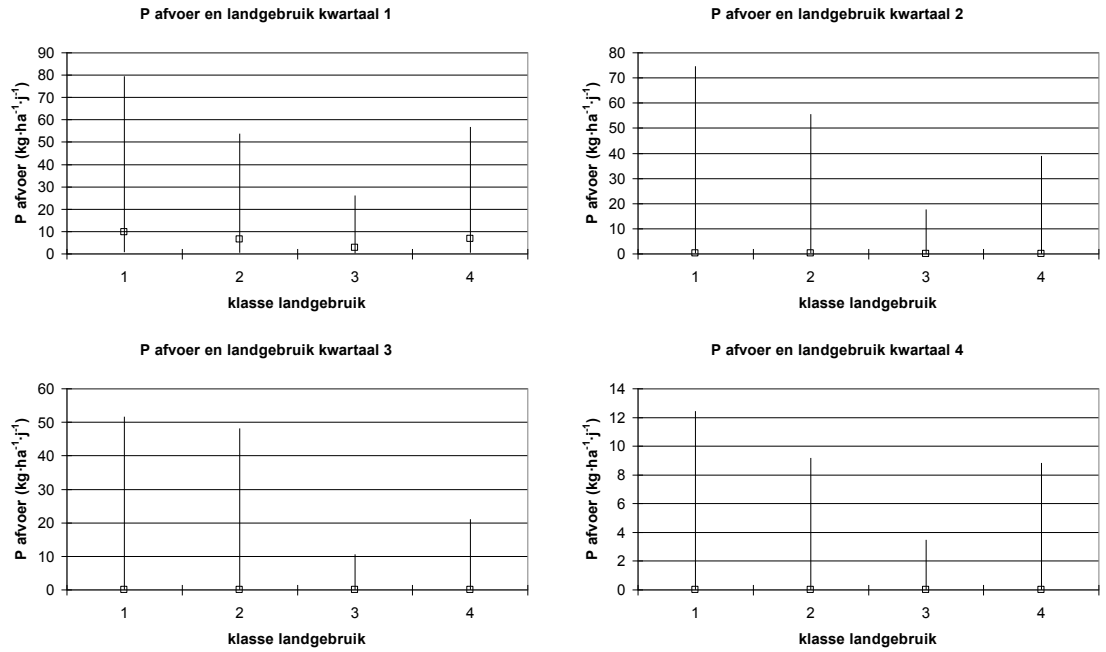
AFBEELDING I.6 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT P-CONCENTRATIE KWEL



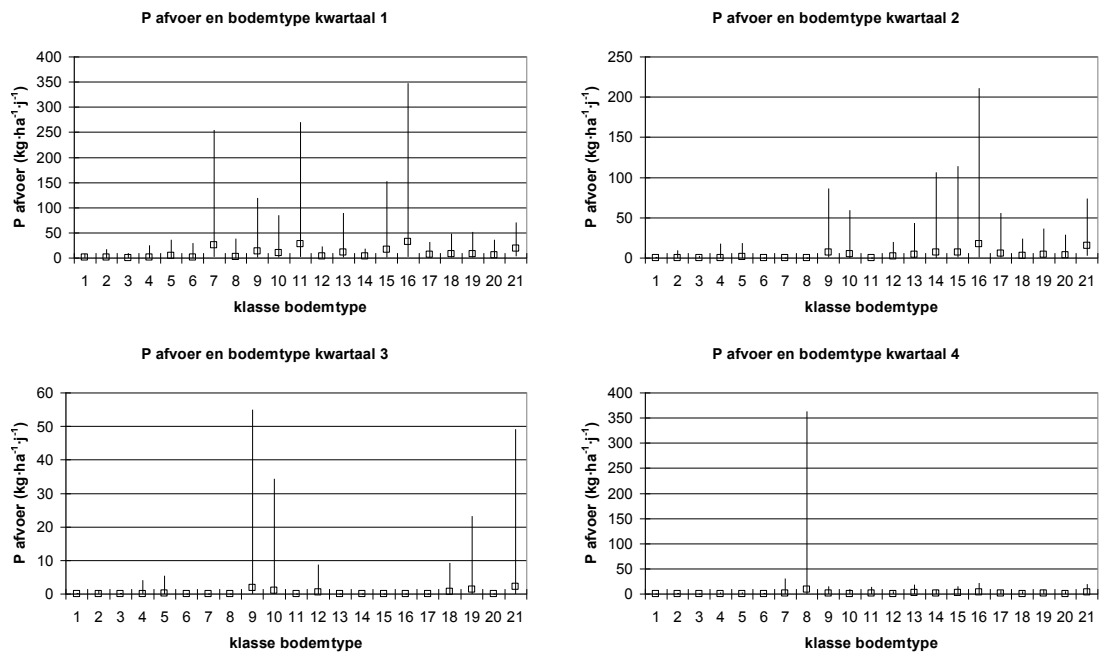
AFBEELDING I.7 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT P-BODEM

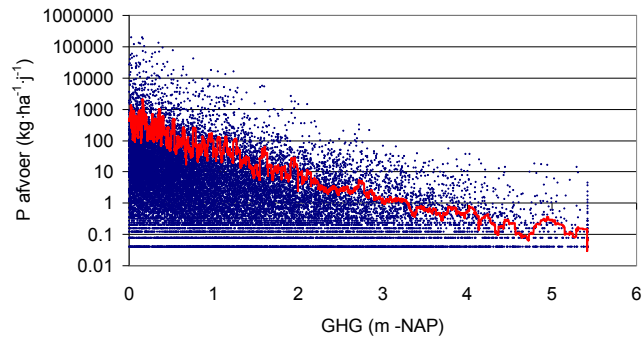


AFBEELDING I.8 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT LANDGEBRUIK



AFBEELDING I.9 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT BODEMTYPE (LAAGVEEN 1-4, MOERIG 5-6, ZAND 7-14 EN 21, KLEI 15-20)



AFBEELDING I.10 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) IN RELATIE TOT GHG VOOR KWARTAAL 4 (DE RODE LIJN GEEFT HET ZWEVEND GEMIDDELDE VAN DE PUNTEN)

#### I.4 DISCUSSIE

Uit tabel I.2 valt op te maken dat met name het derde kwartaal wordt gekenmerkt door relatief hoge uitbijters, die zowel het gemiddelde als de 95p-waarde sterk verhogen. Met name de situaties met sterke kwel worden in het derde kwartaal hoge uitspoeling van P berekend (figuur I.5).

Qua trend laat het vierde kwartaal in een aantal gevallen een afwijkend beeld zien ten opzichte van de overige kwartalen. Dit geldt voor de GLG (figuur I.2), de wegzijging (figuur I.4) en de kwel (figuur I.5). Belangrijker is de constatering dat deze afwijkende trend fysisch-chemisch niet te verklaren is. Het lijkt daarom het resultaat van een statistische bewerking van de STONE resultaten, waarbij weliswaar een goede 'fit' verkregen is, maar mogelijk een te groot aantal verklarende variabelen zijn geïntroduceerd.

Het verdient aanbeveling om de informatie en ook de methodiek van deze gevoeligheidsanalyse te gebruiken bij een eventuele verbeterde versie van NutriCalc.



**BIJLAGE II****TOEPASSING NUTRICALC RIVIERENLAND****TOEPASSING HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIVIERENLAND****II.1 INLEIDING**

De analyse van de toepassing voor het Hoogheemraadschap van Rivierenland is een invulling van spoor 3: analyse knelpunten. Naar aanleiding van de ervaringen met de toepassing van NutriCalc voor waterschap Rivierenland is in combinatie met een gevoeligheidsanalyse specifiek onderzoek gedaan naar gesignaleerde knelpunten. De gevoeligheidsanalyse is een analyse van het gedrag van alle invoerparameters binnen realistische bandbreedtes. In de toepassing van Rivierenland bleek de hoge gebiedsspecifieke kwel en wegzijging te leiden tot een zeer hoge af- en uitspoeling. Mogelijke uitkomst is dat het nodig is om specifieke bandbreedtes aan te geven voor parameters, waarbinnen NutriCalc toepasbaar is met daarbij een aanbeveling hoe om te gaan met waarden die buiten de bandbreedte vallen.

**II.2 STUDIE ARCADIS**

In het eerder uitgevoerde NutriCalc project bij Rivierenland is geprobeerd om de hydrologische situatie zo goed mogelijk te beschrijven. Grofweg kan de opbouw van de Bommelerwaard als volgt beschouwd worden. Bovenop het eerste watervoerend pakket ligt een deklaag van klei van 5-10 m dik. Deze deklaag bestaat gedeeltelijk uit voormalige rivierafzettingen inclusief goed doorlatende zandbanen. Hierdoor kan de hydrologie lokaal sterk variëren. Vanwege de heterogeniteit van de deklaag wordt verwacht dat af- en uitspoeling sterk beïnvloed worden door lokale kwel en wegzijging. Het effect van de heterogeniteit van de bodem op de NutriCalc parameters is om deze reden waar mogelijk meegenomen. Hiervoor is destijds een weloverwogen keuze gemaakt door de uitvoerenden en de begeleidingscommissie waaronder een aantal geohydrologen. (Ge van den Eertwegh, Joost Heikers, Elisabeth Tietema, Hella Pommarius, Paul Boers, Rikje van de Weerd).

In de Bommelerwaard werden hoge kwelfluxen in het westen van het gebied en hoge wegzijgingsfluxen in het oosten gevonden. Verder bleek dat de kwel en wegzijging op een groot aantal percelen zo groot was dat NutriCalc geen goede resultaten meer opleverde (de kwel en wegzijgingswaarden vielen buiten de geldigheid van het model, en de berekende N en P uitspoeling waren onrealistisch hoog). Er is geconcludeerd dat vanwege de sterke kwel en wegzijging NutriCalc (in ieder geval in zijn huidige vorm) geen goede inschatting kan geven van uit- en afspoeling in een situatie als in de Bommelerwaard waar lokaal grote kwel en wegzijging voorkomt.

**II.3 NADERE ANALYSE**

Na het onderzoek van Arcadis heeft er een herberekening plaatsgevonden van kwel en wegzijgingswaarden. Deze bleken lager uit te vallen dan de oorspronkelijke waarden. Ondanks dit vielen ze nog steeds gedeeltelijk buiten de toepassingsrange van NutriCalc (kwel tot 3,7 mm/dag, wegzijging tot 2.0 mm/dag), is nog steeds het zandbanenpatroon herkenbaar in de kwel-



en wegzijgingswaarden en zijn de verschillen tussen oost en west nog steeds zichtbaar. Met andere woorden, er is nog steeds sprake van heterogeniteit in kwel en wegzijging.

De kwel- of wegzijgingsflux onder de deklaag wordt berekend door het stijghoogteverschil tussen het freatische vlak en het eerste watervoerende pakket te nemen. Dit komt overeen met de fluxen aan de grens van de deklaag met het onderliggende watervoerende pakket. Omdat in IMOD/MODFLOW tussen de onderkant van de deklaag en 13 m -mv geen belangrijke scheidende lagen meer voorkomen en het 1-D model een onderrand op 13 m -mv heeft zouden deze waarden ook beschouwd kunnen worden als kwelwaarden op 13 m -mv. In de werkelijkheid zal de variabiliteit op 13 m -mv veel kleiner zijn dan net onder de deklaag en kunnen er ook lokale effecten optreden (bijv. de invloed van de afstand tot de rivier, verschillen in flux als gevolg van dunne kleilaagjes in de aquifer).

Naar aanleiding van de eerste studie rees de vraag of de waarden van de kwel binnen NutriCalc daadwerkelijk de hoge uitspoeling van P en N veroorzaakte. Hiervoor is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (zie hoofdstuk 3). Uit deze analyse blijkt inderdaad dat de grootte van de kwelflux in Rivierenland het meest bepalend is voor het uitspoelingsresultaat.

## II.4 INVOER

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding II.1.

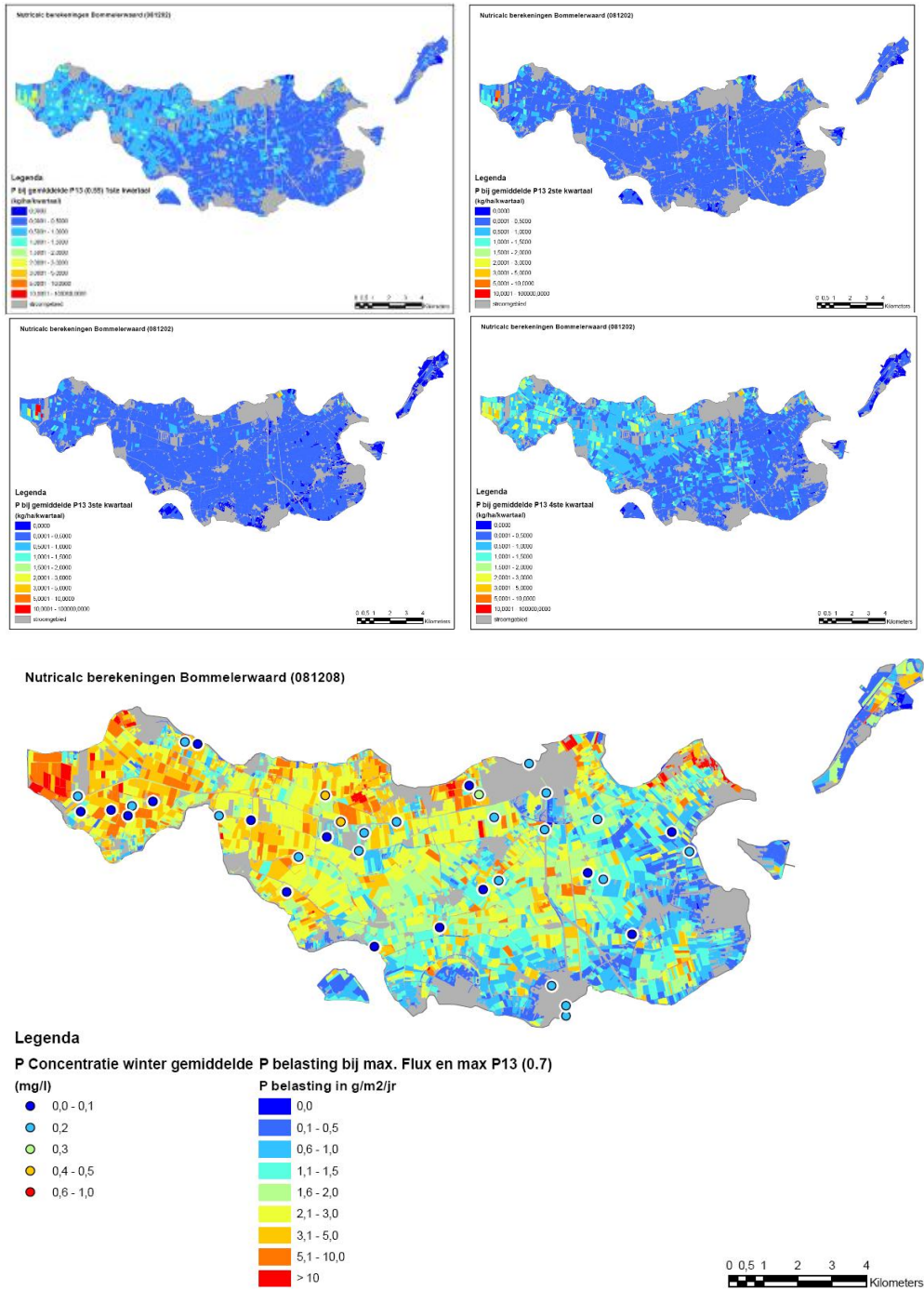
AFBEELDING II.1 INVOER NUTRICALC

GLG	Waterschap
GHG	Waterschap
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	Flux GHG + Flux GLG
wegz13	Flux GHG + Flux GLG
somkwel	
Nckwel13	Dino min, max en gemiddeld
Pckwel13	Dino min, max en gemiddeld
SomP	STONE

## II.5 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc-analyse zijn weergegeven in afbeelding II.2

AFBEELDING II.2 RESULTAAT NUTRICALC (EERST KWARTALEN, VOLGENDE PAGINA: JAARSON EN METINGEN)



## II.6 AANVULLENDE GEVOELIGHEIDSANALYSE

Er is nog een aanvullende gevoeligheidsanalyse gedaan op basis van de gebruikte invoergegevens van Rivierenland. Zie hiervoor tabel II.1. In de eerste berekening zijn standaardwaarden voor de parameters gebruikt. In berekening 2 en 3 zijn lage en hoge waarden voor Somp gekozen. Dit leverde een kleine toename in de uitspoeling van P (max 1.2 kg/ha). In berekening 4 is de kwel met een factor 4 verhoogd. Dit leverde (behalve in 4<sup>e</sup> kwartaal) extreme waarden op voor de P uitspoeling. Ook de N uitspoeling nam significant toe. In berekening 5 en 6 zijn de concentraties in het kwelwater verlaagd en 0 gekozen. Dit levert bij gelijke kwelflux iets lagere uitspoelingswaarden op. In berekening 7 en 8 zijn ze de kwelconcentraties op 0 gehouden maar is de kwelflux verhoogd met en zonder P in de bodem. Bij hoge kwelfluxen wordt een extreme N en P uitspoeling berekend onafhankelijk van de concentratie in het kwelwater of van de concentratie P in de bodem. In berekening 9 is de kwelflux met een factor 4 verkleind. Dit leverde significant lagere uitspoeling op. De kwel wordt hier gegeven in mm/kwartaal. 1 kwartaal is 90 dagen dus 3 mm/dag -> 270, 1 mm/dag = 90 en 1000 = 11 mm/dag

TABEL II.1 INVOER

ID	glg	ghg	gewas	Bodem	Kwel13	Wegz13	Somkwel	Nckwel13	Pckwel13	Somp
1	1	0.45	2	17	270	0	270	1.78	0.55	3239
2	1	0.45	2	17	270	0	270	1.78	0.55	0
3	1	0.45	2	17	270	0	270	1.78	0.55	6480
4	1	0.45	2	17	1000	0	1000	1.78	0.55	3239
5	1	0.45	2	17	270	0	270	0.45	0.14	3239
6	1	0.45	2	17	270	0	270	0	0	3239
7	1	0.45	2	17	1000	0	1000	0	0	3239
8	1	0.45	2	17	1000	0	1000	0	0	0
9	1	0.45	2	17	90	0	90	1.78	0.55	3239

TABEL II.2 UITVOER

ID	Owafv1	Nopp1	Popp1	Owafv2	Nopp2	Popp2	Owafv3	Nopp3	Popp3	Owafv4	Nopp4	Popp4
1	38II.72	8.95	1.65	370.47	8.69	3	293.77	58.25	13.96	427.74	21.46	1.85
2	38II.72	8.95	1.52	370.47	8.69	2.44	293.77	58.25	13.28	427.74	21.46	1.87
3	38II.72	8.95	1.78	370.47	8.69	3.68	293.77	58.25	14.67	427.74	21.46	1.83
4	1029.69	12.81	43.3	1644.65	21.12	1709.86	2179.2	*****	*****	1087.63	219.41	0
5	38II.72	8.52	1.42	370.47	8.23	2.62	293.77	54.67	12.34	427.74	20.43	1.61
6	38II.72	8.37	1.35	370.47	8.08	2.51	293.77	53.51	11.84	427.74	20.09	1.54
7	1029.69	11.98	35.46	1644.65	19.63	1428.12	2179.2	*****	*****	1087.63	205.35	0
8	1029.69	11.98	32.76	1644.65	19.63	1162.86	2179.2	*****	*****	1087.63	205.35	0
9	228.18	8.19	0.74	170.89	II.98	0.63	110.97	7.05	0.88	265.02	12.1	1.59

## II.7 ANALYSE RESULTATEN BOMMELERWAARD

Voor de huidige studie is gebruik gemaakt van de ongefilterde hoogste kwel en wegzijgingswaarden. De resultaten omvatten ook percelen met resultaten buiten het toepassingsgebied van NutriCalc. Het is interessant om te weten om welk deel van de resultaten dit gaat. Net als in de eerste studie loopt de berekende uitspoeling op in de volgorde: Baanbreker, Rietschoof, H.C. De Jongh, Van Dam van Brakel.

Door vergelijking van deze studies wordt duidelijk dat het resultaat zeer afhankelijk is van de betrouwbaarheid van de onderliggende data.

Op dit moment wordt er geen verband gevonden tussen waterkwaliteitsmetingen en berekende belasting. Ondanks dat de belasting van de uitspoeling van fosfaat van landbouwgronden het hoogst is in het afwateringsgebied Van Dam van Brakel, zijn de fosfaatconcentraties in dit gebied niet hoger dan in de rest van de Bommelerwaard.

Wanneer gegevens van inlaat, glastuinbouw en andere bronnen meegenomen worden, zou het een ander beeld kunnen geven. In de onderstaande tabellen II.3 t/m II.5 is een stofbalans van fosfaat opgenomen. Hieruit blijkt dat inlaatwater de grootste fosfaatbron is. Ook glastuinbouw draagt aanzienlijk bij aan de belasting. De glastuinbouw vindt met name plaats in de afwateringsgebieden Van Dam van Brakel en HC de Jongh. Juist in deze gebieden is ook de belasting van de uitspoeling berekend met NutriCalc hoog/groot. Dit betekent dat de uitspoeling uit de glastuinbouw het verschil in belasting tussen de gebieden en dus een verschil in waterkwaliteit zou versterken en het verklaart niet dat er geen verschillen in waterkwaliteit in de ruimte worden gemeten.

Het inlaatwater is volgens de stofbalans (zie tabellen II.3 t/m II.5 en afbeelding II.3) de grootste fosfaatbron in de Bommelerwaard. Wat betreft het inlaatregime zijn echter grote verschillen in de Bommelerwaard. In het afwateringsgebied Van Dam van Brakel is in 2004 geen water vanuit de rivier ingelaten. In het afwateringsgebied Baanbreker wordt het hele jaar door ingelaten en doorgespoeld en bestaat 90 % van het water in de A-watgang uit inlaatwater. De belasting met fosfaat is daardoor groot in dit gebied, maar dat leidt niet tot hoge fosfaatconcentraties.

## II.8 STOFBALANS BOMMELERWAARD

In de tabellen II.3 t/m II.5 en afbeelding II.3 is de stofbalans voor fosfaat in de Bommelerwaard in het hydrologisch jaar 2004 weergegeven. 2004 is een hydrologisch gemiddeld jaar waardoor voor de uitspoeling ook een gemiddelde vracht wordt verwacht. Door onzekerheid van de gemeten debieten bij de inlaat en de uitlaat is de betrouwbaarheid van de fosfaatbalans beperkt.

Voor de berekening van de uitspoeling vanuit de landbouw is uitgegaan van eigen inschattingen van het waterschap (tabel II.3), STONE-berekeningen (tabel II.4) en NutriCalc-berekeningen die in het kader van dit project zijn gedaan (tabel II.5). De totale vracht vanuit de landbouw is in dit gebied met eigen inschatting en met STONE ongeveer gelijk (7.150 kg/j). Met NutriCalc wordt een hogere vracht berekend (11.320 kg/j).

TABEL II.3 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD IN HET HYDROLOGISCH JAAR 2004 MET UITSPOELING LANDBOUW OP BASIS VAN SCHATTINGEN WATERSCHAP RIVIERENLAND

IN		UIT	
P water	25	ET water	0
Q inlaat	14.673	Q uitlaat	9.300
Q kwel water	126	Q wegzijging water	17
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	170
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	12	Q Infiltratie	?
Overstorten	271		
Huish. lozing	323		
Uit- en afspoeling	7.150		
Meemesten	720		
Glastuinbouw	3.145		
<b>Totaal IN</b>	<b>26.445</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>9.488</b>
<b>Bergingsverandering</b>			
Oppervlaktewater	55		
<b>Sluitpost</b>	<b>16.958</b>	<b>64%</b>	

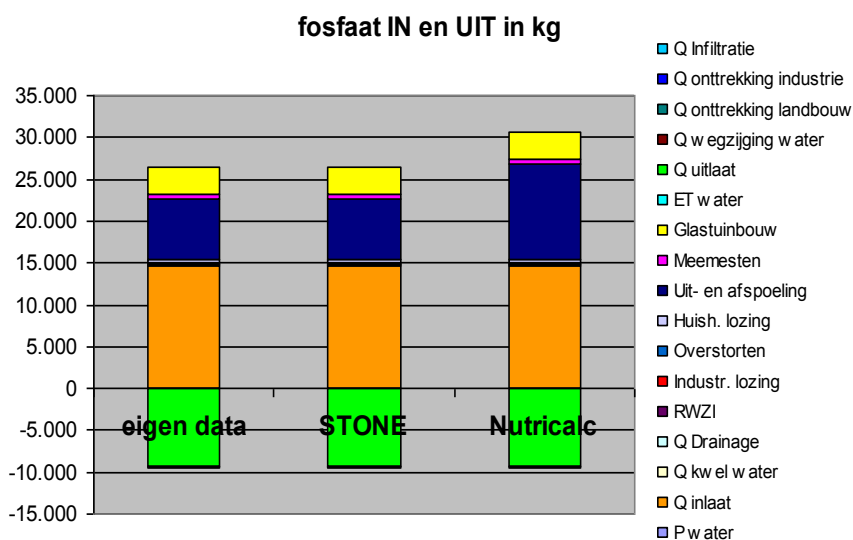
TABEL II.4 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD IN HET HYDROLOGISCH JAAR 2004 MET UITSPOELING LANDBOUW OP BASIS VAN STONE2003-BEREKENINGEN

IN		UIT	
P water	25	ET water	0
Q inlaat	14.673	Q uitlaat	9.300
Q kwel water	126	Q wegzijging water	17
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	170
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	12	Q Infiltratie	?
Overstorten	271		
Huish. lozing	323		
Uit- en afspoeling	7.119		
Meemesten	720		
Glastuinbouw	3.145		
<b>Totaal IN</b>	<b>26.414</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>9.488</b>
<b>Bergingsverandering</b>			
Oppervlaktewater	55		
<b>Sluitpost</b>	<b>16.927</b>	<b>64%</b>	

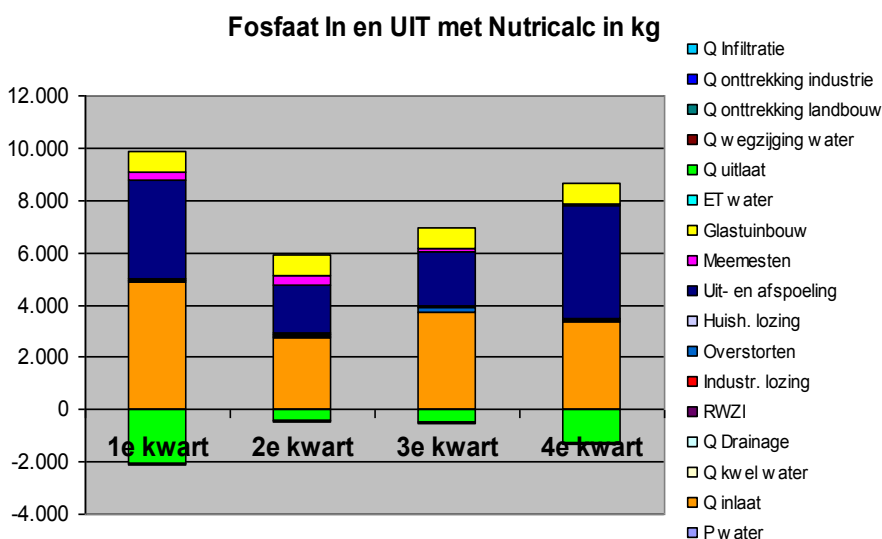
TABEL II.5 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD IN 2004 MET UITSPOELING LANDBOUW OP BASIS VAN BEREKENINGEN MET NUTRICALC

IN		UIT	
P water	25	ET water	0
Q inlaat	14.673	Q uitlaat	9.300
Q kwel water	126	Q wegzijging water	17
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	170
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	12	Q Infiltratie	?
Overstorten	271		
Huish. lozing	323		
Uit- en afspoeling	11.320		
Meemesten	720		
Glastuinbouw	3.145		
<b>Totaal IN</b>	<b>30.615</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>9.488</b>
<b>Bergingsverandering</b>			
Oppervlaktewater	55		
<b>Sluitpost</b>	<b>21.128</b>	<b>69%</b>	

AFBEELDING II.3 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD 2004 IN KG, UITSPOELING UIT DE LANDBOUW BEREKEND MET EIGEN INSCHATTING, STONE EN NUTRICALC



AFBEELDING II.4 FOSFAATBALANS PER KWARTAAL BOMMELERWAARD 2004 IN KG, UITSPOELING LANDBOUW BEREKEND MET NUTRICALC



Uit de stofbalans blijkt dat de totale vracht van alle bronnen groter is dan de uitgemalen vracht. De sluitpost geeft aan hoeveel fosfaat aan retentie in het gebied achterblijft. Bij de balansen met eigen data en STONE blijft er 64 % van de N-vracht achter. Indien de NutriCalc-berekeningen worden gebruikt, bedraagt de retentie 69 %.

Uit de stofbalansen kan niet worden afgeleid dat NutriCalc de uitspoeling beter of slechter berekent dan STONE of de eigen inschattingen. Het resultaat van NutriCalc is voor fosfaat niet meer of minder plausibel.

In afbeelding II.4 is de stofbalans per kwartaal opgenomen waarbij de landbouwuitspoeling met NutriCalc is berekend. Daaruit blijkt dat de uitspoeling in kwartaal 1 en 4 het hoogst is. In deze maanden is de bij de gemalen uitgemalen vracht ook het hoogst.

**STOFBALANS VAN DAM VAN BRAKEL**

Van de vier afwateringsgebieden van de Bommelerwaard is het gebied Van Dam van Brakel hydrologisch geïsoleerd van de overige gebieden. Van dit afwateringsgebied kan een aparte stofbalans worden opgesteld. Van de overige afwateringsgebieden is dit niet mogelijk omdat water en dus ook stoffen via stuwen tussen de gebieden heen en weer gaan. Omdat geen metingen plaatsvinden, zijn debiet en fosfaatvrucht onbekend. Het afwateringsgebied Van Dam van Brakel heeft ook het voordeel dat er geen water wordt ingelaten en de fosfaatbalans daardoor een grote bron vanuit inlaatwater niet heeft. De uitspoeling heeft dan een relatief grotere bijdrage aan de totale vrucht.

Van Dam van Brakel is het deelgebied van de Bommelerwaard met hoge kwelfluxen. Uit de gevoeligheidsanalyse van NutriCalc (zie bijlage I) is gebleken dat de berekeningen buiten de toepassing van NutriCalc vallen. Daarom zijn alle met NutriCalc berekende vruchten >4 kg/ha bij hoge fluxen gezet op 4 kg/ha. De grens is bepaald met expert judgement (Co Drost). De sluitpost van de fosfaatbalans, en daarmee de berekende retentie bedraagt 80 % van de totale IN vrucht. Een retentie van 80 % in deelgebied Van Dam van Brakel is hoger dan de 69 % in de hele Bommelerwaard. Het lijkt erop dat bij hoge kwelflux de NutriCalc vruchten nog overschat worden.

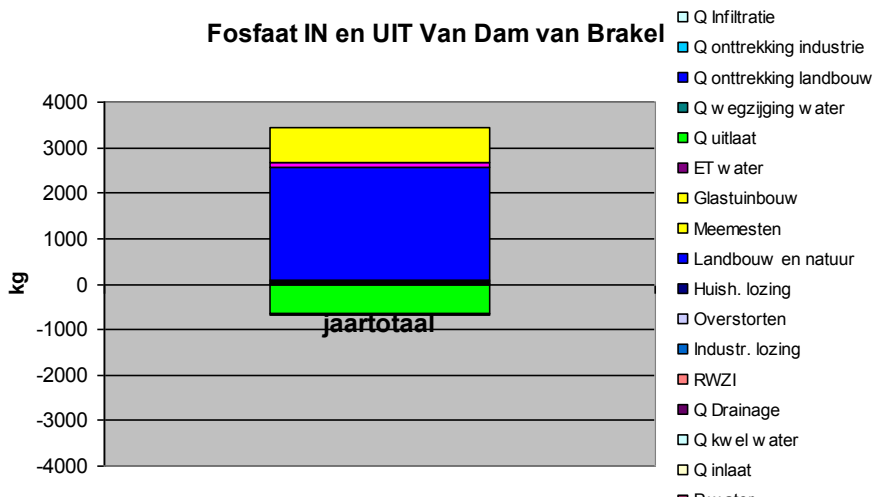
In afbeelding II.6 is de fosfaatbalans per kwartaal opgenomen. Opvallend aan deze balans is dat in het 3<sup>e</sup> kwartaal de met NutriCalc berekende uitspoeling, terwijl de uitgemalen vrucht juist in deze periode laag is. Oorzaak voor de lage uitgemalen vrucht is een gering neerslagwateroverschot in de zomermaanden. Hoge uitspoeling in het 3<sup>e</sup> kwartaal bij hoge kwelfluxen is al opgemerkt bij andere berekeningen met NutriCalc.

