



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Het verloop van de

Het verloop van de nitraatconcentratie van het grondwater;
achtergrondrapport nitraatdieptemetnet

nitraat-

Resultaten van metingen bij LMG- en N-putten

concentratie



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Het verloop van de nitraatconcentratie van het grondwater; achtergrondrapport Nitraatdieptemetnet

Resultaten van metingen bij LMG- en N-putten

RIVM Rapport 680717015/2011

Colofon

© RIVM 2011

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'.

M.E. van Vliet
B. Fraters

Contact:
Dico Fraters
Centrum voor Milieumonitoring (CMM)
dico.fraters@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) en het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), in het kader van het project Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM, projectnummer M/680717).

Rapport in het kort

Het verloop van de nitraatconcentratie van het grondwater; achtergrondrapport bij het onderzoek naar het nitraatdieptemetnet. Resultaten van metingen bij LMG- en N-putten.

Voor een dieptemetnet voor nitraat zijn vaste putten in de percelen van landbouwbedrijven geschikt om het nitraat in de bovenste vijf meter van het grondwater te bemonsteren. Voor bemonstering van nitraat in diepere grondwaterlagen zijn putten buiten de percelen toereikend. Met een nitraatdieptemetnet met vaste putten is het waarschijnlijk mogelijk aan te tonen of nitraat al dan niet wordt afgebroken (denitrificatie) en na te gaan of er eventuele nadelige effecten zijn van denitrificatie op het grondwater. De precieze duiding van de mate waarin dit aan de orde is, kan alleen met specialistisch onderzoek worden gekwantificeerd. Dit is niet mogelijk binnen een regulier meetnet.

Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) en van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I). De bevindingen zijn van belang om een meetnet in te richten waarmee het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte kan worden vastgesteld (nitraatdieptemetnet). De resultaten kunnen verder voor deze twee ministeries van dienst zijn om een beslissing te nemen of een dergelijk meetnet al dan niet moet worden ingericht. De resultaten van een nitraatdieptemetnet zijn ook van belang voor de discussie met de Europese Commissie over het Nederlandse mestbeleid.

De nitraatconcentratie neemt niet af met de diepte in de bovenste vijf meter van het grondwater bij landbouw op droge zandgronden, waar de hoogste nitraatconcentraties worden gemeten. De nitraatconcentratie neemt wel met de diepte af bij landbouw op de overige zandgronden. Het onderzoek laat zien dat de lagere concentraties nitraat in het diepere grondwater (dieper dan vijf meter) verband houden met zowel de bemestingshistorie als denitrificatie in de ondergrond. Het onderzoek bevestigt hiermee de bevindingen en de conclusies uit eerdere toetsdieptestudies.

Trefwoorden:

nitraat, bovenste grondwater, toetsdiepte

Abstract

Change in nitrate concentration in groundwater; background report to the nitrate compliance checking level study. Results of measurements at common and special national monitoring wells.

Permanent wells on agricultural fields can be used in a monitoring network for monitoring nitrate trends with depth in the upper five meters of groundwater. For monitoring nitrate at greater depths, wells outside the fields provide sufficiently reliable measurements. With such a nitrate monitoring network, it will likely be possible to demonstrate the occurrence or absence of nitrate breakdown (denitrification) as well as the potential adverse secondary effects of denitrification on groundwater quality. The precise quantification of denitrification and its side effects requires a specialised research approach and is not feasible within the framework of a regular monitoring network

This is the outcome of a study carried out by the RIVM by order of the Ministry of Infrastructure and Environment (I&M) and the Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation (EL&I). These findings have an important bearing on the structure of a monitoring network for the determination of the trend of nitrate in groundwater with depth (nitrate profile monitoring network). They can also be used by these ministries to facilitate an informed decision on whether such a network should be put in place. The results of a nitrate profile monitoring network are relevant in the discussion with the European Commission pertaining to the Netherlands minerals policy.

Nitrate concentration shows no trend with depth within the upper five meters of groundwater under agricultural fields on deeply drained sandy soils, where the highest nitrate concentrations are measured. Nitrate concentration decreases with depth under agricultural fields on other types of sandy soils. The results of this study reveal that a lower nitrate concentration at greater depth (more than five meters) is related to both old levels of fertilisation and to denitrification in the deeper soil layers. As such, this study confirms the findings and conclusions of previous compliance checking level studies.

Keywords:

nitrate, upper groundwater, compliance checking level

Voorwoord

In 2009 is een onderzoek gestart naar de mogelijkheden voor de inrichting van een meetnet voor het monitoren van het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte, het nitraatdieptemetnet. Deze studie is verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M, voorheen VROM) en het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I, voorheen LNV). Het eindrapport van deze studie is medio 2010 gepubliceerd. Als onderdeel van dit onderzoek zijn ook detailstudies uitgevoerd. Een van deze detailstudies betrof het bekijken van de bruikbaarheid van vaste putten in een dergelijk meetnet door onder andere het analyseren van de gegevens van bestaande meetnetten met vaste putten. De resultaten van deze detailstudie zijn in dit achtergrondrapport uitgewerkt. De hoofdlijnen zijn al gerapporteerd in het eerder genoemde eindrapport.

De auteurs bedanken Cor de Jong voor het bepalen van de omgevingskarakteristieken van de putten met behulp van GIS en het maken van de kaart met putten. Dank ook voor Arnoud de Klijne en Leo Boumans voor hun commentaar en suggesties op eerdere versies van het rapport. Tot slot dank de verschillende mensen die betrokken zijn geweest bij de eindredactie van het rapport.

Mariëlle van Vliet en Dico Fraters

13 december 2010

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—13

- 1.1 Aanleiding voor het onderzoek—13
- 1.2 Grondwatermonitoring en eerder onderzoek—13
- 1.3 Doel en vraagstelling van het onderzoek—15
- 1.4 Opzet van het onderzoek en opbouw van het rapport—17

2 Gegevensverzameling en –bewerking—19

- 2.1 Bemonsteringslocaties—19
- 2.2 Onderzoek N-putten 2004—19
- 2.3 Onderzoek LMG- en N-putten 2006/2007—20
 - 2.3.1 Bemonstering—20
 - 2.3.2 Conservering van monsters en analyses—21
 - 2.3.3 Berekeningen en statistische analyses—24
- 2.4 Diepteprofielen, tijdreeksen en watertypering—26
 - 2.4.1 Dataset samenstelling, kwaliteitscontrole en berekeningen—26
 - 2.4.2 Bodemtype en drainageklasse—27
 - 2.4.3 Watertypering—28

3 Toetsen van bevindingen uit eerder onderzoek—29

- 3.1 Introductie—29
- 3.2 Verloop van de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater—29
 - 3.2.1 Beantwoorden van de vraag—29
 - 3.2.2 Inleiding en beschikbare gegevens—30
 - 3.2.3 Discussie—31
- 3.3 Verloop van de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater in 2004 en 2006/2007—32
 - 3.3.1 Beantwoorden van de vraag—32
 - 3.3.2 Inleiding en beschikbare gegevens—33
 - 3.3.3 Discussie—34
- 3.4 Verloop van de nitraatconcentratie in het grondwater beneden vijf meter diepte—36
 - 3.4.1 Beantwoorden van de vraag—36
 - 3.4.2 Inleiding en beschikbare gegevens—37
 - 3.4.3 Discussie—38
- 3.5 Trend in de nitraatconcentratie voor het diepere grondwater—38
 - 3.5.1 Beantwoorden van de vraag—38
 - 3.5.2 Inleiding en beschikbare gegevens—38
 - 3.5.3 Discussie—40
- 3.6 Vaststellen van denitrificatie met behulp van de grondwatersamenstelling—42
 - 3.6.1 Beantwoorden van de vraag—42
 - 3.6.2 Inleiding—43
 - 3.6.3 Beschikbare gegevens—43
- 3.7 Beantwoording hoofdvraag A—46
 - 3.7.1 Synthese en discussie—46
 - 3.7.2 Conclusies—48

4 Geschiktheid van de multifilterputten voor het monitoren van de bovenste vijf meters van het grondwater—49

- 4.1 Introductie—49
- 4.2 Herkomst van grondwater—49
 - 4.2.1 Beantwoorden van de vraag—49
 - 4.2.2 Inleiding—49
 - 4.2.3 Beschikbare gegevens—51
 - 4.2.4 Discussie—53
- 4.3 Verloop van de nitraatconcentratie met de diepte en de aanwezigheid van een storende laag of lagen?—54
 - 4.3.1 Beantwoorden van de vraag—54
 - 4.3.2 Inleiding—54
 - 4.3.3 Beschikbare gegevens—55
 - 4.3.4 Discussie—57
- 4.4 Geven N- en LMG-putten een zelfde beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte?—58
 - 4.4.1 Beantwoorden van de vraag—58
 - 4.4.2 Inleiding en beschikbare gegevens—58
 - 4.4.3 Discussie—60
- 4.5 Vaste putten voor meten in het bovenste grondwater?—60
 - 4.5.1 Beantwoorden van de vraag—60
 - 4.5.2 Inleiding en beschikbare gegevens—60
 - 4.5.3 Discussie—62
- 4.6 Beantwoording hoofdvraag B—62
 - 4.6.1 Synthese en discussie—62
 - 4.6.2 Conclusies—63

5 Conclusies en aanbevelingen—65

Literatuur—67

Bijlage A Het bemonsteringsprotocol voor het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) 2006, versie 6.0—69

Bijlage B Verslag kwaliteitscontrole van de bemonstering—73

Bijlage C Kwaliteitscontrole N- en LMG-putten en analyses 2006/2007—74

Bijlage D Kwaliteitscontrole integratie datasets—89

Bijlage E Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met diepte en in de tijd bij natuur- en bospercelen in de zandgebieden—93

Bijlage F Verloop van de nitraatconcentraties met de diepte per individuele put—97

Bijlage G Verloop van de gemiddelde concentraties met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouw- en natuurpercelen in de zandgebieden—100

Bijlage H Verloop van de gemiddelde concentraties—107

Samenvatting

Sinds 2002 wordt in Nederland een discussie gevoerd over de toetsdiepte voor nitraat in grondwater. Dit wil zeggen: op welke diepte in het grondwater mag de nitraatconcentratie de Europese norm van 50 mg nitraat per liter niet overschrijden? Er zijn in de afgelopen acht jaar meerdere studies verricht die als doel hadden om na te gaan wat de mogelijkheden zijn voor het verlagen van de toetsdiepte. Recentelijk is een onderzoek afgerond waarbij een ontwerp is gemaakt voor een meetnet om een afname in de bovenste vijf meter van het grondwater vast te stellen en waarbij een aantal meetnetvarianten onderling is vergeleken. Dit onderzoek is uitgevoerd in de periode 2009-2010 naar aanleiding van de motie-Koopmans van 22 april 2009 die verzoekt om, aanvullend op de huidige RIVM-metingen in de bovenste meter van het grondwater, de nitraatconcentraties in de tweede tot en met de vijfde meter te modelleren en te meten. Een belangrijke vraag bij het ontwerpen van een meetnet is of het verantwoord is om te werken met vaste meetputten aan de rand van percelen. Daarnaast speelde, meer algemeen, de vraag wat men kan verwachten van een nieuw meetnet. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, is meer inzicht nodig in de robuustheid van bevindingen uit eerdere onderzoeken voor wat betreft het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte en de redenen van dit verloop.

Het voorliggende rapport beschrijft de opzet, uitvoering en resultaten van de studie die onderdeel was van het hierboven genoemde onderzoek uit 2009-2010. De conclusies zijn meegenomen in het medio 2010 verschenen eindrapport. Het doel van de studie, waarvan de details nu worden gerapporteerd, was tweeledig. Het eerste doel was na te gaan of vaste putten met een groot aantal filters geschikt zijn voor het monitoren van de waterkwaliteit in de bovenste vijf meter van het grondwater bij landbouwgronden; dit om verantwoord een meetnet te kunnen inrichten. Hierbij is gekeken in hoeverre aan te tonen is dat water in de put naast het perceel afkomstig is uit het perceel, hoe belangrijk de plaats van de put is en of vaste putten wel geschikt zijn om de bovenste meter van het grondwater te bemonsteren als de grondwaterstand door het jaar heen en tussen jaren sterk kan fluctueren. Het tweede doel was het toetsen van bevindingen van het onderzoek die zijn verricht voor 2009; dit met het oog op het kunnen inschatten wat men van een nieuw meetnet kan verwachten. Hierbij is gekeken naar het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte voor verschillende soorten zandgronden (nat, neutraal, droog), zowel in de bovenste vijf meter van het grondwater als op grotere diepte, en naar de mogelijkheid om op basis van de grondwatersamenstelling te bepalen op denitrificatie optreedt, en zo ja, of schadelijke neveneffecten zichtbaar zijn.

Voor de studie is gebruikgemaakt van de infrastructuur en meetgegevens van twee meetnetten. Ten eerste het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) en ten tweede het meetnet met de zogenoemde N-putten. Het LMG, dat eind jaren zeventig van de vorige eeuw is ingericht, omvat ongeveer 360 putten in Nederland met filters op 10, 15 en 25 m beneden het maaiveld die jaarlijks tot eenmaal per vier jaar worden bemonsterd. Het meetnet met N-putten is ingericht in 1985 en omvat 50 putten in de zandregio. Deze N-putten staan in de nabijheid van LMG-putten. Elke N-put heeft meerdere filters, met een onderlinge afstand van circa 1 meter, tussen de grondwaterspiegel en ongeveer 10 meter beneden het maaiveld. De N-putten zijn eenmalig bemonsterd in 2004 als onderdeel van een van de toetsdieptestudies. De N-putten zijn nooit eerder bemonsterd, omdat in 1986 besloten is te onderzoeken of het mogelijk was het

bovenste grondwater te bemonsteren in de landbouwpercelen via tijdelijke boorgaten. Zowel de LMG- als de N-putten zijn permanente putten die buiten het perceel staan.

De studie bestond uit een aantal deelstudies:

- a. het heranalyseren van de gegevens uit het onderzoek bij de N-putten uit 2004;
- b. de gelijktijdige herbemonstering van 50 N-putten en naastgelegen LMG-putten in de winter van 2006-2007;
- c. een geïntegreerde analyse en interpretatie van de alle resultaten van de onderzoeken in N- en LMG-putten;
- d. een tijdreeksanalyse voor nitraat in alle LMG-putten in de zandregio.

De uitspraken die gedaan kunnen worden op basis van de nieuwe gegevens afkomstig van de bemonstering van de N-putten, zijn beperkt in de zin dat het aantal putten te beperkt is om statistisch betrouwbare uitspraken te doen. Om die reden zijn de uitkomsten, die op zichzelf onvoldoende zijn om de uitspraken te onderbouwen, vergeleken met uitkomsten uit eerdere onderzoeken die elk voor zich vaak ook behept waren met een vergelijkbaar probleem. Indien de verschillende onderzoeken alle in dezelfde richting wijzen, dan maakt dit de uitspraken aannemelijk.

Uit het onderzoek komt naar voren dat de buiten het perceel geplaatste permanente multifilterputten, zoals N-putten, op basis van geohydrologische beschouwing beter niet gebruikt kunnen worden voor het meten van de veranderingen in de kwaliteit van de bovenste vijf meter van het grondwater. De meetresultaten zelf geven geen directe aanleiding om af te zien van het gebruik van de vaste putten. De precieze locatiekeuze van de put lijkt geen probleem, zolang de put benedenstrooms staat en voor het bemonsteren van de eerste meters in het perceel, zodat bij plaatsing van de put rekening kan worden gehouden met de logistieke problemen, zowel wat betreft het plaatsen zelf als het bemonsteren.

Indien men voor het meten van het bovenste grondwater gebruik wil maken van vaste putten, is het aan te bevelen aandacht te schenken aan het plaatsen van voldoende filters in de nabijheid van de grondwaterspiegel; dit om rekening te kunnen houden met de schommelingen in de grondwaterstand. Verder verdient het aanbeveling om niet alleen de bovenste vijf meter te monitoren, maar ook dieper te meten om inzicht te krijgen in de processen die plaatsvinden en het testen van de robuustheid van de conclusies van het onderzoek in de bovenste vijf meter. Bij het inrichten van het meetnet is het aan te bevelen een goede boorbeschrijving te maken, (geofysisch) onderzoek uit te voeren en bij de keuze van de put rekening te houden met de gewenste grondwateranalyses. En afgewogen analysepakket is nodig om na te gaan of er aanwijzingen zijn voor het optreden van denitrificatie.

De meetresultaten van het onderzoek uit 2006/2007 bevestigen de bevindingen van het onderzoek uit 2004 en de conclusies uit de voorgaande toetsdieptestudies. Het nieuwe onderzoek bevestigt het beeld van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste vijf meter van het grondwater bij natte gronden en het ontbreken hiervan bij droge zandgronden. Het onderzoek laat zien dat de nitraatconcentraties in het diepere grondwater afnemen en dat de afname gerelateerd is aan zowel de bemestingshistorie als het optreden van denitrificatie in de ondergrond.

Het huidige onderzoek leidt tot een optimistischere kijk op de mogelijkheden om binnen een regulier monitoringnetwerk uitspraken te kunnen doen over het al dan niet optreden van denitrificatie en de eventuele nadelige effecten hiervan op andere kwaliteitsparameters van het grondwater. Het kwantificeren van de denitrificatie en afwentelingseffecten blijft echter specialistisch werk.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor het onderzoek

Sinds 2002 wordt in Nederland een discussie gevoerd over de toetsdiepte voor nitraat in grondwater. Dit wil zeggen: de discussie over op welke diepte in het grondwater de nitraatconcentratie de Europese norm van 50 mg nitraat per liter mag niet overschrijden. De discussie is aangezwengeld bij de evaluatie van de meststoffenwet in 2002 in het rapport MINAS en Milieu (Milieu- en Natuurplanbureau, 2002). De reden was dat in de zandgebieden de nitraatnorm van 50 mg/l niet werd gehaald in de bovenste meter van het grondwater en dat verdere aanscherpingen van de stikstofnormen in de landbouw als probleem werden gezien voor de sector. Terwijl uit vergelijking van metingen uit de bovenste meter met die op 10 en 25 meter beneden het maaiveld bleek dat de nitraatconcentratie met de diepte afneemt.

Er zijn in de afgelopen jaren meerdere studies verricht (De Klijne et al., 2008; Fraters et al., 2006a; Broers et al., 2004). Deze studies hadden als doel om na te gaan wat de mogelijkheden zijn voor het verlagen van de toetsdiepte. Het neven doel van de studies was na te gaan hoe een verlaging van de toetsdiepte kon worden onderbouwd.

Recentelijk is een onderzoek afgerond waarbij een ontwerp is gemaakt voor een meetnet om een afname in de bovenste vijf meter van het grondwater vast te stellen en waarbij een aantal meetnetvarianten onderling is vergeleken (Fraters et al., 2010). Dit onderzoek is uitgevoerd in de periode 2009-2010 naar aanleiding van de motie-Koopmans van 22 april 2009 die verzoekt om, aanvullend op de huidige RIVM-metingen in de bovenste meter van het grondwater, de nitraatconcentraties in de tweede tot en met de vijfde meter te modelleren en te meten. Een belangrijke vraag bij het ontwerpen van een meetnet is of het verantwoord is om te werken met vaste meetputten aan de rand van percelen. Daarnaast speelde, meer algemeen, de vraag wat men kan verwachten van een nieuw meetnet. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, is meer inzicht nodig in de robuustheid van bevindingen uit eerdere onderzoeken voor wat betreft het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte en de redenen van dit verloop.

De studie waarover hier wordt gerapporteerd, gaat in op bovenstaande vragen. De studie maakte deel uit van het onderzoek verricht in 2009-2010 en de conclusies zijn meegenomen in het eindrapport van dat bredere onderzoek (Fraters et al., 2010). Een deel van het werk voor deze studie is uitgevoerd als onderdeel van een eerder toetsdiepteonderzoek in 2004-2005 (Fraters et al., 2006a).

1.2 Grondwatermonitoring en eerder onderzoek

De grondwaterkwaliteit wordt in Nederland op verschillende diepteniveaus gemonitord. Voor het verkrijgen van inzicht in de toestand en ontwikkeling van de algemene grondwaterkwaliteit is eind jaren zeventig en begin jaren tachtig van de twintigste eeuw het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) ingericht. Op circa 360 locaties in Nederland zijn putten ingericht waarbij het grondwater kan worden bemonsterd op circa 10, 15 en 25 meter beneden het maaiveld.

Onderzoek bij N-putten

In de nabijheid van 50 putten van het LMG in de zandregio is in 1985 een zogenoemde N-put geïnstalleerd. Met een N-put kan op verschillende diepten tussen de grondwaterspiegel en ongeveer 10 meter onder de grondwaterspiegel het grondwater worden bemonsterd. Met deze put kan onderzoek worden gedaan naar de kwaliteit van het bovenste deel van het grondwater. De putten zijn voor 2004 nooit gebruikt voor onderzoek of monitoring, omdat na installatie van de putten is besloten onderzoek te gaan doen naar de kwaliteit van de bovenste meter van het grondwater. In december 2004 zijn deze putten voor het eerst gebruikt voor metingen voor het toetsdiepteonderzoek. Een tweede meetronde heeft plaatsgevonden in de winter van 2006/2007.

Het onderzoek met de N-putten in 2004 diende om extra informatie te verkrijgen over het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte. De uitvoering van dit onderzoek is beschreven in een intern RIVM-rapport (Fraters et al., 2006b). De resultaten van dit onderzoek zijn gepresenteerd en bediscussieerd in hoofdstuk 2 van Fraters et al. (2006a).

Bij de 25 N-putten bij landbouwpercelen nam de nitraatconcentratie met gemiddeld 26% toe tussen de eerste meter en de vijfde meter van het grondwater. Het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte was verschillend tussen gronden met een diepe grondwaterstand (drainageklasse droog) en gronden met een ondiepere grondwaterstand (drainageklasse neutraal of nat).

Voor de droge zandgronden (nitraatuitspoelingsgevoelige gronden) is in de bovenste vijf meter van het grondwater een toename van de nitraatconcentratie met de diepte te zien van 109%. Deze toename zou veroorzaakt kunnen worden door:

- de afname van de stikstofbelasting;
- de toename van de neerslag;
- storende lagen;
- randeffecten doordat deze putten niet in het perceel, maar er naast staan.

Voor de neutrale en natte zandgronden is er een afname met de diepte van de nitraatconcentratie van respectievelijk 13 en 31%. Maar vooral bij de natte zandgronden zegt het percentage niet zoveel, omdat de nitraatconcentratie in de eerste meter al laag is; gemiddeld 30 mg l⁻¹ voor de zeven putten.

Fraters et al. (2006a) concluderen op basis van dit en andere onderzoeken dat in de infiltratiegebieden (droge zandgronden) hoge nitraatconcentraties in de bovenste meter voorkomen waarbij er geen afname zichtbaar is tussen de eerste en vijfde meter van het grondwater. In gedraineerde gebieden (neutrale en natte gronden) zijn de nitraatconcentraties in de bovenste meter van het grondwater relatief laag en is er bovendien een duidelijke afname van de nitraatconcentratie met de diepte en soms is nitraat zelfs geheel afwezig op vijf meter diepte. Voor deze gedraineerde gebieden is het vanuit milieuoogpunt relevant om naar de realisatie van gewenste kwaliteit van het oppervlaktewater te kijken, net als in de klei- en veenregio's, omdat in deze gebieden de sloten worden gevoed vanuit ook de bovenste meter van het grondwater.

Modelonderzoek 2008

In 2008 is er opnieuw onderzoek uitgevoerd naar de toetsdiepte van nitraat (De Klijne et al., 2008). Dit onderzoek was vooral modelmatig. De aanleiding was de vraag 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, was inzicht nodig in de processen van denitrificatie en uitspoeling van de bovenste vijf meter van het grondwater. De processen in het bovenste grondwater zijn onderzocht door middel van metingen ter verbetering van het model en modelberekeningen. Het veld- en modelonderzoek zijn apart gerapporteerd in respectievelijk Griffioen et al. (2008) en Groenendijk et al. (2008). Het syntheserapport (De Klijne et al., 2008) geeft een samenvatting van de resultaten.

In tegenstelling tot wat bij eerdere onderzoeken werd verondersteld (Broers et al., 2004; Fraters et al., 2006a), blijkt uit het modelonderzoek dat bij alle zandgronden¹, dus ook bij droge, sprake is van een afname van de nitraatconcentratie met de diepte. Bij de droge zandgronden is de afname beperkt. Echter ook bij de droge gronden is er volgens het model sprake van belasting door uitspoeling van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater.

Onderzoek naar een nitraatdieptemetnet

In 2009-2010 is onderzoek verricht naar aanleiding van de motie-Koopmans van 22 april 2009 (Fraters et al. 2010). Deze motie verzoekt om, aanvullend op de huidige RIVM-metingen in de bovenste meter van het grondwater, de nitraatconcentraties in de tweede tot en met de vijfde meter te modelleren en te meten. Uit deze studie blijkt onder andere dat een grote meetinspanning nodig zal zijn om een verandering van de nitraatconcentratie met de diepte te kunnen aantonen in de bovenste vijf meter van het grondwater bij droge gronden.

1.3 Doel en vraagstelling van het onderzoek

Doelstellingen

De doelstelling van voorliggend onderzoek is tweeledig:

- A. het toetsen van de eerdere bevindingen van het N-puttenonderzoek uit 2004;
- B. Het nagaan van de geschiktheid van de N-putten of vergelijkbare putten voor het monitoren van de waterkwaliteit in de bovenste vijf meters van het grondwater.

Ad. A Het toetsen van de eerdere bevindingen

De discussie of er wel of geen afname is van de nitraatconcentratie met de diepte en, zo ja, hoe groot blijft actueel. Het onderzoek in 2004-2005 met de N-putten was beperkt. Het was een eenmalige bemonstering waarbij alleen analyses in het veld zijn verricht aan nitraat, geleidbaarheid en zuurgraad. En de

¹ In deze studie worden drie soorten zandgronden onderscheiden, de natte zandgronden met een relatief ondiepe gemiddelde grondwaterstand, de droge zandgronden met een relatief diepe gemiddelde grondwaterstand en de neutrale zandgronden met een gemiddelde grondwaterstand tussen beide in. Tot de natte zandgronden horen de gronden met een grondwatertrapklasse I tot en met IV, tot de neutrale de gronden met een grondwatertrapklasse V, V* en VI en tot de droge de gronden met een grondwatertrapklasse VII en VIII.

gegevens zijn maar beperkt vergeleken met LMG-gegevens. Daarom is het nuttig om de bevindingen uit 2004 te toetsen aan resultaten van een volledige uitgevoerde bemonstering. Ook kunnen we deze nieuwe data gebruiken om een 'koppeling' te maken tussen de bovenste vijf meter van het grondwater en het diepere grondwater. Uit een niet eerder gepubliceerde analyse van de gegevens uit de eerdere studie (Fraters et al., 2006a) bleek er een groot verschil tussen de nitraatconcentraties in de onderste filter van de N-putten en de eerste filter van de LMG-putten die beide op circa tien meter diepte zijn geplaatst (zie Figuur 3.5).

Voor het diepere grondwater² is een langjarige datareeks opgebouwd. Voor deze diepten kunnen we dus nagaan hoe het verloop van de nitraatconcentratie in de tijd is. Hiermee kunnen we nagaan of de nitraatconcentraties uit 2004 en die uit dit onderzoek bij de N- en LMG-putten uitzonderlijk of normaal zijn.

Uit eerdere onderzoeken (onder andere Broers et al., 2004; Fraters et al., 2006a) blijkt dat het moeilijk is om aan te tonen of denitrificatie optreedt en of door denitrificatie afwenteling optreedt. Met behulp van een nieuwe volledige dataset voor de N-putten kan worden onderzocht of met behulp van de grondwatersamenstelling een uitspraak kan worden gedaan over denitrificatie en of de meest schadelijke neveneffecten van denitrificatie in het grondwater zichtbaar zijn.

Ad. B Geschiktheid van de N-putten voor monitoring

De motie-Koopmans verzoekt om onder andere metingen uit te voeren naar het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte. Het gebruik van putten net buiten het perceel is uitvoeringstechnisch eenvoudiger dan putten in het perceel. De geschiktheid van putten buiten het perceel voor monitoring van de bovenste vijf meter van het grondwater kan worden onderzocht door zowel de dataset van LMG- als N-putten te analyseren. Bijvoorbeeld door de grondwaterkwaliteit van de filters op gelijke diepte van de twee verschillende soorten putten met elkaar te vergelijken. Ook is het mogelijk een eventuele invloed van storende lagen in de ondergrond na te gaan, aangezien we de beschikking hebben over informatie over het gehele dieptetraject door het samenvoegen van de grondwaterkwaliteitsdata van de N- en LMG-putten.

Deelvragen

Het onderzoek moet twee hoofdvragen beantwoorden om aan de doelstellingen van het onderzoek te kunnen voldoen. Elk van de twee hoofdvragen is verdeeld in een aantal deelvragen om de twee hoofdvragen te kunnen beantwoorden.

Onderzoeksvraag A en deelvragen

Hoofdvraag A: kunnen de meetresultaten van het onderzoek uit 2004 en de conclusies uit voorgaande toetsdieptestudies worden bevestigd met de resultaten van een herbemonstering en aanvullende gegevensanalyses?

Deelvragen

- 1) Neemt de nitraatconcentratie in het grondwater onder landbouw in de zandregio af met de diepte in de bovenste vijf meter van de verzadigde zone en, zo ja, in welke mate en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?

² Onder het diepere grondwater wordt in dit rapport verstaan: het grondwater dieper dan vijf meter beneden de grondwaterspiegel.

- 2) Is het verloop van de nitraatconcentratie op basis van deze nieuwe gegevens vergelijkbaar met de waarnemingen uit 2004 en geldt dit voor alle zandgronden? Indien het verloop verschilt, in welke mate voor de verschillende zandgronden?
- 3) Neemt de nitraatconcentratie in het diepere grondwater (ten opzichte van bovenste vijf meter grondwater) af met de diepte? Zo ja, in welke mate en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?
- 4) Is er een trend in de nitraatconcentratie in het diepere grondwater onder landbouw- en natuurgebieden in de tijd? Zo ja, welke en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?
- 5) Is het mogelijk om met behulp van de grondwatersamenstelling vast te stellen of denitrificatie optreedt in de zandgebieden? En zo ja, wat zijn de meest schadelijke neveneffecten van denitrificatie en zijn er verschillen tussen zandgronden?

Onderzoeksvraag B en deelvragen

Hoofdvraag: zijn de buiten een perceel geplaatste permanente putten, zoals N-putten, geschikt voor het monitoren van de bovenste vijf meter van het grondwater?

Deelvragen

- 6) Komt het water in de eerste filters van de N-putten uit het perceel, of is dit mogelijk deels afkomstig van de strook tussen de put en het perceel of zelfs van de andere kant van de put?
- 7) Komt het water in filters onder een storende laag wel uit het perceel? Met andere woorden: wordt het gemeten verloop van de concentratie met de diepte in de bovenste vijf meter bepaald door de aanwezigheid van een storende laag of lagen?
- 8) Zijn er grote verschillen tussen putten die op korte afstand staan, met andere woorden: maakt het veel uit waar de put precies komt te staan? Concreet, geven N- en LMG-putten een zelfde beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte?
- 9) Kunnen vaste putten worden gebruikt om de concentraties in de bovenste meters van het grondwater te meten, terwijl de grondwaterstand zowel binnen het jaar als tussen jaren fluctueert?

1.4 Opzet van het onderzoek en opbouw van het rapport

Het onderzoek omvat een aantal deelstudies:

- het heranalyseren van de gegevens uit het onderzoek bij N-putten uit 2004;
- de gelijktijdige herbemonstering van N-putten en de nabijgelegen LMG-putten;
- een geïntegreerde analyse en interpretatie van alle resultaten van de onderzoeken in N- en LMG-putten;
- een tijdreeksanalyse voor nitraat in de LMG-putten in de zandregio.

In hoofdstuk 2 worden de gegevensverzameling en bewerking uiteengezet. Dit hoofdstuk kan als naslag worden gebruikt. Aansluitend worden in hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4 de twee hoofdvragen beantwoord aan de hand van de deelvragen. Per deelvraag worden eerst de vraag en het antwoord gegeven, dan worden na een korte inleiding de beschikbare gegevens gepresenteerd en daarna worden deze bediscussieerd. In de laatste paragraaf van elk hoofdstuk wordt de hoofdvraag beantwoord aan de hand van de antwoorden op de deelvragen. Het laatste hoofdstuk wordt afgesloten met de conclusies van dit onderzoek.

2 Gegevensverzameling en –bewerking

2.1 Bemonsteringslocaties

Voor het onderzoek zijn 49 van de 50 oorspronkelijke locaties gebruikt waar zowel LMG- als N-putten aanwezig zijn (zie Figuur 2.1). Een locatie bleek niet meer aanwezig. Alle 49 onderzoekslocaties liggen in de zandregio. Hiervan liggen er 18 in het zuidelijk zandgebied, 22 in het centrale zandgebied en 9 in het noordelijke zandgebied.

De LMG-putten zijn ingericht met drie filters:

- filternummer 1 op circa 10 meter onder het maaiveld (2-duims filter³);
- filternummer 2 op circa 15 meter onder het maaiveld (1-duims filter⁴);
- filternummer 3 op circa 25 meter onder het maaiveld (2-duims filter).

De N-putten zijn ingericht als 'multifilter'-put. Alle N-putten hebben een pompfilter met een diameter groter dan 2-duims (binnen- en buitendiameter: 101-110 mm) en een lengte van 1 meter. Deze filter is de diepste filter van de put. Daarnaast bevat de N-put een wisselend aantal minifilters. Deze filters hebben een 1-duims³ diameter en zijn 15 cm lang.

2.2 Onderzoek N-putten 2004

In 2004 zijn de N-putten bemonsterd en geanalyseerd op nitraat met de nitracheckmethode. De LMG-putten zijn niet gelijktijdig bemonsterd, maar wel zijn de LMG-putgegevens (coördinaten en locatiefoto, hoogte kokerrand, hoogte peilbuis boven kokerrand en grondwaterstand) gecontroleerd en genoteerd.

De resultaten van deze bemonstering zijn gerapporteerd door Fraters et al. (2006a en 2006b). Uit de rapportage blijkt dat 44 van de 50 putten zijn bemonsterd en geanalyseerd. De overige putten zijn niet bemonsterd om de volgende redenen:

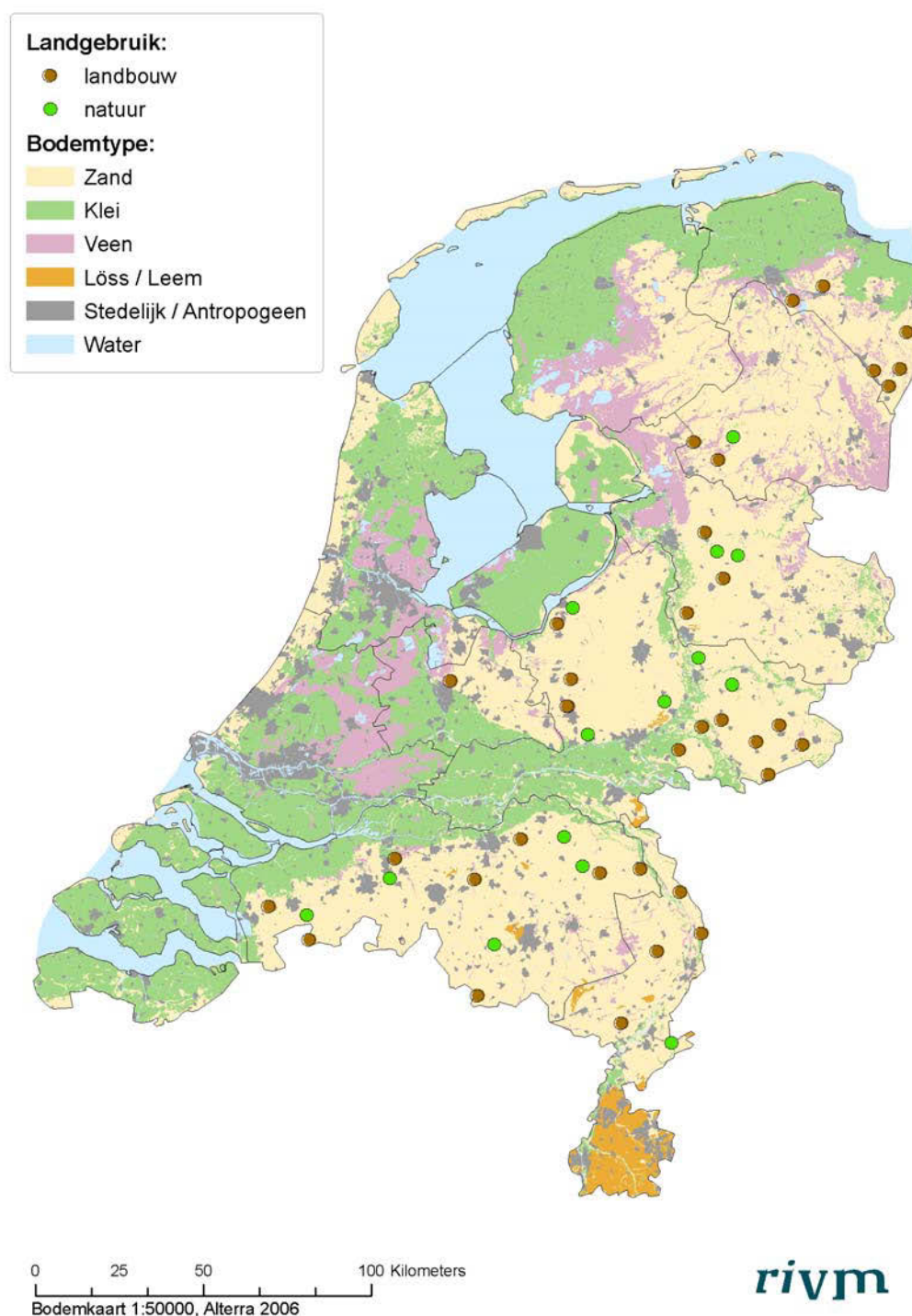
- niet teruggevonden: 136 en 332;
- onmogelijk om put te openen: 142 en 339;
- niet meer aanwezig: put 15 en 375⁵.

In paragraaf 2.3.1 wordt de inrichting van de LMG- en N-putten verder toegelicht. De belangrijkste resultaten en conclusies van het onderzoek in 2004 zijn terug te vinden in hoofdstuk 2 van Fraters et al. (2006a). De resultaten per put worden gepresenteerd in Fraters et al. (2006b), waarbij nitraat, EC en zuurgraad tegen de diepte ten opzichte van het maaiveld zijn uitgezet.

³ Een 2-duimsfilter heeft een binnen- en buitendiameter van respectievelijk 57 en 63 mm.

⁴ Een 1-duimsfilter heeft een binnen- en buitendiameter van respectievelijk 28 en 32 mm.

⁵ N-put nummer 375 is tijdens meetronde 2006/2007 teruggevonden en bemonsterd.



Figuur 2.1 Overzichtskarta van de 49 onderzoekslocaties weergegeven op de vereenvoudigde bodemkaart (1:50.000, versie 2006).

