

rivm

Rapport 680747001/2008

A. de Klijne | P. Groenendijk | J. Griffioen | G.L. Velthof | G. Janssen | B. Fraters

Toetsdiepte voor nitraat

Synthese onderzoek 2008

RIVM Rapport 680747001/2008

Toetsdiepte voor nitraat

Synthese onderzoek 2008

A. de Klijne, RIVM
P. Groenendijk, WUR-Alterra
J. Griffioen, Deltares
G. L. Velthof, WUR-Alterra
G. Janssen, Deltares
B. Fraters, RIVM

Contact:
Arnoud de Klijne
Laboratorium voor Milieumetingen
Arnoud.de.klijne@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van VROM, LNV, V&W, in het kader van M680747
Toetsdiepteonderzoek 2008

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Toetsdiepte voor nitraat

Synthese onderzoek 2008

Nitraat wordt zowel bij natte, matig natte als droge zandgronden in de bovenste 5 meter van het grondwater afgebroken. De nitraatconcentratie neemt naar verwachting echter alleen af met de diepte als het bemestingsniveau door de jaren heen stabiel is. De tijdsperiode waarbinnen een stabiel niveau wordt gerealiseerd is afhankelijk van het gevoerde mestbeleid.

Op dit moment is nog geen sprake van een stabiele situatie. In de bovenste 5 meter neemt nitraatconcentratie nu alleen bij natte en matig natte zandsoorten af met de diepte. Bij droge zandgronden neemt in de huidige situatie de concentratie nog toe met de diepte. Dit blijkt uit onderzoek van Alterra, Deltares en het RIVM.

Bekend is dat nitraat in zandgrond wordt afgebroken. Bovendien verplaatst het zich via het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater. De lokale verschillen in deze mechanismen zijn echter groot. Hierdoor is het onmogelijk te kwantificeren door welk mechanisme nitraat met de diepte afneemt. Duidelijk is wel dat meer nitraat in het bovenste grondwater een hogere stikstofbelasting van het oppervlaktewater veroorzaakt.

De Nitraatrichtlijn geeft niet aan op welke diepte de nitraatdoelstelling van 50 mg/l in het grondwater moet worden gehaald (toetsdiepte). Momenteel gebeurt dat in de bovenste meter van het grondwater. Er bestaat een Europese conceptdocument dat evenwel ruimte biedt een toetsdiepte binnen de bovenste 5 meter van het grondwater aan te houden. Een lagere toetsdiepte is een mogelijkheid voor Nederland om te voldoen aan de grondwaterdoelstelling van de Nitraatrichtlijn zonder de normen voor mestgebruik vergaand aan te scherpen. Voor een verantwoorde aanpassing van de toetsdiepte moet duidelijk zijn of de nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter met de diepte afneemt. Daarnaast moet duidelijk zijn of deze aanpassing de problemen niet afwentelt op het oppervlaktewater. De Nitraatrichtlijn bevat ook doelstellingen voor de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Trefwoorden:

toetsdiepte, nitraat, bovenste grondwater, denitrificatie, oppervlaktewater, uitspoeling

Abstract

Compliance checking level for nitrate

Overview research 2008

Nitrate is degraded in the upper five meters of the groundwater in sandy soils independent of the depth to the groundwater tables. It is expected that the nitrate concentration will only decrease with depth if fertilization rates remain stable over many years. The time period necessary to achieve a stabilized fertilization rate is dependent on the principal elements of the National Minerals Policy.

A stable situation has not yet been reached in the Netherlands. At the present time, the nitrate concentration only decreases with depth in sandy soils with high and intermediate groundwater tables. In sandy soils with low groundwater tables, the concentration actually increases with depth. These conclusions are based on results of research conducted by Alterra, Deltares and the RIVM.

Nitrate is degraded in sandy soils. Nitrate is also transported with shallow groundwater to the surface water. Because local differences in these mechanisms can be very large, it is not possible to quantify precisely which mechanism causes the decrease in nitrate concentration with depth. It is apparent that increasing levels of nitrate in the upper groundwater cause a higher nitrogen emission to surface water.

The EU Nitrates Directive does not state the depth at which the threshold level of 50 mg/l nitrate in groundwater has to be reached (compliance checking level). Compliance is currently checked in the upper one meter of groundwater. However, a draft EU monitoring guideline allows for the possibility that compliance may be checked in the upper five meters of the groundwater. A lower checking level would provide the Netherlands with the possibility to meet the Nitrates Directive target level for groundwater without having to implement major changes in the stringency of its nitrogen application standards. Any adjustment in the compliance checking level, however, requires well-founded data on whether nitrate concentration actually does decrease with depth in the upper five meters of the groundwater. It must also be clear whether such an adjustment would result in a shifting of the problems to the surface water. The Nitrates Directive also has targets for surface water quality.

Key words:

compliance checking level, nitrate, shallow groundwater, denitrification, surface water, leaching

Voorwoord

In opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu samen met Alterra en Deltares een vervolgstudie uitgevoerd naar de mogelijkheden voor het verlagen van de toetsdiepte voor nitraat in het grondwater.

De studie omvat een veldstudie, een data-analyse en een modelstudie. De resultaten van de veldstudie zijn gerapporteerd in een Deltares-rapport. De resultaten van de data-analyse en de modelstudie zijn gerapporteerd in een Alterra-rapport. Het voorliggende rapport geeft een samenvatting van de resultaten.

De vorderingen van het onderzoek zijn besproken met een begeleidingscommissie. De begeleidingscommissie bestond uit Olga Clevering (Waterdienst), Peter Brouwers (LTO), Mark Heijmans (LTO), Ben Hermans (Stichting Natuur en Milieu), Nicole Zantkuijl (VEWIN), Herman Zonderland (Nederlandse Melkveehouders Vakbond), Jaja Sicco Smit (Waterschap Veluwe) en Wim van der Hulst (Waterschap Aa en Maas).

De voorlopige resultaten van deze studie zijn, samen met de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek naar de mogelijkheden voor een verlaging van de toetsdiepte, besproken en geëvalueerd door een groep gerenommeerde internationale wetenschappers op 11 en 12 juni 2008. De eindresultaten van het onderzoek zijn geëvalueerd door dezelfde groep internationale wetenschappers in oktober 2008. Deze groep bestond uit dr. Jean-Claude Germon, Research Director INRA Dijon, Frankrijk; prof. dr. Steve Jarvis, University of Exeter, Verenigd Koninkrijk; dr. Jens Stockmarr, Senior Advisor GEUS, Denemarken; prof. dr. ir. Oswald Van Cleemput, Universiteit van Gent, België (voorzitter); prof. dr. Kristine Walraevens, Universiteit van Gent, België; dr. Frank Wendland, Forschungszentrum Juelich, Duitsland.

De auteurs bedanken Renske van Tol, Petra Loeff en Kaj Sanders van het ministerie van VROM, en Martin van Rietschoten, Peter Munters en Erik Mulleneers van het ministerie van LNV, voor het begeleiden van deze studie. Mariëlle van Vliet voor haar inzet bij de voorbereiding en ondersteuning van de internationale reviews. Hans Peter Broers, Jaap Schröder en Oscar Schoumans voor de inbreng bij de review in juni.

Bilthoven, november 2008.

Arnoud de Klijne, Piet Groenendijk, Jasper Griffioen, Gerard Velthof, Gijs Janssen, Dico Fraters

Inhoud

Lijst van tabellen en figuren	11
Samenvatting	13
1 Inleiding	17
1.1 Aanleiding	17
1.2 Vraagstelling	19
1.3 Methode van onderzoek	20
1.4 Beleidsmatige inkadering van het onderzoek	23
1.5 Leeswijzer	24
2 Review	25
2.1 Inleiding	25
2.2 Eerste review	25
2.2.1 Reviewconclusies	26
2.2.2 Aanbevelingen	27
2.3 Tweede review	28
2.3.1 Reviewconclusies	28
3 Nitraatconcentratie	31
3.1 Inleiding	31
3.2 Landelijk beeld	31
3.3 Regionaal beeld	35
4 Denitrificatie en hydrologie	39
4.1 Inleiding	39
4.2 Landelijk beeld	39
4.3 Regionaal beeld	45
5 Afwenteling oppervlaktewater	47
5.1 Inleiding	47
5.2 Stikstofbelasting	47
5.3 Concentratie	49
6 Denitrificatie, capaciteit en neveneffecten	51
6.1 Inleiding	51
6.2 Neveneffecten	51
6.3 Denitrificatiecapaciteit	53
7 Conclusies: vraag en antwoord	55
7.1 Algemeen	55
7.2 Vraag en antwoord	55
7.3 Slotconclusie	59

Literatuur	63
Bijlage 1	67
Bijlage 2	77

Lijst van tabellen en figuren

Tabellen

Tabel 1-1 Onderzoeksvragen.	20
Tabel 3-1 Procentuele afname van nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater voor de verschillende zandsorten (droog, matig nat, nat).	33
Tabel 3-2 De nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater per zandsort (droog, matig nat nat).	34
Tabel 3-3 Procentuele afname van nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter voor de verschillende zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid).	36
Tabel 3-4 Procentuele afname van nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater voor de verschillende zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) per onderscheide zandsort (droog, matig nat, nat).	37
Tabel 3-5 De nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater voor de verschillende zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid).	37
Tabel 6-1 Verwachte concentraties aan sulfaat, zware metalen en arseen bij oxidatie van pyriet door nitraat.	52

Figuren

Figuur 1-1 Verdeling van de zandgebieden in Nederland in de zanddistricten (Noord-NL, Centraal-NL en Zuid-NL) en zandsorten (droog, matig nat, nat).	23
Figuur 1-2 Organisatie	24
Figuur 3-1. Afname van de nitraatconcentratie per zandsort.	32
Figuur 3-2 Verschillende methoden voor het bepalen van de afname van nitraat	34
Figuur 3-3 De afname van de nitraatconcentratie per zandgebied (Noord, Centraal, Zuid).	36
Figuur 4-1 De totale denitrificatie en uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater.	40
Figuur 4-2 Percentage denitrificatie en uitspoeling van nitraat per bodemlaag in het bovenste grondwater.	41
Figuur 4-3 De verliesposten van nitraat in de bodem tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.	42
Figuur 4-4 Procentuele verdeling van de verliesposten van nitraat in de bodem tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.	42
Figuur 4-5 Spreiding in verliesposten van nitraat in het grondwater tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.	43
Figuur 4-6 De verdeling van de aan en afvoerposten van de waterbalans.	44
Figuur 5-1 Oppervlaktewaterbelasting door uitspoeling van grondwater.	48
Figuur 5-2 Spreiding van de oppervlaktewaterbelasting door uitspoeling van grondwater uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.	49

Samenvatting

Aanleiding

Op 1 januari 2006 is een gewijzigde Meststoffenwet van kracht geworden. In de gewijzigde Meststoffenwet is een systeem van gebruiksnormen opgenomen. Het doel van deze wetgeving is (op termijn) te voldoen aan de doelstellingen van zowel de Nitraatrichtlijn als van de Kaderrichtlijn Water.

Er is een sterke samenhang tussen de Nitraatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water. Beide richtlijnen verplichten de lidstaten van de Europese Unie ervoor te zorgen dat grond en oppervlaktewater geschikt is voor drinkwaterbereiding en dat eutrofiëring van het oppervlaktewater wordt tegengegaan. Voor de nitraatconcentratie in het grondwater is een norm gesteld van 50 mg/l. Geen van beide richtlijnen geeft aan waar moet worden getoetst of aan de doelstelling wordt voldaan.

Voor de onderhandelingen met de Europese Commissie is bij de onderbouwing van de derogatie en het nieuwe stelsel van gebruiksnormen steeds het uitgangspunt geweest dat de doelstelling voor nitraat van 50 mg/l zal worden gehaald in de bovenste meter van het grondwater. De EU-conceptleidraad Monitoring voor de Nitraatrichtlijn lijkt een opening te bieden voor een (diepere) toetsdiepte binnen de bovenste 5 meter van het grondwater.

Het kabinet wil nagaan in hoeverre een nitraatconcentratie hoger dan 50 mg/l in de bovenste meter van het grondwater verdedigbaar is. Dit is vooral afhankelijk van de mate waarin kan worden onderbouwd dat dit niet leidt tot afwenteling van de problemen naar het oppervlaktewater en dat de norm van 50 mg/l gemiddeld nog wel wordt gehaald in het bovenste grondwater (de eerste 5 meter). Om dit te kunnen onderbouwen is inzicht nodig in de processen van denitrificatie en uitspoeling in de bovenste 5 meter van het grondwater. Tot op heden zijn deze processen onvoldoende gekwantificeerd.

Methode

De processen in het bovenste grondwater zijn onderzocht door middel van metingen en modellen. Bij dit onderzoek is gebruikt gemaakt van bestaande meetgegevens en zijn nieuwe metingen in het veld gedaan. De meetgegevens zijn gebruikt ter verbetering en toetsing van de modelresultaten. De modellen zijn gebruikt voor beantwoording van de vragen die door de ministeries zijn gesteld.

De beschikbare meetgegevens van de bodemchemie (organische stofgehalten, pyrietgehalten) en grondwaterkwaliteit (redoxtoestand, nitraatconcentraties) van de ondiepe ondergrond tussen circa 1 en 15 meter beneden maaiveld zijn geanalyseerd. Aanvullende gegevens (organische stof, pyriet, denitrificatiecapaciteit) zijn verzameld in het veld.

Met het STONE-model is de ontwikkeling van de nitraatconcentratie met de diepte in het ondiepe grondwater verkend en zijn de processen van denitrificatie en uitspoeling van grondwater naar oppervlaktewater gekwantificeerd. Daartoe is met STONE de huidige situatie (2001-2010) en de situatie voor de toekomst (2031-2040) berekend. Voor de berekeningen is het scenario uit de Evaluatie van de Meststoffenwet 2007 gebruikt waarin een aanscherping van de stikstofgebruiksnorm bij akker- en tuinbouwgewassen van 20% (2015AT-20) ten opzichte van 2006 is voorzien.

Bij de modelberekeningen is in de toekomst (2031-2040) sprake van een bemestingsniveau dat door de jaren heen stabiel is, een constant bemestingsniveau. In de huidige situatie (2001-2010) is nog geen

sprake van een constant bemestingsniveau. Het gebruikte scenario is een *mogelijke* situatie voor de toekomst. De werkelijke hoogte van de gebruiksnorm en de tijdstermijn waarop deze moet worden gerealiseerd, zal afhangen van het gevoerde beleid en de uitvoering in de praktijk. Over het te voeren beleid is nog geen besluit genomen. Afhankelijk van het beleid kan eerder of later een stabiele situatie worden bereikt.

De studie beperkt zicht tot het zandgebied. De resultaten van de modelberekeningen zijn weergegeven per zandsoort (droog, matig nat, nat) en per zandgebied (Noord, Centraal, Zuid).

Met het geochemische model PHREEQC zijn mogelijke neveneffecten van denitrificatie (mobilisatie metalen, sulfaat) onderzocht.

Resultaten en conclusies

Het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte is berekend bij een constant bemestingsniveau, lager dan het huidige, zoals is voorzien over circa 20 jaar (2031-2040). Bij dit constante bemestingsniveau is in de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) sprake van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater. De afname treedt op bij alle zandsoorten (droog, matig nat, nat). Voor alle zandsoorten, dus ook voor de droge, is sprake van uitspoeling van het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater.

Voor een situatie met een constant bemestingsniveau is berekend dat voor alle zandsoorten, dus ook de droge, de nitraatconcentratie afneemt met de diepte. De afname van de nitraatconcentratie is bij de droge zandgronden het kleinst, gevolgd door de matig natte zandgronden. De afname is het grootst bij de natte zandgronden.

De afname bij droge zandgronden ligt binnen een bandbreedte¹ van 10 tot 39% en is gemiddeld 24%. De afname bij de matig natte zandgronden ligt tussen de 39 en 87%, gemiddeld 61%. De afname is het grootst bij de natte zandgronden (78- 98%) en is hier gemiddeld 88%.

Wat voor de zandsoorten (droog, matig nat, nat) geldt, geldt ook voor de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid). Bij een constant bemestingsniveau neemt de nitraatconcentratie af met de diepte. De verschillen tussen de gebieden zijn minder groot dan de verschillen tussen zandsoorten (droog, matig nat, nat). De spreiding in de afname binnen de gebieden is groot, omdat binnen een gebied verschillende zandsoorten voorkomen. Onderlinge verschillen tussen de zandgebieden zijn kleiner dan de bandbreedte. Voor het inzicht in de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater zijn de verschillen tussen de zandsoorten (droog, matig nat, nat) belangrijker dan de verschillen tussen de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid).

In de huidige situatie (2001-2010) is in het zandgebied geen sprake van een constant bemestingsniveau, de bemesting neemt nog af in de tijd. De nitraatconcentratie wordt beïnvloed door het dalende bemestingsniveau. Voor droge gronden is berekend dat in de huidige situatie de nitraatconcentratie niet afneemt met de diepte. Bij matig natte en natte zandgronden is in de huidige situatie wel sprake van een afname van nitraat met de diepte. De resultaten van de modelberekeningen, voor de huidige situatie, bevestigen eerdere resultaten van veldonderzoek².

Bij alle zandgronden is sprake van denitrificatie. De denitrificatie is bij de droge zandgronden lager dan in matig natte en natte zandgronden. Het grootste deel (55-95%) van de denitrificatie treedt op in de

¹ De bandbreedte is in deze studie gedefinieerd als de range tussen de 17,5% en 82,5% waarde van de verdeling van resultaten

² Veldonderzoek naar een nieuwe toetsdiepte voor nitraat, Fraters et al., 2006

bovenste laag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand. Deze denitrificatie leidt tot een afname van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater en wordt bij de huidige toetsdiepte meegenomen. De denitrificatie in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand is aanzienlijk minder (5-25%).

Door denitrificatie neemt de denitrificatiecapaciteit van de ondergrond af in de tijd. Geschat is dat de denitrificatiecapaciteit voldoende is om het proces tientallen tot honderden jaren te laten voortduren. Bij een hogere nitraatconcentratie neemt de denitrificatiecapaciteit sneller af.

Door denitrificatie kunnen schadelijke neveneffecten optreden. De meest schadelijke neveneffecten voor het grondwater zijn de mobilisatie van de metalen arseen, koper en nikkel. De mate waarin neveneffecten optreden is moeilijk te kwantificeren. Het risico op schadelijke neveneffecten is in het Zuidelijk zandgebied het hoogst, gevolgd door het Noordelijk zandgebied en het laagst in het Centraal zandgebied. Een hogere nitraatconcentratie in het bovenste grondwater leidt tot een hoger risico op neveneffecten.

Nitraat wordt in de bodem afgebroken (denitrificatie). Bovendien spoelt nitraat uit via het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater en dieper gelegen grondwater. De verliesposten van nitraat in de bovenste 5 meter zijn in beeld gebracht. Bij droge zandgronden is, in laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand, gemiddeld de uitspoeling van nitraat naar het diepere grondwater de belangrijkste verliespost. Bij matig natte zandgronden is gemiddeld de bijdrage van de verliesposten denitrificatie, uitspoeling naar oppervlaktewater, en uitspoeling naar dieper gelegen grondwater in deze laag gelijk. Bij natte zandgronden is uitspoeling naar het oppervlaktewater in deze laag de belangrijkste verliespost.

Binnen zandsoorten (droog, matig nat, nat) en zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) kan de onderlinge verhouding tussen de verliesposten denitrificatie en uitspoeling ruimtelijk sterk variëren. Deze grote variatie sluit aan bij resultaten van eerder onderzoek. Door de grote variatie is het niet mogelijk per zandsoort (droog, matig nat, nat) of per gebied (Noord, Centraal, Zuid) eenduidig aan te geven waardoor de afname van nitraat met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater wordt veroorzaakt.

Bij matig natte zandgronden en natte zandgronden kan op een diepte van 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand enige verdunning optreden door kwel. De mate van verdunning hangt af van de mate waarin water opkwelt en de nitraatconcentratie in het kwelwater. In droge zandgebieden is waarschijnlijk geen sprake van verdunning op deze diepte.

Bij alle zandsoorten, dus ook de droge, treedt belasting van het oppervlaktewater op door uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater. In een afweging voor de verlaging van de toetsdiepte is daarom ook bij droge zandgronden de kwaliteit van het oppervlaktewater van belang. In eerdere studies werd voor droge gronden verondersteld dat er geen sprake is van uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater.

De belasting van het oppervlaktewater is bij droge zandgronden lager dan bij matig natte en natte zandgronden. De huidige *stikstof*belasting van het oppervlaktewater bij de droge zandgronden is 25 kg/hectare. De belasting bij de matig natte en natte zandgronden is 38 kg/hectare. Bij droge en matig natte zandgronden wordt de belasting vooral veroorzaakt door uitspoeling van nitraat. Bij natte zandgronden is naast de uitspoeling van nitraat ook de uitspoeling van ammonium en organische stikstof via het ondiepe grondwater relevant. Het grootste gedeelte van de oppervlaktewaterbelasting

wordt veroorzaakt door uitspoeling van grondwater uit de bovenste laag van het grondwater, tussen het maaiveld en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Bij alle zandsoorten komt ongeveer de helft van de belasting uit de bovenste laag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand, de andere helft komt uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Een hogere *nitraat*concentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater leidt tot een hogere *stikstof*belasting van het oppervlaktewater bij alle zandsoorten.

De huidige stikstofbelasting van het oppervlaktewater is op gebiedsniveau het hoogst in het Zuidelijk zandgebied (38 kg/hectare). De stikstofbelasting in het Centrale zandgebied is 34 kg/hectare. De stikstofbelasting in het Noordelijk zandgebied is met 28 kg/hectare het laagst.

Bij de droge zandgronden is de berekende stikstofconcentratie in het naar het oppervlaktewater uitspoelende grondwater het hoogst (21 mg/l, dit komt overeen met 93 mg/l nitraat), gevolgd door de matig natte zandgronden (15 mg/l, dit komt overeen met 66 mg/l nitraat). De concentratie in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater is het laagst bij natte zandgronden (7 mg/l, dit komt overeen met 31 mg/l nitraat). Naast de stikstofconcentraties in het uitspoelende grondwater bepalen processen in de waterbodem, processen in het oppervlaktewater en de kwaliteit van het vanaf stroomopwaarts gelegen gebieden aangevoerde water de uiteindelijke stikstofconcentratie in het oppervlaktewater.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Op 1 januari 2006 is een gewijzigde Meststoffenwet van kracht geworden. In de gewijzigde Meststoffenwet is een systeem van gebruiksnormen opgenomen. Het doel van deze wetgeving is (op termijn) te voldoen aan de doelstellingen van zowel de Nitraatrichtlijn (EU, 1991) als van de Kaderrichtlijn Water (EU, 2000).

Er is een sterke samenhang tussen de Nitraatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water. Beide richtlijnen verplichten de lidstaten van de Europese Unie ervoor te zorgen dat de nitraatconcentratie in het grondwater en het oppervlaktewater beneden de 50 mg/l blijft en dat er geen eutrofiëring van het oppervlaktewater optreedt. Geen van beide richtlijnen geeft aan waar moet worden getoetst of aan de doelstelling wordt voldaan.