TABEL II.6

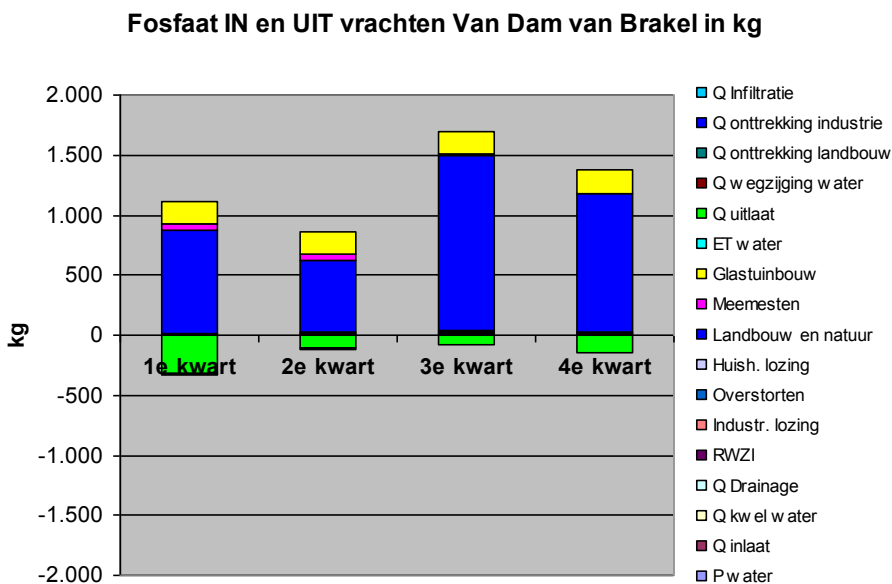
FOSFAATBALANS VAN DAM VAN BRAKEL IN 2004 IN KG/J, UITSPOELING BEREKEND MET NUTRICALC

IN		UIT	
P water	4	ET water	0
Q inlaat	0	Q uitlaat	648
Q kwel water	18	Q wegzijging water	2
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	24
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	0	Q Infiltratie	0
Overstorten	38		
Huish. lozing	45		
Landbouw en natuur	2.465		
Meemesten	101		
Glastuinbouw	755		
<b>Totaal IN</b>	<b>3.425</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>674</b>
Bergingsverandering			
Oppervlaktewater	8		
<b>Sluitpost</b>	<b>2.751</b>	<b>80 %</b>	

AFBEELDING II.5 FOSFAATBALANS AFWATERINGSGEBIED VAN DAM VAN BRAKEL IN 2004 IN KG/J, UITSPOELING BEREKEND MET NUTRICALC



AFBEELDING II.6 FOSFAATBALANS PER KWARTAAL VOOR AFWATERINGSGEBIED VAN DAM VAN BRAKEL IN 2004 IN KG/KWARTAAL, UITSPOELING BEREKEND MET NUTRICALC



## II.8 ANALYSE

Uit de fosfaatbalans voor de hele Bommelerwaard kan geconcludeerd worden dat de met NutriCalc berekende fosfaatvrachten plausibel passen in de stofbalans. Echter zijn de NutriCalc uitkomsten op basis van de fosfaatbalans niet meer of minder plausibel dan de berekeningen met eigen inschattingen of STONE. Opgemerkt wordt dat aan de stofbalans niet betrouwbaar is door de onzekerheid bij de debieten van inlaat en uitlaat bij de gemalen.

Uit de fosfaatbalans van deelgebied Van Dam van Brakel wordt geconcludeerd dat NutriCalc bij hoge kwelfluxen een te hoge fosfaattuitspoeling berekent. Met name in het 3<sup>e</sup> kwartaal zijn de vrachten hoog bij een hoge kwelflux. Deze conclusies komen overeen met eerdere berekeningen in het kader van dit project.





## BIJLAGE III

## TOEPASSING NUTRICALC WATERNET

## TOEPASSING WATERNET

## III.1 INLEIDING

Voor Waternet is ten behoeve van het KRW-proces in 2007 een analyse uitgevoerd met NutriCalc voor het gehele beheersgebied. Voor dit project zijn uit deze dataset twee onderzoeksgebieden geselecteerd:

- polder De Ronde Hoep;
- Bloemendalerpolder.

De selectiecriteria voor de gebiedskeuze was enerzijds de mogelijkheid van vergelijking van de uitkomsten van NutriCalc met de beschikbare meetgegevens voor fosfaat. Anderzijds gold als criterium dat voor deze gebieden een betrouwbare waterbalans is opgesteld, waarbij de fosfaatbelasting via uit- en afspoeling de belangrijkste aanvoerpost is.

AFBEELDING III.1 MEETPUNTEN DE RONDE HOEP EN BLOEMENDALERPOLDER



In beide polders zijn meetreeksen beschikbaar voor fosfaat bij het eindgemaal (meetpunten PRH001 en BGP004). Voor beide polders zijn zowel de afvoerdata van uit de waterbalans als de fosfaatmetingen per maand respectievelijk gesommeerd en gemiddeld, waarmee vrachtberekeningen zijn uitgevoerd. Deze vrachten kunnen vervolgens worden vergeleken met de uitkomsten van NutriCalc, waarbij ook de andere mogelijke aanvoerposten voor fosfaat uit de waterbalans (inlaten etc.) moeten worden verdisconteerd.

## III.2 INVOER

De grondwaterstanden (GxG-data) worden ontleend aan een analytisch model, dat binnen Waternet is ontwikkeld voor GGOR-studies en de KRW-detailanalyses. Dit model maakt gebruik van data uit grondwatermodellen (kwel/wegzijging), drooglegging, bodemtype en perceelsbreedte en berekent de grondwaterstanden (opbolling) op dagbasis volgens een analytische oplossing van een massabalans tussen 2 evenwijdige, theoretisch oneindig lange, rechte sloten. Uit deze simulatiereeksen worden vervolgens een GLG- en een GHG-waarde bepaald.

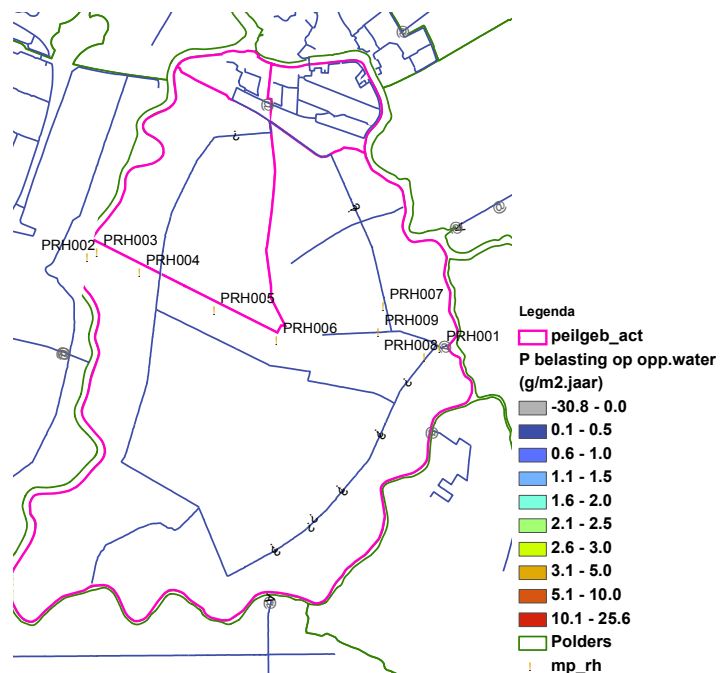
AFBEELDING III.2 INVOER

GLG	kwel/wegzijging, perceelbreedte, bodemtype (k, $\mu$ ), drooglegging
GHG	kwel/wegzijging, perceelbreedte, bodemtype (k, $\mu$ ), drooglegging
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	Grondwatermodel Waternet
wegz13	Grondwatermodel Waternet
somkwel	
Nckwel13	Schatting: 3
Pckwel13	Schatting 0,3
SomP	STONE

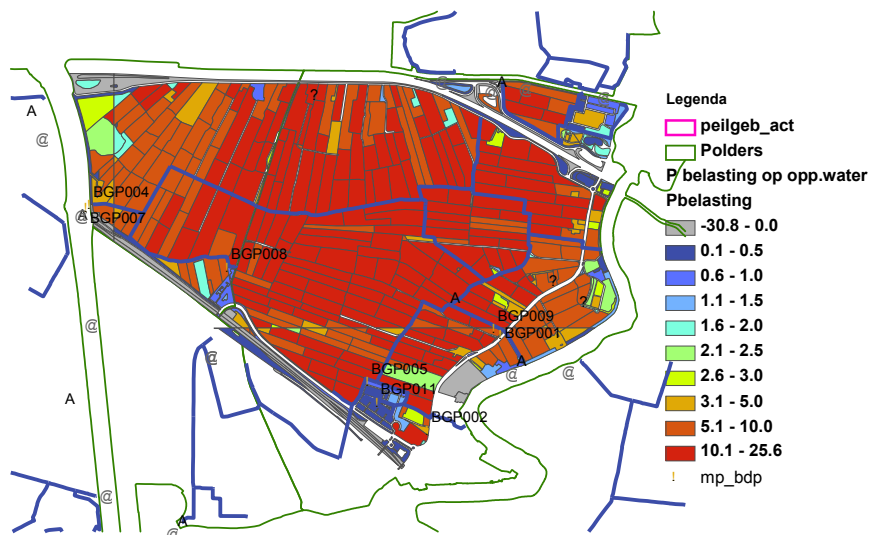
### III.3 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc berekeningen zijn weergegeven in de afbeeldingen III.3. (Ronde Hoep) en III.4. (Bloemendalerpolder).

AFBEELDING III.3 P-BELASTING IN DE RONDE HOEP



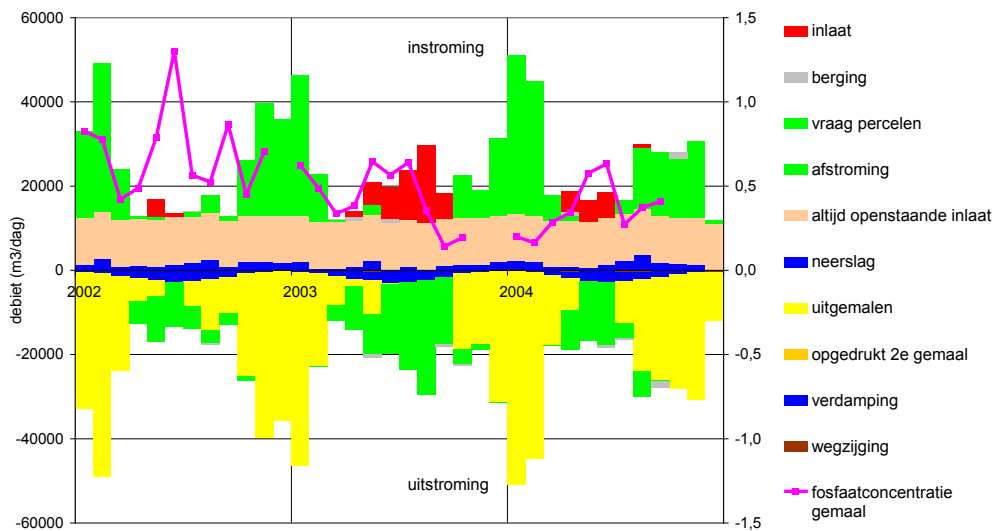
AFBEELDING III.4 P-BELASTING IN DE BLOEMENDALERPOLDER



### III.4 ANALYSE DE RONDE HOEP

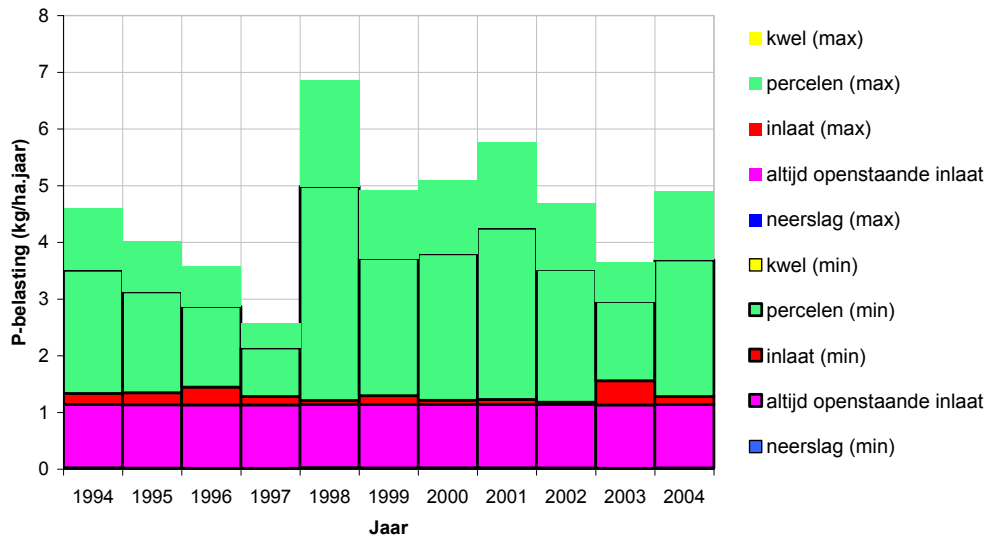
In de polder 'De Ronde Hoep' wordt continu water ingelaten (11.000 m<sup>3</sup>/d met gemiddeld 0,3 mg P/liter). Dit inlaatwater vormt samen met het afstromend water vanuit de percelen de hoofdbronnen van fosfaat binnen dit systeem. In de zomer is er een watervraag vanuit de percelen, waarbij het fosfaat voornamelijk zal achterblijven in de waterbodems en het natte oevertalud. Met name in de winter wordt er veel fosfaat afgevoerd via het eindgemaal.

AFBEELDING III.5 WATERBALANS DE RONDE HOEP OVER DE PERIODE 2002 - 2004

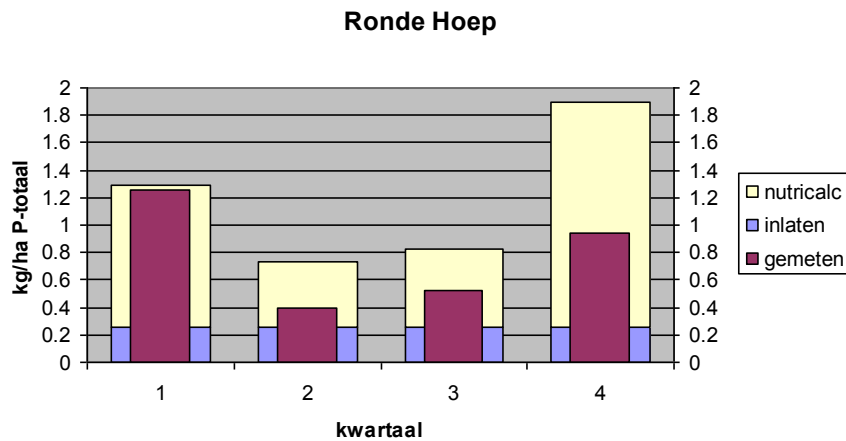


De aandelen van neerslag en kwel in de totale fosfaatbelasting zijn verder verwaarloosbaar ten opzichte van de bijdrage van uit- en afspoeling van de percelen. In afbeelding III.6 worden de fosfaatbelastingen weergegeven, zoals deze tijdens het KRW-proces werden geschat. Hierbij werd

AFBEELDING III.6 BEREKENDE P-BELASTING IN DE RONDE HOEP OVER DE PERIODE 1994 - 2004 OP BASIS VAN DE WATERBALANS



AFBEELDING III.7 KWARTAALVRACHTEN P-TOTAAL BIJ HET GEMAAL RONDEHOEP, BEREKEND EN GEMETEN (GEMIDDELDE 2002 T/M 2004)

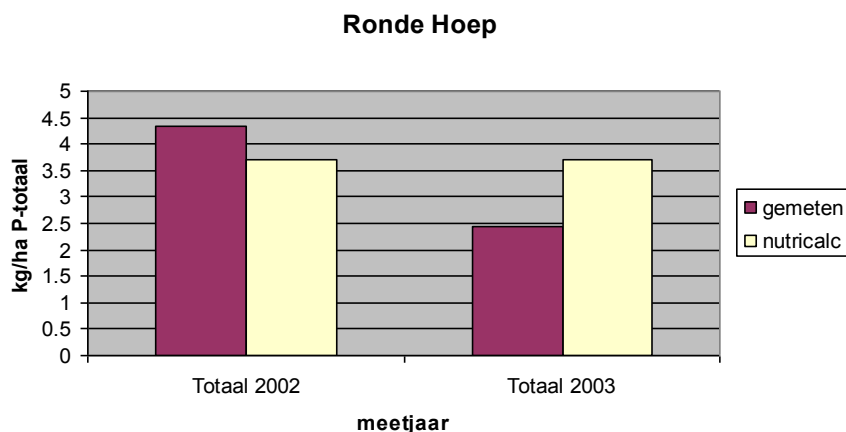


uitgegaan van de waterbalans, waarbij voor de af- en uitspoeling vanuit de percelen een concentratie van 0,6 – 0,9 mg/l is aangehouden. Op grond van deze analyse bedraagt de bijdrage vanuit de percelen over 2002 en 2003 respectievelijk 2,3 tot 3,5 en 1,4 tot 2,1 kg/ha per jaar.

In afbeelding III.7 worden de bijdragen van uit- en afspoeling volgens NutriCalc en de inlaten vergeleken met de gemeten kwartaalwaarden (afgeleid uit de maandsommen van de maalstaten over 2002 t/m 2004, vermenigvuldigd met de gemiddelde fosfaatconcentraties per maand). Afbeelding III.8 laat zien wat het verschil kan zijn de bij het gemaal gemeten vracht tussen twee jaren.

De meetresultaten kunnen per jaar sterk variëren. Omdat NutriCalc als input de GLG en GHG gebruikt die over een periode van 8 hydrologische jaren wordt afgeleid, wordt een gemiddelde berekend. Bij de interpretatie moet rekening worden gehouden met het feit dat in hydrologisch natte of droge jaren de gemeten vrachten aanmerkelijk hoger of lager kunnen zijn dan de berekende resultaten met NutriCalc. Dit geldt uiteraard ook voor seizoensvariaties.

AFBEELDING III.8 TOTAAL GEMETEN EN MET NUTRICALC (DUS EXCLUSIEF INLATEN) BEREKENDE P-VRACHTEN OVER 2002 (NAT JAAR) EN 2003 (DROOG JAAR)



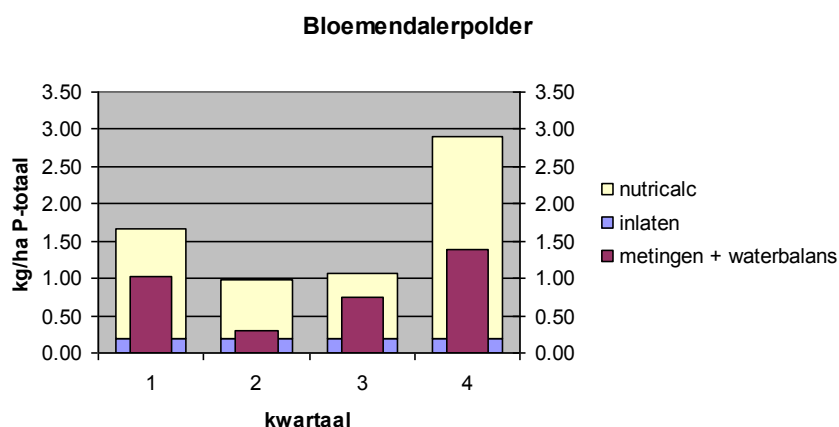
De schattingen op basis van de maandelijkse bemonsteringen bij het gemaal, de schatting op basis van de waterbalans en concentraties en de berekening op basis van NutriCalc geven verschillende uitkomsten (tabel III.1). Voor 2002 liggen de resultaten bij elkaar in de buurt, maar voor 2003 geven de NutriCalc berekeningen een duidelijke overschatting:

TABEL III.1 SCHATTINGEN OP BASIS VAN WATERBALANS, METINGEN BIJ HET GEMAAL EN NUTRICALC

	2002	2003
Waterbalans	3,5	2,1
Metingen	4,3	2,4
NutriCalc (+ inlaten)	3,7 (+1,1)	3,7 (+1,1)

De resultaten laten voor de Bloemendalerpolder een vergelijkbaar beeld zien. Ook hier zijn de berekende vrachten met NutriCalc hoger dan de berekende fosfaatvrachten op grond van de metingen. De trend in de NutriCalc berekeningen over de eerste drie kwartalen geeft zowel in de case van de Ronde Hoep als in de Bloemendalerpolder een vergelijkbaar beeld, maar in het vierde kwartaal worden in de Bloemendalerpolder relatief hoge fosfaatvrachten berekend.

AFBEELDING III.9 KWARTAALVRACHTEN P-TOTAAL BIJ HET GEMAAL PAPELANT, BEREKEND EN GEMETEN (GEMIDDELDE 2002 T/M 2004)



In beide gevallen leiden de berekeningen met NutriCalc tot een overschatting van gemiddeld 50 %. Deze overschatting kan worden verklaard door retentie.

### III.5 CONCLUSIES WATERNET

Op de vraag of NutriCalc de fosfaatuitspoeling op regionale schaal goed kan voorspellen is met deze twee analyses geen eenduidig antwoord mogelijk. De resultaten liggen voor deze twee gebieden wel binnen een zekere ordegrootte, maar om hierover betrouwbare uitspraken te kunnen doen is een betere dataset nodig. Maandelijkse meetgegevens hebben naast een zekere spreiding als gevolg van het moment van de monsternamen ook een spreiding in de analyse, die met name voor fosfaat relatief groot kan zijn. Verder gebruikt NutriCalc de GLG en de GHG als input, die over een periode van 8 hydrologische jaren wordt afgeleid. Hierdoor zouden de uitkomsten eveneens worden vergeleken met een set meetgegevens over een soortgelijke periode of in ieder geval moeten worden bekeken binnen een context van hydrologisch natte en droge jaren.

Met betrekking tot de meerwaarde van NutriCalc kan gesteld worden dat met NutriCalc een snelle interpretatie kan worden gedaan, zonder dat een zwaar rekenmodel hoeft te worden gedraaid. Dit heeft zeker een meerwaarde als er meerdere scenario's moeten worden doorgerekend, zoals bij het inschatten van effecten van peilmaatregelen op de uit- en afspoeling van nutriënten. Daarbij is het vaak al voldoende om aan te kunnen geven of de situatie beter of slechter wordt, zodat een absolute voorspelling niet strikt noodzakelijk is, als daarbij maar wel een realistische ordegrootte kan worden aangegeven.

NutriCalc kan naar de mening van Waternet worden verbeterd door het te baseren op de meest recente dataset van STONE en een eenvoudiger statistische afleiding, waarbij de uitkomsten alleen worden gefit op basis van de belangrijkste invloedsparameters. Daarbij is met name van belang dat de trends in de gevoeligheden voor deze parameters overeenkomen met logische verwachtingen op basis van de chemisch-fysisch verklaarbare werkelijkheid.

BIJLAGE IV

# TOEPASSING NUTRICALC HDSR

## TOEPASSING HOOGHEEMRAADSCHAP STICHTSE RIJNLANDEN

### IV.1 INLEIDING

NutriCalc is voor Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden toegepast voor het gehele beheersgebied.

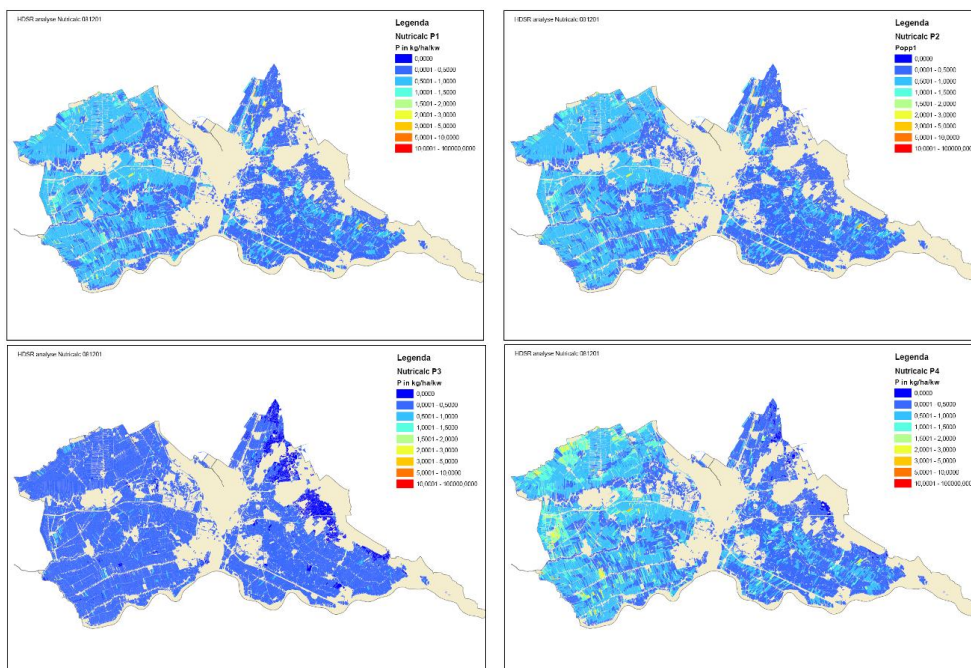
### IV.2 INVOER EN UITVOER

De invoer voor NutriCalc en resultaten zijn weergegeven in afbeelding IV.1 en afbeelding IV.2.

AFBEELDING IV.1 INVOER NUTRICALC

GLG	Waterschap
GHG	Waterschap
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	Waterschap
wegz13	Waterschap
→ somkwel	
Nckwe13	Schatting: 3
Pckwe13	Schatting 0,3
SomP	STONE

AFBEELDING IV.2 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (4 KWARTALEN)





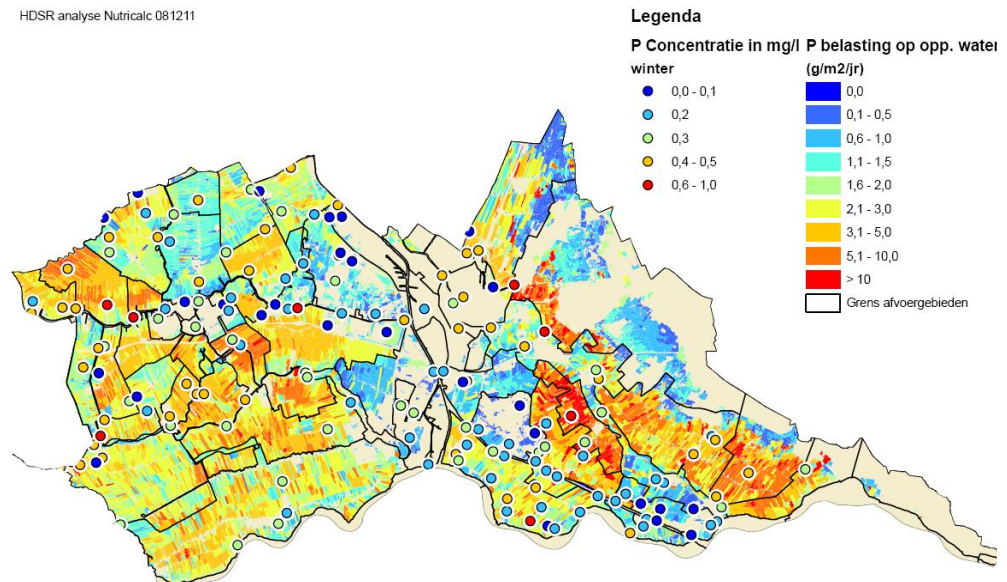
### IV.3 ANALYSE

Er is geen sprake van een uitgebreide analyse van watersystemen. De met NutriCalc berekende P-belasting is geanalyseerd aan de hand van gemeten concentraties in de winter. Naast de met NutriCalc berekende vrachten is uitgegaan van het percentage open water op perceel-niveau. De nadruk ligt op de ruimtelijke verschillen, niet op de absolute uitkomsten, omdat geen sprake was van een diepgaande analyse.

In afbeelding IV.3 is de berekende P-belasting geografisch uitgezet tegen de gemiddelde gemeten P-concentratie in de winter. Door de oogvaren heen is te zien dat in afwateringsgebieden met een hoge P-belasting (oranje - rode gebieden) ook de gemeten P-concentraties hoger zijn (oranje - rode punten). Het grote voordeel van een analyse op basis van winterconcentraties is dat de verblijftijd in de winter veel korter is dan in de zomer, waardoor de retentie veel geringer is en dat het aandeel water uit de percelen veel groter is dan in de zomer, waardoor de invloed van andere bronnen beperkt is (voornamelijk inlaat).

AFBEELDING IV.3 VERGELIJKING P-BELASTING O.B.V. NUTRICALC EN WINTERGEMIDDELTE P-CONCENTRATIE

HDSR analyse NutriCalc 081211



### IV.4 CONCLUSIE

Op basis van deze grove eenvoudige toepassing zijn geen vergaande conclusies te trekken. Het grote voordeel van NutriCalc is dat het eenvoudig toepasbaar is en dat het inzicht geeft in de grote ruimtelijke verschillen in het beheersgebied. Over het algemeen lijken de resultaten van NutriCalc overeen te komen met metingen. De resultaten komen ook overeen met het globale beeld.

## BIJLAGE V

## TOEPASSING NUTRICALC DELFLAND

## TOEPASSING HOOGHEEMRAADSCHAP DELFLAND

## V.1 INLEIDING

Het vergelijken van meetgegevens in het oppervlaktewater met de berekende uitspoeling van nutriënten vanuit de bodem met NutriCalc is slechts beperkt zinvol, omdat het verstedelijkte beheersgebied van Delfland een groot aantal bronnen kent. De uitspoeling vanuit de bodem is er daar maar een van.

In grote delen van Delfland zijn emissies uit de glastuinbouw of vanuit stedelijk gebied groter in aandeel dan de uitspoeling uit de bodem. Delfland heeft in dit project de polderwaterlichamen ingebracht voor de exercitie met NutriCalc. Het betreft hier (1) de polder van Berkel, (2) de Zuidpolder van Delfgauw en (3) de Holierhoekse en Zouteveense polder. Van deze polders zijn metingen beschikbaar en zijn in 2007 ook belastingprofielen opgesteld, waardoor de resultaten van deze rekenexercitie toch enigszins toetsbaar zijn. De nadruk in de analyse ligt op de Holierhoekse en Zouteveense polder, omdat deze het meest geïsoleerd is en omdat andere bronnen geen rol van betekenis spelen. De Woudse polder is doorgerekend, waar eigenlijk de Woudse Droogmakerij bedoeld was. Toetsen van de bevindingen van deze polder is daarom niet uitgevoerd.

## V.2 INVOER

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding V.1.

AFBEELDING V.1

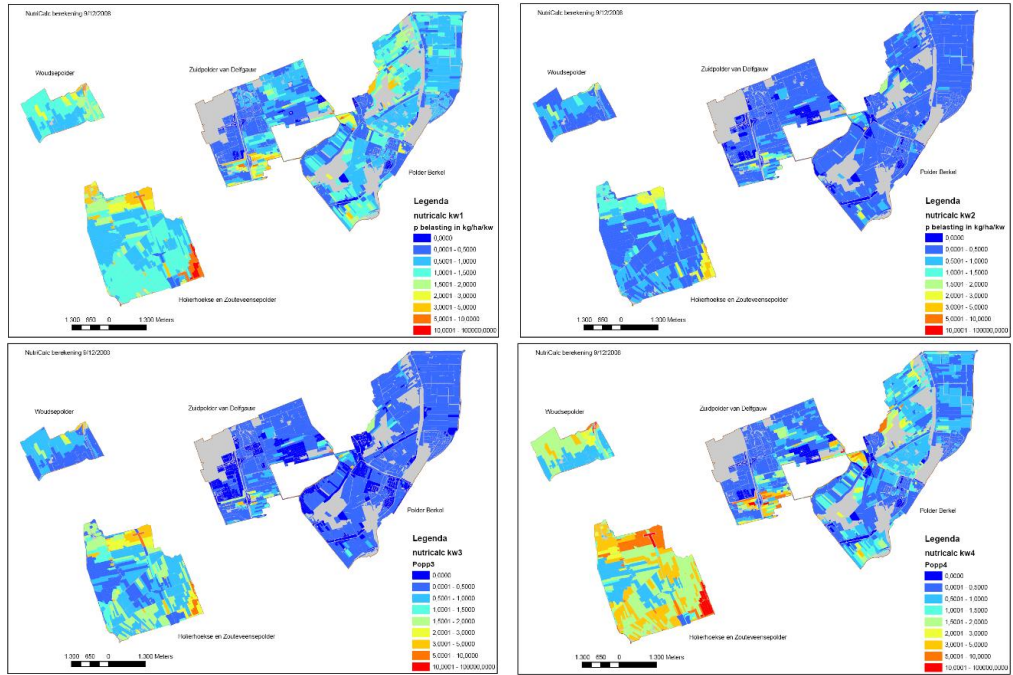
## INVOER NUTRICALC

GLG	Deltaris
GHG	Deltaris
gewas	LGN
bodem	LGN
kwel13	Grondwatermodel DSM
wegz13	Grondwatermodel DSM
somkwel	
Nckwel13	TNO
Pckwel13	TNO
SomP	STONE

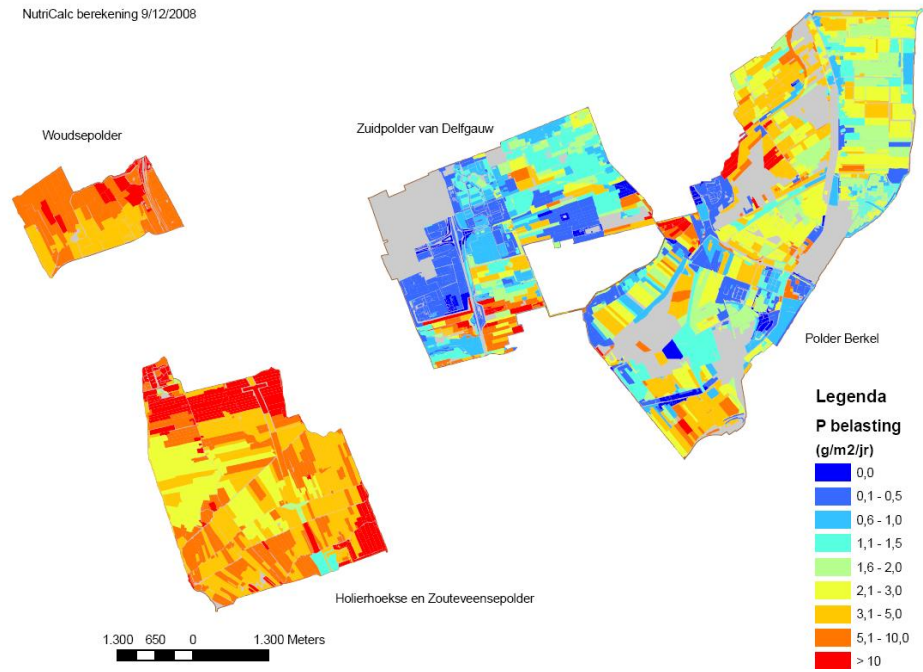
## V.3 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc-analyse zijn weergegeven in afbeelding V.2.

