

Mogelijkheden voor verbetering van de waterkwaliteit door vermindering van de nutriëntenbelasting in Noord-Brabant

Deelrapport 1: Maatregelen ter verlaging van de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater



# **Mogelijkheden voor verbetering van de waterkwaliteit door vermindering van de nutriëntenbelasting in Noord-Brabant**

## **Deelrapport 1: Maatregelen ter verlaging van de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater**

**J. Wolf  
I.G.A.M Noij  
C.A. van Diepen**

**Alterra-rapport 527.1**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002**

## REFERAAT

Wolf, J., I.G.A.M. Noij, & C.A. van Diepen, 2002. *Mogelijkheden voor verbetering van de waterkwaliteit door vermindering van de nutriëntenbelasting in Noord-Brabant; Deelrapport 1: Maatregelen ter verlaging van de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 527.1. 38 blz.; 1 fig.; 4 tab.; 16 ref.

In opdracht van de provincie Noord-Brabant is een studie gedaan naar mogelijke beheersmaatregelen om de belasting van grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfaat te verminderen. De maatregelen liggen in de sfeer van waterbeheer, verminderen van de belasting met vuil water, bodembeheer, landbouwkundige maatregelen, en emissiebeheersing. De maatregelen zijn beoordeeld op hun effecten op de grondwaterstand, de stikstof- en fosforbelasting van grond- en oppervlakte-water, en op de gewasopbrengsten en gebruiksbependingen voor de landbouw. Op basis van deze informatie over het milieurendement en de kosten en consequenties voor de landbouwsector kunnen maatregelen gekozen worden om stapsgewijs de milieukwaliteit in Noord-Brabant te verbeteren. Deze maatregelen zijn aanvullend op globale beleidsmaatregelen, zoals vernatting en de MINAS-verliesnormen.

Trefwoorden: beheersmaatregelen, emissies uit de landbouw, fosfaat, grondwater, milieu, nitraat, Noord-Brabant, nutriënten, oppervlaktewater, stikstof, uitspoeling

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €13 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 527.1. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Maatregelen en hun effecten	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Effect van maatregelen	12
2.2.1 Vermindering van nutriëntenbelasting	12
2.2.2 Mogelijkheden voor de landbouw	14
2.2.3 Nitraat in grondwater	14
2.2.4 Stikstof in oppervlaktewater	15
2.2.5 Fosfaat in oppervlaktewater	16
2.3 Natuurontwikkeling en –bescherming	17
2.4 Methoden ter bepaling van het effect van maatregelen	17
2.4.1 Diffuse bronnen	17
2.4.2 Puntbronnen	17
3 Kwalitatieve beoordeling van het effect van maatregelen	19
3.1 Waterkwantiteitsbeheer (categorie 1)	19
3.1.1 Grondwaterstand	20
3.1.2 Verblijftijd	22
3.1.3 Verdeling van wateraanvoer over grond- en oppervlaktewater	23
3.1.4 Kwel	23
3.2 Vermindering vuilwaterstromen (categorie 2)	24
3.3 Vermindering bodembelasting (groep 3)	24
3.4 Bodemsanering (groep 4)	25
3.5 Buffers en beperking van oppervlakkige afspoeling (groep 5)	25
4 Methoden voor kwantificering van het effect van maatregelen	27
4.1 Kwantificering van nutriëntenbelasting vanuit landbouwgronden	27
4.2 Vergelijking van belasting oppervlaktewater uit diffuse en punt-bronnen	28
4.3 Effecten van vermindering van nutriëntenbelasting op gewasopbrengst	28
4.4 Overige maatregelen	29
5 Conclusies	31
Referenties	33
Bijlage A Overzichtstudies van maatregelen om de nutriënten-belasting van grond- en oppervlaktewater te beperken	35



## Samenvatting

In opdracht van de provincie Noord-Brabant is een studie (als onderdeel van het Brabant-Breed project) gedaan naar mogelijke beheersmaatregelen om de belasting van grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfaat te verminderen. De maatregelen liggen in de sfeer van waterbeheer, verminderen van de belasting met vuil water, bodembeheer, landbouwkundige maatregelen, en emissiebeheersing. Voor iedere maatregel is ingeschat wat de effecten zullen zijn op de milieukwaliteit en op de landbouw. Op basis van deze informatie over het milieurendement en de kosten en consequenties voor de landbouwsector kunnen maatregelen gekozen worden om stapsgewijs de milieukwaliteit in Noord-Brabant te verbeteren. In deze studie komen vooral de meer specifieke maatregelen aan de orde. Deze maatregelen zijn aanvullend op de globale beleidsmaatregelen, zoals vernatting en de MINAS-verliesnormen, waarvan de effecten geanalyseerd zijn in de andere deelstudies (o.a. Deelrapport 2).

Een groot aantal maatregelen zijn beoordeeld op hun effecten op de grondwaterstand, de stikstof- en fosfor-belasting van grond- en oppervlakte-water, en op de gewasopbrengsten en gebruiksbependingen voor de landbouw. Voor veel maatregelen kunnen de effecten slechts in beperkte mate gekwantificeerd worden, omdat de maatregelen slechts toegepast kunnen worden voor een bepaald soort milieuproblemen en/of onder een bepaald soort condities. Kwantificering van de effecten over geheel Noord-Brabant is dan niet mogelijk.

Een aantal conclusies van deze studie zijn:

1. Maatregelen op perceels- of bedrijfsniveau om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen, zoals buffers en beperking van de oppervlakkige afspoeling, zijn gemakkelijk uitvoerbaar, maar de effectiviteit van deze maatregelen is vaak relatief beperkt;
2. Stikstof- en fosforbelastingen van het oppervlaktewater kunnen het beste verlaagd worden via vermindering van vuilwaterstromen en via vermindering van de bodembelasting met stikstof en fosfor;
3. Nitraatconcentratie in het grondwater kan het beste verminderd worden via het verhogen van de grondwaterstand en via het verminderen van de bodembelasting met stikstof;
4. Vernatting is een effectieve methode om de nitraatconcentratie in het grondwater van landbouwgronden te verminderen en kan van belang zijn voor natuurontwikkeling en -bescherming, maar het resulteert in meer fosfaatafstroming naar het oppervlaktewater en geeft vaak lagere opbrengsten en gebruiksbependingen voor het landbouwsysteem;
5. Vermindering van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater zonder opbrengstverlagingen en gebruiksbependingen voor het landbouwsysteem kan via het reduceren van de vuilwaterstromen;
6. Verlaging van de nitraatconcentraties in het grondwater met beperkte opbrengstvermindering en gebruiksbependingen voor het landbouwsysteem is mogelijk d.m.v. vermindering van de bodembelasting (=bemesting) met stikstof en verbeterde

teeltmaatregelen, zoals minder beweiding, precisiebemesting, vanggewas in de winter, minder gewassen met stikstofrijke gewasresten, en afvoer van stikstofrijke gewasresten.



# 1 Inleiding

Het huidige grondgebruik in de provincie Noord-Brabant leidt op vele plaatsen tot overschrijding van de kwaliteitsnormen van stikstof en fosfaat in grond- en oppervlaktewater. Intensivering van de landbouw tijdens de laatste 40 jaar heeft geresulteerd in een sterk toegenomen gewas- en dierlijke productie. Dit ging echter gepaard met een sterk toenemend gebruik van kunstmest en een sterke toename van de dierlijke mest-toediening op landbouwpercelen. Dit veroorzaakte grote stikstofverliezen door nitraat-uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater, fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater, en fosfaatverzadiging van bodems (Oenema & Roest, 1998). Het project 'Revitalisering landelijk gebied', in vervolg Reconstructie genoemd, biedt mogelijkheden om deze milieuproblemen te beperken of te voorkomen, en kan bijdragen aan een verbetering van de milieukwaliteit.

In opdracht van de provincie Noord-Brabant is een studie gedaan naar mogelijke beheersmaatregelen om de belasting van grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfaat te verminderen. Deze studie maakt deel uit van het totale Brabant-Breed project waarin de mogelijkheden bestudeerd zijn om de waterkwaliteit in Noord-Brabant te verbeteren via vermindering van de nutriëntenbelasting. In deze deelstudie is voor afzonderlijke maatregelen ingeschat wat de effecten zullen zijn op de milieukwaliteit en op de landbouw. Op basis van deze informatie over het milieurendement en de kosten en consequenties voor de landbouwsector kunnen maatregelen gekozen worden om stapsgewijs de milieukwaliteit in Noord-Brabant te verbeteren. De Provincie Noord-Brabant kan hiermee onder meer de reconstructiecommissies ondersteunen bij de keuzen voor gebiedsinrichting en een overzicht van mogelijke beheersmaatregelen aanbieden die ertoe moeten leiden dat de nutriëntenuitspoeling naar grond en oppervlaktewater binnen de komende tien jaar gereduceerd wordt tot een niveau binnen de door het Rijk gestelde milieunormen.

De diffuse belasting van grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanwege de intensieve landbouw in Noord-Brabant, zoals berekend met een metamodel, wordt besproken in Deelrapport 2. De effecten van diverse algemeen toepasbare maatregelen, zoals verminderde bemesting en verhoogde grondwaterstand, zijn hierbij ook bepaald. Dit Deelrapport 2 laat de interactie van dergelijke maatregelen met de variatie aan omstandigheden (o.a. bodem en grondwaterstand) over Noord-Brabant zien. In de hier besproken deelstudie (Deelrapport 1) komen vooral de overige, meer specifieke maatregelen en hun effectiviteit bij het beperken van de milieubelasting aan de orde. De effecten van deze specifieke maatregelen, zoals bijvoorbeeld buffers en bodemsanering, vertonen vaak een beperkte samenhang met de gebiedskenmerken. Deze maatregelen kunnen aanvullend op de bovengenoemde, globale beleidsmaatregelen (zoals vernatting en bemestings-verliesnormen) worden uitgevoerd. Naast het algemene nationale beleid (d.w.z. toepassing van MINAS-verliesnormen (LNV, 1999) vanaf 2003, zie Deelrapport 2) kunnen deze extra maatregelen nodig zijn om de basiskwaliteit (MTR-norm (V&W, 1999)) voor grond-

en oppervlaktewater in Noord-Brabant of eventueel de ecologische milieukwaliteit (streefwaarde) in specifieke delen van de Ecologische HoofdStructuur te realiseren.