Voor de onderhandelingen met de Europese Commissie is bij de onderbouwing van de derogatie (Schröder et al., 2005) en het nieuwe stelsel van gebruiksnormen (Schröder et al., 2004; Van Dijk et al., 2005) steeds het uitgangspunt geweest dat de doelstelling voor nitraat van 50 mg/l zal worden gehaald in de bovenste meter van het grondwater (Fraters et al., 2006).

In 2007 is een Evaluatie van de Meststoffenwet uitgevoerd (MNP, 2007). Uit de evaluatie blijkt dat doelstellingen van de Nitraatrichtlijn niet overal worden gehaald. In klei- en veengebieden is de gemiddelde nitraatconcentratie lager dan de Europese norm. In zand- en lössgebieden wordt de norm gemiddeld nog overschreden (De Klijne et al., 2007; Zwart et al., 2008). Ook wanneer aanvullende maatregelen worden getroffen is het de verwachting dat er gebieden zijn waar de norm nog wordt overschreden. Vergelijkbare conclusies zijn getrokken bij eerdere evaluaties (MNP, 2002; MNP, 2004).

In de evaluatie van de Meststoffenwet 2002 (MNP, 2002) is de suggestie gedaan om in infiltratiegebieden de toetsing aan de nitraatdoelstelling niet in het bovenste grondwater te doen, maar dieper. De conceptleidraad Monitoring voor de Nitraatrichtlijn (EU, 2003) lijkt een opening te bieden voor een diepere toetsdiepte. In deze conceptleidraad, die nooit formeel is vastgesteld, staat:

‘Both shallow and deep groundwater should be included in the monitoring network [...] For example, both the upper and lower parts of the aquifer that are connected to the soil should be sampled, as the upper parts (the first five meters of the saturated zone) will tend to respond quickest to changes in agricultural practice, ...’

[In het meetnet moet zowel het ondiepe als het diepe grondwater worden gemeten [...]
Bijvoorbeeld, zowel de bovenste lagen als de diepere lagen in het watervoerende pakket, dat direct wordt gevoed vanuit de onverzadigde bodem (het freatische grondwater), dienen te worden bemonsterd, omdat de ondiepe lagen (de bovenste vijf meter van de verzadigde bodem) in het algemeen het snelst reageren op veranderingen in de landbouwpraktijk, ...]

In de Evaluatie van de Meststoffenwet 2004 (MNP, 2004) is, op basis van een door de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) uitgevoerde studie (Broers et al., 2004), aangegeven dat voor een

verlaging van de toetsdiepte voor nitraat onvoldoende informatie beschikbaar is. Bij de bespreking van de resultaten van de Evaluatie Meststoffenwet 2004 in de Tweede Kamer en de voorbereidingen voor de nieuwe Meststoffenwet 2006 is naar aanleiding van vragen de Tweede Kamer toegezegd dat een aanvullende studie zal worden uitgevoerd op basis waarvan beslist kan worden of, en zo ja op welke wijze, een verlaging van de toetsdiepte op zandgronden tot de mogelijkheden behoort. Het RIVM heeft samen met TNO en Alterra deze aanvullende studie uitgevoerd. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat bij de nitraatuitspoelingsgevoelige ('droge') gronden de concentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater niet afneemt met de diepte. Bij matig natte en natte zandgronden neemt de concentratie wel af met de diepte, maar is meestal sprake van uitspoeling van grondwater naar het oppervlaktewater. De kwaliteitsdoelstellingen voor oppervlaktewater zouden daarom ook in beschouwing moeten worden genomen (Fraters et al., 2006). Bij de bespreking van de resultaten van dit onderzoek in de Tweede Kamer is toegezegd nogmaals te onderzoeken of er mogelijkheden zijn om de manier van toetsen te veranderen. Deze toezegging is bevestigd in een brief van de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) (mede namens het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)) aan de Tweede Kamer van 24 oktober 2006 (Tweede Kamer, 2006). Het vervolgonderzoek zou breder ingezet moeten worden dan alleen de diepte waarop wordt getoetst.

In navolging op deze toezegging heeft het RIVM, samen met TNO en Alterra, in opdracht van VROM en LNV een workshop georganiseerd met als doel te zoeken naar een technisch-wetenschappelijk verdedigbare, alternatieve wijze voor het toetsen van de nitraatconcentratie in het grondwater binnen de vereisten van de Nitraatrichtlijn. Hiervoor zijn wetenschappers uit verschillende disciplines en afkomstig van verschillende instituten uit Nederland en Vlaanderen uitgenodigd. Daarnaast zijn ook vertegenwoordigers van de betrokken ministeries, VROM, LNV en Verkeer & Waterstaat (VenW), en van maatschappelijke organisaties op het gebied van landbouw en/of milieu uitgenodigd. De workshop heeft plaatsgevonden in mei 2007. Bij de workshop zijn vier zoekrichtingen voor alternatieven onderzocht. De zoekrichtingen betreffen extra mogelijkheden om te middelen over 1) gebieden, 2) in de tijd en 3) in de diepte en mogelijkheden voor eventuele extra ruimte wanneer wordt uitgegaan van 4) bescherming van bedreigde objecten (drinkwater, oppervlaktewater etc.). Uit de workshop zijn de volgende conclusies getrokken (Fraters et al., 2007):

- Bij het afleiden van de milieukundig verantwoorde gebruiksnormen in de eerder uitgevoerde projecten is ruim gebruik gemaakt van de optie om te middelen over ruimte en tijd, rekening houdend met de beschermdoelen.
- Met inachtneming van de Nitraatrichtlijn lijken er weinig tot geen alternatieven te zijn om te komen tot een technisch-wetenschappelijk verdedigbare wijze van toetsen van de nitraatconcentratie in het grondwater, die in algemene zin tot meer ruimte voor stikstofgebruik in de landbouw zouden leiden.
- Door rekening te houden met de eisen vanuit de bescherming van het oppervlaktewater kan er zowel meer als minder ruimte ontstaan voor de landbouw in de gedraineerde delen van het zandgebied.
- De mogelijkheid van meer gebiedsgeïdifferentieerde gebruiksnormen kan voor specifieke groepen meer gebruiksruimte opleveren, maar voor andere zal dat leiden tot een beperking (Fraters et al., 2007)

In november 2007 is een brief van de minister van VROM, mede namens de minister van LNV en de staatsecretaris van VenW, aan de Tweede Kamer (Tweede Kamer, 2007a) verstuurd. In deze brief is geconcludeerd dat de huidige wijze van monitoring ten behoeve van de Nitraatrichtlijn met betrekking tot het grondwater voor de Nederlandse situatie adequaat is. In dezelfde brief is aangegeven dat het kabinet in de komende jaren wil nagaan hoe de verschillende doelstellingen, voortvloeiend uit de

Nitraatrichtlijn, de Kaderrichtlijn Water en ook de Grondwaterrichtlijn, optimaal kunnen worden gecombineerd. De resultaten van de workshop boden hiertoe aanleiding.

Het kabinet wil nagaan in hoeverre een nitraatconcentratie hoger dan 50 mg/l in de bovenste meter van het grondwater verdedigbaar is. Dit is vooral afhankelijk van de mate waarin kan worden onderbouwd dat dit niet leidt tot afwenteling van de problemen naar het oppervlaktewater; en dat de norm van 50 mg/l gemiddeld nog wel wordt gehaald in het bovenste grondwater (de eerste 5 meter). Om dit te kunnen onderbouwen is inzicht nodig in processen als denitrificatie en uitspoeling in de bovenste 5 meter van het grondwater. Tot op heden zijn deze processen nog onvoldoende gekwantificeerd.

De Tweede Kamer is toegezegd dat een nadere wetenschappelijke studie zal worden uitgevoerd om deze processen in de bovenste 5 meter van het grondwater te kwantificeren. Deze studie (de huidige) beperkt zich tot de zandgronden. Onderdeel van de wetenschappelijke studie is een internationale review. De opzet van het onderzoek is in december nader toegelicht door de minister van LNV, mede namens de minister van VROM, in een brief aan de Tweede Kamer (Tweede Kamer, 2007b).

De wetenschappelijke studie bestaat uit twee onderdelen: een aanvullend veldonderzoek en een modelonderzoek. De resultaten van het aanvullende veldonderzoek zijn vastgelegd in een separaat Engelstalig onderzoeksrapport 'A new compliance checking level for nitrate in groundwater. A field and laboratory campaign to collect geochemical data for the shallow subsurface below agricultural fields in the Central Netherlands' (Griffioen et al., in voorbereiding). De resultaten van het modelonderzoek zijn tevens vastgelegd in een separaat Engelstalig achtergrondrapport 'Compliance Checking level of nitrate in groundwater. Investigations of lowering the depth to 5 m below the phreatic surface with a regional leaching model' (Groenendijk et. al., in voorbereiding). Beide rapportages zijn gereviewd door een groep internationale wetenschappers. Deze groep wetenschappers heeft tevens de eerder uitgevoerde onderzoeken (Broers et al., 2004; Fraters et al., 2006) gereviewd. De resultaten van de review zijn door de reviewers gedocumenteerd in een tweetal Engelstalige reviewrapporten. De reviewrapporten zijn integraal opgenomen in de bijlagen van onderhavig rapport.

Onderhavig rapport geeft een samenvatting van de resultaten van de nadere wetenschappelijke studie en de internationale review. In dit rapport staat de vraagstelling centraal.

Op 29 september 2008 heeft de Minister van VROM mede namens de bewindslieden van LNV en VenW de rapportage van de eerste review aan de Tweede Kamer toegestuurd en aangegeven welke beleidsconclusies aan deze review werden verbonden (Tweede Kamer, 2008a). Op 8 oktober 2008 heeft de Minister van VROM de Tweede Kamer een Nederlandse vertaling van de eerste review rapportage toegezonden (Tweede Kamer, 2008b).

1.2 Vraagstelling

De centrale beleidsvraag voor het onderzoek is of er een milieuverantwoorde manier is om toetsdieptesystematiek (in relatie tot de gebruiksnormen) aan te passen.

Deze beleidsvraag is doorvertaald in onderzoeksvragen door de ministeries in overleg met de onderzoekers.

In Tabel 1.1 zijn de onderzoeksvragen opgenomen. In hoofdstuk 7 zijn de vragen met de antwoorden weergegeven. In Tabel 1.1 is opgenomen in welk hoofdstuk van dit rapport de betreffende onderzoeksvraag wordt behandeld.

Tabel 1-1 Onderzoeksvragen.

Onderzoeksvraag	Hoofdstuk
1. Wat is de gemiddelde verandering van het nitraatgehalte tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel op gebiedsniveau onder landbouwgronden bij een constant bemestingsniveau? Met gebiedsniveau worden de volgende gebieden bedoeld: noordelijk zand, centraal zand, zuidelijk zand waarbij gekeken wordt naar de verschillende grondwaterklassen (droog zand, gematigd nat zand en nat zand). Geef daarbij aan:	H3
<ul style="list-style-type: none"> • de gemiddelde afname en de bijbehorende bandbreedte; • welk deel van deze verandering wordt veroorzaakt door denitrificatie¹⁾; • welk deel van deze verandering wordt veroorzaakt door hydrologische kenmerken (bijvoorbeeld kwelstromen, verdunning)¹⁾. 	H4
2. Wat zijn de verwachte neveneffecten van denitrificatie op gebiedsniveau? Geef daarbij aan de verwachte verandering in concentraties zware metalen, sulfaat en stijging van hardheid inclusief de bijbehorende bandbreedte.	H6
3. Wat is de verwachte ontwikkeling van denitrificatie (capaciteit) in de tijd op gebiedsniveau? (geef minimaal aan toename, constant, afname en op welke termijn).	H6
4. Wat is de huidige stikstofbelasting door de landbouw van het oppervlaktewatersysteem op gebiedsniveau en welk deel hiervan is afkomstig van nitraat in het grondwater onder landbouwgronden in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel?	H5
5. Wat is de huidige concentratie van stikstof in het grondwater op landbouwgronden dat direct uitspoelt naar het oppervlaktewater op gebiedsniveau en welk deel hiervan is afkomstig van nitraat in het grondwater onder landbouwgronden in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel?	H5

¹⁾ Onderdeel van vraag 1 is het kwantificeren welk gedeelte van de verandering wordt veroorzaakt door denitrificatie en welk gedeelte door hydrologische kenmerken zoals verdunning door kwelstromen of uitspoeling naar het oppervlaktewater. De mate van denitrificatie en uitspoeling naar oppervlaktewater is met behulp van de nitraatconcentratie niet te geven. Het is wel mogelijk om met behulp van *balansen en vrachten* de denitrificatie en uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater te kwantificeren. Het onderdeel van de vraag gericht op de verklaring van de verandering van de nitraatconcentratie met de diepte zal worden beantwoord met behulp van balansen en vrachten in hoofdstuk 4.

1.3 Methode van onderzoek

De voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen relevante processen in het bovenste grondwater zijn onderzocht door middel van een combinatie van veldonderzoek/data-analyse en modelonderzoek. Het veldonderzoek en de data-analyses hebben daarbij vooral gediend voor de verbetering van de modelinvoer. De modellen zijn vervolgens gebruikt voor beantwoording van de vragen die door de ministeries zijn gesteld.

Wat betreft het veldonderzoek en de data-analyse component van het onderzoek zijn de beschikbare gegevens van de bodemchemie (organische stof, pyriet) en de grondwaterkwaliteit (met name

redoxtoestand en nitraatconcentraties) geïnventariseerd. Omdat relevante bodemchemische parameters voor Centraal Nederland ontbraken, zijn middels een meetcampagne nieuwe gegevens (organische stofgehalten, pyrietgehalten) voor dit gebied verzameld in het veld. Naast bodemchemische parameters zijn gegevens over de potentiële denitrificatie en de nitraatconcentratie in het bodemvocht verzameld. De meetcampagne behelsde het uitvoeren en analyseren van 20 nieuwe grondboringen op graslandlocaties in Centraal Nederland uitgevoerd tot 5 meter onder de grondwaterspiegel. De details van de meetcampagne zijn beschreven in (Griffioen et al., in voorbereiding). Aanvullende informatie over denitrificatiesnelheden is verkregen uit een literatuurstudie.

De bodemchemische gegevens en gegevens van de potentiële denitrificatie zijn gebruikt voor de verbetering van de invoer van de gebruikte modellen en voor het valideren van de gemodelleerde denitrificatiesnelheden. De grondwaterkwaliteitsgegevens zijn gebruikt voor het afleiden van vooral het verloop van de redoxtoestand en het concentratieverloop van nitraat met de diepte. Deze informatie is gebruikt ter validatie van de modelresultaten en het opsporen van noodzakelijke aanpassingen aan de modelinvoer.

Met het STONE-model is de ontwikkeling van de nitraatconcentratie met de diepte in het ondiepe grondwater bepaald en zijn de processen van denitrificatie en uitspoeling van grondwater naar oppervlaktewater gekwantificeerd. Voor dit onderzoek is de meest recente versie van STONE gebruikt die ook de basis vormt van het Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007 (Willems et al., 2008). Voor de berekeningen is het scenario uit de Evaluatie van de Meststoffenwet 2007 gebruikt waarin een aanscherping van de stikstof gebruiksnorm bij akker- en tuinbouwgewassen van 20% (2015AT-20) ten opzichte van 2006 is voorzien.

De ontwikkeling van de nitraatconcentratie met de diepte en de processen in het bovenste grondwater zijn met het model onderzocht aan de hand van nitraatbalansen. Met een nitraatbalans zijn oorzaken af te leiden van een eventuele afname van de nitraatconcentratie met de diepte. Tevens kunnen grondwaterkwaliteit en oppervlaktewaterbelasting met elkaar in verband worden gebracht.

Met het STONE-model (Wolf et al., 2003) kan een nitraatbalans worden opgesteld voor een willekeurige diepte en voor een willekeurige periode. STONE bestaat uit 6405 rekeneenheden voor heel Nederland, waarvan er ruim 2100 betrekking hebben op zandgrond met landbouw. Een simulatie met STONE begint in 1986, zodat de voorgeschiedenis van de bemesting zichtbaar wordt in de berekende huidige nitraatconcentraties. Voor deze studie is met het STONE model de huidige situatie (2001-2010) en de situatie voor de toekomst (2031-2040) doorgerekend.

De hydrologische invoer voor STONE wordt berekend door het NAGROM model voor de geohydrologie, gekoppeld aan het SWAP model voor de verdamping, drainage, bodemvocht en grondwaterstanden (Van Bakel et al., 2008). In de hydrologische simulatie wordt het grondwater tot een diepte van 13 meter gesimuleerd en voor het oppervlaktewater wordt rekening gehouden met kanalen en A-watgangen (primaire systeem), sloten (secundaire systeem), kavelsloten (tertiaire systeem), drainbuizen en greppels. In de zandgebieden wordt op basis van rijkswaterstaatkaarten en het Waterstaatkundig InformatieSysteem rekening gehouden met de aanvoer van gebiedsvreemd water. Het model rekent met eenheden van 500 – 5000 ha waarbij de eigenschappen van deze rekenplots met GIS-procedures zijn samengesteld.

In voorgaande STONE-studies is geen aandacht besteed aan de nitraatconcentraties dieper dan de bovenste meter van het grondwater. Specifiek voor dit onderzoek is daarom de potentiële denitrificatiesnelheid van het model geïjkt met gegevens uit het onderzoek van Fraters et al. (2006) en aanvullende gegevens die het kader van deze studie in 2008 zijn verzameld. Bij de ijking is ervoor

gezorgd dat de mediane waarde van de potentiële denitrificatiesnelheid in het model overeenkomt met de mediane waarde van de metingen. De spreiding in de metingen is erg groot.

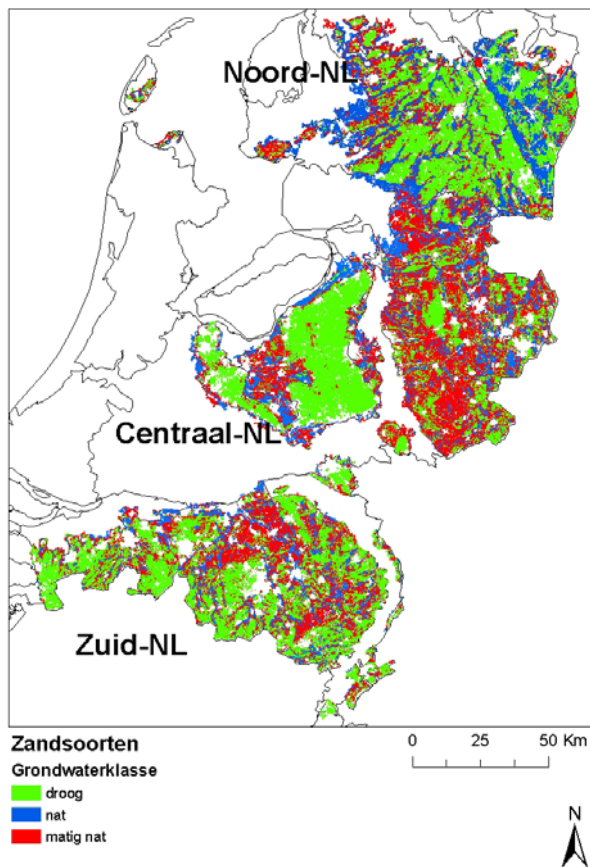
In het onderzoek is elke rekeneenheid op basis van de grondwaterstand en de ligging toegeedeeld aan een groep voor het zandgebied (Noord, Centraal, Zuid) en/of voor de zandsoort (droog, matig nat, nat). Per groep zijn gemiddelde waarden bepaald en is een verdeling opgesteld van de berekeningen van de nitraatconcentratie en voor de balanst termen zoals uitspoeling, denitrificatie en afvoer naar het oppervlaktewater. De 17,5% en de 82,5% waarden van de verdeling worden gezien als kenmerkend voor de spreiding.

Voor het berekenen van het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte is de areaal gewogen gemiddelde concentratie gebruikt. De gemiddelde concentratie op de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) is vergeleken met de gemiddelde concentratie op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Deze grondwaterlaag tussen GLG en 5 meter onder GLG wordt in de modelberekeningen beschouwd als de 'bovenste 5 meter van het grondwater'. De GLG is gebruikt omdat het een constante laag is. Hierdoor kan een goede vergelijking worden gemaakt. In werkelijkheid fluctueert de grondwaterspiegel. De weging naar het areaal is gebeurd omdat de STONE-rekeneenheden verschillend van omvang kunnen zijn. Bij concentraties in het grondwater is het van belang te weten welk deel van het areaal een bepaalde waarde overschrijdt. Voor de gemiddelde concentratie in het water dat uitspoelt naar het oppervlaktewater is uitgegaan van een volume gewogen middeling, omdat men meestal geïnteresseerd is in de gemiddelde concentratie voor een stroomgebied.

Met een geochemisch model (PHREEQC) zijn mogelijke neveneffecten van denitrificatie (mobilisatie metalen, sulfaat) onderzocht.

Voor meer informatie over de onderzoeksopzet en methode wordt verwezen naar het achtergrondrapport 'Compliance Checking level of nitrate in groundwater. Investigations of lowering the depth to 5 m below the phreatic surface with a regional leaching model' (Groenendijk et. al., in voorbereiding)

De gemiddelde verandering is voor het gehele zandgebied per zandsoort (droog, matig nat, nat) weergegeven als landelijk beeld. De gemiddelde verandering is tevens per zandgebied (Noord, Centraal, Zuid) weergegeven als regionaal beeld. De ligging van de droge, matig natte en natte zandgronden en de ligging van de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) is weergegeven in Figuur 1.1.

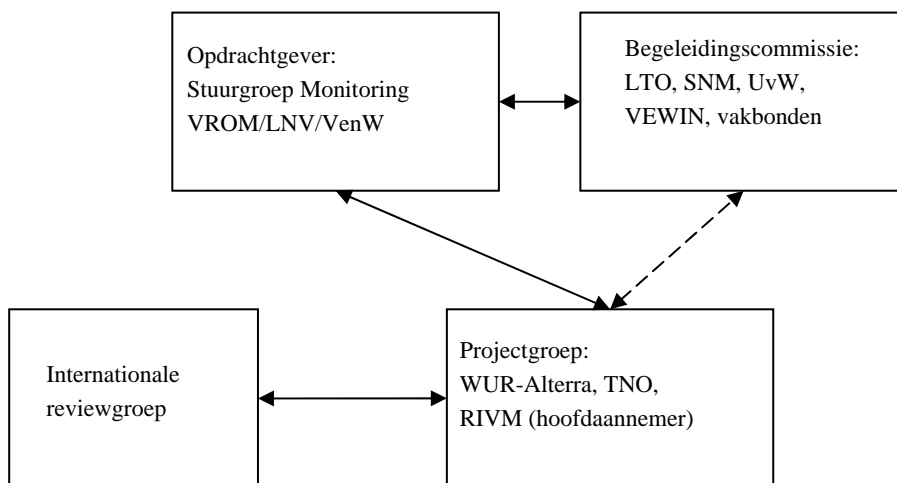


Figuur 1-1 Verdeling van de zandgebieden in Nederland in de zanddistricten (Noord-NL, Centraal-NL en Zuid-NL) en de indeling in zandsorten (droog, matig nat, nat).