AFBEELDING V.2 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)



NutriCalc berekening 9/12/2008



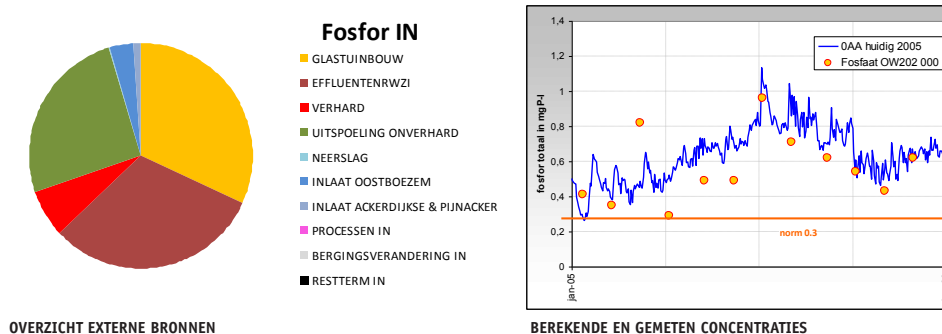
## V.4 ANALYSE

Er is een analyse gemaakt van (1) de polder van Berkel, (2) de Zuidpolder van Delfgauw en (3) de Holierhoekse en Zouteveense polder. Deze worden hieronder afzonderlijk besproken.

### POLDER BERKEL

Het fosfor belastingprofiel van polder Berkel is in onderstaande afbeelding V.3. gepresenteerd. In totaal vindt er een externe emissie van 10 ton op jaarbasis plaats. Minder dan 30 % daarvan is afkomstig van uitspoeling uit de bodem. Dit getal komt op jaarbasis 'aardig overeen' met de vrachten die NutriCalc meer gedifferentieerd heeft berekend. Met de verzamelde gegevens is het goed mogelijk gebleken meetgegevens binnen de polder te reproduceren. Een eenduidige relatie tussen bodemuitspoeling en gevonden concentratie in het oppervlaktewater is er niet.

AFBEELDING V.3 BELASTINGPROFIEL POLDER BERKEL (LINKS) EN METINGEN

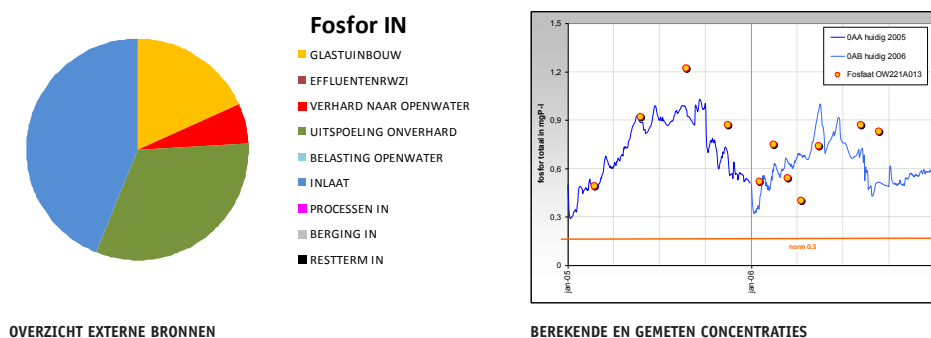


In de nabije toekomst worden in de polder de emissies vanuit de glastuinbouwsector fors gereduceerd als gevolg van aansluiting op riolering. De awzi's in de polder zijn vorig jaar gesloten, waardoor geen effluentwater meer op het polderwater wordt geloosd. De uitspoeling uit de bodem gaat dan meer dan 50 % van de belasting op het systeem op jaarbasis bepalen.

### ZUIDPOLDER VAN DELFGAUW

Het fosfor belastingprofiel van de Zuidpolder van Delfgauw is in onderstaande afbeelding V.4. gepresenteerd. In totaal vindt er een externe emissie van 4.7 ton op jaarbasis plaats. Ongeveer een derde deel daarvan is op jaarbasis afkomstig van uitspoeling uit de bodem. Dit getal komt op jaarbasis 'aardig overeen' met de vrachten die NutriCalc meer gedifferentieerd heeft berekend. Met de verzamelde gegevens is het goed mogelijk gebleken meetgegevens binnen de polder te reproduceren.

AFBEELDING V.4 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)



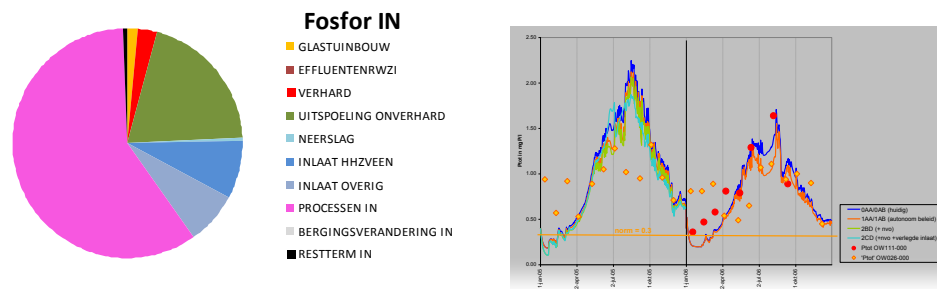
Een eenduidige relatie tussen bodemuitspoeling en gevonden concentratie in het oppervlaktewater is er niet. Dit als gevolg van de grote verstoring door andere bronnen (emissies uit de glastuinbouw en doorspoelen van de polder). De concentratieverhoging in de zomermaanden is toe te schrijven aan nalevering vanuit de waterbodem enerzijds en hogere mate van doorspoeling anderzijds. De concentratie in het inlaatwater is hoger dan die in de polder zelf.

### HOLIERHOEKSE- EN ZOUTEVEENSEPOLDER

De Holierhoekse- en Zouteveensepolder bestaat voor 95 % uit grasland, veenweidegebied. Er wordt beperkt water ingelaten voor peilhandhaving. Bij uitstek de meest geschikte polder van de drie in het beheersgebied van delfland om de relatie tussen berekende uitspoelingsgegevens uit de bodem te relateren aan waargenomen stofconcentraties in het oppervlaktewater.

Het fosfor belastingprofiel van de Holierhoekse- en Zouteveensepolder dat eerder door Delfland in de KRW detailanalyses is opgesteld in onderstaande afbeelding V.5. gepresenteerd. In totaal vindt er een externe+interne emissie van ruim 14 ton op jaarbasis plaats. Een klein deel hiervan is gerelateerd aan uitspoeling uit de bodem (3 ton). De bijdrage van uitspoeling van P als gevolg van veendecompositie en nalevering vanuit de waterbodem is opgenomen in de post 'processen in' en is het grootst (8 ton). Op basis van dit emissieprofiel is een prima fit verkregen tussen gemeten en berekende stofconcentraties in de polder, inclusief seizoensdynamiek.

AFBEELDING V.5 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)



OVERZICHT EXTERNE BRONNEN

BEREKENDE EN GEMETEN CONCENTRATIES

In de wintermaanden is uitspoeling uit de bodem de dominante post, nalevering is dan klein en inlaat vindt niet plaats. Een vergelijking tussen NutriCalc en veldmetingen is dan prima mogelijk. Met NutriCalc wordt berekend dat de af- en uitspoeling in de winter een P-vracht oplevert van 7,5 ton. De totale vracht is ongeveer 14 ton. De resterende 6,5 ton is goed te relateren aan bodemnalevering en inlaat. De verschillen tussen de afzonderlijke meetlocaties komen qua orde grootte bovendien goed overeen met de door NutriCalc berekende waarden. In zoverre valt deze exercitie al als waardevol te bestempelen.

## V.5 DISCUSSIE

Gedurende de KRW detailanalyse heeft Delfland een groot aantal scenarioberekeningen uitgevoerd om de effecten van autonome gebiedsontwikkelingen en aanvullende maatregelen in verschillende ordegrrootte en combinaties te kwantificeren. Daarin is op polderniveau gebruik gemaakt van kentallen uit het instrument Waterlood / NutriCalc voor het schatten van de effecten op de post uitspoeling uit de bodem. Op grond van de bevindingen kan voorzichtig geconcludeerd worden dat deze kentallen voldoende bruikbaar zijn geweest. Er heeft in dat project ook vergelijking plaatsgevonden met de uitspoelingscijfers uit de database ERC-KRW, gebaseerd op STONE berekeningen. Daarbij is geconstateerd dat er soms forse verschillen zitten tussen de cijfers uit de ERC-KRW database (STONE) en de kengetallen op basis van het instrument Waterlood / NutriCalc. Het is binnen dat project bij constateren gebleven. Gebruik van de Waterlood / NutriCalc getallen leverde (zoals boven beschreven) naar onze inschatting inzicht in de stofbalansen van de onderzoeksgebieden op voldoende betrouwbaar niveau voor gebruik in de scenarioanalyses. Groot voordeel en hoofdmotivatie van gebruik Waterlood / NutriCalc hierbij was de snelle eenvoudige operationele inzet. Het alternatief was geweest het laten uitvoeren van een groot aantal berekeningen met het STONE instrumentarium, een kostbare en tijdrovende aangelegenheid, waarvoor geen tijd en noodzaak aanwezig was.

De in tijd en op meer lokaal niveau gedifferentieerde fluxinformatie die in deze in STOWA verband uitgevoerde exercitie in korte tijd heeft opgeleverd sluit voor zover we dat nu in korte tijd kunnen beoordelen goed aan bij onze verwachting als beheerder. Het biedt voldoende aanknopingspunten voor succesvolle toepassing in vervolgonderzoek.

Ten slotte is er momenteel een meetplan in het gebied gedefinieerd voor inbreng in watergebiedsstudies en KRW onderzoek. Hierdoor komen de komende tijd meer meetgegevens beschikbaar, ook in haarvaten.



## BIJLAGE VI

# TOEPASSING NUTRICALC RIJN EN IJSSEL (HUPSESEBEEK)

## TOEPASSING HUPSESEBEEK (WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL)

### VI.1 INLEIDING

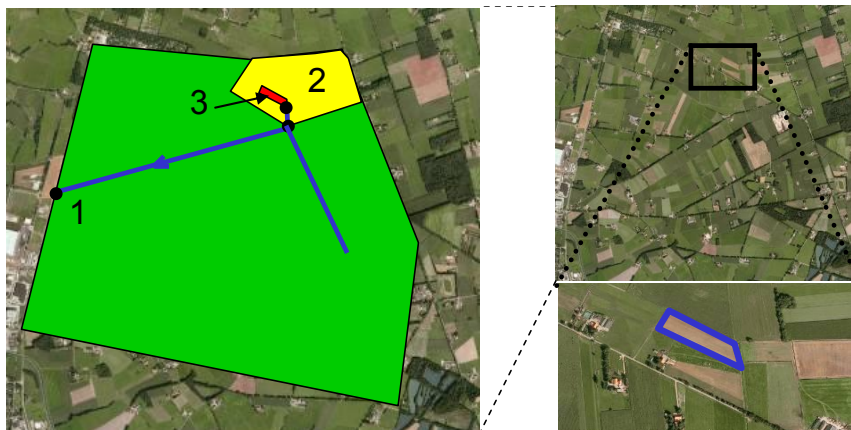
In de Hupselsebeek wordt door Joachim Rozemeijer uitgebreid onderzoek gedaan naar nutriëntenstromen (onder andere af- en uitspoeling) op verschillende schaalniveaus. Voor dit onderzoek heeft hij een deel van zijn resultaten beschikbaar gesteld. De analyse (uitgevoerd door Witteveen+Bos en GisWerk) bestaat uit een eenvoudige systeemanalyse (in kaart brengen van water- en nutriëntenstromen), het inventariseren van metingen, de toepassing van NutriCalc en een vergelijking van resultaten.

Hieronder (afbeelding VI.1) is een overzicht gegeven van het proefgebied. Rechtsboven is een overzicht gegeven. Dit volledige overzicht is links vergroot weergegeven. Rechtsonder (uitvergroting van het zwarte kadertje in de figuur rechtsboven) is het perceel te zien (blauw omlijnd) waar uitgebreid metingen worden verricht naar de af- en uitspoeling van nutriënten. Links zijn drie gebieden ingekleurd. Het eerste gebied is groen. Dit is een deel van het stroomgebied van de Hupselsebeek. Bij punt 1 wordt hoogfrequent (elk kwartier) de P-concentratie en het debiet gemeten. De vracht is representatief voor het groene gebied. Het tweede gebied is geel en representatief voor een verzameling percelen die afwateren op dezelfde sloot. Bij punt 2 wordt de P-concentratie en het debiet gemeten. Het rode gebied is het perceel. Hier wordt op verschillende plaatsen de af- en uitspoeling bepaald. Omdat het landgebruik in de betreffende percelen nog recent is gewijzigd, zijn de punten 2 en 3 niet geschikt voor deze analyse.

De analyse richt zich op de berekening van de vracht P bij punt 1 op basis van de metingen en op basis van NutriCalc. In NutriCalc is de P-vracht per kwartaal per perceel berekend binnen het groene gebied. Vervolgens zijn deze P-vrachten gesommeerd (4 kwartalen, alle percelen binnen de gebiedsgrenzen). Op basis van de P-vracht is de P-belasting op het open water bepaald. Hierbij is uitgegaan van 1 % open water.



AFBEELDING VI.1 MEETPUNTEN IN PROEFGEBIED HUPSELEBEEK



## VI.2 INVOER

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding VI.2. Er is voor gekozen om de kwel en nutriëntenconcentratie in het kwelwater beide op 0 te zetten. Dit heeft te maken met een ondoordringbare ondiepe laag in de bodem, waardoor dieper grondwater geen invloed heeft op de hydrologie en de waterkwaliteit.

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding VI.2.

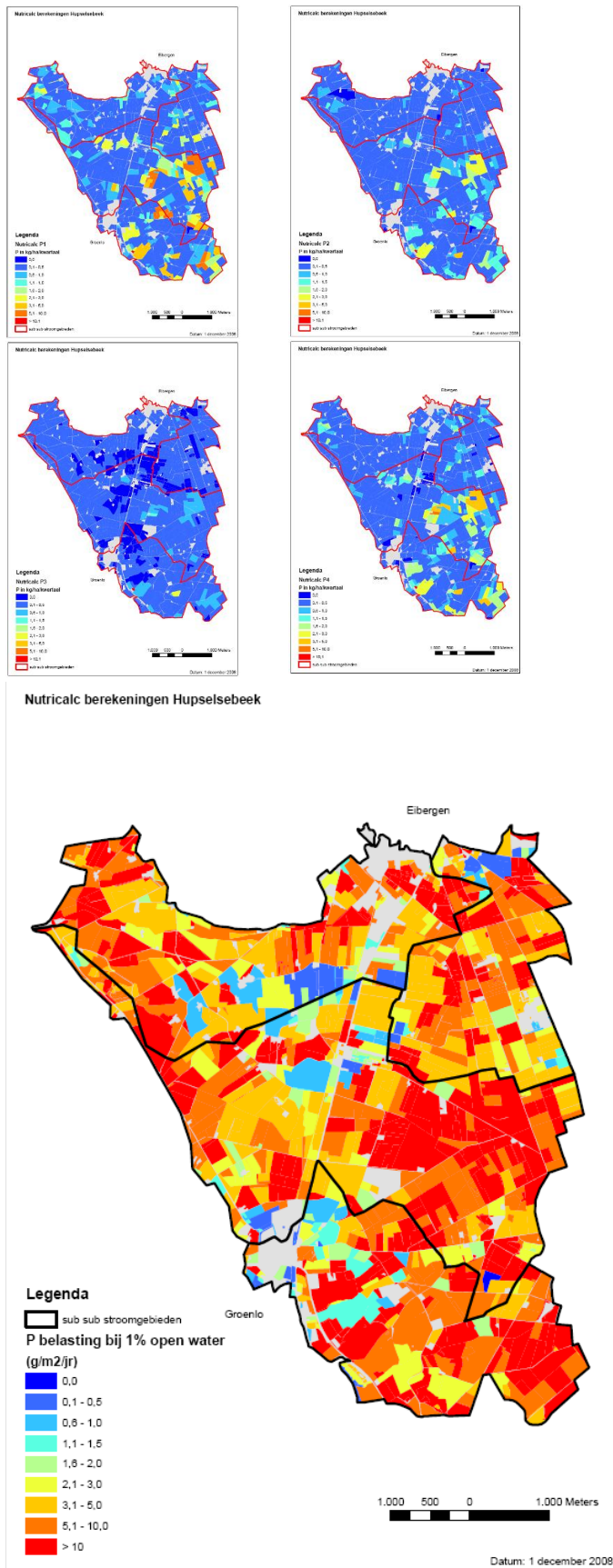
AFBEELDING VI.2 INVOER NUTRICALC

GLG	Waterschap
GHG	Waterschap
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	IMOD TNO / 0
wegz13	IMOD TNO / 0
somkwel	
Nckwel13	0
Pckwel13	0
SomP	STONE

### VI.3 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc-analyse zijn weergegeven in afbeelding VI.3.

AFBEELDING VI.3 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)



In tabel VI.1. is een vergelijking gegeven van de berekende vracht en belasting bij het meetpunt (1) vanuit het stroomgebied en de met NutriCalc berekende vracht en belasting.

TABEL VI.1 VERGELIJKING P-BELASTING PROEFGEBIED HUPSELSEBEEK

berekening	periode	P-belasting open water (g/m <sup>2</sup> /jr)	P-vracht stroomgebied (kg/ha/jr)
Joachim Rozemeijer	06/07/07 - 06/07/08	0,07	0,7
NutriCalc	langjarig gemiddelde	0,26	2,6

#### VI.4 ANALYSE

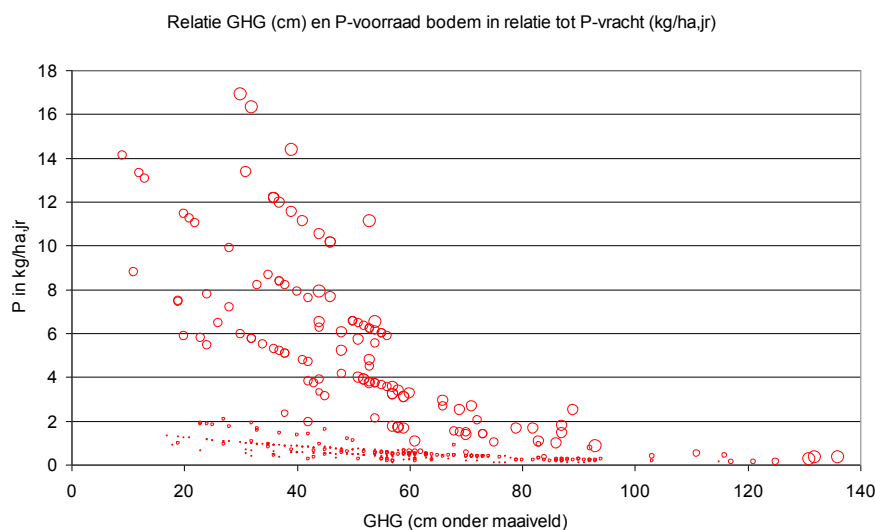
De Hupselsebeek is een goed bruikbaar proefgebied omdat hier nauwelijks andere bronnen zijn dan de af- en uitspoeling en er veel meetgegevens aanwezig zijn. De resultaten van NutriCalc liggen een factor 3 tot 4 hoger dan de door Joachim Rozemeijer gemeten vracht. Bij NutriCalc is de retentie niet meeberekend, Bij Joachim is retentie wel onderdeel van de meting:

vracht NutriCalc = vracht Joachim + retentie (in het ideale geval)

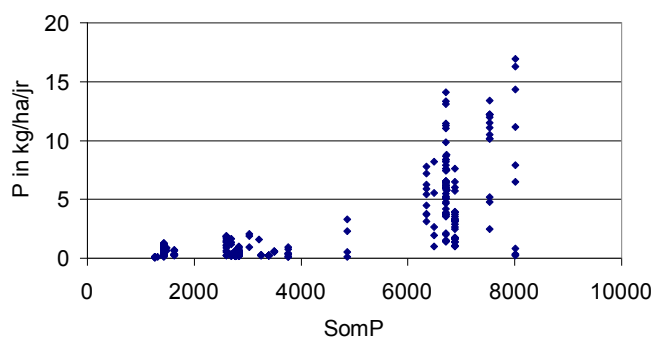
De te verwachten retentie is relatief gering door het beperkte wateroppervlak en de korte verblijftijden in het gebied. Er kan wel sprake van chemische retentie direct wanneer het P vanuit de percelen in het oppervlaktewater komt: a. door bezinking van deeltjesgebonden P (uit afspoeling), b. door precipitatie en/of adsorptie van anorganisch opgelost P (precipitatie bij bv. anaerobe kwel). Het is dus niet zo dat de retentie bij korte stroomtijden nog niets hoeft voor te stellen.

Het verschil kan deels worden verklaard door een relatief grote P-voorraad bij hogere grondwaterstanden (GLG/GHG). De gevoeligheid voor een hoge GLG en GHG (horizontale as) enerzijds en een hoge P-voorraad (bellengrootte) anderzijds blijkt duidelijk uit onderstaande afbeeldingen VI.4. Alleen de GHG is afgebeeld, omdat binnen de dataset van de Hupselsebeek de correlatie tussen GLG en GHG hoog is ( $R^2=0,87$ ). De vraag is of deze P-voorraden redelijk zijn. Er is ten minste sprake van een structurele overschatting, omdat uitgegaan is van het gemiddelde voor de periode 2024-2038. De afzonderlijk relatie van de berekende vracht en de P-voorraad is weergegeven in afbeelding VI.5.

AFBEELDING VI.4 GEVOELIGHEID AF- EN UITSPOELING VOOR GLG/GHG EN P-VOORRAAD (HUPSELSE BEEK)



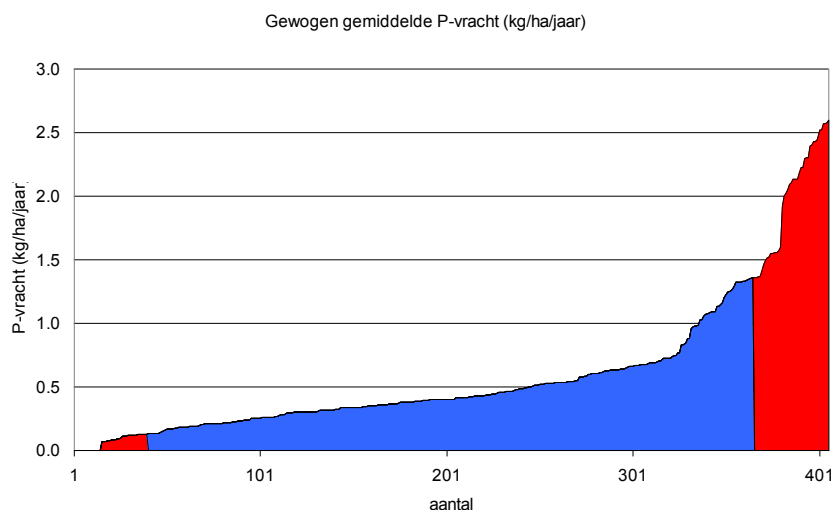
AFBEELDING VI.5 GEVOELIGHEID AF- EN UITSPOELING VOOR P-VOORRAAD BODEM (HUPSELSE BEEK)  
P-voorraad bodem



Een mogelijke oplossing voor de omgang met extreme waarden is om de 10-percentiel en 90-percentiel waarden te verwijderen (op basis van het cumulatieve oppervlak van de percelen). Afbeelding VI.6. geeft aan wat het potentiële hiervan effect is. In de afbeelding zijn de percelen gesorteerd van lage vrachten naar hoge vrachten (in kg/ha.jaar, onafhankelijk van de perceelsgrootte). Het maakt duidelijk wat de toename is van de gemiddelde P-vracht als telkens een perceel wordt toegevoegd. Het gaat om de gemiddelde gewogen toename van de P-vracht. Grote percelen dragen meer bij dan kleine percelen. Dit zorgt soms voor een sprong in de grafiek. In het rood zijn de percelen weergegeven die verwijderd zouden worden als de 10-percentiel en 90-percentiel uit de set gehaald zouden worden. Het blauwe gebied blijft dan over. Het blijkt voor de resultaten nauwelijks uit te maken of voor de 10-percentiel en 90-percentiel uit wordt gegaan van het 'perceelsnummer' (van 1 t/m 406) of van het cumulatieve oppervlak. De gemiddelde P-vracht wordt in beide gevallen bijna gehalveerd.

Door een correctie op basis van 10-percentiel en 90-percentiel wordt de berekende P-vracht verlaagd van 2,6 kg/ha.jaar naar 1,4 kg/ha.jaar. Met een retentie van 50 % kan de door Joachim Rozemeijer berekende P-vracht in theorie worden gereproduceerd.

AFBEELDING VI.6 GEWOGEN GEMIDDELDE P-VRACHT HUPSELSE BEEK PER PERCEEL VAN LAAG NAAR HOOG



Er is geen tijd geweest voor een verdere analyse van de opbouw van de berekende P-afvoer uit het Hupselse beekgebied. Het is interessant om na te gaan welke percelen precies bijdragen aan de hoge P-vracht en of dit beeld overeenkomt met het beeld voortkomend uit het onderzoek van Rozemeijer. Zo'n verdere analyse kan input geven voor een correctie van de P-vracht op basis van gebiedskennis. Bij een gebiedsspecifieke analyse is het bovendien waardevol om de P-voorraad in de bodem te meten en deze te confronteren met de modelmatig (STONE) bepaalde P-voorraad.

EEN EERSTE VERKENNENDE STUDIE  
TOETSING NUTRICALC AAN GEBIEDSKENNIS EN MEETGEGEVENS

**RAPPORT**

2011

**11**

ISBN 978.90.5773.514.1



Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE STOWA, Amersfoort, 2011

## AUTEURS

Sebastiaan Schep	Witteveen+Bos
Co Drost	GISwerk
Rikje van de Weerd	Arcadis

## DEELNEMENDE WATERSCHAPPEN

Joost Heijkers	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Ronald Bakkum	Hoogheemraadschap van Delfland
Michelle Talsma	STOWA
Maarten Ouboter	Waternet
Jan Willem Voort	Waternet
Gerrie Roelofs	Waterschap Peel en Maasvallei
Jan Uunk	Waterschap Regge en Dinkel
Annemarie Hoenderboom	Waterschap Rijn en IJssel
Hella Pommarius	Waterschap Rivierenland

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2010-11  
ISBN 978.90.5773.514.1

# TEN GELEIDE

Vanuit de Europese Kaderrichtlijn Water worden eisen gesteld aan de ecologische kwaliteit van watersystemen. Voor het bereiken van deze doelstellingen moeten de juiste maatregelen worden genomen. Hiervoor is kennis noodzakelijk over het ecologisch functioneren van watersystemen.

Het ecologisch functioneren van watersystemen wordt bepaald door verschillende factoren, waaronder de hydrologie, morfologie en belasting met nutriënten. Vooral voor meer stilstaande watersystemen is de nutriëntenbelasting een bepalende factor. Bij een hoge nutriëntenbelasting is sprake van dominantie door algen of kroos, bij een lage nutriëntenbelasting is sprake van een helder plantenrijk systeem.

De af- en uitspoeling van nutriënten bepaalt een belangrijk deel van de nutriëntenbelasting. De behoefte aan kwantificering van deze nutriëntenstroom is groot om inzicht te krijgen in de maatregelen om te komen tot belastingreductie. In deze studie is onderzocht of het model NutriCalc, dat afgeleid is van het nationale modelinstrumentarium STONE kan voorzien in deze behoefte. NutriCalc is hiertoe toegepast in casestudies bij verschillende waterschappen. De ervaringen zijn gezamenlijk geëvalueerd.

Een absolute verificatie van de modelresultaten op basis van fosfaatvrachten binnen de casestudies bleek niet goed mogelijk. Wel kunnen hoge nutriëntenconcentraties in het watersysteem worden gerelateerd aan hoge nutriëntenvrachten uit NutriCalc. Verschillen met metingen kunnen over het algemeen worden toegeschreven aan extreme waarden door de gevoeligheid van het NutriCalc (voor o.a. een hoge kweldruk) en retentie (die gebiedspecifiek is). Door een verbetering van het metamodel of restricties aan gebiedskenmerken kan dit probleem worden ondervangen.

Ondanks onvolkomenheden kan worden geconcludeerd dat NutriCalc een technisch goed toepasbaar en bruikbaar model is. De koppeling met GIS geeft een goed beeld van de ruimtelijke variatie van de af- en uitspoeling van nutriënten. Het model geeft gedetailleerde input voor stofbalansen. Het model kan gebruikt worden bij gebiedsspecifieke analyses. Voor het regionale waterbeheer vormt NutriCalc hiermee een goed alternatief voor STONE.

Amersfoort, 2011

De directeur van de STOWA  
Ir. J.M.J. Leenen



# SAMENVATTING VOOR BELEIDSMAKERS

## WAAROM DEZE STUDIE

Voor veel watersystemen is de af- en uitspoeling van nutriënten uit landbouwgronden de belangrijkste bron van nutriënten. Toch beschikken regionale waterbeheerders niet over modellen, waarmee een goede schatting mogelijk is van de bijdrage van af- en uitspoeling aan de belasting van watersystemen. Het nationale modelinstrumentarium STONE en de Emissieregistratie bieden geen uitkomst.

Een aantal regionale waterbeheerders (waaronder Waternet, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Waterschap Rivierenland) heeft vanaf 2007 ervaring opgedaan met het emissiemodel NutriCalc. NutriCalc is een van STONE afgeleid model, waarmee de af- en uitspoeling van nutriënten regionaal kan worden bepaald op basis van gebiedsspecifieke informatie en relaties uit STONE.

In STONE zit geen goede hydrologie op regionale schaal. Omdat er in STONE wel een goede relatie is ingebouwd tussen hydrologie en af- en uitspoeling (er is veel aandacht gegeven aan processen), kan deze relatie lokaal worden benut. Met de regionale hydrologie kan vervolgens een betere inschatting worden gemaakt van de af- en uitspoeling.

## DOEL VAN DEZE STUDIE

Het doel van deze studie is een toetsing van het emissiemodel NutriCalc (metamodel STONE) door een eerste verkenning aan de hand van gebiedskennis en meetgegevens. Op basis daarvan is beoordeeld of en binnen welke randvoorwaarden het model bruikbaar is voor toepassing binnen het regionaal waterbeheer. De toetsing betreft voornamelijk de betrouwbaarheid van het model. Daarnaast zijn ook andere aspecten onderzocht, zoals gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid.

Het model is ingezet bij nieuwe cases (Hoogheemraadschap van Delfland, Waterschap Rijn en IJssel), bestaande toepassingen zijn geactualiseerd (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland en er is meer aandacht gegeven aan specifieke watersystemen (Bloemendalerpolder, polder de Ronde Hoep, afwateringsgebied van Dam van Brakel). Ten slotte is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De toepassing van NutriCalc is met de betrokken waterbeheerders geëvalueerd. Het model is getoetst op basis van gebiedskennis, vergelijkingen met gemeten concentraties en vergelijkingen met stofbalansen.

## BEVINDINGEN NUTRICALC

Uit deze studie blijkt dat het concept NutriCalc, te weten een metamodel van STONE met een GIS-ondergrond, een technisch goed toepasbaar en tot nu toe enig bruikbaar alternatief voor STONE vormt. NutriCalc kan goed worden toegepast voor de berekening van af- en uitspoeling van nutriënten in een gemiddelde situatie. De resultaten zijn dan in grote lijnen vergelijkbaar met STONE. De bijdrage van snelle afvoerroutes kan niet goed worden bepaald. Met NutriCalc kunnen ruimtelijke verschillen in beeld worden gebracht op een gedetailleerder en voor regionale waterbeheerders relevanter niveau dan STONE. Er zijn nog wel belangrijke aanpassingen nodig, zoals een verbetering van de wijze waarop het model is afgeleid van STONE en een actualisatie van de verouderde STONE database.

### **AANBEVELINGEN VOOR STONE**

De regionale waterbeheerders hechten veel waarde aan STONE. Mede omdat STONE ontwikkeld is voor toepassing op nationaal niveau, is het minder geschikt voor regionale toepassing. Regionale waterbeheerders zouden daarom graag betrokken worden bij verdere ontwikkelingen. Ze onderkennen het belang van aansluiting op nieuwe (kennis)ontwikkelingen, maar zitten tegelijkertijd met een pragmatisch vraagstuk. Voor waterbeheerders is verder STONE-onderzoek 'op de vierkante centimeter' minder relevant, omdat ze nu aan de slag moeten met maatregelen. Het gaat de waterbeheerders om de toepasbaarheid. Aanbevelingen zijn: vereenvoudig het concept, sluit aan bij nieuwe kennis (zoals het belang van snelle afvoer-routes), besteed aandacht aan deelsystemen (hydrologie, bodem en waterkwaliteit), sluit aan bij regionale vragen en voed de modellen met regionale kennis en data.