2.3

Onderzoek LMG- en N-putten 2006/2007

2.3.1

Bemonstering

In de periode van november 2006 tot en met maart 2007 zijn de LMG- en N-putten bemonsterd door de Dienst Terreinonderzoek van Grontmij. Het veldwerk bestond uit de bemonstering van alle filters van zowel 49 LMG- als 49 N-putten

(zie Figuur 2.1). In totaal zijn 509 filters bemonsterd. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de filters die niet bemonsterd zijn. In bijna alle gevallen was de oorzaak dat bemonsteren niet mogelijk was doordat er te weinig of geen water naar het filter toestroomt. Voor deze filters was het wel mogelijk om de grondwaterstand op te meten. Dit geeft aan dat het filter niet verstopt is, maar dat het grondwater te diep staat of dat het filter in een slecht doorlatende laag is geplaatst. Een drietal filters zat wel verstopt (LMG 139 filternummer 1, N-put 375 filternummer 10 en N-put 377 filternummer 1). Eén put (LMG 378) heeft slechts twee filters. Het tweede filter is aangebracht op de diepte waar gewoonlijk het derde filter is geplaatst.

Bemonsteringsmethode

De bemonstering van de LMG-putten is uitgevoerd volgens het bemonsteringsprotocol van TNO/RIVM versie 6.0. (zie Bijlage A), hieronder is een korte samenvatting gegeven.

Voor de bemonstering van de N-putten is een specifieke afpompmethode toegepast. Slechts tussen enkele filters is een kleistop aangebracht en de filters zitten dicht op elkaar. Dit betekent dat het afpompen en bemonsteren extra secuur moet worden uitgevoerd. Er is voor gekozen om meerdere filters tegelijkertijd af te pompen met een laag debiet. Hierdoor ontstaat een horizontale stroming naar alle filters toe. Het ondiepste filter is als eerste bemonsterd na 20 minuten. Het ondiepste filter en het daaronder liggende filter worden als eerste aangesloten op de doorstroomcel. In de doorstroomcel zijn de zuurgraad (pH), elektrische geleidbaarheid (EC), temperatuur en zuurstof gemeten. De waarden van de veldparameters zijn in de veldcomputer (de 'handheld') opgeslagen. Nadat het eerste filter is bemonsterd, is de doorstroomcel aangesloten op het derde filter en kan met de bemonstering van het tweede filter worden begonnen. Het eerste filter wordt ook nog steeds afgepompt. Zo is de bemonstering verschoven van het eerste ondiepste filter naar het diepste filter. Het pompfilter, tevens het diepste filter, is als laatste afgepompt volgens het bemonsteringsprotocol in bijlage A. Dit filter is 40 minuten lang afgepompt voordat de bemonstering plaatsvond. Indien dit filter zich minder dan 10 meter onder het maaiveld bevindt, is volstaan met 30 minuten.

Kwaliteitscontrole in het veld

Op 3 januari 2007 is door het TNO een kwaliteitscontrole van de bemonstering uitgevoerd. Geconstateerd is dat het bemonsteringsprotocol op juiste wijze is toegepast zowel voor de LMG- als voor de N-put. Problemen zijn op de juiste wijze opgepakt en volgens protocol opgelost. Zie voor een uitgebreider verslag bijlage B.

2.3.2 Conservering van monsters en analyses

Met betrekking tot de conservering van de monsters zijn er enkele wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van het bemonsteringsprotocol (zie Bijlage A). De analyses zijn namelijk niet door het laboratorium van TNO/Universiteit Utrecht uitgevoerd, zoals omschreven in het protocol, maar door het laboratorium van het RIVM (CMM/AC). In paragraaf 2.3.2 worden de wijzigingen verder besproken.

Tabel 2.1 Overzicht van filters die niet bemonsterd zijn en de reden van niet-bemonsteren.

Putnummer	Filternummer	Reden
<i>LMG-putten</i>		
139	1	Filter zit verstopt
375	1 en 3	Weinig of geen water
378	2	Tweede filter ontbreekt
<i>N-putten</i>		
10	1	Weinig of geen water
11	1	Weinig of geen water
42	1	Weinig of geen water
95	1	Grondwater stroomde niet toe, daardoor niet kunnen bemonsteren.
97	1, 2 en 3	Eerste filter staat droog. Bij tweede en derde filter stroomde het grondwater niet toe, waardoor de filters niet bemonsterd konden worden
101	1	Filter staat droog
104	3	Weinig of geen water
106	1	Weinig of geen water
114	1	Filter staat droog
124	1	Filter staat droog
136	1	Weinig of geen water
142	10	Veel zand in het filter en het filter geeft te weinig water
144	1	Filter staat droog
146	10	Weinig of geen water
186	1	Filter staat droog
217	1	Filter staat droog
256	1	Filter valt droog
258	1	Weinig of geen water
271	1	Weinig of geen water
319	1	Grondwater stroomde niet toe, daardoor niet kunnen bemonsteren
334	1	Weinig of geen water
339	1	Filter valt droog en onderin zit zand
341	1	Weinig of geen water
364	1	Filter staat droog
374	1	Filter staat droog
375	10	Filter zit verstopt
377	1 en 2	Zand onder in eerste filter, tweede filter geeft te weinig water
380	1 en 2	Filters staan droog

De analyses zijn verricht in het analytisch laboratorium van het RIVM en deze omvatten de volgende parameters (zie Tabel 2.2 voor details):

- algemene karakteristieken: DOC;
- stikstof: NO₃ en NH₄, tot-N;
- fosfor: ortho-P en P-totaal;
- macro-elementen: Ba, Na, K, Mg, Ca, SO₄, Cl;
- sporenelementen: Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn.

In het veld zijn de volgende parameters bepaald (zie Tabel 2.2 en Bijlage A voor details):

- algemene karakteristieken: elektrische geleidbaarheid (EC) (doorstroomcel), zuurgraad (pH) (in doorstroomcel en in situ), zuurstof (doorstroomcel), watertemperatuur (in doorstroomcel en in situ);
- stikstof: nitraat met nitracheck;
- bicarbonaat.

Tabel 2.2 Uitgevoerde chemische analyses

Para-meter	Voorbehandeling	Meetmethode/apparaat	Detectiegrens	Referentie SOP
Al	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,01 mg/l	LVM-P115
As	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,5 µg/l	
Ba	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	1 µg/l	
Ca	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,15 mg/l	
Cd	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,04 µg/l	
Cl	Gefiltreerd	IC	0,21 mg/l	
Cr	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	1 µg/l	
Cu	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,6 µg/l	
DOC	Gefiltreerd, zuur H ₂ SO ₄	Volgens NEN 1484	0,29 mg/l	
Fe	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,1 mg/l	
K	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,2 mg/l	
Mg	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,05 mg/l	
Mn	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	4 mg/l	
Na	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,25 mg/l	
NH ₄	Gefiltreerd, zuur H ₂ SO ₄	CFA	0,064 mg/l	
Ni	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,5 µg/l	LVM-P110
NO ₃	Gefiltreerd, zuur H ₂ SO ₄	ICP-MS	0,31 mg/l	
NO ₃	Gefiltreerd	nitracheck	< 5 mg/l	
Zuurstof of		zuurstofmeter		
P	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,06 mg/l	
Pb	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	0,2 µg/l	LVM-P113 LVM-P116
PO ₄	Gefiltreerd	CFA	0,04 mg/l	
pH		pH-meter		
SO ₄	Gefiltreerd	IC	0,48 mg/l	
EC		EC-meter		
Sr	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	1,2 mg/l	LVM-P103
Totaal-N	Gefiltreerd		0,2 mg/l	
HCO ₃	Gefiltreerd	Mettler 50DL autotitrator		
Temperatuur				
Zn	Gefiltreerd, zuur HNO ₃	ICP-MS	4 µg/l	

Enkele putten zijn niet volledig geanalyseerd (zie Tabel 2.3). Voor een aantal filters heeft het laboratorium geen monsterfles ontvangen voor de bepaling van de metalen. Verder zijn de monsters van put 377 niet geanalyseerd. De put is in

het veld wel bemonsterd en geanalyseerd op de veldparameters pH, EC, zuurstof, bicarbonaat en nitraat.

Tabel 2.3. Overzicht van putten die niet of niet volledig zijn geanalyseerd.

Puttype	Put	Filter	Niet geanalyseerd op	Reden	Opmerking
LMG	5	1,2,3	metalen	Lab heeft hiervoor geen monsterfles ontvangen	Er zijn wel veldmetingen uitgevoerd
LMG	42	1,2,3	metalen	Lab heeft hiervoor geen monsterfles ontvangen	
LMG	377	1,2,3	alle parameters	Onbekend	
N	42	2 t/m 7, 10	metalen	Lab heeft hiervoor geen monsterfles ontvangen	

2.3.3 Berekeningen en statistische analyses

Omrekening nitracheckwaarden

De bepalingen van de nitracheckmeter zijn gecorrigeerd met behulp van de correctiefactor, de actuele luchttemperatuur en de luchttemperatuur op het moment van de bepaling van de correctiefactor. De correctie is uitgevoerd met behulp van de volgende vergelijking:

$$[1] \quad NC_c = (1.18 - 0.0077 \cdot T_m) \cdot NC_m \cdot cf / (1.18 - 0.0077 \cdot T_k)$$

NC_c	gecorrigeerde nitraatconcentratie;
T_m	actuele luchttemperatuur tijdens meting;
NC_m	nitracheckmeting;
cf	correctiefactor van nitracheck, bepaald met behulp van vijf metingen aan ijkvloeistof met nitraatconcentratie van 100 mg/l;
T_k	luchttemperatuur op moment van bepaling correctiefactor.

Na correctie is deze nitraatconcentratie uit het veld vergelijkbaar met de nitraatconcentratie die is bepaald in het laboratorium.

Kwaliteitscontroles

De kwaliteit van de dataset is gecontroleerd met behulp van verschillende methoden:

- kwaliteitscontrole van de coördinaten van de putten;
- som anionen versus som kationen;
- ionenbalans;
- vergelijking nitraat-veld en nitraat-lab;
- vergelijking van de som van ammonium en nitraat met totaal-N;
- vergelijking van ortho-P met totaal-P;
- controle op relatie ijzer met nitraat;
- controle op relatie ijzer en arseen;
- vergelijking cadmium met zink;
- vergelijking nikkel met zink;
- controle relatie sulfaat met nitraat;
- vergelijking ammonium met nitraat;
- controle op uitschieters.

Hieronder wordt een aantal van de kwaliteitscontroles verder toegelicht. De resultaten zijn opgenomen in bijlage C.

Ionenbalans (afwijking)

De ionenbalans is als volgt bepaald:

$$[2] \quad \text{Ionenbalans (\%)} = \{(\text{som kationen} + \text{som anionen}) / (\text{som kationen} - \text{som anionen})\} * 100$$

De ionenbalans geeft weer in welke mate de analyse afwijkt van de elektroneutraliteit. Deze afwijkingen worden veroorzaakt door bemonsterings- of analysefouten. Een afwijking van de ionenbalans kleiner dan 5% is goed. Een afwijking kleiner dan 10% is voldoende. Bij afwijkingen groter dan 15% moet de analyse worden gelabeld dat de betrouwbaarheid onzeker is.

Nitraat-veld versus nitraat-lab

Nitraat is op twee verschillende manieren bepaald. In het veld is de nitracheckmethode gebruikt, in het laboratorium de ICP-MS. Hoewel de methoden verschillen, moeten de meetresultaten vergelijkbaar zijn.

Vergelijking van de som van ammonium en nitraat met totaal-N

De concentraties van ammonium en nitraat zijn omgerekend naar concentraties uitgedrukt in mg stikstof per liter. Vervolgens zijn deze concentraties bij elkaar opgeteld en uitgezet tegen de concentratie van totaal-N. De totale concentratie van ammonium en nitraat mag niet hoger zijn dan de concentratie van totaal-N, aangezien deze parameter de totale-stikstofconcentratie weergeeft.

Ortho-P versus totaal-P

Ook de ortho-P-concentratie moet een lagere concentratie zijn dan totaal-P. Een hogere waarde voor ortho-P dan totaal-P betekent dat een van beide meetresultaten niet betrouwbaar is.

Controle relatie ijzer met nitraat

IJzer en nitraat kunnen niet in hoge concentraties gezamenlijk voorkomen. IJzer is alleen in hoge concentraties aanwezig als het milieu anaëroob is. Terwijl in een anaëroob milieu nitraat wordt afgebroken en dus niet in hoge concentraties voorkomt.

Controle op relatie ijzer en arseen

Arseen en ijzer worden vaak tegelijkertijd in het grondwater aangetroffen. IJzer en arseen gaan in oplossing als ijzerhydroxide in een zuurstofarm milieu terecht komt. Ook lost arseen op in water als zuurstof wordt toegevoegd aan pyriet, dat daardoor oxideert.

Vergelijking ammonium met nitraat

Ammonium en nitraat komen zelden gezamenlijk in hoge concentraties voor, omdat onder aërobe omstandigheden ammonium snel wordt omgezet naar nitraat (nitrificatie). Terwijl onder anaërobe omstandigheden nitraat wordt afgebroken (denitrificatie).

Controle op uitschieters

Boxplots zijn gebruikt om de dataset te controleren op uitschieters. Deze boxplots, gegenereerd met een statistiek programma, zijn voor alle parameters

gemaakt. Voor de uitschieters is vervolgens nagegaan op basis van andere meetgegevens of een waarde als betrouwbaar kan worden aangeduid. (Bijlage C toont een voorbeeld van een boxplot inclusief toelichting.)

2.4 Diepteprofielen, tijdreeksen en watertypering

2.4.1 *Dataset samenstelling, kwaliteitscontrole en berekeningen*

Voor een analyse van de grondwaterkwaliteit zowel in de tijd als in diepte zijn de volgende data bij elkaar gevoegd:

- resultaten van alle meetronden van het LMG van 1979 t/m 2006;
- resultaten van het onderzoek in de N-putten in 2004;
- resultaten van het onderzoek in de N-putten en LMG-putten uit 2006/2007.

In bijlage D wordt de kwaliteitscontrole van de data-integratie toegelicht. De resultaten van de kwaliteitscontrole geven geen aanleiding om analyseresultaten uit de dataset te verwijderen.

Voor het weergeven van de nitraatconcentratie met de diepte onder de grondwaterspiegel is een aantal omrekeningen noodzakelijk. De volgende berekeningen zijn uitgevoerd.

- Voor het uitrekenen van de filterdiepten ten opzichte van de grondwaterstand wordt voor alle filters gebruik gemaakt van de gemeten grondwaterstand van het 1^e filter van de betreffende LMG- of N-put. In enkele gevallen staan de LMG- en N-put niet naast elkaar, waardoor de grondwaterstand verschillend is. In dergelijke gevallen is gebruik gemaakt van het 1^e filter van de bijbehorende put.
- Bij de LMG-putten is voor het uitrekenen van de filterdiepte ten opzichte van de grondwaterstand uitgegaan van de diepte van het 'hart' van het filter ofwel het midden van het 2 meter lange filter. De N-putten hebben een filter met een lengte van slechts 15 cm. Bij de omrekeningen is de diepte van onderkant van het filter gebruikt.
- Voor de diepteprofielen is per meetronde voor iedere meter onder de grondwaterstand een gemiddelde nitraatconcentratie berekend voor de filters die binnen dit traject voorkomen. Op grotere diepte zijn echter minder meetwaarden (filters) beschikbaar. Daarom is tot 12 m -gws (beneden de grondwaterstand) voor iedere meter een gemiddelde berekend en voor grotere diepten een gemiddelde voor alle gegevens tussen 12-18 m -gws en een gemiddelde voor alle gegevens dieper dan 18 meter.
- Het ondiepste filter van de LMG-put en de diepste filters van de N-put liggen in een vergelijkbaar dieptetraject. Dit betekent dat deze filters bij de berekening van een gemiddelde concentratie per meter grondwaterstand soms samenvallen in dezelfde meter 'grondwaterstand'.

De meetreeksen van de LMG-putten zijn gebruikt voor het opstellen van tijdreeksen. Omdat de meetfrequentie van het LMG, sinds de optimalisatie in 1997, minimaal eenmaal per vier jaar bedraagt, zijn niet voor elk filter voor elk jaar waarnemingen beschikbaar. Daarom zijn voor alle filters ontbrekende waarden in een tijdreeks aangevuld door de waarde van het voorafgaande jaar te gebruiken als waarde voor het betreffende jaar. Vervolgens zijn voor alle resterende ontbrekende waarden de waarde van het erop volgende jaar gebruikt. Deze procedure is herhaald met de aangevulde dataset tot de tijdreeksen compleet waren. Deze procedure is ook gebruikt bij de toestand- en

trendbepaling voor de meerjarenrapportage van het LMG (Van Vliet et al., 2010).

Voor verdere analyse zijn de gegevens gepresenteerd in:

- (gemiddelde) concentratie-dieptegrafieken (voor nitraat, sulfaat, ijzer, bicarbonaat, nikkel, koper, kalium, arseen en oxidatievermogen);
- tijdreeksen (nitraat).

In deze grafieken worden ook 95%-betrouwbaarheidsintervallen weergegeven. Deze 95%-betrouwbaarheidsintervallen zijn berekend per meetpunt van de (gemiddelde) concentratie en zijn geen betrouwbaarheidsintervallen van de gehele lijn.

2.4.2 Bodemtype en drainageklasse

Alle 49 N- en LMG-putten zijn in ArcGIS met een buffer (straal 250 en 500 meter) door de bodemkaart (bodemkaart 1:50.000, versie 2006) gedrukt (zie Figuur 2.1). Aansluitend is per put de dominante bodemsoort en drainageklasse bepaald. De bodemsoort is afgeleid van het bodemtype, de drainageklasse van de grondwatertrap.

Uit deze actie blijkt dat alle putten zoals verwacht in het gebied met zandgrond of dalgrond liggen. Hoewel de putten 319 en 341 volgens de bodemkaart in het veen liggen, blijkt uit de boorbeschrijvingen van deze locaties dat het om veen op zand gaat. Voor de putten 333 en 338 komt geen duidelijk dominante bodemsoort naar voren. Aan de hand van de informatie uit de boorbeschrijvingen is gekozen voor dalgrond.

Het resultaat voor de grondwatertrappen is minder eenduidig, doordat de dominantie minder sterk is. Daarnaast zijn er ook andere bronnen, waar een grondwatertrap en/of drainageklasse van is afgeleid. Deze verschillende interpretaties zijn naast elkaar gezet en weergegeven in bijlage D. Met behulp van dit overzicht zijn de putten definitief ingedeeld in de drainageklassen 'droog', 'neutraal' en 'nat'⁶.

Tabel 2.4 geeft een overzicht van de precieze verdeling van de putten over grondsoort, bodemgebruik en drainageklasse.

Tabel 2.4 Verdeling van de 49 LMG- en N-putten over grondsoorten, drainageklassen en landgebruik.

Bodem- gebruik	Dalgrond			Zandgrond			Totaal
	Nat	Neutraal	Droog	Nat	Neutraal	Droog	
Landbouw	2	2	-	8	12	10	34
Natuur	-	-	-	-	4	11	15
Totaal	2	2	-	8	16	21	49

Put 186 is net als in 2004 ingedeeld in drainageklasse neutraal. Op basis van de bodemkaart en de grondwaterstand (zowel in 2004 als in 2006 meer dan 5 meter onder maaiveld) zou de klasse droog aannemelijker zijn. In verband met de vergelijkbaarheid met de resultaten van 2004 is deze put echter niet verschoven naar droog. Bij de bespreking van het gemiddelde concentratieverloop wordt hier op ingegaan.

⁶ Deze drainageklassen zijn gebaseerd op een clustering van grondwatertrapklassen (Gt). Nat omvat de Gt's I t/m IV, neutraal de Gt's V, V* en VI en droog de Gt's VII en VIII (=VII*).

2.4.3 Watertypering

Tussen wateren bestaat een hydrochemische variatie die afhankelijk is van de plaats in de hydrologische kringloop (bijvoorbeeld regenwater, grondwater of zeewater). Dit gegeven ligt ten grondslag aan verschillende classificatiesystemen. Van Wirdum heeft in 1991 een diagram ontworpen die een snelle vergelijking mogelijk maakt aan de hand van de EC en de ionenratio (IR) (Van Wirdum, 1991 in Paulissen et al., 2007):

$$[3] \quad IR(\%) = 100 * [Ca^{2+}] / \{[Ca^{2+}] + [Cl^{-}]\} \text{(concentraties in meq/l)}$$

De verschillende monsters worden uitgezet in één diagram: op de x-as wordt de EC (bij 25 °C) logaritmisch uitgezet en op de y-as de IR. In het EC-IR-diagram zijn drie referentiepunten opgenomen uit drie uiterste compartimenten van de kringloop van het water:

At: regenwater (atmoclien water)

Li: gerijpt grondwater (lithoclien water)

Th: zeewater (thallasoclien water)

Voor alle grondwatermonsters van de meetronde 2006/2007 is de ionenratio (IR) uitgerekend en uitgezet tegen de EC. Het doel van deze grafiek is om na te gaan welk (grond)water in de bovenste filters wordt bemonsterd. Is het water afkomstig van het (landbouw)perceel, regenwater of regenwater dat via de weg afstroomt naar de wegberm en daar vervolgens infiltreert?

3 Toetsen van bevindingen uit eerder onderzoek

3.1 Introductie

In dit hoofdstuk bespreken we de onderzoeksresultaten met het doel de vraag te beantwoorden of we met de meetresultaten uit 2006/2007 de resultaten van het onderzoek uit 2004 en de conclusies uit voorgaande toetsdieptestudies kunnen bevestigen (hoofdvraag A). Hiervoor behandelen we in de onderstaande paragrafen de eerste in paragraaf 1.3 geformuleerde deelvragen, te weten:

1. Neemt de nitraatconcentratie in het grondwater onder landbouw in de zandregio af met de diepte in de bovenste vijf meter van de verzadigde zone en, zo ja, in welke mate en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?
2. Is het verloop van de nitraatconcentratie op basis van deze nieuwe gegevens vergelijkbaar met de waarnemingen uit 2004 en geldt dit voor alle zandgronden? Indien het verloop verschilt, in welke mate voor de verschillende zandgronden?
3. Neemt de nitraatconcentratie in het diepere grondwater (ten opzichte van de bovenste vijf meter grondwater) af met de diepte? Zo ja, in welke mate en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?
4. Is er een trend in de nitraatconcentratie in het diepere grondwater onder landbouw- en natuurgebieden in de tijd? Zo ja, welke en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?
5. Is het mogelijk om met behulp van de grondwatersamenstelling vast te stellen of denitrificatie optreedt in de zandgebieden? En zo ja, wat zijn de meest schadelijke neveneffecten van denitrificatie en zijn er verschillen tussen zandgronden?

Elke paragraaf is opgebouwd uit vier secties: het beantwoorden van de vraag, inleiding, beschikbare gegevens en de discussie. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk beantwoorden we de hoofdvraag.

3.2 Verloop van de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater

3.2.1 Beantwoorden van de vraag

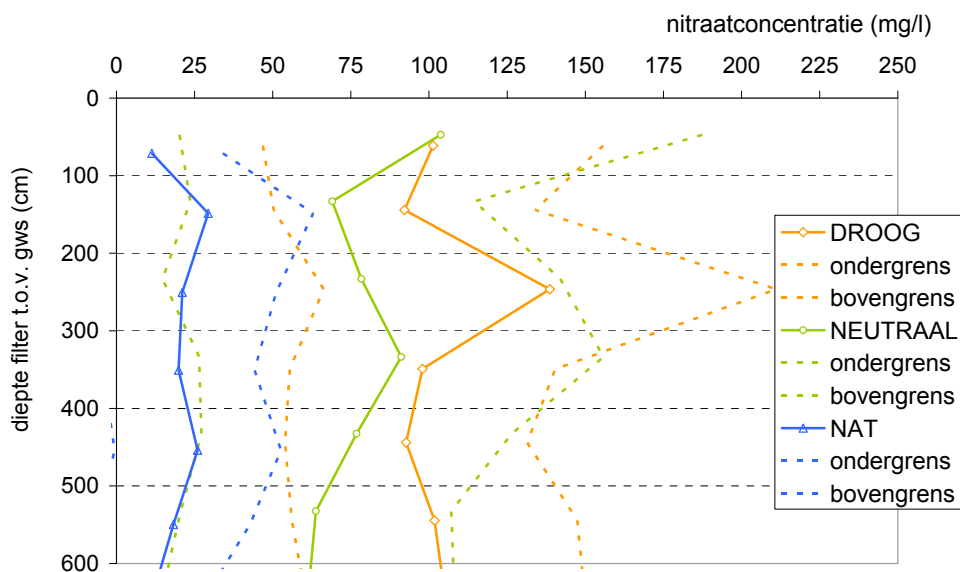
Neemt de nitraatconcentratie in het grondwater onder landbouw in de zandregio af met de diepte in de bovenste vijf meter van de verzadigde zone en, zo ja, in welke mate en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?

De nitraatconcentratie in de bovenste vijfde meter van het grondwater op de meetlocaties in het onderzoek van 2006/2007 neemt af met de diepte; de concentratie in de vijfde meter is 14% lager dan in de eerste meter. Voor de natte en droge gronden is er geen duidelijk verloop van de nitraatconcentratie met de diepte. De gemiddelde concentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater is bij de natte gronden veel lager (13 mg/l) dan bij droge gronden (> 100 mg/l), waarbij vooral bij de droge gronden het verloop met de diepte erg grillig is. Bij de neutrale gronden is er een afname van de nitraatconcentratie met de diepte; in de vijfde meter is de concentratie 26% lager dan in de eerste meter. De gemiddelde nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter is bij neutrale gronden met circa 80 mg/l lager dan bij de droge zandgronden, maar duidelijk hoger dan bij de natte.

3.2.2 Inleiding en beschikbare gegevens

Het verloop van de nitraatconcentratie onder landbouwgebieden met de diepte varieert per N-put. De gemiddelde nitraatconcentratie in de eerste meter van het grondwater is 75 mg/l. Dit komt overeen met de meetresultaten van het LMM voor de jaren 2004 tot en met 2006 (gemiddelde 70 mg/l; Swen et al., 2010). De nitraatconcentratie in de eerste meter is hoger bij de droge en neutrale gronden (circa 100 mg/l) dan bij de natte gronden (circa 10 mg/l) (zie Figuur 3.1).

Bij gronden met drainageklasse droog is er geen duidelijk verloop van de nitraatconcentratie met de diepte (zie Figuur 3.1). Op vijf meter onder de grondwaterspiegel is de nitraatconcentratie gemiddeld iets lager dan in de eerste meter (9%), maar deze neemt verder met de diepte weer toe. Gemiddelde over de bovenste vijf meter is de nitraatconcentratie 105 mg/l. Bij de gronden met drainageklasse neutraal is er een afname te zien van de nitraatconcentratie met de diepte; de nitraatconcentratie is in de vijfde meter 26% lager dan in de eerste meter. De concentratie ligt echter ook op vijf meter nog boven de norm van 50 mg/l nitraat. Gemiddelde over de bovenste vijf meter is de nitraatconcentratie 84 mg/l. Bij de natte zandgronden is er, net zoals bij de droge zandgronden, geen duidelijk verloop met de diepte. De gemiddelde concentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater is bij de natte gronden veel lager (22 mg/l).



Figuur 3.1 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte (tot circa 5 meter) onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen in de zandgebieden van 2006/2007 voor drie drainageklassen: nat, neutraal en droog. De gestippelde lijnen geven de 95%-betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden.

Door het relatief beperkt aantal metingen per drainageklasse en de grote verschillen die gevonden worden binnen een zelfde klasse, zijn de verschillen niet statistisch significant.

Het verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie bij natte zandgronden onder landbouwgebieden lijkt op het verloop de nitraatconcentratie van natuur en

bosgebieden. Het verloop van de nitraatconcentratie onder natuur- en bospercelen met de diepte valt buiten de reikwijdte van de onderzoeksvragen. De resultaten zijn opgenomen in bijlage E.

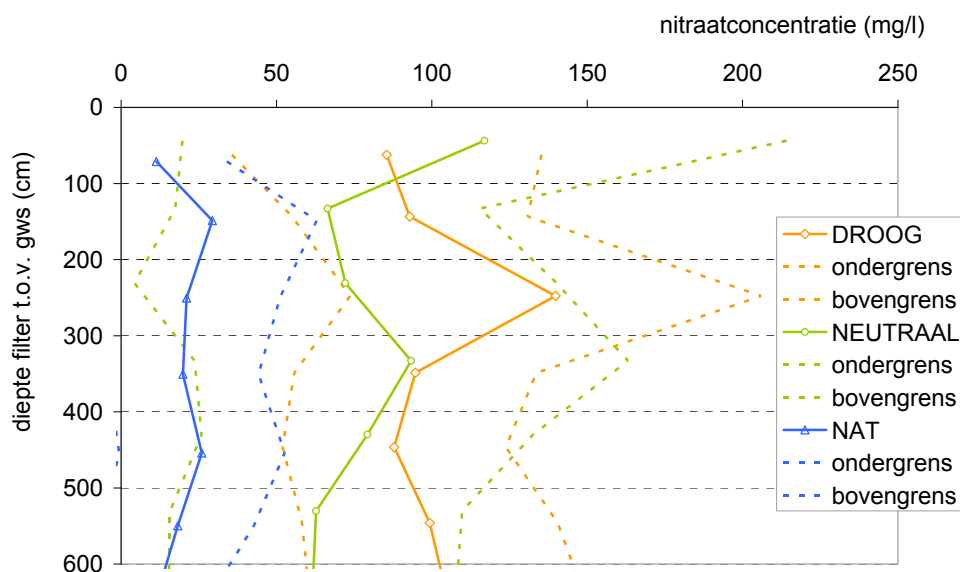
3.2.3 *Discussie*

De resultaten van het onderzoek uit 2006/2007 geven aan dat de nitraatconcentraties onder landbouw in de zandgebieden de bovenste vijf meter van het grondwater een grillig verloop te zien geven. Bij de beschouwing van de figuren moet rekening worden gehouden met het feit dat variatie in de neerslag kan leiden tot verdubbeling of halvering van de nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater van het ene jaar op het andere. Dit heeft ook consequenties, zij het in minder mate, voor de gemeten verandering van de concentratie in de tijd op grotere diepte.

Om iets te kunnen zeggen over het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte moet gekeken worden naar het gehele beeld en niet worden gefocust op een vergelijking van de concentratie in de eerste en vijfde meter. Bij natte gronden, bijvoorbeeld, is er sprake van een niet-significante stijging als de concentratie in de eerste en vijfde meter worden vergeleken. In de zesde meter zijn de concentraties echter weer lager dan de vijfde meter. Het globale beeld is dat de nitraatconcentratie weinig of niet veranderd met de diepte in de bovenste vijf meter van het grondwater, maar dat alleen in de bovenste meter de concentratie op dit moment lager is dan in de meters eronder. Opgemerkt zij dat de nitraatconcentratie over het hele diepteprofiel laag is (< 50 mg/l).

Door het geringe aantal putten per klasse kan een onjuiste classificatie van een specifieke put gevolgen hebben. De classificatie van put 186 als 'droog' of 'neutraal' is onzeker (zie paragraaf 2.4.2). Het indelen van deze put bij 'droog' in plaats van bij 'neutraal' heeft voornamelijk invloed op het gemiddelde voor de bovenste meter, omdat slechts negen metingen voor de klassen droog en neutraal gezamenlijk beschikbaar zijn. De gemiddelde nitraatconcentratie in de eerste meter daalt in het geval van herclassificatie voor de groep van droge gronden van 101 naar 85 mg/l. Voor neutrale gronden stijgt de concentratie van 104 mg/l naar 117 mg/l (zie Figuur 3.2).

Bij droge en neutrale gronden is er een niet-significante lagere nitraatconcentratie in de vijfde meter ten opzichte van de eerste meter. Deze concentratieverandering is gebaseerd op slechts enkele meetwaarden in de eerste meter van het grondwater. Toevoeging of verwijdering van slechts één meetwaarde kan zorgen voor een omslag van een stijging naar een daling of andersom, zoals te zien is als we figuur 3.1 en 3.2 vergelijken. Als we beide figuren en ook de zesde meter in het plaatje meenemen, is het beeld dat voor droge gronden er geen aanleiding is te veronderstellen dat er een daling is en dat voor de neutrale gronden er waarschijnlijk wel sprake is van afname van de nitraatconcentratie met de diepte in de eerste vijf meter van het grondwater.



Figuur 3.2 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte (tot circa 5 meter) onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen in de zandgebieden van 2006/2007 voor drie drainageklassen: nat, neutraal en droog. De gestippelde lijnen geven de 95%-betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden. Put 186 is ingedeeld in klasse 'droog' in plaats van in 'neutraal' zoals in figuur 3.1.

3.3 Verloop van de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater in 2004 en 2006/2007

3.3.1 Beantwoorden van de vraag

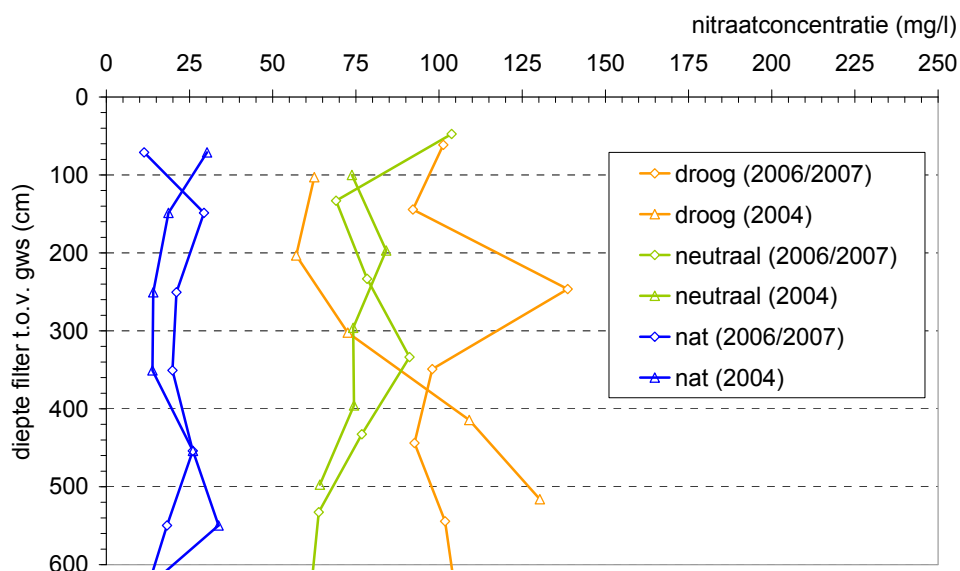
Is het verloop van de nitraatconcentratie op basis van deze nieuwe gegevens vergelijkbaar met de waarnemingen uit 2004 en geldt dit voor alle zandgronden? Indien het verloop verschilt, in welke mate voor de verschillende zandgronden?

Het niveau en het verloop van de nitraatconcentraties met de diepte in de bovenste vijf meter van het grondwater in 2006/2007 is op hoofdlijnen vergelijkbaar met gemeten niveau en het verloop in 2004; zeker gezien de bestaande natuurlijke variatie in ruimte en tijd en het beperkte aantal meetgegevens. Alleen voor de droge zandgronden is het beeld duidelijk anders. In 2006/2007 verandert de nitraatconcentratie niet of nauwelijks met de diepte terwijl in 2004 de nitraatconcentratie verdubbelde. Dit verschil tussen 2006/2007 en 2004 wordt mede veroorzaakt door een geringer aantal beschikbare meetgegevens voor met name de eerste meter van het grondwater. Echter, ook bij eerder onderzoek meer een groter aantal waarnemingen werden grote verschillen tussen jaren gevonden. Met meer meetgegevens per meetronde en over meerdere meetjaren kan meer inzicht worden verkregen in de verandering van de nitraatconcentratie. Uit alle onderzoeken blijkt dat de nitraatconcentraties in de bovenste vijf meter van het grondwater niet afnemen met de diepte bij droge zandgronden, wel afnemen bij neutrale zandgronden en laag (< 50 mg/l) zijn over het gehele traject bij natte zandgronden. Als bij de natte zandgronden de nitraatconcentraties in de bovenste meter niet laag zijn, dan nemen de concentraties af met de diepte.

3.3.2 Inleiding en beschikbare gegevens

Voor het beantwoorden van deze deelvraag zijn alleen de gegevens voor landbouwgronden meegenomen, aangezien in Fraters et al. (2006a) alleen de gemiddelde nitraatconcentraties onder landbouwgebieden zijn vastgesteld.

Het verloop van de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater zoals gemeten in 2004 en in 2006/2007 is deels vergelijkbaar (zie Figuur 3.3). Bij de neutrale zandgronden neemt de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater in beide meetjaren af. In 2004 was het verschil tussen de eerste en vijfde meter 12% en in 2006/2007 is het verschil 26%. Voor de natte zandgronden is er in beide meetjaren geen duidelijk verloop met de diepte en zijn de nitraatconcentraties over het gehele dieptetraject lager dan 50 mg/l.



Figuur 3.3 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen in de zandgebieden voor de jaren 2004 en 2006/2007, voor drie drainageklassen: nat, neutraal en droog.

Bij de droge zandgronden is er een duidelijk verschil in het verloop van de nitraatconcentratie tussen beide meetjaren. Bij de droge zandgronden is in 2006/2007 geen duidelijk verloop van de nitraatconcentratie met de diepte, terwijl in 2004 de concentratie duidelijk toenam en op vijf meter tweemaal zo hoog was als in de eerste meter (zie Figuur 3.3).

We kunnen ook het verschil in de nitraatconcentratie voor de droge gronden tussen de eerste en vijfde meter berekenen met data van putten en filters die in zowel in 2004 als in 2006/2007 beschikbaar zijn. Voor de eerste meter van het grondwater hebben we slechts de beschikking over twee meetpunten en voor de vijfde meter over acht meetpunten. In 2006/2007 is er dan een licht hogere concentratie in de vijfde meter dan in de eerste meter (+3%) in plaats van een lagere (-9%) (zie Tabel 3.1). De concentratie in de vijfde meter is in 2004 nog steeds hoger (+34%), maar het verschil met de eerste meter is minder groot dan bij gebruikmaking van alle beschikbare meetresultaten voor 2004 (+109%).

Tabel 3.1 Gemiddelde nitraatconcentratie (mg/l) voor landbouw op droge zandgronden in 2004 en 2006/2007. Gemiddelde concentraties zijn bepaald op basis van meetgegevens van precies dezelfde putten in beide meetjaren.

Diepte	Gemiddelde nitraatconcentratie	
	2004	2006/2007
1 ^e meter van het grondwater (filters put 5 en 107)	97	101
5 ^e meter van het grondwater (filters put 5, 16, 17, 107, 212, 271, 334, 377)	130	104
<i>Verandering:</i>	<i>+ 34%;</i> <i>+ 33 mg/l</i>	<i>+ 3%;</i> <i>+ 3 mg/l</i>

3.3.3

Discussie

Door het geringe aantal beschikbare meetgegevens voor met name de eerste meter van het grondwater is de berekening van een af- of toename in de nitraatconcentratie over de eerste vijf meter van het grondwater erg gevoelig voor veranderingen. Dit maakt een gedegen kwantitatieve vergelijking moeilijk.

Daarnaast kan de verandering van de nitraatconcentratie met de diepte in de tijd voor een deel gerelateerd zijn aan het feit dat dieper grondwater ouder is (andere bemestingshistorie) of aan horizontaal transport van grondwater uit nitraatrijkere of juist nitraatarmere percelen. Een verklaring voor de verandering van een stijging (zoals getoond in Fraters et al., 2006a) naar een daling van de nitraatconcentraties in de eerste vijf meter van het bovenste grondwater (aangetoond met de recente dataset) is niet direct te geven. Er zijn meerdere factoren die een rol kunnen spelen:

1. constant bemestingsniveau van de afgelopen jaren;
2. het aantal beschikbare meetgegevens in 2004 en 2006/2007;
3. de betrouwbaarheid/gevoeligheid van het gemiddelde bij de beschikbaarheid van een beperkt aantal gegevens;
4. overige factoren.