Het eerste deel van deze studie omvat een totaal overzicht van de specifieke beheersmaatregelen (paragraaf 2), die liggen in de sfeer van waterbeheer, verminderen van de belasting met vuil water, bodembeheer, landbouwkundige maatregelen, en emissiebeheersing. Voor iedere maatregel wordt globaal (in kwalitatieve termen) aangegeven wat de effecten ervan zijn op landbouw en milieukwaliteit, en welke methoden beschikbaar zijn om de effectiviteit ervan (d.w.z. de reductie in milieubelasting) te bepalen. De effecten van de verschillende maatregelen worden in meer detail besproken in paragraaf 3. De wijze waarop de effecten van de verschillende algemeen toepasbare maatregelen op de nutriëntenbelasting over geheel Noord-Brabant gekwantificeerd kunnen worden, wordt in paragraaf 4 kort besproken. Verdere informatie over dit meer kwantitatieve deel van het totale Brabant-Breed project, staat in de andere Deelrapporten (nr. 2 t/m 4). De hier besproken specifieke maatregelen kunnen slechts toegepast worden voor een bepaald soort milieuproblemen en/of onder een bepaald soort condities (bijv. effectiviteit van buffers hangt af van landgebruik, bodemtype, topografie en ontwatering). De effecten van dergelijke maatregelen kunnen slechts in beperkte mate gekwantificeerd worden en zeker niet voor geheel Noord-Brabant. Een overzicht van studies waarin de bruikbaarheid en toepasbaarheid van deze laatste maatregelen worden besproken, is bijgevoegd (Bijlage A).

## 2 Maatregelen en hun effecten

### 2.1 Inleiding

Een overzicht van mogelijke maatregelen om de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater te beperken, is samengesteld (Noij, 1997). Dit overzicht van maatregelen met hun gevolgen voor de nutriëntenbelasting, nl. Tabel 1, is gebaseerd op alle thans beschikbare informatie. Deze informatie kan variëren van deskundigenoordeel tot meetresultaten. Meer informatie over de belangrijkste bronnen van informatie is te vinden in Tabel 2. Voor iedere maatregel wordt in Tabel 1 aangegeven of deze voornamelijk op bedrijfs- en perceelsniveau (**B**) worden uitgevoerd of voornamelijk op gebiedsniveau (**G**). Deze laatste maatregelen worden voornamelijk door overheden uitgevoerd en beheerd. De maatregelen zijn onder te brengen in de categorieën (1) waterkwantiteitsbeheer; (2) verminderen van belasting met vuil water; (3) verminderen van belasting van bodem met nutriënten; (4) bodemsanering t.b.v. natuur; (5) beperking van oppervlakkige nutriënten-afspoeling.

Voor iedere maatregel geeft Tabel 1 een globale indicatie van het gevolg voor de nutriëntenbelasting van het milieu, de grondwaterstand, en de landbouw. De kwalitatieve aanduiding '+' bij de maatregelen duidt op een positief effect, of te wel, de nutriëntenbelasting en daarmee de nutriëntenuitspoeling en nutriëntenconcentraties worden lager, de grondwaterstand wordt hoger, en de mogelijkheden (o.a. productie) voor de landbouw worden beter. '0' en '-' zijn respectievelijk geen en een negatief effect. Een maatregel kan een verschillend effect hebben op de milieubelasting met respectievelijk stikstof en fosfaat, aangeduid met +/- . Bijvoorbeeld, een verhoging van het grondwaterstandspeil resulteert meestal in een lagere nitraatconcentratie in het bovenste grondwater en in een hogere fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Dergelijke verschillen in effect worden aangegeven in Tabel 2.

In Tabel 2 staat meer gedetailleerde en aanvullende informatie over de effecten van maatregelen voor de milieubelasting en voor de landbouw. Voor iedere groep van maatregelen (uit Tabel 1) wordt in Tabel 2 aangegeven wat het gecombineerde effect is op de grondwaterstand, op de stikstof- en fosfaatbelasting van oppervlakte- en grondwater, op de gewasopbrengsten en gebruiksbepalingen binnen het landbouwsysteem. Tevens wordt vermeld hoe het effect van deze groep maatregelen op de milieubelasting van grond- en oppervlaktewater berekend of geschat kan worden. Beschikbare methodieken variëren van rekenwerk met behulp van een simulatie- of metamodel tot kwalitatieve analyses op basis van literatuur-informatie. De in Tabellen 1 en 2 vermelde effecten van maatregelen gelden zowel voor klei-, zand- en veengronden. Echter, de grootte van deze effecten kan wel per bodemtype verschillen vanwege een verschil in waterdoorlatendheid en adsorberend vermogen per bodemtype. Voor meer informatie over de effecten van de verschillende maatregelen en over de processen die eraan ten grondslag liggen, zie paragraaf 3.

## 2.2 Effect van maatregelen

### 2.2.1 Vermindering van nutriëntenbelasting

De nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater kan worden verlaagd door het verminderen van de vuilwaterstromen en door het veranderen en verbeteren van de landbouwstructuur (Tabel 1). Vormen van 'verminderde vuilwaterstromen' die bijdragen aan een aanzienlijke vermindering van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, zijn met name het scheiden van schoon- en vuilwaterstromen (1.3), de sanering van puntbronnen (2.1), en de zuivering van vuilwaterstromen (2.2). De nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater door de landbouw kan worden verlaagd door vermindering van het overmatig gebruik van nutriënten (3.1), door veranderde teeltmaatregelen (3.4: minder beweiding, precisiebemesting en aangepaste gewaskeuze), door verminderde ammoniakdepositie vanwege o.a. verbeterde stallen (3.2), en door verminderde afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater (5.2). Verandering van het grondwaterpeil en met name het verhogen van dit peil ten behoeve van natuurontwikkeling (1.4), en het vasthouden van gebiedseigen water en de meestal resulterende vernatting (1.1) beperken de mogelijkheden voor de landbouw. De nutriëntenbelasting verandert van samenstelling door de vernatting (zie Tabel 2: verschillend effect op N- en P-belasting), maar neemt per saldo nauwelijks af.

Tabel 1. Overzicht van maatregelen (op gebied- (G) of bedrijfs- en perceelsniveau (B)) in landbouwgebieden met hun globale gevolg voor de nutriëntenbelasting van het milieu, de grondwaterstand, en de landbouw. Achter maatregelen die meerdere malen voorkomen staat (tussen haakjes) een verwijzing naar de andere plek in de indeling. De kwalitatieve aanduiding + bij de maatregelen duidt op een positief effect, dus de nutriëntenbelasting en daarmee de nutriëntenuitspoeling en nutriëntenconcentraties worden lager, de grondwaterstand wordt hoger, en de mogelijkheden (o.a.. productie) voor de landbouw worden beter. 0 en - zijn respectievelijk geen en negatief effect (bron: Noij, 1997).

Maatregel	Gebied- of Bedrijfsniveau	Nutriënten -belasting	Grondwater -standspeil	Landbouw -mogelijkheden
<b>1 Waterkwantiteitsbeheer</b>				
<b>1.1 Vasthouden gebiedseigen water<sup>1)</sup></b>				
1.1.1 Dynamisch peilbeheer (conservering)	G	+/-	+	0/-
1.1.2 Verminderen wateraan- en -afvoer	G	+/-	0	0
1.1.3 Retentiebekkens	G	+/-	+	-
1.1.4 Hermeandering van beken toestaan (5.7)	G	+/-	+	-
1.1.5 Overstroming beek toestaan	G	+/-	+	-
1.1.6 Beperken drainage (1.4.6)	G/B	+/-	+	-
1.1.7 Flexibele drainage (1.4.6)	G/B	+/-	+	-
1.1.8 Reductie grondwateronttrekking (incl. kwelherstel)	G	+/-	+	-
<b>1.2 Beregening</b>	B	+/-	0/-	+
<b>1.3 Scheiden</b>				
1.3.1 Schoon- en vuilwaterstromen scheiden/geleiden (2)	G	+	0	0
1.3.2 Vuilwaterafvoer versnellen (2.2.4)	G	+	0	0
1.3.3 Verlengen aanvoertroute inlaatwater (2.2.4)	G	+	0	0

Maatregel	Gebied- of Bedrijfsniveau	Nutriënten- belasting	Grondwater- standspeil	Landbouw- mogelijkheden
<b>1.4 Grondwaterstandsbeheer<sup>1)</sup></b>				
1.4.1 Peilbeheer afhankelijk van functie (natuur hoger, landbouw lager)	B	+/-	+/-	-/+
1.4.2 Natuur: Sloten verondiepen (1.1)	B	+/-	+	-
1.4.3 Natuur: Sloten dempen (1.1)	B	+/-	+	-
1.4.4 Natuur: Bovengrond afgraven (4.1)	B	0	0	-
1.4.5 Landbouw: Sloten graven	B	+/-	-	+
1.4.6 Landbouw: Detailontwatering verbeteren (1.1.6/7)	B	+/-	-	+
1.4.7 Verhogen landbouwgrond	B	0	0	+
<b>1.5 Beheer watergangen</b>				
1.5.1 Baggeren (2.3.2)	G	0	-	0/+
1.5.2 Profielaanpassingen (breder en ondieper, 5.3)	G	0	+	-
1.5.3 Sloot schonen (2.3.3)	G	0	-	0/+
<b>2 Vermindering vuilwaterstromen</b>				
<b>2.1 Sanering puntbronnen</b>				
2.1.1 Riooloverstorten (piekbelasting)	G	+	0	0
2.1.2 Effluent (RWZI)	G	+	0	0
2.1.3 Erfafvoer (incl. spuit/spoelplaatsen)	G	+	0	0
2.1.4 Spoelwater landbouwbedrijven	G	+	0	0
2.1.5 Ongerioleerde percelen	G	+	0	0
2.1.6 Inlaatwater	G	+	0	0
<b>2.2 Zuivering vuilwaterstromen, inclusief inlaatwater</b>				
2.2.1 Slibvang	G	+	0	0
2.2.2 Helofytenfilter	G	+	0	0
2.2.3 Zuiveringsmoeras	G	+	0	0
2.2.4 Verlengen aanvoer-, verkorten afvoerroute (1.3.2/3)	G	+	0	0
2.2.5 Defosfateren	G	+	0	0
2.2.6 Bergbezinkbassin (riooloverstort)	G	+	0	0
<b>2.3 Overige vuilwater-maatregelen</b>				
2.3.1 Doorspoelen, inlaat schoon water	G	+	0	0
2.3.2 Waterbodem, baggeren	G	+/-	-/0	0/+
2.3.3 Biomassa verwijderen	G	+	-/0	0/+
2.3.4 Verdiepen van de waterkolom	G	0	-/0	0/+
2.3.5 Actief biologisch beheer	G	+	0	0
<b>3 Verminderen bodembelasting</b>				
<b>3.1 Vermindering nutriëntenoverschotten</b>				
3.1.1 Extensivering landbouw	B	+	0	-
3.1.2 Grond omzetten (van landbouw naar natuur)	B	+	0	-
<b>3.2 Landverbetering</b> (betere verkaveling en waterhuishouding)	B	+/-	-	+
<b>3.3 Reductie ammoniakdepositie</b>				
3.3.1 Zie maatregelen (3.1 en 3.4.2)	B	+	0	-
3.3.2 Emissiearme stallen	B	+	0	0
<b>3.4 Overige teeltmaatregelen</b> (bijv. minder beweiding en bemesting, precisiebemesting, vanggewas in winter, minder gewassen met veel N-rijke gewasresten, opslag van dierlijke mest tijdens winter en mestinjectie)				
3.4.1 Beweidingsstelsel	B	+	0	0
3.4.2 Mesttoediening	B	+	0	-
3.4.3 Gewaskeuze	B	+	0	-