# 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. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

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 inventarisaties van de behoefte 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 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# TOETSING NUTRICAL AAN GEBIEDSKENNIS EN MEETGEGEVENS

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING VOOR BELEIDSMAKERS	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Doelstelling	1
	1.3 Sporenbenadering	2
	1.4 Werkgemeenschap	2
	1.5 Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>NUTRICAL</b>	<b>4</b>
	2.1 Beschrijving NutriCalc	4
	2.2 Invoer NutriCalc	5
	2.3 Toetsing NutriCalc	5

<b>3</b>	<b>SAMENVATTING RESULTATEN</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSIE</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>BEANTWOORDING VRAGEN</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK</b>	<b>17</b>
<b>6.1</b>	Conclusies	17
<b>6.2</b>	Aanbevelingen	18
<b>7</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>21</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	
I	GEVOELIGHEIDSANALYSE	23
II	TOEPASSING NUTRICALC RIVIERENLAND	31
III	TOEPASSING NUTRICALC WATERNET	41
IV	TOEPASSING NUTRICALC HDSR	47
V	TOEPASSING NUTRICALC DELFLAND	49
VI	TOEPASSING NUTRICALC RIJN EN IJSSEL (HUPSELSEBEEK)	55

# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

Afspoeling en uitspoeling van nutriënten uit (voormalige) landbouwgronden bepalen een belangrijk deel van de nutriëntenbelasting van watersystemen, zowel direct (poldersloten) als indirect (kanalen, plassen, etc. benedenstrooms). Het belangrijkste probleem is dat de nutriëntenvrucht moeilijk is te bepalen. Er bestaat dan ook een grote behoefte aan een betere kwantificering hiervan. Een goede inschatting maakt het mogelijk om de bijdrage van deze bron te vergelijken met andere bronnen.

Waterschappen hebben dit jaar in de detailanalyse het maatregelenpakket voor 2015 vastgesteld. Veel waterschappen hebben hierbij gebruik gemaakt van het nationale modelinstrumentarium STONE (Wolf, 2005) of de Emissieregistratie. Met name Waternet heeft uitgebreid ervaring opgedaan met NutriCalc. NutriCalc is een van STONE afgeleid model, waarmee de af- en uitspoeling van nutriënten regionaal kan worden bepaald op basis van gebiedsspecifieke informatie en relaties uit STONE.

In STONE zit geen goede hydrologie op regionale schaal. Omdat er in STONE wel een goede relatie is ingebouwd tussen hydrologie en af- en uitspoeling (er is veel aandacht gegeven aan processen), kan deze relatie lokaal worden benut. Met de regionale hydrologie kan vervolgens een betere inschatting worden gemaakt van de af- en uitspoeling.

Er is landelijk veel discussie over de toepasbaarheid van NutriCalc op lokale schaal. Alterra geeft bijvoorbeeld aan dat een toepassing op regionale schaal onvoldoende betrouwbaar is. De gedachte leeft dat STONE geschikt is om regionale verschillen te beschrijven (tussen hoge zandgronden in Gelderland en Brabant, klei- en veengronden), maar minder geschikt om op lokaal niveau de af- en uitspoeling te kwantificeren. Het afgeleide NutriCalc zou hiervoor dan nog minder geschikt zijn.

Uit een toepassing van NutriCalc in de Bommelerwaard (Rivierenland) is gebleken dat het model erg hoge nutriëntenvrachten berekend. Het model zou gevoelig zijn voor kwel en wegzijging. Met voorliggende verkennende studie wordt het emissiemodel NutriCalc getoetst. Zo wordt meer inzicht verkregen in de bruikbaarheid van het model voor regionale waterbeheerders.

### 1.2 DOELSTELLING

Het doel van deze studie is een toetsing van het emissiemodel NutriCalc (metamodel STONE) door een eerste verkenning aan de hand van gebiedskennis en meetgegevens. Op basis daarvan is beoordeeld of en binnen welke randvoorwaarden het model bruikbaar is voor toepassing binnen het regionaal waterbeheer. De toetsing betreft voornamelijk de betrouwbaarheid van het model. Daarnaast zijn ook andere aspecten onderzocht, zoals gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid.

Een belangrijk nevendoeel is het uitwisselen van kennis en ervaringen tussen de waterschappen. De afgelopen jaren is hier mede door de grote tijdsdruk (te) weinig aandacht aan besteed. Nu is er ruimte om gezamenlijk op te trekken en van elkaar te leren.

De belangrijkste vragen hierbij zijn:

- voorspelt NutriCalc de P-vracht van de uitspoeling op regionale schaal goed?
- heeft NutriCalc op regionale schaal een meerwaarde ten opzichte van STONE?
- is er voldoende draagvlak onder de werkgemeenschap om te investeren in NutriCalc?
- hoe moet/kan NutriCalc worden verbeterd?
- wat is de geldigheid en bruikbaarheid van NutriCalc?

### 1.3 SPORENBENADERING

Er is uitgegaan van een benadering in 3 sporen (zie verder 2.3):

1. gevoeligheidsanalyse;
2. gebiedsbrede toepassing voor Stichtse Rijnlanden, Delfland en Rivierenland (Bommelerwaard);
3. gebiedsspecifieke toepassing voor Waternet (Bloemendalerpolder, Ronde Hoep), Rivierenland (afwateringsgebied Van Dam van Brakel) en Rijn en IJssel (onderzoekgebied Hupselse Beek).

### 1.4 WERKGEMEENSCHAP

Een belangrijk aspect van deze studie is dat het gedragen is door vertegenwoordigers van waterschappen. Hiervoor is een werkgemeenschap gevormd, bestaande uit mensen die het werk uit hebben gevoerd (projectteam) en mensen die data en systeemkennis aan hebben geleverd van systemen die zij kennen (kernteam bestaande uit vertegenwoordigers van waterschappen). Er is uitgegaan van een flexibele benadering en de in de werkgemeenschap en het projectteam aanwezige expertise. Door deze benadering was het mogelijk om in korte tijd een groot aantal cases afkomstig van verschillende beheersgebieden te analyseren.

De werkgemeenschap bestond uit de volgende mensen:

<b>naam</b>	<b>organisatie</b>
Sebastiaan Schep	Witteveen+Bos
Co Drost	GISwerk
Rikje van de Weerd	Arcadis
Joost Heijkers	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Ronald Bakkum	Hoogheemraadschap van Delfland
Michelle Talsma	STOWA
Maarten Ouboter	Waternet
Jan Willem Voort	Waternet
Gerrie Roelofs	Waterschap Peel en Maasvallei
Jan Uunk	Waterschap Regge en Dinkel
Annemarie Hoenderboom	Waterschap Rijn en IJssel
Hella Pommarius	Waterschap Rivierenland

## 1.5 LEESWIJZER

Het resultaat van deze studie is een beknopt rapport met een uitgebreide beschrijving van de gevoeligheidsanalyse en de specifieke toepassingen in de bijlagen. In hoofdstuk 2 is het model NutriCalc toegelicht en is beschreven hoe de resultaten in het algemeen zijn geïnterpreteerd. Hoofdstuk 3 geeft een samenvatting van de resultaten. In hoofdstuk 4 zijn de belangrijkste bevindingen bediscussieerd. In hoofdstuk 5 is antwoord gegeven op de vragen. In hoofdstuk 6 zijn conclusies getrokken met aanbevelingen voor het vervolgtraject.

In bijlage I zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse weergegeven met discussie. In de bijlagen II t/m VI zijn per (en door de) waterbeheerder de verschillende toepassingen van NutriCalc beschreven (Rivierenland (II), Waternet (III), HDSR (IV), Delfland (V), Rijn en IJssel (VI)). Deze bijlagen beginnen met een beschrijving van de invoer van het model. Vervolgens zijn de resultaten weergegeven. In de laatste paragraaf volgt de analyse met een korte discussie.



# 2

## NUTRICALC

### 2.1 BESCHRIJVING NUTRICALC

NutriCalc is een waterkwaliteitsmodule die in de voorgaande versie van het Waternood-instrumentarium werd gebruikt (Aalderink 2003). Het is een metamodel dat is gebaseerd op een multiple regressieanalyse op basis van aan de ene kant de gebiedskenmerken die als invoer zijn gebruikt voor STONE en aan de andere kant de modelresultaten van STONE. Dit maakt het mogelijk om met NutriCalc op basis van gebiedsspecifieke informatie de N- en P-uitspoeling te bepalen.

STONE is het landsdekkende nutriëntenemissiemodel dat ontwikkeld is voor het evalueren van effecten van milieu- en landbouwbeleid op de belasting met stikstof en fosfaat van het grond- en oppervlaktewater. De ontwikkelde metamodellen zijn gebaseerd op de STONE 2.0 simulaties onder bemestingsscenario D. Inmiddels is een verbeterde versie van STONE (versie 2.3) uitgekomen, waarin de hydrologische berekeningen sterk zijn verbeterd ten opzichte van voorgaande versies (door de koppeling Nagrom-Swap).

Voor de ontwikkeling van STONE 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 (Aalderink, 2003).

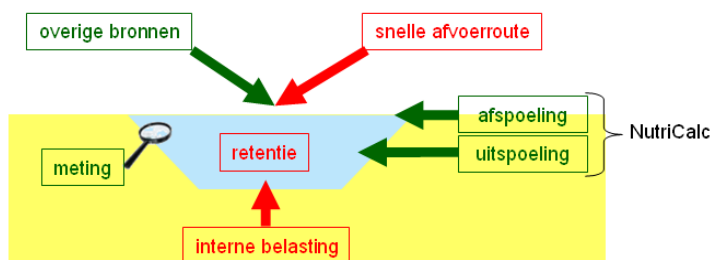
Er zijn metamodellen afgeleid voor de volgende uitvoervariabelen:

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

De berekende oppervlaktewaterafvoer is voor deze studie minder relevant. De N- en P-afvoer naar het oppervlaktewater wel. Binnen deze studie ligt de focus op de P-afvoer (zie kader "P-belasting centraal"). Snelle afvoerroutes worden niet meegenomen (zie afbeelding 2.1).

Van belang is wat NutriCalc precies berekent en waarmee de resultaten vergeleken worden. NutriCalc berekent de af- en uitspoeling van nutriënten op elk denkbaar schaalniveau. In deze studie is uitgegaan van een berekening van de P-afvoer op perceelsniveau. De resultaten zijn beoordeeld op basis van expert kennis, relatieve vergelijkingen van de berekende af- en uitspoeling met gemeten concentraties voor beheersgebieden en absolute vergelijkingen op basis van stofbalansen. Dit laatste is in afbeelding 2.1 geschematiseerd. Belangrijk is dat twee onzekere factoren een rol spelen bij de vergelijking van de berekende af- en uitspoeling met metingen, te weten de retentie in het watersysteem en de interne belasting vanuit de waterbodem. Ook de bijdrage van andere bronnen is onzeker.

AFBEELDING 2.1 SCHEMATISATIE AF- EN UITSPOELING IN RELATIE TOT METINGEN EN ONZEKERHEDEN



### P-BELASTING CENTRAAL

De nadruk van het onderzoek ligt op de P-belasting. Fosfor wordt vaak beschouwd als sleutel-nutriënt in het ecologisch functioneren van watersystemen. Door de hoge N-depositie vanuit de lucht wordt de primaire productie vaak bepaald door de P-beschikbaarheid (Smolders, 2006). Een bijkomend voordeel is dat de P-belasting beter stuurbaar is dan de N-belasting (Jaarsma, 2008). Het verschil in P en N kan wel inzichtelijk zijn. In een NutriCalc studie van Arcadis (2008) bleek het patroon in N uitspoeling door de kwartalen overeen te komen met het patroon van N concentraties. Bij P was er een verschil zichtbaar.

## 2.2 INVOER NUTRICALC

De benodigde invoer van NutriCalc is weergegeven in tabel 2.1. In de bijlagen II t/m VI is per gebied een toelichting opgenomen.

TABEL 2.1 INVOER NUTRICALC

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

## 2.3 TOETSING NUTRICALC

Voor de toetsing van het emissiemodel NutriCalc is uitgegaan van een benadering in 3 sporen.

### SPOOR 1 GEVOELIGHEIDSANALYSE

In dit spoor is specifiek onderzoek gedaan naar gesignaleerde knelpunten aan de hand van een gevoeligheidsanalyse. Hierin is de bijdrage van alle parameters aan de berekende nutriëntenvrachten onderzocht aan de hand van een fictieve dataset met invoergegevens. Deze fictieve dataset is opgebouwd door een random variatie van parameterwaarden binnen een bandbreedte die in bepaalde gevallen ruimer is dan in STONE. Dit heeft geleid tot 32.000 modelberekeningen voor vier kwartalen (in totaal dus 128.000 berekeningen).

**SPOOR 2 GEBIEDSBREDE TOEPASSING**

In dit spoor is NutriCalc voor verschillende gebieden toegepast op perceelsniveau maar op regionale schaal beoordeeld. De gebieden dekken een belangrijk deel van de variatie in gebiedskarakteristieken in het land (onder andere rivierengebied, veenweidegebied, hogere zandgronden). De resultaten zijn beoordeeld op basis van expert kennis, waarbij uitgegaan is van algemene karakteristieken zoals bodemtype (zand, klei, veen), landgebruik (landbouw, natuur) en hydrologie (wegzijging, kwel). Bovendien is een vergelijking gemaakt met gemeten concentraties.

**SPOOR 3 GEBIEDSSPECIFIEKE TOEPASSING**

In dit spoor is NutriCalc meer in detail getoetst door toepassing op een aantal duidelijk afgebakende gebieden. Hierbij zijn voor elk van de gebieden water- en stofbalansen opgesteld. Op basis van deze balansen is een vracht uit het gebied bepaald. Deze is vergeleken met de bij het gemaal gemeten vracht. In de Hupselsebeek is uitgebreid onderzoek gedaan naar nutriëntenstromen (onder andere af- en uitspoeling). NutriCalc kan hierdoor op het meest fundamentele niveau worden onderzocht, namelijk door een directe vergelijking van de met NutriCalc berekende af- en uitspoeling met de in het veld gemeten af- en uitspoeling.

# 3

## SAMENVATTING RESULTATEN

Hieronder zijn de resultaten van het onderzoek samengevat. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in de bijlagen I t/m VI. Het gaat om de gevoeligheidsanalyse (I) en de verschillende toepassingen in het beheersgebied van Rivierenland (II), Waternet (III), HDSR (IV), Delfland (V) en Rijn en IJssel (VI).

### SPOOR 1 GEVOELIGHEIDSANALYSE

De gevoeligheid voor de verschillende parameters is duidelijk verschillend. Het model is vooral gevoelig voor extremen in kwel, GLG/GHG en P-voorraad. De P-voorraad uit STONE, die als invoer is gebruikt, geeft bovendien een overschatting, omdat uitgegaan wordt van een berekende P-voorraad voor de periode 2024-2038. De P-voorraad wordt hoger door meer bemesting.

Daarnaast valt op dat de relatie tussen een bepalende factor en de berekende P-belasting in bepaalde gevallen verschillend is voor de vier kwartalen. Geconstateerd is dat er soms sprake is van het toepassen van 1) foutieve transformaties (gevolg: relaties die fysisch en/of chemisch niet logisch zijn) en 2) een 'overfitting' door het toekennen van een te groot aantal verklarende variabelen. Een voorbeeld van een foutieve transformatie is het kwadraat van kwel (opgenomen in de berekening af- en uitspoeling water in kwartaal 2 en 3 en fosfor in kwartaal 4). Dit betekent dat bij een toename van kwel op een bepaald moment sprake zal zijn van een afname van de vracht P en de hoeveelheid water.

Het verdient aanbeveling om de informatie en ook de methodiek van deze gevoeligheidsanalyse te gebruiken bij een eventuele verbeterde versie van NutriCalc. Het metamodel zou ten slotte opnieuw moeten worden afgeleid. Binnen een zekere bandbreedte (welke in deze studie niet precies is onderzocht) geeft de foutieve afleiding geen grote afwijkingen. Hoe specifieke een gebied, hoe groter de fout wordt als gevolg van deze afleiding.

### SPOOR 2 GEBIEDSBREDE TOEPASSING

Er is uitgegaan van een relatieve vergelijking van de gemeten concentratie met de berekende belasting. In sommige gevallen is uitgegaan van expert kennis. Over het algemeen komen de gebiedsspecifieke verschillen overeen met de verwachting. Er is niet specifiek gekeken naar retentie.

Uit de fosfaatbalans voor de Bommelerwaard (Rivierenland) is geconcludeerd dat de met NutriCalc berekende fosfaatvrachten qua orde grootte overeenkomen met de inschattingen die zijn gemaakt voor de stoffenbalans. Er is sprake van een grote onzekerheid in de stoffenbalans, omdat de uitwisseling tussen deelgebieden niet goed kan worden bepaald. Door deze onzekerheid kan geen uitspraak worden gedaan over de kwaliteit van de uitkomsten in vergelijking met eigen inschattingen of STONE.

In het beheersgebied van Delfland is NutriCalc toegepast op drie gebieden, te weten polder Berkel, Zuidpolder van Delfgauw en de Holierhoekse- en Zouteveensepolder. Voor polder Berkel en de Zuidpolder van Delfgauw geldt dat in de huidige situatie ook andere bronnen van belang zijn. Dit maakt de analyse lastiger. De berekende fosfaatvrachten komen 'aardig overeen' met de verzamelde gegevens. Het is goed mogelijk meetgegevens binnen de polders te reproduceren. De Holierhoekse- en Zouteveensepolder bestaat voor 95 % uit grasland (veenweidegebied). Omdat er slechts beperkt water wordt ingelaten voor peilhandhaving is deze polder bij uitstek de meest geschikte polder om de relatie tussen berekende uitspoelingsgegevens uit de bodem te relateren aan waargenomen stofconcentraties in het oppervlaktewater. De verschillen tussen de afzonderlijke meetlocaties komen qua orde grootte goed overeen met de door NutriCalc berekende waarden.

In het beheersgebied van HDSR is de analyse gedaan voor het gehele beheersgebied. Er is een vergelijking gemaakt met gemeten nutriëntenconcentraties in de winter (wintergemiddelde), omdat dan de invloed van gebiedsvreemd water beperkt is. Uit deze analyse blijkt dat NutriCalc over het algemeen de verschillen tussen metingen goed kan verklaren.

### **SPOOR 3 GEBIEDSSPECIFIEKE TOEPASSING**

Op het schaalniveau van afwateringsgebieden en polders is een vergelijking gemaakt met meetgegevens (debieten, concentraties) bij gemalen of stuwen.

In de Hupselsebeek (Rijn en IJssel) wordt de fosfaatvracht met een factor 3 tot 4 overschat. Dit is deels te verklaren door retentie in het watersysteem die grofweg kan variëren van 39 tot 72 % in laaglandbeken (de Klein, 2008) en het feit dat een vergelijking is gemaakt met slechts één meetjaar (hoewel dit meetjaar juist relatief nat was met als gevolg een vrij lage retentie en daardoor een relatief hoge fosfaatvracht). Verder is dit te verklaren door de gevoeligheid van het model voor minder voorkomende (extremere) waarden. Een beperkt deel van de percelen bepaalt een groot deel van de P-belasting: ruim 10 % van de percelen zorgt bijvoorbeeld voor 50 % van de berekende P-belasting. Als voor dit alles zou worden gecorrigeerd komt de berekende P-belasting veel beter in de buurt van de gemeten P-belasting, ook met een retentie in de orde grootte die overeenkomt met de door De Klein berekende percentages.

Het afwateringsgebied Van Dam van Brakel is hydrologisch geïsoleerd van de overige gebieden binnen de Bommelerwaard en daarom nader geanalyseerd. De aanvoer van kwel is erg groot, waardoor geen water hoeft te worden ingelaten. De met NutriCalc berekende fosfaatvracht is beoordeeld op basis van de resulterende retentie in het gebied. De berekende retentie (80 %) is hoger dan in de andere gebieden binnen de Bommelerwaard (69 %). Met name in het derde kwartaal worden hoge fosfaatvrachten berekend bij een hoge kwelfluxen. De hogere retentie kan worden verklaard uit het feit dat sprake is van een relatief geïsoleerd systeem met een langere verblijftijd in vergelijking met de andere systemen. Jeroen de Klein toont in zijn proefschrift aan dat de retentie in lijnvormige wateren toeneemt bij een langere verblijftijd (de Klein, 2008).

Voor de Ronde Hoep geldt dat de berekende vrachten op basis van de stoffenbalans (met als belangrijkste input NutriCalc) in de buurt liggen van de berekende fosfaatvrachten op grond van de metingen. Er zijn twee verschillende jaren geanalyseerd. In het natte jaar 2002 is sprake van een onderschatting, in het droge jaar 2003 juist van een overschatting. Voor de Bloemendalerpolder leiden de berekeningen met NutriCalc tot een overschatting van zo'n 25 tot 200 % afhankelijk van het kwartaal. De variatie over de kwartalen wordt wel goed gesimuleerd: in het zomerhalfjaar is de fosfaatvracht duidelijk lager dan in het winterhalfjaar. De overschatting kan worden verklaard door retentie. De resultaten van beide deelgebieden zijn niet op perceelsniveau geanalyseerd.

# 4

## DISCUSSIE

De resultaten laten zien dat de verschillen tussen de met NutriCalc en water- en stofbalansen berekende fosfaatvracht en de op basis van metingen ingeschatte fosfaatvracht soms groot zijn. Dit heeft te maken met een aantal factoren. De invloed van deze factoren is globaal onderzocht. Ze worden hieronder verder toegelicht. Mogelijke factoren zijn:

- NutriCalc voorspelt geen juiste fosfaatvracht;
- toetsing en interpretatie meetresultaten
- onzekerheid stofbalans;
- gevoeligheid metamodel;
- onzekerheid invoer;
- retentie.

### **NUTRICALC VOORSPELT GEEN JUISTE WAARDEN**

De meest voor de hand liggende oorzaak van de afwijking tussen de met NutriCalc en water- en stofbalansen berekende fosfaatvracht en de op basis van metingen ingeschatte fosfaatvracht is dat NutriCalc geen juiste fosfaatvracht berekend. Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat de fosfaatvracht op perceelsniveau soms (veel) te hoog is. Dit heeft te maken met de gevoeligheid voor een aantal parameters in het model (zie verder kopje gevoeligheid). Zolang NutriCalc wordt toegepast op percelen met gebiedskenmerken binnen de bandbreedte van het onderliggende model STONE is het resultaat van beide modellen in theorie vergelijkbaar. Dit is niet specifiek onderzocht, maar in het algemeen geven de resultaten van de verschillende gebiedsstudies geen aanleiding om dit ter discussie te stellen. Als er toch sprake is van afwijkingen ten opzichte van STONE, dan ligt de oorzaak hiervan bij de wijze waarop het metamodel is afgeleid (zie kopje metamodel).

### **TOETSING EN INTERPRETATIE MEETRESULTATEN**

De toetsing van NutriCalc is voornamelijk afhankelijk van de kwaliteit van de meetdata. Toetsing is op verschillende manieren mogelijk. Hieronder is aangegeven wat voor- en nadelen zijn, voor welke methode gekozen is en wat de gevolgen van deze keuze zijn voor de onzekerheid in de toetsing.

Directe toetsing van uit- en afspoeling is vrijwel onmogelijk: het is niet mogelijk om uit- en afspoeling op perceelsniveau goed te meten. Hiervoor zou een perceel volgezet moeten worden met meetapparatuur. Zelfs dan spelen plaatselijke factoren die van invloed zijn op snelle oppervlakkige transportroutes nog een grote rol (Rozemeijer, 2008).

Indirecte toetsing door het meten van nutriëntenconcentraties in sloten is ook problematisch: de nutriëntenconcentratie is immers een afgeleide van de externe nutriëntenbelasting, de interne nutriëntenbelasting en systeemspecifieke processen. Binnen een polder kan je nog kiezen tussen enerzijds metingen in de haarvaten van een slotensysteem en anderzijds tussen metingen bij het gemaal waar al het water uit de polder zich verzamelt.

- voordeel van de haarvaten is dat er weinig uitwisseling plaatsvindt met ander water. Nadeel is dat er weinig meetpunten in haarvaten liggen en dat bij het afstromen van oppervlaktewater en uittreden van grondwater naar de sloot chemische processen toch al voor verstoring zorgen. Bovendien zijn plaatselijke verstoringen dan bepalend voor de metingen. De meting is dus niet representatief voor het hele perceel of polder;
- voordeel van een meting bij het gemaal is dat er relatief veel metingen beschikbaar zijn en dat de metingen representatief zijn voor de polder. Groot nadeel is dat er vaak sprake is van retentie in het slootsystemen en soms ook van verstoring door andere bronnen, zoals inlaat van gebiedsvreemd (boezem)water. In combinatie met een goede waterbalans kan op basis van concentratiemetingen een goede inschatting worden gemaakt van de P-vrachten uit de verschillende gebieden. Dit kan worden vergeleken met de berekende P-vrachten op basis van NutriCalc, waarbij gecorrigeerd wordt voor de termen als wegzijging en kwel.

In dit onderzoek is gekozen voor toetsing op basis van waterkwaliteitsgegevens bij gemalen. Dit is vooral een praktische keuze geweest, omdat de waterkwaliteit over het algemeen alleen structureel bij gemalen gemeten wordt. Andere locaties zijn vaak ad hoc bemeten, veel monitoringsdata is daardoor niet geschikt. Het gevolg hiervan is dat bij de toetsing aan de hand van metingen bij gemalen rekening moet worden gehouden met retentie (zie verder kopje retentie). Daarnaast is de meetfrequentie vaak beperkt tot maandelijks metingen, terwijl de P-concentratie in werkelijkheid sterk kan schommelen. Door Rozemeijer (2008) wordt dit duidelijk aangetoond in de Hupselsebeek.

#### **MODELMATIGE TOETSING**

Een modelmatige toetsing was binnen dit onderzoek niet haalbaar en ook niet wenselijk, omdat met een dergelijke toetsing een nieuwe onzekerheid wordt geïntroduceerd. Voordeel van zo'n toetsing is dat beter rekening gehouden met de complexe fysische, chemische en ecologische processen in lijnvormige wateren. Waternet heeft in 2007 goede ervaring opgedaan met een analyse van NutriCalc in combinatie met het voor sloten ontwikkelde ecologisch model PCDitch (Janse 2005). Met NutriCalc is de nutriëntenbelasting berekend, terwijl met PCDitch is bepaald vanaf welke nutriëntenbelasting een watersysteem gedomineerd wordt door kroos (kritische nutriëntenbelasting). Ook in polder Bergambacht is een analyse gemaakt van de effecten van nutriëntenbelasting op de waterkwaliteit, waarbij de modellen SWAP/ANIMO en PCDitch gezamenlijk zijn ingezet (van Liere, 2002).

#### **ONZEKERHEID STOFBALANS**

Het is niet eenvoudig om de met NutriCalc berekende fosfaatvracht te vergelijken met gemeten fosfaatvrachten, omdat bijna altijd sprake is van andere bronnen. In de verschillende studies is daarom altijd een water- en stofbalans opgesteld, waarbij NutriCalc de fosfaatvracht door af- en uitspoeling berekend. De onzekerheid in de berekening van de fosfaatvracht uit andere bronnen is groot. Hoe groter de invloed van andere bronnen, hoe groter de onzekerheid. In de specifiekere analyses is daarom altijd uitgegaan van relatief geïsoleerde systemen. In laag Nederland spelen twee bronnen echter (vrijwel) altijd een rol, te weten kwel en/of inlaat van gebiedsvreemd water. Zowel debieten als bijbehorende P-concentraties zijn vaak moeilijk in te schatten, omdat ze niet of nauwelijks geregistreerd worden (inlaat vindt vaak plaats via stuwtejes). Een andere belangrijke bron is de interne nalevering vanuit de baggerlaag. In veel poldersystemen is sprake van een baggerachterstand. De interne nalevering is vaak onbekend en wordt daarom soms meegenomen als sluitpost in de stofbalans. Als ten slotte ook nog



sprake is van bronnen als particuliere inlaatjes, glastuinbouw, volkstuinten, sportvelden, overstorten etc. en/of als er uitgegaan wordt van doorspoelbeheer (gevolg zeer veel inlaat van gebiedsvreemd water) wordt het nog lastiger om NutriCalc op een betrouwbare manier te toetsen.

### **GEVOELIGHEID METAMODEL**

Bij het onderzoek in de Hupselsebeek is geconstateerd dat er grote verschillen zijn tussen de berekende vrachten in verschillende percelen. De gemiddelde P-vracht wordt sterk bepaald door een beperkt aantal percelen, waarin een zeer hoge vracht wordt berekend. Zonder deze percelen is de met NutriCalc berekende vracht significant lager. Ook in gebieden met een hoge kwelintensiteit, zoals afwateringsgebied Van Dam van Brakel (Rivierenland) en de Bethunepolder en de Horstermeer (Waternet, eerdere analyse), geven de berekeningen met NutriCalc sterke overschattingen van de fosfaatuitspoeling. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt de gevoeligheid van NutriCalc voor bijvoorbeeld een combinatie van een lagere GLG en GHG met een grotere P-voorraad in de bodem en een hoge kwelintensiteit.

De oorzaak van deze afwijkingen ligt deels bij de gekozen bandbreedte van de invoer. In bepaalde gevallen is de bandbreedte groter dan die van STONE. Dit geldt voor kwel, wegzijging en de P-concentratie in kwel. Verder is de kwaliteit van het metamodel ontoereikend. Er zijn te veel parameters opgenomen in het model, er is uitgegaan van onjuiste (fysisch/chemisch niet logische) transformaties en parameters komen vaker binnen het zelfde regressiemodel voor terwijl ze geen toegevoegde waarde hebben. Het gevolg is bijvoorbeeld dat in kwartaal 4 de P-vracht in NutriCalc eerst toeneemt bij toenemende kwel, maar later weer afneemt. Ten slotte is de vraag gerechtvaardigd of de toegepaste regressietechniek wel bruikbaar is voor het ontsluiten van STONE. Verwacht mag worden dat met een nieuw metamodel significante verbeteringen mogelijk zijn.

### **ONZEKERHEID INVOER**

Voor de invoer in NutriCalc worden diverse bronnen gebruikt waarover een vertaal/aggregatie slag plaats vindt om ze te kunnen gebruiken. Ook is de kwaliteit/actualiteit dan wel de geschiktheid van de bron voor de toepassing wisselend. De onzekerheid in invoer kan groot zijn. Dit geldt voor bepaalde gebieden voor de GxG's, kwel en ook SomP. De verschillen kwamen voort uit niet verklaarbare lokale verschillen, het meenemen van onderliggende grondwatermodellen van kwel in sloten en beperkte kwaliteitsindicatie door de waterbeheerder. Dit geldt voornamelijk voor de P-voorraad in de bodem, maar ook voor kwel en wegzijging en de N- en P-concentratie in de kwel. Het voor de P-voorraad gebruikte bestand is verouderd en onvoldoende gedetailleerd. Bovendien is de P-voorraad in STONE, die bij gebrek aan beter als invoer is gebruikt, berekend voor de periode 2024-2038.

Daarnaast speelt ook de wijze van aggregeren van bepaalde invoerbronnen op bijvoorbeeld perceelsniveau een rol. Voor de berekeningen is uitgegaan voor zo eenvoudig mogelijke benadering zonder veel middelingen of filteringen. Hierdoor is zoveel mogelijk recht gedaan om niet vooringenomen bepaalde invoerparameters aan te passen en de modelresultaten te beïnvloeden.

## RETENTIE

De invloed van retentie op de resultaten is niet uitgebreid onderzocht, hoewel de invloed groot is. Retentie beïnvloedt het transport van nutriënten. Onder retentie wordt verstaan het geheel aan verwijderingsprocessen in het watersysteem. Door fysische, chemische en biologische processen is er per definitie sprake van een afwijking van berekende vrachten op basis van metingen (bij gemalen) en berekende vrachten met NutriCalc (belasting vanuit percelen).

Retentie is van belang omdat met NutriCalc de af- en uitspoeling berekend is in de 'uiteinden' van het watersysteem, terwijl over het algemeen een vergelijking is gemaakt met metingen bij gemalen. De retentie is sterk afhankelijk van gebiedskenmerken (verblijftijd, waterplanten), maar ook van de meteorologische condities (neerslag, verdamping, temperatuur) in het meetjaar. De gemiddelde retentie in sloten wordt geschat op 30 tot 50 % (bij korte verblijftijden) en in beekbovenlopen op 50 % (De Klein 2008). Modelberekeningen laten zien dat de retentie in sloten in de zomer kan oplopen tot 90 % bij langere verblijftijden en bij aanwezigheid van waterplanten (indicatieve berekeningen Witteveen+Bos met model nutriëntenretentie De Klein 2008 en PCDitch).

De retentie in sloten en beekbovenlopen is voornamelijk het gevolg van sedimentatie (De Klein 2008). Dit hangt voor een belangrijk deel samen met de verblijftijd. Hoe langer de verblijftijd, hoe hoger de retentie. Ook de aanwezigheid van waterplanten en ijzer(ont)bindende stoffen (onder andere SO<sub>4</sub>, Fe, Al, Ca in water en bodem) beïnvloeden de retentie. De verblijftijd varieert in tijd en ruimte:

- tijd: NutriCalc doet een voorspelling over een langjarige gemiddelde N- en P-vracht. In werkelijkheid meet je momentopnames. De verschillen tussen jaren zijn groot door bijvoorbeeld verschillen in neerslag en temperatuur. In droge jaren zal een groot deel van de af- en uitgespoelde P-vracht in een gebied achterblijven, omdat er dan nauwelijks sprake is van waterafvoer. Het onderzoek in de Ronde Hoep bevestigt dit. De gemeten vrachten verschillen binnen twee (hydrologische uiteenlopende) meetjaren al een factor 2. In de andere gebieden is een vergelijking gemaakt met slechts één meetjaar;
- ruimte: in de geïsoleerde delen van gebieden is de verblijftijd veel langer dan in delen van gebieden dichtbij aan- of afvoerpunten. De retentie in deze delen is dan ook vele malen hoger.

Naast sedimentatie zijn ook de opname en afgifte van nutriënten in het voedselweb (algen, ondergedoken waterplanten, kroos, vis) van belang. Ondergedoken waterplanten kunnen nutriënten opnemen uit het water en (tijdelijk) vastleggen. De nutriënten die door algen worden opgenomen blijven beschikbaar in het water. In natte perioden worden door algen opgenomen nutriënten afgevoerd, terwijl de door planten opgenomen nutriënten achterblijven in het systeem. De ecologische toestand van het watersysteem (dominantie algen, kroos of planten) is dus direct bepalend voor de retentie. Het seizoen speelt daarbij ook een belangrijke rol. Vissen zijn ten slotte door bodemwoeling in staat de in de bodem vastgelegde nutriënten weer beschikbaar te maken in het water. De retentie wordt daar mee vermindert.