1.4 Beleidsmatige inkadering van het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de ministeries van VROM en LNV, met als eerste aanspreekpunt het ministerie van VROM. De opdrachtgevers zijn georganiseerd in de Stuurgroep Monitoring (hierna vernoemd 'opdrachtgever'). In de Stuurgroep Monitoring is tevens het ministerie van VenW vertegenwoordigd. Het project wordt uitgevoerd onder leiding van het RIVM en in samenwerking met WUR-Alterra en Deltares. De (tussentijdse) resultaten en voortgang van het onderzoek zijn besproken met een begeleidingscommissie. In de begeleidingscommissie zitten vertegenwoordigers van Land- en Tuinbouworganisatie Nederland (LTO), Stichting Natuur en Milieu (SNM), de Unie van Waterschappen (UvW), de vereniging van Waterbedrijven in Nederland (VEWIN) en de vier vakbonden: de Nederlandse Melkveehouders Vakbond (NMV), de Nederlandse Akkerbouw vakbond (NAV), de Nederlandse Vakbond Pluimveehouders (NVP) en de Nederlandse Vakbond Varkenshouders (NVV). (melkvee, akkerbouw, pluimvee, varkenshouders). De begeleidingscommissie adviseert de opdrachtgever op de beslispunten.

Eerder uitgevoerde onderzoeken en het huidige onderzoek zijn onderworpen aan een internationale review. Voor de review is een groep samengesteld met gerenommeerde Europese wetenschappers. De organisatiestructuur van het project is opgenomen in Figuur 1-2.



Figuur 1-2 Organisatie

1.5 Leeswijzer

Deze rapportage is een Nederlandse samenvatting van de aanvullende wetenschappelijke studie en de internationale review. Bij de opzet van het rapport staat de vraagstelling centraal. De vragen zijn beantwoord met behulp van modellen. Aanvullende veldgegevens zijn verzameld voor het verbeteren en onderbouwen van de modelresultaten. In onderhavig rapport wordt niet ingegaan op de resultaten van het aanvullende veldwerk. Hiervoor wordt verwezen naar het achtergrondrapport ‘A new compliance checking level for nitrate in groundwater. A field and laboratory campaign to collect geochemical data for the shallow subsurface below agricultural fields in the Central Netherlands’ (Griffioen et al., in voorbereiding).

In dit hoofdstuk is de inleiding met de vraagstelling, de onderzoeksmethoden en de werkwijze besproken. De resultaten van de internationale review zijn opgenomen in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt de ontwikkeling van de nitraatconcentratie met de diepte behandeld. Hoofdstuk 4 richt zich op een verklaring van de ontwikkeling van nitraat met de diepte met behulp van vrachten en balansen. In hoofdstuk 5 wordt de oppervlaktewaterbelasting behandeld. In hoofdstuk 6 komen neveneffecten van denitrificatie en de ontwikkeling van de denitrificatiecapaciteit aan de orde. In hoofdstuk 7 zijn de afzonderlijke onderzoeksvragen beantwoord en is de slotconclusie weergegeven.

2 Review

2.1 Inleiding

Om internationaal draagvlak te krijgen, zijn de resultaten van het onderzoek gereviewd door een groep internationale wetenschappers (hierna 'reviewcommissie' genoemd). Eerder uitgevoerde onderzoeken naar de mogelijkheden voor een andere toetsdiepte voor nitraat (Broers et al., 2004; Fraters et al., 2006) zijn ook door deze groep wetenschappers gereviewd. De samenstelling van de reviewcommissie, de opzet en de vraagstelling van de review zijn vooraf afgestemd met de begeleidingscommissie.

De wetenschappers in de internationale reviewcommissie zijn gerenommeerde wetenschappers met expertise op het gebied van denitrificatie, stikstof en organische stof dynamiek in de ondergrond, geohydrologie en modellen. Deze expertise is relevant voor al het uitgevoerde onderzoek met betrekking tot het toetsdieptevraagstuk.

De internationale review commissie bestaat uit:

- dr. Jean-Claude Germon, Research Director INRA Dijon, Frankrijk
- prof. dr. Steve Jarvis, University of Exeter, Verenigd Koninkrijk
- dr. Jens Stockmarr, Senior Advisor GEUS, Denemarken
- prof. dr. ir. Oswald Van Cleemput, Universiteit van Gent, België (voorzitter)
- prof. dr. Kristine Walraevens, Universiteit van Gent, België
- dr. Frank Wendland, Forschungszentrum Juelich, Duitsland

Mariëlle van Vliet (Royal Haskoning) heeft opgetreden als secretaris van de review commissie.

Er zijn twee reviews uitgevoerd. Bij de eerste review zijn de eerder uitgevoerde onderzoeken (Broers et al., 2004; Fraters et al., 2006) en de opzet en voorlopige resultaten van het huidige onderzoek besproken. Bij de tweede review zijn de resultaten van het huidige veldonderzoek en modelonderzoek geëvalueerd.

De resultaten van beide reviews zijn door de reviewcommissie gerapporteerd in Engelstalige rapporten. Het rapport van de eerste review is integraal opgenomen als Bijlage 1, het rapport van de tweede review als Bijlage 2. Een Nederlandse vertaling van de hoofdtekst van de reviews is opgenomen in dit hoofdstuk. De Nederlandse vertaling is afgestemd en akkoord bevonden door de voorzitter van de reviewcommissie prof. dr. ir. Oswald Van Cleemput.

2.2 Eerste review

In februari 2008 heeft het RIVM een internationale reviewcommissie uitgenodigd om de wetenschappelijke achtergrond van voorgaand en lopend onderzoek naar het gedrag van nitraat in het grondwater onder landbouwgronden door Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR), Deltares/TNO en RIVM te evalueren.

Op 29 april hebben de leden van reviewcommissie alle achtergronddocumenten ontvangen. Zij zijn gevraagd om vóór 1 juni, individueel en onafhankelijk van elkaar, een wetenschappelijk antwoord te leveren op een aantal onderzoeksvragen (Bijlage 1 A) die betrekking hadden tot de ontvangen documenten. Van deze eerste onafhankelijke reacties van de leden van de reviewcommissie is een synthese (bijlage 1 B) opgesteld. Deze is gepresenteerd aan de aanwezigen bij de reviewbijeenkomst.

Op 11 en 12 juni 2008 zijn de review commissie en de onderzoekers bijeengekomen bij het Bilderberg Hotel 'de Klepperman' in Hoevelaken voor een discussie over het onderzoek dat is uitgevoerd en beschreven in de volgende rapporten:

- Broers, H.P., J. Griffioen, W.J. Willems, B. Fraters. (2004). Should the test depth for nitrate in groundwater be changed? Background document for evaluation of the 2004 Fertilizer Act. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, Utrecht, TNO-rapport NITG 04-066-A.
- Fraters, B., L.J.M. Boumans, B.G. van Elzakker, L.F.L. Gast, J. Griffioen, G.T. Klaver, J.A. Nelemans, G.L. Velthof, H. Veld. (2006). A new compliance checking level for nitrate in groundwater? Final report of the Feasibility study on monitoring the upper 5 metres of groundwater, RIVM, report 680100005.

Tevens zijn de volgende lopende projecten besproken:

- P Investigation of groundwater and sediment characteristics for shallow subsurface, Deltares/TNO.
- Modelling nitrate in groundwater with emphasis on a compliance checking level including field study Wageningen University and Research Centre.

De leden van de reviewcommissie waardeerden de inzet van de onderzoekers bij het geven van duidelijke en kwalitatief hoogwaardige schriftelijke en mondelinge presentaties.

Op grond van de rapporten en presentaties kon een volledige en stimulerende discussie plaatsvinden over het belangrijke en moeilijke vraagstuk van het verlagen van de toetsdiepte voor nitraat in grondwater.

2.2.1 Reviewconclusies

De review had tot doel vast te stellen in hoeverre:

- het onderzoek geschikt was om de onderzoeksvragen zoals weergegeven in Bijlage 1 A te beantwoorden;
- de gestelde vragen adequaat zijn beantwoord;
- de conclusies ondersteund werden door de data die beschikbaar werd gesteld.

Met betrekking tot het voorgaand onderzoek is de reviewcommissie, op basis van wetenschappelijk overwegingen, tot de volgende conclusies gekomen:

- De rapporten geven robuuste, wetenschappelijk onderlegde antwoorden en deugdelijke conclusies.
- Het ontwerp van de studies was passend voor de vraagstukken zoals deze zijn gedefinieerd.
- De vraag over de meest geschikte bemonsteringsdiepte is zeer zorgvuldig bekeken.
- De vragen met betrekking tot de eisen aan waterkwaliteitsbemonstering zijn beantwoord binnen de kaders van de projecten.
- De reviewcommissie onderschrijft het onderscheid dat is gemaakt tussen droge gronden tegenover neutrale en natte gronden.

- Voor de droge gronden is er geen afname van nitraatconcentraties waargenomen in de eerste 5 meter onder de grondwaterspiegel. Daardoor is het verlagen van de toetsdiepte hier niet relevant.
- In de neutrale en natte gronden is een afname van de nitraatconcentraties met de diepte waargenomen. Deze gronden zijn echter gedraineerd, waardoor directe toelevering aan het oppervlaktewater plaats zal vinden. Om dit te begrenzen is de reviewcommissie het met de conclusies van de onderzoekers eens dat verlagings van de toetsdiepte niet gerechtvaardigd is.
- De reviewcommissie is ervan overtuigd dat aanvullende metingen niet zullen leiden tot andere conclusies. De reviewcommissie ziet echter wel kansen voor verder onderzoek om het vertrouwen in, en kennis over, het lot van nitraat te verbeteren.
- De reviewcommissie onderschrijft de conclusie van de bovengenoemde rapporten dat, gezien Nederlandse omstandigheden, de huidige toetsdiepte een mechanisme voor directe terugkoppeling over mestgebruiksnormen en landgebruik geeft.
- Naast de directe effecten van nitraatverontreiniging kunnen de mogelijke problemen van ongewenste neveneffecten erg belangrijk zijn. De reviewcommissie is het ermee eens dat het toerekenen van concentraties van sulfaat, nikkel, arseen etc. tot de neveneffecten van denitrificatie altijd moeilijk zal zijn.

Met betrekking tot de lopende veld- en modelstudie kwam de reviewcommissie tot de volgende conclusies:

- Het ontwerp van het onderzoek geeft een wetenschappelijk gegrond middel om een antwoord te verstrekken op de overkoepelende onderzoeksvragen, gezien de bestaande resultaten en het voorgestelde vervolg.
- Het STONE-model is potentieel en veelzijdig. De eerste resultaten, zoals gepresenteerd aan de reviewcommissie, zijn veelbelovend. De reviewcommissie stelt echter wel een aantal verfijningen voor die kunnen helpen bij de verdere ontwikkeling:
 - De presentatie van de eerste resultaten zou moeten worden herschikt om de uitkomsten van het model te verbeteren en verduidelijken.
 - Het was de reviewcommissie niet duidelijk in hoeverre rekening is gehouden met de hydrodynamische status van de gesimuleerde sedimentkolom (bijvoorbeeld laterale instroom, laterale uitstroom: stromingsafstand tot oppervlaktewateren, residentietijd, denitrificatie langs laterale stromingsbanen, etc.).
- De reviewcommissie was tevreden met de omvang en het bereik van de veldwerkstudies en beschouwde de eerste resultaten als veelbelovend.
- Het was de reviewcommissie, met de beschikbare informatie, niet mogelijk om te beoordelen of een aantal van de onderzoeksvragen, zoals weergegeven in Bijlage 1 A, zullen leiden tot definitieve antwoorden.

De reviewcommissie is van mening dat de nieuwe informatie die voortkomt uit de lopende model- en veldstudie geen verandering zal brengen in de conclusies van de voorgaande studies (Broers et al., 2004; Fraters et al., 2006) dat er geen wetenschappelijke argumenten zijn om de toetsdiepte te verlagen.

2.2.2 Aanbevelingen

1. Voor wat betreft de vereisten van de Nitraatrichtlijn ziet de reviewcommissie geen wetenschappelijke argumenten om de huidige toetsdiepte aan te passen.
2. Met het oog op de vereisten van de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn voor de beoordeling van de chemische status van wateren, adviseert de reviewcommissie om een hydrogeologische/hydrogeochemische kartering uit te voeren met betrekking tot nitraatreductiecapaciteit en diepte. Om die reden zou alle grondwatermonitoringdata, inclusief

- nationaal beschikbare geodata, ingezet moeten worden om ruimtelijke 'geotopgebieden' te demarqueren om aan te geven waar en op welke diepte denitrificatie plaatsvindt.
3. De reviewcommissie adviseert het STONE-model verder te ontwikkelen voor een bijdrage aan voorspellingen van oppervlaktewaterkwaliteit en beoordeling van ecologische status, zoals vereist door de Kaderrichtlijn Water.

2.3 Tweede review

Op 17 juni 2008 heeft een internationale reviewcommissie een rapport opgeleverd getiteld 'Een review van voorgaand en lopend onderzoek in Nederland met betrekking tot de toetsdiepte voor nitraat in het grondwater'. Daaropvolgend heeft het RIVM dezelfde internationale reviewcommissie gevraagd om een wetenschappelijke review uit te voeren van twee aanvullende rapporten.

De volgende conceptrapporten hebben de leden van internationale reviewcommissie op respectievelijk 15 augustus en 26 september 2008 ontvangen:

- J. Griffioen et al. (in voorbereiding). A new compliance checking level for nitrate in groundwater. A field and laboratory campaign to collect geochemical data for the shallow subsurface below agricultural fields in the Central Netherlands.
- P. Groenendijk et al (in voorbereiding). Compliance checking level of nitrate in groundwater. Modelling nitrate leaching and the fate of nitrogen in the upper 5 meters of the groundwater system.

Aan de leden van de internationale reviewcommissie was gevraagd om vóór 12 oktober 2008 individueel en onafhankelijk van elkaar een wetenschappelijk antwoord te formuleren op een aantal onderzoeksvragen (Bijlage 2 A), die betrekking hadden op de aangeleverde onderzoeksrapporten. De onafhankelijke antwoorden/commentaren van de leden van de reviewcommissie werden eerst gesynthetiseerd (Bijlage 2 B) en daaropvolgend werd een conceptrapport opgesteld. Dit conceptrapport werd op 20 oktober 2008 voor beoordeling en goedkeuring naar de internationale reviewcommissie gestuurd. Het rapport is afgerond op 23 oktober 2008.

2.3.1 Reviewconclusies

Aan de internationale reviewcommissie is gevraagd om de volgende algemene vragen voor beide onderzoeksrapporten te beantwoorden:

- Sluit de opzet van het onderzoek aan bij de vraagstelling?
- Zijn de onderzoeksvragen beantwoord en deelt u de conclusies?

Aanvullend zijn de volgende specifieke vragen voor zowel het veld/laboratorium onderzoek als het modelonderzoek gesteld:

- Sluit de opzet van het onderzoek aan bij de doelstelling?
- Zijn er voldoende gegevens en zijn deze betrouwbaar genoeg om conclusies te trekken zoals geformuleerd?

Als follow-up op het eerste reviewrapport van 17 juni 2008 zijn de volgende vragen gesteld en beantwoord:

- Zijn de resultaten van het veld- en modelrapport op zodanige wijze gepresenteerd dat de uitkomsten duidelijk zijn?
- Is het duidelijk voor de leden van de reviewcommissie in hoeverre rekening is gehouden met de hydrodynamische status van de gesimuleerde sedimentkolom?

Ten slotte is de volgende vraag over de conclusies van de review van voorgaand en lopend onderzoek in Nederland met betrekking tot de toetsdiepte voor nitraat in het grondwater (17 juni 2008) voorgelegd en beantwoord:

- Geven de resultaten van de momenteel uitgevoerde studies zoals gepresenteerd in de rapporten aanleiding voor het veranderen van de conclusies van de review uitgevoerd in juni 2008?

De internationale reviewcommissie heeft speciale aandacht gehad voor de deugdelijkheid van de gebruikte methoden, de verkregen resultaten en de relevante discussie en conclusies. Hun opmerkingen kunnen als volgt worden samengevat:

- Algemeen sluit de opzet van de veld/laboratoriumstudie aan bij de vraagstelling en worden aanvaardbare conclusies getrokken. Aangezien de nadruk was gelegd op potentiële denitrificatie, moet in gedachten worden gehouden dat het vertrouwen in de conclusies kan worden verbeterd door het uitvoeren van veldmetingen op werkelijke, actuele denitrificatie en de vergelijking van deze waarden met de potentiële denitrificatie.
- Algemeen sluit de opzet van de modelstudie aan bij de vraagstelling en worden aanvaardbare en indicatieve conclusies getrokken. De commissie houdt er rekening mee dat de in het rapport geleverde informatie over het model, begrijpelijk, enigszins beperkt is om alle aspecten van het onderzoeksveld te kunnen behandelen. Daarom is enige behoedzaamheid nodig bij het trekken van definitieve conclusies. Bovendien is de hoeveelheid data mogelijk te beperkt om tot statistisch significante conclusies te komen. Desondanks worden de resultaten beschouwd als betrouwbaar en aanvaardbaar, gegeven de huidige staat van gangbaar bewijs en kennis.
- De reviewcommissie ondersteunt de kwalitatieve conclusies met betrekking tot de verwachte neveneffecten van denitrificatie. Kwantitatieve informatie kan worden verkregen met meer kennis van de samenstelling van pyriet in de afzettingen van de Nederlandse aquifers. Kwantificering van de onzekerheid kan worden verbeterd.
- De reviewcommissie is het eens met het aangegeven breed bereik voor de periode van potentiële impact (van tientallen tot honderden jaren) en ondersteunt het feit dat het vraagstuk over de regionale evolutie van de denitrificatiecapaciteit niet volledig is verklaard.
- Ten aanzien van de huidige stikstofbelasting naar het oppervlaktewater veroorzaakt door landbouwactiviteiten op regionale schaal ondersteunt de review commissie de verkregen data voor de verschillende grondwaterklassen en de drie zandgebieden.
- De reviewcommissie stemt ermee in dat de onderzoeksvraag over directe nitraatuitspoeling naar oppervlaktewater en het nitraatpercentage in grondwater op een diepte tussen grondwaterspiegel en 5 meter onder grondwaterspiegel onder landbouwgebieden is beantwoord. De reviewcommissie gaat akkoord met de brede conclusies van de rapporten.
- Refererend naar de conclusies over het veld/laboratorium en modelonderzoek in het eerste reviewrapport van 17 juni 2008 vindt de reviewcommissie dat verklaringen en de nodige aanvullende informatie zijn verkregen. Deze zijn hierboven beschreven.

De review commissie is van mening dat met de nieuwe informatie verkregen via zowel de veld/laboratorium studie (Griffioen et al., in voorbereiding) als de modelstudie (Groenendijk et al., in voorbereiding) geen elementen aangereikt worden om de conclusies van de eerder uitgevoerde studies (Broers et al., 2004 en Fraters et al., 2006) te moeten wijzigen.

3 Nitraatconcentratie

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk richt zich op het beantwoorden van het eerste deel van vraag 1:

1. Wat is de gemiddelde verandering van het nitraatgehalte tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel op gebiedsniveau onder landbouwgronden bij een constant bemestingsniveau? Met gebiedsniveau worden de volgende gebieden bedoeld: noordelijk zand, centraal zand, zuidelijk zand waarbij gekeken wordt naar de verschillende grondwaterklassen (droog zand, gematigd nat zand en nat zand).

Geef daarbij aan:

- *de gemiddelde afname en de bijbehorende bandbreedte.*

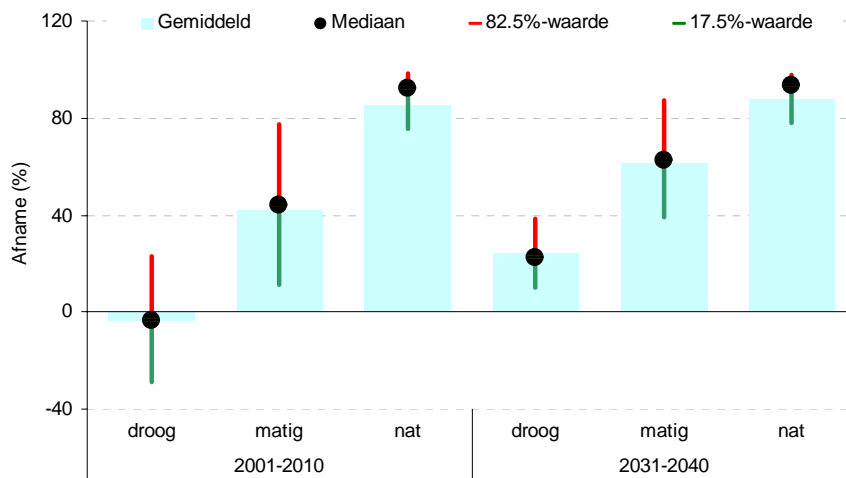
Het tweede deel van vraag 1 richt zich op de verklaring van de verandering van de nitraatconcentratie met de diepte. Deze zal worden beantwoord in het volgende hoofdstuk.

De vraag is beantwoord met behulp van modelberekeningen (Groenendijk et al., in voorbereiding). De gemiddelde verandering is voor het gehele zandgebied per zandsort (droog, matig nat, nat) weergegeven als landelijk beeld. De gemiddelde verandering is vervolgens per zandgebied (Noord, Centraal, Zuid) weergegeven als regionaal beeld.

3.2 Landelijk beeld

Bij een constant bemestingsniveau, lager dan het huidige, zoals is voorzien over circa 20 jaar (2031-2040) neemt bij alle zandgronden de nitraatconcentratie af met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater.

De afname verschilt tussen de verschillende zandsorten. Bij de droge zandgronden is de afname van de nitraatconcentratie met de diepte het kleinst, gevolgd door matig natte zandgronden. Bij natte zandgronden is de afname van de nitraatconcentratie met de diepte het grootst (Figuur 3.1).



Figuur 3-1. Afname van de nitraatconcentratie per zandsoort.

Weergegeven is de gemiddeldewaarde van de afname op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) ten opzichte van de concentratie op GLG diepte voor de verschillende zandsoorten (droog, matig nat, nat) voor de huidige situatie en in de toekomst bij een constant en lager bemestingsniveau. Voor de verdeling is tevens de medianewaarde opgenomen en is de bijbehorende bandbreedte weergegeven (17,5-87,5 percentiele waarde).

De afname is berekend voor de huidige situatie (2001-2010) en voor de toekomst (2031-2040). In het toekomstscenario wordt uitgegaan van een constant bemestingsniveau, lager dan het huidige. Voor de berekeningen voor de huidige situatie is geen sprake van een constant bemestingsniveau. Door de hogere bemesting in het verleden is de berekende afname voor de huidige situatie lager dan de afname berekend met het toekomstscenario (Figuur 3.1).

De voor het toekomstscenario berekende afname bij de droge zandgronden is gemiddeld 24%. Bij de matig natte zandgronden bedraagt deze afname gemiddeld 61% en bij de natte zandgronden gemiddeld 88%. De spreiding in de afname is het hoogst bij droge zandgronden en matig natte zandgronden. De spreiding is het laagst bij natte zandgronden (Tabel 3.1).

Bij de berekeningen voor de huidige situatie treedt bij droge zandgronden geen afname met de diepte op, maar neemt de concentratie zelfs nog iets toe met de diepte (circa 4%). Bij matig natte zandgronden en natte zandgronden is berekend dat ook in de huidige situatie de concentratie afneemt met de diepte (Figuur 3.1; Tabel 3.1).

Tabel 3-1 Procentuele afname van nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater voor de verschillende zandsoorten (droog, matig nat, nat).