Bemestingsniveau

Een mogelijke verklaring is dat het constante bemestingsniveau van stikstof op melkveebedrijven bijdraagt aan de afname van de nitraatconcentratie met de diepte.

In het modelonderzoek van De Klijne et al. (2008) is voor de berekening van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater onderscheid gemaakt tussen 'huidig bemestingsniveau' en 'constant bemestingsniveau in de toekomst'. De nitraatconcentratie 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. In de huidige gesimuleerde situatie is geen sprake van een constant bemestingsniveau. Volgens de modelberekeningen neemt met het huidige bemestingsniveau de concentratie onder droge zandgronden in het bovenste grondwater toe. Voor de neutrale en natte zandgronden neemt de concentratie af. Bij een constant bemestingsniveau in de toekomst neemt de nitraatconcentratie bij alle type zandgronden af.

Uit bemestingsgegevens van de afgelopen jaren is af te leiden dat het bemestingsniveau in de huidige situatie al constant is geworden. Wattel et al. (2008) toont dat de bemesting van stikstof op melkveebedrijven vooral in de periode 1997-2002 aanzienlijk is gedaald. Na 2002 heeft het gemiddelde gebruik aan nitraat uit meststoffen op melkveebedrijven in Nederland zich gestabiliseerd rond de 400 kg per ha. De nitraatbemesting op akkerbouwbedrijven is in de loop der jaren veel minder aan verandering onderhevig geweest dan die op melkveebedrijven. Tot 1999 varieerde deze tussen 240 en 255 kg nitraat per hectare, daarna trad een daling op. In 2003 was dit gemiddeld 207 kg nitraat per hectare.

Beschikbare data

Ten tweede heeft het aantal beschikbaar en gebruikte data invloed op de berekening van de gemiddelde nitraatconcentraties in de onderzoeken. In 2004 zijn niet alle 49 N-putten geanalyseerd, maar slechts 44 meetpunten, waarvan 8 representatief voor de landbouw op droge zandgronden. In het onderzoek van 2006/2007 zijn voor deze categorie 10 meetpunten beschikbaar. In het algemeen geldt dat met meer meetdata het gemiddelde met grotere zekerheid kan worden vastgesteld. Uit vergelijking van variatie in de nitraatconcentraties (het verschil tussen de onder- en de bovengrens van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen) blijkt echter dat met deze twee extra meetpunten de variatie in de nitraatconcentratie niet afneemt, maar juist toeneemt. Met andere woorden de extra meetgegevens hebben niet geleid tot gemiddelde nitraatconcentraties met een kleinere variatie.

Betrouwbaarheid van de gemiddelde concentratie

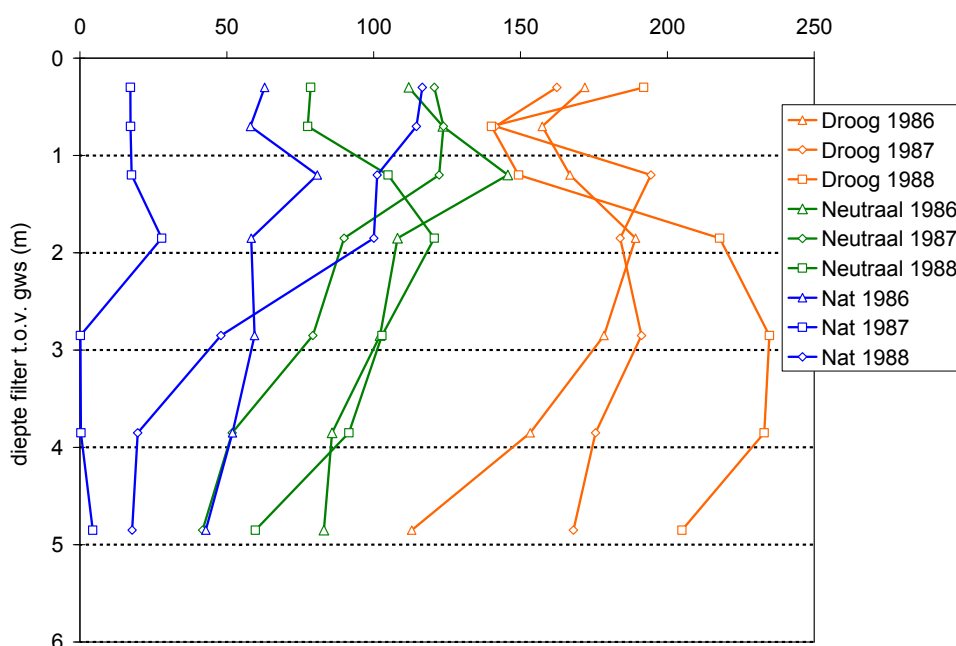
Ten derde blijkt dat de beperkte hoeveelheid data die beschikbaar is voor de berekening van de gemiddelde nitraatconcentratie in de eerste meter van het grondwater, grote invloed heeft op het resultaat van een daling of een stijging in de vijfde meter van het grondwater ten opzichte van de eerste meter. In 2006/2007 zijn voor de eerste meter van het grondwater slechts drie metingen beschikbaar voor landbouw op droge zandgronden. Met behulp van de data, zoals getoond in figuur 3.1 en 3.2, zijn de gevolgen van de toevoeging of onttrekking van één meetpunt voor het resultaat (stijging of daling) nagegaan. Figuur 3.1 geeft geen duidelijk verloop van de concentratie in de eerste vijf meter te zien bij droge zandgronden, terwijl uit figuur 3.2 zou kunnen worden afgeleid dat er sprake is van een toename van de nitraatconcentratie. Bij neutrale zandgronden is in beide gevallen sprake van een daling van de nitraatconcentratie met de diepte. Dit onderzoek dient daarom niet op zich beschouwd te worden, maar in samenhang met eerder verrichte studies. Als we dat doen, dan zien we dat de resultaten uit het huidige onderzoek op hoofdlijnen overeenkomen met eerdere onderzoeken; dit betreft onderzoeken uit 2008 (hoofdstuk 4 in Groenendijk et al., 2008; modelberekeningen), 2005 (hoofdstuk 3 in Fraters et al., 2006a; 16 meetlocaties op 4 melkveebedrijven), 2004 (figuur 3.3) en 1986-1988 (figuur 3.4).

Overige factoren

Factoren die de nitraatconcentratie met de diepte beïnvloeden volgens Fraters et al. (2006a) zijn 'storende lagen in de ondergrond' en de 'plaats van de put buiten het perceel'. Storende lagen zouden geen rol hebben mogen spelen in dit onderzoek, omdat dergelijke lagen niet zijn waargenomen bij het plaatsen van de putten. Een verdere analyse van deze vraagstelling vindt plaats in paragraaf 4.3. De vraag of de nitraatconcentratie in het bovenste filter een goede weergave geeft van de nitraatconcentratie in de bovenste meter in het

landbouwperceel in verband met de plaats van de put buiten het perceel, wordt in paragraaf 4.4 verder behandeld.

De veranderingen in het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte tussen 2004 en 2006/2007 valt gezien het relatief beperkt aantal locaties per drainageklasse mee. Ook in eerder onderzoek werden dergelijke verschillen gevonden zoals te zien is in figuur 3.4 (Fraters et al., 2006a).



Figuur 3.4 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen in de zandgebieden voor de jaren 1986-1988, voor drie drainageklassen: nat, neutraal en droog (Fraters et al., 2006a).

3.4 Verloop van de nitraatconcentratie in het grondwater beneden vijf meter diepte

3.4.1 Beantwoorden van de vraag

Neemt de nitraatconcentratie in het diepere grondwater (ten opzichte van de bovenste vijf meter grondwater) af met de diepte? Zo ja, in welke mate en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?

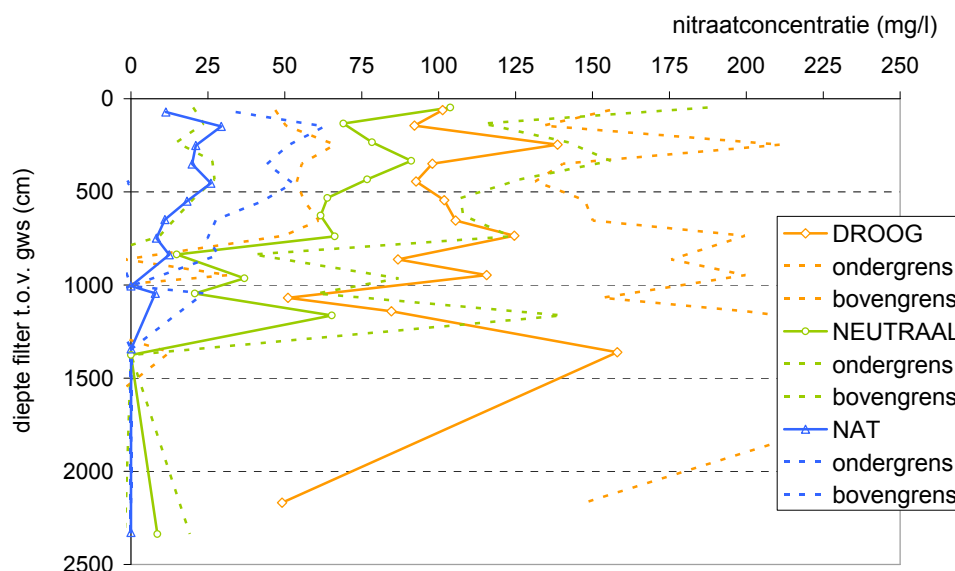
De nitraatconcentratie neemt af met de diepte in het diepere grondwater ten opzichte van de bovenste vijf meter van het grondwater. Deze afname is niet voor alle zandgronden hetzelfde. Bij de natte gronden is de nitraatconcentratie bovenin al laag en neemt verder af met de diepte. Ook bij de neutrale gronden neemt de nitraatconcentratie af met de diepte. Op een diepte van meer dan 18 meter beneden de grondwaterspiegel is de nitraatconcentratie in ieder geval lager dan 25 mg/l. Bij droge gronden is het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte zeer grillig. Er zijn hierdoor geen uitspraken te doen over het verloop met de diepte bij de droge zandgronden, dit in tegenstelling tot de neutrale en natte zandgronden. De beschikbare gegevens lijken echter wel te

duiden op een afname van de nitraatconcentratie bij de droge gronden naar een waarde rond 50 mg/l op een diepte van meer dan 18 meter beneden de grondwaterspiegel.

3.4.2 Inleiding en beschikbare gegevens

Het verloop met de diepte voor het gehele dieptetraject tot circa 25 meter onder grondwaterstand ziet er grillig uit (zie Figuur 3.5). Dit komt omdat er op grotere diepte minder meetwaarden beschikbaar zijn. Daarom is tot 12 m -gws voor iedere meter een gemiddelde berekend en voor de grotere diepten een gemiddelde voor alle gegevens tussen 12-18 m -gws en voor alle gegevens dieper dan 18 meter.

De gemiddelde nitraatconcentratie in de tiende m -gws onder landbouw op zand was 57 mg/l. Dit is een afname van 20% (ten opzichte van de bovenste vijf meter). De gemiddelde nitraatconcentratie op het diepste niveau (>18 m -gws) was 18 mg/l, een afname van 75% ten opzichte van de bovenste vijf meter.



Figuur 3.5 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen in de zandgebieden van 2006/2007 voor drie drainageklassen: nat, neutraal en droog. De gestippelde lijnen geven de 95%-betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden.

Er is geen duidelijk verloop met de diepte te zien van de nitraatconcentratie onder droge gronden (zie Figuur 3.5). De variatie is groot. Misschien vindt dieper dan 15 m -gws een afname plaats van de nitraatconcentratie, maar zonder aanvullende informatie is dat niet te hard te maken. Onder neutrale gronden neemt de nitraatconcentratie over het gehele dieptetraject af. Dieper dan 8 m -gws is de nitraatconcentratie duidelijk lager. Onder de 13 m -gws ligt de gemiddelde nitraatconcentratie onder 25 mg/l. De nitraatconcentratie onder de natte gronden toont een minder grillig beeld. De nitraatconcentratie is bovenin al laag (onder 50 mg/l) en er vindt een verdere afname plaats met de diepte. Dieper dan 10 m -gws is er bijna geen nitraat meer. In bijlage F zijn de grafieken met het verloop van de concentraties voor de individuele putten weergegeven.

3.4.3 *Discussie*

Over het gehele dieptetraject van 0-25 m -gws neemt de gemiddelde nitraatconcentratie onder landbouwgronden af. De verandering van de nitraatconcentratie met de diepte is niet overal in de zandgebieden hetzelfde. Onder de droge en neutrale zandgronden is het verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie zeer grillig. Over het dieptetraject 5-10 m -gws neemt de gemiddelde concentratie zowel toe als af. De gemiddelde concentratie in de tiende meter van het grondwater onder droge gronden is hoger dan in de eerste meter van het grondwater. Er is sprake van een stijging van 14%. Onder neutrale zandgronden zet de daling van de nitraatconcentratie, zoals zichtbaar binnen de eerste vijf meter van het grondwater, zich voort. Voor de natte zandgronden is de stijging omgezet in een daling en neemt de gemiddelde concentratie nog verder af tot concentraties onder de detectielimiet van nitraat.

In het grondwater op het diepste niveau (> 18 m -gws) is onder alle zandgronden sprake van een daling van de nitraatconcentraties. Echter voordat de daling inzet, stijgt in alle zandgronden de nitraatconcentratie. De diepte en de grootte van de stijging verschilt per zandgrond. De stijging en diepte tot waarop deze plaatsvindt, is bij de natte zandgronden het kleinst en bij de droge zandgronden het grootst. Onder de droge zandgronden stijgt de gemiddelde nitraatconcentratie naar 158 mg/l op een gemiddelde diepte van 1360 cm onder grondwaterstand. Voor de neutrale en natte zandgronden ligt de gemiddelde nitraatconcentratie op deze diepte onder de norm van 50 mg/l. Bij de droge zandgronden ligt de gemiddelde nitraatconcentratie op circa 25 meter diepte rond deze norm.

3.5 **Trend in de nitraatconcentratie voor het diepere grondwater**

3.5.1 *Beantwoorden van de vraag*

Is er een trend in de nitraatconcentratie in het diepere grondwater onder landbouw- en natuurgebieden in de tijd? Zo ja, welke en is dit voor alle zandgronden hetzelfde?

De nitraatconcentraties in het grondwater op een diepte van 10 m -mv (meters beneden maaiveld) tonen over de periode 1980-2006 een stijging bij landbouw voor alle zandgronden. De gemiddelde concentratie en de grootte van de toename over deze tijdsperiode verschilt per type zandgrond. Bij de droge zandgronden stijgt de concentratie tot en met 1996. Vanaf 1997 neemt de concentratie af. Deze piek wordt ook teruggevonden in de dieptegrafieken op een diepte van circa 1350 cm -gws.

Op een diepte van 25 m -mv stijgt de nitraatconcentratie bij landbouw op de droge en neutrale zandgronden ook. Bij de neutrale zandgronden lijkt de nitraatconcentratie vanaf 1998 weer te dalen. Bij natte zandgronden is de nitraatconcentratie over de gehele tijdsperiode onder circa 2 mg/l.

3.5.2 *Inleiding en beschikbare gegevens*

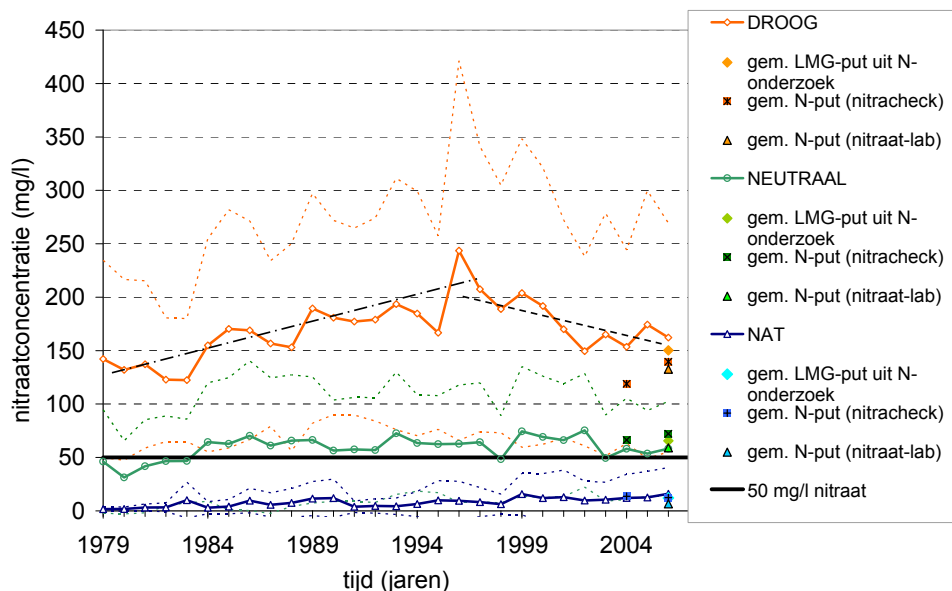
Ook in de tijd is het verloop van de nitraatconcentratie redelijk grillig en zijn er grote verschillen tussen putten. Voor de bespreking van het verloop van de nitraatconcentratie in de tijd kijken we naar de periode 1980-2006 en naar de diepteniveaus van circa 10 en 25 m -mv.

Diepteniveau circa 10 m -mv

Gemiddeld vindt op de diepte van 10 m -mv over de periode 1980-2006 een stijging van de nitraatconcentratie met 77% plaats. Bij landbouwgronden met drainageklasse droog is de gemiddelde concentratie in 1980 132 mg/l en in 2006 162 mg/l. Dit is een toename van 23% (zie Figuur 3.6). Lineaire regressie door de tijdreeks geeft een lichte stijging van de nitraatconcentratie over deze periode. Uit figuur 3.6 is af te lezen dat de nitraatconcentratie tussen 1984 en 1996 vooral stijgt, maar dat na 1996 een daling in de concentraties lijkt ingezet. In figuur 3.6 zijn (lineaire) deelregressielijnen weergegeven over de periode 1980-1997 en over 1997-2006. Deze deelregressielijnen geven een stijging over de eerste periode en een daling over de laatste periode. Het grote verschil tussen de boven- en ondergrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde geeft aan dat de nitraatconcentraties bij droge gronden sterk varieert.

Bij de neutrale gronden is er over de gehele tijdsperiode sprake van een toename (86%) naar een gemiddelde concentratie van 58 mg/l in 2006. De gemiddelde concentratie over de gehele tijdspanne ligt rond 61 mg/l.

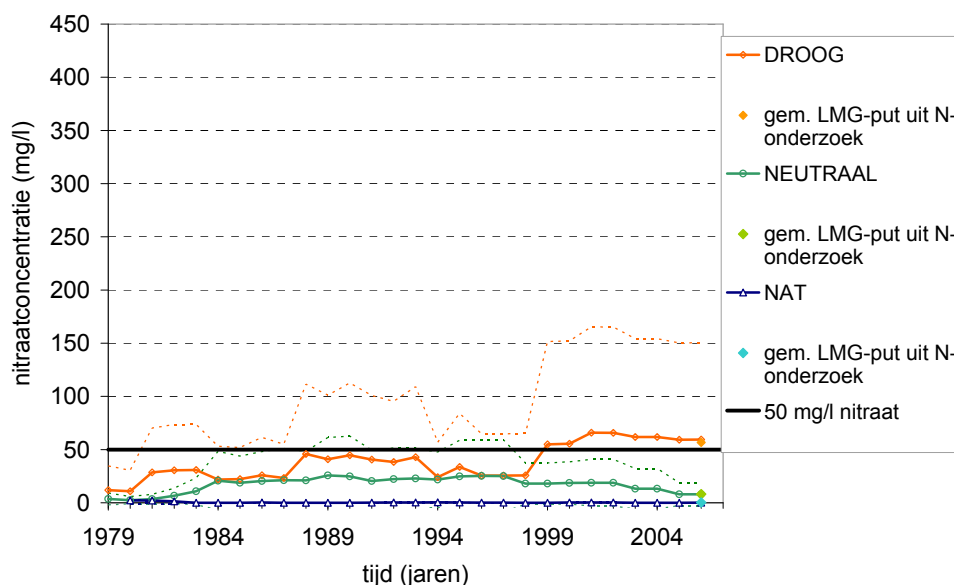
De nitraatconcentratie voor de natte zandgronden ligt onder 50 mg/l. Er lijkt sprake van een forse stijging (806%), maar het betreft slechts een stijging van 14 mg/l van 2 mg/l in 1980 naar 16 mg/l in 2006. De concentraties op deze diepte voor de natte zandgronden zijn al laag met een gemiddelde concentratie van 8 mg/l over genoemde periode.



Figuur 3.6 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie in de tijd bij landbouwpercelen in de zandgebieden op een diepte van circa 10 meter onder maaiveld voor de drie drainageklassen nat, neutraal en droog. De gestippelde (gekleurde) lijnen geven de 95% betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden weer. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de 34 LMG-putten met landgebruik landbouw. De zwart gestippelde lijnen zijn lineaire regressielijnen. De stijgende lijn is de regressielijn over de periode 1980-1997, de dalende regressielijn over 1997-2006.

Diepteniveau circa 25 m -mv

De gemiddelde nitraatconcentraties van het middeldiepe grondwater liggen bijna allemaal onder de grens van 50 mg/l (zie Figuur 3.7). Voor de droge zandgronden is er een toename van circa 11 mg/l in 1980 naar 59 mg/l in 2006. Lineaire regressie over deze periode wijst tevens op een stijging van de concentratie. De gemiddelde nitraatconcentratie onder de neutrale zandgronden neemt toe van 2 naar 8 mg/l. De gemiddelde concentratie over de gehele tijdsperiode ligt op 18 mg/l. Bij de gronden met drainageklasse nat is de gemiddelde nitraatconcentratie tussen 1980 en 2006 altijd kleiner dan 1 mg/l.



Figuur 3.7 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie in de tijd bij landbouwpercelen in de zandgebieden op een diepte van circa 25 meter onder het maaiveld voor de drie drainageklassen nat, neutraal en droog. De gestippelde lijnen geven de 95% betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden weer. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de 34 LMG-putten met landgebruik landbouw.

3.5.3

Discussie

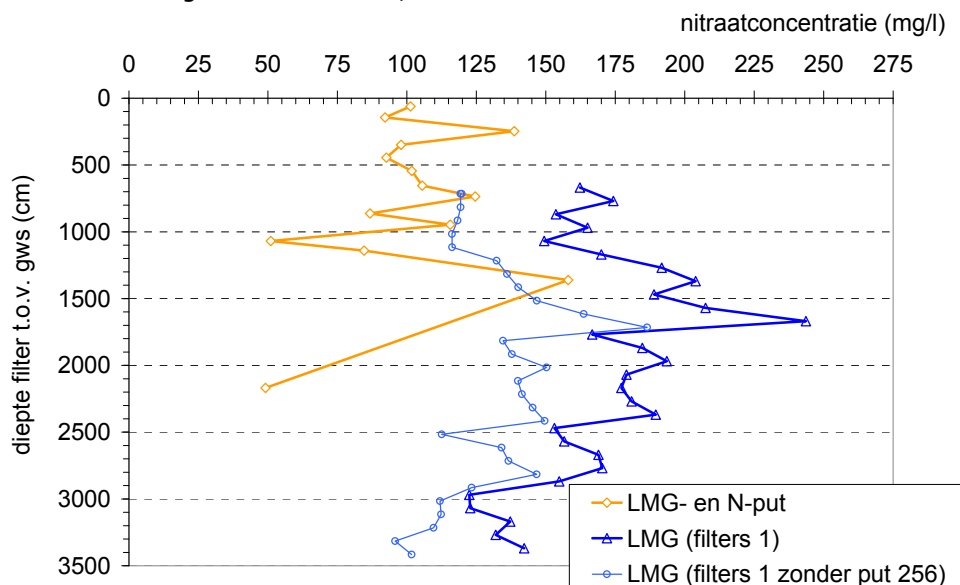
De nitraatconcentraties in het diepere grondwater laten ontwikkeling zien, waarbij de ontwikkeling het meest duidelijk is in het grondwater van droge zandgronden op 10 m -mv en in het grondwater bij natte zandgronden op 25 m -mv (zie Figuur 3.6 en Figuur 3.7). Zoals opgemerkt in paragraaf 3.2.3 moet bij de beschouwing van de figuren rekening worden gehouden met het effect van variatie in de neerslag, wat kan leiden tot verdubbeling of halvering van de nitraatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater van het ene jaar op het andere en dat dit ook consequenties heeft, zij het in minder mate, voor de gemeten verandering van de concentratie in de tijd op grotere diepte.

De nitraatpiek in het grondwater op 10 m -mv bij droge gronden weerspiegelt waarschijnlijk de piek in stikstofbelasting van rond 1987. Na de Tweede Wereldoorlog is het stikstof- en fosfaatgebruik in Nederland sterk gestegen. In 1987 heeft Nederland de groei van het stikstof- en fosforoverschot in de Nederlandse landbouw weten om te zetten in een afname (uit Zwart et al., 2008). Hierdoor is sinds 1987 de overbemesting afgenomen en daarmee ook de

nitraatbelasting van het grondwater. Analyses met behulp van grondwaterdatering ondersteunen deze veronderstelling (Visser et al., 2007).

In het grondwater op 10 m -mv bij de natte en neutrale zandgronden en het grondwater op 25 m -mv zijn dergelijke trends niet of minder duidelijk te zien. Dit kan samenhangen met de vertraagde reactie als gevolg van een langere reistijd (ouder grondwater) en het optreden van denitrificatie.

De vraag is of we met deze kennis meer inzicht kunnen krijgen in de metingen van het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte. In figuur 3.8 zijn de gegevens uit figuur 3.5 en 3.6 geïntegreerd. De oranje lijn geeft het verloop van de nitraatconcentraties met de diepte bij droge zandgronden, de lijn is één op één overgenomen uit figuur 3.5. De tijdreeks voor de droge zandgronden uit figuur 3.6 is omgezet van een verloop in de tijd naar een verloop met de diepte (dikke donkerblauwe lijn in figuur 3.8). Hierbij is gebruik gemaakt van de aanname dat het grondwater in het infiltratiegebied in de zandregio jaarlijks maximaal 1 meter zakt. Dit betekent dat het grondwater op 10 m -mv bemonsterd in 2005 in 2006 1 meter is gezakt en zich dus op 11 m -mv bevindt. Het grondwater op 10 m -mv bemonsterd in 2004 bevindt zich in 2006 dan op 12 m -mv, enzovoort. Aangezien de diepten van de filters in figuur 3.5 en 3.8 zijn weergegeven ten opzichte van de grondwaterstand en die in figuur 3.6 ten opzichte van maaiveld, zijn de filterdiepten uit figuur 3.6 omgezet naar diepte ten opzichte van de grondwaterstand. Hierbij is gebruik gemaakt van de gemiddelde filterdiepte ten opzichte van de grondwaterstand, die bekend is uit de bemonsteringsronde van 2006/2007.



Figuur 3.8 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen met droge zandgronden. De oranje lijn geeft de nitraatconcentraties weer van de LMG- en de N-putten uit het onderzoek van 2006/2007 (zie Figuur 3.5). De dikke donkerblauwe lijn geeft nitraatconcentraties in de tijd van filternummers 1 van LMG-putten, waarbij tijd is weergegeven als diepte (1 jaar = 1 meter). De dunne lichtblauwe lijn is op dezelfde manier berekend als de donkerblauwe lijn alleen zijn hierbij de resultaten van put 256 niet meegenomen.

De nitraatpiek in het grondwater onder landbouw op de droge grond in 1996 (zie Figuur 3.6), gerelateerd aan de piek in stikstofgebruik uit 1987, bevindt zich in

2006/2007 volgens de omrekening naar diepte op circa 16,5 m -gws (zie Figuur 3.8, donker blauwe lijn). Dit betekent dat de piek in het in 2006/2007 gemeten verloop van de nitraatconcentratie met de diepte (zie Figuur 3.8, oranje lijn) op circa 13,5 m -gws geen 'ruis' is, maar waarschijnlijk daadwerkelijk een toename en afname in de nitraatconcentratie weergeeft. Deze nitraatpiek komt namelijk zowel in de 'verloop met de diepte'-metingen (oranje lijn) voor als in 'verloop in de tijd'-metingen (blauwe lijn).

Dat de twee lijnen, donkerblauw en oranje, in figuur 3.8 niet over elkaar vallen, kan worden verklaard door enerzijds het optreden van denitrificatie en anderzijds door het feit dat niet precies dezelfde putten zijn gebruikt voor de berekening van beide lijnen. Hieronder is voor beide een korte toelichting gegeven.

Denitrificatie: de 'verloop in de tijd'-metingen (donkerblauwe lijn) zijn metingen die telkens op circa 10 m -mv zijn verricht. Bij het transport naar beneden zal denitrificatie kunnen optreden waardoor de nitraatconcentratie afneemt. Dit is niet in de berekening verwerkt en kan mede verklaren waarom de concentraties zoals gemeten voor 'verloop met de diepte' (oranje lijn) lager zijn.

Andere putten: er is een verschil in de selectie van de putfilters waarmee de lijnen zijn opgesteld. Dit verschil verklaart mede waarom de nitraatconcentraties van beide lijnen van elkaar verschillen. De 'verloop met de diepte'-metingen (oranje lijn) zijn gedaan in zowel N- als LMG-putten. De 'verloop in de tijd'-metingen (donkerblauwe lijn) zijn alle uitgevoerd in het eerste filter van elk van de LMG-putten. De diepte ten opzichte van grondwaterstand verschilt soms sterk tussen de verschillende eerste filters. Bijvoorbeeld filter 1 van put 256 heeft een filterdiepte van 6 meter ten opzichte van het maaiveld (en 2,5 meter ten opzichte van de grondwaterstand in 2006); de nitraatconcentratie van deze put in 2006 is met 425 mg/l zeer hoog. Dit betekent dat deze hoge concentratie bij het berekenen van de donkerblauwe lijn worden meegenomen tot op grote diepten. Indien we deze put 256 met een 'extreem' hoge nitraatconcentratie buiten beschouwing zouden laten, ziet de 'verloop in de tijd'-lijn er anders uit. Het effect hiervan is zichtbaar als de dunne lichtblauwe lijn in figuur 3.8. De nitraatconcentraties van de 'verloop in de tijd'-lijn schuiven dan over de 'verloop met de diepte'-lijn (oranje lijn). Het resterende verschil tussen nitraatconcentraties kan mogelijk verklaard worden door het optreden van denitrificatie.

3.6 Vaststellen van denitrificatie met behulp van de grondwatersamenstelling

3.6.1 Beantwoorden van de vraag

Is het mogelijk om met behulp van de grondwatersamenstelling vast te stellen of denitrificatie optreedt in de zandgebieden? En zo ja, wat zijn de meest schadelijke neveneffecten van denitrificatie en zijn er verschillen tussen zandgronden?

Het is mogelijk om met behulp van de grondwatersamenstelling vast te stellen of denitrificatie optreedt in de zandgebieden. Het plotten van de nitraat-, sulfaat-, bicarbonaat-, ijzer-, arseen- en nikkelconcentratie en oxidatievermogen met de diepte geeft inzicht in het mogelijke optreden van denitrificatie in de zandgebieden. Afhankelijk van het type denitrificatie zijn er schadelijke

neveneffecten te zien. Denitrificatie door organisch materiaal is aangetoond, waarbij 'slechts' een toename te zien is van de bicarbonaatconcentratie. Bij denitrificatie door ijzersulfiden, zoals pyriet, treden neveneffecten op in de vorm van toename van concentraties van sulfaat, ijzer, arseen, nikkel en zink. Dit is zichtbaar in de grafieken van het verloop van de gemiddelde concentraties met de diepte onder de grondwaterspiegel onder landbouwpercelen in de zandgebieden voor drainageklassen droog en neutraal. Deze neveneffecten zijn groter onder de neutrale zandgronden dan onder de droge zandgronden.

3.6.2 *Inleiding*

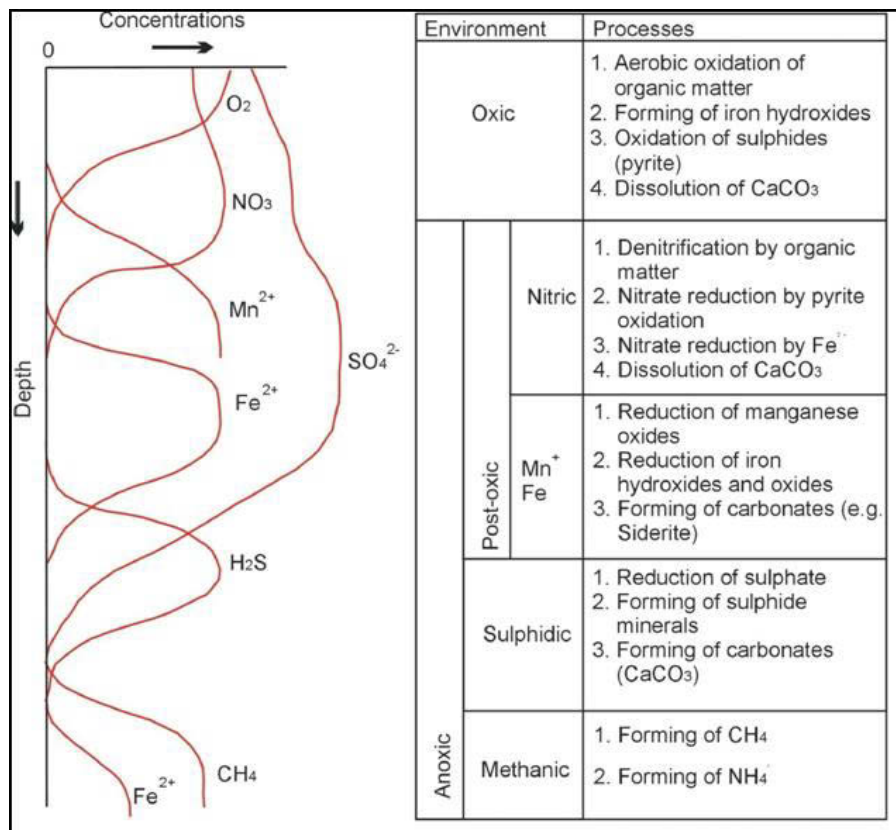
Het aantonen en kwantificeren van denitrificatie op het schaalniveau van meetlocaties is mogelijk volgens Broers et al. (2004). Fraters et al. (2006a) melden dat de gronden met een drainageklasse nat en neutraal een lagere nitraatconcentratie op 5 meter beneden grondwaterspiegel hebben dan in de eerste meter van het grondwater. Deze afname wordt waarschijnlijk deels veroorzaakt door denitrificatie. Uit de modelstudie van Groenendijk et al. (2008) blijkt dat denitrificatie optreedt binnen de eerste vijf meters van het grondwater onder alle zandgronden (droog, neutraal en nat).

Bij denitrificatie door organisch materiaal verdwijnt nitraat en er komt hiervoor extra alkaliniteit (HCO_3^-) in de plaats (Broers et al., 2004). De reactie heeft een geringe invloed op de pH. Bij oxidatie van ijzersulfiden, zoals pyriet, wordt nitraat ingewisseld voor sulfaat. Ijzersulfiden bevatten ook sporenelementen (arseen, nikkel, kobalt of zink) en deze kunnen gemobiliseerd worden tijdens oxidatie van Fe-sulfiden. In figuur 3.9 zijn deze geochemische processen in de redoxzones volgens Berner (1981) weergegeven.

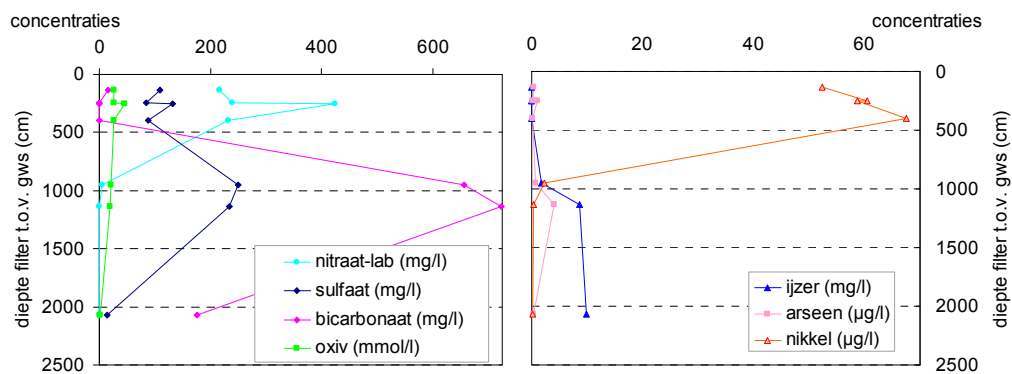
3.6.3 *Beschikbare gegevens*

Figuur 3.10 en 3.11 tonen de grondwaterkwaliteit van twee meetlocaties. De afname van nitraatconcentratie en de toename van de sulfaat-, bicarbonaat-, ijzer-, arseen-, nikkelconcentratie in beide figuren duiden op denitrificatie door ijzersulfiden.

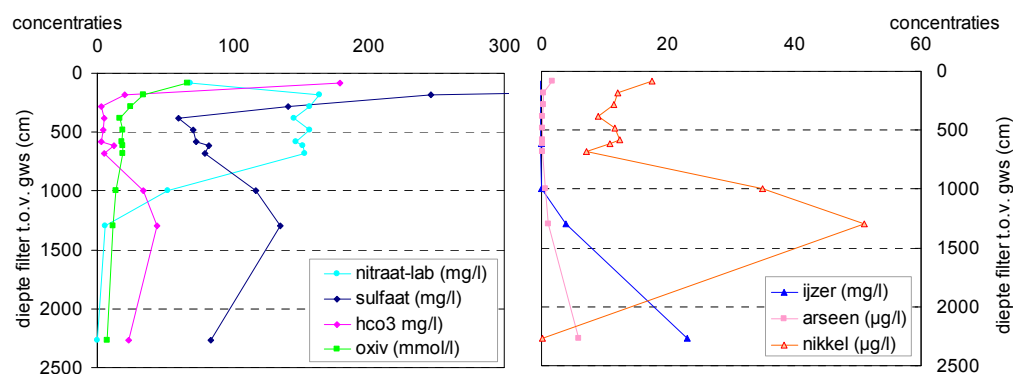
De nitraatconcentratie van put 378 in figuur 3.12 toont een afnemende nitraatconcentratie vanaf circa 500 cm -gws. De sulfaatconcentratie volgt de nitraatconcentratie en neemt dus ook af. Verder is de nikkelconcentratie op deze diepte al laag, net zoals de concentraties van arseen en ijzer. De bicarbonaatconcentratie neemt vanaf de eerste meter van het grondwater toe. Blijkbaar vindt op deze locatie denitrificatie door middel van organisch materiaal plaats.



Figuur 3.9 Geochemische processen in de verschillende redoxzones in de ondergrond volgens Berner (1981) uit Eppinger et al. (in voorbereiding).