# 5

## BEANTWOORDING VRAGEN

### **VRAAG 1: VOORSPELT NUTRICALC DE P-VRACHT VAN DE UITSPOELING OP REGIONALE SCHAAL GOED?**

Deze analyse geeft onvoldoende grond voor een harde uitspraak over het voorspellend vermogen van emissiemodel NutriCalc op regionale schaal. Er zijn te veel onzekerheden. De belangrijkste zijn de retentie, de invloed van droge en natte jaren en het gebrek aan goede metingen. Over het algemeen komen de berekende fosfaatvrachten redelijk overeen met verwachtingen en metingen. Het model is gevoelig voor lokale extremen in kwel en de combinatie GLG/GHG en een hoge P-voorraad. Dit leidt soms tot forse overschattingen van de fosfaatvracht. In een gemiddelde situatie zijn de resultaten in grote lijnen vergelijkbaar met STONE.

### **VRAAG 2: HEEFT NUTRICALC OP REGIONALE SCHAAL EEN MEERWAARDE TEN OPZICHTE VAN STONE?**

NutriCalc heeft als toepassing op regionale schaal een meerwaarde ten opzichte van STONE omdat:

- het gebruiksgemak van NutriCalc vele malen groter is dan dat van STONE. NutriCalc is eenvoudig toepasbaar, voor iedereen toegankelijk en kan worden gekoppeld aan GIS, waardoor resultaten geografisch en op perceelsniveau kunnen worden gepresenteerd. STONE is niet goed toepasbaar;
- de berekening met NutriCalc verlopen snel. STONE is complex;
- het is mogelijk om scenario's door te rekenen door de koppeling met stuurfactoren;
- toepassing van NutriCalc op lokale en/of regionale schaal leidt tot meer begrip van het systeem en het signaleren van knelpunten. Het is dus diagnostisch en biedt een goede basis voor gebiedsspecifieke maatregelen.

### **VRAAG 3: IS ER VOLDOENDE DRAAGVLAK ONDER DE WERKGEMEENSCHAP OM TE INVESTEREN IN NUTRICALC?**

Voordat deze vraag beantwoord kan worden moet onderscheid worden gemaakt in het concept NutriCalc, te weten een metamodel van een onderliggend model en de huidige uitwerking van dit concept, te weten het model dat er nu ligt. De werkgemeenschap staat kritisch ten opzichte van het huidige model NutriCalc, maar wil wel verder investeren in het concept NutriCalc.

Voor waterbeheerders is verder (STONE-)onderzoek 'op de vierkante centimeter' minder relevant, omdat waterbeheerders nu aan de slag moeten met maatregelen. Het gaat de waterbeheerders om de toepasbaarheid. De STONE-ontwikkeling is juist niet gericht op toepassing, maar op inhoudelijk verdieping.

Waterbeheerders kunnen dus niet op deze ontwikkelingen wachten. Bovendien is de oplossingsrichting niet die waar waterbeheerders zelf voor zouden kiezen. Waterbeheerders willen een regionaal, eenvoudig en snel toepasbaar model. De waterbeheerders onderkennen wel het belang van aansluiting op nieuwe (kennis)ontwikkelingen, maar zitten tegelijkertijd met een pragmatisch vraagstuk.

Voor waterschappen is het idee of concept NutriCalc, te weten een metamodel met een GIS-ondergrond op dit moment daarom het enige toepasbare en bruikbare alternatief. Het gaat bovendien niet om de precieze absolute uitkomsten, maar om inzicht in het (hydrologisch, chemisch en ecologisch) functioneren van hun beheersgebied. Het is voldoende als goede schattingen gedaan kunnen worden die gebruikt kunnen worden voor stofbalansen en waterkwaliteitsmodellen en voor de vergelijking van de bijdrage met andere bronnen. Met dat inzicht kunnen gebiedsspecifieke maatregelen worden genomen.

#### **VRAAG 4: HOE MOET/KAN NUTRICALC WORDEN VERBETERD?**

Er moet onderscheid worden gemaakt in korte en lange termijn verbeteringen.

##### **KORTE TERMIJN VERBETERINGEN**

Voor het gebruik van het huidige model NutriCalc op korte termijn stellen we de volgende verbeteringen voor:

- beter en actueler basisbestand P-voorraad voor de periode rond 2010 in plaats van 2024-2038;
- begrenzing van het model voor uitschieters en vreemde combinaties, bijvoorbeeld op basis van 95-percentiel.

Een nadeel van NutriCalc is dat de resultaten moeilijk te interpreteren zijn. Met een beknopte handleiding (eenvoudige praktijkrichtlijnen) is dit te ondervangen. Daarin staan:

- korte omschrijving van de toepasbaarheid met verwijzing naar achtergrond documentatie;
- beschrijving hoe om te gaan met invoer parameters (praktisch);
- beschrijving achterliggende formules;
- beschrijving van de te doorlopen stappen en kanttekening per stap;
- beschrijving van de interpretatie uitvoer (wat is het resultaat en hoe te interpreteren).

Daarnaast is het model nog lastig toe te passen. Dit kan worden ondervangen door een eenvoudige (al ontwikkelde) tool, waarmee op basis van shapefiles NutriCalc is door te rekenen;

##### **LANGE TERMIJN VERBETERINGEN**

Voor de lange termijn zijn verschillende oplossingen mogelijk:

- verbetering onderliggend model: verbeteringen van het onderliggend model leiden automatisch tot een verbetering van het metamodel. In eerste instantie moet worden ingezet op verbetering van STONE. Om inzicht te krijgen in de potentiële verbetering kan op korte termijn al een nieuwe update van NutriCalc worden gemaakt op basis van data uit de laatste STONE-versie. Deze data is al beschikbaar, dus kost relatief weinig tijd en geld;
- verbetering afleiding metamodel: voor het afleiden van het metamodel is een gedegen statistische analyse en validatie vereist. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt immers dat het model zeer gevoelig is voor lokale extremen. Geconstateerd is dat er te veel factoren in het regressiemodel zijn opgenomen en relaties gebruikt zijn die fysisch en/of chemisch niet

verklaarbaar zijn. Het ligt voor de hand om een nieuw regressiemodel af te leiden met minder factoren of uit te gaan van andere technieken. Een voorbeeld van een alternatieve techniek is een 'white box' neuraal netwerk. Dit type neuraal netwerk is beter in staat relaties te voorspellen. Bovendien is een goede interpretatie van uitkomsten mogelijk (in tegenstelling tot black-box neuraal netwerken);

- afstemmen parameters op regionaal waterbeheer: kwel en wegzijging op 13 meter diepte moeten bijvoorbeeld worden vervangen door kwel en wegzijging op 1 meter diepte.

Voor een goede toetsing van het model is verder een betere inschatting nodig van de retentie. Hiervoor is een veel uitgebreidere analyse nodig (meer gebieden, meer meetjaren). Een eerste actie zou kunnen zijn om de retentie als gevolg van droge en natte jaren beter in te schatten. Dit is wellicht mogelijk op basis van (reeds bestaande) waterbalansen.

#### **VRAAG 5: WAT IS DE GELDIGHEID EN BRUIKBAARHEID VAN NUTRICALC?**

De studie biedt zoals gezegd onvoldoende grond om te toetsen of het mogelijk is om met NutriCalc de absolute fosfaatvrucht uit percelen te berekenen. Dit geldt voornamelijk voor de gedetailleerde toepassingen (Ronde Hoep, Bloemendalerpolder, Hupselse Beek, Afwateringsgebied van Dam van Brakel): 1) langjarige tijdreeksen ontbreken, waardoor geen goede vergelijking mogelijk is met de langjarige voorspelling die NutriCalc doet en 2) de gebieds-specifieke retentie is een black box, waar door de (keuze voor) geringe diepgang van deze studie nog onvoldoende inzicht in is ontstaan.

De regionale toepassingen op het niveau van beheersgebieden (Bommelerwaard, beheersgebied HDSR en eerdere analyse Waternet) die beoordeeld zijn op basis van gebiedskennis laten zien dat NutriCalc de regionale verschillen inzichtelijk maakt en helpt om het watersysteem als geheel beter te begrijpen.

# 6

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK

### 6.1 CONCLUSIES

Het doel van deze studie is een toetsing van het emissiemodel NutriCalc (metamodel STONE) door een eerste verkenning aan de hand van gebiedskennis en meetgegevens. Op basis daarvan is beoordeeld of en binnen welke randvoorwaarden het model bruikbaar is voor toepassing binnen het regionaal waterbeheer. De toetsing betreft voornamelijk de betrouwbaarheid van het model. Daarnaast zijn ook andere aspecten onderzocht, zoals gebruiksvriendelijkheid en toepasbaarheid.

Een absolute verificatie van de modelresultaten op basis van fosfaatvrachten is binnen deze studie niet goed mogelijk gebleken. Dit heeft te maken met verschillende factoren, waarvan het gebrek aan goede meetgegevens en (de keuze voor) het gebrek aan diepgang binnen deze verkennende studie de belangrijkste zijn: 1) er is sprake van onzekerheid in de invoer van systeemkenmerken, 2) de bruikbare meetpunten in afwateringsgebieden liggen vaak in de buurt van gemalen of andere kunstwerken, waardoor retentie in het watersysteem en andere bronnen van invloed zijn op de berekende fosfaatvracht, 3) er is onvoldoende inzicht in de retentie en de invloed van andere bronnen binnen afwateringsgebieden, 4) de meetfrequentie is beperkt tot maandelijks metingen, waardoor hogere P-concentraties vaak niet gemeten worden, 5) er is niet gewerkt met langjarige meetreeksen, terwijl neerslag en verdamping een belangrijke invloed hebben op de berekende fosfaatvracht.

Een relatieve verificatie op basis van gebiedskennis heeft wel een beeld gegeven van de betrouwbaarheid van het model. Over het algemeen geeft het model resultaten die overeenkomen met het beeld van de regionale waterbeheerders. Verschillen met metingen kunnen over het algemeen worden toegeschreven aan extreme waarden door de gevoeligheid van het model en retentie. Het model is gevoelig voor specifieke factoren, waaronder GLG en GHG, kwel en de P-voorraad in de bodem. Dit is bevestigd door de gevoeligheidsanalyse. Door een verbetering van het metamodel of restricties aan gebiedskenmerken kan dit probleem worden ondervangen. Ten slotte zou de retentie beter in beeld moeten worden gebracht. Dit kan met het door Jeroen de Klein (de Klein, 2008) ontwikkelde retentiemodel voor nutriënten en het ecologische model PCDitch (Janse, 2005).

Hoewel het emissiemodel NutriCalc op een aantal punten kan worden verbeterd is gebleken dat het model praktisch gezien een goed toepasbaar instrument is. Het is zeer snel in tegenstelling tot veel andere modellen en door de koppeling met GIS geeft het een goed beeld van de variatie van de af- en uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater binnen het beheersgebied. Het model geeft gedetailleerde input voor stofbalansen. Het gebruik leidt tot vragen en zet aan tot gebiedsspecifieke analyses en kennis. Dit is bijvoorbeeld van belang voor het nemen van kosteneffectieve maatregelen die vereist zijn voor het behalen van doelstellingen voor de KRW.

Dit alles in overweging nemende is geconcludeerd dat het concept NutriCalc, te weten een metamodel van STONE of een ander model met een GIS-ondergrond, een technisch goed toepasbaar en (tot nu toe enig) bruikbaar alternatief voor STONE vormt. Het gaat de waterbeheerders enerzijds niet om precieze absolute uitkomsten, maar om inzicht in het (hydrologisch, chemisch en ecologisch) functioneren van hun beheersgebied. Met dat inzicht kunnen degelijk onderbouwde gebiedsspecifieke maatregelen worden genomen. Anderzijds is voor de waterbeheerders een schatting/berekening nodig die voldoende betrouwbaar is voor het gebruik in stofbalansen en waterkwaliteitsmodellen en voor het vergelijken met andere bronnen. Hiervoor lijkt Nutricalc nog niet voldoende nauwkeurig in alle omstandigheden.

Regionale waterbeheerders willen een regionaal, eenvoudig en snel toepasbaar model. De waterbeheerders onderkennen wel het belang van aansluiting op nieuwe (kennis)ontwikkelingen, maar zitten tegelijkertijd met een pragmatisch vraagstuk. Voor waterbeheerders is verder STONE-onderzoek 'op de vierkante centimeter' minder relevant, omdat ze nu aan de slag moeten met maatregelen. Het gaat de waterbeheerders om de toepasbaarheid.

De kritiek die Alterra heeft op de toepassing van STONE of afgeleide instrumenten om op regionale schaal fosfaatvrachten te kwantificeren is begrijpelijk. Er zijn echter geen bruikbare alternatieven voorhanden. De betrouwbaarheid is belangrijk, maar ook andere aspecten wegen mee. Met name de eenvoudige toepasbaarheid heeft de doorslag gegeven. De betrouwbaarheid moet worden geborgd door een begrenzing van het model voor extremen en door een goede handleiding met eenvoudige praktijkrichtlijnen, zodat gebruikers de modelresultaten op waarde kunnen schatten.

## 6.2 AANBEVELINGEN

Het concept NutriCalc, te weten een metamodel van STONE of een ander model met een GIS-ondergrond, vormt zoals gezegd een goed toepasbaar en (enig) bruikbaar alternatief voor STONE. Deze studie is echter verkennend van opzet geweest, waardoor een goede verificatie niet mogelijk is gebleken. De verschillende knelpunten zijn eerder in het rapport benoemd. Aanbevolen wordt om deze studie een vervolg te geven, zodat meer inzicht ontstaat in de in deze studie geïdentificeerde onzekerheden. Verdere verbeterpunten zijn opgenomen onder vraag 4 in hoofdstuk 5.

### **METEN, METEN, METEN**

De toetsing van het model zou in het vervolg gericht moeten worden op het niveau van afwateringsgebieden. Er moeten (veel) meer (verschillende) gebieden worden geselecteerd, waarvan langjarige tijdreeksen beschikbaar zijn. Dit geeft meer inzicht in de hydrologische retentie (verschillen per jaar), maar ook in de chemische en ecologische retentie die afhankelijk zijn van gebiedsspecifieke kenmerken. Er kan hierbij gebruik worden gemaakt van modellen als PCDitch of het door de Klein ontwikkelde retentiemodel, maar ook van eenvoudig te bepalen gebiedsspecifieke factoren als het percentage open water. Knelpunt blijft dat het aantal meetlocaties beperkt is. Hier valt op korte termijn weinig aan te doen.

Verder is het goed om nog eens aandacht te vragen voor het belang van metingen: onder andere hoogfrequente P-metingen in plaats van niet representatieve maandelijkse metingen, niet alleen metingen bij gemalen maar op meer plaatsen in een watersysteem (bijv. haarvaten, grondwaterkwaliteit) en metingen random in tijd en ruimte in plaats van vaste punten en

vaste tijdstippen. De berekende vrachten kunnen nu niet goed getoetst worden aan gemeten vrachten, omdat de gemeten vrachten geen goed beeld geven van de werkelijkheid.

Zonder betrouwbare kalibratiereeksen kan de achterliggende theorie in de toegepaste modellen wel goed zijn, maar zullen de uitkomsten nooit overeen kunnen komen met metingen en waarnemingen. In de bestaande instrumenten zit veel kennis over de processen, maar veel van deze instrumenten vragen om een te groot aantal moeilijk te meten of te schatten gebiedspecifieke invoerparameters, waardoor de uitkomsten ook steeds minder betrouwbaar worden. Er moet bijvoorbeeld meer energie gestoken worden in het begrijpen van af- en uitspoelingsprocessen in klei-, veen- of zandgebieden (met kwel en/of wegzijging) in relatie tot de bemestingstoestanden.

Op de lange termijn zouden grootschalige meetprojecten moeten worden opgestart om het model te valideren op basis van regionale hydrologische data en lokale metingen. Om meer inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van het model zou het model op verschillende gebieden en op verschillende schaalniveaus moeten worden toegepast, dus op perceels-, peilvak- en polderniveau en in polders met zowel kwel- als wegzijging. Daarbij kan bijvoorbeeld samenwerking worden gezocht met WLTO en andere belangenorganisaties.

#### **NIEUW METAMODEL**

Er zijn belangrijke verbeteringen mogelijk in het metamodel. Het huidige metamodel bevat te veel en vaker voorkomende parameters (in verschillende transformaties). De toegepaste transformaties zijn niet altijd zinvol en introduceren zelfs fouten, omdat de resulterende relaties niet fysisch/chemisch verklaarbaar zijn (voornamelijk buiten de bandbreedte van STONE). Tegenwoordig zijn bovendien betere technieken beschikbaar om dergelijke modellen af te leiden (zogenaamde 'white box neurale netwerken'). Op basis van de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse wordt verwacht dat een verbetering van het metamodel een aanzienlijke verbetering geeft van berekende fosfaatvrachten.

#### **TOETSING MET BEHULP VAN PCD<sub>ITCH</sub> / RETENTIEMODEL DE KLEIN**

De toetsing van de fosfaatvracht door af- en uitspoeling uit percelen wordt bemoeilijkt door verschillende onzekerheden. Naast de onzekerheid in de invoer zijn de onzekerheden het gevolg van de toetsing aan de hand van metingen bij gemalen of andere kunstwerken. Er is sprake van een black box. Ten slotte introduceert de frequentie van meten een extra onzekerheid. Dit knelpunt kan worden omzeild door toetsing van NutriCalc met behulp van modellen als PCDitch of het retentiemodel van De Klein (2008). Met het retentiemodel van De Klein kan een inschatting worden gemaakt van de retentie op basis van onder andere verblijftijd en aanwezigheid van waterplanten.

PCDitch is een ecologisch model voor sloten, waarbij de fosfaatvracht (of belasting) als input wordt gebruikt. Met PCDitch wordt voorspeld of een sloot gedomineerd is door algen, kroos of waterplanten. Dit kan worden vergeleken met de werkelijke situatie die vaak bekend is. Nadeel is dat een tweede modelnauwkeurigheid wordt geïntroduceerd. De combinatie van NutriCalc met het percentage open water (die samen de nutriëntenbelasting op het open water bepalen) in combinatie met de kritische belasting (die met PCDitch kan worden bepaald) biedt ook een goed bruikbaar diagnostisch kader. Deze benadering is niet uitgebreid onderzocht, omdat de focus van het onderzoek anders lag, maar Waternet heeft goede ervaringen met het gecombineerde gebruik van modellen opgedaan. De gebiedsanalyses met NutriCalc en PCDitch ten behoeve van de KRW detailanalyse binnen Waternet hebben geresulteerd in



een beeld dat consistent is met het praktijkbeeld: gebieden met hoge fosfaatuitspoelingen volgens NutriCalc en lage percentages open water zijn voedselrijk met een sterke mate van kroosbedekking. In zijn huidige vorm is NutriCalc in combinatie met PCDitch dus al een waardevol instrument gebleken. Het is een benadering die past bij de werkelijkheid, waarin waterbeheerders op dit moment moeten manoeuvreren

#### **AANBEVELINGEN VOOR STONE**

De regionale waterbeheerders hechten veel waarde aan STONE. De voorspellende waarde van NutriCalc is bovendien direct afhankelijk van de kwaliteit van STONE. Mede omdat STONE ontwikkeld is voor toepassing op nationaal niveau, is het voor regionale toepassing minder geschikt. De regionale waterbeheerders zouden daarom graag betrokken worden bij verdere STONE-ontwikkelingen. Hieronder volgen daarom een aantal concrete aanbevelingen vanuit de regionale waterbeheerders:

- 1 het huidige STONE-concept sluit onvoldoende aan bij nieuwe kennis (bijv. het belang van snelle afvoerroutes), het gewenste detailniveau en is gebaseerd op te complexe onderliggende modellen. Er is een nieuw concept nodig, waarbij onderliggende modellen worden vervangen of modellen worden toegevoegd: onder andere koppeling met een oppervlaktewaterkwaliteitsmodule (NUSWA, SOBEK WQ of PCDitch), aansluiting bij het NHI, koppeling met GIS;
- 2 calibreer en valideer de afzonderlijke deelsystemen (hydrologie, oppervlaktewaterkwaliteit, bodemkwaliteit), zodat je echt weet waar de onnauwkeurigheden ontstaan;
- 3 leidt per relevante combinatie van bodemtype (klei, veen, zand) en landgebruik een meta-model af, dat qua gebruiksgemak en output overeenkomt met NutriCalc. Dus afzonderlijke modellen, rekening houdend met regionale verschillen;
- 4 zorg bij de voeding van de onderliggende modellen en bij de validatie voor regionale kennis en data en sluit aan bij regionale vragen.

## 7

## LITERATUUR

Aalderink, R.H., van Bakel, P.J.T., Bastiaanssen, M.A., Drost, C., Goedhart, P., Nieuwenhuis, R.A., Oenema, O., Ouboter, M.R.L., Schoumans, O. 2003. Waterkwaliteit in Waterlood. STOWA nr. 2003,02. Utrecht.

Arcadis. 2008. Studie Bommelerwaard.

Jaarsma, N.G., Klinge, M. en L. Lamers, 2008. Van helder naar troebel... en weer terug. STOWA nr. 2008.04. Utrecht.

Janse, J.H., 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches, proefschrift, Wageningen Universiteit

Klein, J.J.M. de, 2008. From ditch to delta: nutrient retention in running waters, proefschrift, Wageningen Universiteit

Liere van, L., Janse, J., Jeuken, M. en P. Puijenbroek van, 2002. Effect of nutrient loading on surface waters in polder Bergambacht, The Netherlands, Agricultural Effects on Ground and Surface Waters: Research at the Edge of Science and Society (Proceedings of a symposium held at Wageningen, October 2000).

Rozemeijer, J. en Y. Velde van der. 2008. Oppervlakkige afstroming ook van belang in het vlakke Nederland. H2O 19: 92-94.

Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers en J. Roelofs. 2006. De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. Vakblad voor Natuur, Bos en Landschap 3 (4): 5-11.

Wolf, J., A. Beusen, P. Groenendijka T. Kroon, R. Rötter and H. van Zeijts. 2005., The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modeling and Software 18, 597-617.



## BIJLAGE 1

# GEVOELIGHEIDSANALYSE

## I.1 INLEIDING

Voor deze studie zijn drie sporen uitgewerkt. In dit hoofdstuk zijn de resultaten gepresenteerd van het derde spoor de gevoeligheidsanalyse. Het doel is een indicatie van de gevoeligheid van de berekende nutriëntenfluxen als functie van de verschillende parameters.

## I.2 METHODETTT

NutriCalc berekent drie fluxen, te weten water, totaal N en totaal P. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in vier kwartalen. Voor de gevoeligheidsanalyse zijn de verschillende invoerparameters van het emissiemodel NutriCalc random gevarieerd binnen de bandbreedte, zoals gegeven in tabel I.1. De GHG is tevens een functie van de GLG, zodat de GHG nooit hoger is dan de GLG. Het aantal gecombineerde variaties bedraagt 32.000. De bandbreedte is groter dan in STONE. Verder is gekeken naar de verschillen in berekende nutriëntenfluxen in de verschillende kwartalen.

TABEL I.1 BANDBREEDTE INVOERPARAMETERS GEVOELIGHEIDSANALYSE EMISSIEMODEL NUTRICALC

parameter	eenheid	analyse laag	analyse hoog	STONE laag	STONE hoog
GLG	m	0.16	6.54	0.16	6.54
GHG	m	0.00	5.42	0	5.42
Lgn2	-	1	4	1	4
Bodemall	-	1	21	1	21
Kwel13	mm/kwartaal	0.00	900	0	338.38
Wegz13	mm/kwartaal	0.00	482	0	181.34
Somkwel	mm/kwartaal	n.v.t.	n.v.t.	-181.34	338.38
Nckwel13	mg/l	0.00	50	0	18.64
Pckwel13	mg/l	0.00	10	0	3.5017
Somp	kg/ha,j	200	13275	199.8	13275

Bekend is dat de berekening van de waterflux niet voldoende betrouwbaar is. In deze gevoeligheidsanalyse ligt de nadruk op de P-flux.

## I.3 RESULTATEN

De resultaten zijn in onderstaande afbeelding I.1 t/m I.9 en tabel I.2 weergegeven. In de afbeeldingen zijn boxplots weergegeven voor de relatie tussen de parameters enerzijds en de P-flux anderzijds. De boxplots bestaan uit de mediaan (vierkant) en respectievelijk de 25 en 75 percentiel-waarde. Verder is in afbeelding I.10 een frequentieverdeling gepresenteerd.

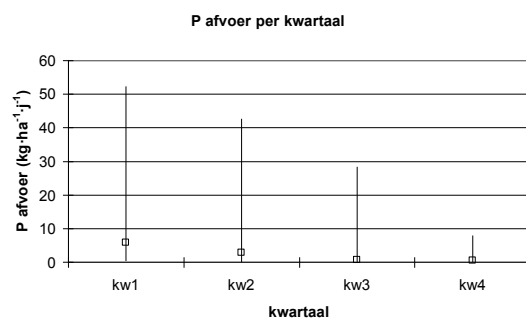
In afbeelding I.1 en tabel I.2 is de variatie in P-fluxen te zien over de vier kwartalen. Er is een duidelijke relatie met de vier kwartalen. In het eerste kwartaal zijn de berekende P-fluxen het hoogst. In het tweede kwartaal, derde en vierde kwartaal zijn de berekende P-flux steeds lager.

Vooral in het vierde kwartaal is de flux altijd (relatief) laag. Verder laat de tabel zien dat er ook veel extreme modeluitkomsten gegenereerd worden binnen de gehanteerde bandbreedte, hoewel dit een beperkt deel van de modeluitkomsten betreft.

De gevoeligheid voor de verschillende parameters is duidelijk verschillend, hoewel de gehanteerde bandbreedte per parameter hier ook op van invloed is. Daarnaast valt op dat de relatie per kwartaal soms verschillend is. Factoren die gevoelig reageren zijn (in afnemende volgorde) met name kwel (vooral kwartaal 3 laat extreme waarden zien bij een kwel van 6 mm/d en hoger), maar ook de GLG en in mindere mate de GHG, de P-concentratie in de kwel (vooral in kwartaal 1 is een sterke toename te zien van de P-flux bij een toenemende kwelconcentratie) en het bodemtype (hier is kwartaal 3 juist niet gevoelig, verder is de relatie met de verschillende typen per kwartaal verschillend).

In afbeelding I.10 is een indicatie te zien van de werkelijke spreiding. Voor de GHG in kwartaal 4 is dit een mooie verdeling. In veel andere gevallen is deze verdeling veel minder duidelijk. Het gaat erom dat de spreiding zeer groot is. Dit betekent dat een combinatie van parameters met een afwijkende waarde kan leiden tot een zeer hoge waarde voor de P-flux. Opgemerkt moet worden dat de bandbreedte voor deze studie wel erg groot is. In de praktijk zullen de extreme waarden dan ook niet voorkomen.

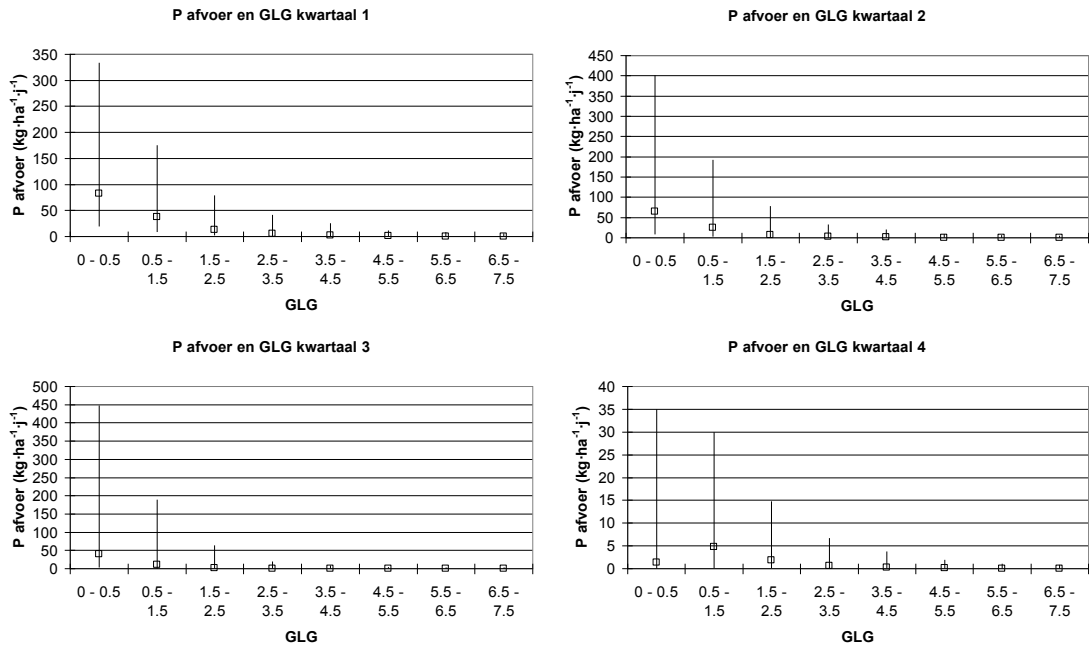
AFBEELDING I.1 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL



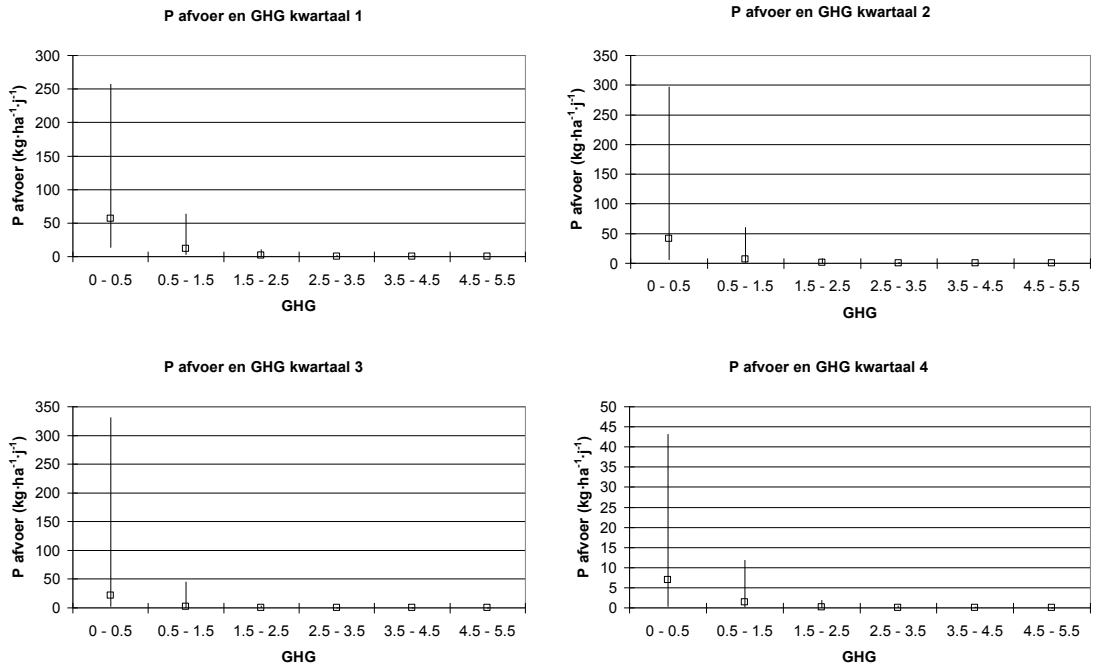
TABEL I.2 VERDELING P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAA

kwartaal	25p	50p	75p	90p	95p	maximum	gemiddelde	scheefheid	stdev
kw1	0.4	5.8	52	306	860	318886	383	39	4526
kw2	0.1	2.9	43	377	1281	369470	712	26	7807
kw3	0.0	0.6	28	668	3893	399147	2494	13	19582
kw4	0.0	0.4	8	50	138	203726	144	45	2914

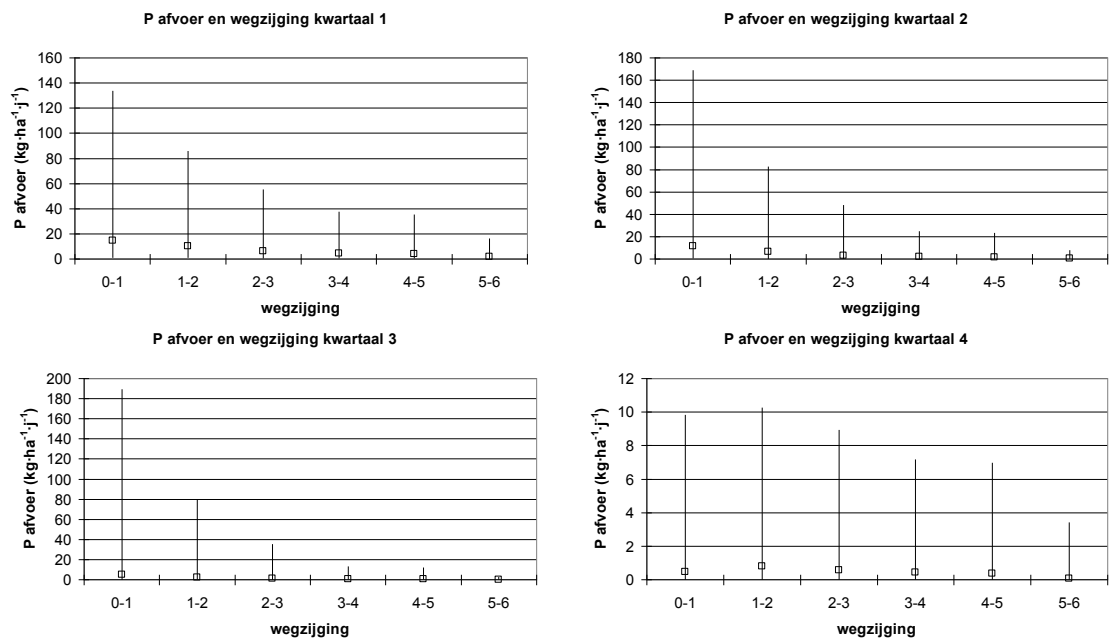
AFBEELDING I.2 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT GLG