Zandgrond	Modelonderzoek		Veldonderzoek ²⁾
	Huidig bemestingsniveau	Constant bemestingsniveau in de toekomst	
Droog	- 4% ¹⁾	24 (10 -39)%	Geen afname
Matig nat	42 (11-78)%	61 (39 -87)%	10-40%
Nat	85 (75 – 98)%	88 (78 – 98)%	30-100%

¹⁾ een negatief getal betekent een toename

²⁾ Resultaat van eerder uitgevoerd veldonderzoek (Fraters et al., 2006).

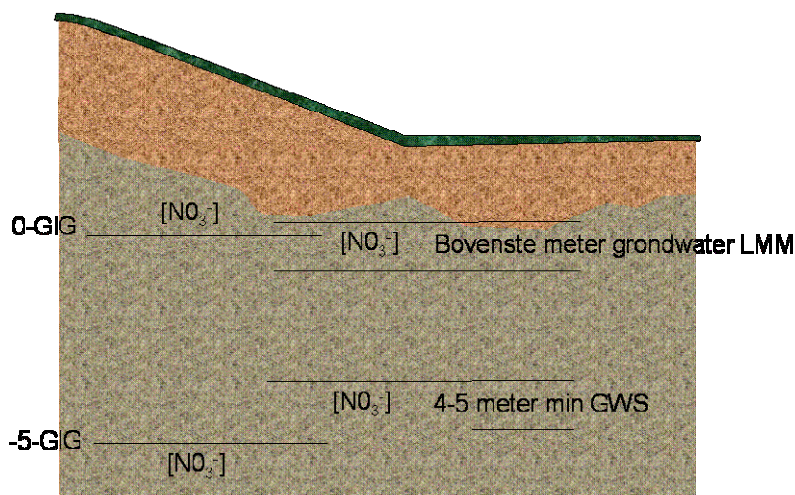
Weergegeven is de op basis van de areaal gewogen nitraatconcentratie berekende procentuele afname van de nitraatconcentratie in het grondwater op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand ten opzichte van de concentratie in het grondwater op de gemiddeld laagste grondwaterstand, voor de huidige situatie en berekend voor de toekomst, met de bijbehorende bandbreedte (17,5-87,5 percentiele waarde). In de tabel is tevens de afname van de nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater, zoals bepaald met eerder uitgevoerd veldonderzoek, opgenomen.

De modelresultaten bevestigen het beeld van eerder veldonderzoek (Fraters et al., 2006) (Tabel 3.1). Bij het veldonderzoek uit 2006 is aan de hand van veldmetingen de ontwikkeling van nitraat met de diepte onderzocht. Net als bij de modelberekeningen voor de huidige situatie wordt bij het veldonderzoek bij ‘uitspoelingsgevoelige’ droge gronden geen afname van nitraat met de diepte waargenomen. Bij de matig natte zandgronden en natte zandgronden wordt zowel bij de modelberekeningen als bij de veldonderzoeken een afname van nitraat met de diepte waargenomen. De gemiddelde afname bij natte zandgronden zoals berekend met het model (85%) valt binnen de bandbreedte van veldresultaten (30-100%). De met het model berekende afname bij matig natte zandgronden (42%) ligt hoger dan het veldonderzoek (10-40%) (Tabel 3.1).

Met het model is de afname berekend van de nitraatconcentratie in het grondwater op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) ten opzichte van de nitraatconcentratie in het grondwater op de gemiddeld laagste grondwaterstand. Een vergelijking tussen de concentratie op het niveau van de gemiddeld laagste grondwaterstand en de concentratie op een diepte van 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand geeft de *maximale* afname van de nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater weer (Figuur 3.2). In het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) wordt het grondwater in de bovenste meter bemonsterd (de laag van 0 tot 1 meter onder de grondwaterspiegel). De berekende nitraatconcentraties in het grondwater op de ‘LMM meetdiepte’ is circa 10% *lager* dan de met het model berekende concentratie op de gemiddeld laagste grondwaterstand (Groenendijk et al., in voorbereiding).

In de studie van Fraters et al. (2006) zijn de LMM-meetgegevens van het bovenste grondwater vergeleken met de meetgegevens van het grondwater op een diepte tussen 4 en 5 meter ten opzichte van de grondwaterspiegel. Bij een constant bemestingsniveau is de concentratie tussen 4 en 5 meter ten opzichte van de grondwaterspiegel *hoger* dan de concentratie op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

De vergelijking van LMM-meetgegevens met meetgegevens in grondwater tussen 4 en 5 meter diepte geeft, bij een constant bemestingsniveau, in principe een lagere afname dan de vergelijking van de concentratie op de gemiddeld laagste grondwaterstand met die op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.



Figuur 3-2 Verschillende methoden voor het bepalen van de afname van nitraat

Verskil tussen een vergelijking van de met het model berekende concentratie op een diepte van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en 5 meter onder de GLG, met een vergelijking van de meetgegevens van de bovenste meter van het grondwater (Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid) met de meetgegevens op een diepte tussen 4 en 5 meter ten opzichte van de grondwaterspiegel.

Tabel 3.2 geeft de berekende concentraties voor beide diepten voor zowel de huidige situatie als voor de toekomst. Op beide diepten en in beide situaties is de berekende nitraatconcentratie bij de droge zandgronden het hoogst, gevolgd door matig natte zandgronden. De berekende nitraatconcentratie bij natte zandgronden is het laagst.

Tabel 3-2 De nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater per zandsort droog, matig nat nat).

	Huidig bemestingsniveau		Constant bemestingsniveau in de toekomst	
	GLG	5-GLG	GLG	5-GLG
Zandgrond				
Droog	130 (68-171)	125 (66-195)	89 (52-127)	68 (36-104)
Matig nat	87 (39-130)	54 (11-98)	61 (25-96)	27 (5-47)
Nat	32 (13-50)	4 (0-7)	24 (11-37)	3 (0-3)

Weergegeven zijn de, met het model berekende, areaal gewogen nitraatconcentraties (mg/l) met de bandbreedte (17,5-87,5 percentiele waarde) op de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en 5 meter onder de GLG voor de huidige situatie en voor het toekomstscenario.

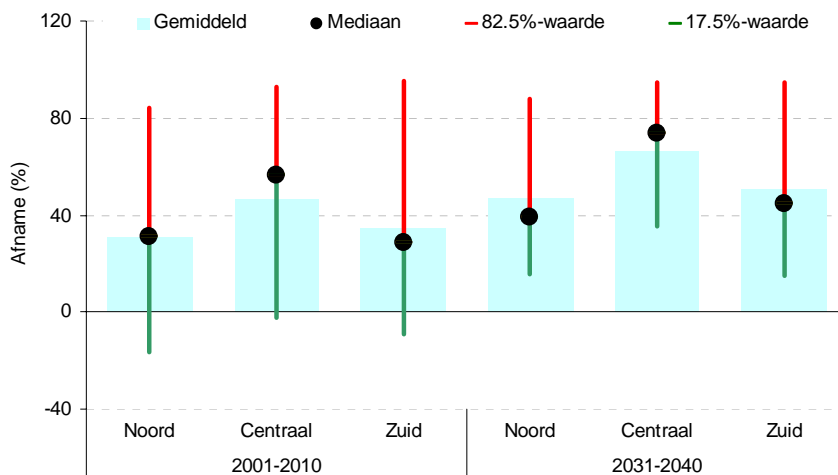
Bij de Evaluatie van de Meststoffenwet 2007 is, voor de huidige situatie, op de LMM meetdiepte bij droge zandgronden een concentratie berekend van 122 mg/l, voor matig natte zandgronden 93 mg/l en voor natte zandgronden 31 mg/l. Voor de toekomst is een concentratie berekend van 102 mg/l voor droge zandgronden, 63 mg/l voor matig natte zandgronden en 25 mg/l voor natte zandgronden (Willems et al., 2008). De voor de Evaluatie van de Meststoffenwet berekende concentratie is anders dan de voor deze studie berekende concentratie omdat:

- de concentratie in Willems et al. (2008) geldt voor de bovenste meter van het grondwater en in deze studie wordt de concentratie gegeven op GLG-diepte.
- De concentraties op een andere manier zijn berekend. In deze studie is de concentratie per STONE-plot berekend als waterflux gewogen gemiddelde. Vervolgens is per zandsoort en per zandgebied het areaal gewogen gemiddelde bepaald van de groep plot-concentraties. In Willems et al. is de berekening van de gemiddelde concentratie over een groep STONE-plots ook gedaan op basis van areaalweging, maar is de nitraatconcentratie in een STONE-plot berekend als gemiddelde concentratie over 1 meter waterkolom.
- de nitraatconcentratie in Willems et al. (2008) geldt voor de perioden 2003-2005 als karakterisering voor de huidige toestand en 2025-2029 als karakterisering voor de toekomstige situatie. In deze studie is de huidige toestand berekend als het gemiddelde van de periode 2001-2010 en de prognose voor de toekomst wordt afgeleid als het gemiddelde van 2031-2040. Het effect van variatie van de neerslag werkt in beide studies anders door
- voor deze studie is het door Willems et al., (2008) gebruikte STONE2.3 model als uitgangspunt genomen. Er is een nadere kalibratie uitgevoerd met recent beschikbaar gekomen gegevens van de potentiële denitrificatiesnelheid in de ondergrond. De gebruikte modellen zijn daardoor niet exact gelijk aan elkaar.

Deze studie is opgezet om de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater te onderzoeken en is niet bedoeld voor de evaluatie van het Mestbeleid. Voor de toepassing van het voor deze studie gehanteerde STONE model voor toekomstige beleidsevaluaties zal het model aanvullend moeten worden gekalibreerd op basis van de LMM meetgegevens.

3.3 Regionaal beeld

Gemiddeld over het zandgebied wordt een afname van de nitraatconcentratie met de diepte berekend. De berekende afname in het Centrale zandgebied is het hoogst, gevolgd door het Zuidelijk en Noordelijk zandgebied (Figuur 3.3).



Figuur 3-3 De afname van de nitraatconcentratie per zandgebied (Noord, Centraal, Zuid).

Weergegeven is de gemiddeldewaarde van de afname op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) ten opzichte van de concentratie op GLG niveau voor de verschillende zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) voor de huidige situatie en in de toekomst bij een constant en lager bemestingsniveau. Voor de verdeling is tevens de medianewaarde opgenomen en is de bijbehorende bandbreedte weergegeven (17,5-87,5 percentiele waarde).

Binnen de onderscheidde zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) komen verschillende zandsorten (droog, matig nat, nat) voor. Verschillen tussen de gebieden zijn minder groot dan de verschillen tussen zandsorten (zie hoofdstuk 3.2 Figuur 3.1). De verschillende zandsorten binnen een zandgebied zorgen voor een grote bandbreedte in de berekende gemiddelde afname van de nitraatconcentratie met de diepte op gebiedsniveau (Tabel 3.3). Onderlinge verschillen tussen de zandgebieden zijn kleiner dan de bandbreedte. Voor het inzicht in de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater zijn de verschillen tussen de onderscheidde zandsorten belangrijker dan de verschillen tussen de zandgebieden.

Tabel 3-3 Procentuele afname van nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter voor de verschillende zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid).

Zandgebied	Huidig bemestingsniveau	Constant bemestingsniveau in de toekomst
Noord	31 (-17 ¹⁾ – 84)%	47 (15 – 88)%
Centraal	47 (-3 – 93)%	66 (35 – 94)%
Zuid	35 (-9 – 95)%	51 (15 – 95)%
Gemiddeld	38 (-10 – 92)%	56 (20 – 93)%

¹⁾ Een negatief getal betekent een toename

Weergegeven is de op basis van de areaal gewogen nitraatconcentratie berekende procentuele afname van de nitraatconcentratie in het grondwater op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand ten opzichte van de concentratie in het grondwater op de gemiddeld laagst grondwaterstand met de bandbreedte (17,5-87,5 percentiele waarde) voor de huidige situatie en voor het toekomstscenario.

Uit Tabel 3.3 blijkt dat de afname van de nitraatconcentratie met de diepte zowel in de huidige situatie, als met het gehanteerde scenario berekend voor de toekomst, het grootst is in het Centrale zandgebied, en het kleinst in het Noordelijk zandgebied. Deze volgorde is anders dan op basis van sedimentanalyses zou worden verwacht. Uit de sedimentanalyses blijkt dat de denitrificatiecapaciteit in het Noordelijk

zandgebied het hoogst is, gevolgd door het Zuidelijke zandgebied. De denitrificatiecapaciteit in het Centrale zandgebied is het laagst.

De afname van de nitraatconcentratie met de diepte is per zandgebied voor de verschillende zandsorten (droog, matig nat, nat) afzonderlijk berekend (tabel 3.4). Het beeld voor de verschillende zandsorten binnen een gebied is globaal gelijk aan het landelijke beeld voor de verschillende zandsorten.

Tabel 3-4 Procentuele afname van nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater voor de verschillende zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) per onderscheidde zandsort (droog, matig nat, nat).

Zandgebied	Scenario	Droog	Matig nat	Nat
Noord	Huidig	1 (-29 – 31)%	41 (2 – 76)%	84 (75 – 98)%
	Toekomst	25 (9 – 39)%	56 (28 – 87)%	86 (73 – 97)%
Centraal	Huidig	-8 (-31 – 16)%	44 (21 – 80)%	84 (71 – 98)%
	Toekomst	29 (16% – 43)%	68 (48 – 90)%	88 (79 – 97)%
Zuid	Huidig	-6 (-25 – 14)%	40 (10 – 72)%	89 (82 – 99)%
	Toekomst	20 (8 – 33)%	56 (34 – 80)%	89 (82 – 99)%

Weergegeven is de op basis van de areaal gewogen nitraatconcentratie berekende procentuele afname van de nitraatconcentratie in het grondwater op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand ten opzichte van de concentratie in het grondwater op de gemiddeld laagst grondwaterstand met de bandbreedte (17,5-87,5 percentiele waarde) voor de huidige situatie en voor het toekomstscenario.

Tabel 3.5 geeft de berekende concentraties voor beide diepten voor zowel de huidige situatie als voor het toekomstscenario. De hoogte van de berekende concentratie verschilt per gebied. In het Centraal zandgebied is de gemiddelde concentratie het laagst, gevolgd door het Noordelijk zandgebied. In het Zuidelijk zandgebied is de nitraatconcentratie het hoogst.

Tabel 3-5 De nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater voor de verschillende zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid).

Zandgebied	Huidig bemestingsniveau		Constant bemestingsniveau in de toekomst	
	GLG	5-GLG	GLG	5-GLG
Noord	68 (27-114)	56 (5-103)	51 (19-84)	32 (3-60)
Centraal	63 (19-114)	46 (1-106)	44 (15-74)	20 (1-43)
Zuid	126 (47-190)	102 (1-197)	89 (34-135)	55 (1-106)

Weergegeven zijn de, met het model berekende, areaal gewogen nitraatconcentraties (mg/l) met de bandbreedte (17,5-87,5 percentiele waarde) voor de huidige situatie en voor het toekomstscenario.

Bij de Evaluatie van de Meststoffenwet is voor het Maas-zand grondwaterlichaam voor de huidige situatie een concentratie van 121 mg/l berekend, voor de toekomst 81 mg/l (Willems et al., 2008). Voor het Rijn-midden en Rijn-oost grondwaterlichaam is respectievelijk 63 mg/l en 60 mg/l berekend voor de huidige situatie en 31 mg/l en 35 mg/l voor de toekomst. Het Maas-zand grondwaterlichaam is te vergelijken met het Zuidelijk zandgebied in deze studie en het gemiddelde van het Rijn-midden en Rijn-oost grondwaterlichaam is enigszins te vergelijken met het Centrale zandgebied in deze studie. Een deel van het Rijn-oost grondwaterlichaam valt in het Noordelijk zandgebied. De indeling in

grondwaterlichamen maakt een vergelijking met het Noordelijk zandgebied moeilijk. De voor Evaluatie van de Meststoffenwet berekende concentratie voor de grondwaterlichamen wijkt af van de bij deze studie berekende concentratie voor de zandgebieden. In Hoofdstuk 3.2 zijn hiervoor een aantal mogelijke oorzaken aangegeven.

4 Denitrificatie en hydrologie

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk richt zich op het beantwoorden van het tweede onderdeel van vraag 1 genoemd in hoofdstuk 3.

Geef daarbij aan:

- *welk deel van deze verandering wordt veroorzaakt door denitrificatie?*
- *welk deel van deze verandering wordt veroorzaakt door hydrologische kenmerken (bijvoorbeeld kwelstromen, verdunning).*

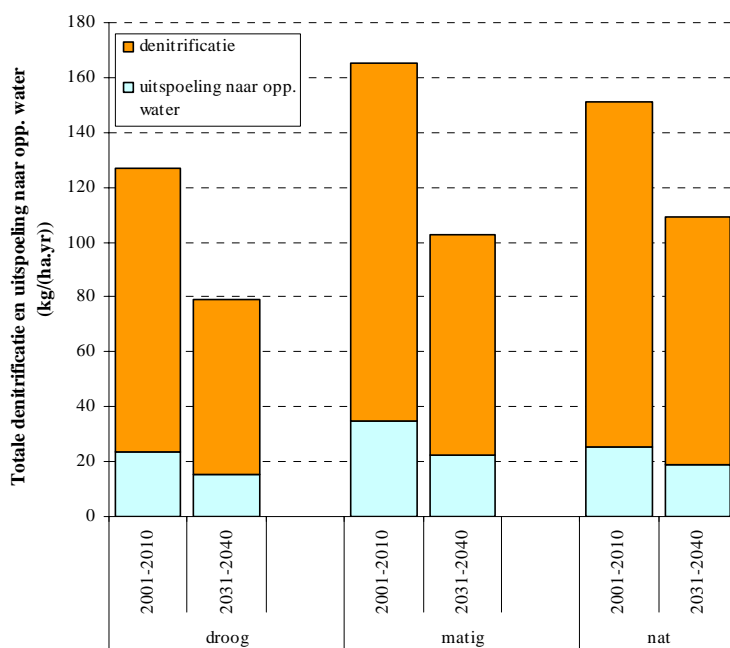
In hoofdstuk 3 is de verandering van nitraat met de diepte weergegeven. Dit hoofdstuk richt zich op het verklaren van de verandering in de nitraatconcentratie met de diepte. Denitrificatie en uitspoeling van grondwater naar het diepere grondwater en het oppervlaktewater zijn de belangrijkste verliesposten voor nitraat in het ondiepe grondwater. Verdunning van grondwater kan optreden door aanvoer van schoon grondwater van elders. In dit hoofdstuk worden deze processen gekwantificeerd. De focus ligt op de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater.

De vraag is beantwoord met behulp van modelberekeningen (Groenendijk et al., in voorbereiding). Processen worden toegelicht voor het gehele zandgebied per zandsoort (droog, matig nat, nat) als landelijk beeld en per zandgebied (Noord, Centraal, Zuid) als regionaal beeld.

4.2 Landelijk beeld

Bij alle zandgronden treedt denitrificatie op. De mate van denitrificatie verschilt per zandsoort (droog, matig nat, nat). De totale denitrificatie is bij droge zandgronden lager dan bij matig natte en natte zandgronden (Figuur 4.1)

Bij alle zandgronden is sprake van uitspoeling van nitraat via het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater. De mate van uitspoeling verschilt per zandsoort. De uitspoeling is het laagst bij droge gronden, en het hoogst bij matig natte en natte zandgronden (Figuur 4.1).



Figuur 4-1 De totale denitrificatie en uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater.

Weergegeven zijn de totale denitrificatie en uitspoeling van stikstof (kg/hectare per jaar) in het bovenste grondwater, per onderscheidde zandsoort (droog, matig nat, nat) voor de huidige periode (2001-2010) en voor de toekomst (2031-2040).

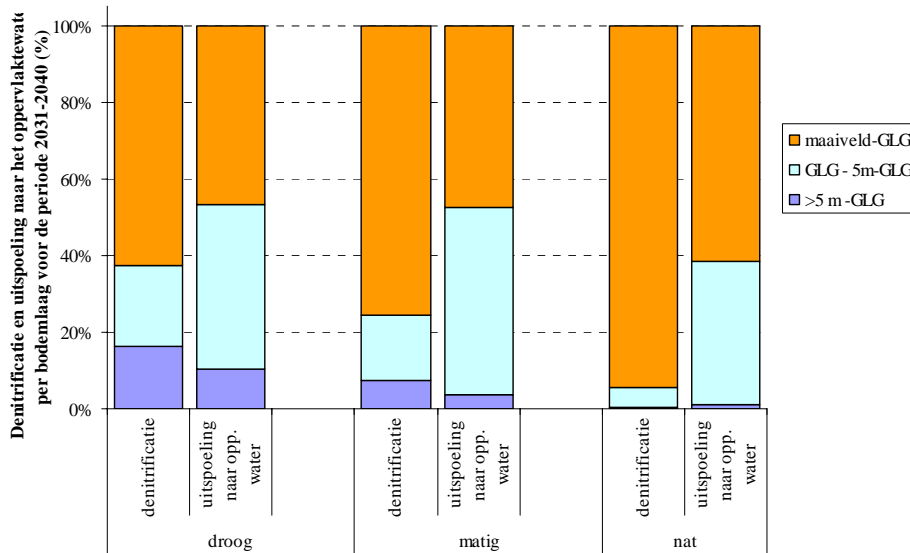
De verliesposten van denitrificatie en uitspoeling zijn onderzocht aan de hand van nitraatbalansen. Vergelijkbaar met de ontwikkeling van nitraat met de diepte (hoofdstuk 3) zijn nitraatbalansen berekend voor de huidige situatie en voor het toekomstscenario. In de huidige situatie is nog geen sprake van een constant bemestingsniveau. De na-ijling van de opgebouwde voorraad in de bodem en het ondiepe grondwater is een aanvoerpost op de nitraatbalans omdat de bemesting uit het verleden hoger is dan de veronderstelde bemesting in de toekomst. Dit heeft gevolgen voor de berekende afname van nitraat met de diepte (zie hoofdstuk 3) en de hoogte van de vrucht. De onderlinge verhouding tussen de verliesposten denitrificatie, uitspoeling naar oppervlaktewater en uitspoeling naar dieper grondwater blijft voor beide perioden gelijk. Voor de uitwerking van de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater worden de resultaten van het toekomstscenario gehanteerd.

Het grootste deel (55-95%) van de denitrificatie treedt op in de laag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand. Deze denitrificatie wordt al meegenomen in de gemeten en berekende nitraatconcentraties voor de huidige (LMM) toetsdiepte. Denitrificatie in het ondiepe grondwater tussen maaiveld en de bovenste meter van het grondwater blijkt ook uit eerder onderzoek naar de onderbouwing van de derogatie (Boumans et al., 1989; Schröder et al., 2005). Denitrificatie in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand is aanzienlijk minder (5-25%) (Figuur 4.2).

Het grootste deel van de uitspoeling³ naar het oppervlaktewater treedt op in de laag tussen het maaiveld en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Bij alle zandsoorten komt ongeveer de helft

³ Uitspoeling is inclusief afspoeling in de laag tussen maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand

hiervan uit de laag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand, de andere helft komt uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand (Figuur 4.2). De belasting van het oppervlaktewater wordt verder behandeld in hoofdstuk 5.



Figuur 4-2 Percentage denitrificatie en uitspoeling van nitraat per bodemlaag in het bovenste grondwater.