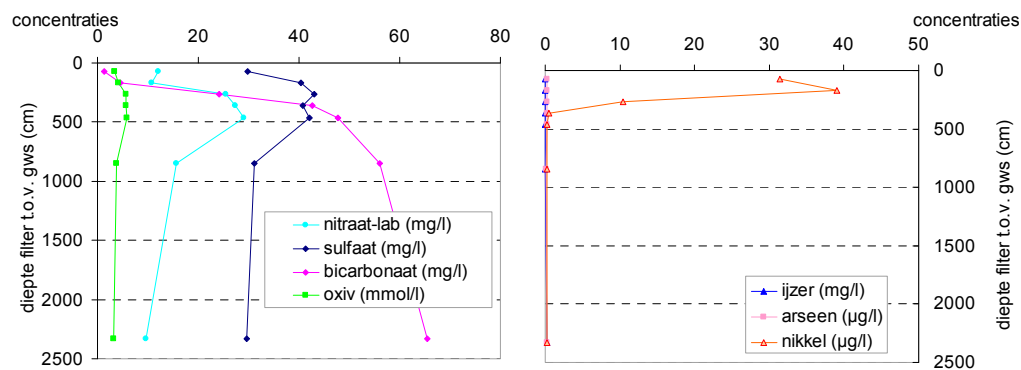


Figuur 3.10 Grondwaterkwaliteitsprofiel van N- en LMG-put 256 in Baexem (Midden-Limburg). Na 250 cm onder de grondwaterstand neemt de nitraatconcentratie af en de sulfaat- en bicarbonaatconcentratie toe. De concentraties van ijzer en arseen nemen toe na het verdwijnen van nitraat in het grondwater rond 1000 cm onder de grondwaterstand.



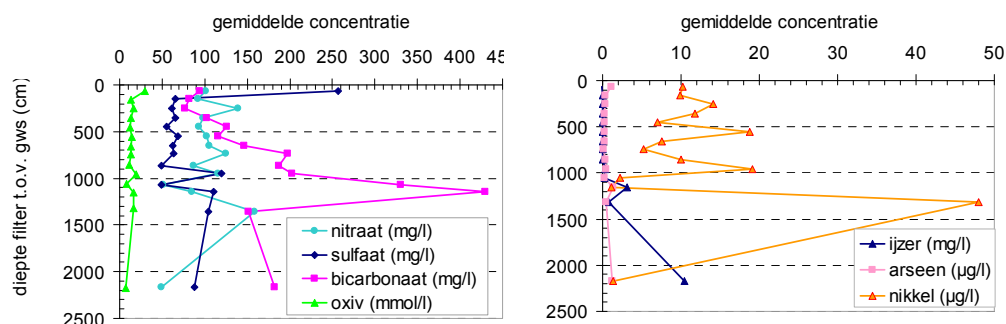
Figuur 3.11. Grondwaterkwaliteitsprofiel van N- en LMG-put 107 te Sambeek (gemeente Boxmeer in Noord-Brabant). Na 684 cm onder de grondwaterstand neemt de nitraatconcentratie af en de sulfaat- en nikkelconcentratie toe. De concentraties van ijzer en arseen nemen toe na het verdwijnen van nitraat in het grondwater rond 1300 cm onder de grondwaterstand.

Bijlage G bevat grafieken van de gemiddelde concentraties onder landbouw- en natuurpercelen per drainageklasse droog, neutraal en nat voor de parameters sulfaat, oxidatievermogen, arseen, bicarbonaat, ijzer en nikkel. In figuur 3.13 en 3.14 zijn voor landbouw op respectievelijk droge en neutrale zandgronden de gemiddelde concentraties van nitraat, sulfaat, bicarbonaat, oxidatievermogen, ijzer, arseen en nikkel samengevoegd in twee grafieken om na te gaan of denitrificatie en de gevolgen van denitrificatie op regionaal niveau zichtbaar zijn.



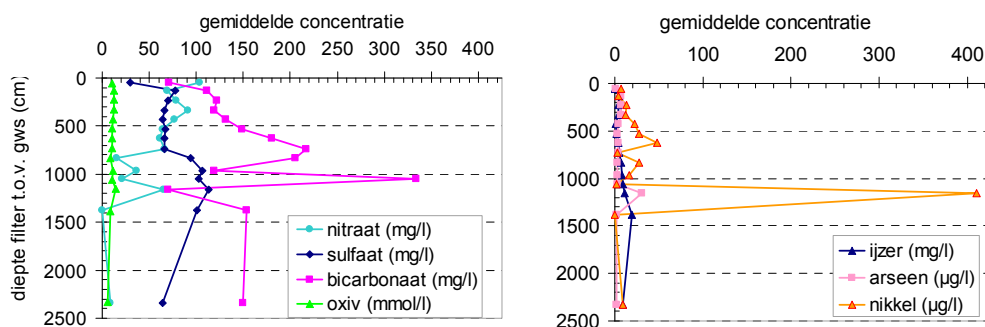
Figuur 3.12 Grondwaterkwaliteitsprofiel van N- en LMG-put 378 in Renkum (Gelderland). De nitraatconcentratie neemt vanaf 500 cm -gws af, net zoals de sulfaatconcentratie. De bicarbonaatconcentratie neemt over het gehele dieptetraject toe.

In beide figuren duiden de afname van nitraatconcentratie en de toename van het oxidatievermogen (oxiv), de sulfaat-, arseen-, ijzer- en nikkelconcentraties op denitrificatie. Onder droge landbouwgronden (zie Figuur 3.13) is een eerste afname van nitraat te zien tussen circa 750 en 850 cm -gws, waarna vanaf circa 80 cm -gws een toename zichtbaar is van oxidatievermogen, sulfaat, arseen, ijzer en nikkel. Vervolgens neemt op een diepte van circa 950 cm -gws de nitraatconcentratie verder af en is een duidelijkere toename van ijzer, arseen, nikkel, bicarbonaat en oxidatievermogen in de figuur zichtbaar.



Figuur 3.13 Verloop van de gemiddelde concentraties van nitraat, sulfaat, bicarbonaat, oxidatievermogen, ijzer, arseen en nikkel met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen in de zandgebieden van 2006/2007 voor drainageklasse droog.

Ook bij neutrale landbouwgronden is denitrificatie zichtbaar (zie Figuur 3.14) met als duidelijkste piek de toename van nikkel, arseen, ijzer en bicarbonaat tussen circa 1000-1500 cm -gws. De gemiddelde concentraties van ijzer, arseen en nikkel onder landbouwgebieden op neutrale zandgronden zijn hoger dan de concentraties van deze parameters onder landbouwgebieden op droge zandgronden.



Figuur 3.14 Verloop van de gemiddelde concentraties van nitraat, sulfaat, bicarbonaat, oxidatievermogen, ijzer, arseen en nikkel met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouwpercelen in de zandgebieden van 2006/2007 voor drainageklasse neutraal.

3.7 Beantwoording hoofdvraag A

Kunnen de meetresultaten van het onderzoek uit 2004 en de conclusies uit voorgaande toetsdieptestudies worden bevestigd met de resultaten van een herbemonstering en aanvullende gegevensanalyses?

3.7.1 Synthese en discussie

De nitraatconcentratie in de bovenste vijfde meter van het grondwater op de meetlocaties in het onderzoek van 2006/2007 neemt af met de diepte; de concentratie in de vijfde meter is 14% lager dan in de eerste meter. Voor de natte en droge gronden is er geen duidelijk verloop van de nitraatconcentratie met de diepte. De gemiddelde concentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater is bij de natte gronden veel lager (22 mg/l) dan bij droge gronden

(105 mg/l), waarbij vooral bij de droge gronden het verloop met de diepte erg grillig is. Bij de neutrale gronden is er een afname van de nitraatconcentratie met de diepte; in de vijfde meter is de concentratie 26% lager dan in de eerste meter. De gemiddelde nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter is bij neutrale gronden met circa 85 mg/l lager dan bij de droge zandgronden, maar duidelijk hoger dan bij de natte.

Het niveau en het verloop van de nitraatconcentraties met de diepte in de bovenste vijf meter van het grondwater in 2006/2007 is op hoofdlijnen vergelijkbaar met het gemeten niveau en het verloop in 2004; zeker gezien de bestaande natuurlijke variatie in ruimte en tijd en het beperkte aantal meetgegevens. Alleen voor de droge zandgronden is het beeld duidelijk anders. In 2006/2007 verandert de nitraatconcentratie niet of nauwelijks met de diepte terwijl in 2004 de nitraatconcentratie verdubbelde. Dit verschil tussen 2004 en 2006/2007 wordt mede veroorzaakt door een geringer aantal beschikbare meetgegevens voor met name de eerste meter van het grondwater. Echter, ook bij eerder onderzoek met een groter aantal waarnemingen werden grote verschillen tussen jaren gevonden. Met meer meetgegevens per meetronde en over meerdere meetjaren kan meer inzicht worden verkregen in de verandering van de nitraatconcentratie. Uit alle onderzoeken blijkt dat de nitraatconcentraties in de bovenste vijf meter van het grondwater niet afnemen met de diepte bij droge zandgronden, wel afnemen bij neutrale zandgronden en laag (< 50 mg/l) zijn over het gehele traject bij natte zandgronden. Als bij de natte zandgronden de nitraatconcentraties in de bovenste meter niet laag zijn, dan nemen de concentraties af met de diepte.

De nitraatconcentratie neemt af met de diepte in het diepere grondwater ten opzichte van de bovenste vijf meter van het grondwater. Deze afname is niet voor alle zandgronden hetzelfde. Bij de natte gronden is de nitraatconcentratie bovenin al laag en neemt verder af met de diepte. Ook bij de neutrale gronden neemt de nitraatconcentratie af met de diepte. Op een diepte van meer dan 18 m beneden de grondwaterspiegel is de nitraatconcentratie in ieder geval onder de 25 mg/l. Bij droge gronden is het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte zeer grillig. Er zijn hierdoor geen uitspraken te doen over het verloop met de diepte bij de droge zandgronden, dit in tegenstelling tot de neutrale en natte zandgronden. De beschikbare gegevens lijken echter wel te duiden op een afname van de nitraatconcentratie bij de droge gronden naar een waarde rond 50 mg/l op een diepte van meer dan 18 meter beneden de grondwaterspiegel.

De aanvullende metingen in het diepere grondwater geven ook inzicht in de robuustheid van de conclusies die worden getrokken over het verloop met de diepte en de ontwikkelingen in de tijd van de kwaliteit van het water in de bovenste vijf meter van het grondwater, doordat de ontwikkelingen in de bovenste vijf meter in perspectief kunnen worden geplaatst van die in de bovenste 20 à 30 m. Het is daarom te overwegen dergelijke metingen ook in toekomstig onderzoek uit te voeren of er bij de inrichting van nieuwe locaties rekening mee te houden.

De nitraatconcentraties in het grondwater op een diepte van 10 m beneden het maaiveld tonen over de periode 1980-2006 een stijging bij landbouw voor alle zandgronden. De gemiddelde concentratie en de grootte van de toename over deze tijdsperiode verschilt per type zandgrond. Bij de droge zandgronden stijgt de concentratie tot en met 1996. Vanaf 1997 neemt de concentratie af.

Deze piek in de nitraatconcentratie wordt ook teruggevonden in de dieptegrafieken op een diepte van circa 13,5 meter beneden de grondwaterspiegel. Dit laat zien dat het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte, zoals gemeten op een bepaald moment, beïnvloed is door de bemestingshistorie. Vergelijking van dieptemetingen met tijdreeksen geeft aan dat ook denitrificatie een rol zou kunnen spelen.

Op een diepte van 25 meter beneden het maaiveld stijgt de nitraatconcentratie bij landbouwpercelen op de droge en neutrale zandgronden ook. Bij de neutrale zandgronden lijkt de nitraatconcentratie vanaf 1998 weer te dalen. Bij natte zandgronden is de nitraatconcentratie over de gehele tijdsperiode lager dan circa 2 mg/l.

Het is mogelijk om met behulp van de grondwatersamenstelling vast te stellen of denitrificatie optreedt in de zandgebieden. Het plotten van de nitraat-, sulfaat-, bicarbonaat-, ijzer-, arseen- en nikkelconcentratie en het oxidatievermogen met de diepte geeft inzicht in het mogelijke optreden van denitrificatie in de zandgebieden. Afhankelijk van het type denitrificatie zijn er schadelijke neveneffecten te zien. Denitrificatie door organisch materiaal is aangetoond, waarbij 'slechts' een toename te zien is van de bicarbonaatconcentratie. Bij denitrificatie door ijzersulfiden, zoals pyriet, treden neveneffecten op in de vorm van toename van concentraties van sulfaat, ijzer, arseen, nikkel en zink. Dit is zichtbaar in de grafieken van het verloop van de gemiddelde concentraties met de diepte onder de grondwaterspiegel onder landbouwpercelen in de zandgebieden voor drainageklassen droog en neutraal. Deze neveneffecten zijn groter onder de neutrale zandgronden dan onder de droge zandgronden.

3.7.2

Conclusies

De meetresultaten van het onderzoek uit 2006/2007 bevestigen de bevindingen van het onderzoek uit 2004 en de conclusies uit voorgaande toetsdieptestudies. Het nieuwe onderzoek bevestigt het beeld van de afname van de nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste vijf meter van het grondwater of het ontbreken hiervan (droge zandgronden). Het laat zien dat de nitraatconcentraties in het diepere grondwater verder afnemen en dat de afname gerelateerd is aan zowel de bemestingshistorie als het optreden van denitrificatie in de ondergrond.

Het huidige onderzoek leidt tot een optimistischere kijk op de mogelijkheden om binnen de mogelijkheden van een regulier monitoringnetwerk uitspraken te kunnen doen over het al dan niet optreden van denitrificatie en de eventuele nadelige effecten hiervan op andere kwaliteitsparameters van het grondwater. Het kwantificeren van de denitrificatie en afwentelingseffecten blijft echter specialistisch werk.

4 Geschiktheid van de multifilterputten voor het monitoren van de bovenste vijf meters van het grondwater

4.1 **Introductie**

In dit hoofdstuk bespreken we de onderzoeksresultaten met het doel de vraag te beantwoorden of de buiten een perceel geplaatste permanente putten, zoals N-putten, geschikt zijn voor het monitoren van de bovenste vijf meter van het grondwater (hoofdvraag B). Hiervoor behandelen we in de onderstaande paragrafen eerst de in paragraaf 1.3 geformuleerde deelvragen, te weten:

6. Komt het water in de eerste filters van de N-putten uit het perceel, of is dit mogelijk deels afkomstig van de strook tussen de put en het perceel of zelfs van de andere kant van de put?
7. Komt het water in filters onder een storende laag wel uit het perceel? Met andere woorden: wordt het gemeten verloop van de concentratie met de diepte in de bovenste vijf meter bepaald door de aanwezigheid van een storende laag of lagen?
8. Zijn er grote verschillen tussen putten die op korte afstand staan, met andere woorden: maakt het veel uit waar de put precies komt te staan? Concreet, geven N- en LMG-putten een zelfde beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte?
9. Kunnen vaste putten worden gebruikt om de concentraties in de bovenste meters van het grondwater te meten, terwijl de grondwaterstand zowel binnen het jaar als tussen jaren fluctueert?

Elke paragraaf is, net zoals in het vorige hoofdstuk, opgebouwd uit de volgende vier secties: het beantwoorden van de vraag, inleiding, beschikbare gegevens en de discussie. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk beantwoorden we de hoofdvraag.

4.2 **Herkomst van grondwater**

4.2.1 *Beantwoorden van de vraag*

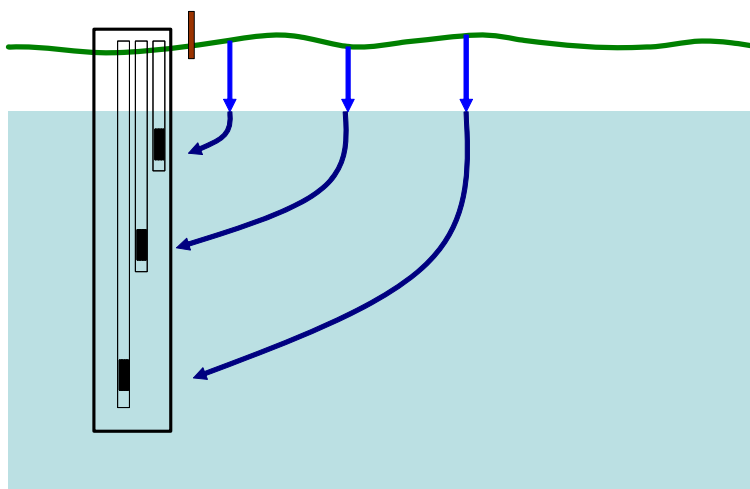
Komt het water in de eerste filters van de N-putten uit het perceel, of is dit mogelijk deels afkomstig van de strook tussen de put en het perceel of zelfs van de andere kant van de put?

Een chemische beschouwing van de watermonsters uit de N-putten geeft geen aanwijzingen dat het water in de eerste filters van de N-putten afkomstig is van de strook tussen de put en het perceel. Het is echter op basis van een geohydrologische beschouwing niet aannemelijk dat het water afkomstig is uit het perceel. Daarom zijn de bovenste filters van deze putten niet of op zijn minst minder bruikbaar voor de weergave van perceelsinvloeden op het grondwater.

4.2.2 *Inleiding*

De achtergrond van bovenstaande deelvraag is de veronderstelling dat de bovenste filters van de N-putten mogelijk water krijgen dat afkomstig is van de perceelsrand of van de weg. Hierdoor zou het water in deze filters minder beïnvloed zijn door landbouw.

De aanname is dat voor de bemonstering van de bovenste meters van het grondwater geen putten gebruikt kunnen worden die buiten het perceel zijn geplaatst. Voor de bemonstering van het diepere grondwater is dit geen probleem. Deze aanname is gebaseerd op een geohydrologische beschouwing. Om verstoring van de bedrijfsvoering te voorkomen en op eenvoudige wijze bij de put te kunnen komen en bemonsteren, worden permanente putten voor de bemonstering van grondwater meestal buiten het perceel geplaatst. Het water in het bovenste filter in een put is in het verleden op een andere plek aan het maaiveld geïnfiltreerd dan het water in het onderste filter. Het maakt hierbij niet uit of de put in of buiten een perceel staat, omdat in de waterverzadigde zone het water niet loodrecht naar beneden stroomt, maar deels ook horizontaal (zie Figuur 4.1). Dankzij deze horizontale component hoeven de putten niet in het veld te staan, zeker niet als de filters op grotere diepte onder de grondwaterspiegel staan. Het bovenste filter zou, in het geval dat door lokale omstandigheden de put wat verder weg van het perceel staat of door storende lagen in de ondergrond, water van de randen van het perceel of erger van buiten het perceel (wegberm) kunnen opvangen. Vergelijking van de metingen voor de eerste en de vijfde meter zegt dan niets over de processen in de bodem.



Figuur 4.1 Schematische weergave van grondwaterbemonstering met multifilterputten naast een landbouwperceel.

Boumans en Van Duijvenbouden (1985) concludeerden op basis van een onderzoek met langs de weg geplaatste minifilterputten, zes in het zandgebied en vijf in het kleigebied, dat de kwaliteit tot op enkele meters onder de grondwaterspiegel werd bepaald door van de weg afspoelend water. De huidige gegevensset is gebruikt om na te gaan of ook voor de N-putten is aan te tonen dat er duidelijk ander water via de bovenste filters wordt bemonsterd dan via de diepere filters.

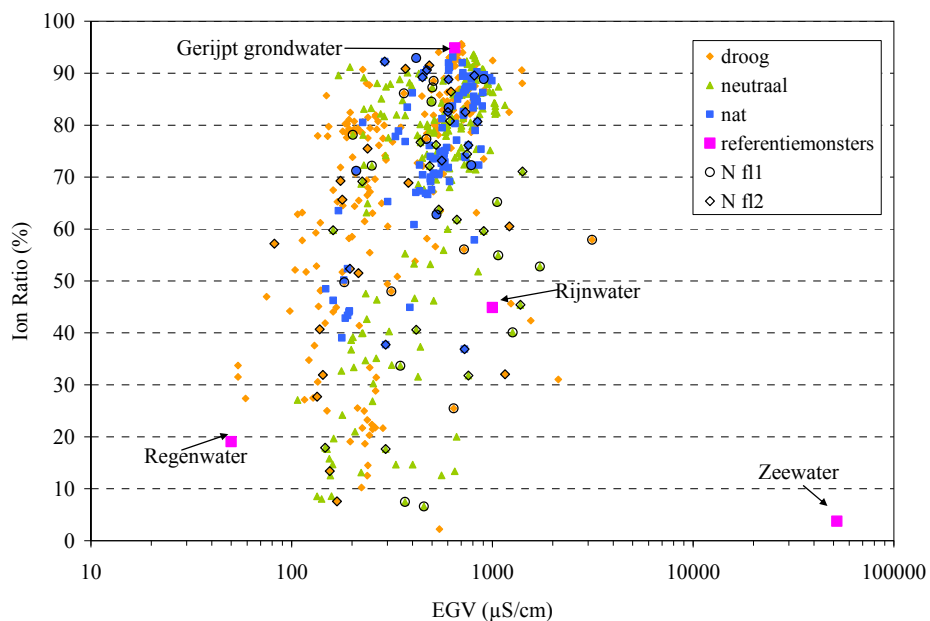
Om dit na te gaan, zijn de grondwatermonsters van de bemonstering uit 2006/2007 ingedeeld in watertypen en weergegeven in Van Wirdum-diagrammen (zie de toelichting in paragraaf 2.4.3) (zie Figuur 4.2 tot en met Figuur 4.4). In de diagrammen zijn referentiemonsters opgenomen. De roze vierkanten geven de referentiemonsters voor atmocline-regenwater, lithocline-

gerijpt grondwater, thalassocline-zeewater en, als extra referentiemonster, is ook Rijnwater uit 1975 (Van Wirdum, 1991) aan het diagram toegevoegd.

4.2.3 Beschikbare gegevens

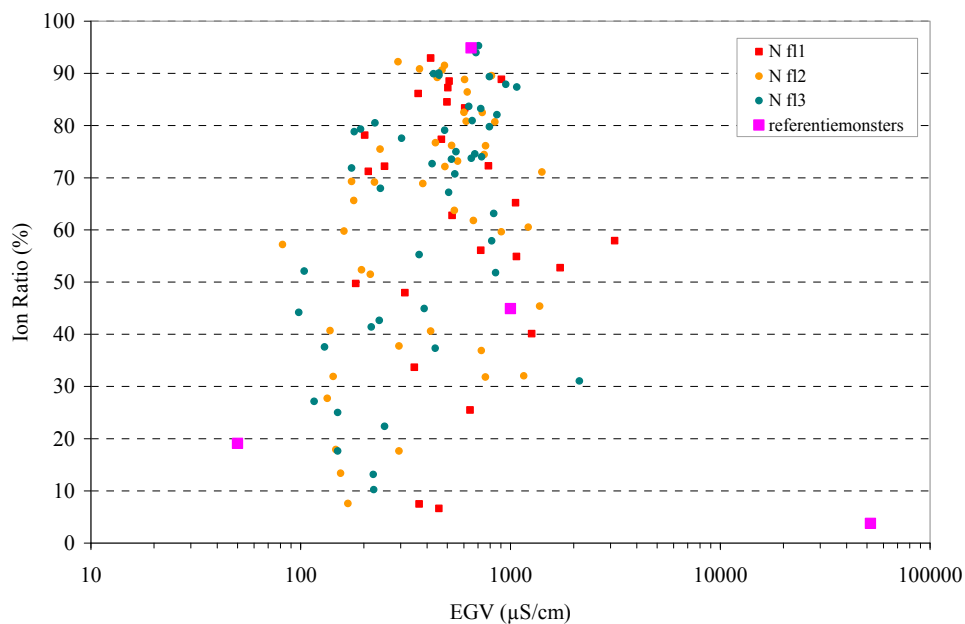
Zoals verwacht mag worden, hebben de grondwatermonsters uit dit onderzoek geen kenmerken van het zeewatertype (zie Figuur 4.2). De monsters liggen qua kenmerken in het Wirdum-diagram verspreid tussen het regenwatertype, het Rijnwatertype en het gerijpte grondwatertype. Globaal is er een patroon in te herkennen.

De grondwatermonsters met een drainageklasse droog liggen in een gebied waarin het regenwatertype overheerst (zie Figuur 4.2). Met een transparante cirkel of vierhoek zijn de ondiepste filters (filternummer 1 en 2) van de N-putten aangeduid in deze figuur. Monsters van het regenwatertype zijn monsters met een lage EC-waarde. De grondwatermonsters afkomstig van natte zandgronden liggen vooral rondom het gerijpte grondwatertype. De monsters van de neutrale zandgronden liggen het meest verspreid over het diagram en hebben een wat hogere EC-waarde dan de monsters van de droge zandgronden.

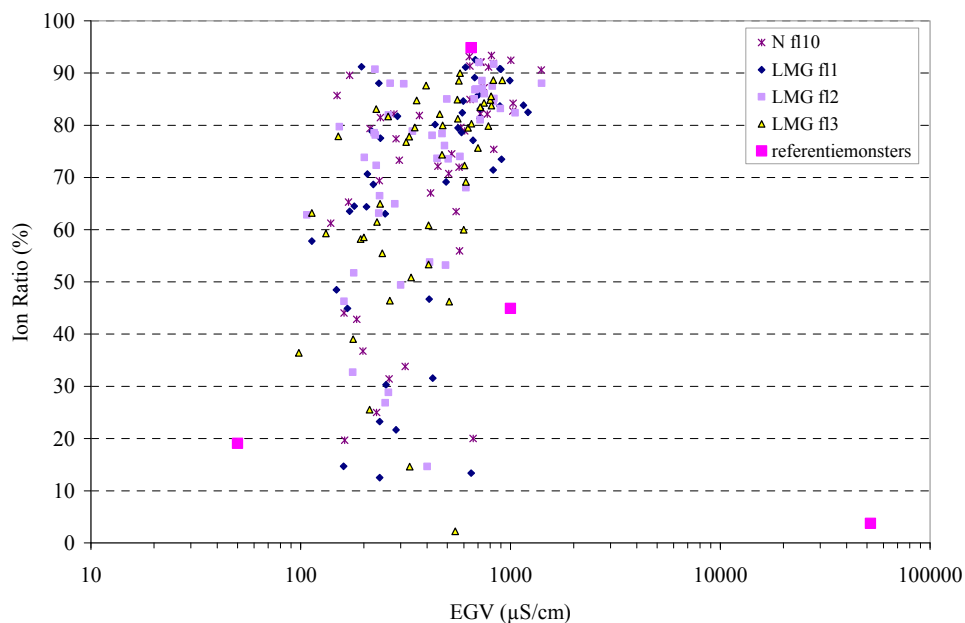


Figuur 4.2 Van Wirdum-diagram voor alle grondwatermonsters van het onderzoek in de N-putten 2006/2007 weergegeven per drainageklasse: droog, neutraal en nat. Om de ondiepe grondwatermonsters (filters 1 en 2) van de N-putten herkenbaar te maken, zijn deze weergegeven met een transparante cirkel of vierhoek. De referentiemonsters zijn weergegeven door middel van een lichtroze vierkantje.

Er is geen duidelijk verschil in watertype tussen de verschillende filterdiepten (filternummers), zie Figuur 4.3 en Figuur 4.4. Figuur 4.3 toont alleen de bovenste grondwatermonsters (filters 1 t/m 3 van de N-putten). Figuur 4.4 geeft de grondwatermonsters van de diepste filters (filternummer 10 van de N-putten en alle LMG-filters) weer.



Figuur 4.3 Van Wirdum-diagram voor de ondiepe grondwatermonsters van het onderzoek in de N-putten 2006/2007. De referentiemonsters zijn weergegeven door middel van een lichtroze vierkantje.



Figuur 4.4 Van Wirdum-diagram voor de middeldiepe grondwatermonsters van het onderzoek in de N-putten 2006/2007. De referentiemonsters zijn weergegeven door middel van een lichtroze vierkantje.

Voor bijna alle diepten en alle zandgronden (drainageklassen) ligt de gemiddelde verhouding EC/IR (%) rond de 8% (zie Tabel 4.1). De EC/IR (%) ligt iets boven de waarde van het referentiemonster voor gerijpt grondwater (6,9%). Alleen de waarde voor de bovenste grondwaterlaag (0-200 cm -mv) bij neutrale zandgronden is duidelijk hoger met de waarde van 17,4.

Tabel 4.1 Gemiddelde van de verhouding tussen EC en IR(%) voor de diepten 0-200 cm -mv, 200-500 cm -mv en dieper dan 500 cm -mv voor gronden met drainageklasse droog, neutraal en nat. In de tabel is ook de verhouding EC/IR(%) gegeven voor de referentiemonsters regenwater, rijp kwelwater, zeewater en Rijnwater (1975).

Referentiemonsters	EC/IR(%)		
Regenwater 1980 (At)	2,6		
Rijp kwelwater (Li)	6,9		
Zeewater (TH)	13.886		
Rijnwater (1975)	22,2		

Drainageklasse	droog	neutraal	Nat
Diepte			
0-200 cm -mv	8,7 (N = 32)	17,4 (N = 22)	8,0 (N = 14)
200-500 cm -mv	8,3 (N = 60)	9,0 (N = 51)	7,5 (N = 30)
> 500 cm -mv	8,2 (N = 116)	9,0 (N = 111)	7,6 (N = 68)

4.2.4

Discussie

De gemiddelde nitraatconcentratie in de eerste meter van het grondwater uit de N-putten (75 mg/l) komt goed overeen met die uit het LMM voor dezelfde periode (70 mg/l; zie paragraaf 3.2.2). Op basis van deze gegevens en de gegevens gepresenteerd in de bovenstaande paragraaf kan niet worden gesteld dat het water tussen 1-10 meter een andere herkomst heeft.

Uit de analyse van de verschillende watertypen van de bovenste drie filters van de N-putten komt geen duidelijk onderscheid naar voren voor een bepaald watertype per filterdiepte. De monsters van de filternummers 1 van de N-putten concentreren zich niet rondom het regenwaterreferentiemonster. Dit betekent dat er geen aanleiding is om op basis van de chemische eigenschappen de bovenste filters van putten buiten de perceelsgrenzen uit te sluiten van analyse met betrekking tot effecten van maatregelen op de grondwaterkwaliteit. Dit zou wel het geval zijn als monsters van het bovenste grondwater ('uit de bovenste filters') duidelijk tot een ander watertype behoren dan het grondwater op een grotere diepte. Dit is echter niet aan de orde. Wel blijft het op basis van de geohydrologische beschouwing onwaarschijnlijk dat het water uit het bovenste filter echt afkomstig is uit het perceel als de put niet op de perceelsrand staat.

Globaal is uit de Van Wirdum-diagrammen een onderscheid tussen het grondwater onder droge, neutrale of natte zandgronden af te lezen. Bij droge zandgronden lijkt het grondwater het meest op het regenwatertype doordat in deze gronden sprake is van infiltratie van regenwater. De monsters van het grondwater onder de neutrale zandgronden hebben hogere EC-waarden en liggen hierdoor meer naar rechts in het diagram ten opzichte van de droge gronden. Uit de berekening van de gemiddelde EC/IR(%) worden de hoogste waarden aangetroffen bij de monsters uit de bovenste twee meter van de neutrale gronden. Dit lijkt erop te duiden dat vooral deze monsters het meest

naar rechts in het diagram liggen. De natte zandgronden worden beïnvloed door kwel waardoor deze monsters meer in de richting van het type 'gerijpt grondwater' liggen.

4.3 Verloop van de nitraatconcentratie met de diepte en de aanwezigheid van een storende laag of lagen?

4.3.1 Beantwoorden van de vraag

Komt het water in filters onder een storende laag wel uit het perceel? Met andere woorden: wordt het gemeten verloop van de concentratie met de diepte in de bovenste vijf meter bepaald door de aanwezigheid van een storende laag of lagen?

Het is niet eenduidig vast te stellen of het water uit filters onder een storende laag wel of niet uit het bovenstrooms gelegen perceel komt als alleen een boorbeschrijving van de put zelf beschikbaar is. Zelfs als aanvullende informatie aanwezig is, zullen er twijfels kunnen blijven bestaan door tegenstrijdigheden in de data. Aanvullende informatie die kan worden verzameld, zijn de karakteristieken om te zien of er denitrificatie in het spel is en andere grondwaterkarakteristieken om een vergelijking te maken tussen het water boven en onder de storende laag. Met deze aanvullende informatie kan worden aangegeven in welke mate het waarschijnlijk is dat het gaat om hetzelfde water boven en onder de storende laag. Aanvullend (geofysisch) onderzoek naar de omvang en dikte van de laag kan mogelijk in twijfelgevallen uitkomst brengen.

4.3.2 Inleiding

Voor het beantwoorden van de vraag of storende lagen het verloop van de nitraatconcentratie bepalen, is nagegaan of slecht doorlatende lagen in de ondergrond onder de diverse putten voorkomen. Boorbeschrijvingen zijn geanalyseerd op storende lagen (boorbeschrijvingen zijn weergegeven in het interne RIVM-rapport 'Toetsdiepte onderzoek 2004-2006, resultaten bemonstering N-putten in 2004'). Vervolgens zijn de grondwaterstanden van alle filters per put met elkaar vergeleken (zie Bijlage D). Als een filter zich bevindt tussen twee slecht doorlatende lagen, kan door de druk de stijghoogte in dit filter hoger staan dan in de filters boven de slecht doorlatende laag. Ook kan het zijn dat de slecht doorlatende laag een schijngrondwaterspiegel veroorzaakt. Voor het beantwoorden van de deelvraag zijn daarnaast ook de concentraties van nitraat, chloride, kalium en de verhouding EC/IR boven en onder de slecht doorlatende laag naast elkaar gezet.

Om aan te tonen dat het gemeten verloop van de concentratie met de diepte in de bovenste vijf meter bepaald wordt door de aanwezigheid van een storende laag of lagen, zijn de volgende punten in beschouwing genomen (zie Tabel 4.2).

1. Bevindt er zich een slecht doorlatende laag in de bovenste vijf meter?
2. Is er een verschil in de grondwaterstand gemeten boven en onder de slecht doorlatende laag?
3. Is de nitraatconcentratie boven en onder de slecht doorlatende laag verschillend?
4. Is de kaliumconcentratie boven en onder de slecht doorlatende laag verschillend?
5. Is de chlorideconcentratie boven en onder de slecht doorlatende laag verschillend?

6. Is het watertype boven en onder de slecht doorlatende laag verschillend? Een verschillend watertype duidt op een andere 'bron'. Hetzelfde watertype zowel boven als onder de slecht doorlatende laag sluit echter niet uit dat deze laag het verloop van de concentratie met de diepte bepaald.

4.3.3 Beschikbare gegevens

Slecht doorlatende lagen en nitraatverloop

Voor vier putten blijkt uit de boorbeschrijvingen dat zich een slecht doorlatende laag binnen de eerste meters onder het maaiveld bevindt (zie Tabel 4.2). Dit is het geval bij put 16, 17, 42 en 97. Bij de putten 16, 17 en 97 zijn de bovenste filters van de put ingericht onder deze slecht doorlatende laag. Bij put 42 is het bovenste filter ingericht in deze leemlaag. Voor dit filter zijn echter geen analyseresultaten uit 2006/2007, aangezien er te weinig water toestroomde om dit filter te bemonsteren en te analyseren.

Bij negen andere putten (put 101, 104, 107, 114, 142, 146, 251, 256 en 258) bevindt de slecht doorlatende laag zich op grotere diepte. In de ondergrond (tot circa 1200 cm -mv) van zowel put 97 als put 251 komen twee slecht doorlatende lagen voor.

Wat betekenen deze storende lagen in de eerste meters onder het maaiveld voor het verloop van de nitraatconcentratie? Ondanks het voorkomen van een slecht doorlatende laag in de eerste meters bij put 16, 17 en 97, worden in de onderliggende filters nitraatconcentraties boven de norm van 50 mg/l aangetroffen. Blijkbaar kunnen deze slecht doorlatende lagen niet voorkomen dat nitraat naar de diepte toe uitspoelt.

In het grondwater van put 42 (bos/natuurgebied op zandgrond met drainageklasse neutraal) wordt op geen enkele diepte nitraat in het grondwater aangetroffen. Voor de mestindicator kalium zijn geen analyseresultaten beschikbaar voor deze put. Wel is de chlorideconcentratie bepaald. In het eerste filter onder de storende laag is de concentratie 19 mg/l, in de diepere filters is de concentratie gemiddeld 8 mg/l. Aangezien deze put in natuur/bosgebied ligt, is de kans groot dat de lage (nitraat)concentraties te relateren zijn aan het landgebruik en niet zijn toe te schrijven aan de slecht doorlatende laag in de bovengrond.

In put 97 (landbouwgebied op zandgrond met drainageklasse neutraal) neemt de nitraatconcentratie tussen de twee slecht doorlatende lagen met de diepte af van 266 naar 113 mg/l. In de filters onder de tweede slecht doorlatende laag wordt geen of bijna geen nitraat meer in het grondwater aangetroffen. Met uitzondering van het tiende filter van de N-put op bijna 1300 cm -mv. Op deze diepte wordt 120 mg/l nitraat aangetroffen. Het diepste filter (LMG-filter 3) op 2300 cm -mv bevat geen nitraat.

Naast put 42 is er in de putten 114 en 258 (landgebruik bos/natuur) en de putten 142 en 146 (landgebruik landbouw) zowel boven als onder de slecht doorlatende laag geen nitraat in het grondwater aangetroffen.

Tabel 4.2 Overzicht van de putten met slecht doorlatende laag in de ondergrond. In de tabel zijn de grondwaterstanden, het verschil in grondwaterstand en de concentraties van nitraat, chloride en kalium, en de verhouding EC/IR boven en onder de slecht doorlatende laag weergegeven.

Bodem- gebruik		Laag (slecht doorlatend) (cm -mv)		Verschil gws (cm)		Cl boven / onder laag (mg/l)		EC/IR (%)	
Put	Drainage- klasse	Gws boven / onder laag (cm-mv) ¹		NO ₃ boven/ onder laag (mg/l)		K boven / onder laag (mg/l)			
16	land- bouw	droog	150- 200	- ² / 215	-	- ² / 53	- ² / 18	- ² / 0,5	- ² / 15,8
17	land- bouw	droog	150- 200	- ² / 260	-	- ² / 155	- ² / 28	- ² / 3	- ² / 16,1
42	bos / natuur	neu- traal	50-400	39 / 221	182	- / geen	- / 19	niet be- paald	geen data
97	land- bouw	neu- traal	125- 275 850- 900	- ³ / 205 205 / 206	- geen	- ³ / 266 113 / geen	- ³ / 26 37 / 43	- ³ / 54 2 / 3	- ³ / 11,2 8,8 / 9,4
101	bos / natuur	droog	575- 625	302 / 303	geen	32 / 33	13 / 13	1 / 1	7,3 / 11,8
104	bos / natuur	droog	375- 675	122 / 127	5	32 / geen	11 / 12	0,3 / 2	2,7 / 2,4
107	land- bouw	droog	900- 1275	137 / 135	geen	153 / 6	23 / 31	22 / 11	6,6 / 6,3
114	bos / natuur	droog	675- 725	433 / 412	21	geen / geen	11 / 12	2 / 2	4,3 / 3,5
142	land- bouw	neu- traal	460- 1100	65 / 243	178	geen / geen	41 / 52	2 / 3	11,7 / 10,2
146	land- bouw	nat	650- >1100	61 / 126	65	geen / geen	11 / 17	14 / 2	2,7 / 4,3
251	land- bouw	neu- traal	650- 900 1100- >1200	104 / 226 ⁴ 119 / 114 ⁵	122 5	153 / 48 48 / geen	31 / 30 30 / 19	16 / 17 17 / 1	7,6 / 7,7 7,7 / 3,2
256	land- bouw	droog	750- 1275	377 / 399	22	232 / geen	21 / 51	18 / 2	8,1 / 15,5
258	bos / natuur	droog	500- 550	298 / 317	19	geen / geen	9 / 9	2 / 2	2,5 / 2,4

- 1) Grondwaterstand gemeten in het bovenste filter boven de slecht doorlatende laag en grondwaterstand gemeten in bovenste filter onder de slecht doorlatende laag. Grondwaterstand gemeten tijdens de bemonstering van november 2006 t/m maart 2007.
- 2) In put 16 en 17 zijn geen filters boven deze laag aangebracht.
- 3) In put 97 stond het eerste filter droog.
- 4) Grondwaterstanden op basis van N-put.
- 5) Grondwaterstanden op basis van LMG-put.