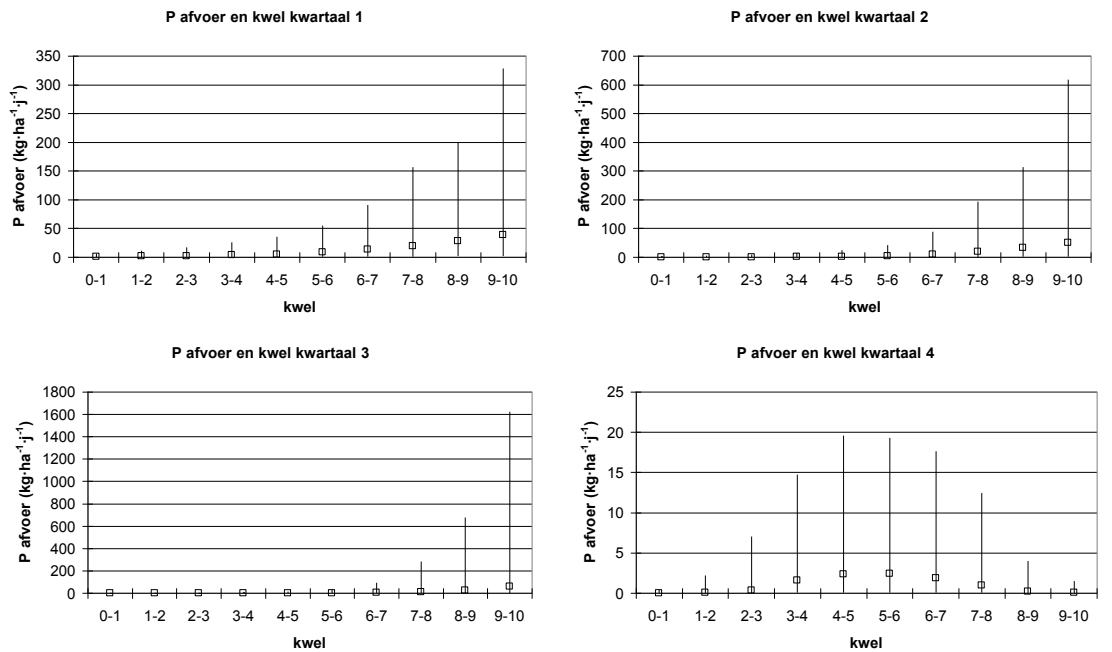
AFBEELDING I.3 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT GHG



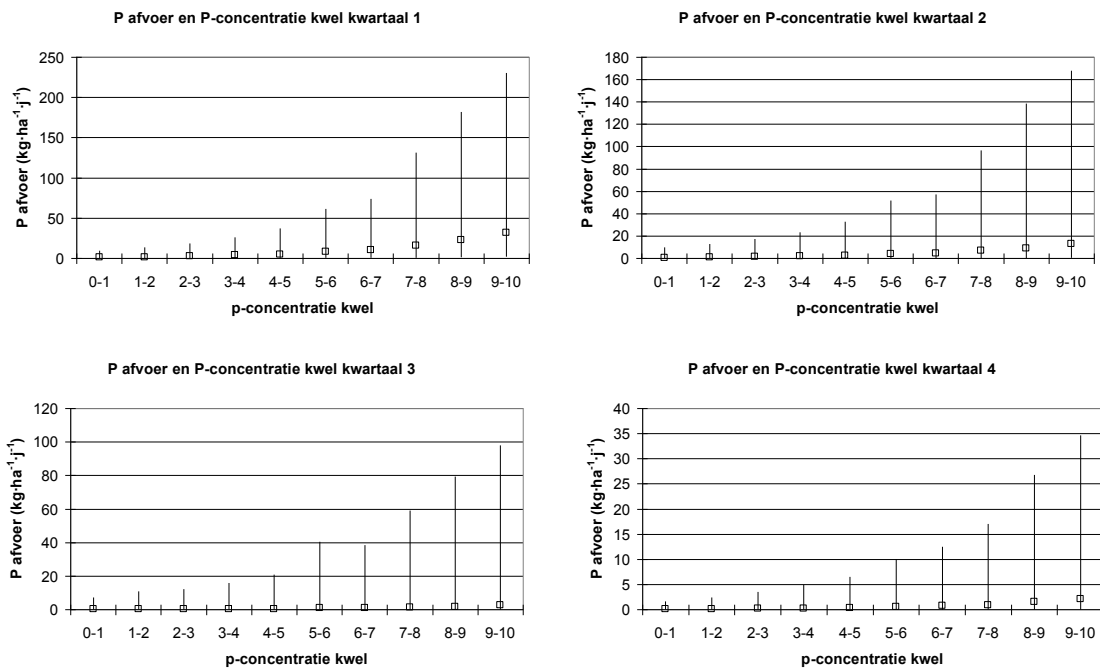
AFBEELDING I.4 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT WEGZIJGING



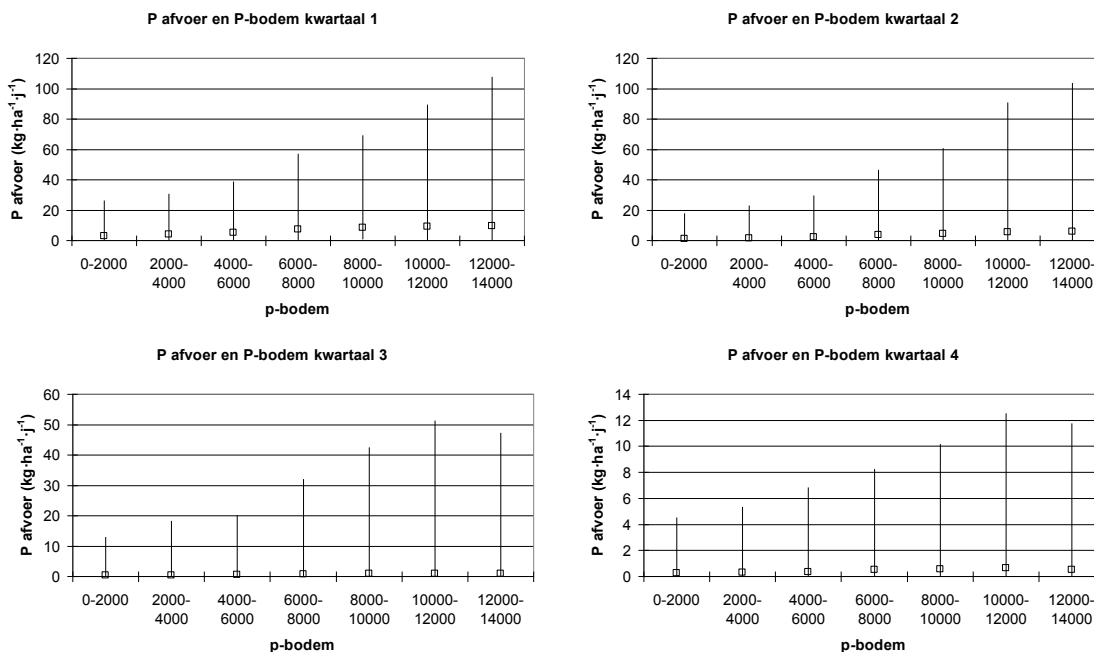
AFBEELDING I.5 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT KWEL



AFBEELDING I.6 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT P-CONCENTRATIE KWEL

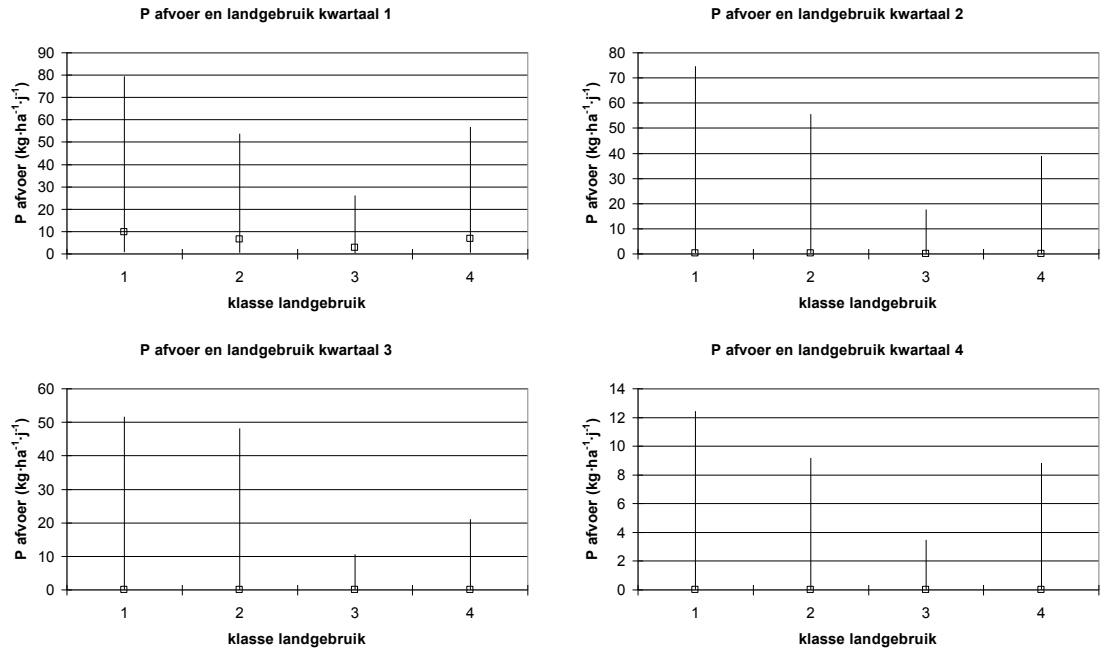


AFBEELDING I.7 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT P-BODEM

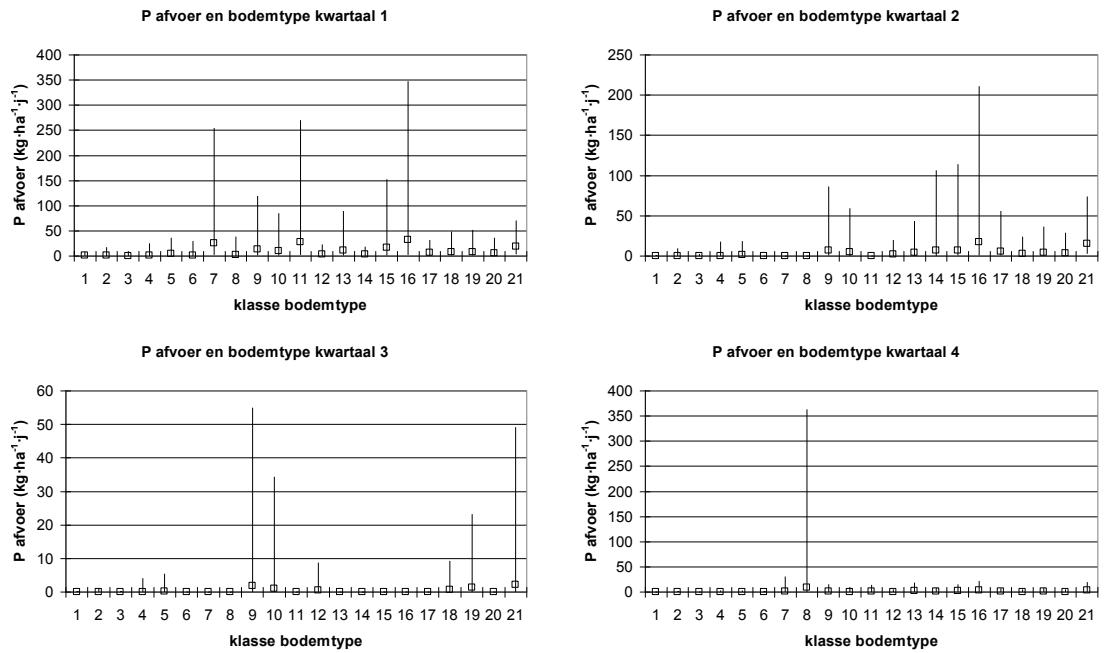


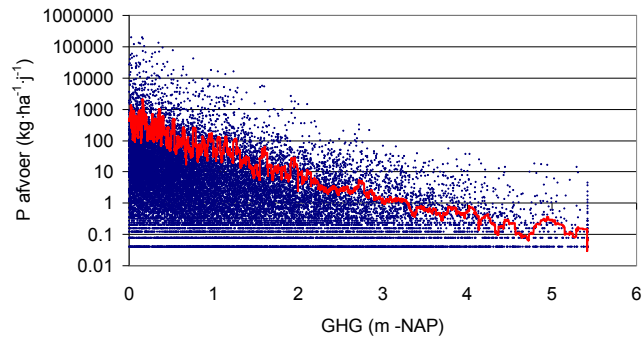


AFBEELDING I.8 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT LANDGEBRUIK



AFBEELDING I.9 P-FLUX (KG · HA<sup>-1</sup> · J<sup>-1</sup>) PER KWARTAAL IN RELATIE TOT BODEMTYPE (LAAGVEEN 1-4, MOERIG 5-6, ZAND 7-14 EN 21, KLEI 15-20)



AFBEELDING I.10 P-FLUX ( $\text{KG} \cdot \text{HA}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ ) IN RELATIE TOT GHG VOOR KWARTAAL 4 (DE RODE LIJN GEEFT HET ZWEVEND GEMIDDELDE VAN DE PUNTEN)

#### I.4 DISCUSSIE

Uit tabel I.2 valt op te maken dat met name het derde kwartaal wordt gekenmerkt door relatief hoge uitbijters, die zowel het gemiddelde als de 95p-waarde sterk verhogen. Met name de situaties met sterke kwel worden in het derde kwartaal hoge uitspoeling van P berekend (figuur I.5).

Qua trend laat het vierde kwartaal in een aantal gevallen een afwijkend beeld zien ten opzichte van de overige kwartalen. Dit geldt voor de GLG (figuur I.2), de wegzijging (figuur I.4) en de kwel (figuur I.5). Belangrijker is de constatering dat deze afwijkende trend fysisch-chemisch niet te verklaren is. Het lijkt daarom het resultaat van een statistische bewerking van de STONE resultaten, waarbij weliswaar een goede 'fit' verkregen is, maar mogelijk een te groot aantal verklarende variabelen zijn geïntroduceerd.

Het verdient aanbeveling om de informatie en ook de methodiek van deze gevoeligheidsanalyse te gebruiken bij een eventuele verbeterde versie van NutriCalc.



**BIJLAGE II****TOEPASSING NUTRICALC RIVIERENLAND****TOEPASSING HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIVIERENLAND****II.1 INLEIDING**

De analyse van de toepassing voor het Hoogheemraadschap van Rivierenland is een invulling van spoor 3: analyse knelpunten. Naar aanleiding van de ervaringen met de toepassing van NutriCalc voor waterschap Rivierenland is in combinatie met een gevoeligheidsanalyse specifiek onderzoek gedaan naar gesignaleerde knelpunten. De gevoeligheidsanalyse is een analyse van het gedrag van alle invoerparameters binnen realistische bandbreedtes. In de toepassing van Rivierenland bleek de hoge gebiedsspecifieke kwel en wegzijging te leiden tot een zeer hoge af- en uitspoeling. Mogelijke uitkomst is dat het nodig is om specifieke bandbreedtes aan te geven voor parameters, waarbinnen NutriCalc toepasbaar is met daarbij een aanbeveling hoe om te gaan met waarden die buiten de bandbreedte vallen.

**II.2 STUDIE ARCADIS**

In het eerder uitgevoerde NutriCalc project bij Rivierenland is geprobeerd om de hydrologische situatie zo goed mogelijk te beschrijven. Grofweg kan de opbouw van de Bommelerwaard als volgt beschouwd worden. Bovenop het eerste watervoerend pakket ligt een deklaag van klei van 5-10 m dik. Deze deklaag bestaat gedeeltelijk uit voormalige rivierafzettingen inclusief goed doorlatende zandbanen. Hierdoor kan de hydrologie lokaal sterk variëren. Vanwege de heterogeniteit van de deklaag wordt verwacht dat af- en uitspoeling sterk beïnvloed worden door lokale kwel en wegzijging. Het effect van de heterogeniteit van de bodem op de NutriCalc parameters is om deze reden waar mogelijk meegenomen. Hiervoor is destijds een weloverwogen keuze gemaakt door de uitvoerenden en de begeleidingscommissie waaronder een aantal geohydrologen. (Ge van den Eertwegh, Joost Heikers, Elisabeth Tietema, Hella Pommarius, Paul Boers, Rikje van de Weerd).

In de Bommelerwaard werden hoge kwelfluxen in het westen van het gebied en hoge wegzijgingsfluxen in het oosten gevonden. Verder bleek dat de kwel en wegzijging op een groot aantal percelen zo groot was dat NutriCalc geen goede resultaten meer opleverde (de kwel en wegzijgingswaarden vielen buiten de geldigheid van het model, en de berekende N en P uitspoeling waren onrealistisch hoog). Er is geconcludeerd dat vanwege de sterke kwel en wegzijging NutriCalc (in ieder geval in zijn huidige vorm) geen goede inschatting kan geven van uit- en afspoeling in een situatie als in de Bommelerwaard waar lokaal grote kwel en wegzijging voorkomt.

**II.3 NADERE ANALYSE**

Na het onderzoek van Arcadis heeft er een herberekening plaatsgevonden van kwel en wegzijgingswaarden. Deze bleken lager uit te vallen dan de oorspronkelijke waarden. Ondanks dit vielen ze nog steeds gedeeltelijk buiten de toepassingsrange van NutriCalc (kwel tot 3,7 mm/dag, wegzijging tot 2.0 mm/dag), is nog steeds het zandbanenpatroon herkenbaar in de kwel

en wegzijgingswaarden en zijn de verschillen tussen oost en west nog steeds zichtbaar. Met andere woorden, er is nog steeds sprake van heterogeniteit in kwel en wegzijging.

De kwel- of wegzijgingsflux onder de deklaag wordt berekend door het stijghoogteverschil tussen het freatische vlak en het eerste watervoerende pakket te nemen. Dit komt overeen met de fluxen aan de grens van de deklaag met het onderliggende watervoerende pakket. Omdat in IMOD/MODFLOW tussen de onderkant van de deklaag en 13 m -mv geen belangrijke scheidende lagen meer voorkomen en het 1-D model een onderrand op 13 m -mv heeft zouden deze waarden ook beschouwd kunnen worden als kwelwaarden op 13 m -mv. In de werkelijkheid zal de variabiliteit op 13 m -mv veel kleiner zijn dan net onder de deklaag en kunnen er ook lokale effecten optreden (bijv. de invloed van de afstand tot de rivier, verschillen in flux als gevolg van dunne kleilaagjes in de aquifer).

Naar aanleiding van de eerste studie rees de vraag of de waarden van de kwel binnen NutriCalc daadwerkelijk de hoge uitspoeling van P en N veroorzaakte. Hiervoor is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (zie hoofdstuk 3). Uit deze analyse blijkt inderdaad dat de grootte van de kwelflux in Rivierenland het meest bepalend is voor het uitspoelingsresultaat.

## II.4 INVOER

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding II.1.

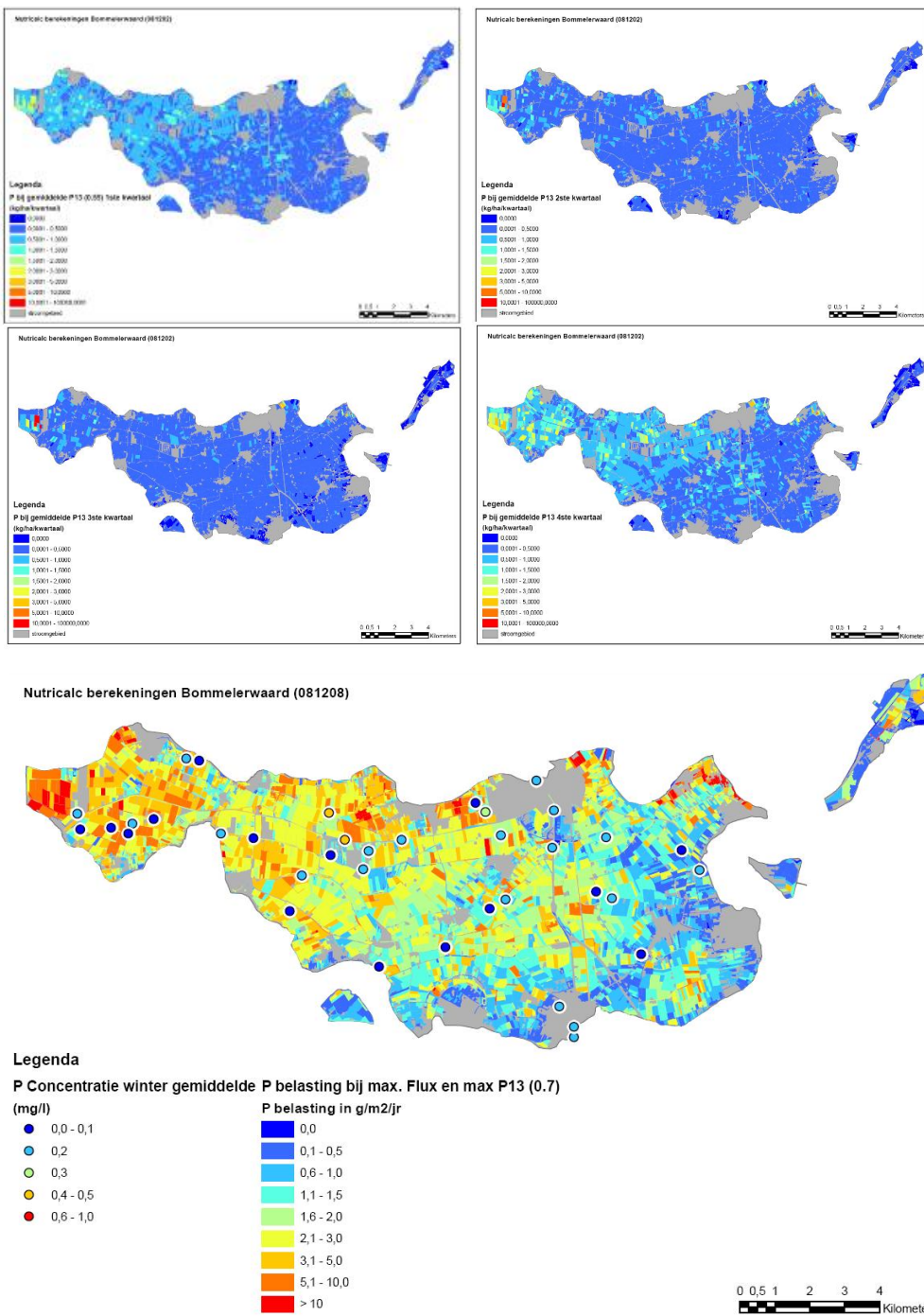
AFBEELDING II.1 INVOER NUTRICALC

GLG	Waterschap
GHG	Waterschap
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	Flux GHG + Flux GLG
wegz13	Flux GHG + Flux GLG
somkwel	
Nckwel13	Dino min, max en gemiddeld
Pckwel13	Dino min, max en gemiddeld
SomP	STONE

## II.5 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc-analyse zijn weergegeven in afbeelding II.2

AFBEELDING II.2 RESULTAAT NUTRICALC (EERST KWARTALEN, VOLGENDE PAGINA: JAARSOM EN METINGEN)



## II.6 AANVULLENDE GEVOELIGHEIDSANALYSE

Er is nog een aanvullende gevoeligheidsanalyse gedaan op basis van de gebruikte invoergegevens van Rivierenland. Zie hiervoor tabel II.1. In de eerste berekening zijn standaardwaarden voor de parameters gebruikt. In berekening 2 en 3 zijn lage en hoge waarden voor Somp gekozen. Dit leverde een kleine toename in de uitspoeling van P (max 1.2 kg/ha). In berekening 4 is de kwel met een factor 4 verhoogd. Dit leverde (behalve in 4<sup>e</sup> kwartaal) extreme waarden op voor de P uitspoeling. Ook de N uitspoeling nam significant toe. In berekening 5 en 6 zijn de concentraties in het kwelwater verlaagd en 0 gekozen. Dit levert bij gelijke kwelflux iets lagere uitspoelingswaarden op. In berekening 7 en 8 zijn ze de kwelconcentraties op 0 gehouden maar is de kwelflux verhoogd met en zonder P in de bodem. Bij hoge kwelfluxen wordt een extreme N en P uitspoeling berekend onafhankelijk van de concentratie in het kwelwater of van de concentratie P in de bodem. In berekening 9 is de kwelflux met een factor 4 verkleind. Dit leverde significant lagere uitspoeling op. De kwel wordt hier gegeven in mm/kwartaal. 1 kwartaal is 90 dagen dus 3 mm/dag -> 270, 1 mm/dag = 90 en 1000 = 11 mm/dag

TABEL II.1 INVOER

ID	glg	ghg	gewas	Bodem	Kwel13	Wegz13	Somkwel	Nckwel13	Pckwel13	Somp
1	1	0.45	2	17	270	0	270	1.78	0.55	3239
2	1	0.45	2	17	270	0	270	1.78	0.55	0
3	1	0.45	2	17	270	0	270	1.78	0.55	6480
4	1	0.45	2	17	1000	0	1000	1.78	0.55	3239
5	1	0.45	2	17	270	0	270	0.45	0.14	3239
6	1	0.45	2	17	270	0	270	0	0	3239
7	1	0.45	2	17	1000	0	1000	0	0	3239
8	1	0.45	2	17	1000	0	1000	0	0	0
9	1	0.45	2	17	90	0	90	1.78	0.55	3239

TABEL II.2 UITVOER

ID	Owafv1	Nopp1	Popp1	Owafv2	Nopp2	Popp2	Owafv3	Nopp3	Popp3	Owafv4	Nopp4	Popp4
1	38II.72	8.95	1.65	370.47	8.69	3	293.77	58.25	13.96	427.74	21.46	1.85
2	38II.72	8.95	1.52	370.47	8.69	2.44	293.77	58.25	13.28	427.74	21.46	1.87
3	38II.72	8.95	1.78	370.47	8.69	3.68	293.77	58.25	14.67	427.74	21.46	1.83
4	1029.69	12.81	43.3	1644.65	21.12	1709.86	2179.2	*****	*****	1087.63	219.41	0
5	38II.72	8.52	1.42	370.47	8.23	2.62	293.77	54.67	12.34	427.74	20.43	1.61
6	38II.72	8.37	1.35	370.47	8.08	2.51	293.77	53.51	11.84	427.74	20.09	1.54
7	1029.69	11.98	35.46	1644.65	19.63	1428.12	2179.2	*****	*****	1087.63	205.35	0
8	1029.69	11.98	32.76	1644.65	19.63	1162.86	2179.2	*****	*****	1087.63	205.35	0
9	228.18	8.19	0.74	170.89	II.98	0.63	110.97	7.05	0.88	265.02	12.1	1.59

## II.7 ANALYSE RESULTATEN BOMMELERWAARD

Voor de huidige studie is gebruik gemaakt van de ongefilterde hoogste kwel en wegzijgingswaarden. De resultaten omvatten ook percelen met resultaten buiten het toepassingsgebied van NutriCalc. Het is interessant om te weten om welk deel van de resultaten dit gaat. Net als in de eerste studie loopt de berekende uitspoeling op in de volgorde: Baanbreker, Rietschoof, H.C. De Jongh, Van Dam van Brakel.

Door vergelijking van deze studies wordt duidelijk dat het resultaat zeer afhankelijk is van de betrouwbaarheid van de onderliggende data.

Op dit moment wordt er geen verband gevonden tussen waterkwaliteitsmetingen en berekende belasting. Ondanks dat de belasting van de uitspoeling van fosfaat van landbouwgronden het hoogst is in het afwateringsgebied Van Dam van Brakel, zijn de fosfaatconcentraties in dit gebied niet hoger dan in de rest van de Bommelerwaard.

Wanneer gegevens van inlaat, glastuinbouw en andere bronnen meegenomen worden, zou het een ander beeld kunnen geven. In de onderstaande tabellen II.3 t/m II.5 is een stofbalans van fosfaat opgenomen. Hieruit blijkt dat inlaatwater de grootste fosfaatbron is. Ook glastuinbouw draagt aanzienlijk bij aan de belasting. De glastuinbouw vindt met name plaats in de afwateringsgebieden Van Dam van Brakel en HC de Jongh. Juist in deze gebieden is ook de belasting van de uitspoeling berekend met NutriCalc hoog/groot. Dit betekent dat de uitspoeling uit de glastuinbouw het verschil in belasting tussen de gebieden en dus een verschil in waterkwaliteit zou versterken en het verklaart niet dat er geen verschillen in waterkwaliteit in de ruimte worden gemeten.

Het inlaatwater is volgens de stofbalans (zie tabellen II.3 t/m II.5 en afbeelding II.3) de grootste fosfaatbron in de Bommelerwaard. Wat betreft het inlaatre regime zijn echter grote verschillen in de Bommelerwaard. In het afwateringsgebied Van Dam van Brakel is in 2004 geen water vanuit de rivier ingelaten. In het afwateringsgebied Baanbreker wordt het hele jaar door ingelaten en doorgespoeld en bestaat 90 % van het water in de A-watgang uit inlaatwater. De belasting met fosfaat is daardoor groot in dit gebied, maar dat leidt niet tot hoge fosfaatconcentraties.

## **II.8 STOFBALANS BOMMELERWAARD**

In de tabellen II.3 t/m II.5 en afbeelding II.3 is de stofbalans voor fosfaat in de Bommelerwaard in het hydrologisch jaar 2004 weergegeven. 2004 is een hydrologisch gemiddeld jaar waardoor voor de uitspoeling ook een gemiddelde vracht wordt verwacht. Door onzekerheid van de gemeten debieten bij de inlaat en de uitlaat is de betrouwbaarheid van de fosfaatbalans beperkt.

Voor de berekening van de uitspoeling vanuit de landbouw is uitgegaan van eigen inschattingen van het waterschap (tabel II.3), STONE-berekeningen (tabel II.4) en NutriCalc-berekeningen die in het kader van dit project zijn gedaan (tabel II.5). De totale vracht vanuit de landbouw is in dit gebied met eigen inschatting en met STONE ongeveer gelijk (7.150 kg/j). Met NutriCalc wordt een hogere vracht berekend (11.320 kg/j).



TABEL II.3 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD IN HET HYDROLOGISCH JAAR 2004 MET UITSPOELING LANDBOUW OP BASIS VAN SCHATTINGEN WATERSCHAP RIVIERENLAND

IN		UIT	
P water	25	ET water	0
Q inlaat	14.673	Q uitlaat	9.300
Q kwel water	126	Q wegzijging water	17
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	170
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	12	Q Infiltratie	?
Overstorten	271		
Huish. lozing	323		
Uit- en afspoeling	7.150		
Meemesten	720		
Glastuinbouw	3.145		
<b>Totaal IN</b>	<b>26.445</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>9.488</b>
<b>Bergingsverandering</b>			
Oppervlaktewater	55		
<b>Sluitpost</b>	<b>16.958</b>	<b>64%</b>	

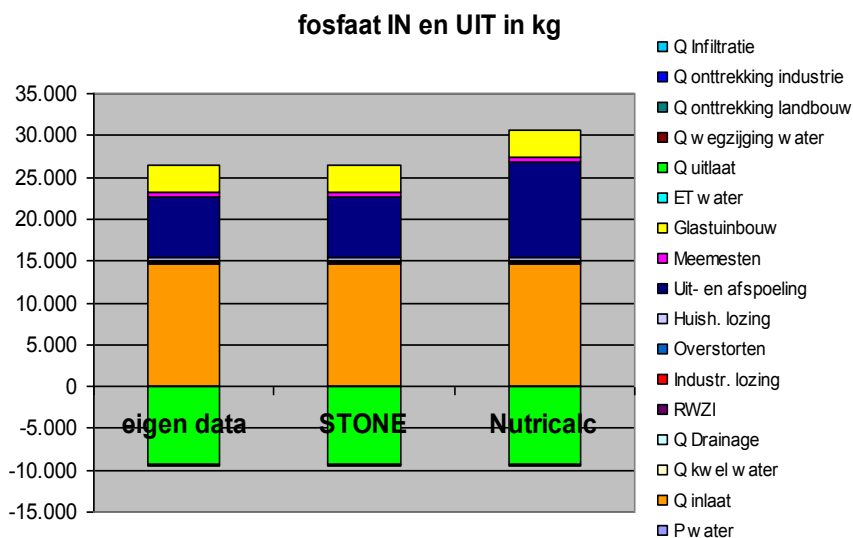
TABEL II.4 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD IN HET HYDROLOGISCH JAAR 2004 MET UITSPOELING LANDBOUW OP BASIS VAN STONE2003-BEREKENINGEN

IN		UIT	
P water	25	ET water	0
Q inlaat	14.673	Q uitlaat	9.300
Q kwel water	126	Q wegzijging water	17
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	170
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	12	Q Infiltratie	?
Overstorten	271		
Huish. lozing	323		
Uit- en afspoeling	7.119		
Meemesten	720		
Glastuinbouw	3.145		
<b>Totaal IN</b>	<b>26.414</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>9.488</b>
<b>Bergingsverandering</b>			
Oppervlaktewater	55		
<b>Sluitpost</b>	<b>16.927</b>	<b>64%</b>	

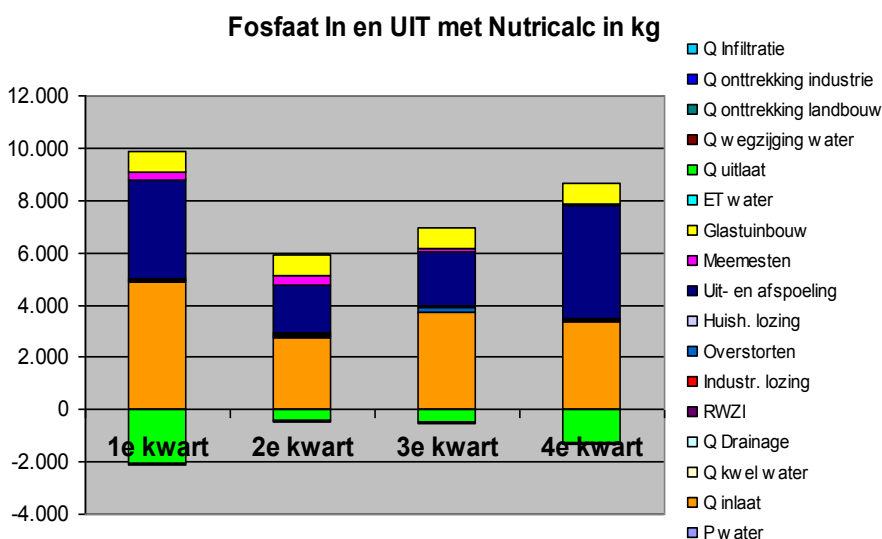
TABEL II.5 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD IN 2004 MET UITSPOELING LANDBOUW OP BASIS VAN BEREKENINGEN MET NUTRICALC

IN		UIT	
P water	25	ET water	0
Q inlaat	14.673	Q uitlaat	9.300
Q kwel water	126	Q wegzijging water	17
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	170
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	12	Q Infiltratie	?
Overstorten	271		
Huish. lozing	323		
Uit- en afspoeling	11.320		
Meemesten	720		
Glastuinbouw	3.145		
<b>Totaal IN</b>	<b>30.615</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>9.488</b>
<b>Bergingsverandering</b>			
Oppervlaktewater	55		
<b>Sluitpost</b>	<b>21.128</b>	<b>69%</b>	

AFBEELDING II.3 FOSFAATBALANS BOMMELERWAARD 2004 IN KG, UITSPOELING UIT DE LANDBOUW BEREKEND MET EIGEN INSCHATTING, STONE EN NUTRICALC



AFBEELDING II.4 FOSFAATBALANS PER KWARTAAL BOMMELERWAARD 2004 IN KG, UITSPOELING LANDBOUW BEREKEND MET NUTRICALC



Uit de stofbalans blijkt dat de totale vracht van alle bronnen groter is dan de uitgemalen vracht. De sluitpost geeft aan hoeveel fosfaat aan retentie in het gebied achterblijft. Bij de balansen met eigen data en STONE blijft er 64 % van de N-vracht achter. Indien de NutriCalc-berekeningen worden gebruikt, bedraagt de retentie 69 %.