Maatregel	Gebied- of Bedrijfsniveau	Nutriënten- belasting	Grondwater- standspeil	Landbouw- mogelijkheden
<b>4 Bodemsanering</b> t.b.v. natuur-ontwikkeling / -bescherming				
4.1 Voedselrijke bovengrond verwijderen	B	+	0	-
4.2 Saneren verontreinigde grond	B	+	0	+
4.3 Uitmijnen (incl. Verschralen)	B	+	0	-
4.4 Voedselrijke bovengrond onderploegen	B	0/-	0	-
4.5 Fe/Al toevoegen (t.b.v. P-fixatie)	B	+	0	-
4.6 Diepe drainage langs watergang	B	0/+	-	0
<b>5 Buffers en beperking oppervlakkige afspoeling</b>				
<b>5.1 Buffers</b>				
5.1.1 Hydrologische buffers	B	-/+	+	-
5.1.2 Natuurvriendelijke oevers	B	+	0	-
5.1.3 Plas-drasstroken (1.6.2)	B	-/+	+	-
5.1.4 Bufferstroken langs waterlopen	B	+	0	-
5.1.5 Ruimte voor hermeandering	B	0/+	0/+	-
5.1.6 Perceelsrandenbeheer	B	+	0	-
<b>5.2 Beperking oppervlakkige afspoeling</b>				
5.2.1 Grondbewerking	B	0/+	0	0
5.2.2 Verzamelplaatsen van vee	B	0/+	0	0
5.2.3 Holle percelen	B	0/+	0	-

<sup>1)</sup> Voor meer gedetailleerde informatie, zie paragraaf 3.1 .

## 2.2.2 Mogelijkheden voor de landbouw

De opbrengsten en de teeltmogelijkheden binnen de landbouw worden beter door beregening (Tabel 2: **1.2**; nl. geen droogtestress en -risico tijdens de zomer) en door landverbetering (**3.2**; met name betere verkaveling en ontwatering). Verbeterde ontwatering resulteert echter vaak in toename van de nitraatconcentraties in het grondwater. Verhoging van de grondwaterstand (**1.1**, **1.4**) om nitraatconcentraties te verlagen, resulteert in lagere gewasopbrengsten en belemmert de teeltactiviteiten. Vernatting beperkt bijvoorbeeld in sterke mate de perioden dat het land bewerkbaar, berijdbaar of beweidbaar is. Aangezien de teeltactiviteiten zoals oogsten, gewasbescherming en grondbewerking, in bepaalde tijdsperioden uitgevoerd moeten worden, is een verkorting van de perioden dat deze activiteiten uitgevoerd kunnen worden vanwege vernatting, een ernstige belemmering voor het landbouwbedrijf. Het aanleggen van buffers (**5.1**) om de nutriëntenafspoeling te beperken, gaat ten koste van het beschikbaar landbouwareaal.

## 2.2.3 Nitraat in grondwater

Hoge nitraatconcentraties in het grondwater kunnen verlaagd worden door vermindering van het stikstofoverschot (Tabel 2: **3.1**) ten opzichte van de stikstofonttrekking door het teeltsysteem en door teeltmaatregelen (**3.4**) die bijvoorbeeld precisie-bemesting, beperkte beweiding en aangepaste gewasrotaties omvatten. Een lagere ammoniak-depositie (**3.3**) draagt hier ook aan bij. De nitraatconcentraties in het grondwater kunnen ook verlaagd

worden door het verhogen van de grondwaterstand (**1.1**, **1.4**). De hogere grondwaterstand resulteert in een grotere stikstofafvoer naar het oppervlaktewater, en dus minder naar het grondwater, en in meer stikstofverliezen door denitrificatie. Deze vernatting heeft echter een sterk negatief effect op de gewasopbrengsten, belemmert de uitvoering van teeltactiviteiten binnen het landbouwbedrijf en resulteert in een sterke toename van de fosfaatbelasting (paragraaf 2.2.5).

Tabel 2. Overzicht van maatregelen (op gebied- (**G**) of bedrijfs- en perceelsniveau (**B**) in landbouwgebieden met hun gevolgen voor de grondwaterstand, de stikstof- en fosfaatbelasting van grond- en oppervlaktewater, de opbrengsten en de gebruiksbeperkingen voor de landbouw, en de beschikbare methoden om de effecten van deze maatregelen voor de milieubelasting te bepalen. Getallen tussen haakjes verwijzen naar de maatregelen in Tabel 1. + staat voor (1) hogere grondwaterstand; (2) lagere milieubelasting van grond- of oppervlaktewater; (3) hogere opbrengst; en (4) minder gebruiksbeperkingen. 0 en – staan voor respectievelijk gelijke en lagere grondwaterstand, enz.

Maatregel	Op G- of B-niveau, grondwaterstand	Milieubelasting			Landbouw		Methode <sup>1)</sup>	
		Nitraat in grondwater	Stikstof In oppervlaktewater	Fosfaat	Opbrengst	Gebruiksbeperking	Kwantitatief	Kwalitatief
Vasthouden water/vernatting (1.1)	G(B) +	+ <sup>2)</sup>	-/+ <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	-	-	M, Sim	
Berekening (1.2)	B -/0	-/0	-/+	0/+	+	+	M, Sim	
Scheiden schoon /vuil water (1.3)	G 0	0	+	+	0	0	Stat	
Grondwaterst.-voor natuur (1.4)	B +	+ <sup>2)</sup>	-/+ <sup>2)</sup>	- <sup>2)</sup>	-	-	M, Sim	
Beheer water-gangen (1.5)	G 0/-	0	0	0	0/+	0/+		+
Sanering puntbronnen (2.1)	G 0	0	+	+	0	0	Stat.	
Zuivering vuilwaterstromen (2.2)	G 0	0	+	+	0	0		Lit. <sup>3)</sup>
Overige vuilwater maatregelen (2.3)	G 0/-	0	+	+	0	0/+		Lit. <sup>3)</sup>
Vermindering N & P-overschot (3.1)	B 0	+	+	+	-	-	M, Sim., Q	
Landverbetering (3.2)	B -	-	-/+	+	+	+	M, Sim, Q	
Lagere Ammoniakdepositie (3.3)	B 0	+	+	0	0	0	M, Sim	
Teeltmaatregelen (3.4)	B 0	+	+	+	0/-	0/-	M, Sim	Lit.
Bodemsanering (4)	B 0	+	+	+	-	-		Lit.
Buffers (5.1)	B 0	0	0/+	0/+	0	-		Lit. <sup>3)</sup>
Beperking oppervl. afspoeling (5.2)	B 0	0	0/+	0/+	0	-		Lit. <sup>3)</sup>

1) Methode: M=metamodel; Sim= simulatiemodel; Q= QUAD-MOD; Stat= data uit statistieken; Lit= literatuur.

2) Voor meer gedetailleerde informatie, zie paragraaf 3.1.

3) Zie Deelrapport 4 met notities over 1. Effectiviteit van bufferstroken; 2. Effectiviteit van vegetatieverwijdering en baggeren; 3. Helofytenfilters; 4. De bijdrage van oppervlakkige afstroming aan de nutriëntenbelasting van oppervlaktewater.

## 2.2.4 Stikstof in oppervlaktewater

De stikstofbelasting van het oppervlaktewater kan verlaagd worden door vermindering van het stikstofoverschot (Tabel 2: **3.1**) ten opzichte van de stikstof-

onttrekking via geogoste producten en door teeltmaatregelen (3.4) die bijvoorbeeld precisie-bemesting, beperkte beweiding en aangepaste gewasrotaties omvatten. Dit levert meestal beperkingen op voor het landbouwsysteem. Een vermindering van de ammoniak-depositie (3.3) resulteert ook in een lagere stikstofbelasting. Vernatting (1.1, 1.4) heeft geen duidelijk effect op de stikstofbelasting, omdat hogere grondwaterstanden enerzijds resulteren in meer stikstofgas-verliezen vanwege denitrificatie en anderzijds in meer water- en dus stikstof-afstroming naar het oppervlaktewater. Voor meer informatie hierover, zie paragraaf 3.1. Vermindering van vuilwaterstromen (2.1, 2.2, 2.3, 1.3) is vanuit agrarisch oogpunt de beste manier om de stikstofbelasting van het oppervlaktewater te verminderen, omdat deze methode effectief is en geen beperkingen voor het landbouwsysteem oplevert. Aanleg van buffers (5.1) en beperking van de oppervlakkige afspoeling van stikstof (5.2) resulteert in minder stikstofbelasting van het oppervlaktewater. Deze twee laatste maatregelen hebben een beperkte effectiviteit maar hebben als voordeel dat ze gemakkelijk (nl. plek-specifieke actie) uitgevoerd kunnen worden.