Bij de 'landbouwputten' 97, 107, 251 en 256 en 'bos/natuurput' 104 is duidelijk een afname van de nitraatconcentratie onder de slecht doorlatende laag ten opzichte van de nitraatconcentratie boven deze laag. Bij de putten 107, 251 en 256 neemt ook de kaliumconcentratie af. Alleen bij put 256 is er een duidelijk verschil in de verhouding EC/IR boven (8,1%) en onder (15,5%) de laag. Uit de verhouding EC/IR (zie ook paragraaf 4.1) bij put 104 blijkt dat het watertype zowel boven als onder de slecht doorlatende laag het regenwatertype heeft (EC/IR is circa 2,5%).

Put 101 (bos/natuur - droog) heeft een slecht doorlatende laag van circa 50 cm dikte op 600 cm -mv. In de filters boven en onder deze kleilaag is de nitraatconcentratie (circa 33 mg/l) vergelijkbaar. Dit ondanks dat de verhouding EC/IR wel verschillende waarden te zien geeft (7,3% boven en 11,8% onder). Vanaf 1500 cm -mv is nitraat uit het grondwater verdwenen.

Slecht doorlatende lagen en grondwaterstanden

De meest opmerkelijke verschillen in grondwaterstanden worden gevonden bij de putten 42, 142, 146 en 251 (zie Tabel 4.2). Alleen in put 251 is nitraat aanwezig.

Bij put 142 is de grondwaterstand boven de kleilaag 65 cm -mv en onder de kleilaag 243 cm -mv, een verschil van 178 cm. De verschillen in chloride- en kaliumconcentraties en de verhouding EC/IR boven en onder de laag zijn echter klein.

De grondwaterstand van put 146 boven de slecht doorlatende laag is ongeveer de helft (circa 61 cm -mv) van de grondwaterstand (circa 126 cm -mv) onder de slecht doorlatende laag. Ook de verhouding EC/IR is hoger onder de laag (4,3%) dan boven de laag (2,7%), wat duidt op regenwater boven en iets gerijpt grondwater onder de laag. De chlorideconcentratie is iets hoger onder de laag, terwijl de kaliumconcentratie duidelijk lager is, maar voor beide geldt dat concentraties zowel boven als onder relatief laag zijn.

In put 251 is er een verschil van circa 122 cm tussen de grondwaterstand boven en onder de bovenste slecht doorlatende laag. Overigens is het verschil van de grondwaterstand boven en onder de tweede (diepere) slecht doorlatende laag slechts enkele centimeters. Het verschil in nitraatconcentraties in deze put is eveneens groot 153 mg/l boven en 48 mg/l onder de laag. De andere parameters (Cl, K en de verhouding EC/IR) geven geen aanleiding om te veronderstellen dat het om verschillende soorten water gaat.

4.3.4

Discussie

Op de vraag of het gemeten verloop van de nitraatconcentratie met de diepte wordt bepaald door de aanwezigheid van een storende laag of lagen, is geen eenduidig antwoord te geven. Storende lagen komen voor in de ondergrond ter plaatse van de N-putten en LMG-putten. De vraag is echter of deze laag zich zodanig bovenstrooms uitstrekt en dik is dat deze het verloop van de nitraatconcentratie met de diepte beïnvloed. Op putniveau is aangetoond dat de nitraatconcentratie onder storende lagen aanzienlijk lager kan zijn dan boven deze laag, zoals het verloop van de nitraatconcentraties van put 97, 104, 107, 251 en 256 laat zien. De nitraatconcentratie kan ook boven een storende laag

zijn beïnvloed door zijdelings toestromend verontreinigd grondwater van elders. Dit zou het geval kunnen zijn bij filter 2 van N-put 104.

Daarnaast is het echter nog steeds mogelijk dat onder een 'storende laag' nitraat in het grondwater wordt aangetroffen tot ruim boven de norm van 50 mg/l. Een dergelijk patroon is waargenomen bij de putten 16, 17 en 97 met alleen waarneming onder deze laag. Of dat er geen verschil is tussen boven en onder de laag (put 101).

Ook kan de afname van nitraatconcentratie met de diepte onder een storende laag het gevolg zijn van denitrificatie en/of het feit dat nitraat het diepere grondwater (nog) niet heeft bereikt, zoals bij put 97 (tweede laag), 104, 107, 251 en 256.

4.4 Geven N- en LMG-putten een zelfde beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte?

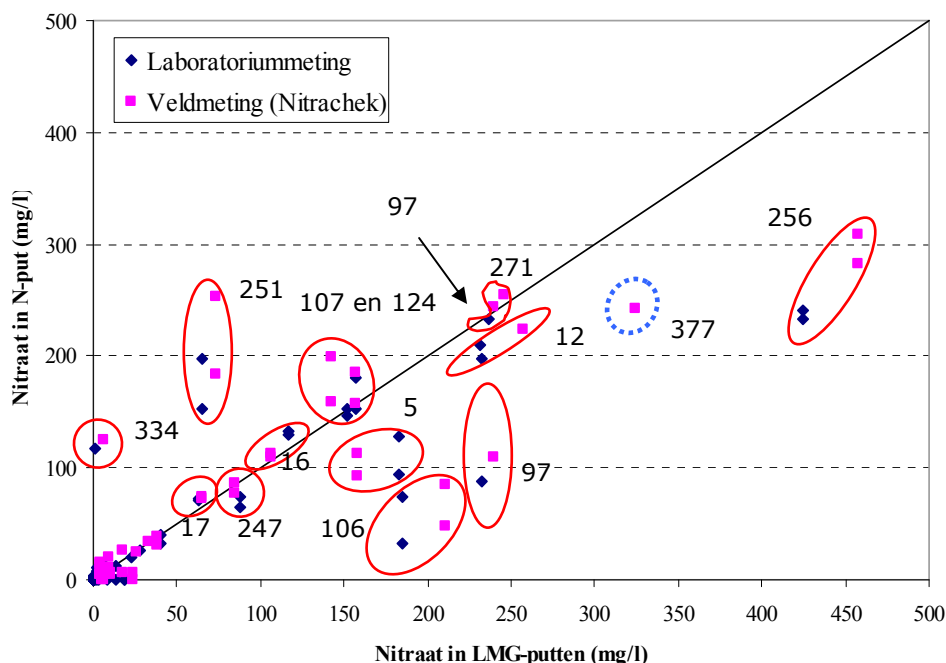
4.4.1 Beantwoorden van de vraag

Zijn er grote verschillen tussen putten die op korte afstand staan, met andere woorden: maakt het veel uit waar de put precies komt te staan? Concreet, geven N- en LMG-putten een zelfde beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte?

Er zijn geen grote verschillen in de gemeten waterkwaliteit tussen putten die op korte afstand van elkaar staan. De N- en LMG-putten geven een vergelijkbaar beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte. De waargenomen waterkwaliteitsverschillen kunnen ook worden toegeschreven aan de verschillen in filterdiepten en filterlengten tussen de N- en LMG-putten.

4.4.2 Inleiding en beschikbare gegevens

Voor zowel het grondwater in de LMG- als in N-filters is de nitraatconcentratie geanalyseerd in het veld, gebruikmakend van de nitracheckmethode, en in het laboratorium. Ook is nagegaan welke filters van de N-put een vergelijkbare diepte hebben als het ondiepste filter van de LMG-put. De concentraties van de filters op vergelijkbare diepte zijn per puttenpaar tegen elkaar uitgezet (Figuur 4.5). Aangezien een LMG-filter een lengte van 2 meter heeft en een N-filter van 25 cm, komt het voor dat een nitraatconcentratie van een LMG-filter wordt vergeleken met de nitraatconcentraties van twee filters van één N-put.



Figuur 4.5 Vergelijking van de nitraatconcentratie (mg/l) (gemeten in het veld en in het laboratorium) tussen het ondiepste filter van de LMG-put (filter 1) en filters van de N-put op een vergelijkbare diepte. Met rode cirkels zijn puntenparen weergegeven. De blauwe gestippelde cirkel geeft meetpunt 377 weer, waarvoor alleen nitracheekbepaling beschikbaar is en geen nitraatlabconcentratie.

Bij veertien van de 49 meetparen is een groot procentueel verschil tussen de nitraatconcentratie van de N-put en de LMG-put. Bij acht van deze meetparen (7, 95, 104, 211, 212, 364 en 380) is het procentueel verschil groot, doordat de nitraatconcentraties in deze filters laag is. Het absolute verschil in de nitraatconcentratie is echter wel laag. Bij zes van de 49 meetparen is er zowel een groot procentueel als absoluut verschil tussen de nitraatconcentratie van de N-put en de LMG-put (5, 97, 106, 251, 256, 334). Voor deze meetparen is nagegaan of het filter daadwerkelijk op een vergelijkbare diepte is ingericht. Voor alle meetpunten, behalve put 334, is dit het geval. Mogelijk verklaart de diepteligging het verschil in de gemeten nitraatconcentratie voor put 334.

Voor de andere putten is een verklaring moeilijker te geven. Wellicht kan de verklaring worden gezocht in het verschil in de inrichting tussen de twee type putten. De N-putten zijn ingericht met een filter van slechts 25 cm en tussen de filters zijn meestal geen scheidende lagen aanwezig. Bij de bemonstering is hiermee wel rekening gehouden door meerdere filters gezamenlijk af te pompen met een laag pompdebiet (zie paragraaf 2.3.1). Hierdoor ontstaat een horizontale stroming naar alle filters toe, zodat daadwerkelijk het grondwater op de betreffende diepte wordt bemonsterd. Echter de LMG-putten hebben een filter van 2 meter lengte. Dit betekent dat grondwater wordt gemengd over een lengte van 2 meter in tegenstelling tot slechts 25 cm van de N-put.

4.4.3 *Discussie*

De LMG- en N-putten staan op korte afstand van elkaar. Uit figuur 4.5 en 3.6 blijkt dat de concentraties op vergelijkbare diepten niet altijd gelijk aan elkaar zijn, maar wel van dezelfde orde van grootte. Verschillen kunnen mogelijk worden verklaard doordat:

- de N- en LMG-put op een locatie soms wat verder uit elkaar staan;
- de filters van de N- en LMG-put op een locatie niet altijd op dezelfde diepte zijn ingericht;
- de filterlengte wordt gebruikt in de N- en LMG-putten van elkaar verschillen.

Ook eerdere resultaten geven aan dat N- en LMG-putten een zelfde beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte geven. Paragraaf 4.1 toont de vergelijking van de watertypen voor de filters van de LMG- en N-putten. Hieruit blijkt dat de watertypen van de ondiepe filters van de N-putten niet anders zijn dan voor onderliggende filters.

4.5 **Vaste putten voor meten in het bovenste grondwater?**

4.5.1 *Beantwoorden van de vraag*

Kunnen vaste putten worden gebruikt om de concentraties in de bovenste meters van het grondwater te meten, terwijl de grondwaterstand zowel binnen het jaar als tussen jaren fluctueert?

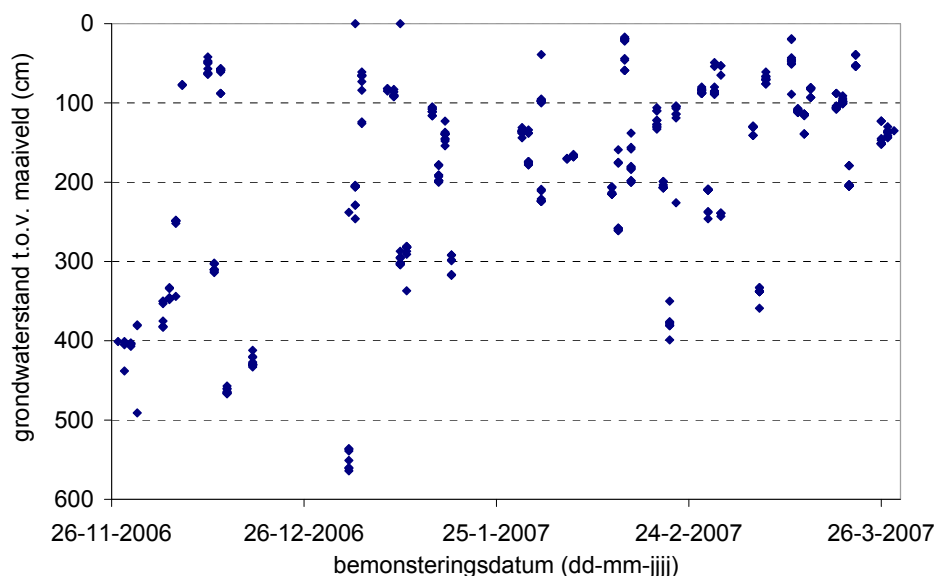
Vaste putten kunnen worden gebruikt om de concentraties in de bovenste meters van het grondwater te meten, ondanks dat de grondwaterstand zowel binnen het jaar als tussen jaren fluctueert. Er is geen reden om aan te nemen dat de metingen uit de vaste putten beïnvloed worden door het bemonsteringstijdstip. Door de schommelende grondwaterstand varieert de diepte van de grondwaterstand ten opzichte van het bemonsteringsfilter, waardoor het met vaste putten helaas niet altijd mogelijk is om de eerste meter van het grondwater te bemonsteren, tenzij het aantal filters wordt uitgebreid en ook dicht bij het maaiveld filters worden geplaatst dan bij de huidige N-putten.

4.5.2 *Inleiding en beschikbare gegevens*

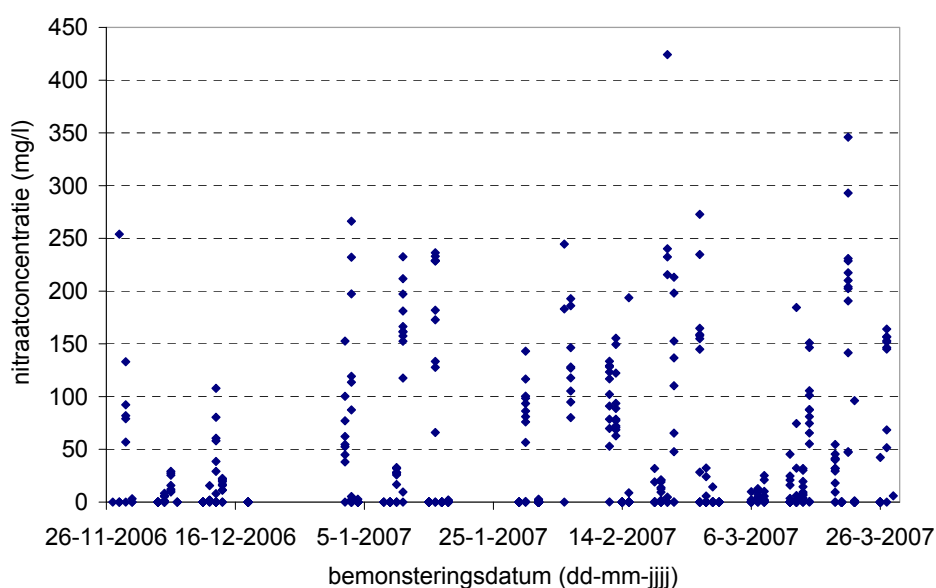
Om na te gaan of de vaste putten buiten het perceel kunnen worden gebruikt om de concentraties in de bovenste meters van het grondwater te meten, gaan we eerst na of er bij deze putten effecten van het bemonsteringstijdstip zijn waar te nemen. Ook wordt gecontroleerd of met de bovenste filters van deze putten daadwerkelijk de eerste meter van het grondwater wordt bemonsterd.

Effecten van het bemonsteringstijdstip

Er lijkt toename van de grondwaterstand in de tijd te zijn (zie Figuur 4.6). Lineaire regressie door deze 'puntenwolk' toont echter slechts een zwak verband van 23% tussen deze twee parameters. Over de meetperiode blijkt er echter geen toe- of afname van de nitraatconcentratie te zijn in de tijd (zie Figuur 4.7).



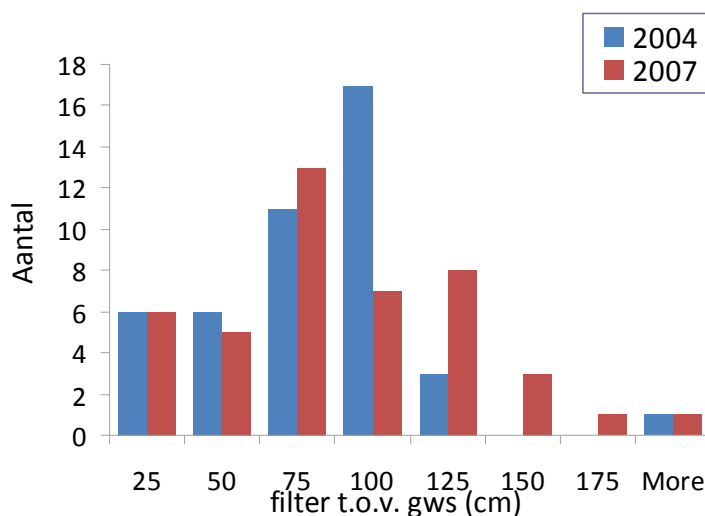
Figuur 4.6 Weergave van de grondwaterstand onder het maaiveld per bemonsteringsdatum om na te gaan of er een effect kan worden verwacht van het bemonsteringstijdstip.



Figuur 4.7 Weergave van de nitraatconcentratie (mg/l) per bemonsteringsdatum om na te gaan of er een effect kan worden verwacht van het bemonsteringstijdstip.

Bemonstering van de eerste meter

De grondwaterstand in 2004 was vaak lager dan in 2006/2007 (zie Figuur 4.8) en daardoor lag de grondwaterspiegel in 2004 dichterbij de buurt van het eerste filter. In 2004 lag maar 41% van de filters dieper dan de eerste meter van het grondwater. In 2006/2007 was dit percentage 60. Een gedetailleerd overzicht is opgenomen in tabel H.1 in bijlage H.



Figuur 4.8 Overzicht van het aantal filters per 25 cm dieptetraject ten opzichte van de grondwaterstand.

4.5.3

Discussie

Aangezien het filter bij vaste putten niet 'meebeweegt' met de grondwaterstand, is het belangrijk om te weten of de metingen aan de vaste filters afhankelijk zijn van de grondwaterstand. Er lijkt een toename van de grondwaterstand te zijn in de tijd (zie Figuur 4.6), waarbij het verband tussen grondwaterstand en bemonsteringstijdstip erg zwak is. Er is geen verband tussen de nitraatconcentratie en de bemonsteringsdatum (zie Figuur 4.7). Hieruit kan geconcludeerd worden dat er geen relevante effecten zijn te verwachten op de nitraatconcentratie van het bemonsteringstijdstip binnen een bemonsteringsronde.

Uit de resultaten blijkt dat bij bemonstering van vaste putten de daadwerkelijke bemonstering van de eerste meter van het grondwater afhankelijk is van de stand van de grondwaterspiegel (zie Figuur 4.8 en Bijlage H). Bij sterke schommelingen van de grondwaterspiegel tussen jaren is de precisie van de bemonstering van de eerste meter van het grondwater met behulp van vaste filters dus afhankelijk van de grondwaterstand ten opzichte van de bovenste filters op het moment van bemonstering. Verschillen in de gemeten waterkwaliteit van de eerste meter tussen jaren kunnen bij onvoldoende filters mede veroorzaakt worden door verschillen in bemonsteringsdiepte tussen jaren.

4.6

Beantwoording hoofdvraag B

Zijn de buiten een perceel geplaatste permanente putten, zoals N-putten, geschikt voor het monitoren van de bovenste vijf meter van het grondwater?

4.6.1

Synthese en discussie

Een chemische beschouwing van de watermonsters uit de N-putten geeft geen aanwijzingen dat het water in de eerste filters van de N-putten afkomstig is van de strook tussen de put en het perceel. Het is echter op basis van een geohydrologische beschouwing niet aannemelijk dat het water afkomstig is uit het perceel. Daarom zijn de bovenste filters van deze putten niet of op zijn minst minder bruikbaar voor de weergave van perceelsinvloeden op het

grondwater. Voor het monitoren van de waterkwaliteit van de eerste paar meter van het grondwater kunnen putten beter in het perceel worden geplaatst dan erbuiten.

Het werken met vaste putten hoeft op zich geen probleem op te leveren om de concentraties in de bovenste meters van het grondwater te meten, ondanks dat de grondwaterstand zowel binnen het jaar als tussen jaren fluctueert. Er is geen reden om aan te nemen dat de metingen uit de vaste putten beïnvloed worden door het bemonsteringstijdstip. Door de schommelende grondwaterstand varieert de diepte van de grondwaterstand ten opzichte van het bemonsteringsfilter, waardoor het met vaste putten helaas niet altijd mogelijk is om de eerste meter van het grondwater te bemonsteren. Daarom moeten voldoende filters in het traject van de verwachte grondwaterspiegelschommelingen worden aangebracht om te voorkomen dat verschillen in waterkwaliteit en verloop hiervan met de diepte tussen jaren mede worden veroorzaakt door verschillen in bemonsteringsdiepte ten opzichte van de grondwaterspiegel.

Er zijn geen grote verschillen in de gemeten waterkwaliteit tussen putten die op korte afstand van elkaar staan. De N- en LMG-putten geven een vergelijkbaar beeld van de waterkwaliteit voor vergelijkbare diepte. De waargenomen waterkwaliteitsverschillen kunnen ook worden toegeschreven aan de verschillen in filterdiepten en filterlengten tussen de N- en LMG-putten. Dit biedt enige ruimte om bij het plaatsen van de put rekening te houden met de logistieke problemen bij het plaatsen van de put zelf of het bemonsteren van de put in de toekomst.

Het is niet eenduidig vast te stellen of het water uit filters onder een storende laag wel of niet uit het bovenstrooms gelegen perceel komt als alleen een boorbeschrijving van de put zelf beschikbaar is. Zelfs als aanvullende informatie aanwezig is, zullen er twijfels kunnen blijven bestaan door tegenstrijdigheden in de data. Aanvullende informatie die kan worden verzameld, zijn de karakteristieken om te zien of er denitrificatie in het spel is en andere grondwaterkarakteristieken om een vergelijking te maken tussen het water boven en onder de storende laag. Met deze aanvullende informatie kan worden aangegeven in welke mate het waarschijnlijk is dat het gaat om hetzelfde water boven en onder de storende laag. Aanvullend (geofysisch) onderzoek naar de omvang en dikte van de laag kan mogelijk in twijfelgevallen uitkomst brengen.

4.6.2 *Conclusies*

Uit het onderzoek komt naar voren dat de buiten het perceel geplaatste permanente multifilterputten, zoals N-putten, op basis van een geohydrologische beschouwing beter niet gebruikt kunnen worden voor het meten van de veranderingen in kwaliteit van de bovenste vijf meter van het grondwater, ook al geeft een chemische beschouwing van de watermonsters geen directe aanleiding om af te zien van het gebruik van de vaste putten buiten het perceel. De precieze locatiekeuze van de put lijkt geen probleem, zolang de put benedenstrooms staat en voor het bemonsteren van de eerste meters in het perceel, zodat bij plaatsing van de put rekening kan worden gehouden met de logistieke problemen, zowel wat betreft het plaatsen zelf als het bemonsteren. Wel dienen er voldoende filters te worden geplaatst in het traject waarbinnen de grondwaterspiegel schommelt. Het verzamelen van aanvullende informatie is van belang om de herkomst van het water te kunnen beoordelen en om uitspraken te kunnen doen over het wel of niet optreden van denitrificatie.

5 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek in 2006/2007 zijn de volgende conclusies getrokken:

1. Er is een afname te zien van de nitraatconcentratie met de diepte in de bovenste vijf meter van het grondwater onder landbouwgebied op zandgrond; bij droge zandgronden met de hoogste nitraatconcentraties ontbreekt een afname. Dit resultaat komt overeen met de bevindingen van het onderzoek uit 2004 en de conclusies uit de andere toetsdieptestudies. De nitraatconcentraties in het grondwater dieper dan vijf meter beneden de grondwaterspiegel nemen verder af met de diepte en deze afname is gerelateerd aan zowel de bemestingshistorie als het optreden van denitrificatie in de ondergrond.
2. Het is mogelijk om binnen een regulier monitoringnetwerk uitspraken te kunnen doen over het al dan niet optreden van denitrificatie en de eventuele nadelige effecten hiervan op andere kwaliteitsparameters van het grondwater. Het kwantificeren van de denitrificatie en afwentelingseffecten blijft echter specialistisch werk.
3. De buiten een perceel geplaatste permanente putten, zoals N-putten, kunnen beter niet worden gebruikt voor het meten van de veranderingen in kwaliteit van de bovenste vijf meter van het grondwater. Het meten van de bovenste meter van het grondwater met een vaste put (binnen een perceel) vergt extra inspanningen, vanwege de schommelingen in de grondwaterstand.
4. Het lijkt niet nodig erg precieze locatie van de put vast te stellen, zolang de put benedenstrooms staat en voor het bemonsteren van de eerste meters in het perceel, zodat bij plaatsing van de put rekening kan worden gehouden met de logistieke problemen, zowel wat betreft het plaatsen van de put zelf als van het bemonsteren ervan.

Bij nieuw in te richten putten is het aan te bevelen om aan de volgende punten aandacht te schenken.

1. Het plaatsen van voldoende filters, over het gehele traject waarbinnen de grondwaterspiegel schommelt, is nodig om te voorkomen dat verschillen optreden in gemeten concentraties tussen jaren als gevolg van grondwaterstandsschommelingen.
2. Het maken van een goede boorbeschrijving bij het plaatsen van de put voor het vaststellen van het voorkomen van afwijkende bodemlagen.
3. De mogelijkheid om aanvullend (geofysisch) onderzoek uit te voeren om de dikte en verspreiding van storende lagen in het profiel vast te stellen om inzicht te krijgen in de herkomst van het bemonsterde grondwater.

4. De keuze van het analysepakket om in aanvulling op ander onderzoek te kunnen vaststellen of water over de gehele putlengte een zelfde afkomst heeft en/of om na te gaan of er aanwijzingen zijn voor het optreden van denitrificatie.
5. De eisen voor de inrichting van de put die voortvloeien uit de keuze van het analysepakket.
6. De gewenste diepte van de put ten opzichte van de grondwaterstand; het wordt aanbevolen om niet alleen de bovenste vijf meter te monitoren, maar ook de diepere grondwaterlagen om inzicht te krijgen in de processen die plaatsvinden en de robuustheid van de conclusies voor de bovenste vijf meter te testen.

Literatuur

Berner, R. A. (1981). A new geochemical classification of sedimentary environments, *J. Sediment, Petrol*, 51, 359-365.

Broers, H.P., J. Griffioen, W.J. Willems & 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.

Eppinger, R., K. Van Hoof & S. Ducheyne (in voorbereiding). Developments in monitoring the effectiveness of the EU Nitrates Directive Action Programmes: Approach by Belgium, the Flemish region. In: Developments in monitoring the effectiveness of EU Nitrate Directive Action Programmes (ed. by B. Fraters, R. Grant, L. Thorlings, K. Kovar & J.W. Reijs). (Proceedings of the second MonNO₃ workshop, 10-11 June 2009, the Netherlands). Bilthoven: RIVM Rapport 680717019.

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 (2006a). Een nieuwe toetsdiepte voor nitraat in grondwater? Eindrapport van het onderzoek naar de mogelijkheden voor een toetsdieptemetnet. Bilthoven: RIVM Rapport 680100005.

Fraters, B., B. van Elzakker, L. Gast, R. van den Heuvel, E. Carreé, N. Masseling, R. Jeths & L. Burger (2006b). Resultaten bemonstering N-putten in 2004, toetsdiepteonderzoek 2004-2006. Intern RIVM Rapport.

Groenendijk, P., L.V. Renaud, J. Roelsma, G.M.C.M. Janssen, S. Jansen, R. Heerdink, J. Griffioen & B. van der Grift (2008). A new compliance checking level for nitrate in groundwater, Modelling nitrate leaching and the fate of nitrogen in the upper 5 meter of the groundwater system, Alterra-report 1820, ISSN 1566-7197.

Klijne, A. de, P. Groenendijk, J. Griffioen, G.L. Velthof, G. Janssen & B. Fraters (2008). Toetsdiepte voor nitraat, syntheseonderzoek 2008. Bithoven: RIVM Rapport 68747001.

Paulissen, M.P.C.P., R.C. Nijboer & P.F.M. Verdonchot (2007). Grondwater in perspectief, Een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland. Alterra-rapport 1447, ISSN 1566-7197.

Swen H.M., A. de Goffau, G.J. Doornewaard, T.C. van Leeuwen, J.W. Reijs, B. Fraters, E.J.W. Wattel-Koekkoeck & L.J.M. Boumans (2010). Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. LMM-jaarrapport 2005. Bithoven: RIVM Rapport 680717007.

Visser, A., H.P. Broers, B. van der Grift & M.F.P. Bierkens (2007). Demonstrating trend reversal of groundwater quality in relation to time of recharge determined by 3H/3He. *Environmental Pollution* 148 (3), pp. 797-807.

Vliet, M.E. van, A.Vrijhoef, L.J.M. Boumans & E.J.W. Wattel-Koekkoeck (2010). De kwaliteit van ondiep en middeldiep grondwater in Nederland in het jaar 2008 en de verandering daarvan in 1984-2008. Bithoven: RIVM Rapport 680721005.

Wattel-Koekkoek, E.J.W., J.W. Reijs, T.C. van Leeuwen, G.J. Doornewaard, B. Fraters, H.M. Swen & L.J.M. Boumans (2008). Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid, LMM-jaarrapport 2003. Bithoven: RIVM Rapport 680717003.

Wirdum, G. van (1991). Vegetation and hydrology of floating rich-fens. Proefschrift, Universiteit van Amsterdam. Maastricht: Datawyse.

Zwart M.H., A.E.J. Hooijboer, B. Fraters, M. Kotte, R.N.M. Duin, C.H.G. Daatselaar, C.S.M. Olsthoorn & J.N. Bosma (2008). Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland, periode 1992-2006. Bilthoven: RIVM Rapport 680716004.

Bijlage A Het bemonsteringsprotocol voor het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) 2006, versie 6.0

Monsternamen vindt in het algemeen plaats in 2-inch buizen, slechts enkele filters hebben een diameter van 1-inch. Bij 2-inch buizen is het gebruik van de (Grundfos) onderwaterpomp voor zowel het afpompen als het bemonsteren vereist. Bij 1-inch buizen is een centrifugaalpomp (bovengronds) voor het afpompen en een slangenpomp voor het bemonsteren het meest geëigend. Voor diepere grondwaterstanden wordt voor het afpompen en bemonstering van 1-inch buizen een kogelkleppomp gebruikt.

Afpompen

- Direct na opening van de peilbuis, vóór het afpompen, moet de grondwaterstand/stijghoogte en de diepte van de onderkant van het filter ten opzichte van de bovenkant van de peilbuis worden gemeten. Tevens wordt ook de kokerrand ten opzichte van de bovenkant van de peilbuizen gemeten (SOP 411/01, 418/01).
- De peilbuizen worden afgepompt met een centrifugaal-, onderwater- of kogelkleppomp. Tijdens het afpompen moet de slang **boven** in de peilbuis worden gehangen, net onder de grondwaterspiegel. Het doorpompedebiet met de daarbij behorende frequentie moet worden genoteerd op het monitoringformulier.
- Overtollig slang wat nog niet in de peilbuis hangt, maar straks wel nodig is als wordt bemonsterd in de buurt van het filter, moet schoon naast de peilbuis worden opgeborgen op een stuk schoon plastic of op een katrol.
- Het pompdebiet voor het afpompen mag niet te hoog zijn. Grundfos maximaal ± 150 Hz; centrifugaal- of kogelkleppomp maximaal afpompvolume 12 l/min gedurende de eerste 10 minuten.
- Veldparameters (EGV, T en pH) worden de eerste 10 minuten om de 3 minuten in een doorstroomcel of emmer gemeten.
- In onderstaande tabel is de minimale afpomptijd weergegeven. Deze afpomptijden garanderen onder normale omstandigheden dat het water uit de stijgbuis voldoende is ververs.

Diepte	Diameter 1-inch	Diameter 2-inch
tot 10 meter	20 minuten	30 minuten
10-25 meter	30 minuten	40 minuten

- Na de eerste 10 minuten afpompen wordt **het debiet verlaagd** (voor de Grundfos geldt 80-100 Hz) en wordt de doorstroomcel aangesloten waarin de veldparameters (pH, EGV, T, O₂) gedurende de resterende minuten (zie overzicht hierboven), opnieuw om de 3 minuten, worden gemeten. Noteer het debiet en de bijbehorende frequentie!
- Indien zowel een ondiep als een diep filter tegelijkertijd wordt afgepompt, gaat het debiet van het diepere filter **gelijktijdig** omlaag met het debiet van het ondiepe filter.

- Voorkom dat het opgepompte water ter plaatse weer infiltreert. Voer het opgepompte water (bij voorkeur) af in een sloot of een hemelwaterafvoer.
- Tijdens het afpompen worden de veldparameters op een monitoringformulier genoteerd. Dit monitoringformulier wordt geleverd door het TNO.

Veldmetingen tijdens afpompen

- Op de veldstaten moet worden vermeld welk type pompen zijn ingezet.
- De EGV, pH- en zuurstofelektroden moeten voorafgaand aan de metingen zorgvuldig worden gekalibreerd. Naast kalibratie moet er worden gecontroleerd op de betrouwbaarheid van de meetresultaten door middel van het gebruik van controlekaarten volgens SOP 111/01.
- Indien de pH-elektrode bij controlevloeistof pH6 niet meer afwijkt dan 0.10 pH-eenheid kan deze ingezet worden voor de meting. Kalibratie met pH4 en pH6 moet wel minimaal tweemaal per week worden uitgevoerd.
- Gedurende het afpompen worden de veldparameters (EGV, pH, T en zuurstof) om de 3 minuten gemeten en genoteerd.
- De monstername wordt pas gestart nadat de minimale afpomptijd is verlopen én de peilbuis **minstens** driemaal is verversed én de veldparameters constant zijn geworden.

De veldstaten, kalibratieformulieren en controlekaarten worden geleverd door het TNO.

Monstername

- Als basis van de monstername wordt uitgegaan van SOP 409 met de opmerking dat de vacuüm methode niet wordt toegepast.
- Na het afpompen, voordat de uiteindelijke bemonstering begint, wordt het debiet verlaagd naar $\pm 0,5$ l/min (voor de Grundfos geldt de minimaal haalbare stand) en wordt de pomp **± 1 meter boven het filter** gehangen. Monstername voor 2" buizen geschiedt met de Grundfos onderwaterpomp en voor de 1" buizen wordt gebruik gemaakt van de slangen- of kogelkleppomp.
- Nadat de minimale afpomptijd is bereikt én de veldparameters constant zijn, wordt gestart met de bemonstering.
- Al het bemonsterde grondwater wordt gefiltreerd met een inline wegwerpfiler van $0,45 \mu\text{m}$.
- De aangeleverde niet-aangezuurde monsterpotjes moeten eerst minimaal tweemaal worden gespoeld met monsterwater en vervolgens volledig worden gevuld, bij voorkeur zonder luchtbellen. Het aangeleverde aangezuurde monsterflesje mag absoluut **niet** worden gespoeld, maar wordt direct volledig gevuld met het monsterwater.
- Tijdens de monstername moeten er ook drie blanco's worden meegenomen over de gehele monsterperiode:
 - Hiertoe moet een monsterpotje worden gevuld met demiwater wat door de filtreereenheid met een filter van $0,45 \mu\text{m}$ is geleid. De filtreereenheid moet op de pompelomp worden aangesloten en

eerst 30 seconden worden gespoeld met het te bemonsteren demiwater.

- Een blanco moet worden genomen nadat 5%, 50% en 95% van de totale hoeveelheid monsters zijn genomen.
- Zorg dat de monsterpotjes niet vies worden in het veld, voorkom contaminatie.
- Controleer de naamgeving op de monsterpotjes (putnummer en filternummer)!
- De PE-slang wordt eenmaal daags vervangen, bij zichtbare verontreiniging in de slang wordt de slang eerder vervangen.
- Tijdens het uitnemen van de PE-slang uit de peilbuis wordt de slang drooggemaakt met een doek en wordt de slang schoon opgeborgen.
- Duplo's: neem ongeveer 5% duplo's. Dit betekent ongeveer 16 monsters.

Flesjes

In totaal worden er drie flesjes gevuld:

	Aantal
aangezuurd HDPE-flesje (60 ml)	1
glazen flesje (60 ml)	1
PET-flesje (125 ml)	1

Veldmetingen bij monsternamen

- Bicarbonaat (HCO_3^-) wordt tijdens de bemonstering in de veldwerkbuis bepaald. Volgens SOP 103/00 wordt de potentiometrische bepaling van bicarbonaat in grondwater met behulp van de Mettler 50DL autotitrator uitgevoerd.
- Aan het begin van de werkdag wordt een controle uitgevoerd op de pH en EGV-elektrode, gebruikmakend van een bufferoplossing/kalibratievloeistof. De resultaten worden genoteerd op een controlekaart.

In situ meten van pH en EGV

Nadat de bemonstering heeft plaatsgevonden, wordt de pH en het EGV in situ gemeten. Met behulp van een lange kabel worden de fysisch-chemische parameters ter hoogte van het filter bepaald volgens SOP 415/01, 113/01 en 116/02. De pH en EGV met 25 meter kabel wordt geleverd door het TNO.

Klein onderhoud waarnemingsput

Klein technisch onderhoud moet worden verricht volgens SOP 009/02. Noteer technische gebreken. Pas indien nodig de situatieschets aan. Meld eventuele verontreinigingen in of in de nabijheid van de waarnemingsput.

Veldwerkbuis

De veldwerkbuis moet voorzien zijn van een schoon en vies gedeelte. De generator mag niet samen met de onderwaterpomp worden opgeborgen.

Monsterconservering en aflevering

De monsters worden koel en donker bewaard en tweemaal per week aangeboden aan het TNO-NITG-laboratorium in Utrecht.

Aflevering monsters:

- dinsdag (na werkdag);
- vrijdag vóór 14.00 uur.

Op vrijdagmiddag mag er niet meer worden bemonsterd.

Geef altijd aan het lab door indien monsters op andere dagen worden aangeleverd!

Na iedere drie à vier bemonsteringsweken wordt op vrijdagmiddag de meetapparatuur door het TNO gecontroleerd en worden bufferoplossingen en standaarden ververs.

Bijlage B Verslag kwaliteitscontrole van de bemonstering

TNO Bouw en Ondergrond

Notitie

Aan
Arnoud de Klijne en Niels Masselink (RIVM)

Van
Ingrid Bakker (TNO)

Onderwerp
Veldbezoek 'Toetsdiepte meetnet 2006'

Woensdag 3 januari heeft TNO een kwaliteitscontrole uitgevoerd van de bemonstering van het 'Toetsdiepte meetnet'.

De bezochte locatie is put 97 bij Haaren. Op deze locatie staat een LMG-put met drie filters en een N-put met negen 1-inch filters en één pompput-filter.

Het bemonsteringsprotocol is voor zowel de LMG- als de N-put door de bemonsteraar, Eelco de Graaf van Dienst Terreinonderzoek Grontmij, op de juiste wijze gevolgd. Enkele problemen die bij de bemonstering en metingen optraden zijn volgens protocol opgelost. De duplometing van bicarbonaat gaf bij het diepste monster (filter 3) van de LMG-put een afwijking van meer dan 10%. Deze afwijking is te groot volgens het protocol en vereist een derde meting. De derde bicarbonaat meting is uitgevoerd. Bij het invoeren van het bicarbonaatgehalte in de digitale invoermodule is uitgegaan van het gemiddelde van de drie metingen. Positief punt is dat de drie separate metingen ook nog vermeld zijn onder opmerkingen om inzicht te houden in de spreiding van de metingen.