Uit de stofbalansen kan niet worden afgeleid dat NutriCalc de uitspoeling beter of slechter berekent dan STONE of de eigen inschattingen. Het resultaat van NutriCalc is voor fosfaat niet meer of minder plausibel.

In afbeelding II.4 is de stofbalans per kwartaal opgenomen waarbij de landbouwuitspoeling met NutriCalc is berekend. Daaruit blijkt dat de uitspoeling in kwartaal 1 en 4 het hoogst is. In deze maanden is de bij de gemalen uitgemalen vracht ook het hoogst.

**STOFBALANS VAN DAM VAN BRAKEL**

Van de vier afwateringsgebieden van de Bommelerwaard is het gebied Van Dam van Brakel hydrologisch geïsoleerd van de overige gebieden. Van dit afwateringsgebied kan een aparte stofbalans worden opgesteld. Van de overige afwateringsgebieden is dit niet mogelijk omdat water en dus ook stoffen via stuwen tussen de gebieden heen en weer gaan. Omdat geen metingen plaatsvinden, zijn debiet en fosfaatvrucht onbekend. Het afwateringsgebied Van Dam van Brakel heeft ook het voordeel dat er geen water wordt ingelaten en de fosfaatbalans daardoor een grote bron vanuit inlaatwater niet heeft. De uitspoeling heeft dan een relatief grotere bijdrage aan de totale vrucht.

Van Dam van Brakel is het deelgebied van de Bommelerwaard met hoge kwelfluxen. Uit de gevoeligheidsanalyse van NutriCalc (zie bijlage I) is gebleken dat de berekeningen buiten de toepassing van NutriCalc vallen. Daarom zijn alle met NutriCalc berekende vruchten >4 kg/ha bij hoge fluxen gezet op 4 kg/ha. De grens is bepaald met expert judgement (Co Drost). De sluitpost van de fosfaatbalans, en daarmee de berekende retentie bedraagt 80 % van de totale IN vrucht. Een retentie van 80 % in deelgebied Van Dam van Brakel is hoger dan de 69 % in de hele Bommelerwaard. Het lijkt erop dat bij hoge kwelflux de NutriCalc vruchten nog overschat worden.

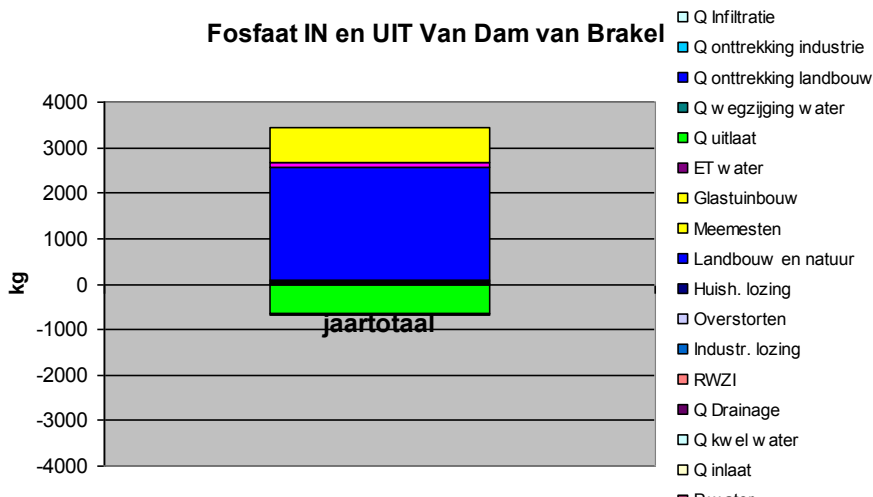
In afbeelding II.6 is de fosfaatbalans per kwartaal opgenomen. Opvallend aan deze balans is dat in het 3<sup>e</sup> kwartaal de met NutriCalc berekende uitspoeling, terwijl de uitgemalen vrucht juist in deze periode laag is. Oorzaak voor de lage uitgemalen vrucht is een gering neerslagwateroverschot in de zomermaanden. Hoge uitspoeling in het 3<sup>e</sup> kwartaal bij hoge kwelfluxen is al opgemerkt bij andere berekeningen met NutriCalc.

TABEL II.6

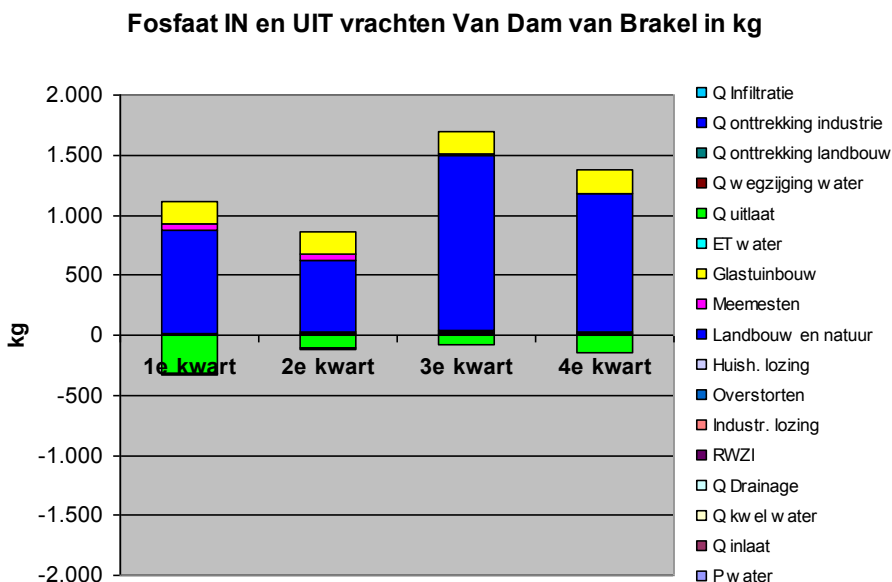
FOSFAATBALANS VAN DAM VAN BRAKEL IN 2004 IN KG/J, UITSPOELING BEREKEND MET NUTRICALC

IN		UIT	
P water	4	ET water	0
Q inlaat	0	Q uitlaat	648
Q kwel water	18	Q wegzijging water	2
Q Drainage	0	Q onttrekking landbouw	24
RWZI	0	Q onttrekking industrie	0
Industr. lozing	0	Q Infiltratie	0
Overstorten	38		
Huish. lozing	45		
Landbouw en natuur	2.465		
Meemesten	101		
Glastuinbouw	755		
<b>Totaal IN</b>	<b>3.425</b>	<b>Totaal UIT</b>	<b>674</b>
Bergingsverandering			
Oppervlaktewater	8		
<b>Sluitpost</b>	<b>2.751</b>	<b>80 %</b>	

AFBEELDING II.5 FOSFAATBALANS AFWATERINGSGEBIED VAN DAM VAN BRAKEL IN 2004 IN KG/J, UITSPOELING BEREKEND MET NUTRICALC



AFBEELDING II.6 FOSFAATBALANS PER KWARTAAL VOOR AFWATERINGSGEBIED VAN DAM VAN BRAKEL IN 2004 IN KG/KWARTAAL, UITSPOELING BEREKEND MET NUTRICALC



## II.8 ANALYSE

Uit de fosfaatbalans voor de hele Bommelerwaard kan geconcludeerd worden dat de met NutriCalc berekende fosfaatvrachten plausibel passen in de stofbalans. Echter zijn de NutriCalc uitkomsten op basis van de fosfaatbalans niet meer of minder plausibel dan de berekeningen met eigen inschattingen of STONE. Opgemerkt wordt dat aan de stofbalans niet betrouwbaar is door de onzekerheid bij de debieten van inlaat en uitlaat bij de gemalen.

Uit de fosfaatbalans van deelgebied Van Dam van Brakel wordt geconcludeerd dat NutriCalc bij hoge kwelfluxen een te hoge fosfaattuitspoeling berekent. Met name in het 3<sup>e</sup> kwartaal zijn de vrachten hoog bij een hoge kwelflux. Deze conclusies komen overeen met eerdere berekeningen in het kader van dit project.



## BIJLAGE III

## TOEPASSING NUTRICALC WATERNET

## TOEPASSING WATERNET

## III.1 INLEIDING

Voor Waternet is ten behoeve van het KRW-proces in 2007 een analyse uitgevoerd met NutriCalc voor het gehele beheersgebied. Voor dit project zijn uit deze dataset twee onderzoeksgebieden geselecteerd:

- polder De Ronde Hoep;
- Bloemendalerpolder.

De selectiecriteria voor de gebiedskeuze was enerzijds de mogelijkheid van vergelijking van de uitkomsten van NutriCalc met de beschikbare meetgegevens voor fosfaat. Anderzijds gold als criterium dat voor deze gebieden een betrouwbare waterbalans is opgesteld, waarbij de fosfaatbelasting via uit- en afspoeling de belangrijkste aanvoerpost is.

AFBEELDING III.1 MEETPUNTEN DE RONDE HOEP EN BLOEMENDALERPOLDER



In beide polders zijn meetreeksen beschikbaar voor fosfaat bij het eindgemaal (meetpunten PRH001 en BGP004). Voor beide polders zijn zowel de afvoerdata van uit de waterbalans als de fosfaatmetingen per maand respectievelijk gesommeerd en gemiddeld, waarmee vrachtberekeningen zijn uitgevoerd. Deze vrachten kunnen vervolgens worden vergeleken met de uitkomsten van NutriCalc, waarbij ook de andere mogelijke aanvoerposten voor fosfaat uit de waterbalans (inlaten etc.) moeten worden verdisconteerd.

## III.2 INVOER

De grondwaterstanden (GxG-data) worden ontleend aan een analytisch model, dat binnen Waternet is ontwikkeld voor GGOR-studies en de KRW-detailanalyses. Dit model maakt gebruik van data uit grondwatermodellen (kwel/wegzijging), drooglegging, bodemtype en perceelsbreedte en berekent de grondwaterstanden (opbolling) op dagbasis volgens een analytische oplossing van een massabalans tussen 2 evenwijdige, theoretisch oneindig lange, rechte sloten. Uit deze simulatiereeksen worden vervolgens een GLG- en een GHG-waarde bepaald.

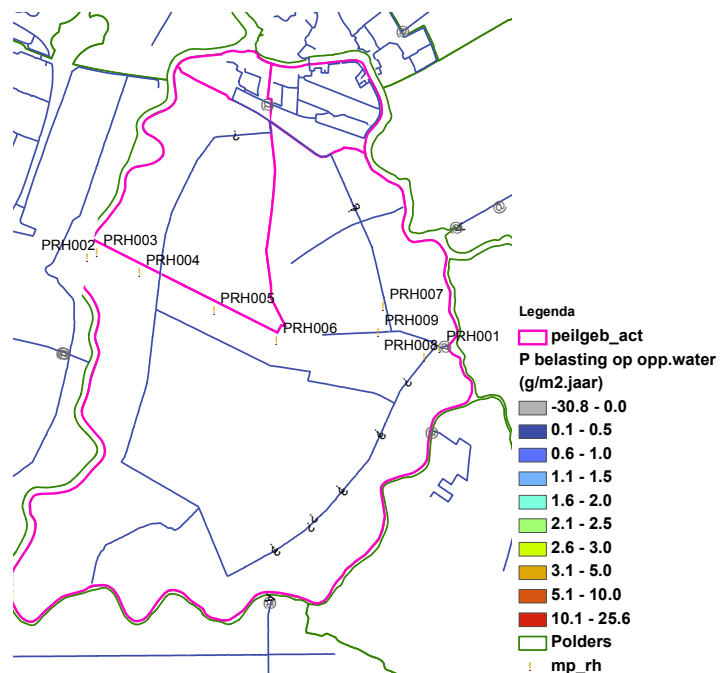
AFBEELDING III.2 INVOER

GLG	kwel/wegzijging, perceelbreedte, bodemtype (k, $\mu$ ), drooglegging
GHG	kwel/wegzijging, perceelbreedte, bodemtype (k, $\mu$ ), drooglegging
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	Grondwatermodel Waternet
wegz13	Grondwatermodel Waternet
somkwel	
Nckwel13	Schatting: 3
Pckwel13	Schatting 0,3
SomP	STONE

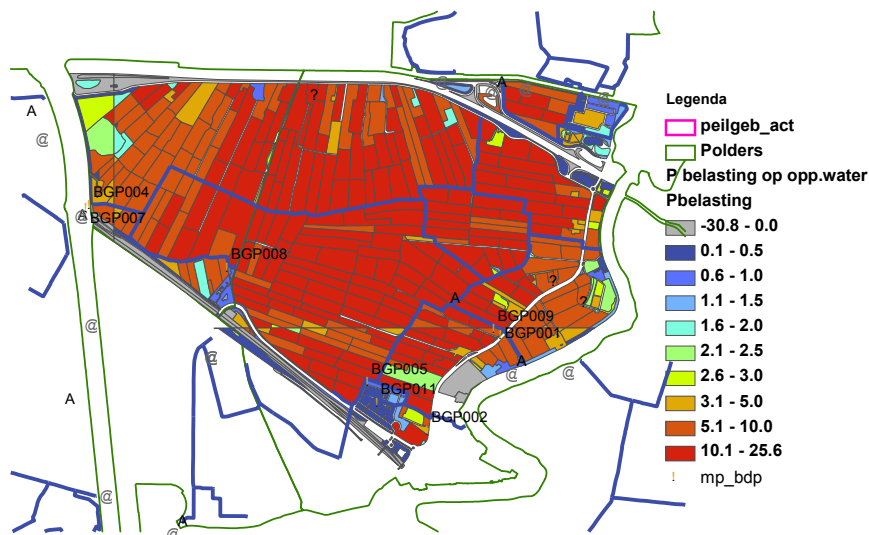
### III.3 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc berekeningen zijn weergegeven in de afbeeldingen III.3. (Ronde Hoep) en III.4. (Bloemendalerpolder).

AFBEELDING III.3 P-BELASTING IN DE RONDE HOEP



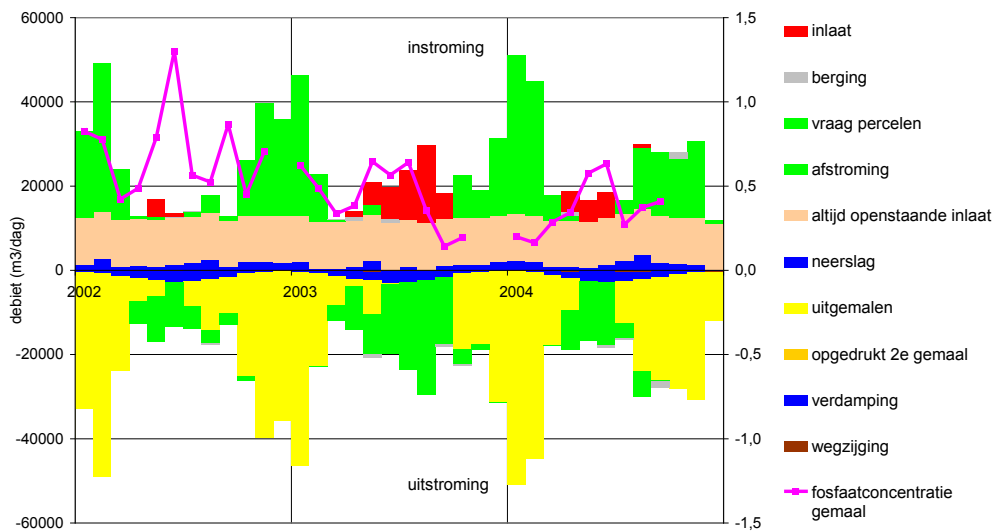
AFBEELDING III.4 P-BELASTING IN DE BLOEMENDALERPOLDER



### III.4 ANALYSE DE RONDE HOEP

In de polder 'De Ronde Hoep' wordt continu water ingelaten (11.000 m<sup>3</sup>/d met gemiddeld 0,3 mg P/liter). Dit inlaatwater vormt samen met het afstromend water vanuit de percelen de hoofdbronnen van fosfaat binnen dit systeem. In de zomer is er een watervraag vanuit de percelen, waarbij het fosfaat voornamelijk zal achterblijven in de waterbodems en het natte oevertalud. Met name in de winter wordt er veel fosfaat afgevoerd via het eindgemaal.

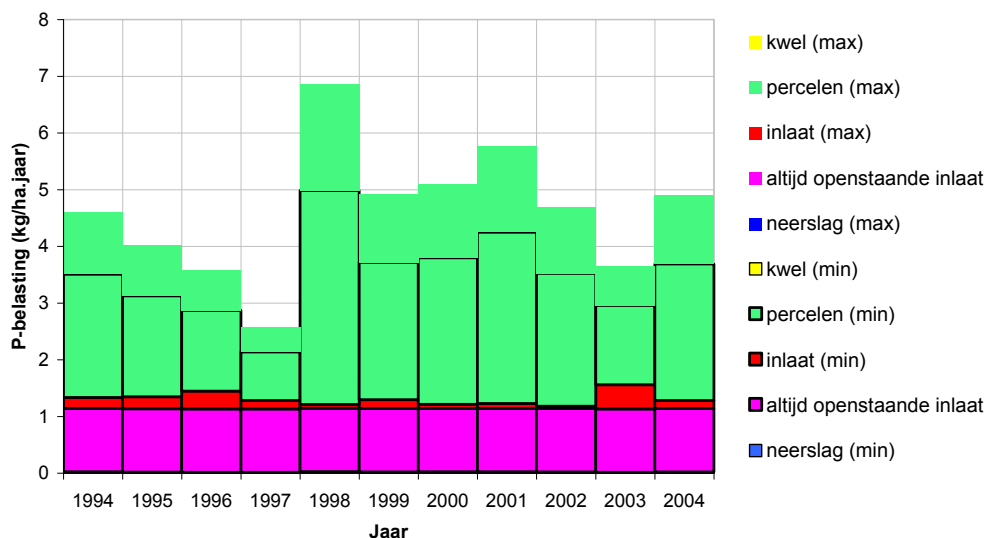
AFBEELDING III.5 WATERBALANS DE RONDE HOEP OVER DE PERIODE 2002 - 2004



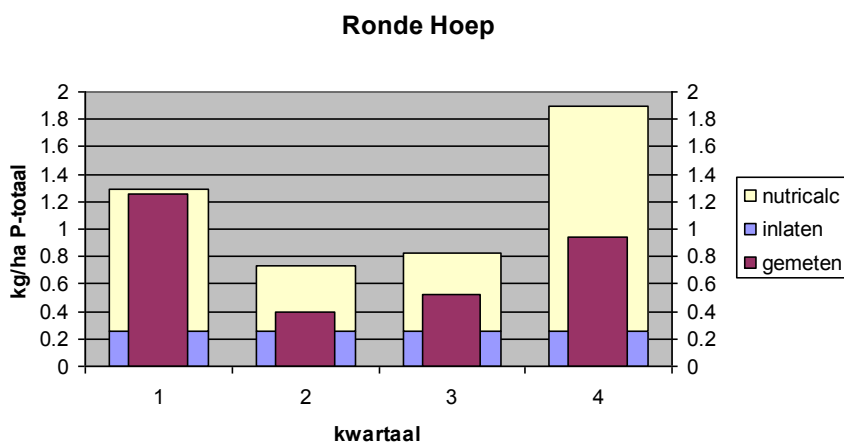
De aandelen van neerslag en kwel in de totale fosfaatbelasting zijn verder verwaarloosbaar ten opzichte van de bijdrage van uit- en afspoeling van de percelen. In afbeelding III.6 worden de fosfaatbelastingen weergegeven, zoals deze tijdens het KRW-proces werden geschat. Hierbij werd



AFBEELDING III.6 BEREKENDE P-BELASTING IN DE RONDE HOEP OVER DE PERIODE 1994 - 2004 OP BASIS VAN DE WATERBALANS



AFBEELDING III.7 KWARTAALVRACHTEN P-TOTAAL BIJ HET GEMAAL RONDEHOEP, BEREKEND EN GEMETEN (GEMIDDELDE 2002 T/M 2004)

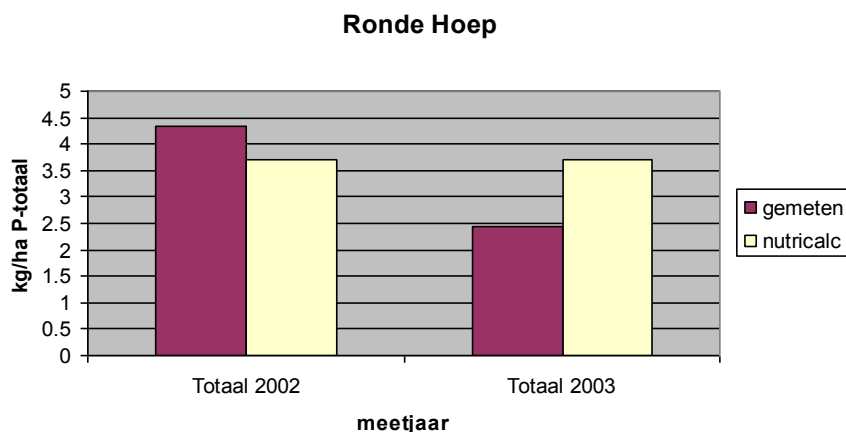


uitgegaan van de waterbalans, waarbij voor de af- en uitspoeling vanuit de percelen een concentratie van 0,6 – 0,9 mg/l is aangehouden. Op grond van deze analyse bedraagt de bijdrage vanuit de percelen over 2002 en 2003 respectievelijk 2,3 tot 3,5 en 1,4 tot 2,1 kg/ha per jaar.

In afbeelding III.7 worden de bijdragen van uit- en afspoeling volgens NutriCalc en de in-laten vergeleken met de gemeten kwartaalwaarden (afgeleid uit de maandsommen van de maalstaten over 2002 t/m 2004, vermenigvuldigd met de gemiddelde fosfaatconcentraties per maand). Afbeelding III.8 laat zien wat het verschil kan zijn bij het gemaal gemeten vracht tussen twee jaren.

De meetresultaten kunnen per jaar sterk variëren. Omdat NutriCalc als input de GLG en GHG gebruikt die over een periode van 8 hydrologische jaren wordt afgeleid, wordt een gemiddelde berekend. Bij de interpretatie moet rekening worden gehouden met het feit dat in hydrologisch natte of droge jaren de gemeten vrachten aanmerkelijk hoger of lager kunnen zijn dan de berekende resultaten met NutriCalc. Dit geldt uiteraard ook voor seizoensvariaties.

AFBEELDING III.8 TOTAAL GEMETEN EN MET NUTRICALC (DUS EXCLUSIEF INLATEN) BEREKENDE P-VRACHTEN OVER 2002 (NAT JAAR) EN 2003 (DROOG JAAR)



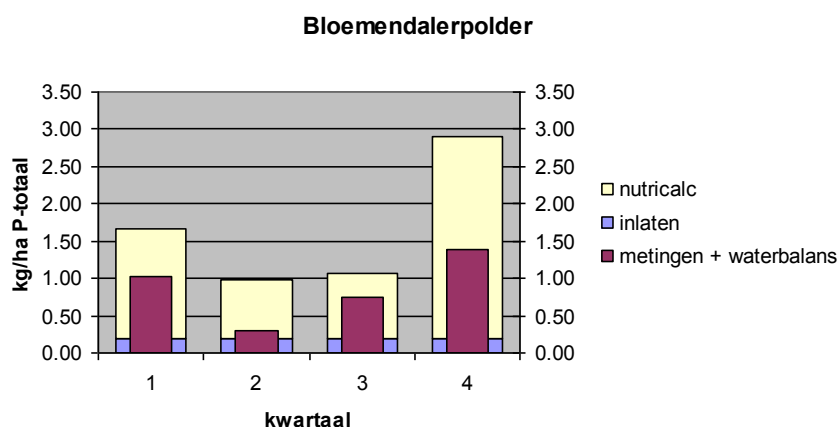
De schattingen op basis van de maandelijkse bemonsteringen bij het gemaal, de schatting op basis van de waterbalans en concentraties en de berekening op basis van NutriCalc geven verschillende uitkomsten (tabel III.1). Voor 2002 liggen de resultaten bij elkaar in de buurt, maar voor 2003 geven de NutriCalc berekeningen een duidelijke overschatting:

TABEL III.1 SCHATTINGEN OP BASIS VAN WATERBALANS, METINGEN BIJ HET GEMAAL EN NUTRICALC

	2002	2003
Waterbalans	3,5	2,1
Metingen	4,3	2,4
NutriCalc (+ inlaten)	3,7 (+1,1)	3,7 (+1,1)

De resultaten laten voor de Bloemendalerpolder een vergelijkbaar beeld zien. Ook hier zijn de berekende vrachten met NutriCalc hoger dan de berekende fosfaatvrachten op grond van de metingen. De trend in de NutriCalc berekeningen over de eerste drie kwartalen geeft zowel in de case van de Ronde Hoep als in de Bloemendalerpolder een vergelijkbaar beeld, maar in het vierde kwartaal worden in de Bloemendalerpolder relatief hoge fosfaatvrachten berekend.

AFBEELDING III.9 KWARTAALVRACHTEN P-TOTAAL BIJ HET GEMAAL PAPELANT, BEREKEND EN GEMETEN (GEMIDDELDE 2002 T/M 2004)



In beide gevallen leiden de berekeningen met NutriCalc tot een overschatting van gemiddeld 50 %. Deze overschatting kan worden verklaard door retentie.

### III.5 CONCLUSIES WATERNET

Op de vraag of NutriCalc de fosfaatuitspoeling op regionale schaal goed kan voorspellen is met deze twee analyses geen eenduidig antwoord mogelijk. De resultaten liggen voor deze twee gebieden wel binnen een zekere orde-grootte, maar om hierover betrouwbare uitspraken te kunnen doen is een betere dataset nodig. Maandelijkse meetgegevens hebben naast een zekere spreiding als gevolg van het moment van de monsternamen ook een spreiding in de analyse, die met name voor fosfaat relatief groot kan zijn. Verder gebruikt NutriCalc de GLG en de GHG als input, die over een periode van 8 hydrologische jaren wordt afgeleid. Hierdoor zouden de uitkomsten eveneens worden vergeleken met een set meetgegevens over een soortgelijke periode of in ieder geval moeten worden bekeken binnen een context van hydrologisch natte en droge jaren.

Met betrekking tot de meerwaarde van NutriCalc kan gesteld worden dat met NutriCalc een snelle interpretatie kan worden gedaan, zonder dat een zwaar rekenmodel hoeft te worden gedraaid. Dit heeft zeker een meerwaarde als er meerdere scenario's moeten worden doorgerekend, zoals bij het inschatten van effecten van peilmaatregelen op de uit- en afspoeling van nutriënten. Daarbij is het vaak al voldoende om aan te kunnen geven of de situatie beter of slechter wordt, zodat een absolute voorspelling niet strikt noodzakelijk is, als daarbij maar wel een realistische orde-grootte kan worden aangegeven.

NutriCalc kan naar de mening van Waternet worden verbeterd door het te baseren op de meest recente dataset van STONE en een eenvoudiger statistische afleiding, waarbij de uitkomsten alleen worden gefit op basis van de belangrijkste invloedsparameters. Daarbij is met name van belang dat de trends in de gevoeligheden voor deze parameters overeenkomen met logische verwachtingen op basis van de chemisch-fysisch verklaarbare werkelijkheid.

BIJLAGE IV

# TOEPASSING NUTRICALC HDSR

## TOEPASSING HOOGHEEMRAADSCHAP STICHTSE RIJNLANDEN

### IV.1 INLEIDING

NutriCalc is voor Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden toegepast voor het gehele beheersgebied.

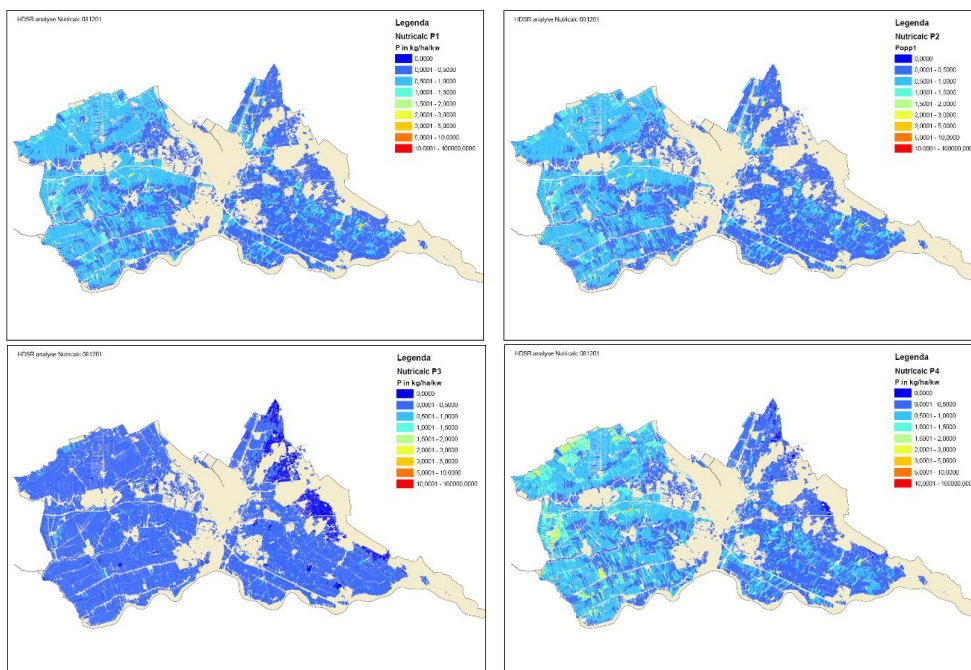
### IV.2 INVOER EN UITVOER

De invoer voor NutriCalc en resultaten zijn weergegeven in afbeelding IV.1 en afbeelding IV.2.

AFBEELDING IV.1 INVOER NUTRICALC

GLG	Waterschap
GHG	Waterschap
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	Waterschap
wegz13	Waterschap
→ somkwel	
Nckwe13	Schatting: 3
Pckwe13	Schatting 0,3
SomP	STONE

AFBEELDING IV.2 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (4 KWARTALEN)



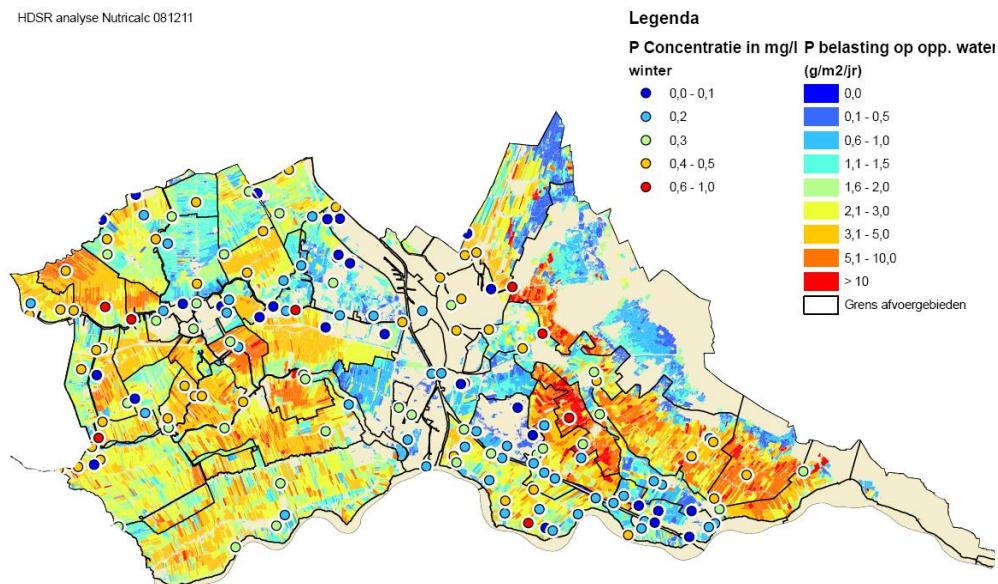
### IV.3 ANALYSE

Er is geen sprake van een uitgebreide analyse van watersystemen. De met NutriCalc berekende P-belasting is geanalyseerd aan de hand van gemeten concentraties in de winter. Naast de met NutriCalc berekende vrachten is uitgegaan van het percentage open water op perceel-niveau. De nadruk ligt op de ruimtelijke verschillen, niet op de absolute uitkomsten, omdat geen sprake was van een diepgaande analyse.