## 2.2.5 Fosfaat in oppervlaktewater

De fosfaatbelasting van het oppervlaktewater kan verlaagd worden door vermindering van het fosfaatoverschot (Tabel 2: 3.1) ten opzichte van de fosfaat-onttrekking via geogoste producten en door teeltmaatregelen (3.4) die bijvoorbeeld precisie-bemesting en aangepaste gewasrotaties omvatten. Dit levert meestal beperkingen op voor het landbouwsysteem. Gezien de grote mate van fosfaat-ophoping in de meeste landbouwgronden in Noord-Brabant vanwege de overmatige historische bemesting, mag verwacht worden dat de toekomstige fosfaatbelasting van het oppervlaktewater, zelfs bij lage fosfaatgiften, slechts zeer langzaam zal afnemen. Vernatting (1.1, 1.4) resulteert in een sterke toename van de fosfaatbelasting, omdat hogere grondwaterstanden resulteren in meer water- en dus fosfaat-afstroming via ondiepe stroombanen naar het oppervlaktewater. Verder wordt het aerobe deel van de bovengrond waarin de vastlegging van fosfaat vooral plaatsvindt, minder diep door een stijging van de grondwaterstand. Dus vernatting resulteert in een grotere uitspoeling van het opgehoopte bodemfosfaat. Omgekeerd wordt door een verbeterde ontwatering van gronden het fosfaat beter in de bodem gebonden en vermindert de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Voor meer informatie hierover, zie paragraaf 3.1. Vermindering van vuilwaterstromen (2.1, 2.2, 2.3, 1.3) is vanuit agrarisch oogpunt de beste manier te zijn om de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater te verminderen, omdat deze methode effectief is en geen beperkingen voor het landbouwsysteem oplevert. Aanleg van buffers (5.1) en beperking van de oppervlakkige afspoeling van fosfaat (5.2) resulteert in minder fosforbelasting van het oppervlaktewater. Deze laatste twee maatregelen zijn effectief om ondiepe afstroming en oppervlakte-afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater te beperken. Deze maatregelen zijn bovendien gemakkelijk uitvoerbaar. Echter, bij overstroming en ondiepe grondwaterstanden kan zich remobilisatie van fosfaat vanuit de buffers voordoen, en neemt de effectiviteit van deze maatregelen sterk af.



## **2.3 Natuurontwikkeling en –bescherming**

Om landbouwgrond geschikt te maken voor natuurontwikkeling of om natuurgebieden te beschermen, is vaak vergaande bodemverschraling nodig (Tabel 2: **4**). De voedselrijke bovengrond wordt dan afgevoerd of wordt verschaald (door de nutriënten in geogste biomassa af te voeren). De overmaat aan fosfaat zou eventueel gefixeerd kunnen worden door aluminium of ijzer toe te voegen aan de bodem. Overmatige aanvoer van nutriënten naar natuurgebieden via voedselrijk kwelwater uit watergangen of ondergrond kan via drainage voorkomen worden.

## **2.4 Methoden ter bepaling van het effect van maatregelen**

### **2.4.1 Diffuse bronnen**

Gevolgen van maatregelen om de voornamelijk diffuse belasting met stikstof en fosfaat van de bodem, en daarmee van grond- en oppervlaktewater, te verminderen, kunnen met simulatiemodellen of met daarvan afgeleide metamodellen gekwantificeerd worden (Tabel 2). Het gaat met name om de effecten van een verminderde bemesting en daarmee van een verlaagde nutriëntenbelasting van de bodem, van een lagere ammoniakdepositie, en van een hogere grondwaterstand. Dergelijke effecten over geheel Noord-Brabant zijn gekwantificeerd in Deelrapport 2 van dit Brabant-breed project, en worden kort behandeld in paragraaf 4.1.

### **2.4.2 Puntbronnen**

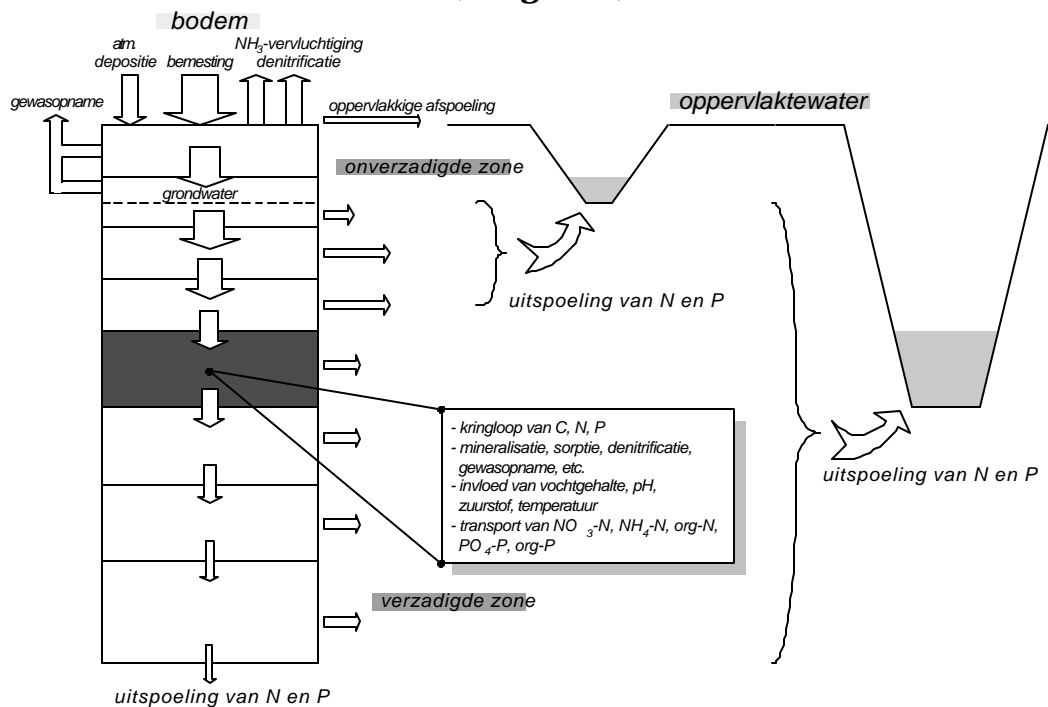
Puntbronnen vragen om specifieke maatregelen. De gevolgen van deze maatregelen om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen via bijvoorbeeld het saneren van puntbronnen (Tabel 2: **2.1**), het zuiveren van vuilwaterstromen (**2.2**), het gebruik van buffers (**5.1**), en het beperken van de oppervlakkige afspoeling van nutriënten (**5.2**), zijn situatie-specifiek. Deze gevolgen voor de waterkwaliteit kunnen wel kwalitatief aangeduid worden maar zijn meestal niet goed te kwantificeren, en met name niet voor grotere gebieden, omdat de informatie over de waterafvoeren en over de plaatselijke topografie, ontwateringssysteem, enz. veelal ontbreekt. De effecten van deze specifieke maatregelen worden in meer detail besproken in paragrafen 3.2 en 3.5.



### 3 Kwalitatieve beoordeling van het effect van maatregelen

In paragraaf 2 zijn de belangrijkste maatregelen op een rij gezet en hun effecten globaal aangeduid. In dit hoofdstuk worden de specifieke maatregelen in meer detail besproken. De effecten van maatregelen gelden voor alle bodemtypen, tenzij anders vermeld. Echter, de grootte van deze effecten kan wel per bodemtype verschillen vanwege een verschil in waterdoorlatendheid en adsorberend vermogen per bodemtype. De nummering van de categorieën maatregelen is identiek aan die in Tabellen 1 en 2. Omdat waterkwantiteitsbeheer en de resulterende veranderingen in het hydrologische systeem en in de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater een complexe samenhang hebben, worden de hydrologische maatregelen in meer detail behandeld dan de overige maatregelen.

#### 3.1 Waterkwantiteitsbeheer (categorie 1)



Figuur 1. Schematisch overzicht van transportwegen van water, stikstof en fosfaat naar grondwater en oppervlaktewater (Kroes & Roelsma, 1998).

De effecten van hydrologische maatregelen kunnen gebaseerd worden op een aantal sleutelfactoren:

1. grondwaterstand;
2. verblijftijd;
3. verdeling van het neerslagoverschot en/of kwel over grond- en oppervlaktewater;
4. kwel.

Deze factoren zijn niet geheel onafhankelijk van elkaar, maar worden gebruikt als hulpmiddel bij de analyse van de effecten van hydrologische maatregelen. Een schematisch overzicht van de voornaamste transportwegen van water, stikstof en fosfaat vanuit het bodemprofiel naar grond- en oppervlaktewater, kan bij deze analyse van nut zijn (Figuur 1).

### **3.1.1 Grondwaterstand**

Het effect van een hogere grondwaterstand (Tabel 2: **1.1, 1.4**) op de uitspoeling van nutriënten naar het grondwater en op de afstroming naar het oppervlaktewater is sterk afhankelijk is van plaatselijke omstandigheden. De effecten zijn samengevat in Tabel 3. Bijvoorbeeld, een hogere grondwaterstand resulteert in minder kwel, en dit kan zowel meer als minder nutriëntenbelasting tot gevolg hebben afhankelijk van de samenstelling van het kwelwater. Een ander voorbeeld is dat verhoging van de grondwaterstand een positief effect heeft op de gewasproductie in relatief droge gebieden, en daarmee op de nutriëntenontrekking, terwijl in relatief natte gebieden de de gewasproductie en de nutriëntenontrekking dan verder afnemen. Een verminderde nutriëntenontrekking zal vaak resulteren in een grotere nutriëntenuit- en afspoeling.