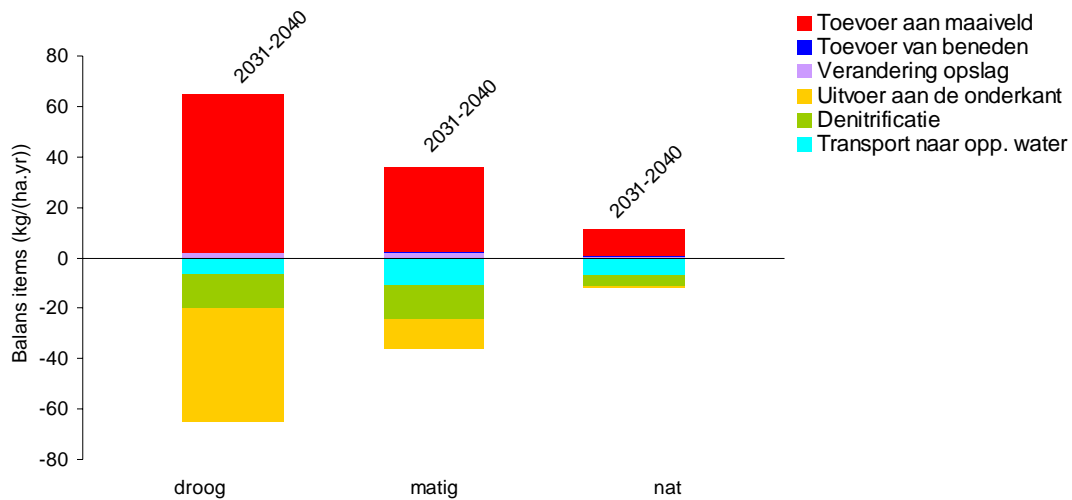
Denitrificatie en uitspoeling van nitraat naar het oppervlaktewater weergegeven per bodemlaag de bijdrage, als percentage van het totaal aan denitrificatie en uitspoeling van nitraat voor de periode 2031-2040.

In hoofdstuk 3 is de afname van de nitraatconcentratie in het grondwater op de gemiddeld laagste grondwaterstand ten opzichte van het grondwater op 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand weergegeven. Om de afname te kunnen verklaren, zijn voor deze specifieke laag de verliesposten denitrificatie, uitspoeling naar het oppervlaktewater en uitspoeling naar dieper gelegen grondwater afzonderlijk gespecificeerd.

Bij droge gronden is, in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand, de uitspoeling van nitraat naar het diepere grondwater de belangrijkste verliespost, gevolgd door denitrificatie (Figuur 4.3; Figuur 4.4). De uitspoeling van grondwater naar het oppervlaktewater is bij droge gronden de minst belangrijke verliespost van de nitraatbalans.

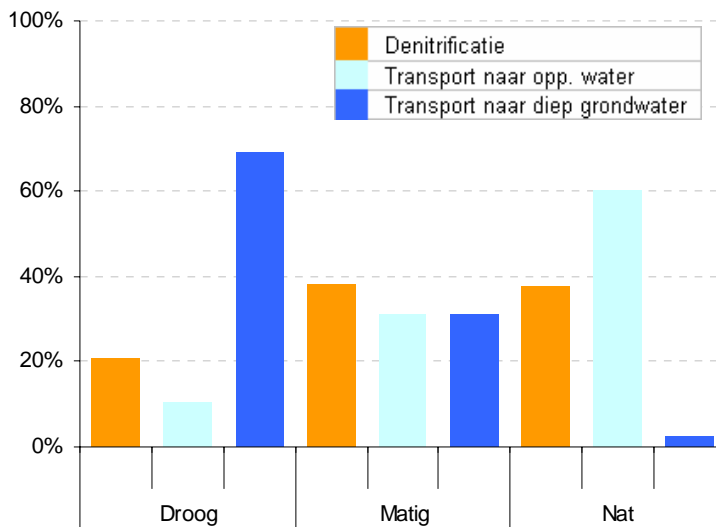
Bij matig natte zandgronden zijn de bijdragen van de verliesposten denitrificatie, uitspoeling naar oppervlaktewater, en uitspoeling naar dieper gelegen grondwater, in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de laagste grondwaterstand globaal gelijk (Figuur 4.3; Figuur 4.4).

Bij natte zandgronden is uitspoeling naar het oppervlaktewater de belangrijkste verliespost in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand, gevolgd door denitrificatie. De uitspoeling van nitraat naar het dieper gelegen grondwater is bij deze gronden beperkt (Figuur 4.3; Figuur 4.4).



Figuur 4-3 De verliesposten van nitraat in de bodem tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Weergegeven zijn de verliesposten in kg/hectare per jaar per zandsoort (droog, matig nat, nat) in de bodem tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand voor de periode 2031-2040.

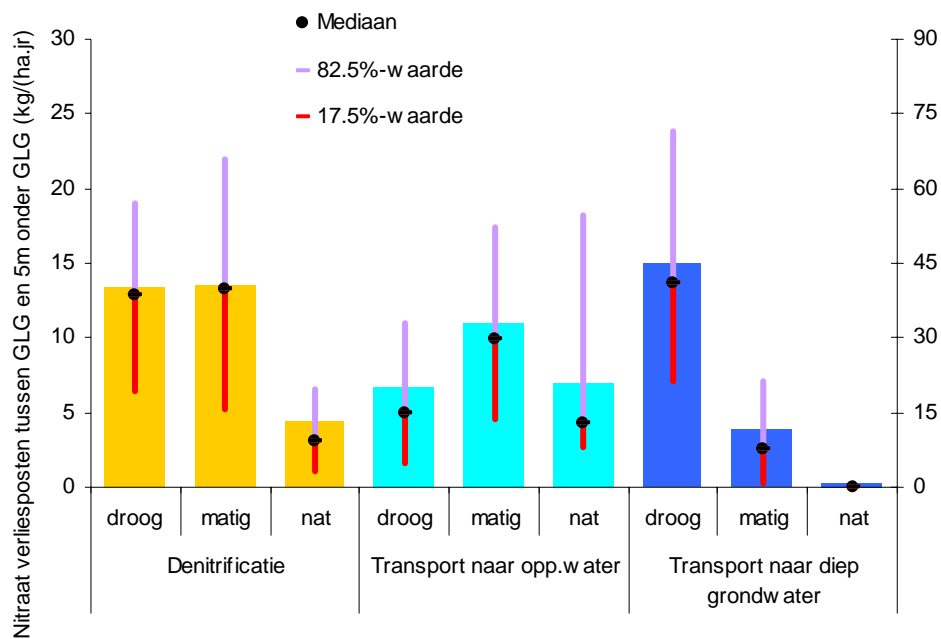


Figuur 4-4 Procentuele verdeling van de verliesposten van nitraat in de bodem tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Weergegeven is het percentage denitrificatie, uitspoeling naar oppervlaktewater en uitspoeling naar dieper gelegen grondwater ten opzichte van het totaal aan vrachtverlies in de bodem tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

De bandbreedte (17,5-87,5 percentiele waarde) van de verliesposten in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand is groot (Figuur 4.5). De bandbreedte van de verliesposten denitrificatie en uitspoeling naar het oppervlaktewater is groter dan de onderlinge verschillen tussen deze verliesposten. Binnen zandsoorten (droog, matig nat, nat) kan de verdeling tussen de verliesposten denitrificatie en uitspoeling naar het oppervlaktewater ruimtelijk dus aanzienlijk variëren. Door deze grote variatie is het niet mogelijk per zandsoort (droog, matig nat, nat) eenduidig aan te geven waardoor de afname van nitraat met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater wordt veroorzaakt.

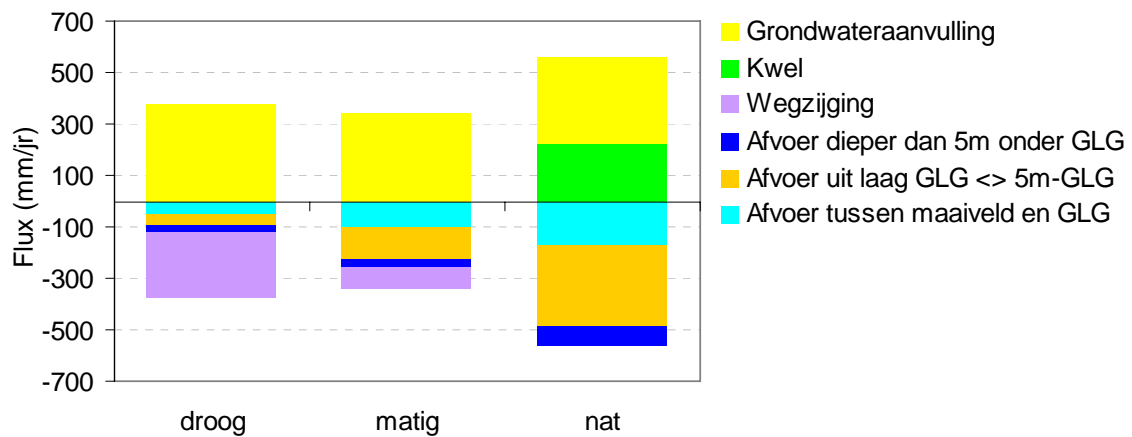
De grote variatie sluit aan bij eerdere bevindingen van Broers et al. (2004) en Fraters et al. (2006). In het onderzoek van Broers et al. (2004) is geconcludeerd dat het mogelijk is om denitrificatie te detecteren en kwantificeren bij specifieke meetlocaties, maar dat het vertalen van denitrificatie op meetlocaties naar regio's lastig is en een grote cartografische- en meetinspanning vereist. In de studie van Fraters et al. (2006) is geconcludeerd dat door grote variatie van onder andere de ondergrond (zoals het vermogen om nitraat af te breken), het niet mogelijk is om via routinematige metingen, zoals die in een meetnet of een meetprogramma worden uitgevoerd, vast te stellen waardoor een afname van nitraat wordt veroorzaakt.



Figuur 4-5 Spreiding in verliesposten van nitraat in het grondwater tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Weergegeven is de gemiddelde waarde voor de verliesposten denitrificatie, uitspoeling naar oppervlaktewater en uitspoeling naar dieper gelegen grondwater in kg per hectare per jaar voor de verschillende zandsoorten (droog, matig nat, nat) in de periode 2031-2040. Voor de verdeling is tevens de medianewaarde opgenomen en is de bijbehorende bandbreedte weergegeven (17,5-87,5 percentiele waarde). Linker as is de denitrificatie en uitspoeling naar oppervlaktewater; Rechter as is uitspoeling naar dieper gelegen grondwater.

Voor het begrijpen van de ontwikkeling van de nitraatconcentratie met de diepte is, naast de vrucht, de hydrologie belangrijk. Bij droge zandgronden stroomt gemiddeld het grootste gedeelte (70%) van het neerslagoverschot naar het diepere grondwater (Figuur 4.6). Het restant van het neerslagoverschot (30%) stroomt via het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater. In eerdere studies (Fraters et al., 2006; Broers et al., 2004) is aangenomen dat uitspoeling van grondwater naar oppervlaktewater bij droge zandgronden geen rol speelt.



Figuur 4-6 De verdeling van de aan en afvoerposten van de waterbalans.

Weergegeven is de totale flux in millimeter per jaar voor de verschillende afvoerposten bij droge, matig natte en natte zandgronden voor de periode 2031-2040.

Bij de matig natte zandgronden wordt gemiddeld het grootste deel (70%) van het neerslagoverschot in de bovenste 5 meter afgevoerd naar het oppervlaktewater. In deze zandgronden bereikt slechts een beperkt deel (30%) van het grondwater onder landbouwgronden een diepte van 5 meter.

Bij natte zandgronden wordt het gehele neerslagoverschot in de bovenste 5 meter afgevoerd naar het oppervlaktewater. Bij deze gebieden is sprake van toestroom van dieper grondwater naar het ondiepe grondwater en oppervlaktewater (kwel). In deze gebieden is het grondwater op 5 meter overwegend afkomstig van grotere diepte.

Bij matig natte zandgronden en natte zandgronden is sprake van een toestroom van grondwater van elders. Wanneer sprake is van toestroom van schoon grondwater kan, op een diepte van 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand, verdunning optreden. In droge zandgebieden treedt op deze diepte waarschijnlijk geen verdunning op. Bij matig natte zandgronden neemt de nitraatconcentratie in het grondwater tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand met maximaal 17% af door verdunning. Bij de natte zandgronden neemt de nitraatconcentratie met maximaal 81% af door verdunning. Het optreden van kwel in de matig natte zandgronden kan te maken hebben met seizoensvariatie. Water dat in de zomer opkwelt kan afkomstig zijn van de uitspoeling in het vorige seizoen en heeft dan nauwelijks een verdunnend effect.

4.3 Regionaal beeld

In het Noordelijk zandgebied maakt denitrificatie met 25% deel uit van de verliesposten op de nitraatbalans tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand, zorgt de uitspoeling naar het oppervlaktewater voor 20% van het verlies aan nitraat en spoelt 55% uit naar het diepere grondwater. In het Centrale zandgebied zorgt denitrificatie voor 33% van het verlies op de nitraatbalans in deze laag, spoelt 26% uit naar het oppervlaktewater, en spoelt 40% uit naar het diepere grondwater. In het Zuidelijke zandgebied zorgt denitrificatie voor 36% van het verlies aan nitraat in deze laag, spoelt 19% uit naar het oppervlaktewater en spoelt 56% naar het diepere grondwater.

Binnen de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) komen verschillende zandsoorten (droog, matig nat, nat) voor. Uit de resultaten, gepresenteerd in hoofdstuk 3, blijkt dat de verschillende zandsoorten binnen een zandgebied zorgen voor een grote bandbreedte in de berekende gemiddelde afname van de nitraatconcentratie met de diepte. Onderlinge verschillen tussen de zandgebieden zijn kleiner dan de bandbreedte (Figuur 3.2). Voor het inzicht in de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater zijn de verschillen tussen de zandsoorten (droog, matig nat, nat) belangrijker dan de verschillen tussen de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid).

Uit de resultaten, gepresenteerd in hoofdstuk 4.2, blijkt dat de bandbreedte van de verliesposten denitrificatie en uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand groot is (Figuur 4.4). De bandbreedte van de verliesposten denitrificatie en uitspoeling naar het oppervlaktewater in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand is groter dan de onderlinge verschillen tussen deze verliesposten. Binnen zandsoorten (droog, matig nat, nat) kan de verdeling tussen de verliesposten denitrificatie en uitspoeling naar het oppervlaktewater ruimtelijk dus aanzienlijk variëren. Hierdoor is het niet mogelijk om voor een zandsoort (droog, matig nat, nat) eenduidig aan te geven waardoor de afname van nitraat met de diepte wordt veroorzaakt.

De grote bandbreedte van de afname van nitraat met de diepte op gebiedsniveau en de grote bandbreedte in de verliesposten van denitrificatie en uitspoeling leiden ertoe dat het niet zinvol is een verklaring te geven van de ontwikkeling van nitraat met de diepte op gebiedsniveau.

5 Afwenteling oppervlaktewater

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen 4 en 5 behandeld:

4. Wat is de huidige stikstofbelasting door de landbouw van het oppervlaktewatersysteem op gebiedsniveau en welk deel hiervan is afkomstig van nitraat in het grondwater onder landbouwgronden in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel?

5. Wat is de huidige concentratie van stikstof in het grondwater op landbouwgronden dat direct uitspoelt naar het oppervlaktewater op gebiedsniveau en welk deel hiervan is afkomstig van nitraat in het grondwater onder landbouwgronden in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel?

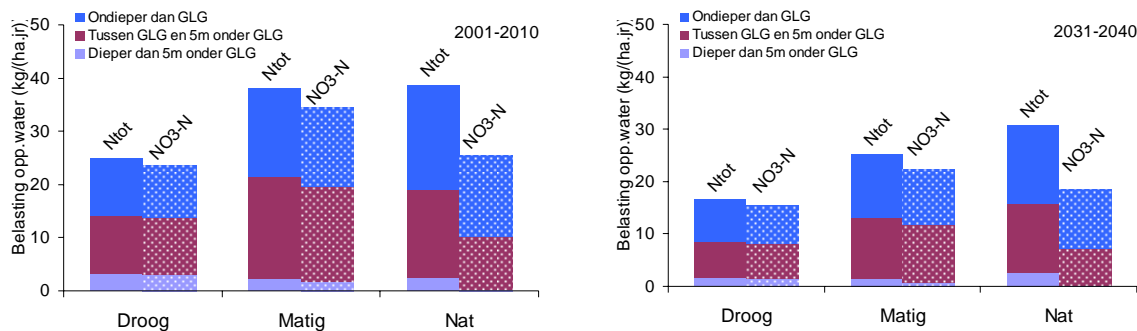
De afwenteling naar oppervlaktewater is onderzocht aan de hand van de stikstofbelasting en de concentratie stikstof in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater.

De vragen zijn beantwoord met behulp van modelberekeningen (Groenendijk et al., in voorbereiding). De afwenteling wordt eerst toegelicht voor het gehele zandgebied per zandsoort (droog, matig nat, nat) en vervolgens toegelicht per zandgebied (Noord, Centraal, Zuid).

5.2 Stikstofbelasting

Bij alle zandsoorten (droog, matig nat, nat) is sprake van stikstofbelasting van het oppervlaktewater door uitspoeling van stikstof via ondiep grondwater naar het oppervlaktewater. Een hogere nitraatconcentratie in het ondiepe grondwater leidt tot een hogere belasting van het oppervlaktewater bij alle zandgronden.

De huidige *stikstof*belasting van het oppervlaktewater bij de droge zandgronden is 25 kg/hectare per jaar. De belasting in de matig natte en natte zandgebieden is circa 38 kg/hectare per jaar (Figuur 5.1).



Figuur 5-1 Opperflaktewaterbelasting door uitspoeling van grondwater.

Weergegeven is de totale stikstofbelasting en de nitraat stikstofbelasting van het oppervlaktewater door uitspoeling van ondiep grondwater voor de verschillende zandsoorten (droog, matig nat, nat). De belasting is per bodemlaag weergegeven voor de huidige situatie (2001-2010) en voor de toekomst (2031-2040).

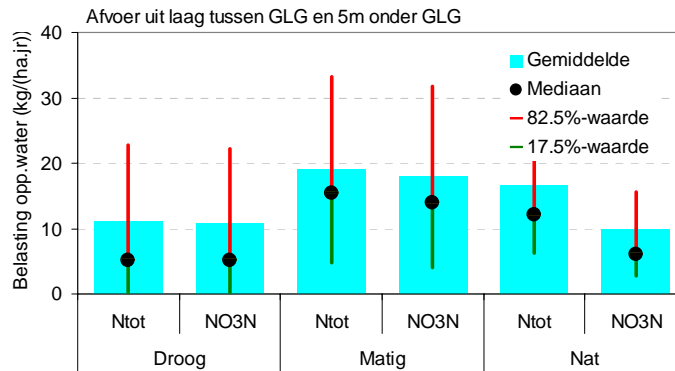
Bij droge en matig natte zandgronden wordt de belasting vooral veroorzaakt door uitspoeling van nitraat. Bij natte zandgronden is naast nitraat tevens uitspoeling van ammonium en organische stikstof via het ondiepe grondwater relevant (Figuur 5.1).

De berekende belasting is voor de huidige situatie hoger dan de voor de toekomst berekende belasting (Figuur 5.1)

Het grootste gedeelte (circa 90%) van de *totale stikstofbelasting* wordt veroorzaakt door uitspoeling van grondwater uit de bovenste laag van het grondwater, tussen het maaiveld en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Bij alle zandsoorten komt ongeveer de helft van de stikstofbelasting uit de grondwaterlaag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand, de andere helft komt uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand (Figuur 5.1; Figuur 4.2).

Van de huidige totale stikstofbelasting van het oppervlaktewater wordt bij droge zandgronden ongeveer 43% veroorzaakt door uitspoeling van *nitraat* via het grondwater tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Bij matig natte zandgronden is 47% van de totale stikstofbelasting afkomstig van nitraat in het grondwater tussen de grondwaterspiegel en 5 meter onder de grondwaterspiegel. Bij natte zandgronden is dit percentage 26%.



Figuur 5-2 Spreiding van de oppervlaktewaterbelasting door uitspoeling van grondwater uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Weergegeven is de gemiddelde- en medianewaarde van totale stikstofbelasting en de nitraat stikstofbelasting van het oppervlaktewater door uitspoeling van grondwater uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand voor de verschillende zandsoorten (droog, matig nat, nat) in kilogram per hectare per jaar met de bandbreedte (17,5-87,5 percentiele waarde).

De spreiding van de resultaten voor de bodemlaag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand is groter dan de onderlinge verschillen tussen zandsoorten (Figuur 5.2, zie ook hoofdstuk 4, Figuur 4.5).

De huidige stikstofbelasting van het oppervlaktewater is op gebiedsniveau het hoogst in het Zuidelijk zandgebied (38 kg/hectare per jaar). De stikstofbelasting in het Centrale zandgebied is 34 kg/hectare per jaar. De stikstofbelasting in het Noordelijk zandgebied is met 28 kg/hectare per jaar het laagst.

In het Zuidelijk zandgebied wordt ongeveer 45% van de totale stikstofbelasting veroorzaakt door uitspoeling van nitraat uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. In het Centrale zandgebied wordt circa 34% veroorzaakt door uitspoeling van nitraat uit deze laag. In het Noordelijk zandgebied is dit percentage 38%.

5.3 Concentratie

Bij de droge zandgronden is de berekende stikstofconcentratie van het naar het oppervlaktewater uitspoelende grondwater het hoogst (21 mg/l, dit komt overeen met 93 mg/l nitraat), gevolgd door de matig natte zandgronden (15 mg/l, dit komt overeen met 66 mg/l nitraat). De concentratie in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater is het laagst bij natte zandgronden (7 mg/l, dit komt overeen met 31 mg/l nitraat).

De stikstofconcentratie in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater is op gebiedsniveau het hoogst in het Zuidelijk zandgebied (14 mg/l, dit komt overeen met 62 mg/l nitraat). De stikstofconcentratie in het Centrale en Noordelijk zandgebied is circa 10 mg/l, oftewel 44 mg/l nitraat.

Naast de stikstofconcentraties in het uitspoelende grondwater bepalen processen in de waterbodem, processen in het oppervlaktewater en de kwaliteit van het vanaf stroomopwaarts gelegen gebieden aangevoerde water de uiteindelijke stikstofconcentratie in het oppervlaktewater. De stikstofconcentratie in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater hoeft dus niet gelijk te zijn aan de concentratie van het oppervlaktewater. De concentratie in het oppervlaktewater bij landbouwgronden kan met behulp van het huidige modelinstrumentarium niet worden vastgesteld.

Bij droge zandgronden is 43% van de stikstof in het uitspoelende grondwater afkomstig van nitraat dat uitspoelt via het grondwater uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Bij matig natte zandgronden is 47% van de stikstof in het grondwater afkomstig van nitraat dat uitspoelt uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Bij natte zandgronden is dit percentage 26%.

De herkomst van de stikstof en nitraat in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater kan alleen worden bepaald op basis van vrachten en de waterbalans. Het deel van de stikstof*concentratie*, afkomstig van nitraat uit het grondwater in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter onder de grondwaterspiegel, is daarom gelijk aan het deel van de stikstof*belasting*, afkomstig van nitraat uit het grondwater in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter onder de grondwaterspiegel. Bovengenoemde percentages zijn daarom gelijk aan de in hoofdstuk 5.2 genoemde percentages voor de stikstofbelasting.