In afbeelding IV.3 is de berekende P-belasting geografisch uitgezet tegen de gemiddelde gemeten P-concentratie in de winter. Door de oogbaren heen is te zien dat in afwateringsgebieden met een hoge P-belasting (oranje - rode gebieden) ook de gemeten P-concentraties hoger zijn (oranje - rode punten). Het grote voordeel van een analyse op basis van winterconcentraties is dat de verblijftijd in de winter veel korter is dan in de zomer, waardoor de retentie veel geringer is en dat het aandeel water uit de percelen veel groter is dan in de zomer, waardoor de invloed van andere bronnen beperkt is (voornamelijk inlaat).

AFBEELDING IV.3 VERGELIJKING P-BELASTING O.B.V. NUTRICALC EN WINTERGEMIDDELTE P-CONCENTRATIE

HDSR analyse NutriCalc 081211



### IV.4 CONCLUSIE

Op basis van deze grove eenvoudige toepassing zijn geen vergaande conclusies te trekken. Het grote voordeel van NutriCalc is dat het eenvoudig toepasbaar is en dat het inzicht geeft in de grote ruimtelijke verschillen in het beheersgebied. Over het algemeen lijken de resultaten van NutriCalc overeen te komen met metingen. De resultaten komen ook overeen met het globale beeld.

## BIJLAGE V

## TOEPASSING NUTRICALC DELFLAND

## TOEPASSING HOOGHEEMRAADSCHAP DELFLAND

## V.1 INLEIDING

Het vergelijken van meetgegevens in het oppervlaktewater met de berekende uitspoeling van nutriënten vanuit de bodem met NutriCalc is slechts beperkt zinvol, omdat het verstedelijkte beheersgebied van Delfland een groot aantal bronnen kent. De uitspoeling vanuit de bodem is er daar maar een van.

In grote delen van Delfland zijn emissies uit de glastuinbouw of vanuit stedelijk gebied groter in aandeel dan de uitspoeling uit de bodem. Delfland heeft in dit project de polderwaterlichamen ingebracht voor de exercitie met NutriCalc. Het betreft hier (1) de polder van Berkel, (2) de Zuidpolder van Delfgauw en (3) de Holierhoekse en Zouteveense polder. Van deze polders zijn metingen beschikbaar en zijn in 2007 ook belastingprofielen opgesteld, waardoor de resultaten van deze rekenexercitie toch enigszins toetsbaar zijn. De nadruk in de analyse ligt op de Holierhoekse en Zouteveense polder, omdat deze het meest geïsoleerd is en omdat andere bronnen geen rol van betekenis spelen. De Woudse polder is doorgerekend, waar eigenlijk de Woudse Droogmakerij bedoeld was. Toetsen van de bevindingen van deze polder is daarom niet uitgevoerd.

## V.2 INVOER

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding V.1.

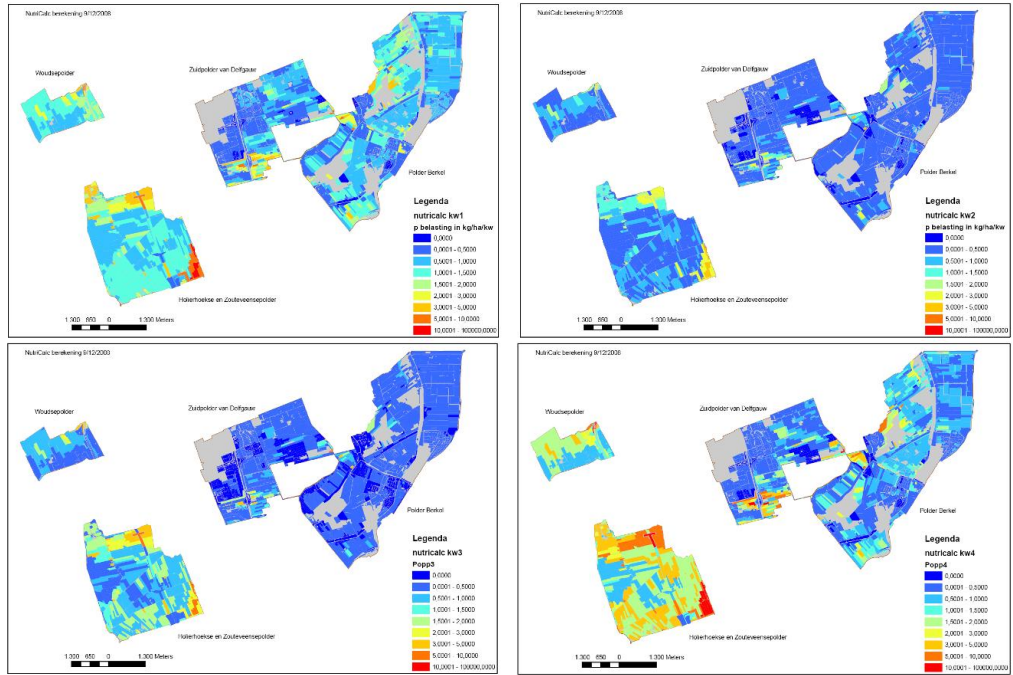
AFBEELDING V.1 INVOER NUTRICALC

GLG	Deltaris
GHG	Deltaris
gewas	LGN
bodem	LGN
kwel13	Grondwatermodel DSM
wegz13	Grondwatermodel DSM
somkwel	
Nckwel13	TNO
Pckwel13	TNO
SomP	STONE

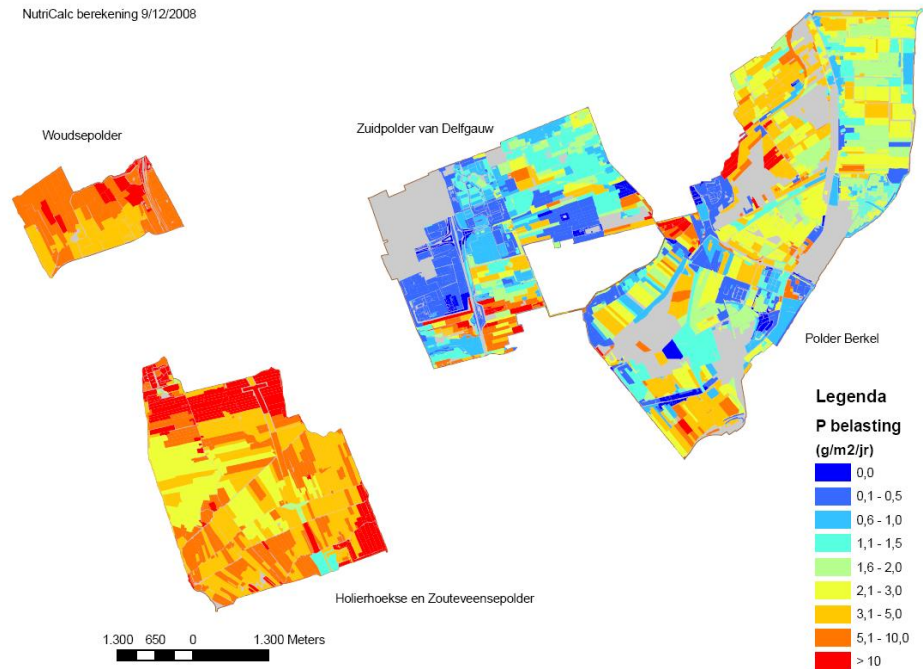
## V.3 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc-analyse zijn weergegeven in afbeelding V.2.

AFBEELDING V.2 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)



NutriCalc berekening 9/12/2008



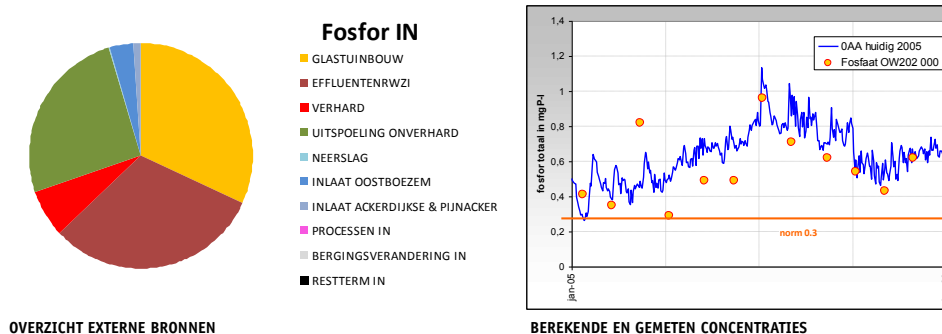
## V.4 ANALYSE

Er is een analyse gemaakt van (1) de polder van Berkel, (2) de Zuidpolder van Delfgauw en (3) de Holierhoekse en Zouteveense polder. Deze worden hieronder afzonderlijk besproken.

### POLDER BERKEL

Het fosfor belastingprofiel van polder Berkel is in onderstaande afbeelding V.3. gepresenteerd. In totaal vindt er een externe emissie van 10 ton op jaarbasis plaats. Minder dan 30 % daarvan is afkomstig van uitspoeling uit de bodem. Dit getal komt op jaarbasis 'aardig overeen' met de vrachten die NutriCalc meer gedifferentieerd heeft berekend. Met de verzamelde gegevens is het goed mogelijk gebleken meetgegevens binnen de polder te reproduceren. Een eenduidige relatie tussen bodemuitspoeling en gevonden concentratie in het oppervlaktewater is er niet.

AFBEELDING V.3 BELASTINGPROFIEL POLDER BERKEL (LINKS) EN METINGEN

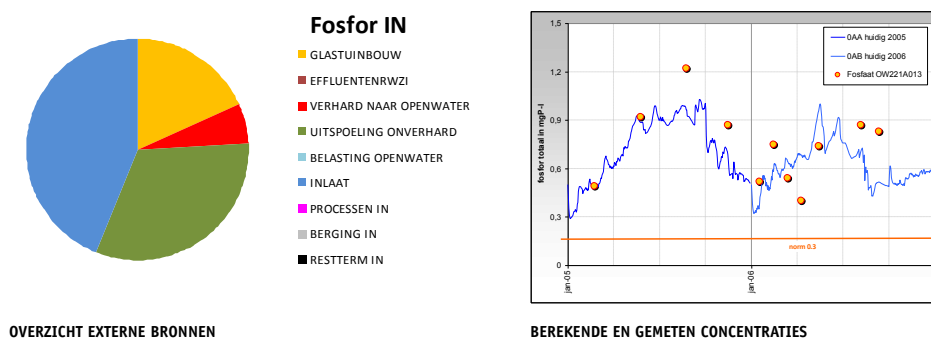


In de nabije toekomst worden in de polder de emissies vanuit de glastuinbouwsector fors gereduceerd als gevolg van aansluiting op riolering. De awzi's in de polder zijn vorig jaar gesloten, waardoor geen effluentwater meer op het polderwater wordt geloosd. De uitspoeling uit de bodem gaat dan meer dan 50 % van de belasting op het systeem op jaarbasis bepalen.

### ZUIDPOLDER VAN DELFGAUW

Het fosfor belastingprofiel van de Zuidpolder van Delfgauw is in onderstaande afbeelding V.4. gepresenteerd. In totaal vindt er een externe emissie van 4.7 ton op jaarbasis plaats. Ongeveer een derde deel daarvan is op jaarbasis afkomstig van uitspoeling uit de bodem. Dit getal komt op jaarbasis 'aardig overeen' met de vrachten die NutriCalc meer gedifferentieerd heeft berekend. Met de verzamelde gegevens is het goed mogelijk gebleken meetgegevens binnen de polder te reproduceren.

AFBEELDING V.4 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)





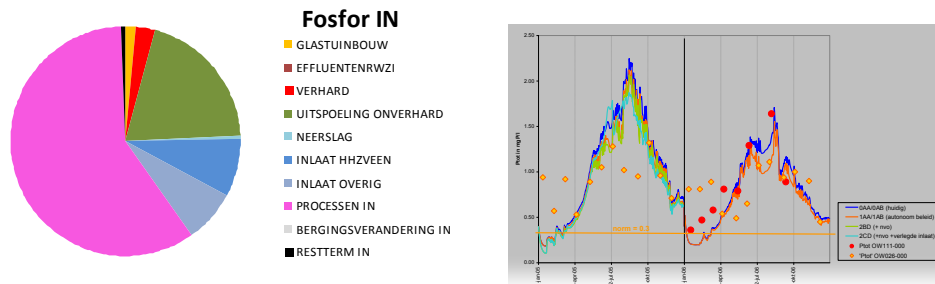
Een eenduidige relatie tussen bodemuitspoeling en gevonden concentratie in het oppervlaktewater is er niet. Dit als gevolg van de grote verstoring door andere bronnen (emissies uit de glastuinbouw en doorspoelen van de polder). De concentratieverhoging in de zomermaanden is toe te schrijven aan nalevering vanuit de waterbodern enerzijds en hogere mate van doorspoeling anderzijds. De concentratie in het inlaatwater is hoger dan die in de polder zelf.

### HOLIERHOEKSE- EN ZOUTEVEENSEPOLDER

De Holierhoekse- en Zouteveensepolder bestaat voor 95 % uit grasland, veenweidegebied. Er wordt beperkt water ingelaten voor peilhandhaving. Bij uitstek de meest geschikte polder van de drie in het beheersgebied van delfland om de relatie tussen berekende uitspoelingsgegevens uit de bodern te relateren aan waargenomen stofconcentraties in het oppervlaktewater.

Het fosfor belastingprofiel van de Holierhoekse- en Zouteveensepolder dat eerder door Delfland in de KRW detailanalyses is opgesteld in onderstaande afbeelding V.5. gepresenteerd. In totaal vindt er een externe+interne emissie van ruim 14 ton op jaarbasis plaats. Een klein deel hiervan is gerelateerd aan uitspoeling uit de bodern (3 ton). De bijdrage van uitspoeling van P als gevolg van veendecompositie en nalevering vanuit de waterbodern is opgenomen in de post 'processen in' en is het grootst (8 ton). Op basis van dit emissieprofiel is een prima fit verkregen tussen gemeten en berekende stofconcentraties in de polder, inclusief seizoensdynamiek.

AFBEELDING V.5 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)



OVERZICHT EXTERNE BRONNEN

BEREKENE EN GEMETEN CONCENTRATIES

In de wintermaanden is uitspoeling uit de bodern de dominante post, nalevering is dan klein en inlaat vindt niet plaats. Een vergelijking tussen NutriCalc en veldmetingen is dan prima mogelijk. Met NutriCalc wordt berekend dat de af- en uitspoeling in de winter een P-vracht oplevert van 7,5 ton. De totale vracht is ongeveer 14 ton. De resterende 6,5 ton is goed te relateren aan bodernnalevering en inlaat. De verschillen tussen de afzonderlijke meetlocaties komen qua orde grootte bovendien goed overeen met de door NutriCalc berekende waarden. In zoverre valt deze exercitie al als waardevol te bestempelen.

## V.5 DISCUSSIE

Gedurende de KRW detailanalyse heeft Delfland een groot aantal scenarioberekeningen uitgevoerd om de effecten van autonome gebiedsontwikkelingen en aanvullende maatregelen in verschillende ordegrrootte en combinaties te kwantificeren. Daarin is op polderniveau gebruik gemaakt van kentallen uit het instrument Waterlood / NutriCalc voor het schatten van de effecten op de post uitspoeling uit de bodem. Op grond van de bevindingen kan voorzichtig geconcludeerd worden dat deze kentallen voldoende bruikbaar zijn geweest. Er heeft in dat project ook vergelijking plaatsgevonden met de uitspoelingscijfers uit de database ERC-KRW, gebaseerd op STONE berekeningen. Daarbij is geconstateerd dat er soms forse verschillen zitten tussen de cijfers uit de ERC-KRW database (STONE) en de kengetallen op basis van het instrument Waterlood / NutriCalc. Het is binnen dat project bij constateren gebleven. Gebruik van de Waterlood / NutriCalc getallen leverde (zoals boven beschreven) naar onze inschatting inzicht in de stofbalansen van de onderzoeksgebieden op voldoende betrouwbaar niveau voor gebruik in de scenarioanalyses. Groot voordeel en hoofdmotivatie van gebruik Waterlood / NutriCalc hierbij was de snelle eenvoudige operationele inzet. Het alternatief was geweest het laten uitvoeren van een groot aantal berekeningen met het STONE instrumentarium, een kostbare en tijdrovende aangelegenheid, waarvoor geen tijd en noodzaak aanwezig was.

De in tijd en op meer lokaal niveau gedifferentieerde fluxinformatie die in deze in STOWA verband uitgevoerde exercitie in korte tijd heeft opgeleverd sluit voor zover we dat nu in korte tijd kunnen beoordelen goed aan bij onze verwachting als beheerder. Het biedt voldoende aanknopingspunten voor succesvolle toepassing in vervolgonderzoek.

Ten slotte is er momenteel een meetplan in het gebied gedefinieerd voor inbreng in watergebiedsstudies en KRW onderzoek. Hierdoor komen de komende tijd meer meetgegevens beschikbaar, ook in haarvaten.



## BIJLAGE VI

# TOEPASSING NUTRICALC RIJN EN IJSSEL (HUPSELEBEEK)

## TOEPASSING HUPSELEBEEK (WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL)

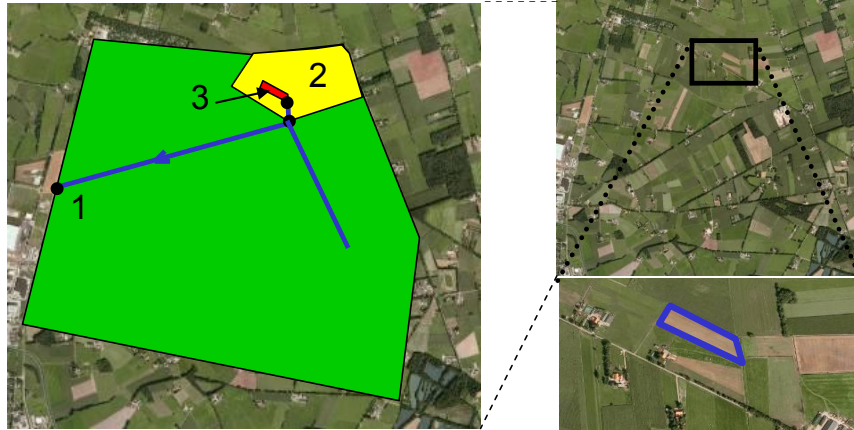
### VI.1 INLEIDING

In de Hupselsebeek wordt door Joachim Rozemeijer uitgebreid onderzoek gedaan naar nutriëntenstromen (onder andere af- en uitspoeling) op verschillende schaalniveaus. Voor dit onderzoek heeft hij een deel van zijn resultaten beschikbaar gesteld. De analyse (uitgevoerd door Witteveen+Bos en GisWerk) bestaat uit een eenvoudige systeemanalyse (in kaart brengen van water- en nutriëntenstromen), het inventariseren van metingen, de toepassing van NutriCalc en een vergelijking van resultaten.

Hieronder (afbeelding VI.1) is een overzicht gegeven van het proefgebied. Rechtsboven is een overzicht gegeven. Dit volledige overzicht is links vergroot weergegeven. Rechtsonder (uitvergroting van het zwarte kadertje in de figuur rechtsboven) is het perceel te zien (blauw omlijnd) waar uitgebreid metingen worden verricht naar de af- en uitspoeling van nutriënten. Links zijn drie gebieden ingekleurd. Het eerste gebied is groen. Dit is een deel van het stroomgebied van de Hupselsebeek. Bij punt 1 wordt hoogfrequent (elk kwartier) de P-concentratie en het debiet gemeten. De vracht is representatief voor het groene gebied. Het tweede gebied is geel en representatief voor een verzameling percelen die afwateren op dezelfde sloot. Bij punt 2 wordt de P-concentratie en het debiet gemeten. Het rode gebied is het perceel. Hier wordt op verschillende plaatsen de af- en uitspoeling bepaald. Omdat het landgebruik in de betreffende percelen nog recent is gewijzigd, zijn de punten 2 en 3 niet geschikt voor deze analyse.

De analyse richt zich op de berekening van de vracht P bij punt 1 op basis van de metingen en op basis van NutriCalc. In NutriCalc is de P-vracht per kwartaal per perceel berekend binnen het groene gebied. Vervolgens zijn deze P-vrachten gesommeerd (4 kwartalen, alle percelen binnen de gebiedsgrenzen). Op basis van de P-vracht is de P-belasting op het open water bepaald. Hierbij is uitgegaan van 1 % open water.

AFBEELDING VI.1 MEETPUNTEN IN PROEFGEBIED HUPSELEBEEK



## VI.2 INVOER

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding VI.2. Er is voor gekozen om de kwel en nutriëntenconcentratie in het kwelwater beide op 0 te zetten. Dit heeft te maken met een ondoordringbare ondiepe laag in de bodem, waardoor dieper grondwater geen invloed heeft op de hydrologie en de waterkwaliteit.

De invoer voor NutriCalc is weergegeven in afbeelding VI.2.

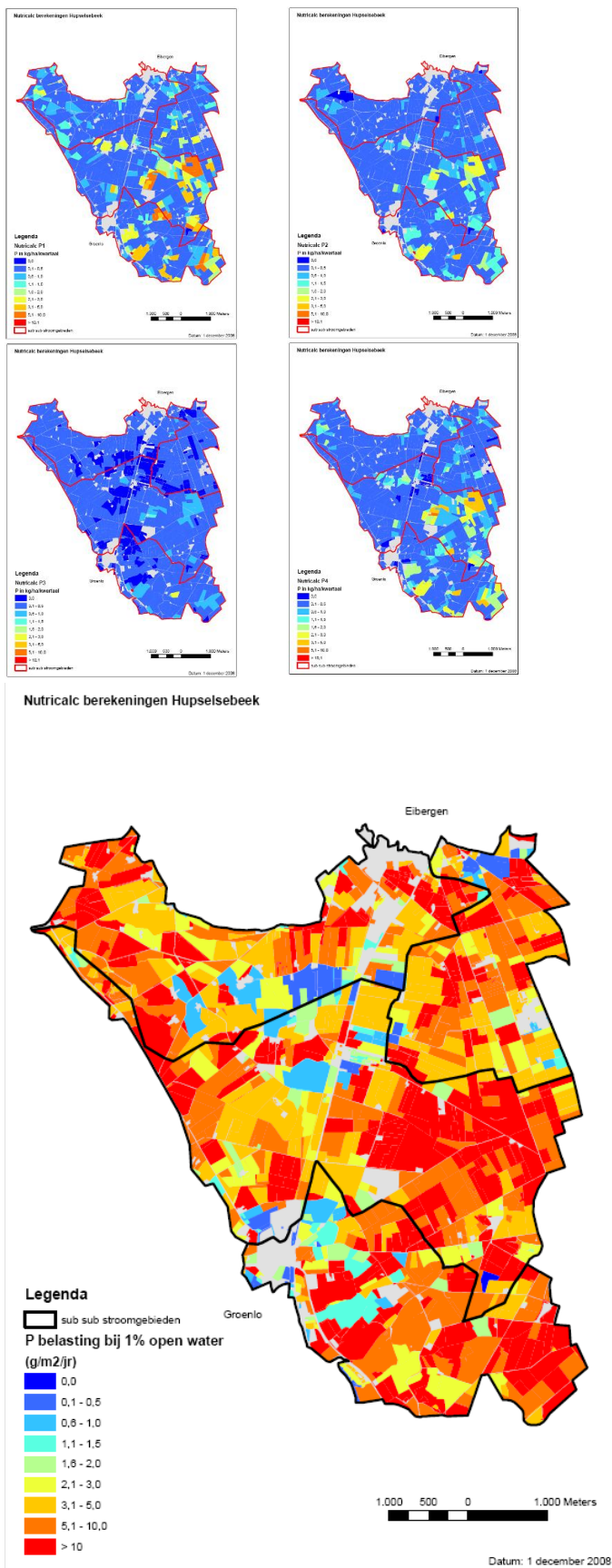
AFBEELDING VI.2 INVOER NUTRICALC

GLG	Waterschap
GHG	Waterschap
gewas	LGN
bodem	Bodem kaart
kwel13	IMOD TNO / 0
wegz13	IMOD TNO / 0
somkwel	
Nckwel13	0
Pckwel13	0
SomP	STONE

### VI.3 UITVOER

De resultaten van de NutriCalc-analyse zijn weergegeven in afbeelding VI.3.

AFBEELDING VI.3 RESULTAAT ANALYSE NUTRICALC (EERST 4 KWARTALEN, DAARNA DE SOM PER JAAR)



In tabel VI.1. is een vergelijking gegeven van de berekende vracht en belasting bij het meetpunt (1) vanuit het stroomgebied en de met NutriCalc berekende vracht en belasting.

TABEL VI.1 VERGELIJKING P-BELASTING PROEFGEBIED HUPSELSEBEEK

berekening	periode	P-belasting open water (g/m <sup>2</sup> /jr)	P-vracht stroomgebied (kg/ha/jr)
Joachim Rozemeijer	06/07/07 - 06/07/08	0,07	0,7
NutriCalc	langjarig gemiddelde	0,26	2,6

#### VI.4 ANALYSE

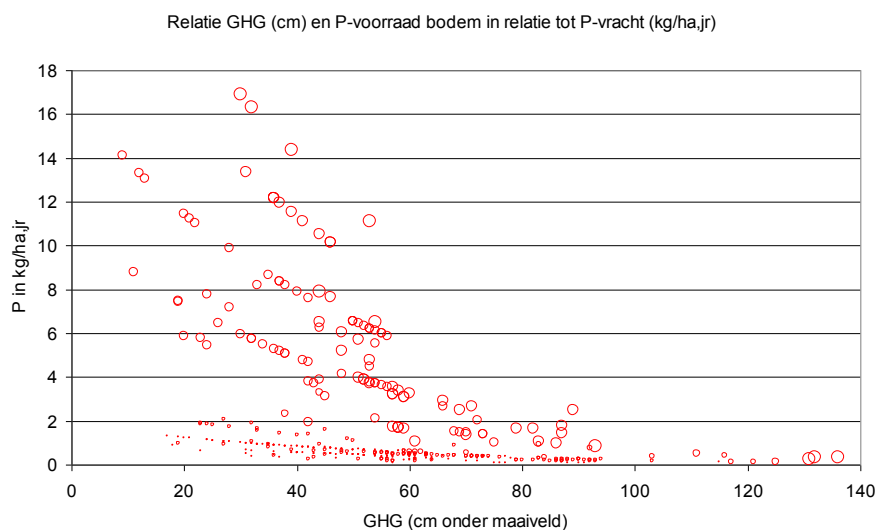
De Hupselsebeek is een goed bruikbaar proefgebied omdat hier nauwelijks andere bronnen zijn dan de af- en uitspoeling en er veel meetgegevens aanwezig zijn. De resultaten van NutriCalc liggen een factor 3 tot 4 hoger dan de door Joachim Rozemeijer gemeten vracht. Bij NutriCalc is de retentie niet meeberekend, Bij Joachim is retentie wel onderdeel van de meting:

vracht NutriCalc = vracht Joachim + retentie (in het ideale geval)

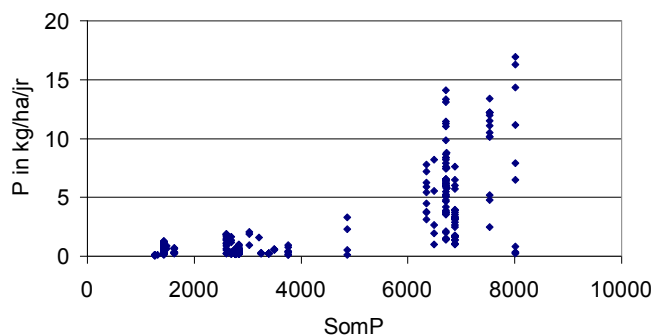
De te verwachten retentie is relatief gering door het beperkte wateroppervlak en de korte verblijftijden in het gebied. Er kan wel sprake van chemische retentie direct wanneer het P vanuit de percelen in het oppervlaktewater komt: a. door bezinking van deeltjesgebonden P (uit afspoeling), b. door precipitatie en/of adsorptie van anorganisch opgelost P (precipitatie bij bv. anaerobe kwel). Het is dus niet zo dat de retentie bij korte stroomtijden nog niets hoeft voor te stellen.

Het verschil kan deels worden verklaard door een relatief grote P-voorraad bij hogere grondwaterstanden (GLG/GHG). De gevoeligheid voor een hoge GLG en GHG (horizontale as) enerzijds en een hoge P-voorraad (bellengrootte) anderzijds blijkt duidelijk uit onderstaande afbeeldingen VI.4. Alleen de GHG is afgebeeld, omdat binnen de dataset van de Hupselsebeek de correlatie tussen GLG en GHG hoog is ( $R^2=0,87$ ). De vraag is of deze P-voorraden redelijk zijn. Er is ten minste sprake van een structurele overschatting, omdat uitgegaan is van het gemiddelde voor de periode 2024-2038. De afzonderlijk relatie van de berekende vracht en de P-voorraad is weergegeven in afbeelding VI.5.

AFBEELDING VI.4 GEVOELIGHEID AF- EN UITSPOELING VOOR GLG/GHG EN P-VOORRAAD (HUPSELSE BEEK)



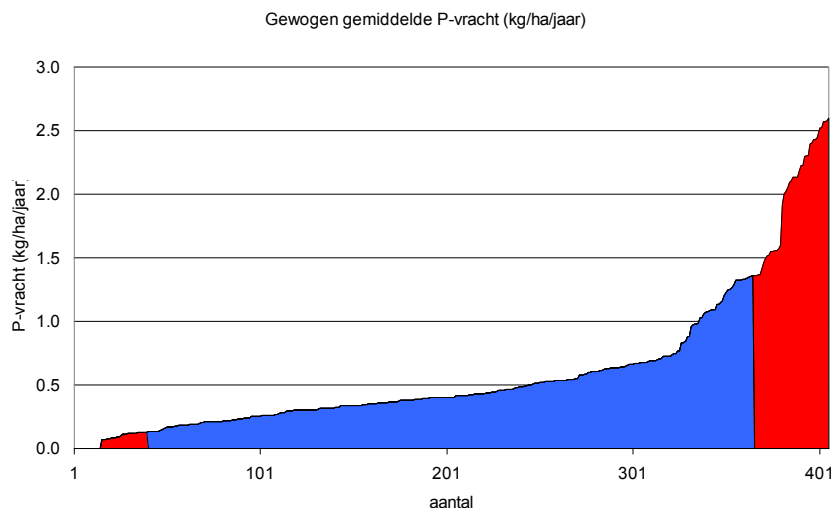
AFBEELDING VI.5 GEVOELIGHEID AF- EN UITSPOELING VOOR P-VOORRAAD BODEM (HUPSELSE BEEK)  
P-voorraad bodem



Een mogelijke oplossing voor de omgang met extreme waarden is om de 10-percentiel en 90-percentiel waarden te verwijderen (op basis van het cumulatieve oppervlak van de percelen). Afbeelding VI.6. geeft aan wat het potentiële hiervan effect is. In de afbeelding zijn de percelen gesorteerd van lage vrachten naar hoge vrachten (in kg/ha.jaar, onafhankelijk van de perceelsgrootte). Het maakt duidelijk wat de toename is van de gemiddelde P-vracht als telkens een perceel wordt toegevoegd. Het gaat om de gemiddelde gewogen toename van de P-vracht. Grote percelen dragen meer bij dan kleine percelen. Dit zorgt soms voor een sprong in de grafiek. In het rood zijn de percelen weergegeven die verwijderd zouden worden als de 10-percentiel en 90-percentiel uit de set gehaald zouden worden. Het blauwe gebied blijft dan over. Het blijkt voor de resultaten nauwelijks uit te maken of voor de 10-percentiel en 90-percentiel uit wordt gegaan van het 'perceelsnummer' (van 1 t/m 406) of van het cumulatieve oppervlak. De gemiddelde P-vracht wordt in beide gevallen bijna gehalveerd.

Door een correctie op basis van 10-percentiel en 90-percentiel wordt de berekende P-vracht verlaagd van 2,6 kg/ha.jaar naar 1,4 kg/ha.jaar. Met een retentie van 50 % kan de door Joachim Rozemeijer berekende P-vracht in theorie worden gereproduceerd.

AFBEELDING VI.6 GEWOGEN GEMIDDELDE P-VRACHT HUPSELSE BEEK PER PERCEEL VAN LAAG NAAR HOOG





Er is geen tijd geweest voor een verdere analyse van de opbouw van de berekende P-afvoer uit het Hupselse beekgebied. Het is interessant om na te gaan welke percelen precies bijdragen aan de hoge P-vracht en of dit beeld overeenkomt met het beeld voortkomend uit het onderzoek van Rozemeijer. Zo'n verdere analyse kan input geven voor een correctie van de P-vracht op basis van gebiedskennis. Bij een gebiedsspecifieke analyse is het bovendien waardevol om de P-voorraad in de bodem te meten en deze te confronteren met de modelmatig (STONE) bepaalde P-voorraad.