#### ***Stikstofbelasting van grondwater***

Een hogere grondwaterstand resulteert zowel in sterk toegenomen stikstofgasverliezen uit de bodem door denitrificatie als in een verminderde stikstofuitspoeling naar het diepere grondwater en een grotere afstroming (via ondiepere 'snelle' stroombanen) naar het oppervlaktewater. Dit geeft een sterke afname van de stikstofbelasting (met name nitraat) van het grondwater (Tabel 3). Een grotere gewasopname van stikstof vanwege verbeterde vochtvoorziening kan soms ook bijdragen (echter alleen op de droge zandgronden) aan een verlaagde stikstofbelasting, maar dit effect is meestal verwaarloosbaar. Hogere grondwaterstand (in kwelgebieden) resulteert in een afname van de kwelintensiteit in de bovengrond, en dit kan zowel een positief als een negatief effect hebben op de stikstofbelasting van het grondwater, in afhankelijkheid van de stikstofconcentratie in het kwelwater. Bij een hogere grondwaterstand worden de risico's van stikstofuitspoeling naar ondiep grondwater (en vervolgens grotendeels afstromend naar het oppervlaktewater) na bemesting groter, en dit vraagt om beter mineralenmanagement (d.w.z. precisie-stikstofgiften op basis van gewasbehoefte en weersvoorspelling). Dit laatste negatieve effect (d.w.z. toename in stikstofbelasting) is echter veel beperkter dan de positieve effecten vanwege toegenomen denitrificatie-verliezen en vanwege verminderde uitspoeling naar dieper grondwater. Per saldo zal een hogere grondwaterstand resulteren in een sterke afname van de stikstofbelasting van het grondwater (Tabel 3). Dit geldt alleen niet voor goed-doorlatende gronden met een diepe grondwaterstand (met name hoge zandgronden waarvan de bovengrond aeroob blijft). Denitrificatie-verliezen doen zich alleen voor, zolang een regelmatige aanvoer van organische stof verzekerd is. Daarom is denitrificatie vooral van belang in bewortelde, humusrijke bovengronden met een ondiepe grondwaterstand en wordt vrijwel nihil in de diepe ondergrond

### **Stikstofbelasting van oppervlaktewater**

Een hogere grondwaterstand resulteert in zowel meer afstroming (via ondiepere stroombanen) naar het oppervlaktewater als meer stikstofgas-verliezen door denitrificatie. Afhankelijk van de lokale omstandigheden resulteert dit in iets verhoogde of iets verlaagde stikstofafstroming naar het oppervlaktewater (Tabel 3). De overige effecten van een hogere grondwaterstand zijn identiek aan die voor stikstofuitspoeling naar het grondwater (zie hierboven: verandering in gewasopname, in kwel, en vereiste mineralenmanagement) en hebben een beperkte invloed op de stikstofafstroming naar het oppervlaktewater. Alleen in de goed-doorlatende gronden met een diepe grondwaterstand (met name de hoge zandgronden) doen deze effecten van een hogere grondwaterstand zich niet voor.

Tabel 3. Effecten van een hogere grondwaterstand en de gevolgen daarvan voor de belasting<sup>1)</sup> van grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfor (Bron: Noij, 1997).

Effecten	Grondwater		Oppervlaktewater	
	N	P <sup>2)</sup>	N	P
Moeilijker mineralenmanagement	-	-	-	-
lagere gewasopname (natschade)	-	-	-	-
hogere gewasopname (betere vochtvoorz.) <sup>3)</sup>	+	+	+	+
<b>meer denitrificatie<sup>5)</sup></b>	<b>++</b>	<b>0</b>	<b>++</b>	<b>0</b>
<b>lager fosfaatbindend vermogen<sup>5)</sup></b>	<b>0</b>	<b>--</b>	<b>0</b>	<b>--</b>
<b>kortere verblijftijd<sup>4,5)</sup></b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>--</b>	<b>-</b>
minder nutriëntenrijke kwel	+	+	+	+
minder nutriëntenarme kwel	-	-	-	-
<b>Totaal hogere grondwaterstand <sup>5)</sup></b>	<b>++</b>	<b>-</b>	<b>+/-</b>	<b>--</b>

1) + en ++ is lagere en veel lagere nutriëntenbelasting. 0 en - is respectievelijk onveranderde en hogere nutriëntenbelasting.

2) P in grondwater is minder relevant.

3) Dit is alleen het geval op de droge zandgronden met een relatief diepe grondwaterstand.

4) Snellere afvoer naar het oppervlaktewater en ondiepere stroombanen.

5) Totaal effect van hogere grondwaterstand wordt voornamelijk bepaald door (a) meer denitrificatie; (b) lager fosfaathoudend vermogen; (c) kortere verblijftijd.

### **Fosforbelasting van grondwater**

Het fosfaatbindend vermogen van een aerobe bovengrond is hoog. Onder anaerobe omstandigheden is de mobiliteit van fosfaat veel hoger. Een hogere grondwaterstand reduceert de dikte van de aerobe toplaag. Dit resulteert in een sterke afname van het fosfaatvastlegend vermogen van de bovengrond en daarmee in een groter risico van fosforbelasting van het grondwater. Deze fosforbelasting van het diepere grondwater neemt echter slechts in beperkte mate toe (Tabel 3), omdat de hogere grondwaterstand resulteert in minder uitspoeling naar het diepere grondwater en meer ondiepe afstroming naar het oppervlaktewater (Figuur 1). De overige effecten van een hogere grondwaterstand zijn identiek aan die voor stikstofuitspoeling naar het grondwater (zie hierboven: verandering in gewasopname, in kwel, en vereiste mineralenmanagement) en hebben een beperkte invloed op de fosforuitspoeling. De toenemende fosforbelasting van het diepere grondwater is overigens minder ernstig, omdat hogere fosforconcentraties in het diepere grondwater nauwelijks problemen opleveren en omdat in de ondergrond ook enige fosfaatbinding (echter, minder sterke binding bij anaerobe omstandigheden) mogelijk is. De verhoogde fosforconcentraties in het oppervlaktewater en de resulterende eutrofiëring vormen het echte probleem. Op de goed-doorlatende gronden met een diepe grondwaterstand

(met name de hoge zandgronden) doen deze effecten van een hogere grondwaterstand zich niet voor

### **Fosforbelasting van oppervlaktewater**

Een hogere grondwaterstand resulteert zowel in een grotere afstroming (via ondiepe 'snelle' stroombanen) naar het oppervlaktewater als in een vaak hogere fosforconcentratie in deze afstroming vanwege het verminderde fosfaatvastleggend vermogen van de bovengrond. Er kan minder fosfaat vastgelegd worden in de bovengrond vanwege 1) verminderde dikte van de aerobe toplaag; 2) fosfaattransport via ondiepe stroombanen en vaak via bovengrond met hoge fosforgehalten naar het oppervlaktewater. Dit resulteert vaak in een sterke toename van de fosforbelasting van het oppervlaktewater (Tabel 3). Met name wanneer de hogere grondwaterstand anaerobe condities veroorzaakt in een bovengrond die vanwege historische overbemesting sterk met fosfaat verzadigd is, zullen de fosforconcentraties in de afstroming en de fosforbelasting van het oppervlaktewater zeer sterk toenemen (Chardon et al., 1996). Vergeleken met deze sterke effecten, zijn de overige effecten van een hogere grondwaterstand op de fosforbelasting verwaarloosbaar. In de goed-doorlatende gronden met een diepe grondwaterstand (met name de hoge zandgronden) doen deze effecten van een hogere grondwaterstand zich niet voor.

### **3.1.2 Verbliftijd**

De verbliftijd is een belangrijke factor ter beoordeling van het effect van hydrologische maatregelen. Wanneer stoffen (bijvoorbeeld nutriënten in de afstroming) een lange verbliftijd hebben in een (bodem)-compartiment of in een (deel)gebied van het oppervlaktewatersysteem, zullen deze stoffen lang aan processen onderhevig zijn. De kwaliteit van het grondwater, het afstromingswater en het oppervlaktewater kan hierdoor verbeteren. Deze processen worden in het oppervlaktewaterkwaliteitsbeheer meestal met de term retentie aangeduid. Het gaat hierbij om denitrificatie, waardoor stikstof in gasvorm echt uit het systeem verdwijnt, en om vastleggingsprocessen waardoor stikstof en fosfor worden geïmmobiliseerd.

Tabel 4. Samenvatting van effecten van hydrologische sleutelfactoren op de belasting<sup>1)</sup> van grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfor (Bron: Noij, 1997).

	Grondwater		Oppervlaktewater	
	N	P <sup>2)</sup>	N	P
Hogere grondwaterstand	++	-	+/-	--
Langere verbliftijd grondwater	+/ <sup>0</sup> 3)	0	+/ <sup>0</sup> 3)	0
Langere verbliftijd oppervlaktewater		0	+	+
Minder afvoer naar oppervlaktewater	-	-	+	+
Meer N-rijke kwel	-	0	-	0
Meer P-rijke kwel	0	-	0	-
Meer nutriëntenarme kwel	+	+	+	+
Meer ijzerrijke kwel	0	+	0	++

1) + en ++ is lagere en veel lagere nutriëntenbelasting. 0 en - is respectievelijk onveranderde en hogere nutriëntenbelasting.

2) P in grondwater is minder relevant.

3) + bij ondiep grondwater en 0 bij diep grondwater.

Bij stikstof gaat het om de vastlegging in biomassa en organische stof en bij fosfor tevens om de adsorptie aan de vaste fase. Hydrologische maatregelen die de verblijftijd vergroten, kunnen dus meestal positief worden beoordeeld ten aanzien van hun effect op de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater (Tabel 4).

We moeten ons hierbij wel bedenken dat vastleggingsprocessen niet oneindig kunnen doorgaan. De fosfaatvastleggingscapaciteit van een bovengrond of van een waterbodem is bijvoorbeeld niet oneindig. Denitrificatie kan echter wel altijd doorgaan, zolang een regelmatige aanvoer van organische stof verzekerd is. Daarom is denitrificatie vooral van belang in bewortelde, humusrijke bovengronden met een ondiepe grondwaterstand en wordt vrijwel nihil in de diepe ondergrond. Fosfaat wordt vooral in de aerobe bovengrond vastgelegd (onder voorwaarde dat er ijzer- en aluminium-oxyden beschikbaar zijn) en nauwelijks in de anaerobe ondergrond, zodat de verblijftijd in het grondwater van ondergeschikt belang is voor de fosforconcentraties in het grondwater.

### **3.1.3 Verdeling van wateraanvoer over grond- en oppervlaktewater**

Hydrologische maatregelen bepalen de verdeling van de wateraanvoer (afkomstig uit neerslagoverschot en kwel) over enerzijds de uitspoeling naar het diepere grondwater en anderzijds de afstroming naar het oppervlaktewater. Maatregelen voor vernatting en grondwaterstandsbeheer ten behoeve van natuurontwikkeling (zie Tabel 1: **1.1** en **1.4**) resulteren in een hogere grondwaterstand. Dit veroorzaakt bijvoorbeeld meer waterafstroming naar en vaak meer nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Tegelijkertijd wordt de kwel-instroom kleiner, hetgeen de nutriëntenbelasting zowel positief als negatief kan beïnvloeden (Tabel 3). Meer waterafstroming naar het oppervlaktewater gaat gepaard met minder wateruitspoeling naar en stikstofbelasting van het diepere grondwater (Tabel 4).