6 Denitrificatie, capaciteit en neveneffecten

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen 2 en 3 behandeld:

2. Wat zijn de verwachte neveneffecten van denitrificatie op gebiedsniveau? Geef daarbij aan de verwachte verandering in concentraties zware metalen, sulfaat en stijging van hardheid inclusief de bijbehorende bandbreedte?

3. Wat is de verwachte ontwikkeling van denitrificatie (capaciteit) in de tijd op gebiedsniveau? (geef minimaal aan toename, constant, afname en op welke termijn)

Voor een afweging voor de verlaging van de toetsdiepte in grondwater is het van belang te weten in hoeverre in denitrificatie leidt tot schadelijke neveneffecten en wat de verwachte ontwikkeling van de denitrificatie in de tijd is. Schadelijke neveneffecten zijn onderzocht met behulp van een geochemisch evenwichtsmodel PHREEQC. Denitrificatiecapaciteit is onderzocht aan de hand van bodemgegevens (Groenendijk et al., in voorbereiding).

6.2 Neveneffecten

Door denitrificatie kunnen schadelijke neveneffecten voor het grondwater optreden. Tevens kunnen schadelijke neveneffecten als lachgasproductie plaatsvinden. Bij deze studie zijn alleen de neveneffecten voor het grondwater meegenomen. Daarbij is gekeken naar neveneffecten van denitrificatie als gevolg van zowel pyrietoxidatie als oxidatie van organisch materiaal. Schadelijke neveneffecten voor grondwater treden alleen op bij denitrificatie door pyrietoxidatie. Oxidatie van organische stof levert pas een probleem op bij relatief hoge afbraaksnelheden, welke niet representatief zijn voor Pleistocene zandige aquifersedimenten.

Neveneffecten van pyrietoxidatie door nitraat zijn de mobilisatie van zware metalen, arseen en sulfaat. De mate waarin neveneffecten optreden is moeilijk te kwantificeren. Dit komt doordat de bepalende factoren in de ondergrond sterk variëren. Deze bepalende factoren zijn met name de mate van optreden van denitrificatie, het voorkomen en de samenstelling (gehalten aan metalen) van het pyriet, en het voorkomen van kleimineralen en opgelost organisch materiaal, waar zware metalen aan gebonden kunnen zitten welke door het verzurende effect van pyrietoxidatie vrij kunnen komen.

Dat er hier grote lokale en regionale verschillen zullen zijn, is echter wel duidelijk. Zo blijkt uit studies van waterschappen en drinkwaterbedrijven, dat arseen in sommige gebieden in Gelderland en Overijssel een probleem is, waar de stof in Brabant veel minder een probleem vormt. In Brabant is nikkel weer een grotere probleemstof dan in Gelderland en Overijssel (persoonlijke communicatie W.v.d. Hulst).

De mate van optreden van denitrificatie is vastgesteld aan de hand van grondwaterkwaliteitsgegevens. Om een inschatting te maken van de metaalgehalten in pyriet is gebruik gemaakt van literatuurgegevens. Op basis van sedimentanalyses (pyriet- en organische stofgehalten) is een beeld gevormd van het voorkomen van pyriet, kleimineralen en organische stof. Modelberekeningen zijn uitgevoerd met zowel lage als hoge inschattingen van deze factoren, afgaande op de ranges die uit de bovengenoemde literatuurgegevens zijn geëxtraheerd.

Uit de modelberekeningen is gebleken dat mobilisatie van arseen, koper en nikkel de meest schadelijke neveneffecten van pyrietoxidatie vormen. Voor de overige zware metalen en sulfaat werden geen overschrijdingen van de streefwaarden voor grondwater berekend, zelfs niet in de scenario's met hoge gehalten van deze stoffen in pyriet (zie ook Tabel 6.1). Voor arseen, koper en nikkel was dit wel het geval.

Het uiteindelijke risico op een schadelijke uitwerking van de bovengenoemde neveneffecten op het oppervlaktewater wordt niet alleen bepaald door de mate van het optreden van neveneffecten, maar ook door het gedrag van de vrijgekomen metalen en de transportroutes. De eerste factor wordt bepaald door de macrochemische samenstelling van het grondwater. Zo leidt een lagere pH tot een grotere mobiliteit van de zware metalen. De tweede factor wordt bepaald door de hydrologische situatie. Bij droge gronden is er minder interactie met het oppervlaktewater dan bij natte gronden en is het risico op een schadelijke uitwerking van de neveneffecten op het oppervlaktewater dus kleiner.

Door de verwachte mate van voorkomen van neveneffecten per zandgebied/grondwaterklasse combinatie te beschouwen in samenhang met de verwachte uitwerking van deze neveneffecten op het oppervlaktewater, zijn de zandgebied/grondwaterklasse combinaties gescoord op het verwachte risico op schadelijke neveneffecten van denitrificatie. Het blijkt dan dat dit risico in het Zuidelijk zandgebied het grootst is (groot risico in alle grondwaterklassen), gevolgd door het Noordelijk zandgebied (matig risico in alle grondwaterklassen). In het Centraal zandgebied worden de risico's laag ingeschat.

Tabel 6-1 Verwachte concentraties aan sulfaat, zware metalen en arseen bij oxidatie van pyriet door nitraat.

Element	Streefwaarde voor ondiep grondwater	Verwachte concentratie bij laag gehalte in pyriet	Verwachte concentratie bij hoog gehalte in pyriet
Ni ($\mu\text{g/l}$)	15	4.2	16.8
Zn ($\mu\text{g/l}$)	65	8.47	33.9
Cd ($\mu\text{g/l}$)	0.4	0	0
Cu ($\mu\text{g/l}$)	15	0	29.3
As ($\mu\text{g/l}$)	10	31.3	135.2
SO ₄ (mg/l)	150	55.3	55.3

Rood = waarde overschrijdt de streefwaarde voor ondiep grondwater

Weergegeven zijn de verwachte concentraties aan metalen door pyriet oxidatie bij een nitraatconcentratie van 50 mg/l, voor twee niveaus van onzuiverheid van het pyriet met betrekking tot de sporelementen. De verwachte concentraties worden vergeleken met de streefwaarden voor ondiep grondwater.

6.3 Denitrificatiecapaciteit

Denitrificatie gaat gepaard met oxidatie en dus afbraak van voorraden organische stof en pyriet. Als deze voorraden niet aangevuld worden, leidt dit tot een afname van de denitrificatiecapaciteit in de tijd. De snelheid van deze afname is afhankelijk van de denitrificatiesnelheid.

Op basis van typische bodemkarakteristieken (aanwezige gehalten aan organische stof en pyriet) is de denitrificatiecapaciteit geschat. De denitrificatiecapaciteit is het hoogst in het Noordelijk zandgebied, gevolgd door het Zuidelijk zandgebied. De denitrificatiecapaciteit is het laagst in het Centrale zandgebied.

Uit massabalansberekeningen, waarbij gekeken is hoeveel nitraat gedenitrificeerd moet worden om alle organische stof en pyriet te oxideren (dit kan op basis van de bekende reactievergelijkingen), en hoe lang dit bij gangbare neerslagoverschotten en een nitraatconcentratie van 50 mg/l duurt, is gebleken dat de denitrificatiecapaciteit voldoende is om denitrificatie tientallen tot honderden jaren te laten voortduren. Bij een hogere nitraatconcentratie neemt de denitrificatiecapaciteit sneller af. De berekeningen zijn uitgevoerd onder de aanname dat alle organische stof beschikbaar is voor denitrificatie, terwijl een groot deel van het organische stof recalcitrant is en daarom niet meetelt als voorraad voor de denitrificatiecapaciteit. Hierdoor is de werkelijke denitrificatiecapaciteit mogelijk lager. Anderzijds zijn mogelijk andere bronnen van organische stof niet meegerekend. Opgeloste organische stof kan vanaf maaiveld worden toegevoegd door bemesting of in de bodem worden gevormd binnen de organische stofkringloop. De rol van deze organische stof op de denitrificatie in het grondwater is nog onduidelijk. Mogelijk leidt deze organische stof tot extra denitrificatiecapaciteit in de ondergrond. Pyriet kan onder denitrificerende omstandigheden niet gevormd worden en wordt dus niet aangevuld.

7 Conclusies: vraag en antwoord

7.1 Algemeen

De ontwikkeling van de nitraatconcentratie met de diepte is berekend voor de huidige situatie en voor de toekomst met behulp van modellen. Bij een constant bemestingsniveau, zoals is voorzien over circa 20 jaar (2031-2040), is in de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) sprake van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater. De afname treedt op bij alle zandsorten (droog, matig nat, nat). In de huidige situatie is nog geen sprake van een constant bemestingsniveau en is, bij droog zand, nog geen sprake van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte. Bij alle zandsorten treedt denitrificatie op. Voor alle zandsorten, dus ook voor de droge, is sprake van uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater.

De resultaten van de aanvullende wetenschappelijke studie bevestigen de conclusies van eerdere onderzoeken naar de ontwikkeling van nitraat in de bovenste 5 meter van het grondwater van Broers et al. (2004) en Fraters et al. (2006). Deze studie levert nieuwe inzichten over de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater.

De resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek (Broers et al., 2004; Fraters et al., 2006) en de opzet, resultaten en conclusies van het huidige onderzoek, worden ondersteund door een internationale reviewcommissie.

In paragraaf 2 zijn de verschillende onderzoeksvragen afzonderlijk beantwoord. In paragraaf 3 is de slotconclusie weergegeven.

7.2 Vraag en antwoord

Vraag 1: *Wat is de gemiddelde verandering van het nitraatgehalte tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel op gebiedsniveau onder landbouwgronden bij een constant bemestingsniveau? Met gebiedsniveau worden de volgende gebieden bedoeld: noordelijk zand, centraal zand, zuidelijk zand waarbij gekeken wordt naar de verschillende grondwaterklassen (droog zand, gematigd nat zand en nat zand). Geef daarbij aan:*

- *de gemiddelde afname en de bijbehorende bandbreedte.*
- *welk deel van deze verandering wordt veroorzaakt door denitrificatie?*
- *welk deel van deze verandering wordt veroorzaakt door hydrologische kenmerken (bijvoorbeeld kwelstromen, verdunning).*

Bij een constant bemestingsniveau, lager dan het huidige, zoals is voorzien over circa 20 jaar (2031-2040) is sprake van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater. De afname van de nitraatconcentratie is bij de droge zandgronden het kleinst. De afname bij droge zandgronden is gemiddeld 24% en varieert van 10 tot 39%. De afname bij de matig natte zandgronden is gemiddeld 61% en varieert van 39 tot 87%. De afname is het grootst bij de natte zandgronden, gemiddeld 88% en varieert van 78 tot 98%.

In de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) is, bij een constant bemestingsniveau, gemiddeld ook sprake van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte. Verschillen tussen de gebieden zijn minder groot dan de verschillen tussen zandsoorten (droog, matig nat, nat). De spreiding in de afname binnen de gebieden is groot, omdat binnen een gebied verschillende zandsoorten voorkomen. De afname in het Noordelijk zandgebied is het kleinst. De afname is gemiddeld 47% en varieert van 15 tot 88%. De afname in het Zuidelijk zandgebied is gemiddeld 51% en varieert van 15 tot 95%. De afname in de nitraatconcentratie in het Centrale zandgebied is het hoogst. In dit gebied is de afname gemiddeld 66% en varieert van 35 tot 94%.

De afname van de nitraatconcentratie met de diepte is berekend bij een *constant* bemestingsniveau zoals is voorzien in de toekomst (2031-2040). In de huidige situatie (2001-2010) is in de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) geen sprake van een constant bemestingsniveau. In de huidige situatie is bij droog zand geen sprake van een afname van nitraat met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater.

Bij alle zandsoorten is sprake van denitrificatie. De totale denitrificatie vanaf maaiveld tot 5 meter beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand is bij droge zandsoorten lager dan bij matig natte en natte zandsoorten. Het merendeel (55-95%) van de denitrificatie treedt op in de bovenste laag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand. Denitrificatie in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter beneden de gemiddeld laagste grondwaterstand is aanzienlijk lager (5-25%).

Van de nitraatvrucht in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand wordt bij droge zandgronden circa 21% afgebroken door denitrificatie, 10% van de nitraatvrucht uit deze laag verdwijnt door uitspoeling van grondwater naar het oppervlaktewater en 69% van de nitraatvrucht spoelt uit naar het diepere grondwater. Bij matig natte zandgronden breekt 38% van de nitraatvrucht in deze laag af door denitrificatie, verdwijnt 31% door uitspoeling van grondwater naar het oppervlaktewater, en spoelt 31% uit naar het diepere grondwater. Bij natte zandgronden breekt 38% van de nitraatvrucht af door denitrificatie, spoelt 60% uit naar het oppervlaktewater en 2% naar het dieper gelegen grondwater.

In het Noordelijk zandgebied breekt 25% van de nitraatvrucht in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand af door denitrificatie, 20% van de nitraatvrucht spoelt uit naar het oppervlaktewater en 55% spoelt uit naar het diepere grondwater. In het Centrale zandgebied breekt 33% van de vrucht in deze laag af door denitrificatie, spoelt 26% uit naar het oppervlaktewater en 40% uit naar het diepere grondwater. In het Zuidelijke zandgebied breekt 36% van de vrucht in deze laag af door denitrificatie, spoelt 19% uit naar het oppervlaktewater en 56% naar het diepere grondwater.

De bandbreedtes van de verliesposten denitrificatie en uitspoeling in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand zijn groter dan de onderlinge verschillen tussen deze verliesposten. Binnen zandsoorten (droog, matig nat, nat) en zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) kan de verdeling tussen de verliesposten denitrificatie en uitspoeling naar het oppervlaktewater ruimtelijk dus aanzienlijk variëren. Door de grote variatie is het niet mogelijk per zandsoort (droog, matig nat, nat) of per gebied (Noord, Centraal, Zuid) eenduidig aan te geven waardoor de afname van nitraat met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater wordt veroorzaakt.

Bij matig natte zandgronden en natte zandgronden is sprake van verdunning op een diepte van 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. In droge zandgebieden is waarschijnlijk geen sprake van

verdunding op deze diepte. Bij matig natte zandgronden neemt de nitraatconcentratie in het grondwater tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand met maximaal 17% af door verdunning. Bij de natte zandgronden neemt de nitraatconcentratie met maximaal 81% af door verdunning.

Vraag 2: Wat zijn de verwachte neveneffecten van denitrificatie op gebiedsniveau? Geef daarbij aan de verwachte verandering in concentraties zware metalen, sulfaat en stijging van hardheid inclusief de bijbehorende bandbreedte.

Door denitrificatie kunnen schadelijke neveneffecten optreden. Schadelijke neveneffecten voor het grondwater, als mobilisatie van metalen en sulfaat, treden op bij denitrificatie door pyrietoxidatie. De meest schadelijke neveneffecten zijn de mobilisatie van de metalen arseen, koper en nikkel. De mate waarin neveneffecten optreden, is moeilijk te kwantificeren. Dit komt doordat de samenstelling (de gehalten metalen) van het pyriet in de ondergrond in Nederland niet bekend is. Het risico op schadelijke neveneffecten is in het Zuidelijk zandgebied het hoogst, gevolgd door het Noordelijk zandgebied en het laagst in het Centraal zandgebied. Een hogere nitraatconcentratie in het bovenste grondwater leidt tot een hoger risico op schadelijke neveneffecten.

Vraag 3: Wat is de verwachte ontwikkeling van denitrificatie (capaciteit) in de tijd op gebiedsniveau? (geef minimaal aan toename, constant, afname en op welke termijn).

Door denitrificatie neemt de denitrificatiecapaciteit van de ondergrond af in de tijd. De afname is afhankelijk van de denitrificatiesnelheid. Op basis van bodemkarakteristieken (aanwezige organische stof en pyriet) is de denitrificatiecapaciteit geschat. De denitrificatiecapaciteit is voldoende om denitrificatie tientallen tot honderden jaren te laten voortduren. De denitrificatiecapaciteit is het hoogst in het Noordelijk zandgebied, gevolgd door het Zuidelijk zandgebied. De denitrificatiecapaciteit is het laagst in het Centrale zandgebied. De mate waarin de denitrificatiecapaciteit afneemt, is afhankelijk van de hoogte van de nitraatconcentratie. Bij een hogere nitraatconcentratie neemt de denitrificatiecapaciteit sneller af. Opgeloste organische stof kan vanaf maaiveld worden toegevoegd door bemesting of in de bodem worden gevormd binnen de organische stofkringloop. De rol van deze organische stof op de denitrificatie in het grondwater is nog onduidelijk. Mogelijk leidt deze organische stof tot extra denitrificatiecapaciteit in de ondergrond.

Vraag 4: Wat is de huidige stikstofbelasting door de landbouw van het oppervlaktewatersysteem op gebiedsniveau en welk deel hiervan is afkomstig van nitraat in het grondwater onder landbouwgronden in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel?

Voor alle zandsoorten (droog, matig nat, nat) is sprake van belasting van het oppervlaktewater door uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater. Een hogere nitraatconcentratie in het ondiepe grondwater leidt tot een hogere belasting van het oppervlaktewater bij alle zandgronden.

De huidige *stikstof*belasting van het oppervlaktewater bij de droge zandgronden is 25 kg/hectare per jaar. De belasting in de matig natte en natte zandgebieden is circa 38 kg/hectare per jaar. Bij droge en matig natte zandgronden wordt de stikstofbelasting vooral veroorzaakt door uitspoeling van nitraat. Bij natte zandgronden is naast nitraat tevens uitspoeling van ammonium en organische stikstof via het ondiepe grondwater relevant.

Het grootste gedeelte (circa 90%) van de stikstofbelasting wordt veroorzaakt door uitspoeling van grondwater uit de bovenste laag van het grondwater, tussen het maaiveld en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Bij alle zandsoorten komt ongeveer de helft van de belasting uit de laag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand, de andere helft komt uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand.

Van de huidige stikstofbelasting van het oppervlaktewater wordt bij droge zandgronden ongeveer 43% veroorzaakt door uitspoeling van nitraat via het grondwater tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Bij matig natte zandgronden is 47% van de totale stikstofbelasting afkomstig van nitraat in het grondwater tussen de grondwaterspiegel en 5 meter onder de grondwaterspiegel. Bij natte zandgronden is dit percentage 26%.

De huidige stikstofbelasting van het oppervlaktewater is op gebiedsniveau het hoogst in het Zuidelijk zandgebied (38 kg/hectare). De stikstofbelasting in het Centrale zandgebied is 34 kg/hectare. De stikstofbelasting in het Noordelijk zandgebied is met 28 kg/hectare het laagst.

In het Zuidelijk zandgebied wordt ongeveer 45% van de totale stikstofbelasting veroorzaakt door uitspoeling van nitraat uit de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. In het Centrale zandgebied wordt circa 34% veroorzaakt door uitspoeling van nitraat uit deze laag. In het Noordelijk zandgebied is dit percentage 38%.

Vraag 5: Wat is de huidige concentratie van stikstof in het grondwater op landbouwgronden dat direct uitspoelt naar het oppervlaktewater op gebiedsniveau en welk deel hiervan is afkomstig van nitraat in het grondwater onder landbouwgronden in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter minus grondwaterspiegel?

Bij de droge zandgronden is de berekende stikstofconcentratie het hoogst (21 mg/l, dit komt overeen met 93 mg/l nitraat), gevolgd door de matig natte zandgronden (15 mg/l, dit komt overeen met 66 mg/l nitraat). De concentratie in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater is het laagst bij natte zandgronden (7 mg/l, dit komt overeen met 31 mg/l nitraat).

De berekende stikstofconcentratie in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater is op gebiedsniveau het hoogst in het Zuidelijk zandgebied (14 mg/l, dit komt overeen met 62 mg/l nitraat). De stikstofconcentratie in het Centrale en Noordelijk zandgebied is circa 10 mg/l ofwel 44 mg/l nitraat.

Naast de stikstofconcentraties in het uitspoelende grondwater bepalen processen in de waterbodem, processen in het oppervlaktewater en de kwaliteit van het vanaf stroomopwaarts gelegen gebieden aangevoerde water de uiteindelijke stikstofconcentratie in het oppervlaktewater. De concentratie in het oppervlaktewater bij landbouwgronden kan met behulp van het huidige modelinstrumentarium niet worden vastgesteld.

De herkomst van de stikstof en nitraat in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater kan alleen worden bepaald op basis van vrachten en de waterbalans. Het deel van de stikstofconcentratie, afkomstig van nitraat uit het grondwater in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter onder de grondwaterspiegel, is daarom gelijk aan het deel van de stikstofbelasting, afkomstig van nitraat uit het grondwater in de laag tussen de grondwaterspiegel en 5 meter onder de grondwaterspiegel. De percentages hiervan zijn bij de vorige vraag weergegeven.

7.3 Slotconclusie

De ontwikkeling van nitraat met de diepte in het grondwater is onderzocht met modellen. Voor de modelberekeningen is een scenario gebruikt dat uitgaat van een constant bemestingsniveau in de toekomst, lager dan het huidige bemestingsniveau. Met het model is bij dit scenario de ontwikkeling van nitraat met de diepte onderzocht voor zowel de huidige situatie als voor de toekomst.

Het gebruikte scenario is een *mogelijke* situatie voor de toekomst. De werkelijke hoogte van de gebruiksnorm en de tijdstermijn waarop deze moet worden gerealiseerd zal afhangen van het gevoerde beleid. Over het te voeren beleid is nog geen besluit genomen. Afhankelijk van het beleid kan eerder of later een constant bemestingsniveau worden bereikt.

Voor een situatie met een constant bemestingsniveau is berekend dat voor alle zandsoorten, dus ook de droge, de concentratie afneemt met de diepte. De afname van de nitraatconcentratie is bij de droge zandgronden het kleinst, gevolgd door de matig natte zandgronden. De afname is het grootst bij de natte zandgronden.

De afname bij droge zandgronden ligt binnen een bandbreedte van 10 tot 39% en is gemiddeld 24%. De afname bij de matig natte zandgronden ligt tussen de 39 en 87%, gemiddeld 61%. De afname is het grootst bij de natte zandgronden (78- 98%) en is hier gemiddeld 88%.

De afname van de nitraatconcentratie is berekend tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Een vergelijking tussen de concentraties op deze 2 diepten geeft de *maximale* afname van de nitraatconcentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater weer. In het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) wordt het grondwater in de bovenste meter bemonsterd (de laag van 0 tot 1 meter onder de grondwaterspiegel). In voorgaande studies zijn de LMM-meetgegevens van het bovenste grondwater vergeleken met de meetgegevens in het grondwater op een diepte tussen 4 en 5 meter ten opzichte van de grondwaterspiegel. Deze vergelijking geeft, bij een constant bemestingsniveau, in principe een lagere afname.

In de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) is bij een constant bemestingsniveau sprake van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte. Verschillen tussen de gebieden zijn minder groot dan de verschillen tussen zandsoorten (droog, matig nat, nat). De spreiding in de afname binnen de gebieden is groot omdat binnen een gebied verschillende zandsoorten voorkomen. Onderlinge verschillen tussen de zandgebieden zijn kleiner dan de bandbreedte van de waarde binnen een gebied. Voor het inzicht in de processen in de bovenste 5 meter van het grondwater zijn de verschillen tussen de onderscheidde zandsoorten (droog, matig nat, nat) belangrijker dan de verschillen tussen de zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid).