De bemonstering van de N-putten leverde ook nog enkele problemen op. Bij het opnemen van de grondwaterstand bleek het eerste filter droog te staan en deze meting is verder niet meegenomen. De bemonstering van de N-put begon daardoor met het tegelijk afpompen van filters 2, 3 en 4. Al vrij snel bleek de pomp lucht aan te zuigen en is de pompsnelheid lager gezet. Na 5 minuten werd er nog steeds veel lucht aangezogen bij filters 2 en 3. Hierop werd besloten ook filters 2 en 3 niet te bemonsteren. De bemonstering van de N-put begon hierdoor met filter 4, waarbij er voor gekozen is om simultaan filters 4, 5 en 6 af te pompen. Filters 4 en 5 werden aangesloten op de doorstroomcel voor het controleren van de veldparameters. Normaal zou voor de bemonstering van filter 4 de omliggende filters afgepompt moeten worden (3 en 5), maar dat was in dit geval niet mogelijk. Het besluit om te beginnen met het afpompen van filters 4, 5 en 6 is daardoor gerechtvaardigd.

Samenvattend kan gezegd worden dat het opgestelde bemonsteringsprotocol op de juiste wijze werd toegepast voor zowel de LMG-put als voor de N-put. Problemen werden op de juiste wijze verwerkt en volgens protocol opgelost.

Nederlandse Organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk
onderzoek / Netherlands Organisation
for Applied Scientific Research



Bodem en Grondwater
Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 256 42 56
F 030 256 44 75
info-BenO@tno.nl

Datum
5 januari 2007

Onze referentie
BG 07-10.011/sh

E-mail
i.bakker@tno.nl

Doorkiesnummer
030 256 47 26

Projectnummer
034.69289

Bijlage C Kwaliteitscontrole N- en LMG-putten en analyses 2006/2007

INHOUDSOPGAVE Bijlage C

1. Kwaliteitscontrole coördinaten N- en LMG-putten
2. Kwaliteitscontrole analyseresultaten
 - 2.1 Controle op uitschieters
 - 2.2 Som anionen versus som kationen en berekening ionenbalans
 - 2.3 Nitraat-veld en nitraat-lab
 - 2.4 Vergelijking van totaal-N met de som van de ammonium- en nitraatconcentratie
 - 2.5 Vergelijking ortho-P met de totale P-concentratie
 - 2.6 Controle relatie ijzer en nitraat
 - 2.7 Vergelijking ijzer- en arseenconcentraties
 - 2.8 Vergelijking cadmium- en zinkconcentraties
 - 2.9 Vergelijking nikkel- en zinkconcentraties
 - 2.10 Vergelijking sulfaat- en nitraatconcentraties
 - 2.11 Vergelijking ammonium- en nitraatconcentraties

1. Kwaliteitscontrole coördinaten N- en LMG-putten

Voor alle bemonsterde putten zijn de coördinaten met behulp van gps bepaald. Aangezien bij het invoeren van deze gegevens in de handheld tikfouten kunnen ontstaan, zijn de gps-gegevens onderling met elkaar vergeleken. Bij grote afwijkingen zijn de gegevens uit 2006/2007 gecontroleerd aan de hand van de coördinaten uit 2004 en de data zoals opgeslagen in het LMG-bestand. Tabel C.1 toont de coördinaten en de wijzigingen.

Tabel C.1 Overzicht van de coördinaten van de 49 LMG- en N-putten

Boor-nr.	X-coörd.	Y-coörd.	N- of LMG- put	Opmerking
1	211634	467709	LMG	
1	211628	467703	N-put	
5	218758	449195	LMG	
5	218756	449188	N-put	
6	172693	453326	LMG	Coördinaten van put 6 volgens veldmeting uit 2006.
6a	222771	450795	LMG	Waarschijnlijk zijn deze fout! Coördinaten van put 6 volgens LMG-bestand.
6	222801	450792	N-put	Waarschijnlijk zijn deze goed!
7	221556	459676	LMG	
7	221559	459681	N-put	
10	235914	447711	LMG	
10	235897	447722	N-put	
11	242810	441911	LMG	
11	242808	441902	N-put	
12	232695	432964	LMG	
12	232706	432970	N-put	
13	229016	442697	LMG	
13	229012	442691	N-put	

Boor- nr.	X- coörd.	Y- coörd.	N- of LMG- put	Opmerking
16	212977	447259	LMG	
16	212982	447255	N-put	
17	206133	440370	LMG	
17	206128	440412	N-put	X-coördinaat gewijzigd van 209128 naar 206128
42	221882	533546	LMG	
42	221889	533545	N-put	
43	217765	526767	LMG	
43	217713	526792	N-put	
95	158975	413714	LMG	
95	158964	413699	N-put	
97	145331	401799	LMG	
97	145290	401788	N-put	
101	171507	414461	LMG	
101	171513	414443	N-put	
104	177059	405606	LMG	Y-coördinaat gewijzigd van 406606 naar 405606
104	176916	405591	N-put	
106	182507	403637	LMG	
106	182523	403640	N-put	
107	194621	404803	LMG	
107	194611	404784	N-put	
114	150709	382288	LMG	
114	150721	382293	N-put	
124	146068	367044	LMG	
124	146062	367043	N-put	
136	119624	402034	LMG	
136	119695	402048	N-put	
139	121682	407850	LMG	
139	121676	407841	N-put	
142	84044	393688	LMG	
142	83822	393857	N-put	
144	94967	391070	LMG	
144	94961	391072	N-put	
146	96017	383613	LMG	
146	96063	383616	N-put	
186	210516	531673	LMG	Y-coördinaat van put 186 volgens veldmeting uit 2006. Waarschijnlijk is deze fout i.v.m. een tikfout!
186a	210516	531973	LMG	Y-coördinaat van put 186 volgens LMG-bestand. Waarschijnlijk is deze goed!
186	210510	531911	N-put	
202	213712	505067	LMG	
202	213709	505071	N-put	
211	217100	499344	LMG	
211	217096	499342	N-put	
212	219277	491288	LMG	
212	219285	491286	N-put	
213	208389	480968	LMG	

Boor- nr.	X- coörd.	Y- coörd.	N- of LMG- put	Opmerking
213	208392	480962	N-put	
217	223159	498488	LMG	Y-coördinaat van put 217 volgens veldmeting uit 2006. Waarschijnlijk is deze fout i.v.m. tikfout!
217a	223159	498188	LMG	Y-coördinaat van put 217 volgens LMG-bestand. Waarschijnlijk is deze goed!
217	223155	498191	N-put	
247	206459	398021	LMG	
247	206284	398508	N-put	
251	212688	385640	LMG	
251	212252	385618	N-put	
256	188890	358816	LMG	
256	188847	358901	N-put	
258	203525	352893	LMG	Y-coördinaat gewijzigd van 532893 naar 352893
258	203532	352881	N-put	
271	199581	380285	LMG	
271	199553	380260	N-put	
319	138123	460710	LMG	
319	138110	460717	N-put	
332	268591	548649	LMG	
332	268716	548482	N-put	
333	271786	553867	LMG	
333	271784	553874	N-put	
334	264075	553360	LMG	
334	264043	553359	N-put	
338	273825	564903	LMG	
338	273813	564901	N-put	
339	249064	578530	LMG	
339	249041	578532	N-put	
341	239910	574328	LMG	
341	239918	574330	N-put	
364	174049	482574	LMG	
364	174045	482569	N-put	
374	169755	477771	LMG	
374	169753	477764	N-put	
375	173932	461282	LMG	
375	174020	461181	N-put	
377	172691	453328	LMG	X-coördinaat gewijzigd van 176291 naar 172691
377	172693	453326	N-put	
378	178520	444984	LMG	
378	178526	444986	N-put	
380	201422	454752	LMG	
380	201417	454732	N-put	

2. Kwaliteitscontrole analyseresultaten

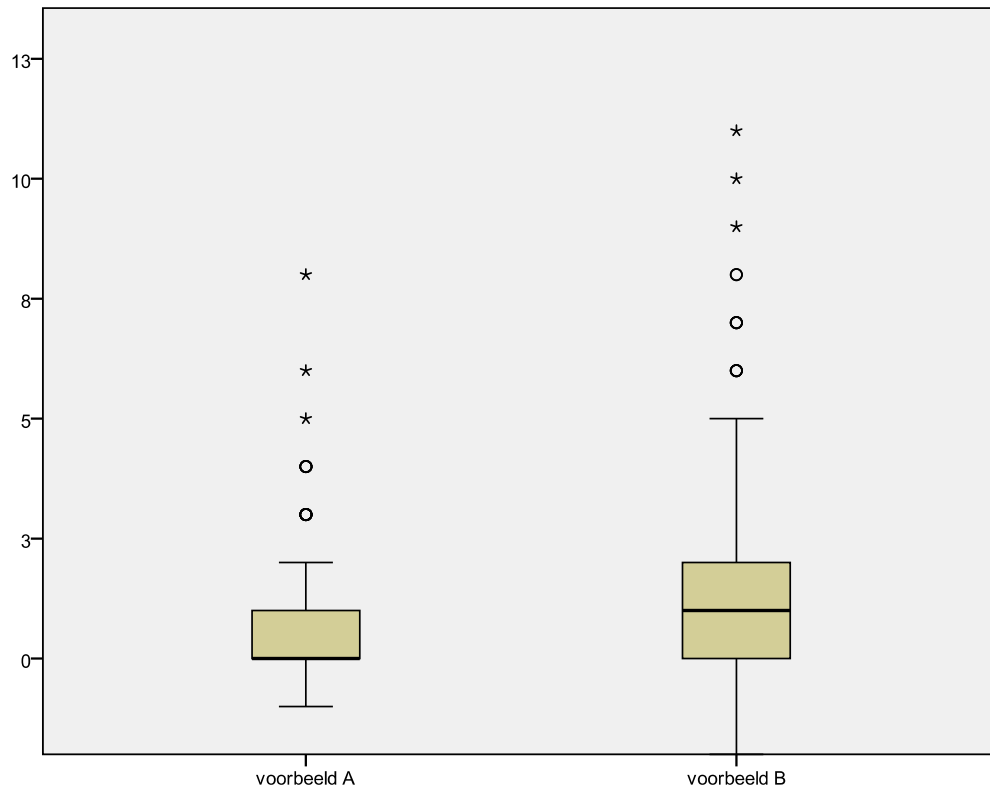
In het algemeen zijn geen grote afwijkingen voor zowel het veldwerk als voor de laboratoriumanalyses geconstateerd. De kwaliteitscontroles en enkele opvallende resultaten worden hieronder toegelicht.

2.1 Controle op uitschieters

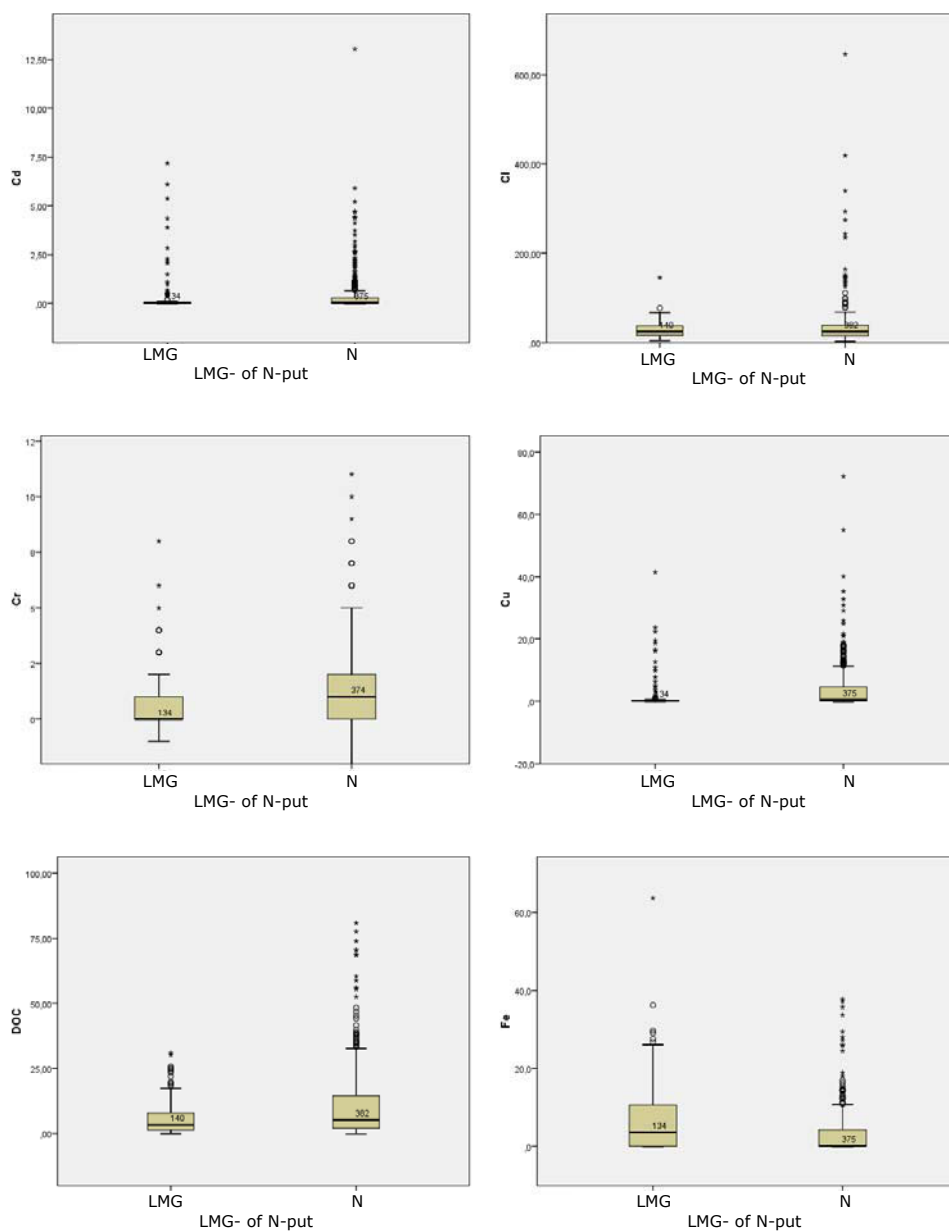
De grafieken van figuur C.1 tonen de boxplots van alle geanalyseerde parameters. Alle geconstateerde uitschieters zijn gecontroleerd. Voor geen enkele uitschieter was er aanleiding om deze als onbetrouwbaar te markeren. Zoals verwacht hebben enkele filters voor meerdere parameters 'extreme' meetwaarden. Tabel C.2 geeft putten, filters en parameters met uitschieters weer. In de volgende paragrafen worden uitschieters met behulp van verschillende kwaliteitscontroles verder onderzocht om na te gaan of ze verklaarbaar zijn.

Tabel C.2 Overzicht van putten, filters en parameters waarvoor uitschieters zijn waargenomen.

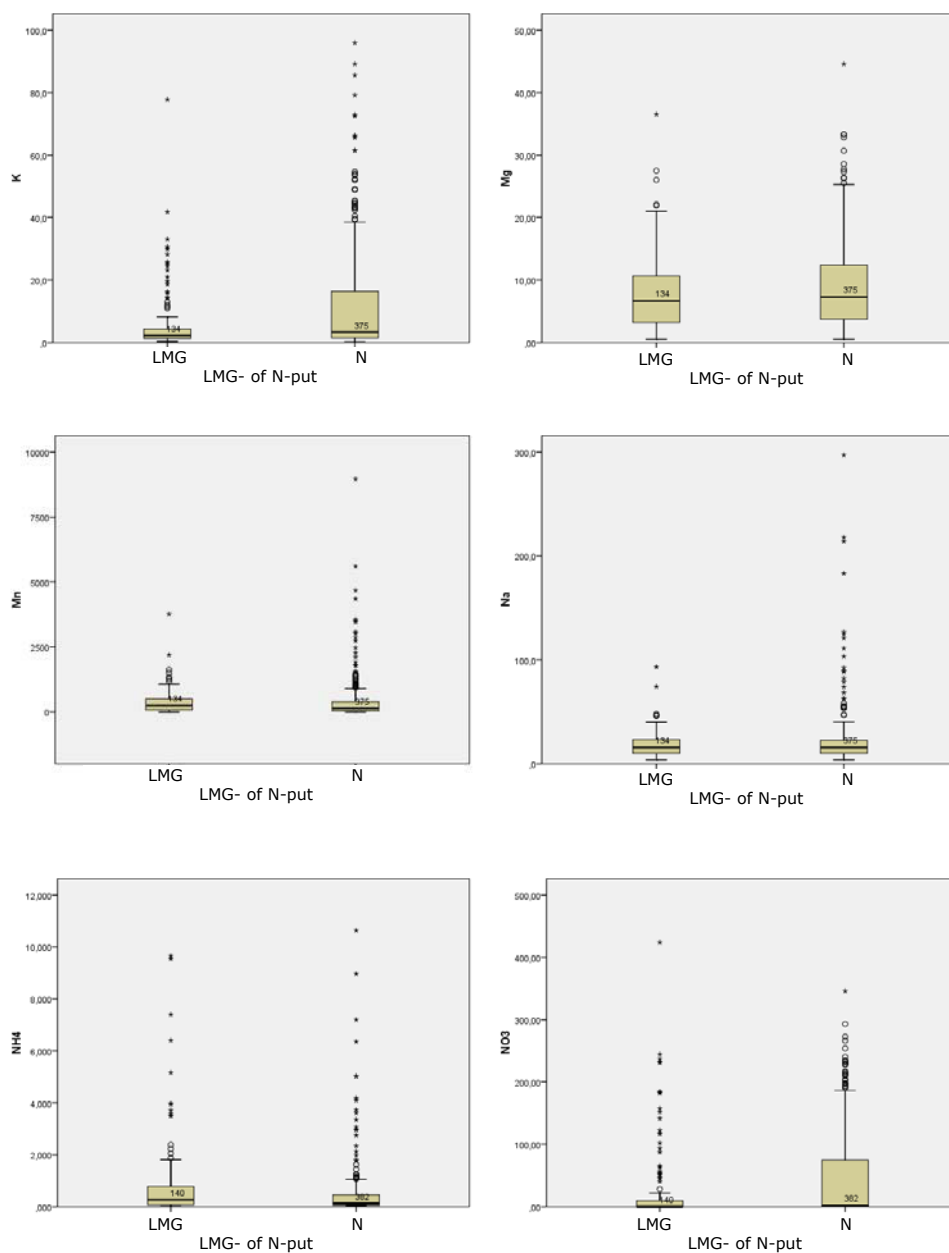
Put- en filternummer	Parameter
<i>LMG-put</i>	
106, fl2	As, Ni, Zn
106, fl3	Fe
256, fl1	NO ₃
334, fl3	Totaal-P, ortho-P
<i>N-put</i>	
107, fl1	SO ₄
211, fl1	Pb
256, fl2	Cd
332, fl1	Zn
341, fl2	Zn
377, fl1	Mn

Tekstbox C.1 Voorbeelden van boxplots*Voorbeelden van boxplots*

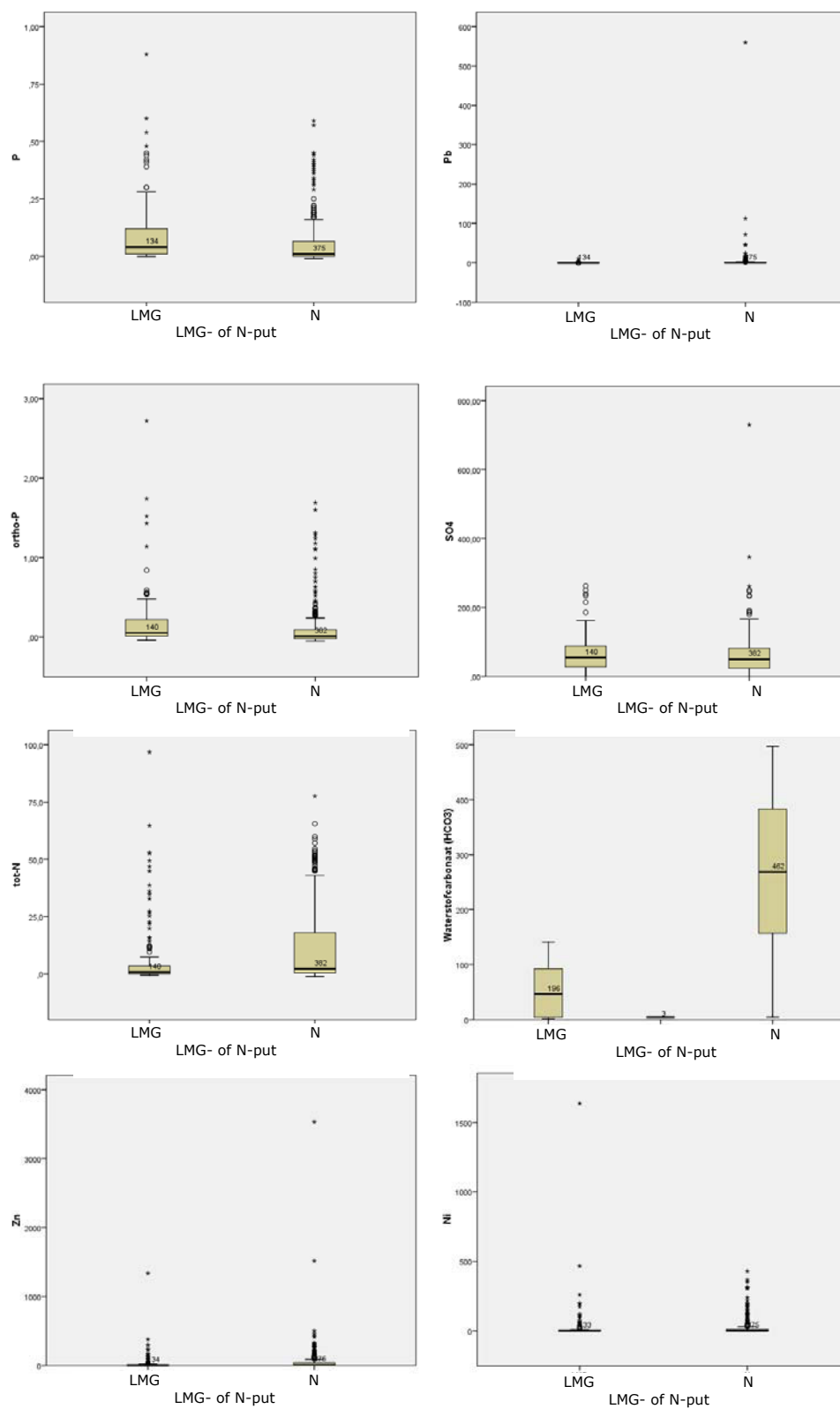
De donkere dikke lijn in de box is de mediaan ofwel 50-percentiel. De onderkant van de box geeft de 25-percentiel weer en de bovenkant de 75-percentiel. De reikwijdte van de T-bars omvatten 1,5 keer de hoogte van de box. Als er geen waarden zijn die hoger of lager zijn dan deze waarden, dan geven ze tevens de maximum- en minimumwaarden weer. De rondjes zijn uitschieters en vallen buiten de T-bars. Uitschieters zijn extreme waarden. De sterretjes (of asterisks) zijn extreme uitschieters. Deze asterisks geven de waarden weer die meer dan drie keer de hoogte van de box overschrijden.



Figuur C.1a Boxplots voor waarnemingen in LMG-putten (links) en N-putten (rechts) voor cadmium (Cd), chloride (Cl), chroom (Cr), koper (Cu), opgeloste organische koolstof (DOC) en ijzer (Fe).



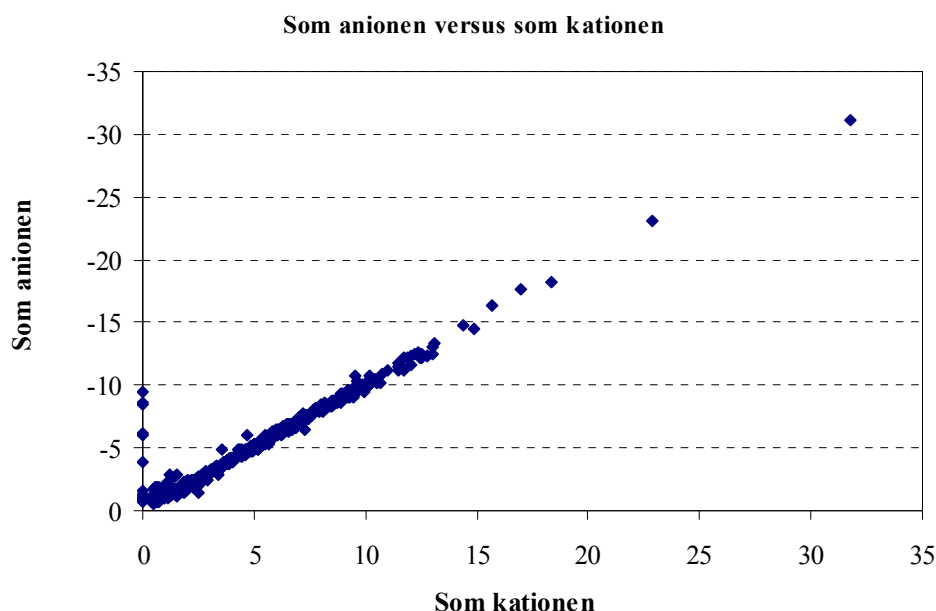
Figuur C.1b Boxplots voor waarnemingen in LMG-putten (links) en N-putten (rechts) voor kalium (K), magnesium (Mg), mangaan (Mn), natrium (Na), ammonium (NH₄) en nitraat (NO₃).



Figuur C.1c Boxplots voor waarnemingen in LMG-putten (links) en N-putten (rechts) voor totaal-fosfor (P), lood (Pb), ortho-fosfor (ortho-P), sulfaat (SO₄), totaal-stikstof (tot-N), waterstofcarbonaat (HCO₃), zink (Zn) en nikkel (Ni).

2.2 Som anionen versus som kationen en berekening ionenbalans

Uit de vergelijking van som anionen en som kationen (zie Figuur C.2) blijkt dat voor een aantal analyses de som kationen gelijk is aan nul, terwijl de som anionen groter is dan nul. Dit wordt veroorzaakt doordat bij de bemonstering van deze filters het bemonsteringsflesje voor de bepaling van metalen niet is gevuld. Hierdoor is het niet mogelijk om een complete analyse uit te voeren. Daarnaast ontbreken voor de filters van LMG-put 377 de analyseresultaten uit het laboratorium. Deze put is wel bemonsterd en geanalyseerd op de veldparameters bicarbonaat en nitraat. Maar door het ontbreken van de overige analyses is het ook voor deze analyses niet mogelijk om een correcte ionenbalans te berekenen.

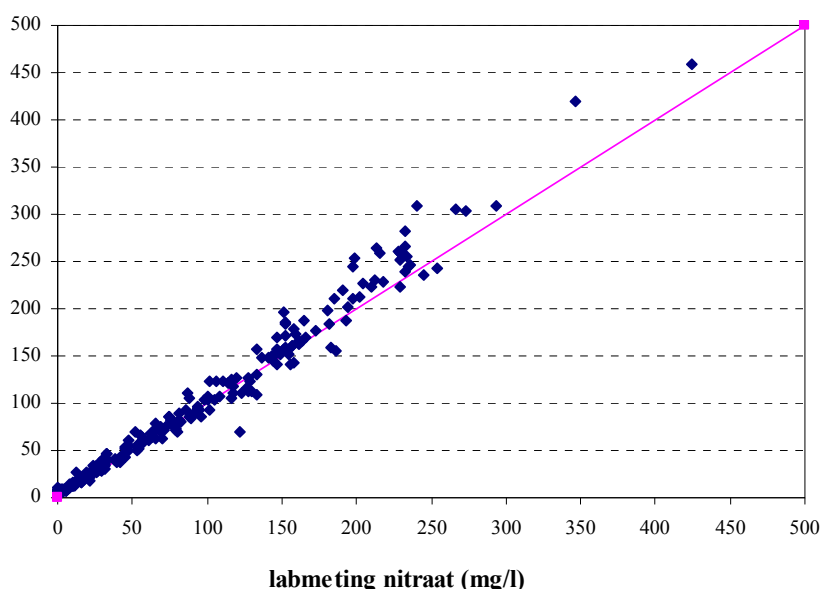


Figuur C.2 Vergelijking som kationen en som anionen

Verder heeft ruim 5% van de analyses een ionenbalans groter dan 15%. Hiervoor is geen duidelijke oorzaak aan te wijzen. Vaak bevatten deze monsters zeer lage concentraties. Deze zijn lastiger met een grote nauwkeurigheid vast te stellen, waardoor de afwijking in de ionenbalans groter wordt. De resultaten van de kwaliteitscontrole geven echter geen aanleiding om analyseresultaten uit de dataset te verwijderen.

2.3 Nitraat-veld en nitraat-lab

In figuur C.3 zijn de nitraatconcentraties van de nitracheckmethode, de veldmetingen, uitgezet tegen de laboratoriumconcentraties. De resultaten van de veld- en laboratoriummetingen van nitraat zijn vergelijkbaar. Hoe hoger de nitraatconcentraties, hoe groter de afwijking tussen de twee bepalingen. Vaak is de concentratie van de nitracheck hoger dan de concentratie bepaald in het laboratorium.

Veldmeting nitraat (mg/l)

Figuur C.3 Vergelijking van de nitraatconcentraties uit het veld met de concentraties uit het laboratorium. In het veld is nitraat bepaald met de nitracheckmethode. Het laboratorium gebruikt de ICP-MS.

2.4 Vergelijking van het totaal-N met de som van de ammonium- en nitraatconcentratie

Figuur C.4 toont de vergelijking van de totale stikstofconcentratie met de som van de ammonium- en nitraatconcentraties uitgedrukt in mg N per liter.

$\text{Org N} = N_{\text{tot}} - \Sigma (\text{NO}_3\text{-N en NH}_4\text{-N})$, waarbij de verwachting is dat $N_{\text{tot}} \geq \Sigma (\text{NO}_3\text{-N en NH}_4\text{-N})$

De som van ammonium en nitraat behoort gelijk of kleiner dan de totale stikstofconcentratie te zijn. Deze grafiek toont dat dit niet altijd het geval is. Soms is de totale stikstofconcentratie lager waardoor de punten boven de 1:1-lijn liggen. Met een rode cirkel is een puntenwolk aangeduid waar de ammonium- en nitraatconcentraties groter dan de detectielimiet zijn, terwijl de totale stikstofconcentratie gelijk is aan de detectielimiet. Het laboratorium geeft aan dat zich in de betreffende analyseperiode problemen hebben voorgedaan met de bepaling van de totale stikstofconcentratie. De totaal-N-concentraties worden daarom als indicatieve waarden beschouwd.

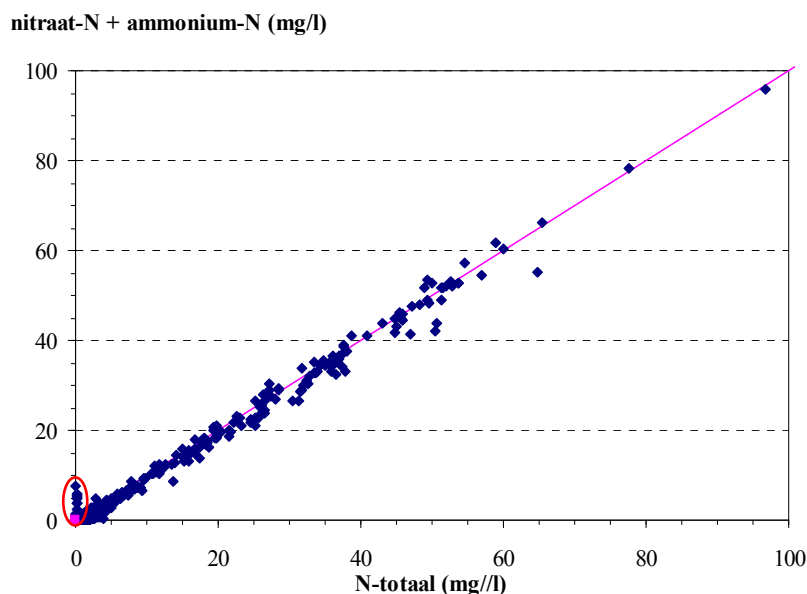
2.5 Vergelijking ortho-P met de totale P-concentratie

Voor de vergelijking van de P-concentraties geldt:

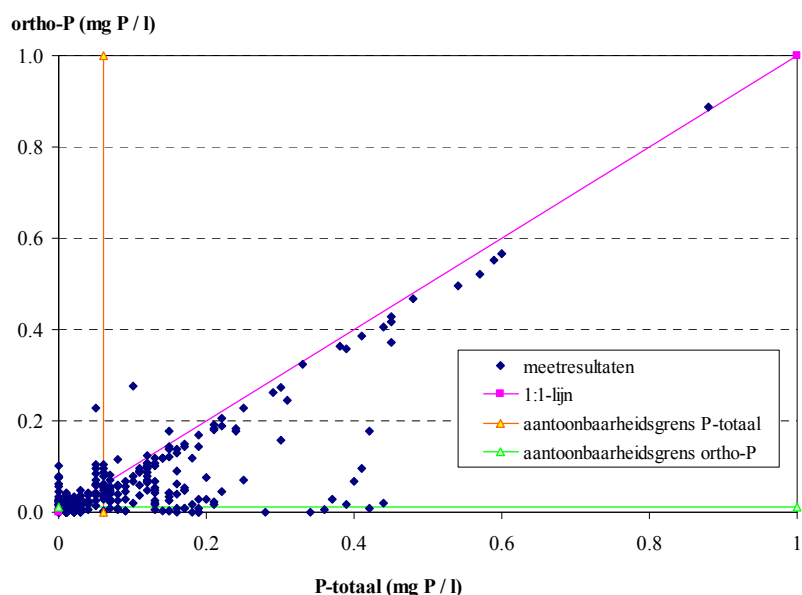
$\text{OrgP} = P_{\text{tot}} - P_{\text{ortho}}$, en de verwachting is dat $P_{\text{tot}} \geq P_{\text{ortho}}$

De vergelijking van de totaal-P- met de ortho-P-concentratie in figuur C.5 laat zien dat voor een paar metingen de fosfaatconcentratie hoger is dan de totale P-concentratie. Aangezien het laboratorium geen afwijkingen heeft gevonden voor deze bepalingen, is het aannemelijk dat deze onwaarschijnlijkheden worden

veroorzaakt doordat het lage concentraties betreft. De betrouwbaarheid van lage concentraties is kleiner dan bij hogere concentraties.



Figuur C.4 Vergelijking van de totale stikstofconcentraties met de som van nitraat en ammoniumconcentraties.



Figuur C.5 Vergelijking van de totaal-P- met de ortho-P-concentratie uitgedrukt in mg P per liter.

2.6 Controle relatie ijzer en nitraat

Figuur C.6 geeft de relatie tussen ijzer en nitraat weer. De grafiek toont dat ijzer en nitraat niet in hoge concentraties gezamenlijk voorkomen. Er zijn echter enkele 'uitschieters' (N-put 251 fl1, LMG-put 95 fl1 en LMG-put 106 fl2), maar er is geen reden om aan te nemen dat deze niet betrouwbaar zijn. Van deze analysesresultaten is namelijk de nitraatconcentratie van het laboratorium

vergeleken met de nitracheckmeting. Deze komen met elkaar overeen. Verder is de ijzerconcentratie van deze putten vergeleken met de concentraties van (boven- en) onderliggende filters. De waarden zijn van dezelfde orde van grootte.

2.6 Controle relatie ijzer en nitraat

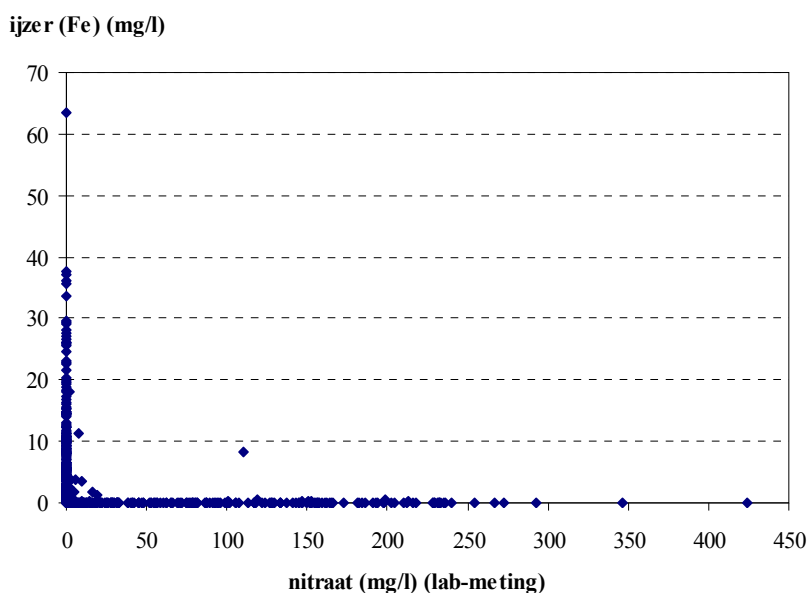
Figuur C.6 geeft de relatie tussen ijzer en nitraat weer. De grafiek toont dat ijzer en nitraat niet in hoge concentraties gezamenlijk voorkomen. Er zijn echter enkele 'uitschieters' (N-put 251 fl1, LMG-put 95 fl1 en LMG-put 106 fl2), maar er is geen reden om aan te nemen dat deze niet betrouwbaar zijn. Van deze analyseresultaten is namelijk de nitraatconcentratie van het laboratorium vergeleken met de nitracheckmeting. Deze komen met elkaar overeen. Verder is de ijzerconcentratie van deze putten vergeleken met de concentraties van (boven- en) onderliggende filters. De waarden zijn van dezelfde orde van grootte.

2.7 Vergelijking ijzer- en arseenconcentraties

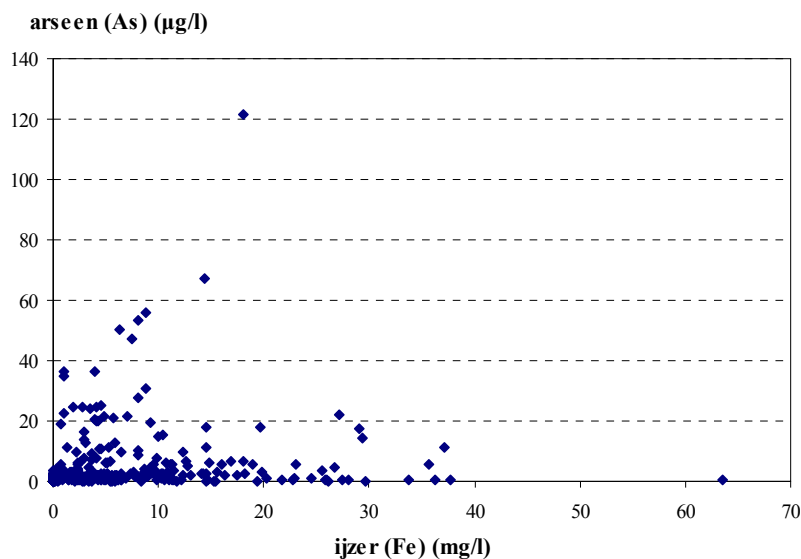
Arseen en ijzer worden vaak tegelijkertijd in het grondwater aangetroffen. Figuur C.7 toont dan ook dat bij hogere arseenconcentraties ook ijzer in het grondwater wordt aangetoond. IJzer(hydr)oxiden lossen op, waarbij arseen vrijkomt. Een hoge ijzerconcentratie gaat echter niet altijd gepaard met een hoge arseenconcentratie, zoals ook in deze grafiek te zien is.

2.8 Vergelijking cadmium- en zinkconcentraties

Figuur C.8 toont de concentraties van zink uitgezet tegen de cadmiumconcentraties. Bij een hoge zinkconcentratie wordt verwacht dat ook cadmium aanwezig is. Uit de figuur blijkt dat er één uitschieter is voor cadmium en enkele uitschieters voor zink. Er zijn geen redenen, mede dankzij extra laboratoriumcontrole van deze meetwaarden, om deze gegevens te wantrouwen.



Figuur C.6 Controle van de relatie tussen nitraat en ijzer.

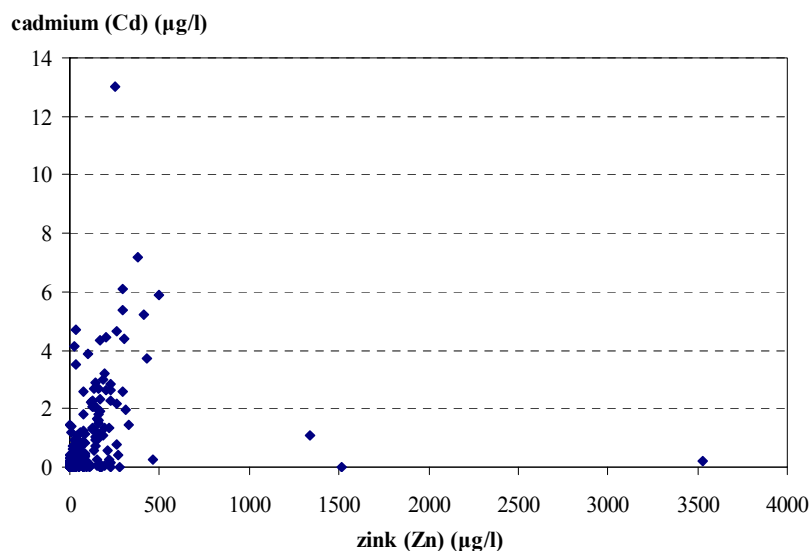


Figuur C.7 Vergelijking van de ijzerconcentratie met de arseenconcentratie.

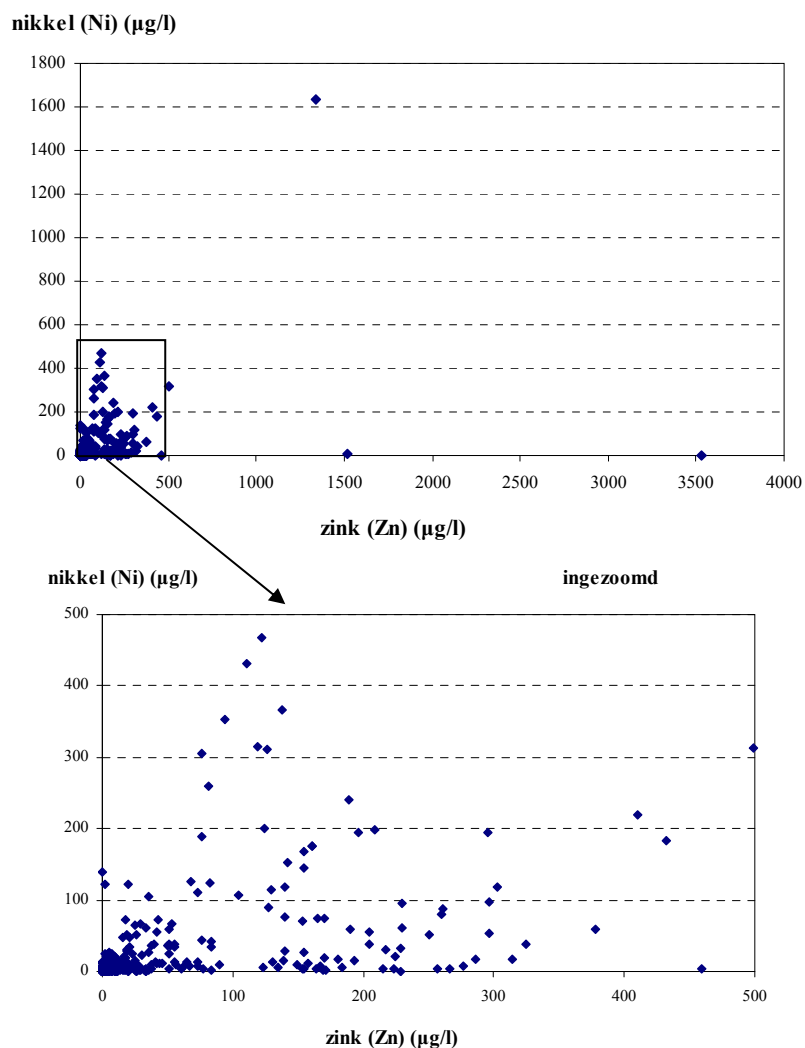
2.9 Vergelijking nikkel- en zinkconcentraties

De grafieken van figuur C.9 tonen de concentratie van nikkel uitgezet tegen de zinkconcentraties. In de bovenste grafiek zijn opnieuw de drie uitschieters voor zink zichtbaar (zie ook figuur C.8). Een van de zinkuitschieters heeft bovendien een hoge nikkelconcentratie.

In de onderste grafiek zijn zowel de zink- als de nikkeluitschieters buiten de grafiek gelaten, waardoor de concentraties van deze parameters gemakkelijker worden vergeleken. Deze grafiek toont een normaal beeld van de weergegeven concentraties.



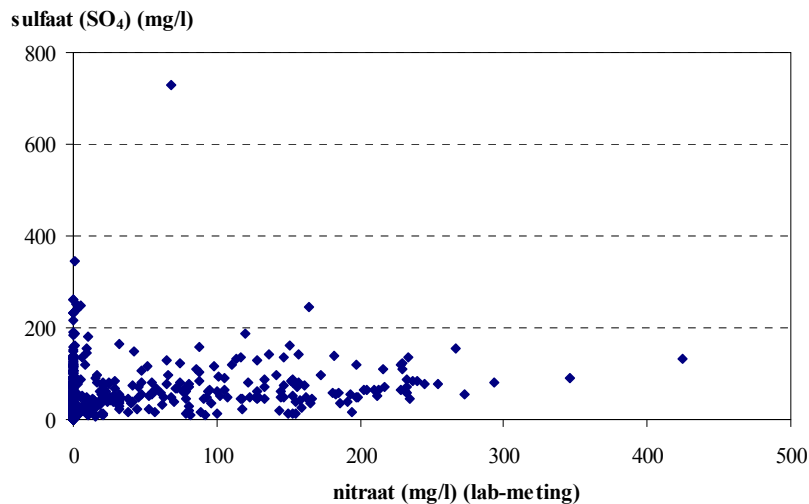
Figuur C.8 Vergelijking cadmium- en zinkconcentraties.



Figuur C.9 Vergelijking van de concentraties van nikkel en zink. In de onderste grafiek is zowel de x-as als de y-as ingezoomd, waardoor de nikkel- en zinkuitschieters buiten het getoonde bereik van de grafiek vallen.

2.10 Vergelijking sulfaat- en nitraatconcentraties

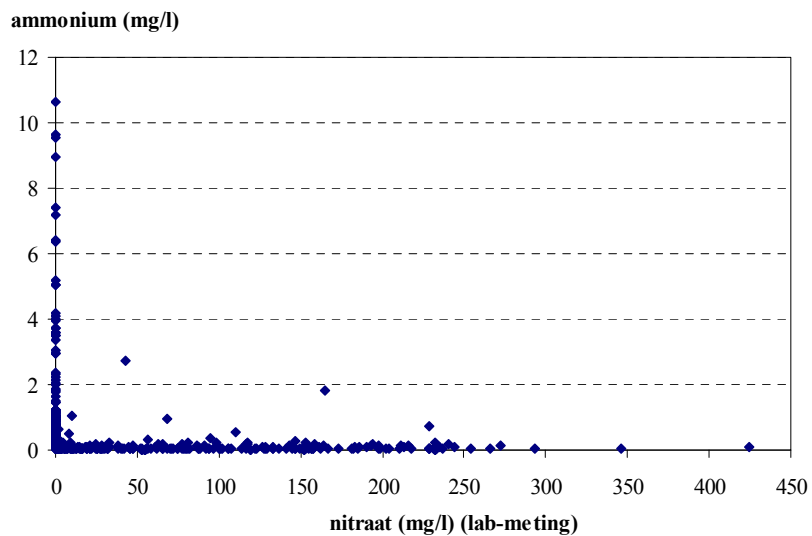
Sulfaat en nitraat zijn in figuur C.10 tegen elkaar uitgezet. De grafiek toont naast een uitschieter voor sulfaat voor de rest een verwacht beeld van de verdeling van de concentraties. De hoge sulfaatconcentratie van 730 mg/l is een betrouwbare waarde, aangezien de ionenbalans van deze analyse behorende bij put N-put 107 / filter 1, een zeer goed resultaat van 1% weergeeft.



Figuur C.10 Vergelijking van de sulfaatconcentratie met de concentratie van nitraat, gemeten in het laboratorium.

2.11 Vergelijking ammonium- en nitraatconcentraties

Figuur C.11 geeft de relatie tussen ammonium en nitraat weer. De grafiek toont dat ammonium en nitraat niet in hoge concentraties gezamenlijk voorkomen. Er zijn echter enkele 'uitschieters' (N-put 10 fl2 en N-put 332 fl2), maar er is geen reden om aan te nemen dat deze niet betrouwbaar zijn. Van deze analyseresultaten is namelijk de nitraatconcentratie van het laboratorium vergeleken met de nitracheckmeting. Deze komen met elkaar overeen. Verder hebben beide analyses een zeer goede ionenbalans van 1,3%.



Figuur C.11 Vergelijking van de ammonium- en de nitraatconcentratie.

Bijlage D Kwaliteitscontrole integratie datasets

Naast voor de hand liggende controles (bijv. meeteenheden) is de geïntegreerde dataset gecontroleerd op andere factoren, zoals peildiepte van de filters, grondwaterstand of stijghoogte per filter. Ook zijn de nitraatconcentraties van de LMG-putten uitgezet tegen de nitraatconcentraties, die zijn bepaald tijdens de 'normale' bemonsteringsronde van het LMG in 2006.

Peildiepte van de filters

De filterdiepten van de N-putten zijn in beide meetronden opgemeten. De gemeten gegevens wijken bij sommige putten af. Deze afwijkende waarden zijn gecontroleerd aan de hand van 'Voorlopige cijfers' van de putinrichting uit 1986. Indien noodzakelijk is de diepte van het filter aangepast naar de juiste waarde. Fouten zijn vooral veroorzaakt door afleesfouten ('meterfout'), cijfers voor en na komma omgedraaid en filterverwisselingen.

Slecht doorlatende lagen en grondwaterstanden/stijghoogten

Voor enkele N-putten blijkt uit de boorbeschrijvingen dat een slecht doorlatende laag zich binnen de eerste vijf meters bevindt. Dit is het geval bij put 16, 17 en 42. Bij de putten 16 en 17 zijn de eerste filters ingericht onder deze slecht doorlatende laag. Bij put 42 is het eerste filter ingericht boven deze laag. Voor dit filter zijn echter geen analyseresultaten uit 2006/2007, aangezien het niet mogelijk was dit filter te bemonsteren.

Uit de boorbeschrijvingen blijkt dat slecht doorlatende lagen of laagjes zijn aangetroffen op een grotere diepte bij de volgende putten.

- Put 97 heeft twee slecht doorlatende lagen: van circa 125-275 cm -mv en van 850-900 cm -mv. De filters boven de bovenste slecht doorlatende laag stonden droog of stroomden niet toe.
- Put 101: een slecht doorlatende laag van circa 50 cm dikte op 600 cm -mv.
- N-put 104: een kleilaag van circa 375 tot 675 cm -mv. Bij de LMG-put bevindt de kleilaag zich op een diepte van 9,60-10,45 en van 17,50-19,00. Filter 1 en 2 van N-put en het eerste filter van LMG-put zijn boven de kleilaag ingericht, de andere minifilters en de LMG-filters onder de klei. Tijdens bemonstering gaf filter 3 van de N-put te weinig grondwater. Waarschijnlijk is dit filter niet voldoende onder de kleilaag geplaatst, waardoor het grondwater niet goed kan toestromen.
- Put 107: een slecht doorlatende laag van circa 900-1275 cm -mv. Alle minifilters van de N-put zijn boven deze laag ingericht.
- Put 114: een dunne kleilaag van circa 50 cm dikte op circa 700 cm -mv.
- Put 142: de eerste drie filters zijn ingericht op respectievelijk circa 200, 300 en 400 cm -mv. Het volgende filter (filter 10) is aangebracht op circa 1100 cm -mv onder een kleilaag.
- Put 146: een dikke kleilaag met de bovenkant op circa 650 cm -mv. De onderkant bevindt zich dieper dan 1100 cm -mv.
- Put 251: op 650 tot 900 cm -mv bevindt zich een kleilaag. De eerste vijf filters van de N-put en het ondiepe LMG-filter zijn aangebracht boven deze kleilaag. De overige filters bevinden zich onder deze laag.
- Put 256: op 750 tot 1275 cm -mv bevindt zich een kleilaag. De eerste vier filters van de N-put en het ondiepe LMG-filter liggen boven deze kleilaag, de andere filters eronder.

- Put 258: de minifilters 1 en 2 liggen boven een kleilaagje van circa 500 tot 550 cm -mv. De overige filters bevinden zich onder deze kleilaag.
- Put 364: een leemlaag van circa 275-325 cm -mv, waaronder alle filters zijn aangebracht.

Ook is voor deze putten nagegaan welke invloed deze slecht doorlatende laag heeft op de grondwaterstand of stijghoogten tussen de verschillende filters van dezelfde put.

- Put 42: eerste filter (wel grondwater, maar niet voldoende om te bemonsteren) heeft een andere grondwaterstand dan de overige filters.
- Put 101: geen verschil in grondwaterstand boven en onder de slecht doorlatende laag.
- Put 104: circa 5 cm verschil in stijghoogte tussen de filters boven en onder de kleilaag.
- Put 107: geen verschil in grondwaterstand boven en onder de slecht doorlatende laag.
- Put 114: alleen in het vierde N-filter, net onder de slecht doorlatende laag, is de grondwaterstand circa 20 cm lager dan in de overige N-filters.
- Put 142: filters boven de kleilaag hebben een grondwaterstand van circa 60 cm -mv. De filters onder de kleilaag hebben een stijghoogte van circa 240 cm -mv.
- Put 146: de stijghoogten in de LMG-filters 2 en 3 onder de slecht doorlatende laag zijn twee keer zo groot (ca. 125 cm -mv) als in filter 1 (ca. 61 cm -mv) boven de slecht doorlatende laag.
- Put 251: tussen de grondwaterstanden van de N-filters boven en onder de kleilaag is een verschil van circa 104 naar 226 cm -mv. Bij de LMG-filters verandert de stijghoogte tussen de filters boven en onder de kleilaag slechts enkele centimeters.
- Put 256: onder kleilaag is de stijghoogte 10 tot 30 cm dieper dan in de filters daarboven.
- Put 258: stijghoogteverschil van circa 20 cm tussen boven en onder de kleilaag.

Vergelijking nitraatconcentratie in LMG-putten van twee meetronden

De LMG-putten, die zijn bemonsterd voor het N-puttenonderzoek, zijn ook in de 'normale' meetronde van het LMG bemonsterd. Hoewel het bemonsteringstijdstip verschilt (soms tot 8 maanden) is het resultaat bruikbaar om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de metingen.

Figuur D.1 geeft de vergelijking weer. De nitraatconcentraties zijn goed vergelijkbaar. Hoewel dit niet zichtbaar is in de grafiek, worden de grootste (percentuele) verschillen aangetroffen rondom de lage concentraties en dan vooral rondom de detectielimiet.

Drainageklassen van de meetpunten

Voor het onderzoek en rapportage zijn de putten ingedeeld in grondsoort, bodemgebruik en drainageklassen. Drainageklassen worden afgeleid van grondwatertrappen. Drainageklasse 'nat' omvat de Gt's I tot en met IV, 'neutraal' de Gt's V, V* en VI en 'droog' de Gt's VII en VIII (= VII*).

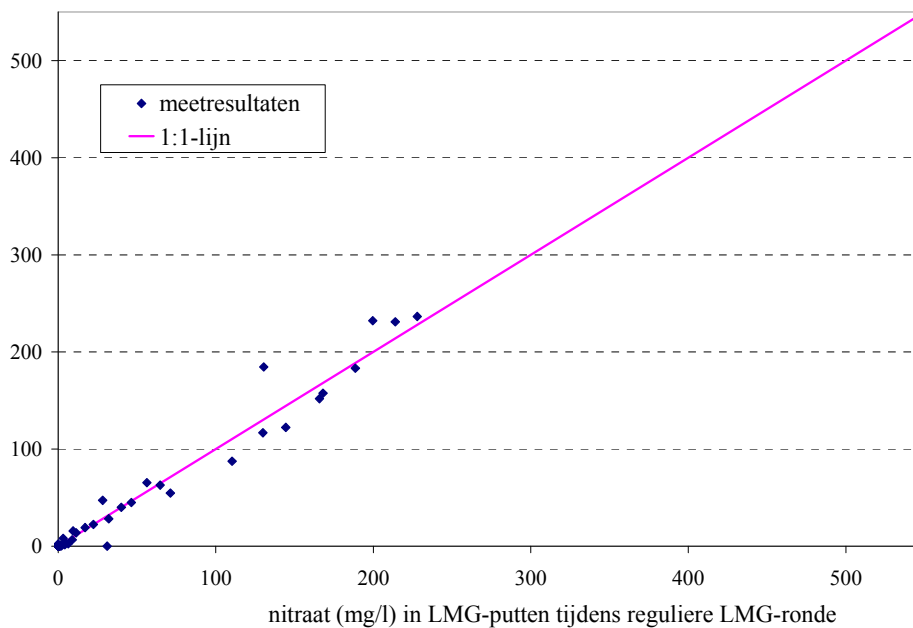
De indeling in drainageklassen is afgeleid van de volgende informatiebronnen:

- het toetsdiepteonderzoek van Fraters et al., 2006a;
- het interne RIVM-rapport 'Resultaten bemonstering N-putten in 2004', augustus 2006;
- het LMG-databestand;

- de bodemkaart 1:50.000, versie 2006 (alle 49 N- en LMG-putten zijn in ArcGIS met een buffer (straal 250 en 500 meter) door de bodemkaart gedrukt).

Uiteindelijk is uit alle informatiebronnen één definitieve keuze voor de drainageklassen afgeleid. De definitieve keuze is weergegeven in tabel D.1.

nitraat (mg/l) in LMG-putten tijdens N-putmeetronde



Figuur D.1 Vergelijking van de nitraatconcentraties gemeten in LMG-putten tijdens een 'standaard' LMG-meetronde 2006 en N-put-onderzoek 2006/2007.

Tabel D.1 Overzicht van de drainageklassen volgens verschillende informatiebronnen en de definitieve keuze van de drainageklasse, zoals gebruikt in voorliggend onderzoek.

mt	Toetsdiepte-onderzoek (Fraters et al., 2006a)	Intern rapport, aug 2006	GT250: Bodemkaart	GT500: Bodemkaart	Definitieve keuze
1		droog	droog	droog	droog
5	droog	droog		droog	droog
16	droog	droog	droog		droog
17	droog	droog	droog	droog	droog
101		droog	droog	droog	droog
104		droog	droog	droog	droog
107	droog	droog	droog	droog	droog
114		droog	droog	droog	droog
136	-	-	onbekend	droog	droog
144		neutraal	droog	droog	droog
212	droog	droog	droog		droog
217		droog	droog	droog	droog
256	droog	droog	droog	droog	droog
258		droog	droog	droog	droog

mt	Toetsdiepte- onderzoek (Fraters et al., 2006a)	Intern rapport, aug 2006	GT250: Bodem- kaart	GT500: Bodem- kaart	Definitieve keuze
271	droog	droog	neutraal	droog	droog
334	droog	droog	droog	droog	droog
364		droog	droog	droog	droog
374		droog	droog	droog	droog
377	droog	droog	droog	droog	droog
378		droog		droog	droog
380		droog	droog	droog	droog
11	nat	nat	nat	nat	nat
13	nat	droog	nat	neutraal/nat	nat
43	nat	nat	nat	nat	nat
95	nat	nat	nat	nat	nat
139	nat	nat	nat	nat	nat
146	nat	nat	neutraal	neutraal	nat
247	nat		nat	nat	nat
319	nat	nat	onbekend	nat	nat
341	nat	nat	nat		nat
375	-	-	neutraal	neutraal	nat
6		neutraal	droog	droog	neutraal
7		neutraal		neutraal	neutraal
10	neutraal	neutraal	nat	nat	neutraal
12	neutraal	neutraal	droog	neutraal	neutraal
42		neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
97	neutraal	neutraal	neutraal	droog	neutraal
106	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
124	neutraal	neutraal	onbekend	neutraal	neutraal
142	-	-	neutraal	neutraal	neutraal
186	neutraal	neutraal	droog	droog	neutraal
202	neutraal	neutraal	onbekend	neutraal	neutraal
211		neutraal		neutraal	neutraal
213	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
251	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
332	-	-	neutraal	neutraal	neutraal
333	neutraal	neutraal	neutraal		neutraal
338	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
339	-	-	neutraal	neutraal	neutraal

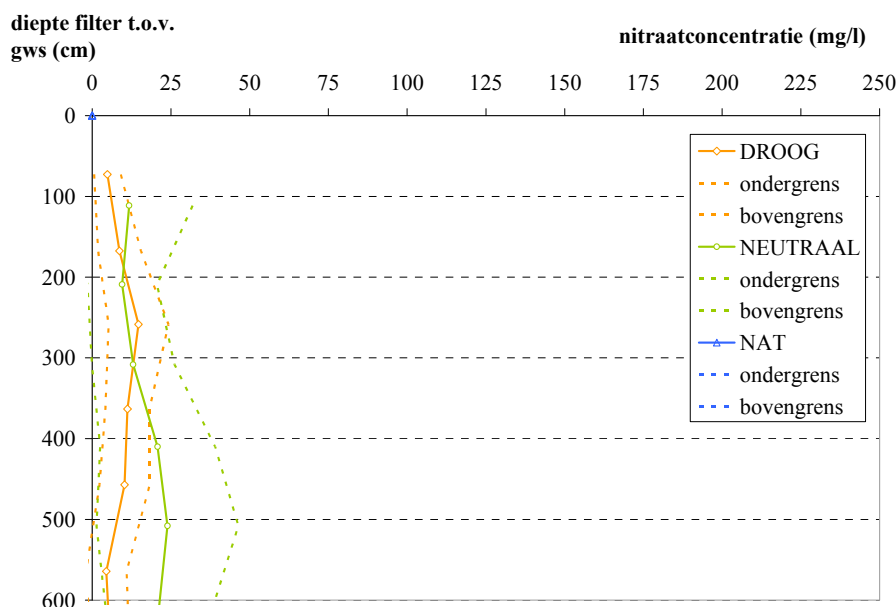
Bijlage E Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met diepte en in de tijd bij natuur- en bospercelen in de zandgebieden

INHOUDSOPGAVE Bijlage E

1. Verloop van de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater
2. Verloop van de nitraatconcentratie in het grondwater beneden vijf meter diepte
3. Trend in het verloop van de nitraatconcentratie voor het diepere grondwater

1. Verloop van de nitraatconcentratie in de bovenste vijf meter van het grondwater

Bij de vier putten van de gronden met drainageklasse neutraal was het niet mogelijk om het filter in de eerste meter van het grondwater te bemonsteren. De gemiddelde concentratie van deze putten in de tweede meter was 12 mg/l. Bij de droge gronden was de gemiddelde concentratie op deze diepte 9 mg/l. In figuur E.1 is zichtbaar dat de gemiddelde concentratie voor zowel de droge als de neutrale gronden met de diepte in de eerste vijf meter toeneemt. De toename voor de droge gronden is heel klein (19%). Bij neutrale gronden is de toename 77% naar een gemiddelde concentratie van 21 mg/l.



Figuur E.1 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte onder de grondwaterspiegel bij natuur- en bospercelen in de zandgebieden van 2006/2007 voor twee drainageklassen: neutraal en droog. Gestippelde lijnen geven de 95%-betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden.

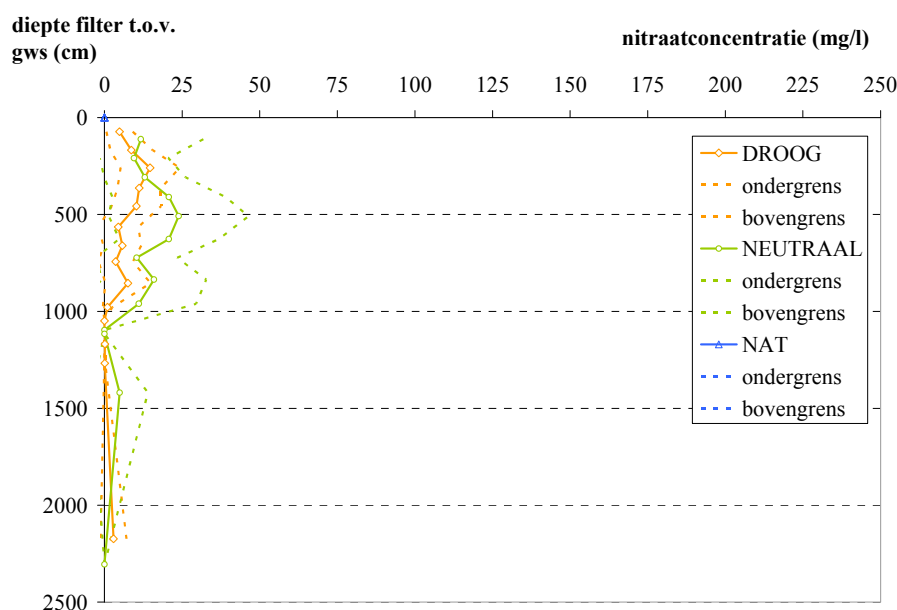
In natuurgebieden zijn de gemiddelde nitraatconcentraties lager dan in de landbouwgebieden, aangezien hier niet bemest wordt. Nitraat in de natuurgebieden wordt voor het grootste deel via de lucht aangevoerd vanuit landbouwgebieden. Een deel van het nitraat kan ontstaan door de mineralisatie

van organisch materiaal. In het bovenste en ondiepe grondwater varieert de nitraatconcentratie tussen 0 en circa 25 mg/l, waarbij de concentraties onder de neutrale zandgronden hoger zijn dan onder de droge zandgronden.

Uit de berekeningen blijkt dat de gemiddelde concentratie voor zowel de droge als de neutrale gronden met de diepte in de eerste vijf meter toeneemt. De toename voor de droge gronden is heel klein (19%). Bij neutrale gronden is de toename 77% naar een gemiddelde concentratie van 21 mg/l. Ook hier geldt dat deze toename niet zoveel zegt, omdat de gemiddelde concentratie op vijf meter nog steeds laag is met 21 mg/l.

2. Verloop van de nitraatconcentratie in het grondwater beneden vijf meter diepte

Onder natuur- en bosgebieden neemt met toenemende diepte zowel voor de neutrale als droge zandgronden de concentraties af naar waarden rond de detectielimiet (zie Figuur E.2). De gemiddelde concentratie tussen 10 en 25 meter onder het maaiveld varieert tussen 0-3 mg/l (droge gronden) en 0-5 mg/l (neutrale gronden). Voor de natte gronden zijn geen meetgegevens in natuur- of bosgebied beschikbaar.



Figuur E.2 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie met de diepte onder de grondwaterspiegel bij bos en natuur in de zandgebieden van 2006/2007 voor drie drainageklassen: nat, neutraal en droog. Gestippelde lijnen geven de 95%-betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden.

Conclusies

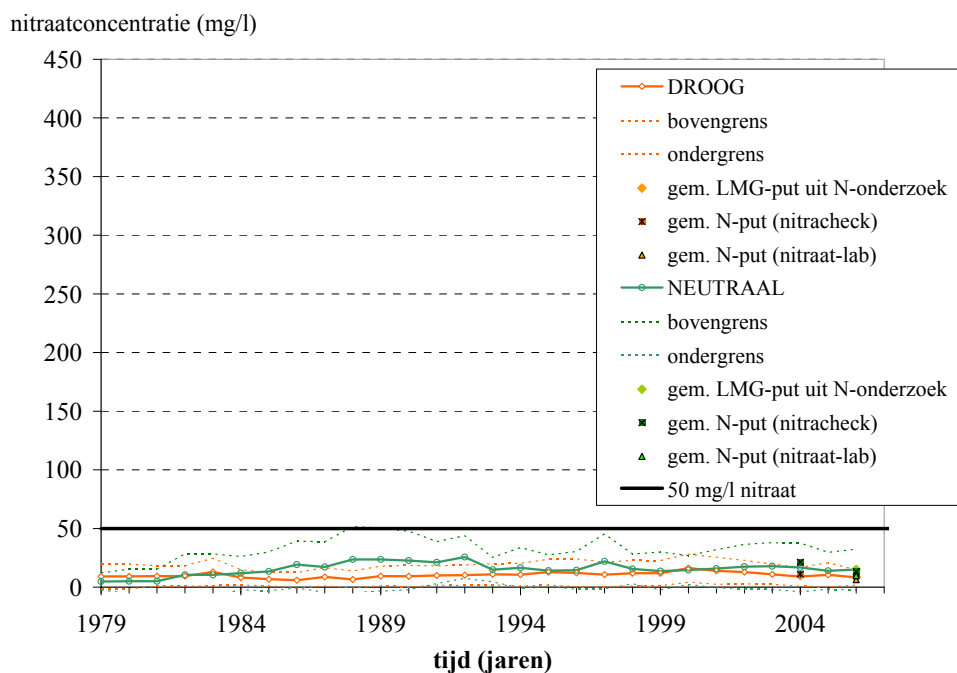
Onder natuur- en bosgebieden neemt met toenemende diepte zowel voor de neutrale als droge zandgronden de concentraties af naar waarden rond de detectielimiet (zie Figuur E.2). De gemiddelde concentratie tussen 10 en 25 meter onder het maaiveld varieert tussen 0-5 mg/l voor droge en neutrale gronden.

3. Trend in het verloop van de nitraatconcentratie voor het diepere grondwater

Diepteniveau circa 10 m -mv

Het verloop van de nitraatconcentratie in de tijd onder natuur- en bosgebieden met droge zandgronden toont over de periode 1980-2006 een bijna constante concentratie (zie Figuur E.3). De gemiddelde nitraatconcentratie over de gehele periode is 10 mg/l. Ook is de variatie in de nitraatconcentraties over deze periode klein. Dit is zichtbaar in de constante kleine verschillen tussen onder- en bovengrens van de 95%-betrouwbaarheidsgrafieken. Op basis van lineaire regressie neemt de nitraatconcentratie over deze periode heel licht toe met enkele mg/l over de gehele tijdspanne.

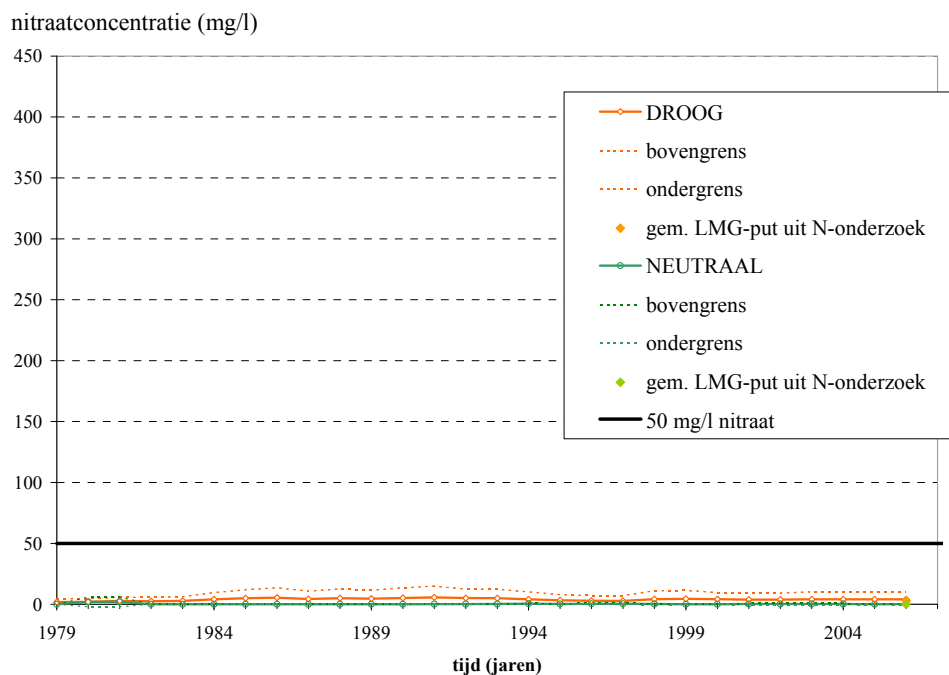
Onder neutrale zandgronden neemt de gemiddelde nitraatconcentratie licht toe van 5 mg/l in 1980 naar 15 mg/l in 2006. Gemiddeld is de nitraatconcentratie over deze periode 16 mg/l.



Figuur E.3 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie in de tijd bij natuur- en bosgebieden op zandgebieden op een diepte van circa 10 meter onder het maaiveld voor de drainageklassen neutraal en droog. De gestippelde lijnen geven de 95% betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden weer. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de 15 LMG-putten met landgebruik natuur/bos.

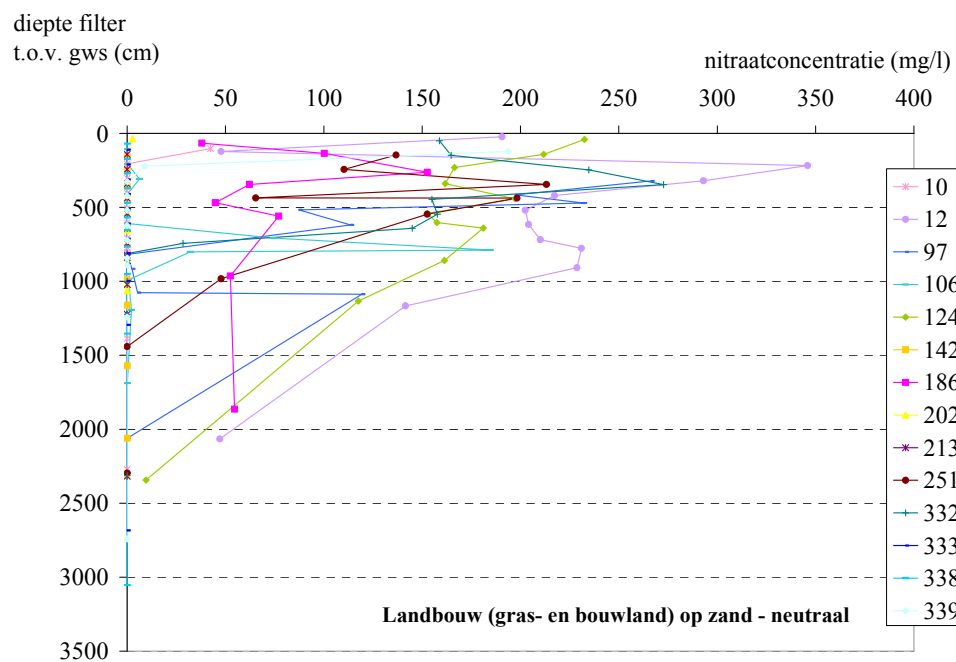
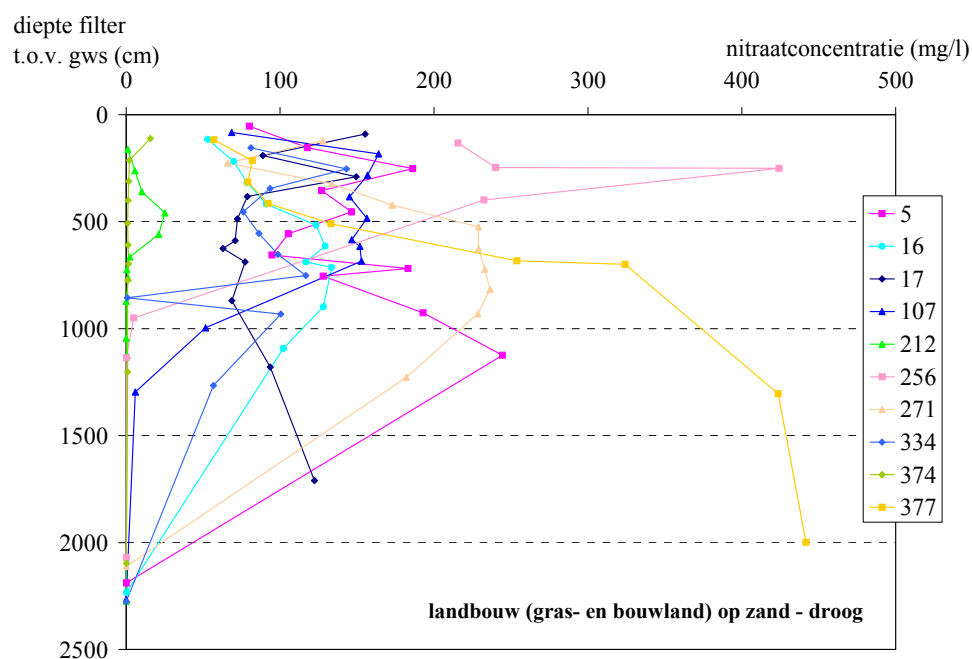
Diepteniveau circa 25 m -mv

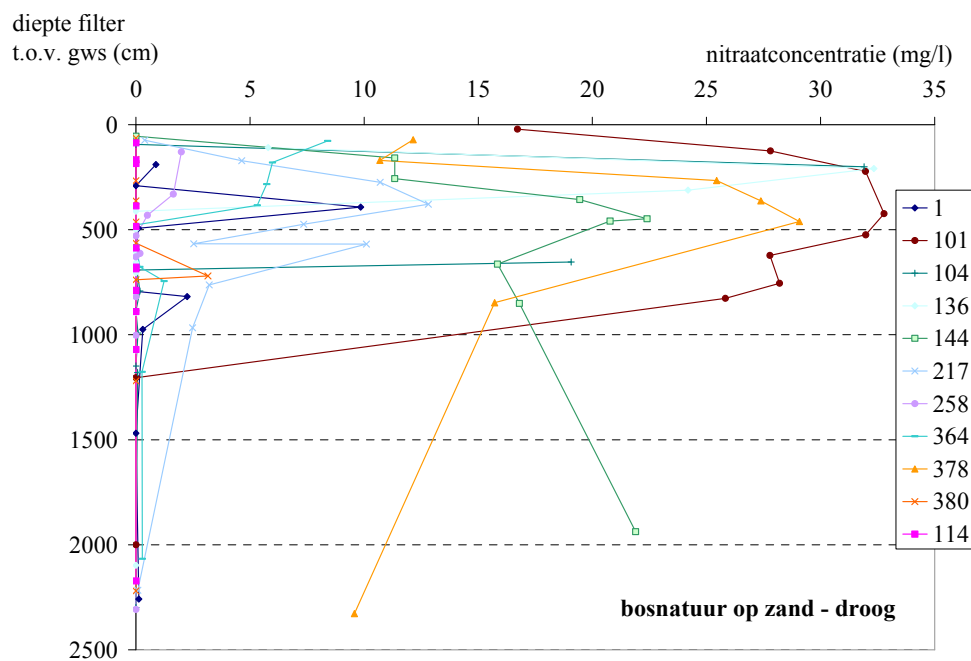
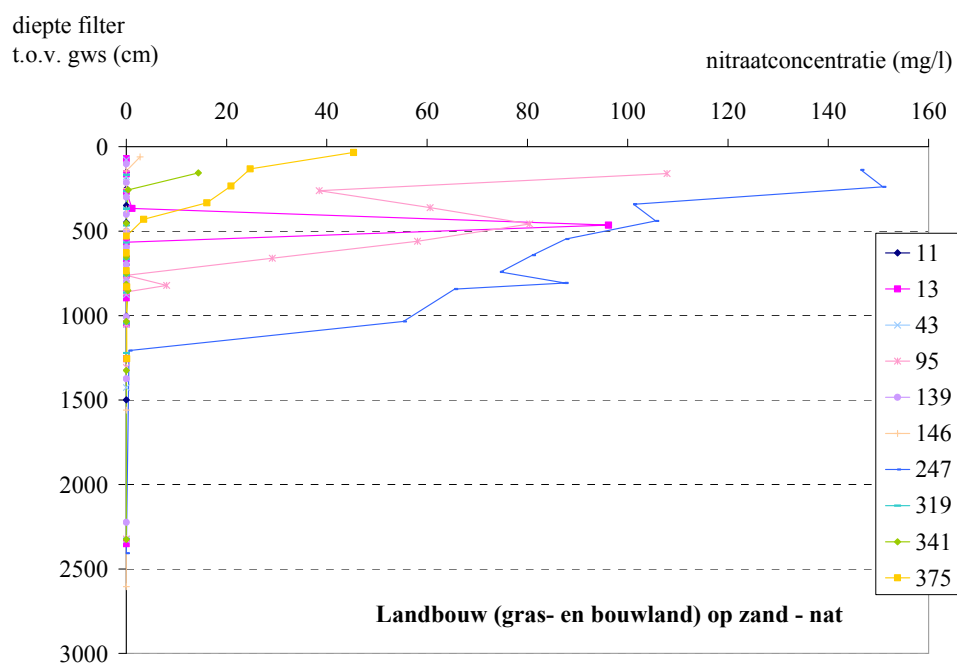
In het dieptetraject van circa 25 m -mv liggen de gemiddelde nitraatconcentraties voor de zandgronden met drainageklasse droog en neutraal ver onder 50 mg/l (zie Figuur E.4). Voor de droge en neutrale zandgronden varieert de gemiddelde nitraatconcentratie per jaar tussen de detectielimiet en 6 mg/l.

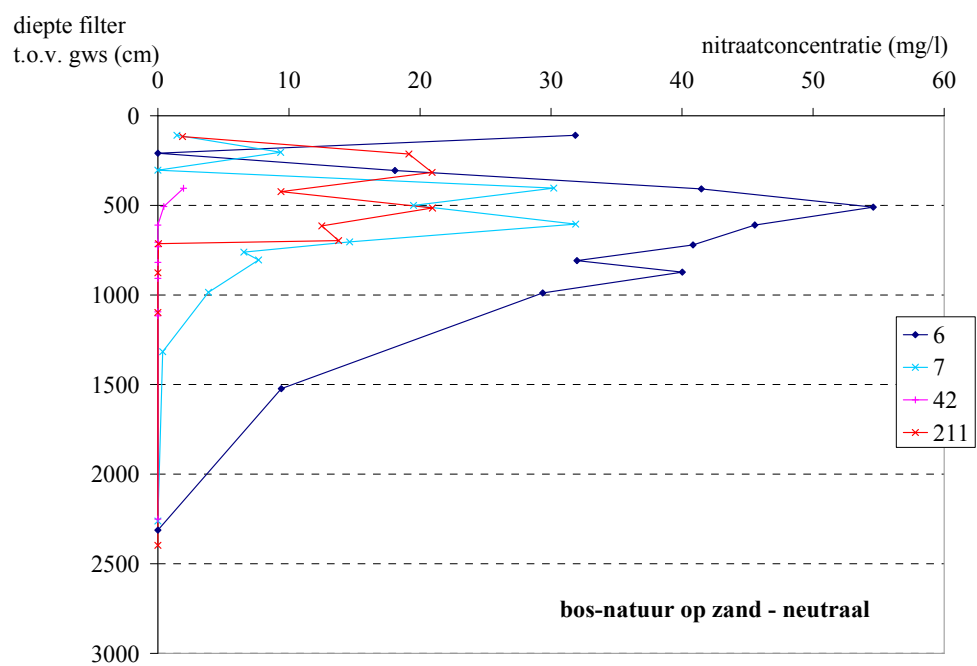


Figuur E.4 Verloop van de gemiddelde nitraatconcentratie in de tijd bij natuur- en bosgebieden op zandgebieden op een diepte van circa 25 meter onder het maaiveld voor de drie drainageklassen nat, neutraal en droog. De gestippelde lijnen geven de 95%-betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde waarden weer. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de 15 LMG-putten met landgebruik natuur/bos.

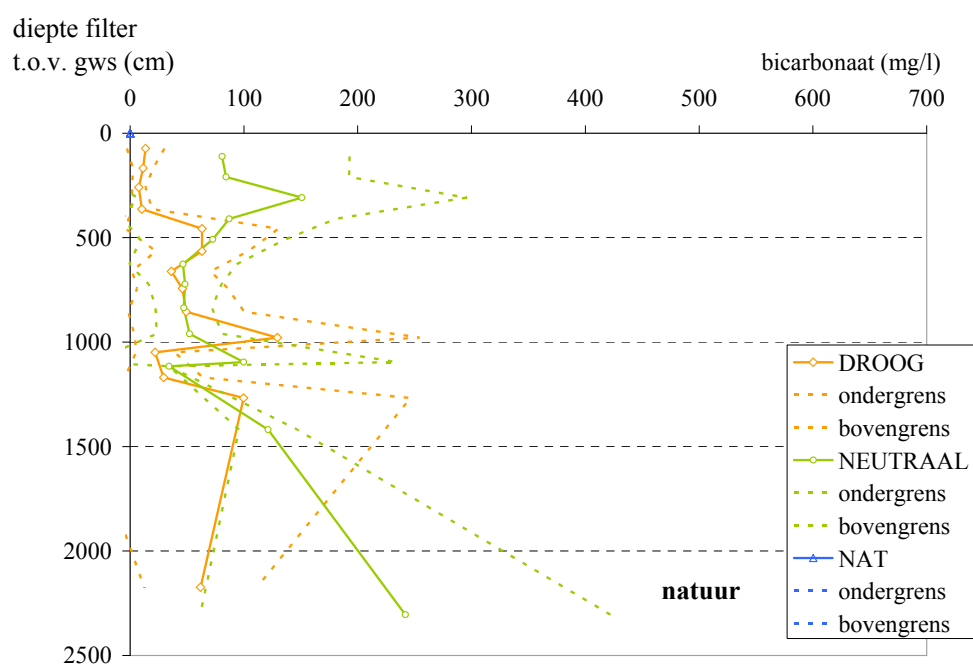
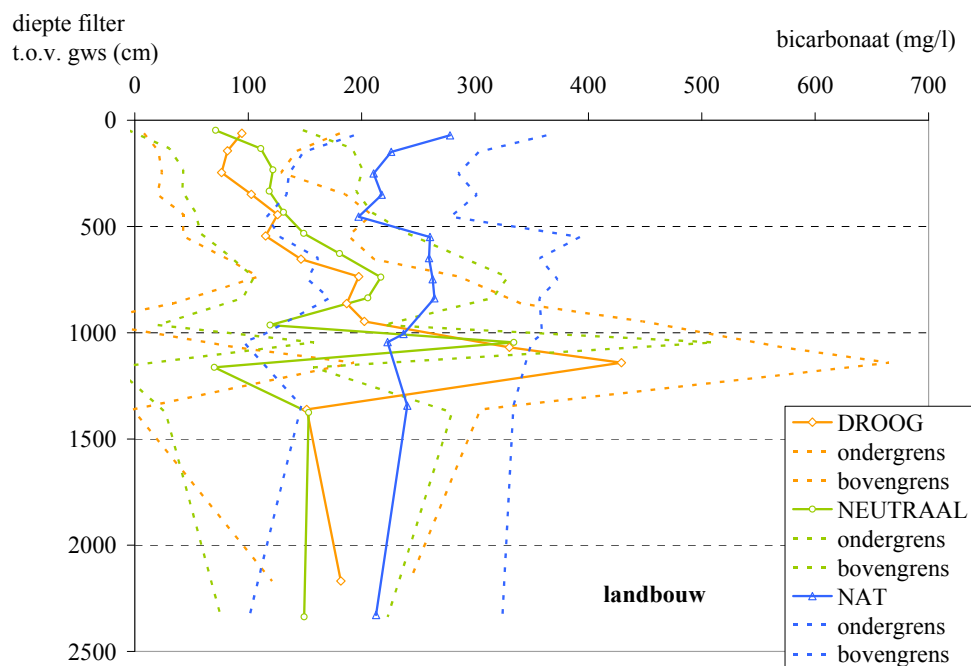
Bijlage F Verloop van de nitraatconcentraties met de diepte per individuele put

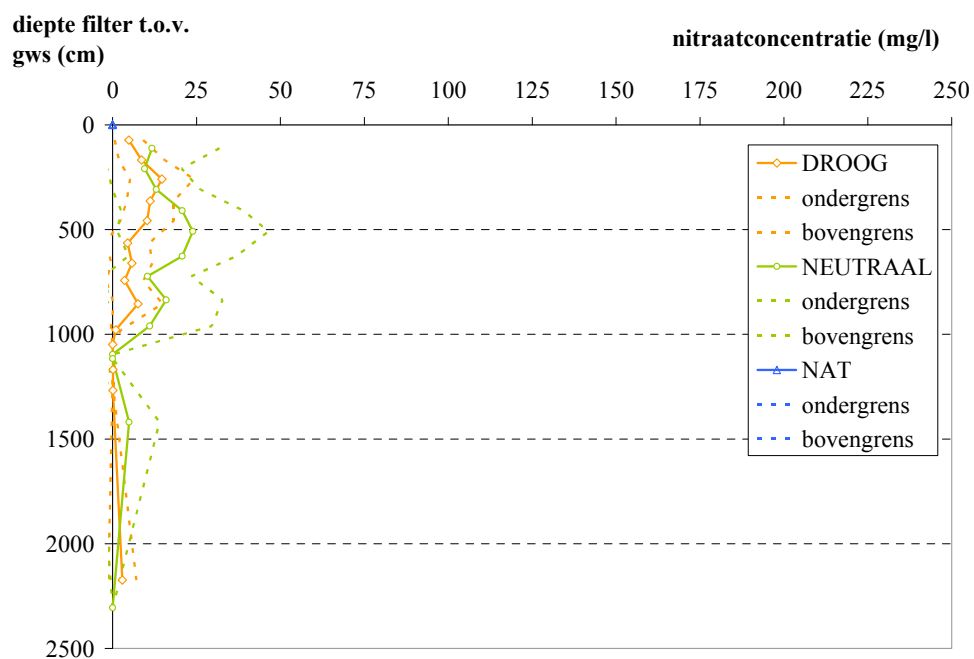
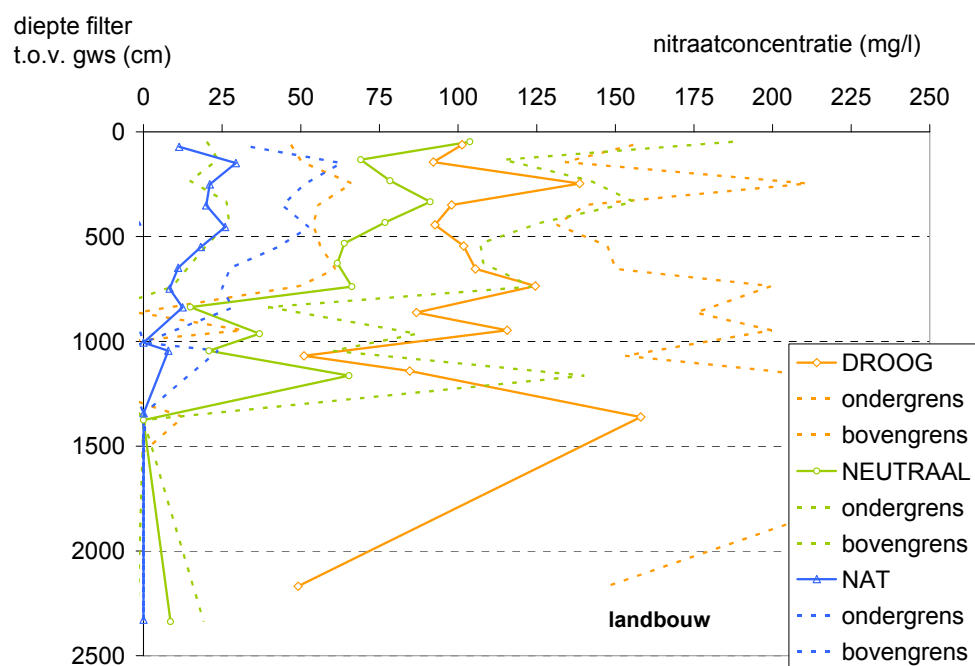


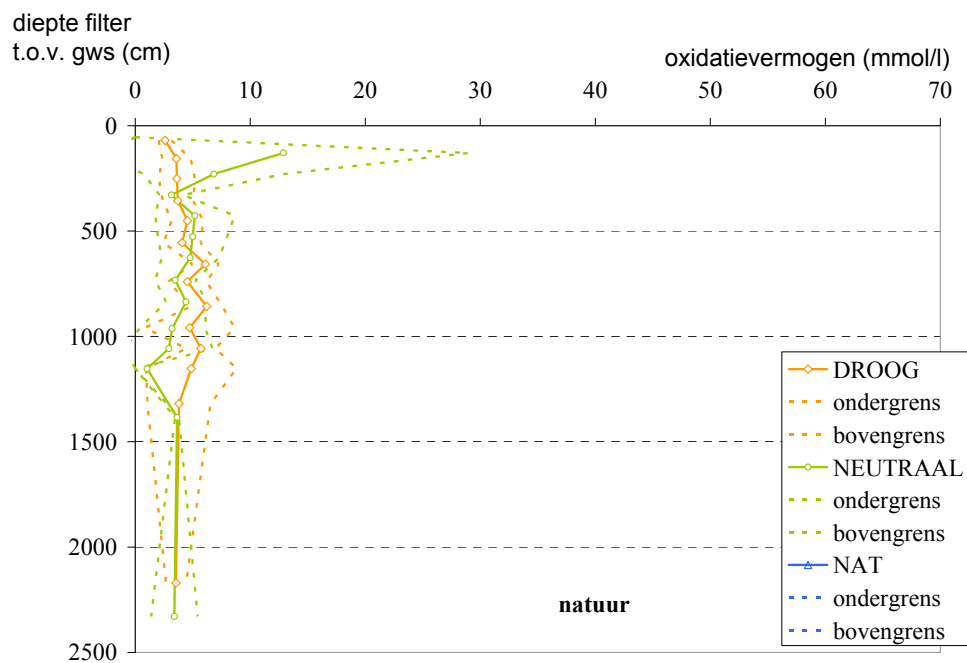
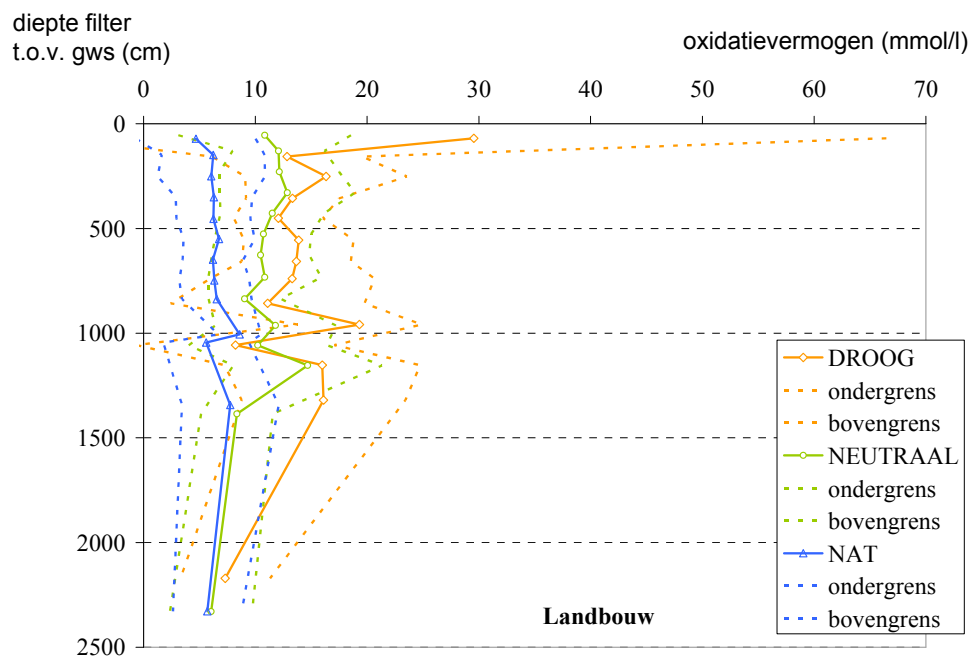


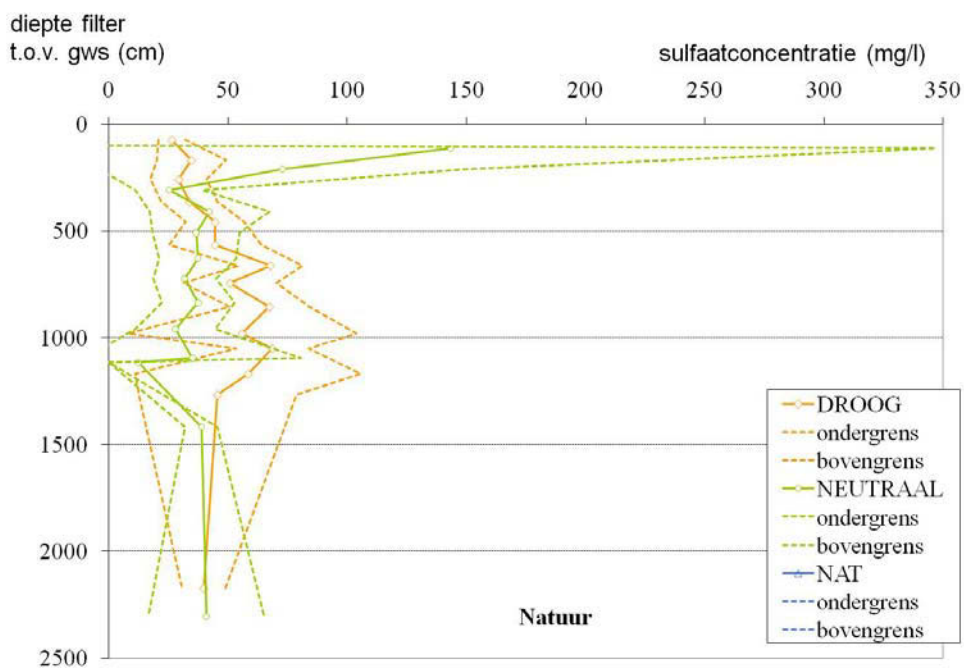
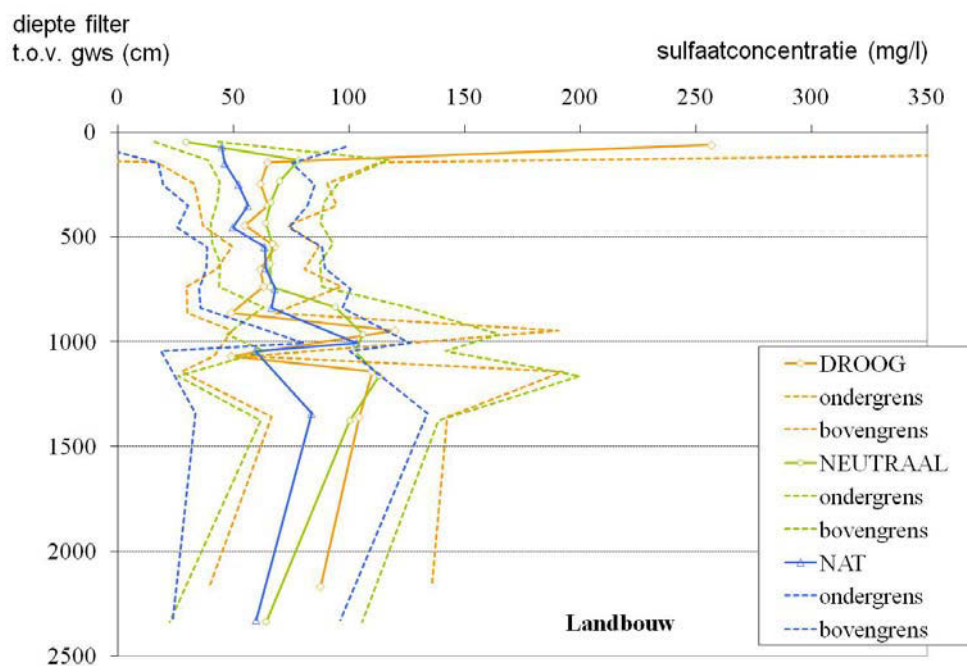


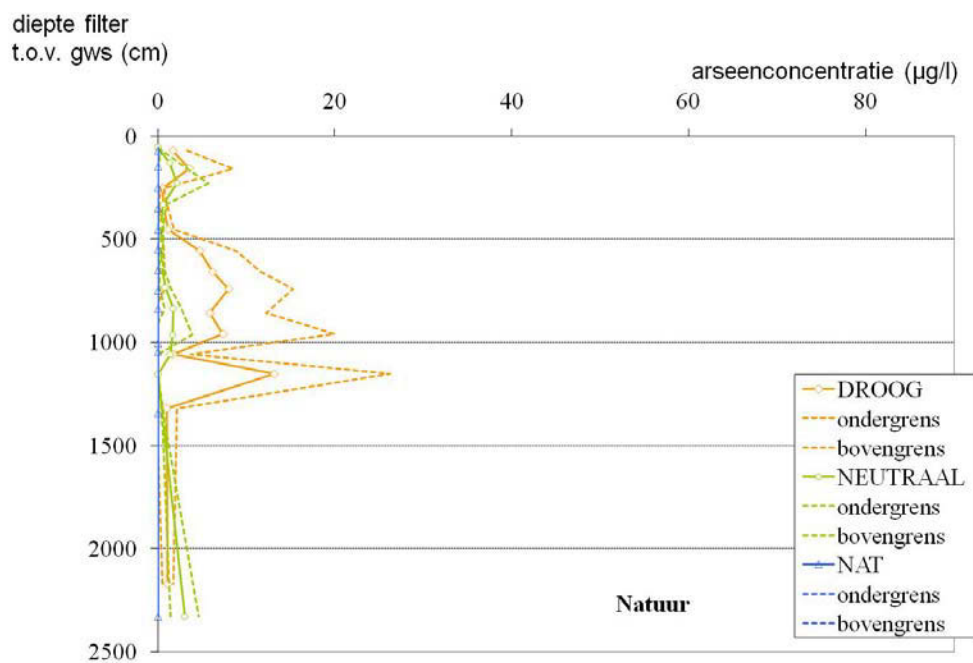
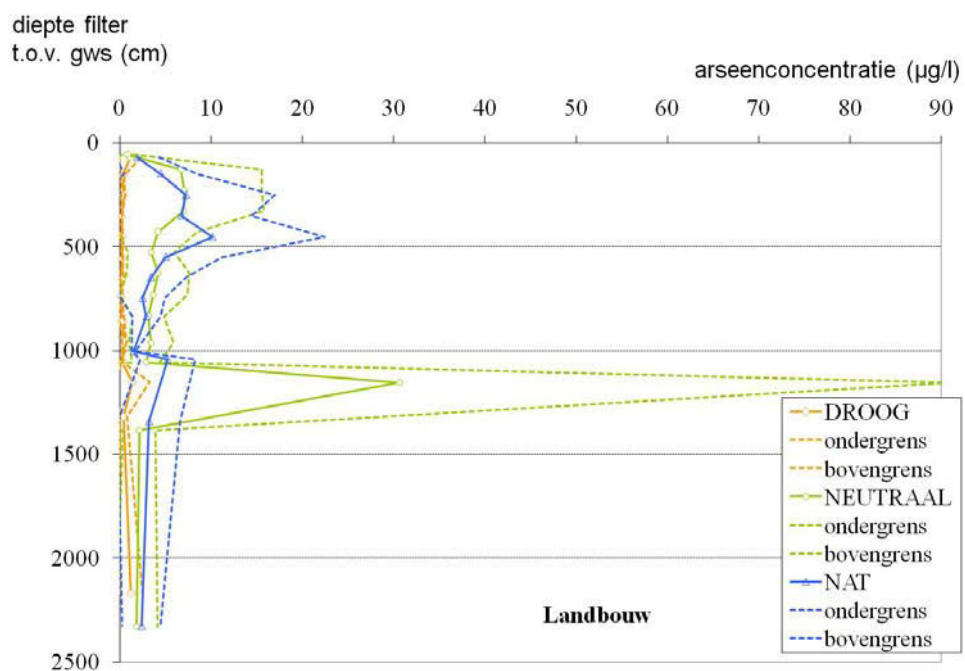
Bijlage G Verloop van de gemiddelde concentraties met de diepte onder de grondwaterspiegel bij landbouw- en natuurpercelen in de zandgebieden

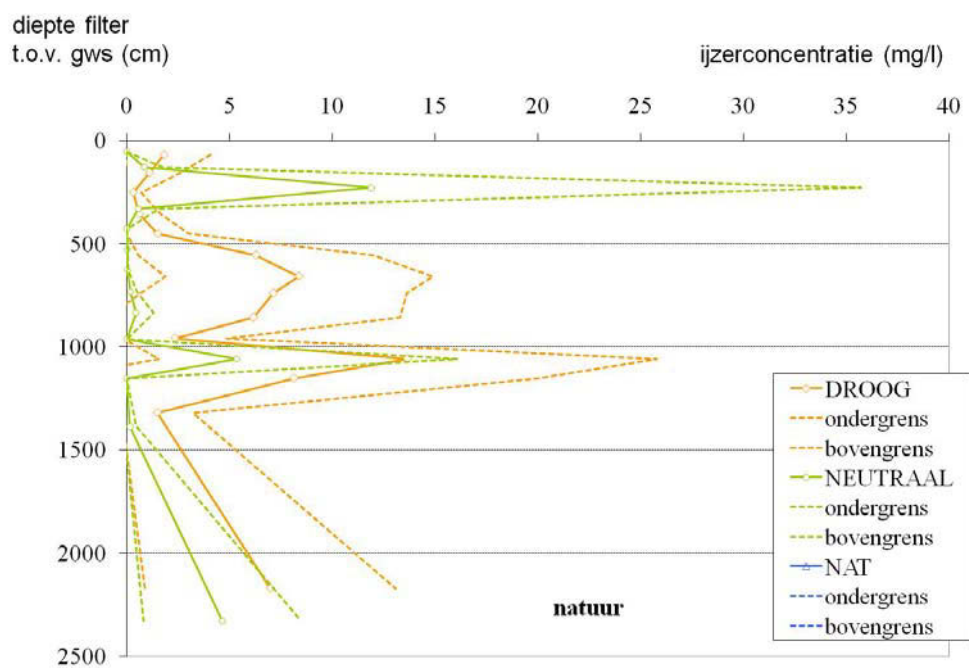
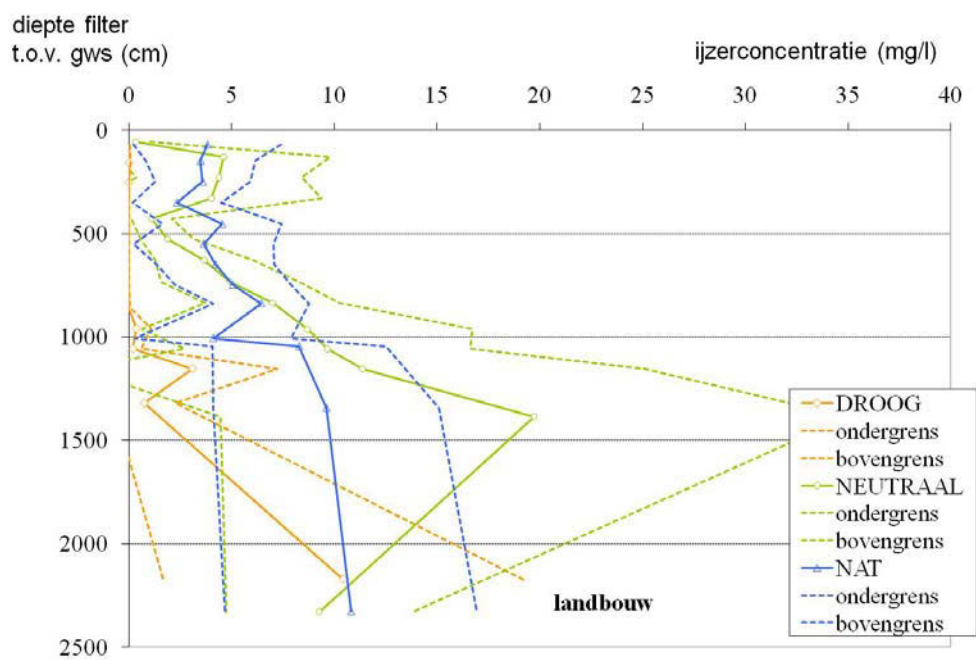


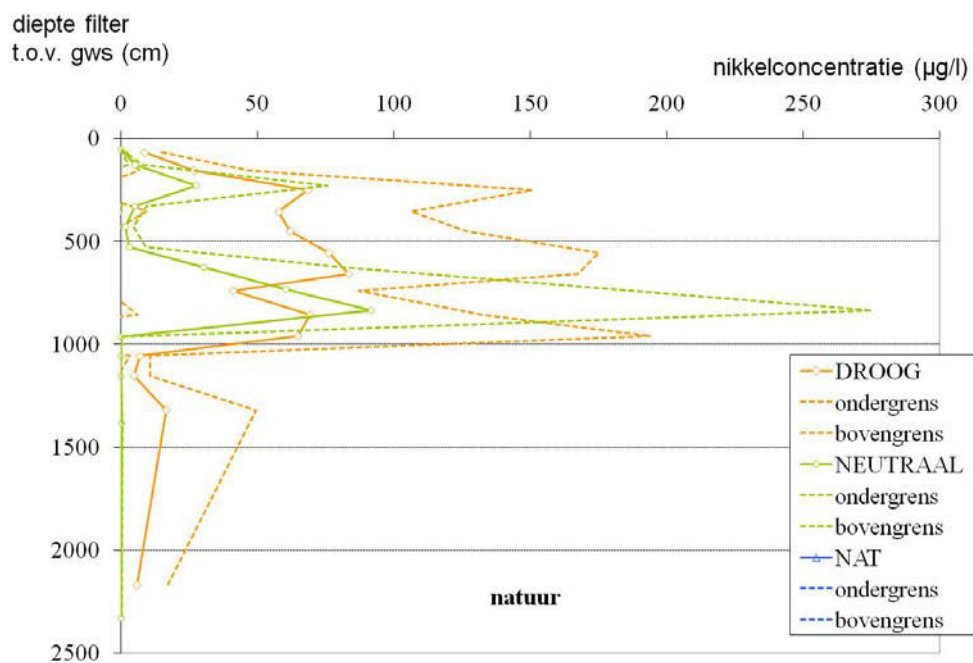
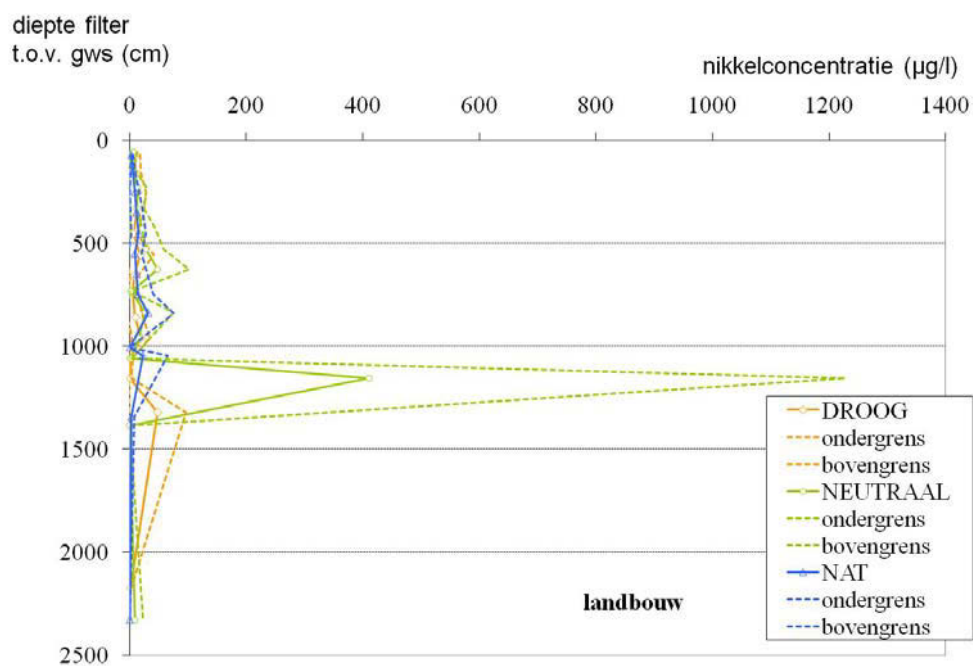












Bijlage H Verloop van de gemiddelde concentraties

Tabel H.1 Overzicht van de diepte van het filter ten opzichte van het maaiveld, grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld, de diepte van het filter ten opzichte van de grondwaterstand, en of het filter zich binnen of buiten het dieptetraject van de eerste meter van het grondwater bevindt. In het overzicht zijn deze gegevens opgenomen voor de bovenste filters van de N-putten voor de meetjaren 2004 en 2006/2007. Indien het eerste filter in beide meetjaren droog stond, is het filter niet in het overzicht weergegeven.

			2004				2006/2007			
			Diepte filter ten opzichte van gws				Diepte filter ten opzichte van gws			
put	Filter	filter t.o.v. maaiveld (cm)	gws t.o.v. maaiveld (cm)	(cm)	<100 cm	>100 cm	gws t.o.v. maaiveld (cm)	(cm)	<100 cm	>100 cm
1	1	320	266	54	x		130	190		x
1	2	421	266	155		x	130	291		x
5	1	218,5	-	-	-	-	165	53,5	x	
5	2	319	240	79	x		167	154		x
6	1	213	-	-	-	-	104	109		x
6	2	313	235	78	x		104	209		x
7	1	223	204	19	x		114	109		x
7	2	318	200	118		x	115	204		x
10	1	153	141	12	x		145	8	x	
10	2	248	140	108		x	147	103		x
11	1	153	130	26	x		101	52	x	
11	2	253,5	134,5	122		x	101	152,5		x
12	1	228	-	-	-	-	205	23	x	
12	2	327	210	117		x	205	122		x
13	1	124	53	71	x		53	71	x	
13	2	214,5	54,5	160		x	54	161,5		x
16	1	330,5	244,5	86	x		215	115,5		x
16	2	433,5	243,5	190		x	215	218,5		x
17	1	350	306	44	x		260	90	x	
17	2	450,5	305,5	145		x	259	190,5		x
42	1	138	-	-	-	-	39	99	x	
42	2	444	262	182		x	221	405		x
43	1	124	31	93	x		46	78	x	
43	2	223	33	190		x	44	177		x
95	1	120,5	86,5	34	x		57	63,5	x	
95	2	216	89	127		x	57	159		x
97	2	322	232	90	x		205	117		x
101	2	323,5	-	-	-	-	302	21,5	x	
101	3	427	339	88	x		302	125		x
104	1	216	171	45	x		122	94	x	
104	2	322	171	151		x	122	200		x
106	2	212,5	123,5	89	x		108	105,5		x
107	1	218	161	57	x		135	83	x	

			2004				2006/2007			
			Diepte filter ten opzichte van gws				Diepte filter ten opzichte van gws			
put	Filter	filter t.o.v. maai-veld (cm)	gws t.o.v. maai-veld (cm)	(cm)	<100 cm	>100 cm	gws t.o.v. maai-veld (cm)	(cm)	<100 cm	>100 cm
107	2	318	160	158		x	137	183		x
114	2	520	444	76	x		433	87	x	
124	2	323,5	285,5	38	x		282	41,5	x	
136	1	214	-	-	-	-	209	5	x	
136	2	318	-	-	-	-	210	109		x
139	1	237,5	141,5	96	x		136	101,5		x
139	2	348,5	141,5	207		x	138	212,5		x
142	1	223	-	-	-	-	65	158		x
142	2	319	-	-	-	-	53	254		x
144	2	521	464	57	x		466	55	x	
146	1	125	-	-	-	-	65	60	x	
146	2	209	140	69	x		65	144		x
186	2	616,5	554,5	62	x		551	65,5	x	
202	1	132	119	13	x		97	35	x	
202	2	237	120	117		x	97	140		x
211	1	323	245	78	x		207	116		x
211	2	421	245	176		x	207	214		x
212	1	223	124	99	x		61	162		x
212	2	323	123	200		x	66	262		x
213	1	227	105	122		x	86	141		x
213	2	329	106	223		X	83	243		x
217	2	412	338	74	x		338	74	x	
247	1	219,5	133,5	86	x		82	137,5		x
247	2	320	134	186		x	82	238		x
251	1	250	155	95	x		104	146		x
251	2	347	155	192		x	104	243		x
256	1	405,5	-	-	-	-	377	28,5	x	
256	2	509	415	94	x		378	132		x
258	1	326	271	55	x		298	28	x	
258	2	427,5	270,5	157		x	299	129,5		x
271	1	212	186	26	x		193	19	x	
271	2	316	187	129		x	191	123		x
319	1	113,5	60,5	53	x		47	66,5	x	
319	2	214	65	149		x	49	167		x
332	1	129	-	-	-	-	80	49	x	
332	2	228	-	-	-	-	82	148		x
333	1	219	128	91	x		108	111		x
333	2	319	128	191		x	106	211		x
334	1	223	-	-	-	-	174	49	x	
334	2	328,5	223,5	105		x	175	154,5		x
338	1	224	162	62	x		154	70	x	
338	2	327	173	154		x	145	173		x
339	1	214	-	-	-	-	198	16	x	
339	2	320	-	-	-	-	198	122		x

			2004				2006/2007			
			Diepte filter ten opzichte van gws				Diepte filter ten opzichte van gws			
put	Filter	filter t.o.v. maai-veld (cm)	gws t.o.v. maai-veld (cm)	(cm)	<100 cm	>100 cm	gws t.o.v. maai-veld (cm)	(cm)	<100 cm	>100 cm
341	1	107	91	16	x		49	58	x	
341	2	204,5	105,5	99	x		80	155,5		x
364	2	423,5	332,5	91	x		346	77,5	x	
374	1	317	308	9	x		-	3	x	
374	2	425	311	114		x	314	111		x
375	1	123	-	-	-	-	89	34	x	
375	2	220	-	-	-	-	48	131		x
377	2	422,5	406,5	16	x		407	15,5	x	
378	1	321	263	58	x		249	72	x	
378	2	418,5	235,5	183		x	249	169,5		x
380	3	414,5	321,5	93	x		350	64,5	x	
Aantal (%)					59%	41%			40%	60%

M.E. van Vliet | B. Fraters

Rapport 680717015/2011

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

maart 2011