### **3.1.4 Kwel**

Kwel doet zich voor in de lagere westelijke en noordwestelijke delen van Noord-Brabant (met name op de overgang van de hogere zand- naar de lagere kleigebieden) en in de beekdalen. Een verlaging van de grondwaterstand als gevolg van hydrologische maatregelen kan resulteren in een toename van de hoeveelheid kwel. De kwaliteit van het kwelwater is dan bepalend voor de mate van verandering in stikstof- en/of fosforbelasting van zowel grond- als oppervlaktewater (Tabel 4). Bijvoorbeeld, meer kwel met een hoge fosforconcentratie (zoals in zeekleigebieden voorkomt) resulteert dan in een grotere fosforbelasting. Indien het kwelwater arm is aan nutriënten, resulteert toenemende kwel in een verdunning van de nutriëntenconcentraties in grond- en oppervlaktewater en dus in verbeterde waterkwaliteit. Kwelwater met een hoog ijzergehalte resulteert in vastlegging van fosfaten, en daarmee in een verminderde fosforbelasting van grond- en vooral oppervlaktewater.

### **3.2 Vermindering vuilwaterstromen (categorie 2)**

Het saneren van puntbronnen (Tabel 1: **2.1**), zoals riooloverstorten die bij piekbelasting lozen, effluent van RWZI's en van ongerioleerde percelen, resulteert in een verbeterde kwaliteit van het oppervlaktewater. De mate waarin deze sanering positief uitwerkt, hangt af van de grootte van de vuillast. Het inlaten van schoon water (**2.3.1**) heeft ook een positief effect op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Zuivering van vuilwaterstromen (**2.2**) via o.a. slibvang, helofytenfilters en bezinkbasins, vermindert eveneens de nutriëntenbelasting, waarbij de effectiviteit afhangt van de toegepaste methodiek (zie Deelrapport 4). Defosfateren is effectief voor het verminderen van de fosforbelasting van het oppervlaktewater. Het baggeren en verwijderen van waterbodems (**2.3.2**) vermindert de voorraad stikstof en fosfor, en daarmee de nalevering van stikstof en fosfor naar het water. Omdat hiermee de voorraad organisch materiaal ook wordt verwijderd en de denitrificatiecapaciteit van het systeem hierdoor afneemt, kan de uitspoeling van nitraat naar de waterfase hierdoor soms toenemen. Via het afvoeren van biomassa (**2.3.3**) worden ook nutriënten ook afgevoerd en wordt de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater verminderd. Het verdiepen van de waterkolom (**2.3.4**) vermindert niet de nutriëntenbelasting, maar verbetert wel het zuurstof- en lichtklimaat in het oppervlaktewater. Dit beperkt de nadelige effecten van eutrofiëring.

### **3.3 Vermindering bodembelasting (groep 3)**

Alle maatregelen die resulteren in een lagere belasting van de bodem met nutriënten, werken door in een geringere nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater. Het nutriëntenoverschot (Tabel 1: **3.1**) dient hiervoor verminderd te worden. Dit overschot is binnen een landbouwsysteem gelijk aan het verschil tussen nutriëntentoediening en nutriëntenonttrekking via geoogste producten, en dit kan verminderd worden via extensivering van de landbouw en verminderde toediening van meststoffen (bijvoorbeeld op basis van MINAS verliesnormen (LNV, 1999)). Via het omzetten van landbouwgronden in natuur of extensieve graslanden kan het nutriëntenoverschot nihil gemaakt worden. Reductie van ammoniakdepositie (**3.3**) maakt de stikstofbelasting ook lager. Dit kan bereikt worden via verminderde ammoniakemissie uit mestopslag en stallen en bij de mesttoediening. De effecten van een sterk verlaagde nutriëntenbelasting van de bodems over geheel Noord-Brabant op de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater en op de nitraatconcentratie in het grondwater zijn berekend en beschreven in Deelrapport 2 van dit Brabant-breed project. De effecten van een andere ruimtelijke verdeling van de stikstofdepositie op de stikstofbelasting worden hierin ook gegeven.

Verbeterde teeltmaatregelen kunnen de nutriënten- (met name stikstof-) belasting van grond- en oppervlaktewater ook verminderen (**3.4**). Beperkte beweiding resulteert in minder stikstofuitspoeling uit mest- en urineplekken. Precisiebemesting in afhankelijkheid van bodem, gewasbehoefte en weersomstandigheden maakt gewasproductie bij een lager bemestingsniveau mogelijk en resulteert in veel minder stikstofuitspoeling. Aangepaste gewasrotaties en -management (o.a. vanggewas in



winter, minder gewassen met veel stikstof-rijke gewasresten zoals groenten en aardappels, afvoer van dergelijke gewasresten) kunnen de stikstofuitspoeling ook verminderen. Het effectief gebruik van dierlijke mest via opslag tijdens de winter, mestinjectie en toediening in evenwicht met de gewasbehoefte, resulteert eveneens in minder nutriëntentoevoering in mest en in minder nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater. Landverbetering (met name betere ontwatering) bevordert het nutriënten-management vanwege de verbeterde gewasgroeicondities. Omdat het risico van te hoge nitraatconcentraties in het grondwater toeneemt door de betere ontwatering (nl. minder denitrificatie-verliezen), neemt de nutriëntenbelasting door landverbetering per saldo meestal niet af en soms zelfs toe (**3.2**).

### **3.4 Bodemsanering (groep 4)**

Het verwijderen van een bovengrond die rijk is aan organische stof en nutriënten, vermindert het risico van nutriëntenuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater (Tabel 1: **4.1**). Het geleidelijk verschralen van de bovengrond (**4.3**) door geen of onvoldoende bemesting (ten opzichte van nutriëntenonttrekking via geoogst produkt) heeft hetzelfde positieve effect. Echter, dit 'uitmijnen' van de historisch opgebouwde fosforvoorraad in de bodem is een proces van lange adem, en het zal tientallen jaren duren voor het effect op de fosforuitspoeling duidelijk zichtbaar wordt. Deze twee maatregelen worden toegepast voor natuurontwikkeling en –bescherming, maar zijn binnen de normale landbouw niet toepasbaar. Het onderploegen van de bovengrond (**4.4**) doet tijdelijk armere groeiomstandigheden ontstaan, en bevordert hiermee natuurontwikkeling. De nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater wordt echter niet kleiner (of soms zelfs groter, met name bij fosfor), omdat de rijke laag gedeeltelijk buiten het bereik van de plantenwortels wordt gebracht en dichter bij het grondwater.

Om de fosforuitspoeling uit fosfaatverzadigde gronden en de overmatige fosforbelasting van het oppervlaktewater te voorkomen, kan het fosfaatbindend vermogen van bodems vergroot worden. Dit kan via het toevoegen van ijzer- en aluminiumzouten aan deze gronden (Tabel 1: **4.5**). Diepe drainage langs watergangen (**4.6**) vermindert de waterafstroming naar en daarmee de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, maar dit werkt vaak slechts tijdelijk.

### **3.5 Buffers en beperking van oppervlakkige afspoeling (groep 5)**

Onder buffers wordt verstaan: strook land langs waterlopen waarin de landbouwkundige gebruikswijze wordt geëxtensiveerd (Tabel 1: **5.1**). De nutriëntenbelasting van de bodem in de bufferstrook neemt af, terwijl de nutriëntenonttrekking via begroeiing gehandhaafd blijft. Hierdoor vermindert de nutriëntenafstroming uit de bufferstrook. De vermindering van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater d.m.v. de buffers is relatief groot, omdat het water vanuit de bufferstrook vrijwel direct (dus zeer korte verblijftijd en weinig retentie ten opzichte van de rest van perceel) naar het oppervlaktewater afstroomt. Buffers kunnen ook nutriënten in

oppervlakte-afstroming effectief onderscheppen (zie ook verderop), maar hebben weinig vat op de nutriëntenafstroming via drainbuizen en via diepe laterale afstroming. Deze laatste twee afstromingen kunnen onderschept worden via verlaagde (natte) bufferstroken die zijn ontstaan door afgraving. Wanneer overstroming van buffers kan plaatsvinden (bijv. bij verlaagde bufferstroken en bij ruimte voor hermeandering (**5.1.5**)), zal de afname van de nutriëntenafstroming naar het oppervlaktewater vaak beperkt zijn (vanwege mobilisatie van fosfaat bij overstroming). Voor verdere informatie over voorbeelden en effectiviteit van bufferstroken, zie Deelrapport 4.

Een hydrologische buffer (Tabel 1: **5.1.1**) wordt gevormd door een landbouwgebied met een relatief hoge grondwaterstand, dat zich bevindt rondom een nat natuurgebied. De verhoogde grondwaterstand in de buffer resulteert in een verlaagde nitraatconcentratie in het grondwater, maar in een verhoogde fosforbelasting van het oppervlaktewater. Plas-drasstroken (**5.1.3**) zijn identiek aan de andere bufferstroken. Echter in deze stroken treed een sterke vernatting op. Dit resulteert in een lage nitraatconcentratie in het grondwater en in een hoge fosforbelasting van het oppervlaktewater. Dit laatste is te vermijden door de bovengrond af te graven. Deze natte buffers zijn alleen in de zomer effectief bij het beperken van de fosforbelasting van het oppervlaktewater, omdat dan de vegetatie voldoende tijd heeft om fosfor op te nemen.

Oppervlakkige afstroming via het maaiveld kan ook bijdragen aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater (Tabel 1: **5.2**). Het risico van oppervlakkige afstroming wordt bepaald door o.a. de regenintensiteit, de slempgevoeligheid van de bodem, de terreinmorfologie (zoals helling en relief), de ontwatering, de bodembedekking, het landgebruik, en de afstand tot de watergang. Deze vorm van nutriëntenbelasting kan beperkt worden door enerzijds maatregelen die de oppervlakkige afstroming beperken via verhoogde infiltratiecapaciteit en relief (via grondbewerking, organische mesttoediening, aanleg van greppels en holle percelen, en verbeterde ontwatering) en via aangepast landgebruik (bijvoorbeeld stoppels of vanggewas tijdens winter), en anderzijds maatregelen die de nutriëntenconcentratie in de oppervlakkige afstroming beperken (bijvoorbeeld verzamelplaatsten van vee en bemesting op voldoende afstand van watergangen). Voor meer gedetailleerde informatie over de bijdrage van oppervlakkige afstroming aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, zie Deelrapport 4.