In de huidige situatie is nog geen sprake van een constant bemestingsniveau. Voor droge gronden is berekend dat in de huidige situatie geen sprake is van een afname van nitraat met de diepte. Bij matig natte en natte zandgronden is wel sprake van een afname van nitraat met de diepte. De resultaten van de modelberekeningen, voor de huidige situatie, bevestigen eerdere resultaten van veldonderzoek (Fraters et al., 2006).

Bij eerder onderzoek (Broers et al., 2004) is geconcludeerd dat een verlaging van de toetsdiepte mogelijk is in infiltratiegebieden, indien denitrificatie significant is, er geen negatieve neveneffecten optreden en denitrificatie duurzaam is.

Uit het modelonderzoek blijkt dat bij alle zandgronden sprake is van denitrificatie. De denitrificatie is bij droge zandgronden lager dan bij matig natte en natte zandgronden. Het merendeel van de denitrificatie treedt op in de bovenste laag tussen het maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand. Deze denitrificatie wordt al meegenomen in de gemeten en berekende nitraatconcentraties voor de huidige (LMM-)toetsdiepte.

Door denitrificatie neemt de denitrificatiecapaciteit van de ondergrond af in de tijd. Geschat is dat de denitrificatiecapaciteit voldoende is om denitrificatie tientallen tot honderden jaren te laten voortduren. Bij een hogere nitraatconcentratie neemt de denitrificatiecapaciteit sneller af.

Door denitrificatie kunnen schadelijke neveneffecten optreden. De meest schadelijke neveneffecten voor het grondwater zijn de mobilisatie van de metalen arseen, koper en nikkel. De mate waarin neveneffecten optreden is moeilijk te kwantificeren. Het risico op schadelijke neveneffecten is in het Zuidelijk zandgebied het hoogst, gevolgd door het Noordelijk zandgebied en het laagst in het Centraal zandgebied. Een hogere nitraatconcentratie in het bovenste grondwater leidt tot een hoger risico op schadelijke neveneffecten.

Bij eerdere onderzoeken (Fraters et al., 2006; Broers et al., 2004) is een onderscheid gemaakt tussen gronden (infiltrerende of nitraatuitspoelingsgevoelige gronden) waar geen directe relatie tussen het ondiepe grondwater en het oppervlaktewater wordt verwacht en overige gronden (matig droge, matig natte, natte gronden) waar deze relatie wel wordt verwacht. In gebieden met een directe relatie tussen het bovenste grondwater en het oppervlaktewater levert het bovenste grondwater een belangrijke bijdrage aan de totstandkoming van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Voor de Kaderrichtlijn Water is naar verwachting juist de kwaliteit van het oppervlaktewater in dergelijke gebieden maatgevend voor de uiteindelijk verantwoorde bemestingsdruk (Broers et al., 2004).

Uit het modelonderzoek blijkt dat bij alle zandsoorten, dus ook de droge, sprake is van belasting van het oppervlaktewater door uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater. In een afweging voor de verlaging van de toetsdiepte is, ook bij droge zandgronden, de kwaliteit van het oppervlaktewater van belang. In de eerdere studies van Broers et al. (2004) en Fraters et al. (2006) werd voor droge gronden nog verondersteld dat er geen sprake is van uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater.

Nitraat wordt in de bodem afgebroken (denitrificatie). Bovendien spoelt nitraat uit via het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater en dieper gelegen grondwater. De nitraatverliesposten denitrificatie en uitspoeling zijn voor de bovenste 5 meter van het grondwater onderzocht. Bij droge zandgronden is, in laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand, gemiddeld gezien de uitspoeling van nitraat naar het diepere grondwater de belangrijkste verliespost van nitraat. Bij matig natte zandgronden is in deze laag gemiddeld de bijdrage van de verliesposten denitrificatie, uitspoeling naar oppervlaktewater, en uitspoeling naar dieper gelegen grondwater gelijk. Bij natte zandgronden is in deze laag de uitspoeling naar het oppervlaktewater de belangrijkste verliespost.

De lokale verschillen in denitrificatie en uitspoeling zijn groot. De bandbreedtes van de verliesposten denitrificatie en uitspoeling in de laag tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand zijn groter dan de onderlinge verschillen tussen deze verliesposten. Binnen zandsoorten (droog, matig nat, nat) en zandgebieden (Noord, Centraal, Zuid) zal de onderlinge verhouding tussen de verliesposten denitrificatie en uitspoeling naar het oppervlaktewater ruimtelijk sterk variëren. De grote variatie sluit aan bij eerdere bevindingen van Broers et al. (2004) en Fraters et al. (2006). Door de grote variatie is het niet mogelijk per zandsoort

(droog, matig nat, nat) of per gebied (Noord, Centraal, Zuid) eenduidig aan te geven waardoor de afname van nitraat met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater wordt veroorzaakt.

Bij matig natte zandgronden en natte zandgronden is sprake van verdunning op een diepte van 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. In droge zandgebieden is waarschijnlijk geen sprake van verdunning op deze diepte.

De belasting van het oppervlaktewater is bij droge zandgronden lager dan bij matig natte en natte zandgronden. Bij droge en matig natte zandgronden wordt de belasting vooral veroorzaakt door uitspoeling van nitraat. Bij natte zandgronden is naast nitraat tevens uitspoeling van ammonium en organische stikstof via het ondiepe grondwater relevant. Het grootste gedeelte van de oppervlaktewaterbelasting wordt veroorzaakt door uitspoeling van grondwater uit de bovenste laag van het grondwater, tussen het maaiveld en 5 meter onder de gemiddeld laagste grondwaterstand. Een hogere *nitraat*concentratie in de bovenste 5 meter van het grondwater leidt tot een hogere *stikstof*belasting van het oppervlaktewater bij alle zandsoorten.

Bij de droge zandgronden is de berekende stikstofconcentratie in het naar het oppervlaktewater uitspoelende grondwater het hoogst, gevolgd door de matig natte zandgronden. De concentratie in het grondwater dat uitspoelt naar het oppervlaktewater is het laagst bij natte zandgronden. Naast de stikstofconcentraties in het uitspoelende grondwater bepalen processen in de waterbodem, processen in het oppervlaktewater en de kwaliteit van het vanaf stroomopwaarts gelegen gebieden aangevoerde water de uiteindelijke stikstofconcentratie in het oppervlaktewater. De concentratie in het oppervlaktewater bij landbouwgronden kan met behulp van het huidige modelinstrumentarium niet worden vastgesteld.

Bij een constant bemestingsniveau, voorzien voor de toekomst, is bij alle zandsoorten (droog, matig nat, nat) sprake van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste 5 meter van het grondwater. Voor alle zandsoorten is sprake van denitrificatie en uitspoeling van het ondiepe grondwater naar het oppervlaktewater.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, H. Th. L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors, T. Kroon (2008) Actualisatie hydrologie voor STONE2.3. Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen. WOT-rapport 57.
- Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi en G.W.J. Krajenbrink (1989) Nitraatgehaltes en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM-rapport 728447013.
- Broers, H.P., J. Griffioen, W.J. Willems en B. Fraters (2004). Naar een andere toetsdiepte voor nitraat in grondwater? Achtergronddocument voor de Evaluatie Meststoffenwet 2004. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, Utrecht, TNO-rapport NITG 04-066-A.
- Dijk, W. van, J.R. Van der Schoot, A.M. Van Dam, L.J.M. Kater, F.J. de Ruijter, H. Reuler, A.A. Pronk, Th.G.L. Aendeckerk, Th.G.L en M.P. van der Maas (2005a) Onderbouwing N-gebruiksnormen akker- en tuinbouw. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, PPO-rapport 347.
- EU (1991). Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Official Journal of the European Communities, L375, 31/12/1991, 1-8.
- EU (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L327, 22/12/2000, 0001–0073.
- EU (2003). Draft guidelines for the monitoring required under the Nitrates Directive (91/676/EEC). Version 3, with annexes 1 through 3. European Commission, Directorate-General XI (Environment, Nuclear Safety and Civil Protection), Directorate D (Environment, Quality and Natural Resources).
- Fraters, B., L.J.M. Boumans, B.G. van Elzakker, L.F.L. Gast, J. Griffioen, G.T. Klaver, J.A. Nelemans, G.L. Velthof en H. Veld (2006). Een nieuwe toetsdiepte voor nitraat in grondwater? Eindrapport van het onderzoek naar de mogelijkheden voor een toetsdieptemeetnet. Rijksinstituut voor volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM-rapportnummer 680100005.
- Fraters, B., G. Velthof en H.P. Broers (2007) Andere mogelijkheden voor het toetsen van nitraat in grondwater aan de nitraatnorm? Notitie. Als bijlage bijgevoegd bij kamerbrief 28 385, nr. 94, Tweede Kamer, vergaderjaar 2007-2008, bestand BLG14132.
- Griffioen, J., G.M.C.M. Janssen, S. Jansen, R. Mutsaers en G.L. Velthof . A new compliance checking level for nitrate in groundwater. A field and laboratory campaign to collect geochemical data for the shallow subsurface below agricultural fields in the Central Netherlands. TNO Built Environment and Geosciences, Utrecht. Rapport in voorbereiding

- Groenendijk, P., L.V. Renaud, J. Roelsma, G. Janssen, S. Jansen, R. Heerdink, J. Griffioen, en B. van der Grift . Compliance Checking level of nitrate in groundwater. Investigations of lowering the depth to 5 m below the phreatic surface with a regional leaching model. Rapport in voorbereiding.
- Klijne, A. de, A.E.J. Hooijboer, D.W. Bakker, O.F. Schoumans, A. van den Ham (2007) Milieukwaliteit en nutriëntenbelasting. Achtergrondrapport van de Evaluatie Meststoffenwet 2007. RIVM-rapport 680130001.
- MNP (2002) MINAS en Milieu. Balans en Verkenning. Milieu en Natuurplanbureau RIVM, Bilthoven, RIVM-rapport 718201005.
- MNP (2004) Mineralen beter geregeld. Evaluatie van de werking van de Meststoffenwet 1998-2003. Milieu en Natuurplanbureau RIVM, Bilthoven, RIVM-rapportnummer 500031001.
- MNP (2007) Werking van de meststoffenwet 2006. Overgang van verliesnormenstelsel naar een gebruiksnormenstelsel: evaluatie van werking in verleden (1198-2005), heden (2006-2007) en toekomst (2008-2015), MNP-publicatie 500124001.
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. de Bode, W. van Dijk, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof en W.J. Willems (2004) Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Wageningen, Plant Research International, PRI-rapport 79.
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof, B. Fraters en W.J. Willems (2005) Limits to the use of manure and mineral fertilizer in grass and silage maize production in the Netherlands. Wageningen, Plant Research International, PRI-rapport 93.
- Tweede Kamer. Evaluatie van de Meststoffenwet. 2006. Brief van de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Kamerstuk 28 385, nr 79. 24 oktober 2006
- Tweede Kamer. Evaluatie van de Meststoffenwet. 2007a. Brief van de minister van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Kamerstuk 28 385, nr 94. 30 november 2007.
- Tweede Kamer. Evaluatie van de Meststoffenwet. 2007b. Brief van de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Kamerstuk 28 385, nr 104. 13 december 2007
- Tweede Kamer. Evaluatie van de Meststoffenwet. 2008a. Brief van de minister van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Kamerstuk 28 385, nr 115. 29 september 2008.
- Tweede Kamer. Evaluatie van de Meststoffenwet. 2008b. Brief van de minister van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Kamerstuk 28 385, nr 118. 8 oktober 2008.
- Willems, W. J., Beusen, A. H. W., Renaud, L. v., Luesink, H. H., Conijn, J. G., Born, G. J. van der, Kroes, J. G., Groenendijk, P., Schoumans, O. F., Weerd, H. van der. (2008) Verkenning milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid. Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007. MNP-rapport 500124007.

Zwart, M.H., A.E.J. Hooijboer, B. Fraters, M. Kotte, R.N.M. Duin, C.H.G. Daatselaar, C.S.M. Olsthoorn en J.N. Bosma (2008) Agricultural practice and water quality in the Netherlands in the 1992-2006 period. RIVM-rapport 680716003.

Bijlage 1

A REVIEW ON PAST AND ONGOING RESEARCH IN THE NETHERLANDS WITH REGARD TO THE COMPLIANCE CHECKING LEVEL OF NITRATE IN GROUNDWATER

REPORT

Introduction

In February 2008 the National Institute for Public Health and the Environment, RIVM, invited an international review committee, consisting of:

- Dr. Jean-Claude Germon, Research Director INRA Dijon, France
- Prof. Dr. Steve Jarvis, University of Exeter, United Kingdom
- Dr. Jens Stockmarr, Senior Advisor GEUS, Denmark
- Prof. Dr. ir. Oswald Van Cleemput, Ghent University, Belgium (Chairman)
- Prof. Dr. Kristine Walraevens, Ghent University, Belgium
- Dr. Frank Wendland, Forschungszentrum Juelich, Germany

to examine the scientific background of previous and currently conducted research on the behaviour of nitrate in groundwater below farmland, carried out by Wageningen University and Research Centre, Deltares /TNO and the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).

Mariëlle van Vliet, (Royal Haskoning, The Netherlands) was secretary to the review committee.

On April 29, 2008 the international review committee members received all background documents and were asked to provide, before June 1, 2008, individually and independently a scientific answer to a number of research questions (Annex A) related to the documents provided. These first, independent, responses of the members of the committee were synthesized (Annex B) and presented to the members of the review meeting.

The international review committee met with the research teams on June 11-12, 2008 at Bilderberg Hotel “de Klepperman” in Hoevelaken, to discuss the research conducted and described in the following project reports:

- Broers, H.P., Griffioen, J., Willems, W.J., Fraters, B. (2004). Should the test depth for nitrate in groundwater be changed? Background document for evaluation of the 2004 Fertilizer Act. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen, Utrecht, TNO-rapport NITG 04-066-A.
- Fraters, B. Boumans, L.J.M., Van Elzakker, B.G., Gast, L.F.L., Griffioen, J., Klaver, G.T., Nelemans, J.A., Velthof, G.L., Veld, H. (2006). A new compliance checking level for nitrate in groundwater? Final report of the Feasibility study on monitoring the upper 5 metres of groundwater, RIVM, report 680100005/2006.

In addition, the following ongoing projects were discussed:

- Investigation of groundwater and sediment characteristics for shallow subsurface, Deltares/TNO.
- Modelling nitrate in groundwater with emphasis on a compliance checking level including field study, Wageningen University and Research Centre.

The members of the international review committee appreciated the efforts of the research teams in producing written and oral presentations of high quality and clarity.

The reports and the presentations provided the means for a complete and stimulating discussion on the important and difficult issue of lowering the compliance checking level for nitrate in groundwater.

Review conclusions

The objectives of the review were to determine if:

- the research was fit to provide answers to the research questions as listed in Annex A,
- the questions posed were adequately answered, and
- the conclusions were supported by the scientific data provided.

With regard to the past research, the review committee arrived at the following conclusions, based on scientific considerations:

- The reports give robust and scientifically based answers and come to sound conclusions.
- The design of the studies was appropriate for the problems as defined.
- The question of the most appropriate depth for sampling was examined very carefully.
- The questions with regard to the requirements of sampling for water quality have been answered within the framework of the projects.
- The review committee supports the distinction that was made between the dry soils as compared with the neutral and wet soils.
 - For the dry soils, no decrease in nitrate concentration was observed in the first 5 metres below the water table. Therefore the option for lowering the compliance checking level is not relevant.
 - In the neutral and wet soils, a decrease in nitrate concentration in groundwater was observed with increasing depth. However, these soils are drained, which will directly lead to nitrate inputs into surface water. In order to limit this, the review committee supports the conclusions of the research teams that the option of lowering the compliance checking level is not justified.
- The review committee is convinced that additional measuring efforts will not lead to different conclusions. However, the review committee sees opportunities for further research to improve confidence in, and knowledge of, the fate of nitrate.
- The review committee supports the conclusions of the above reports that, given Dutch conditions, the present compliance checking level provides direct feedback mechanisms for fertilizer use standards and land management.
- As well as the direct effects of nitrate pollution, the possible problems of undesirable side-effects may be very important. The review committee agrees that attributing concentrations of sulphate, nickel, arsenic etc. to side-effects of denitrification will always be difficult.

With regard to the ongoing field and model studies, the review committee came to the following conclusions:

- The research approach provides a scientifically sound means of providing answers to the overall research questions, given the current results and the proposed follow up.
- The STONE model has high potential and versatility. The first results as demonstrated to the review committee are promising. However, the review committee suggests that there may be some refinements that will help its future development:
 - The presentation of the preliminary results should be rearranged to improve and clarify the outcome of the model.

- The review committee was not clear to what extent the hydrodynamic status of the simulated sediment column is taken into account (e.g. lateral inflow, lateral outflow: flow distance to surface waters, residence time, denitrification along lateral flow paths, etc.).
- The review committee was satisfied with the extent and scope of the field studies and considered the preliminary results to be very promising.
- With the available information the review committee was unable to judge whether some of the specific research questions as listed in Annex A (appendix 3) will provide definitive answers.

The review committee believes that the new information provided by both ongoing model and field studies does not change the conclusions of the previous studies (Broers et al., 2004 and Fraters et al., 2006) that there are no scientific arguments for lowering the compliance checking level.

Recommendations

1. For the requirements of the Nitrate Directive the review committee did not find scientific arguments to change the current compliance checking level.
2. In view of the requirements of the Water Framework Directive and Groundwater Directive for assessing the chemical status of waters, the review committee recommends a hydrogeological/hydrogeochemical mapping with respect to nitrate reduction capacity and depths. Therefore all groundwater monitoring network data including nationwide available 'geodata' should be used to delineate spatial 'geotop regions' to indicate where and at what depth denitrification occurs. The ongoing research is contributing to the above.
3. The review committee recommends that the STONE model should be further developed to aid the prediction of surface water quality and assess ecological status, as required by the Water Framework Directive.

June 17, 2008

ANNEX A

LIST OF QUESTIONS

Appendix 1: Research questions and conclusions from Broers et al (2004)

Appendix 1.1 Research questions and conclusions

General Review Question: Does the set-up of the study fit to the problem definition?

Sub-question 1: Is it possible to identify with a sufficient degree of accuracy areas where denitrification without adverse side-effects occurs?

Conclusion: It appears clearly from chapter 3 that it is possible to detect and quantify denitrification on a measuring-location scale. The situation is however quite different on a regional or sub-regional scale. The spatial delimitation of regions where denitrification occurs demands a great deal of cartographic and measuring effort.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 2: And if so (continuing question 1), at what depths should measurements be carried out as a basis for such identification?

Conclusion: If the compliance checking levels are increased in selected areas, it would be advisable to keep them in line with the measurement depths currently used in the national and provincial measurement networks. In view of the distribution of travel times found in Dutch infiltration zones, it would be preferable not to choose the compliance checking level at more than 10 metres under ground level, a depth at which the measured concentrations relate to water than entered the soil about 10-15 years before.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 3: What are the pros and cons of increasing the compliance checking level?

Conclusions about pros and cons:

The main disadvantage of increasing the test depth to e.g. 10 metres is that it precludes fast feedback between measuring data and fertilizer consumption. In other words, there is then no direct relation between the nitrate concentration at this depth and the loss standard or use standard used in previous years. If fast feedback is required, which is considered necessary for the monitoring objective of the setting of fertilizer use standards, then increasing the test depth is not an option.

For other monitoring objectives, including the evaluation of effects of fertilizer and manure practice on the environment, an increase of the evaluation depth is not to be recommended in well drained areas, because the shallow groundwater has an important influence on surface-water quality.

In areas where there is no direct relationship between surface-water quality and groundwater quality, monitoring of the groundwater at depths of 10 and 25 m should be acceptable. For these situations:

- *Steps would also have to be taken to show with a sufficient degree of reliability that denitrification:*
 - *is a relevant process in the area in question;*
 - *has no adverse effects;*

- *is sustainable.*
- *The extent to which a direct link exists between groundwater and surface-water quality in these areas of leachable soils should also be investigated.*
- *A test methodology taking spatial variations in age build-up and denitrification capacity into account needs to be worked out.*

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Appendix. 1.2 Question about the specific study ‘current knowledge of the behavior of nitrate’

1. Gives Chapter 3 a correct description of the ‘current’ knowledge of the behavior of nitrate in the subsoil (in the time of the study at 2004)?

Appendix 2: Research questions and conclusions from Fraters et al (2006)

Appendix 2.1 Research questions and conclusions

General Review Question: Does the set-up of the study fit to the problem definition?

Sub-question 1: Does the nitrate concentration decrease with depth in agricultural lands in the sandy regions? If so, what is the extent of this decrease and are there differences between regions?

Conclusion: There is no indication that nitrate levels decrease with depth in the dry sand regions (see for example figure S1). Data from studies performed in 2004 and 2005 support this conclusion. In a number of wells (mainly in dry sand) the nitrate concentration increased with depth. In the neutral and the wet sandy regions, the nitrate concentration did decrease on average within the first 5 metres of the groundwater column. The extent of the decrease varied between 15 and 40 % in the neutral areas and between 30 and 100% in the wet areas.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 2: If the nitrate concentration decreases within the upper 5 metres, can this be attributed to denitrification, or are there other causes for this decrease?

Conclusion: In neutral and wet sandy soils, the nitrate concentration does drop between the first and fifth metre of the groundwater column. This decrease is probably partly due to denitrification. However, we expect that a number of other causes also contribute to this decline, such as hydrological aspects (interfering soil layers), regional upward seepage from underlying water layers, and drainage of part of the precipitation surplus to nearby surface waters.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 3: If denitrification occurs, to what extent does this process lead to adverse environmental effects such as an increase in the levels of sulphate or heavy metals, or increasing hardness of the water?

Conclusion: It was not possible to quantify the increase in other substances as a result of denitrification. Because of the heterogeneity of the subsoils in the Dutch sandy regions, there is

considerable spatial variation in the rate of denitrification and in the effects that denitrification has on other aspects of groundwater quality.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 4: In the clay and peat regions, lowering the compliance checking level in order to be able to apply less strict application standards would lead to insufficient reduction of the nitrate load to surface waters. To what extent does this apply to the sandy soil areas?

Conclusion: If the compliance checking level for sandy soils is lowered then concentrations exceeding 50 mg l⁻¹ will be accepted in the first meter. This implies allowing higher concentrations in the drain water. This will lead to nitrate concentrations in tile drain water exceeding 11.3 mg l⁻¹ nitrogen (the objective used to support the derogation). Surface water concentrations may be three or four times as high as the target value of 2.2 mg l⁻¹ nitrogen.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 5: ‘Regardless of how complex, is it feasible to measure the nitrate concentration at a depth of 5 metres in the saturated zone, or can the average nitrate concentration in the first 5 metres be determined?’

Conclusion: If the compliance checking level is lowered, monitoring data on nitrate will also be needed to check compliance. It is possible to routinely measure nitrate concentrations at a number of depths in the first 5 metres of the saturated zone. Such measurements cost more than those in the top level of groundwater.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 6: Regardless of how complex, is it feasible to measure the extent to which denitrification occurs, whether it is sustainable, and whether the process produces undesirable by-products?