## **4 Methoden voor kwantificering van het effect van maatregelen**

De maatregelen die beschikbaar zijn om de nutriëntenbelasting (stikstof en fosfor) van grond- en oppervlakte water te verminderen, zijn besproken in paragrafen 2 en 3. Een volgende stap is het kwantificeren van het effect van deze maatregelen op de nutriëntenbelasting over geheel Noord-Brabant. Dit is mogelijk voor een aantal maatregelen, zoals verandering in grondwaterstandspeil (met name vernatting) (Tabel 1: **1.1, 1.4**) of verandering in nutriëntenbelasting van landbouwgronden (Tabel 1: **3.1, 3.4**). Dit betreft met name maatregelen die resulteren in een verandering in de diffuse bronnen van stikstof en fosfor. De toegepaste methode om de effecten van deze maatregelen op de nutriëntenbelasting te kwantificeren, wordt kort besproken in paragraaf 4.1. De berekende nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater uit de diffuse bronnen is vergeleken met die uit puntbronnen, en de aanpak wordt hier kort besproken in paragraaf 4.2. De opbrengstderiving als gevolg van een verminderde nutriëntenbelasting (meestal vanwege kleinere mestgift) is bepaald, en de methodiek wordt kort besproken in paragraaf 4.3. Voor een aantal maatregelen die als meest effectief worden beschouwd, zijn de werking en de effectiviteit bij het verminderen van de nutriëntenbelasting in meer detail beschreven in een aparte deelstudie (zie paragraaf 4.4 voor korte beschrijving). Voor verdere informatie over deze deelstudies binnen het Brabant-Breed project, zie de andere deelrapporten (nr. 2 t/m 5).

### **4.1 Kwantificering van nutriëntenbelasting vanuit landbouwgronden**

De nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater vanuit landbouwgronden is berekend met een metamodel. Dit metamodel bestaat uit regressievergelijkingen die de relatie beschrijven tussen karakteristieke gebiedskenmerken en de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater (Mol-Dijkstra et al., 1999). Deze regressievergelijkingen zijn afgeleid van de resultaten van modelberekeningen met het gecombineerde simulatiemodel DEMGEN – ANIMO voor de nationale studie Watersysteemverkenningen (Boers et al., 1997). Het metamodel berekent hiermee:

- Nitraat-concentratie in het bovenste grondwater (mg/liter) voor periode 2031-2045
- Stikstofbelasting van oppervlaktewater (kg N/ha) voor periode 2031-2045
- Fosfor-belasting van oppervlaktewater (kg P/ha voor periode 2031-2045

De belasting van grond- en oppervlaktewateren over geheel Noord-Brabant met stikstof en fosfor zijn in deze studie berekend voor een aantal toekomstscenario's. De berekeningen zijn eerst uitgevoerd voor een basis-scenario, dat als referentie dient. Dit basis-scenario bestaat uit een toekomstige evenwichtssituatie (periode 2031-2045) met de vanaf het jaar 2003 ingestelde MINAS-verliesnormen (LNV, 1999), actueel landgebruik, actuele hydrologische situatie, en een vaste stikstofdepositie. Daarna zijn de berekeningen herhaald voor een aantal varianten op dit basis-scenario.

De varianten zijn voornamelijk afwijkend op de volgende punten: (1) grondwaterregime (d.w.z. vernatting); (2) atmosferische depositie van stikstof (d.w.z. werkelijke distributie); (3) netto nutriëntenbelasting van de bodem (d.w.z. nutriëntenbelasting is nihil). De rekenresultaten voor de varianten op het basisscenario laten zien in hoeverre de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater verminderd kan worden door deze varianten en de daarbij horende maatregelen. Verdere informatie over deze studie en de resultaten worden gegeven in Deelrapport 2 van dit Brabant-breed project.

#### **4.2 Vergelijking van belasting oppervlaktewater uit diffuse en puntbronnen**

In deze studie wordt een vergelijking gemaakt van de bijdrage van landbouwgebieden (als diffuse bron) aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater en die van puntbronnen. Deze vergelijking levert informatie op die gebruikt kan worden om tot een effectieve aanpak van de verontreiniging van het oppervlaktewater te komen. Er wordt in deze studie onderscheid gemaakt tussen interne (d.w.z. riooloverstorten, effluent van RWZI's, en industriële lozingen) en externe puntbronnen (inlaat vanuit kanaal en/of buitenwater en binnenkomende beken). De nutriëntenbelasting vanuit landbouwgebieden is bepaald op basis van de metamodel-resultaten voor het basisscenario (paragraaf 4.1), zowel met als zonder een correctie voor het heden t.o.v. de periode 2031-2045. De nutriëntenbelasting is per deelstroomgebied gesommeerd, zowel voor deze diffuse bronnen als voor puntbronnen. Dit maakt het mogelijk om per deelstroomgebied een vergelijking te maken van de bijdragen aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater vanuit beide soort bronnen. Verdere informatie over deze studie en de resultaten worden gegeven in Deelrapport 3.

#### **4.3 Effecten van vermindering van nutriëntenbelasting op gewasopbrengst**

Gewasopbrengsten, zowel van de voornaamste akkerbouwgewassen als van grasland in Noord-Brabant, zijn berekend voor een stikstofbemesting die in overeenstemming is met de MINAS verliesnormen (LNV, 1999). Deze opbrengsten zijn ook berekend voor een beperktere stikstofbemesting die overeenstemt met lagere verliesnormen (namelijk 75%, 50%, 25% en 0% van MINAS verliesnormen). Op deze manier kan het effect van een verlaagde nutriëntenbelasting (meestal vanwege verminderde bemesting) op gewasopbrengsten gekwantificeerd worden. Deze opbrengstderving vanwege verminderde bemesting is berekend met het model QUAD-MOD (Berge et al., 2000). Dit is een empirisch model voor het berekenen van de nutriëntenopname door gewassen en de gewasopbrengsten op basis van stikstof- of fosfor-levering door de onbemeste bodem en stikstof- of fosfor-bemesting. Voor meer informatie over deze methode en over de resultaten van deze studie, zie Deelrapport 5.

#### 4.4 Overige maatregelen

De maatregelen die in paragrafen 4.1 t/m 4.3 nog niet aan bod zijn gekomen, worden meestal toegepast voor een bepaalde soort milieuprobleem en/of onder een bepaald soort condities. De effecten van dergelijke maatregelen kunnen slechts in beperkte mate gekwantificeerd worden, omdat ze sterk afhankelijk zijn van specifieke omstandigheden. Voor de maatregelen die als meest effectief worden beschouwd, is de werking en de effectiviteit bij het verminderen van de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater, beschreven in Deelrapport 4. Het gaat hierbij om (1) helofytenfilters; (2) bufferstroken; (3) vegetatieverwijdering en baggeren; en (4) de bijdrage van oppervlakkige afstroming aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Het effect van dergelijke maatregelen voor een specifieke situatie is soms al lastig te kwantificeren, maar het aangeven van de bruikbaarheid, toepasbaarheid en effectiviteit van dergelijke maatregelen over geheel Noord-Brabant blijkt vrijwel onmogelijk te zijn. De reden is dat de bruikbaarheid en effectiviteit van deze maatregelen worden bepaald door de specifieke omstandigheden (met name, landgebruik, topografie, bodemtype, grondwaterstand en historische bemesting). Daarom kunnen geen algemeen geldende regels per maatregel afgeleid worden, die op ruime schaal toepasbaar zijn.

Er zijn een aantal studies gedaan naar de mogelijkheden en de maatregelen om de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater te beperken. Aangezien het geen zin heeft om dergelijke overzichtsstudies te herhalen, zal hier worden volstaan met een korte beschrijving van de inhoud van deze studies (zie Bijlage A). Ook uit deze studies blijkt dat de effecten van maatregelen slechts in beperkte mate gekwantificeerd kunnen worden, omdat ze gelden voor specifieke omstandigheden.



## 5 Conclusies

- Een groot aantal maatregelen is beoordeeld op hun effecten op de grondwaterstand, de stikstof- en fosfor-belasting van grond- en oppervlaktewater, en op de gewasopbrengsten en gebruiksbeperkingen voor de landbouw.
- Effecten van maatregelen op de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater kunnen gekwantificeerd worden, wanneer het gaat om maatregelen die resulteren in 1) verandering in hydrologie; 2) verandering in nutriëntenbelasting van landbouwgronden.
- Voor veel overige maatregelen kunnen de effecten slechts in beperkte mate gekwantificeerd worden, omdat ze alleen gelden voor specifieke omstandigheden. Kwantificering van de effecten over geheel Noord-Brabant is dan niet mogelijk.
- Maatregelen op perceels- of bedrijfsniveau om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen, zoals buffers (Tabel 1: **5.1**) en beperking van de oppervlakkige afspoeling (Tabel 1: **5.2**), zijn gemakkelijk uitvoerbaar, maar de effectiviteit van deze maatregelen is vaak relatief beperkt (zie ook Deelrapport 4).
- De stikstofbelasting van het oppervlaktewater kan het beste verlaagd worden via vermindering van vuilwaterstromen (Tabel 1: **1.3, 2.1, 2.2, 2.3**) en via vermindering van de bodembelasting met stikstof (Tabel 1: **3.1, 3.4**).
- De fosforbelasting van het oppervlaktewater kan het beste verlaagd worden via vermindering van vuilwaterstromen (Tabel 1: **1.3, 2.1, 2.2, 2.3**) en via vermindering van de bodembelasting met fosfor (Tabel 1: **3.1, 3.4**).
- De nitraatconcentratie in het grondwater kan het beste verminderd worden via het verhogen van de grondwaterstand (Tabel 1: **1.1, 1.4**) en via het verminderen van de bodembelasting met stikstof (Tabel 1: **3.1, 3.4**).
- Vernatting is een effectieve methode om de nitraatconcentratie in het grondwater van landbouwgronden te verminderen en kan van belang zijn voor natuurontwikkeling en –bescherming, maar het resulteert in meer fosfaatafstroming naar het oppervlaktewater en geeft vaak lagere opbrengsten en gebruiksbeperkingen voor het landbouwsysteem.
- Vermindering van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater zonder opbrengstverlagingen en gebruiksbeperkingen voor het landbouwsysteem is mogelijk via het reduceren van de vuilwaterstromen (Tabel 1: **1.3, 2.1, 2.2, 2.3**).

- Verlaging van de nitraatconcentraties in het grondwater met beperkte opbrengstdervingen en gebruiksbeperkingen voor het landbouwsysteem is mogelijk via vermindering van de bodembelasting (=bemesting) met stikstof en via verbeterde teeltmaatregelen (Tabel 1: **3.1**, **3.4**), zoals minder beweiding, precisiebemesting, vanggewas in de winter, minder gewassen met stikstofrijke gewasresten, en afvoer van stikstofrijke gewasresten.



## Referenties

Berge, H.F.M. ten, J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.J.W. Jansen, H.G. van der Meer, 2000. Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUAD-MOD parameterisation and extensions for STONE-application. Report 24, Plant Research International, Wageningen.

Bleumink, J.A., D. Boland, J.C. Buys, 1998. Boeren met water bij de Mariapeel. Verdrogingsaanpak door de landbouw. CLM352, Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.

Boers, P.C.M., H.L. Boogaard, J. Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij, C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh, J.A.P.H. Vermulst, 1997. Watersysteemverkenningen 1996, uitspoeling meststoffen uit landbouw. Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw. RIZA, DLO-Staring Centrum, Waterloopkundig Laboratorium. Lelystad, Wageningen, Delft.

Boland, D., S.T. Buijze, 1998. Duurzame bescherming van grondwater. Een regionale aanpak. CLM354, Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.

Buijze, S.T., N. Middelkoop, 1996. Minder mineralen naar het oppervlaktewater. Mogelijke maatregelen op agrarische bedrijven. CLM 243, Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.

Chardon, W.J., O. Oenema, O.F. Schoumans, P.C.M. Boers, B. Fraters, Y.C.W.M. Geelen, 1996. Verkenning van de mogelijkheden voor beheer en herstel van fosfaatlekkende landbouwgronden. Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek Deel 8, Wageningen.

Kroes, J., J. Roelsma, 1998. User's guide for the ANIMO version 3.5 nutrient leaching model. Technisch document 46, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

LNV, 1999. Ministerie van Landbouw en Visserij. Integrale Aanpak Mestproblematiek. Brief aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten Generaal d.d. 10 september 1999, Tweede kamer, vergaderjaar 1998-1999, 26729, nr. 1, Den Haag.

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

Noij, I.G.A.M., 1997. Landinrichting en vermessing. Voorstudie naar invulling van BEL-Vermesting. Interne mededeling 479, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Oenema, O., C.W.J. Roest, 1998. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface waters; The effects of policies and measures in the Netherlands. *Wat. Sci. Tech.* 37 (2), 19-30.

Reus, J.A.W.A., N. Middelkoop, P.C. Leendertse, 1998. Bufferstroken langs landbouwpercelen – mogelijkheden en ervaringen. CLM353, Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.

Rijsdijk, R.E., 1996. Mogelijke maatregelen bij de bestrijding van eutrofiëring in Nederlandse plassen en meren. RIZA Nota nr. 96.049C, RIZA, Lelystad.

Sharpley, A.N., P. Kleinman, R. McDowell, 2001. Innovative management of agricultural phosphorus to protect soil and water resources. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32, 1071-1100.

V&W, 1999. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Vierde Nota Waterhuishouding, regeringsbeslissing. SDU, Den Haag.

Wiskerke, J.S.C., E.E. Biewinga, H. Bernts, 1999. Verkenning van stikstof- en fosfaatmaatregelen voor de Noord-Brabantse landbouw. CLM420, Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.

## **Bijlage A      Overzichtstudies van maatregelen om de nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater te beperken**

*Bleumink et al., 1998. Boeren met water bij de Mariapeel.* Deze studie geeft een overzicht van de mogelijkheden voor de landbouwsector om een bijdrage te leveren aan de verdrogingsbestrijding door aanpassingen in de bedrijfsvoering. Er zijn een drietal maatregelenpakketten samengesteld die in toenemende mate de verdroging van het natuurgebied de Mariapeel te verminderen en waarbij de natschade voor de landbouw beperkt blijft. De bedrijfseconomische consequenties van de maatregelenpakketten zijn berekend (Bijlage 3) en de droogte- en natschade aan het landbouwgewas is bepaald voor de huidige en de 'pakket'-situaties.

*Boland & Buijze, 1998. Duurzame bescherming van grondwater.* Deze studie geeft een regionale aanpak (t.b.v. waterleidingbedrijven) om het grondwater te beschermen. De effectiviteit en kosten van maatregelen om de belasting van het grondwater te verminderen, worden besproken. Beleidsmaatregelen die gericht zijn op wijzigingen in agrarische bedrijfsvoering, komen eerst aan de orde. Het gaat hierbij om maatregelen binnen de gangbare bedrijfsvoering (bijv. stimuleren van extensivering), om omschakeling naar biologische landbouw, en om waterhuishoudkundige maatregelen (bijv. waterconservering en efficiënt beregenen). Beleidsmaatregelen die gericht zijn op structurele wijzigingen in het gebied, worden vervolgens besproken. Het gaat hierbij om functieverandering (bijv. van landbouwgrond in natuur of bos) en om verandering in waterhuishouding (bijv. peilverhoging en infiltratiebekkens). De kosten van dergelijke maatregelen worden aangegeven.

*Buijze & Middelkoop, 1996. Minder mineralen naar het oppervlaktewater.* Deze studie omvat een overzicht van mogelijke bedrijfsmaatregelen in de open teelten en de grondgebonden veehouderij, waarmee de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor verminderd kan worden. De maatregelen zijn beoordeeld op milieueffect, technische inpasbaarheid en economische inpasbaarheid. Het gaat om maatregelen op het gebied van algemeen mineralenmanagement (bijv. verbeterde mineralenbenutting in veehouderij en extensiveren), en maatregelen gericht op vermindering van nutriëntenemissies vanuit percelen (bijv. via precisiebemesting en minder beweiding) en van nutriëntenemissies vanaf erf en gebouwen (bijv. via afvalwater-zuivering in helofytenfilters en via voorkomen van oppervlakkige afspoeling).

*Chardon et al., 1996. Verkenning van de mogelijkheden voor beheer en herstel van fosfaatlekkende gronden.* Deze studie vat de kennis samen omtrent de mogelijkheden van beheer en herstel van fosfaatverzadigde landbouwgronden. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van maatregelen op percelen (bijv. bufferstroken en bemestings- en hydrologische maatregelen), en voor kleine (bijv. slibvang en helofytenfilters) en grote oppervlaktewateren (bijv. fosfaatfixatie, baggeren en doorspoelen). Hoofdstuk 5 geeft een analyse van de bruikbaarheid (met name effectiviteit en kosten) van deze maatregelen voor het Schuitembeekgebied bij Harderwijk en voor het veenweidegebied in West-Nederland. Tenslotte geeft Hoofdstuk 6 een overzicht van de knelpunten (bijv. mate

van acceptatie en financiële aspecten) bij implementatie van dergelijke maatregelen en de leemten in kennis (vaak zijn maatregelen slechts in beperkte mate in het veld getoetst). Bijlage 2 geeft een overzicht van het fosfaatonderzoek (o.a. effectiviteit van maatregelen en nutriëntenhuishouding in percelen, sloten en stroomgebieden) bij de Wageningen Universiteit en een aantal onderzoeksinstituten in Nederland. Bijlage 3 geeft een overzicht van een aantal in Nederland uitgevoerde eutrofiëringsprojecten.

*Reus et al., 1998. Bufferstroken langs landbouwpercelen – mogelijkheden en ervaringen.* Het doel van deze studie is het inventariseren en analyseren van bestaande kennis en ervaringen binnen (proef)projecten met bufferstroken in Nederland. Hoofdstuk 2 beschrijft de effecten die bufferstroken hebben op emissie van nutriënten en bestrijdingsmiddelen naar het oppervlaktewater. De kansen voor natuur in bufferstroken worden ook aangegeven. Hoofdstuk 3 geeft de ervaringen met bufferstroken in een 14-tal proefprojecten. In Bijlage 1 worden de financiële kosten en baten van een bufferstrook vergeleken met die van verminderde bemesting. Bijlage 2 omvat een beschrijving van alle 14 proefprojecten.

*Rijsdijk, 1996. Mogelijke maatregelen bij de bestrijding van eutrofiëring in Nederlandse plassen en meren.* Deze studie geeft een overzicht van saneringsmaatregelen die toegepast kunnen worden voor de bestrijding van eutrofiëring. Hoofdstuk 3 beschrijft de maatregelen om de nutriëntentoevoer naar het oppervlaktewater te reduceren (bijv. zuivering van puntbronnen en reductie van rioolwateroverstorten), Hoofdstuk 4 de maatregelen om de hoeveelheid nutriënten in het oppervlaktesysteem te reduceren (bijv. doorspoelen en verwijdering van eutrofe waterbodems), Hoofdstuk 5 de maatregelen om de beschikbaarheid van nutriënten in het oppervlaktewaterystemeem te reduceren (bijv. beluchting van sediment en fosfaatinactivatie), en Hoofdstuk 6 de mogelijke ingrepen in het ecosysteem van het oppervlaktewater (bijv. actief biologisch beheer). Voor de diverse maatregelen wordt de methode, de effectiviteit, de kosten en de toepasbaarheid beschreven. Bijlage 3 bevat een overzicht van uitgevoerde eutrofiëringsprojecten.

*Sharpley et al., 2001. Innovative management of agricultural phosphorus to protect soil and water resources.* Overzicht van maatregelen om de diffuse belasting met fosfor en stikstof vanuit de landbouw te beperken.

*Wiskerke et al., 1999. Verkenning van stikstof- en fosfaatmaatregelen voor de Noord-Brabantse landbouw.* Deze studie verkent de maatregelen die agrarische bedrijven in Noord-Brabant kunnen nemen om te voldoen aan de MINAS-verliesnormen (LNV, 1999) en aan eventueel aangescherpte verliesnormen. Er zijn pakketten maatregelen samengesteld om te voldoen aan de eindnormen volgens MINAS. Dit is gedaan voor de volgende sectoren (1) melkveehouderij; (2) intensieve veehouderij; (3) akkerbouw; (4) vollegrondstuinbouw. De verkenning van maatregelen is uitgevoerd op 3 niveau's: (1) bedrijfsvoering (management); (2) bedrijfsuitrusting (investeringen); (3) bedrijfsstructuur (extensiveren, verandering in teelten). Voor ieder pakket maatregelen worden de milieueffecten (bijv. mate van afname van stikstof- en fosfor-overschotten) en bedrijfseconomische consequenties (bijv. arbeidsopbrengst per ha, investeringskosten) bepaald. De bijlagen specificeren voor iedere mogelijke maatregel in zowel de melkveehouderij als de

akkerbouw en vollegrondstuinbouw de milieueffecten, en de technische en de economische inpasbaarheid.