Conclusion: It is not feasible to measure the extent to which denitrification occurs, the sustainability or whether undesirable by-products (e.g. sulphates, heavy metals) result using routine measurements such as those used in monitoring programs or networks. Using a combination of existing non-routine methods it is possible to determine the extent of denitrification and the presence of undesirable by-products at specific locations. One unavoidable uncertainty is that other soil processes may produce the same undesirable compounds, so that the extent to which denitrification leads to a deterioration in groundwater quality cannot be accurately established.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Sub-question 7: Regardless of how complex, is it feasible to measure whether the groundwater at 5 metres depth has the same origins (infiltrated at the same place) as the groundwater in the first metre?

Conclusion: It is not feasible to measure whether groundwater at 5 metres depth has the same origins as groundwater in the first metre, or at least not using routine measurements in a monitoring program or network. By using a combination of methods currently not used in routine programs it is possible to determine whether groundwater at 5 metres depth infiltrated at the same place as groundwater in the upper metre of groundwater.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Appendix. 2.2 Specific questions for the field and laboratory studies

1. A field study at the LMG multi-screen wells was carried out by RIVM in December 2004. Samples were taken to obtain additional information on the development of the nitrate concentration with depth (see chapter 2).
 - Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions?

2. Chapter 3 describes the water quality study on farms. The objective of this field study was to examine the change in the nitrate concentration in the upper 5 metres of the groundwater using measurements taken in the plot.
 - Does the set-up of the study fit the objective?
 - Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions?

3. The objective of the considered field study (see chapter 4) was to test methods for sampling the upper 5 metres of groundwater under field conditions and to compare the methods with one another in terms of the technical aspects of the implementation and the quality.
 - Does the set-up of the study fit the objective?
 - Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions about technical aspects as well as quality aspects?

4. Soil samples were also taken for the denitrification study. The potential denitrification was determined by Alterra (see chapter 5).
 - Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions about potential denitrification?

5. Chapter 6 describes the study about the presence of reactive components in the soil as a factor in the denitrification of nitrate (by TNO).
 - Does the set-up of the study fit the objective?
 - Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions?

Appendix 3: Research questions from current denitrification study

General question:

Is the research method scientifically sound for answering research questions, given current results and proposed follow up?

Question 1: What is the average regional change of the nitrate concentration in groundwater between groundwater surface and 5 metres below groundwater surface for agriculture areas with a constant level of fertilization?

Regionals are specified as North, Middle and South sand areas distinguished by different water table classes (dry sand, medium dry sand and wet sand).

Please indicate:

- a. which part of the change is due to denitrification?

- b. which part of the change is due to hydrological phenomena (seepage, dilution)
- c. the average decrease and the uncertainty in the decrease

Question 2: On the scale of areas, what are the expected side-effects of denitrification? Indicate the expected change in concentration for heavy metals, sulphate and increase of hardness of water. Furthermore specify the uncertainty in the change.

Question 3: What is the expected regional development of denitrification capacity in time? (Indicate at least increase, steady state or decrease and the time frame?)

Question 4: Specify the present nitrogen load to surface waters caused by agriculture activities on regional scale? What percentage originates from nitrate in groundwater (beneath agricultural areas) at a depth between the groundwater table and 5 metres below groundwater table?

Question 5: What is the present nitrogen concentration in groundwater beneath agricultural areas leaching directly to surface waters? What percentage originates from nitrate in groundwater at a depth between groundwater table and 5 metres below groundwater table on agricultural lands?

ANNEX B

MAIN LINES OF ANSWERS TO THE QUESTIONS (summarized)

Broers et al. (2004):

- Report gives scientifically based answers and comes to sound conclusions.
- Question of the most appropriate depth for sampling is reviewed very carefully.
- Answers with regard to requirements of water quality sampling have been answered within framework of the project.
- Identification of delimitations of regions (nitrate-reducing areas) is possible. Discussion about:
 - A lot of effort need?
 - Comparable general characteristics?
 - Bigger the scale, the more difficult?
- Prefer compliance checking level not deeper than 10 m under ground level.
- If fast feedback is required, which is considered necessary for the monitoring objective of the setting of fertilizer use standards, then increasing the test depth is not an option.
- For other monitoring objectives an increase of the evaluation depth is not to be recommended in well drained areas, because the shallow groundwater has an important influence on surface-water quality.
- Chapter 3 gives a correct description of the 'current' knowledge of the behaviour of nitrate in the subsoil
- Question(s) from reviewer(s):
 - Is it really efficient and necessary to develop a test methodology, which takes spatial variations in age build-up and DN capacity in account?
 - The assumption here, and in the other report, is that piston type flow predominates and this is probably the case but even in the situation of very well drained soils, some bypass flow sometimes occurs. Has this ever been examined in these soils by using tracers etc?

Fraters et al. (2006):

- The set-up of the study fits to the problem definition.
- Reviewers support the conclusions within the constraints of the resources.
- It would always be possible to do more with more resources.
- To attribute concentrations of substances of the undesirable effects of denitrification will always be doubtful and displays a lot of uncertainty.
- Tracers and models can give more information.
- Number of data (various opinions):
 - Don't expect a better result with more data
 - The number of multilevel wells and farms is too few to be generalized for all sandy soil types occurring in the Netherlands.
 - Data collection throughout the profile will certainly give better results than only 5 metres (cost benefits analysis)

Bijlage 2

A REVIEW ON A FIELD/LABORATORY AND A MODELLING STUDY IN THE NETHERLANDS WITH REGARD TO THE COMPLIANCE CHECKING LEVEL OF NITRATE IN GROUNDWATER

REPORT

Introduction

On June 17, 2008, an international review committee submitted a report entitled “A review on past and ongoing research in the Netherlands with regard to the compliance checking level of nitrate in groundwater”. As a follow up to this report, the National Institute for Public Health and the Environment, RIVM, invited the same international review committee to scientifically review two additional project reports.

The international review committee consisted of:

- Dr. Jean-Claude Germon, Research Director, INRA, Dijon, France
- Prof. Dr. Steve Jarvis, University of Exeter, United Kingdom
- Dr. Jens Stockmarr, Senior Advisor GEUS, Denmark
- Prof. Dr. ir. Oswald Van Cleemput, Ghent University, Belgium (Chairman)
- Prof. Dr. Kristine Walraevens, Ghent University, Belgium
- Dr. Frank Wendland, Forschungszentrum Juelich, Germany

Mariëlle van Vliet, (Royal Haskoning, The Netherlands) was secretary to the review committee.

Respectively, on August 15 and on September 26, 2008, the following reports were received by the international review committee members:

- J. Griffioen et al. (2008). A new compliance checking level for nitrate in groundwater. A field and laboratory campaign to collect geochemical data for the shallow subsurface below agricultural fields in the Central Netherlands.
- P. Groenendijk et al (2008). Compliance checking level of nitrate in groundwater. Modelling nitrate leaching and the fate of nitrogen in the upper 5 meters of the groundwater system.

The international review committee members were asked to provide, before October 12, 2008, individually and independently a scientific answer to a number of research questions (Annex A) related to the reports provided. These independent responses/comments of the members of the committee were first synthesized (Annex B) and subsequently a draft report was prepared and sent on October 20, 2008 for review and agreement by the international review committee. The report was finalized on October 23, 2008.

Review conclusions

The international review committee was asked to answer the following general questions for both reports:

- Does the set-up of the study fit the defined problem?
- Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

In addition, the following specific questions for the field/laboratory study as well as for the model study were asked :

- Does the set-up of the study fit the objective?
- Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions?

As a follow up to the first report (June 17, 2008), the following questions were asked and answered:

- With regard to the field and model study, are the results presented in such a way that the outcome is sufficiently clear?
- With regard to the results of the field and model study is it clear to what extent the hydrodynamic status of the simulated sediment column is taken into account?

Finally, with regard to the conclusions of the review on past and ongoing research in the Netherlands with regard to the compliance checking level of nitrate in groundwater (June 17, 2008) the following question was posed and answered:

- Do the results of the currently conducted study change the conclusions of the review performed in June 2008 as presented in report?

The international review committee members focussed on the soundness of the methodologies used, the results obtained, the relevant discussion and the conclusions. Their comments can be summarized as follows:

- In general, the set-up of the field/laboratory study was fitted to the problem definition and comes to acceptable conclusions. As the emphasis was put on potential denitrification, it must, however, be remembered that the level of confidence in the conclusions can be improved by field measurements on real, actual denitrification and comparison with potential denitrification.
- In general, the set-up of the model study fits the problem definition and comes to acceptable, indicative conclusions. The committee considers that the information on the model provided in the report is, understandably, somewhat limited in order to cover all aspects of the subject area. Therefore, some caution is required before definitive conclusions are drawn. In addition, the amount of data might be too restricted to come to statistically significant conclusions. Nevertheless, the results can be considered as reliable and acceptable, given the present state of current evidence and knowledge.
- The review committee supports the qualitative conclusions with regard to the expected side-effects of denitrification. Quantitative information could be obtained with better knowledge on the composition of pyrite in Dutch aquifer sediments. Quantification of the uncertainty could be improved.
- The review committee agrees with the indicated wide range for the period of potential impact (from decades to hundreds of years) and supports the fact that the issue of regional development of denitrification capacity in time is not fully resolved.
- With regard to the present nitrogen load to surface waters caused by agricultural activities on regional scale, the review committee supports the data provided for the different groundwater classes and the three main sand districts.

- The review committee agrees that the research question on nitrate leaching directly to surface waters and the percentage of nitrate in groundwater at a depth between groundwater table and 5 meters below groundwater table on agricultural lands has been answered. The review committee agrees with the broad conclusions of the reports.
- With reference to the conclusions on the field/laboratory and model study of the first report (June 17, 2008), the international review committee found that clarifications and necessary additional information was required. These are described above.

The review committee believes that with the new information provided by both the field/laboratory (Griffioen et al., 2008) and model (Groenendijk et al., 2008) studies no elements are provided to change the conclusions of the previous studies (Broers et al., 2004 and Fraters et al., 2006).

October 23, 2008

ANNEX A LIST OF QUESTIONS

Appendix 3: Research questions from current denitrification study

Please give an answer on following general questions for both reports:

- Does the set-up of the study fit the problem definition?
- Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Please give an answer on sub questions for field and laboratory studies:

- Does the set-up of the study fit the objective?
- Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions?

We will ask you to focus on the problem definitions, the methods and the conclusions. We like to hear from you your opinion about the final conclusions. We ask you especially to give the foundations of your arguments, critical comments on the reports and improved suggestions.

Appendix 3.1 Research questions and conclusions

General Review Question: Does the set-up of the study fit to the problem definition?

Question 1: What is the average regional change of the nitrate concentration in groundwater between groundwater surface and 5 metres below groundwater surface for agriculture areas with a constant level of fertilization?

Regionals are specified as North, Middle and South sand areas distinguished by different water table classes (dry sand, medium dry sand and wet sand).

Please indicate:

- d. which part of the change is due to denitrification?
- e. which part of the change is due to hydrological phenomena (seepage, dilution)
- f. the average decrease and the uncertainty in the decrease

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Question 2: On the scale of areas, what are the expected side-effects of denitrification? Indicate the expected change in concentration for heavy metals, sulphate and increase of hardness of water. Furthermore specify the uncertainty in the change.

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Question 3: What is the expected regional development of denitrification capacity in time? (Indicate at least increase, steady state or decrease and the time frame?)

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Question 4: Specify the present nitrogen load to surface waters caused by agriculture activities on regional scale? What percentage originates from nitrate in groundwater (beneath agricultural areas) at a depth between the groundwater table and 5 metres below groundwater table?

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Question 5: What is the present nitrogen concentration in groundwater beneath agricultural areas leaching directly to surface waters? What percentage originates from nitrate in groundwater at a depth between groundwater table and 5 metres below groundwater table on agricultural lands?

Review question: Is the research question answered and do you support the conclusion(s)?

Appendix. 3.2 Specific questions for the field/laboratory and model studies

1. Field/laboratory report “Compliance checking level of nitrate in groundwater, geochemical campaign in the Central Netherlands on reduction capacity of the shallow subsurface” (*concept title*).
 - a. Does the set-up of the field/laboratory study fit the objective?
 - b. Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions?
2. Model study “Compliance checking level of nitrate in groundwater, Investigations of lowering the depth to 5 m below the phreatic surface with a regional leaching model” (*concept title*).
 - a. Does the set-up of the model study fit the objective?
 - b. Are sufficient data available and are the data reliable enough to substantiate the conclusions?

Appendix. 3.3 Specific questions for the outcome of the review “a review on past and ongoing research in the Netherlands with regard to the compliance checking level of nitrate in groundwater (June 11-12, 2008)”

3. With regard to the ongoing field and model studies, the review committee suggest in their review report (June, 2008) that there may be some refinements that will help its future development:
 - o The presentation of the preliminary results should be rearranged to improve and clarify the outcome of the model.
 - o The review committee was not clear to what extent the hydrodynamic status of the simulated sediment column is taken into account (e.g. lateral inflow, lateral outflow: flow distance to surface waters, residence time, denitrification along lateral flow paths, etc.).
 - a. With regard to the field and model study, are results presented in such a way that the outcome is sufficiently clear?
 - b. With regard to the results of the field and model study is it clear to what extent the hydrodynamic status of the simulated sediment column is taken into account?
4. With regard to the conclusions of the review on past and ongoing research in the Netherlands with regard to the compliance checking level of nitrate in groundwater (June 2008):
 - a. Do the results of the currently conducted study change the conclusions of the review performed in June 2008 as presented in report?

ANNEX B

MAIN LINES OF ANSWERS TO THE QUESTIONS (summarized)

Griffioen J. et al. (2008):

- The set-up of the study fit the objective, but
 - o One of the reviewers said that to his opinion the set-up not fully fit the objective, because the potential reduction capacity is described, but not actual denitrification.
- The report gives clear answers to the important questions and comes to sound conclusions.
- Study demonstrates clearly on a representative series of subsoil profiles:
 - o i) the variability of nitrate concentrations with the depth, with low levels in 11 profiles and higher and more variable concentrations in 9 others;
 - o ii) the potential capacity of denitrification in all profiles, suggesting that denitrification can explain some nitrate profiles ;
 - o iii) However there is no relation between the potential denitrification and the change nitrate concentration in the whole profiles.
- Available data, two opinions were forthcoming from the committee:
 - o There are enough data available. They are not convinced that more data can improve the conclusions.
 - o Data are reliable and the conclusions are probably correct. However, the number of wells is too small to give statistically significant answers on the reduction in the Central sand district.
- The authors have evaluated all data available and have collected additional necessary information for the Central Sands area. Although it is always better to have even more data, in general, enough reliable data were brought together to substantiate the conclusions.
- Although there is some criticism of the lab methodology, there is no better alternative at this moment. The used method is internationally accepted.
- The lab and field study has been well conducted. It is however a notoriously difficult area to provide definitive answers for and that must be taken into account. Two points are mentioned:
 - o Local variation may in some circumstances very large. More detail of the sampling sites would help gain an insight into the variation.
 - o The results are only a snapshot of time. There are two transitory entities: nitrate and energy source. What you get at the time of sampling is the product of their interaction at that particular time and may not necessarily give an indication of cause and effect or not, and therefore correlations need to be treated with extreme caution. But it is probably still the best that can be done at this time.
- One of the reviewers has his doubts in how far these heterogeneous results can be used for the calibration of a process based model such as STONE.
- Remark(s):
 - o This work concerning the potential denitrifying capacity is interesting. However this work does not allow us to evaluate the actual denitrification in profiles. Denitrifying rate in soil and subsoil is limited by several factors, and more particularly by energy sources, nitrate concentrations, aerobic conditions, temperature... In order to have a better idea on the occurrence and intensity of denitrification in subsoil conditions, it would have been interesting to have measurements on real denitrifying activity on representative subsoil samples in experimental conditions as close as possible of field conditions. If the main question is "how much nitrate is eliminated by denitrification in subsoil profiles?" this question is not answered with the present work.
- Question(s) from the reviewer(s):

- Griffioen et al (2008) discovered that there is no relationship between the amount of soluble organic carbon and the potential denitrification. This is not considered in Groenendijk et al (2008), where the organic matter contents are explicitly used to calibrate the STONE model.

Groenendijk et al (2008):

- The set-up of the model study fits the objective.
- On the whole the set up of the study is in good accordance with the problem definition. However, this study is essentially based on a modelling approach: some important outputs of the model need to be validated by experimental data (see the following question).
- Available data:
 - As far as I can evaluate, the authors have used all available data.
 - As written in the report, the ‘amount of data will still be too little for statistically based calibration procedures’. So, in my opinion the data are reliable, but the data are too few to indicate that the results are statistically significant.
- I have confidence in the presented results. The degree of precision of the calculated data might be variable, but I have the impression that the overall conclusions will not importantly change upon changing the model parameters.
- The modelling study looks to have been based on sound sub-models which have been used previously to good effect in Dutch and other circumstances.
- I do agree with author’s conclusion that the regional validation seems to inspire confidence in the model for further analysis.
- Remark(s) of the reviewers:
 - A more elaborate discussion on the STONE database, how it was compiled, the results of the up scaling and its deviations compared to the actual field situation would have been helpful for understanding the limitations of the model.
 - A major drawback of the model is related to its being one dimensional, whereby lateral inflow is neglected and substituted by an upward flow component, which is assumed to be nitrate-free. This is a doubtful assumption, as the lateral inflow may well contain a certain nitrate concentration. The authors are aware of the limitation, and have mentioned it at several places in the text. The effects of this assumption, in terms of the calibration of the model, are difficult to assess. However, in view of the enormous task (regional evaluation of a problem which is very much dependent on local conditions), this assumption may probably be accepted, as it seems difficult to deal with the problem in a more precise and practical way.
 - The set-up of the model study is a necessary step to forecast N evolution in soil and subsoil and to define a strategy of N management in agriculture in order to reduce N leaching to underground and surface water. In my opinion, such a model giving data on different N fluxes (Leaching to surface water, underground water, denitrification, ...) has to be validated for these different types of N fluxes. In particular the denitrification data given in this report are an important part of nitrogen balance and can have important consequences in term of N management. Such values have to be based on experimental data on denitrification estimation in field conditions or in conditions close to the field conditions. In my opinion, it is necessary to have data on real denitrification rates and not only on potential denitrification rates.
- Questions:
 - On how many data for greater depths has the STONE model been based?
 - How representative is it for true conditions at a regional scale? The lack of correspondence of the (regional) STONE model results with the data from the field scale validation study, clearly demonstrates that the model results are not valid at a local scale and should not be downscaled.

Appendix 3.1 Research questions and conclusions

question 1.

- Yes, the different research questions are answered and I support the conclusions.
- Yes, I support the conclusions of the report, but the team is correct in stating that an unambiguous explanation of NO₃ concentration cannot be given.
- Partly yes. I have some reserves, related to the disregarding of lateral inflow in the model. But I am satisfied with the approach.
- I support the conclusion indicating that “denitrification is expected to occur in all sandy soils” and that “the majority of the denitrification occurs in the active top soils above the MLG level”.

However, from the data given in appendix 11, the average weighed denitrification is 120 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ in the present time and would be ca 80 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ on 2031-2040; 75 to 80 % of this nitrogen would be denitrified between the soil surface and MLG. These values are apparently estimated from the STONE model applications. These values are very important and have to be based on serious experimental data. In other words I can not support the conclusion of such important denitrification activity in natural conditions without experimental measurements.

- Recommendation:
 - o The authors conclude that there is a decrease of nitrate concentrations between MLG and 5 m lower of 88 % in wet soils. But what is this due to? It is interesting to make the comparison of the modelled percentage of dilution, caused by upward seepage, with an assumed nitrate concentration of 0 mg/l: for wet soils, this is 81 %! In reality, water added from a lateral flow component, may well still contain nitrates.

question 2.

- The research question is answered and I do support the conclusions.
 - o Of course very much is linked to the composition of pyrite.
 - o Again these are the best that can be achieved with current evidence and knowledge. It is difficult to provide concrete answers for all circumstances.
- A qualitative answer is given, to which I agree. I also agree with the authors, that the side-effects cannot be quantified due to unknown composition of the pyrite in Dutch aquifer sediments.
- Recommendation:
 - o The research team could attempt to define the uncertainty more precisely even though it might be very large.

question 3.

- I agree with the authors' answer.
- I agree with the conclusions of the report and with the statements made that the issues are not fully resolved.
- I can agree with the answer to the question. There is quite a big range. A rather difficult point seems to be the organic matter. I think more emphasis should be put on the reactivity of the organic matter. Apparently there is no direct link between the soluble organic carbon and potential denitrification (Griffioen study).
- The answers given by authors are not really conclusive:
 - o They are right to mention successively the distinction between “denitrification capacity” and “denitrification rate” and between “actual denitrification” and “potential denitrification”.
 - o I support the conclusion on sustainability of the denitrification capacity which can be evaluated from decades to hundreds of years.
 - o However, the other conclusion mentioning that “the actual denitrification rate depends on the nitrate concentration and the potential denitrification rate” is correct but incomplete: denitrification in soil and subsoil depends on the actual denitrification rate

and this actual denitrification rate depends on the potential denitrification rate and many other limiting factors.

question 4.

- The research question is not yet fully addressed.
- I can agree with the obtained data.
- I think that I that the research question is answered and that I can agree with the authors' answers. But because of the lack of clarities in the report, it is difficult to evaluate the answer on this research question.
- The research question on N transport to surface water is dealt with in the model study.

question 5.

- Yes, the review question is answered and we support the conclusions.
- No problem with the obtained results.
- I support globally the conclusions drawn from the model study, demonstrating a water content effect and a regional effect.

Appendix 3.3 Specific questions for the outcome of the review

3. *With regard to the ongoing field and model studies, the review committee suggest in their review report (June, 2008) that there may be some refinements that will help its future development:*

a. *With regard to the field and model study, are results presented in such a way that the outcome is sufficiently clear?*

- Yes, I think so. The main body of the report is clear and well expressed and there is much additional information contained in the appendices.
- For me it is OK, but I like to rely on the members knowing more about modelling and hydrology.
- The report on the field study is clear. A major problem in evaluating the report on the model study was its lack of clarity, which is partly due to its being unfinished:
 - o Textual remarks (e.g. summary, reading guide)
 - o The text should be much more elaborate and clear on the modelling concept.
 - o How the calibration of the STONE model on potential denitrification data was actually performed.
 - o Discussion on the reactivity of organic matter is incomplete and unclear.
 - o It is not sufficient just to refer to the appendices (the contents of which are often crucial); a summary and the extended conclusions should at least be given.

b. *With regard to the results of the field and model study is it clear to what extent the hydrodynamic status of the simulated sediment column is taken into account?*

- I am not well qualified to answer this but as best as I can judge I think the report takes this question as far as it can under the present circumstances and with the present resources available to investigate the problem.

- For me it is OK, but I have to rely on those committee members knowing more about modelling and hydrology.
 - This is partly dealt with in the report. But an explanation on how the distribution of fluxes between lateral flow and deeper percolation in the saturated zone is obtained in the model is missing.
4. *With regard to the conclusions of the review on past and ongoing research in the Netherlands with regard to the compliance checking level of nitrate in groundwater (June 2008):*
- a. *Do the results of the currently conducted study change the conclusions of the review performed in June 2008 as presented in report?*
- No,
 - o The same conclusions remain valid.
 - o I see no reason to change the earlier formulated conclusions.
 - o There are still no scientific arguments for lowering the compliance checking level.
 - o I do not believe so.
 - o In my opinion, the present work does not change the previous conclusion given in June : “there are no scientific arguments for lowering the compliance checking level”

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl