

Schatting van denitrificatie in grasland volgens verschillende methoden



# **Schatting van denitrificatie in grasland volgens verschillende methoden**

**Vergelijking van methoden voor een droog en nat perceel van proefbedrijf 'De Marke'**

**F.B.T. Assinck**

**M. Heinen**

**J.W. van Groenigen**

**Alterra-rapport 1300**

**Alterra, Wageningen, 2006**

## REFERAAT

F.B.T. Assinck, M. Heinen & J.W. van Groenigen, 2005. *Schatting van denitrificatie in grasland volgens verschillende methoden; Vergelijking van methoden voor een droog en nat perceel van proefbedrijf 'De Marke'*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1300. 44 blz.; 8 fig.; 4 tab.; 22 ref.

Het meten van stikstofverliezen zoals nitraatuitspoeling en denitrificatie onder veldomstandigheden is lastig en duur. Deze studie vergelijkt verschillende methoden om de totale hoeveelheid denitrificatie te bepalen voor een relatief nat en een droog graslandperceel op zand. Ter ondersteuning zijn tijdens het uitspoelseizoen 2004-2005 diverse metingen uitgevoerd op beide percelen. De toegepaste methoden zijn de ABC-methode, de ADI-methode, het opstellen van een veldbalans, integratie van denitrificatiemetingen in de tijd, het gebruik van complexe modellen en het toepassen van een eenvoudige rekenregel. Bij de meeste methoden is de hoeveelheid denitrificatie in het natte perceel het hoogst. De verschillen tussen de diverse methoden zijn echter groot. De geschiktste methode om denitrificatie te bepalen is afhankelijk van de beschikbare data en tijd, maar dient wel zo locatiespecifiek mogelijk te zijn.

Trefwoorden: actuele denitrificatie, ANIMO, balans, complex model, eenvoudige rekenregel, grasland, grondwatertrap, Gt, potentiële denitrificatie, zand.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 15,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1300. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2006 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

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

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

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materiaal en Methoden	13
2.1 Beschrijving van de percelen	13
2.2 Veldbemonstering	14
2.3 Laboratoriumanalyses	14
2.4 Overige metingen	15
2.5 Berekeningsmethoden voor denitrificatie	15
2.5.1 ABC-methode	16
2.5.2 ADI-methode	17
2.5.3 Veldbalans	18
2.5.4 Meetmethode	19
2.5.5 Complex model	20
2.5.6 Eenvoudig denitrificatiemodel	21
3 Resultaten	23
3.1 Meetresultaten	23
3.1.1 Weer	23
3.1.2 Grondwaterstand	24
3.1.3 N-bodemoverschot	25
3.1.4 Nitraatconcentratie	25
3.1.5 Potentiële en actuele denitrificatie	25
3.2 Resultaten denitrificatie-berekeningsmethoden	29
3.2.1 ABC-methode	30
3.2.2 ADI-methode	31
3.2.3 Veldbalans	31
3.2.4 Meetmethode	32
3.2.5 Complex model	32
3.2.6 Eenvoudig denitrificatiemodel	32
4 Conclusies	35
Literatuur	37
<b><i>Bijlagen</i></b>	
1 ADI- en denitrificatiewaarden horende bij ADI-variant Alterra-rapport 730.1	39
2 ADI uit EMW2002 STONE berekeningen.	41
3 Bodemtemperatuur, nitraat_N-gehalte, volumetrisch watergehalte en droge bulkdichtheid	43



## **Woord vooraf**

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het Mest- en Mineralenprogramma 398-II.

Wij bedanken Jan van Kleef en Tonnie van Steenbergen voor het uitvoeren van het veldwerk, Jaap Nelemans voor het uitvoeren van de laboratoriumanalyses en diverse leden van het team Integraal Waterbeheer voor het aanleveren van de STONE-gegevens. Gerard Velthof heeft waardevol commentaar geleverd, daarvoor onze dank.





## Samenvatting

Stikstofverliezen vanuit landbouwgronden naar de omgeving worden beïnvloed door het gebruik van de gronden en door de omstandigheden in de bodem. Het meten van stikstofverliezen zoals nitraatuitspoeling en denitrificatie (= het bodemproces waarbij nitraat wordt omgezet in gasvormige stikstofverbindingen) onder veldomstandigheden is lastig en duur. Voor de onderbouwing en evaluatie van het mestbeleid is een goede kwantificering van de denitrificatieverliezen en de verhouding tussen denitrificatie en nitraatuitspoeling bij verschillende combinaties van grondsoort – grondwaterstand – grondgebruik noodzakelijk.

Het doel van deze studie is het vergelijken van verschillende methoden om de totale hoeveelheid denitrificatie te bepalen onder veldomstandigheden. Ter ondersteuning van deze studie zijn op een relatief nat en een droog graslandperceel (beide op zand) van proefbedrijf 'De Marke' diverse metingen uitgevoerd.

Tijdens het uitspoelseizoen 2004-2005 zijn op vier momenten bemonsteringen uitgevoerd in zes verschillende bodemlagen van elk perceel. Daarnaast is per laag de temperatuur gemeten. In het laboratorium zijn de monsters geanalyseerd op potentiële denitrificatie (bij 20 °C, na toevoeging van een overmaat nitraat en onder zuurstofloze omstandigheden), actuele denitrificatie (bij lokale temperatuur, nitraatgehalte en watergehalte), hoeveelheid N-mineraal, volumetrisch watergehalte en droge bulkdichtheid. Ter plekke zijn het weer en de grondwaterstand geregistreerd en zijn in het kader van het project 'Koeien & Kansen' ook diverse aan- en afvoerposten van stikstof vastgesteld.

Deze studie heeft zes verschillende methoden toegepast om de hoeveelheid denitrificatie te berekenen. Bij sommige methoden zijn een aantal varianten te onderscheiden, waaronder een locatiespecifieke variant. De toegepaste methoden zijn verschillend van aard: (1) de ABC-methode (denitrificatie = bodemoverschot minus uitspoeling, gebruikmakend van nominale waarden voor uitspoelfractie en grondwatertrapcorrectie), (2) de ADI-methode (ADI = verhouding denitrificatie gedeeld door de som van denitrificatie en uitspoeling), (3) het opstellen van een veldbalans, (4) het integreren van denitrificatiemetingen in de tijd, (5) het gebruik van complexe modellen (SWAP en ANIMO) en (6) het toepassen van een eenvoudige rekenregel (actuele denitrificatie = potentiële denitrificatie na correctie voor nitraatgehalte, verzadigingsgraad en temperatuur).

Uit metingen blijkt dat het weer gedurende de periode (maart 2004 – maart 2005) droger was dan normaal. De potentiële denitrificatie was in de bovengrond het hoogst. De actuele denitrificatie was in de diepere bodemlagen hoger dan in de bovengrond. Opvallend is dat de actuele denitrificatiewaarden in het droge perceel over het algemeen hoger waren dan in het natte perceel. Geïntegreerd over de diepte en de tijd is de gemeten hoeveelheid denitrificatie in het uitspoelseizoen 2004-2005 bij het droge en natte perceel respectievelijk 61 en 22 kg N ha<sup>-1</sup>.

De meeste methoden en varianten (met uitzondering van 3 varianten) geven aan dat de hoeveelheid denitrificatie in de periode maart 2004 tot maart 2005 in de laag 0 - 100 cm-mv het hoogst is in het natte perceel. Gemiddeld (over alle methoden) is de denitrificatie in dit perceel  $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ . Op het droge perceel is de denitrificatie gemiddeld  $37 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ . De verschillen tussen de diverse methoden zijn echter groot. Het effect van het locatiespecifieker maken van een methode (gebruikmakend van lokale perceelsgegevens in plaats van standaardwaarden) leidt gemiddeld gezien tot een kleine toename van de hoeveelheid denitrificatie, de denitrificatie neemt echter niet altijd toe.

De meeste geschikte methode om denitrificatie onder veldomstandigheden te bepalen, is afhankelijk van de beschikbare data en de beschikbare tijd, maar is wel zo locatiespecifiek mogelijk. Zeer intensief meten van actuele denitrificatie heeft de grootste voorkeur, maar is duur en arbeidsintensief. Goed bruikbare (maar wel redelijk arbeidsintensieve) methoden zijn de complexe modellen en het eenvoudige denitrificatiemodel. Deze hebben als voordeel dat ook hier de variatie in de tijd tot uitdrukking komt. Calibreren van de benodigde parameters is dan wel vereist. De ABC-, ADI- en veldbalansmethode hebben als voordeel dat deze methoden relatief weinig invoergegevens nodig hebben en snel zijn. Het schatten van de denitrificatie onder veldomstandigheden is lastig en complex, zelfs als er veel gegevens ter beschikking zijn.

# 1 Inleiding

Het Nederlandse mestbeleid is er op gericht om de stikstof- (N) en fosfaatemissies uit de landbouw te beperken, zodat wordt voldaan aan de milieukwaliteitsdoelstellingen voor grond- en oppervlaktewater. In veel gevallen wordt meer N aangevoerd dan het gewas nodig heeft. Een deel van het stikstofoverschot zal, naast een eventuele bergingsverandering in de bodem, denitrificeren en een deel spoelt uit naar grond- en oppervlaktewater. Denitrificatie is het bodemproces waarbij nitraat wordt omgezet in gasvormige stikstofverbindingen. Voor de onderbouwing en evaluatie van het mestbeleid is een goede kwantificering van de denitrificatieverliezen en de verhouding tussen denitrificatie en nitraatuitspoeling bij verschillende combinaties van grondsoort – grondwaterstand – grondgebruik noodzakelijk.

Stikstofverliezen vanuit landbouwgronden naar de omgeving worden beïnvloed door het gebruik van de gronden en door de omstandigheden in de bodem. Deze factoren hebben niet alleen invloed op de totale hoeveelheid stikstofverliezen, maar ook op de verdeling over de verschillende soorten stikstofverliezen, hoofdzakelijk nitraatuitspoeling en denitrificatie. Het meten van nitraatuitspoeling en denitrificatie onder veldomstandigheden is lastig en duur als gevolg van methodologische problemen en temporele en ruimtelijke variaties.

In de eerste fase van het project ‘Modellering denitrificatie’ van programma 398-II is een eenvoudige rekenregel uit de literatuur afgeleid waarmee denitrificatie kan worden geschat op basis van eenvoudig meetbare, c.q. met procesmodellen te simuleren, grootheden en bodemeigenschappen (Heinen 2005a,b; Heinen *et al.*, 2005). Omdat deze eenvoudige rekenregel niet zonder meer universeel toepasbaar is, is een vergelijking met andere methoden, die denitrificatie schatten, gewenst.

Het doel van deze studie is het vergelijken van verschillende methoden om de totale hoeveelheid denitrificatie te bepalen onder veldomstandigheden. Het verschil tussen de totale hoeveelheid stikstofverliezen en de totale hoeveelheid denitrificatie is een schatting voor de hoeveelheid nitraatuitspoeling.

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de beschouwde methoden en licht de verschillende methoden nader toe. In hoofdstuk 3 en 4 worden respectievelijk de resultaten besproken en conclusies gegeven.



## 2 Materiaal en Methoden

In dit hoofdstuk worden de percelen, veldbemonsteringen en laboratoriumanalyses toegelicht. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van verschillende methoden om denitrificatie te bepalen onder veldomstandigheden en worden deze methoden nader toegelicht.

### 2.1 Beschrijving van de percelen

Deze studie is uitgevoerd voor twee percelen van 'De Marke', Praktijkcentrum voor Melkveehouderij en Milieu te Hengelo (Gld), namelijk perceel 17\_2 en perceel 2.

Perceel 17\_2 is een permanent grasland sinds 1990. In 2004 is de oude zode van het perceel doodgespoten en is vervolgens doorgezaaid. Er heeft bij deze graslandvernieuwing geen grondbewerking plaatsgevonden. Op perceel 2 wordt de volgende vruchtwisseling toegepast: 3 jaar gras, 2 jaar maïs en 1 jaar graan. In 2004 was perceel 2 voor het tweede jaar grasland.

De bouwvoor van perceel 17\_2 bestaat volgens Dekkers (1992) uit matig humeus, leemarm tot zwak lemig, zeer tot matig fijn zand. In de ondergrond komt matig fijn zand voor. Op een diepte tussen 80 en 120 cm beneden maaiveld (cm-mv) begint in de ondergrond een laag met een hoog leemgehalte ( $> 17,5\%$ ). In dit perceel is zeer plaatselijk een dunne moerige laag (5-15 cm) aangetroffen onder de bouwvoor of dieper in de ondergrond. Tot maximaal 60 cm-mv kan de grond vrij heterogeen zijn als gevolg van egalisatiewerkzaamheden. Volgens de bodemkaart uit Dekkers (1992) bestaat perceel 17\_2 uit veldpodzolgronden.

De bouwvoor van perceel 2 bestaat volgens Dekkers (1992) uit matig humeus, leemarm, matig fijn zand. Ook hier komt in de ondergrond matig fijn zand voor. Op een diepte tussen 160 en 200 cm-mv begint in de ondergrond een laag met een hoog leemgehalte ( $> 17,5\%$ ). Als gevolg van egalisatiewerkzaamheden kan de grond tot maximaal 60 cm diepte vrij heterogeen zijn. Volgens de bodemkaart van Dekkers (1992) behoort de bodem van perceel 2 tot de kanteerdgronden.

Dekkers (1992) heeft op alle percelen van 'De Marke' ook de grondwatertrap (Gt), de gemiddelde hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) bepaald. Op perceel 17\_2 komt Gt-klasse Vbo voor. Dit betekent dat de GHG tussen 25 en 40 cm-mv voorkomt en de GLG tussen 120 en 180 cm-mv. Op perceel 2 komt Gt-klasse VIIIId voor. Hierbij bevindt de GHG zich onder 140 cm-mv en komt de GLG voor tussen 250 en 300 cm-mv.

Assinck *et al.* (2005) hebben geconstateerd dat het organische koolstofgehalte in de lagen 30-60 en 60-90 cm-mv van perceel 17\_2 respectievelijk 4 en 2 keer groter zijn dan in dezelfde lagen van perceel 2. De organische koolstofgehalten voor perceel

17\_2 zijn 21,1 (0-30), 19,7 (30-60) en 11,2 g kg<sup>-1</sup> (60-90 cm-mv) en voor perceel 2 19,0 (0-30), 4,7 (30-60) en 5,9 g kg<sup>-1</sup> (60-90 cm-mv).

## 2.2 Veldbemonstering

Tijdens het uitspoelseizoen 2004-2005 (dus na de laatste maaisnede en voor het nieuwe groeiseizoen) zijn vier bemonsteringen uitgevoerd op percelen 2 en 17\_2, namelijk op 19 november, 3 december, 28 januari en 25 februari.

De bemonsteringen op de verschillende tijdstippen zijn uitgevoerd op naast elkaar gelegen, niet-overlappende plekken van het perceel in de hoop hiermee de ruimtelijke variabiliteit binnen een perceel te beperken. Ter plekke zijn aan de hand van een profielbeschrijving zes bodemlagen geselecteerd voor bemonstering (uit de laag 0-100 cm-mv). In Tabel 1 zijn deze lagen voor de beide percelen weergegeven.

Uit elke laag is een ruime hoeveelheid gestoord monster en zijn 12 ongestoorde ringmonsters gestoken. Daarnaast is op drie plekken per laag de bodemtemperatuur gemeten.

Tabel 1. Bemonsterde lagen in perceel 2 en 17\_2 (in cm-mv).

Meetlaag	Perceel 2 (cm-mv)	Perceel 17_2 (cm-mv)
1	5-10	5-10
2	17-22	20-25
3	35-40	38-43
4	50-55	58-63
5	70-75	75-80
6	90-95	90-95

## 2.3 Laboratoriumanalyses

De gestoorde bodemmonsters van elke laag zijn onderverdeeld in vier submonsters. Vervolgens is in elk submonster de potentiële denitrificatie (bij 20 °C, na toevoeging van een overmaat nitraat (200 mg N kg<sup>-1</sup> grond), en onder zuurstofloze omstandigheden) bepaald met behulp van de acetyleen-inhibitie-methode volgens Van Beek *et al.* (2004).

De 12 ongestoorde ringmonsters (per laag) zijn gebruikt voor verschillende analyses. In drie ringmonsters is de hoeveelheid N-mineraal ( $N_{\min}$ ) bepaald na extractie met een 1 M KCl-oplossing. In vier ringmonsters is de actuele denitrificatie gemeten met behulp van 'isotope pairing' (Arah, 1992; Mosier & Klemedtsson, 1994) na injectie van een bekende hoeveelheid <sup>15</sup>N in de ringmonsters. Na meting van de actuele denitrificatie is ook in deze vier ringmonsters de hoeveelheid  $N_{\min}$  bepaald. Met behulp van de gravimetrische methode is in vier ringmonsters het volumetrische watergehalte en de droge bulkdichtheid bepaald (NEN 5781, 1992). In één ringmonster zijn geen analyses uitgevoerd, dit ringmonster diende als reserve voor het geval er bij een meting iets mis zou zijn gegaan. De resultaten van de analyses zijn

gebruikt bij de uitwerking en interpretatie van de denitrificatieresultaten. Daarnaast worden ze ook gebruikt bij diverse denitrificatie-berekeningsmethoden.

## 2.4 Overige metingen

Op 'De Marke' worden dagelijks neerslag, minimum en maximum luchttemperatuur gemeten.

Uit de Maandoverzichten Neerslag en Verdamping in Nederland van het KNMI (2004, 2005) is de referentie-gewasverdamping volgens Makkink berekend voor de betreffende periode voor 'De Marke'. Hiervoor zijn de waarden van de meteorologische stations Hupsel (op 22 km ten oosten) en Deelen (op 31 km ten westen) gemiddeld. Het verschil tussen de geregistreerde neerslag en de referentie-gewasverdamping is het neerslagoverschot. Dit neerslagoverschot hoort bij een gewas dat optimaal voorzien is van water. Er is aangenomen dat dit overeenkomt met gras op een zandgrond met een grondwatertrap Gt IV.

In het kader van het project 'Koeien & Kansen' worden op de beide percelen ook alle aan- en afvoerposten van stikstof geregistreerd (persoonlijke mededeling J. Oenema, Plant Research International). Uit het verschil tussen aanvoer van stikstof (via kunstmest, dierlijke mest, weidemest, klaver en depositie) en afvoer van stikstof (via beweiding, maaien en oogsten) is het stikstof-bodemoverschot (N-bodemoverschot) voor 2004 uitgerekend.

In het kader van 'Koeien & Kansen' zijn op beide percelen ook grondwaterstandsbuizen geïnstalleerd, waarin regelmatig de grondwaterstand is gemeten. Daarnaast is in het voorjaar van 2005 de nitraatconcentratie bepaald in het grondwater van de percelen (12 plekken per perceel).

## 2.5 Berekeningsmethoden voor denitrificatie

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de methoden, die toegepast zijn om de totale denitrificatie voor beide percelen te bepalen voor de laag 0-100 cm-mv tijdens de periode maart 2004 – maart 2005.

*Tabel 2. Overzicht van de methoden, die toegepast zijn om denitrificatie te bepalen. Onderscheid is gemaakt in zes verschillende soorten methoden. De verschillende methoden kunnen nog weer onderverdeeld zijn in verschillende varianten. Tot slot is aangegeven in welke paragraaf de betreffende methode nader is uitgewerkt.*

Soort methode	Varianten	Paragraaf
ABC-methode	Standaard, Locatiespecifiek	§ 2.5.1
ADI-methode	Standaard 1, Standaard 2, Locatiespecifiek	§ 2.5.2
Veldbalans		§ 2.5.3
Meetmethode		§ 2.5.4
Complex model	Standaard, Locatiespecifiek	§ 2.5.5
Eenvoudig denitrificatiemodel	Standaard, Locatiespecifiek	§ 2.5.6

De locatiespecifieke varianten van de verschillende methoden zijn voor dit onderzoek het belangrijkst. Resultaten van deze varianten zijn namelijk het meest representatief voor de twee percelen, omdat de invoergegevens voor deze varianten zo goed mogelijk overeenkomen met de situatie ter plekke. Desondanks worden in dit rapport eerst de standaard varianten van de verschillende methoden behandeld. De locatiespecifieke varianten zijn namelijk nadere uitwerkingen ofwel verbeteringen van de standaard varianten. De standaard varianten zijn goed bruikbaar in situaties, waarbij geen of relatief weinig locatiespecifieke informatie beschikbaar is.

### 2.5.1 ABC-methode

Bij de ABC-methode wordt op basis van het N-bodemoverschot op de volgende wijze de hoeveelheid denitrificatie berekend (Schröder *et al.*, 2004). Van het N-bodemoverschot spoelt afhankelijk van de bodemsoort en het grondgebruik een bepaalde fractie (uitspoelfractie) weg uit de wortelzone. Van deze hoeveelheid zal uiteindelijk een deel daadwerkelijk in de ondergrond terecht komen, dit deel is afhankelijk van de Gt-klasse (Gt-correctie). In formulevorm ziet dit er als volgt uit

$$N_{\text{uitsp}} = N_{\text{overschot}} \cdot f_{\text{uitsp}} \cdot Gt_{\text{cor}}, \quad (1)$$

waarin  $N_{\text{uitsp}}$  staat voor de stikstofuitspoeling naar de ondergrond ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ),  $N_{\text{overschot}}$  staat voor het N-bodemoverschot ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ),  $f_{\text{uitsp}}$  staat voor de uitspoelfractie (-) en  $Gt_{\text{cor}}$  staat voor de Gt-correctie (-).

De ABC-methode gaat in essentie uit van een evenwichtsituatie in de bodem, oftewel de hoeveelheid  $N$  in de bodem verandert gemiddeld genomen niet. Dit betekent dat het verschil tussen het N-bodemoverschot ( $N_{\text{overschot}}$ ) en de uitgespoelde hoeveelheid stikstof ( $N_{\text{uitsp}}$ ) toegekend wordt aan denitrificatie:

$$N_{\text{den,ABC}} = N_{\text{overschot}} (1 - f_{\text{uitsp}} \cdot Gt_{\text{cor}}), \quad (2)$$

waarin  $N_{\text{den,ABC}}$  de denitrificatie is volgens de ABC-methode ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

#### *Standaard variant*

In bijlage 1 van Schröder *et al.* (2004) zijn stikstofbalansen weergegeven voor verschillende grondsoorten en Gt-klassen bij verschillende hoeveelheden dierlijke mest, bij verschillende varianten van graslandgebruik en bij verschillende varianten totale bemesting.

Perceel 2 is in de beschouwde periode drie keer gemaaid en één keer beweid. Perceel 17\_2 is vier keer gemaaid. Het bedrijf 'De Marke' is zo opgezet dat voldaan kan worden aan de nitraatnorm ( $< 50 \text{ mg l}^{-1}$ ) in het grondwater. Dit komt overeen met de variant 'milieu-bodemoverschot 1' voor de totale bemesting (zie bijlage 1 Schröder *et al.*, 2004). Als gevolg van het ontbreken van stikstofbalansen voor gras op zand met een Gt V, is voor perceel 17\_2 de zandgrondvariant met Gt VI gekozen (gelijke



GLG). De N-overschotten voor de beide percelen zijn geïnterpoleerd op basis van de beschikbare stikstofbalansen uit Schröder *et al.* (2004).

De uitspoelfracties en neerslagoverschotten van Schröder *et al.* (2004) komen overeen met de gemiddelde uitspoelfracties en gemiddelde neerslagoverschotten van Willems *et al.* (2000). In annex 4 van Willems *et al.* (2000) zijn echter ook de minimum en maximum uitspoelfracties en neerslagoverschotten weergegeven. Met name de uitspoelfractie is bepalend voor de hoeveelheid denitrificatie, die berekend wordt.

In Tabel 3 zijn de gebruikte N-overschotten, uitspoelfracties (gemiddelde, minimum en maximum) en Gt-correcties horende bij de standaard ABC-variant weergegeven. Ter informatie is ook het bijbehorende neerslagoverschot weergegeven.

Tabel 3. N-overschotten, uitspoelfracties, Gt-correcties en neerslagoverschotten borende bij de standaard ABC-variant voor perceel 2 en 17\_2. Als uitspoelfracties zijn zowel de gemiddelde, minimum als maximum waarden toegepast.

	Standaard variant					
	Gemiddeld		Minimum		Maximum	
	2	17_2	2	17_2	2	17_2
N-overschot (kg N ha <sup>-1</sup> )	100	129				
Uitspoelfractie (kg kg <sup>-1</sup> )	0,43	0,43	0,36	0,36	0,5	0,5
Gt-correctie (kg kg <sup>-1</sup> )	1,0	0,65				
Neerslagoverschot (mm)	380	329				

#### Locatiespecifieke variant

Bij de locatiespecifieke ABC-variant zijn de gemiddelde uitspoelfracties en Gt-correcties van standaard ABC-variant gebruikt. Voor het N-overschot zijn de ‘werkelijke’ waarden, horende bij de percelen gebruikt.

## 2.5.2 ADI-methode

De Actuele Denitrificatie Index (*ADI*) geeft aan welk aandeel van het N-overschot wordt gedenitrificeerd (Velthof *et al.*, 2004). Vergelijking 3 geeft de *ADI* weer, waarbij  $N_{\text{den}}$  staat voor de denitrificatie en  $N_{\text{uitsp}}$  staat voor de uitspoeling naar het bovenste grondwater; beiden in kg N ha<sup>-1</sup>.

$$ADI = \frac{N_{\text{den}}}{N_{\text{uitsp}} + N_{\text{den}}} \quad (3)$$

Naarmate de *ADI* toeneemt, zal het aandeel denitrificatie toenemen en neemt het risico op nitraatuitspoeling naar het bovenste grondwater af.

#### Standaard variant 1

Uit Velthof *et al.* (2004) blijkt dat *ADI* voor de laag tussen de onderkant van de wortelzone en het bovenste grondwater afhankelijk is van de GLG en van het gehalte organische stof. Deze studie houdt geen rekening met denitrificatie in de wortelzone.

Velthof *et al.* (2004) verdeelt zowel de GLG als het gehalte organische stof in 3 klassen. De bijbehorende *ADI*-waarden en denitrificatie zijn bepaald uit gegevens van STONE-berekeningen voor zandgronden met Gt VII en VIII. Velthof *et al.* (2004) concludeerde dat de gemiddelde *ADI* in de laag tussen onderkant van de wortelzone en het bovenste grondwater niet afhankelijk lijkt te zijn van het type gewas.

Hoewel de Gt-klasse van perceel 17\_2 Vbo (en dus niet VII of VIII) is, komt de GLG overeen met de GLG van Gt-klasse VIIo en VIIIo. De *ADI*- en denitrificatiewaarden uit tabel 1 van Velthof *et al.* (2004; p. 23) zijn ook toegepast op perceel 17\_2. Tabel 1 van Velthof *et al.* (2004) is in zijn geheel weergegeven in Bijlage 1. Het organische stofgehalte tussen de onderkant van de wortelzone en het bovenste grondwater bevindt zich in beide percelen in klasse  $<0,01 \text{ kg dm}^{-3}$ . Uit de tabel van Bijlage 1 is de denitrificatie voor de beide percelen afgelezen.

#### *Standaard variant 2*

Voor de Evaluatie Meststoffenwet 2002 zijn met STONE o.a. modelberekeningen uitgevoerd voor heel Nederland bij handhaving van de bemesting op het niveau van 2000. Uit de resultaten van deze berekeningen zijn voor alle STONE-plots de *ADI*-waarden en de denitrificatie bepaald. De resulterende *ADI*-waarden en denitrificatie zijn vervolgens onderverdeeld naar grondsoort (zand, veen en klei), grondgebruik (gras, maïs en overig bouwland) en Gt-klasse. Alle *ADI*- en denitrificatiewaarden binnen een bepaalde combinatie grondsoort-grondgebruik-Gt zijn ruimtelijk gemiddeld (Bijlage 2).

Op basis van de grondsoort, het grondgebruik en de Gt-klasse horende bij perceel 2 en 17\_2 zijn vervolgens uit Tabel 2.C (en 2.B) van Bijlage 2 de representatieve gemiddelde denitrificatie- (en *ADI*-) waarden geselecteerd (zie §3.2 en §3.2.2).

#### *Locatiespecifieke variant*

Bij deze locatiespecifieke variant zijn de *ADI*-waarden van Standaard variant 2 vermenigvuldigd met het ‘werkelijke’ N-bodemoverschot van de percelen met als resultante de hoeveelheid denitrificatie. Deze variant gaat in essentie uit van een evenwichtsituatie in de bodem, oftewel de hoeveelheid *N* in de bodem verandert gemiddeld genomen niet. In dat geval geldt  $N_{\text{uitsp}} + N_{\text{den}} = N_{\text{overschot}}$ , en voor bekende *ADI* volgt dan

$$N_{\text{den,ADI}} = N_{\text{overschot}} \cdot \text{ADI}, \quad (4)$$

waarin  $N_{\text{den,ADI}}$  de denitrificatie is volgens de locatiespecifieke *ADI*-methode ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

### **2.5.3 Veldbalans**

Diverse metingen en berekeningen, die uitgevoerd zijn in het kader van het project ‘Koeien & Kansen’, zijn bruikbaar bij het berekenen van de hoeveelheid denitrificatie

met behulp van de veldbalansmethode, onder andere het N-bodemoverschot, het neerslagoverschot en de nitraatconcentratie in het grondwater. De veldbalansmethode, die hier toegepast is, vertoont overeenkomsten met de hiervoor beschreven ABC-methode. Bij de ABC-methode kan uit de stikstofuitspoeling de nitraatconcentratie berekend worden. De veldbalansmethode gebruikt juist de nitraatconcentratie om de stikstofuitspoeling te berekenen.

Het neerslagoverschot (op basis van referentieverdamping; zie §2.4) hoort bij een gewas dat optimaal voorzien is van water. Er is aangenomen dat dit overeenkomt met een Gt IV (zie §2.4). De verhouding tussen de neerslagoverschotten bij de verschillende Gt-klassen uit Schröder *et al.* (2004) is hier gebruikt om het neerslagoverschot (op basis van de referentieverdamping) om te rekenen naar een neerslagoverschot, die past bij de relevante Gt-klassen. Het Gt-gecorrigeerde neerslagoverschot voor perceel 2 en 17\_2 is respectievelijk 225 en 195 mm.

Uit de gemeten nitraatconcentratie ( $C_{\text{NO}_3}$  in mg  $\text{NO}_3\text{-N l}^{-1}$ ) en het Gt-gecorrigeerde neerslagoverschot ( $P_{\text{overschot}}$  in mm) is de hoeveelheid stikstofuitspoeling ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) berekend volgens

$$N_{\text{uitsp}} = \frac{C_{\text{NO}_3} * P_{\text{overschot}}}{100} \quad (5)$$

De factor 100 zorgt voor eenheid conversie van  $\text{mg m}^{-2}$  naar  $\text{kg ha}^{-1}$ . De hoeveelheid denitrificatie is bij deze veldbalansmethode gelijk aan het verschil tussen het N-bodemoverschot en de hoeveelheid berekende uitspoeling,

$$N_{\text{den,balans}} = N_{\text{overschot}} - N_{\text{uitsp}} \quad (6)$$

waarin  $N_{\text{den,balans}}$  is de denitrificatie volgens de veldbalansmethode ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

Net als bij de ABC-methode gaat ook de veldbalansmethode uit van een evenwichtssituatie in de bodem.

#### 2.5.4 Meetmethode

Om van de individuele actuele denitrificatiemetingen te komen tot een hoeveelheid denitrificatie per perceel voor uitspoelseizoen 2004-2005 zijn een aantal stappen genomen. (1) Op basis van alle actuele denitrificatiemetingen uit dezelfde meetlaag en van hetzelfde moment is een gemiddelde berekend. (2) Aangenomen is dat de gemiddelde actuele denitrificatie van elke meetlaag (zie Tabel 1) en elk moment representatief is voor een bepaalde bodemlaag en een bepaalde periode. De bodemlagen respectievelijk perioden zijn hierbij zo gekozen dat ze op elkaar aansluiten (zonder elkaar te overlappen). (3) Door de representatieve gemiddelde actuele denitrificatiewaarden te integreren over de diepte en de tijd (gebruikmakend van de gekozen bodemlagen en perioden) kan de hoeveelheid denitrificatie per

perceel voor uitspoelseizoen 2004-2005 berekend worden ( $N_{\text{den,m}}$  in  $\text{kg N ha}^{-1}$ ). In formulevorm ziet de derde stap er als volgt uit

$$N_{\text{den,m}} = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^6 D_{\text{AM},i,j} T_j M_i, \quad (7)$$

waarin  $T_j$  staat voor de tijdperiode  $j$  (in uren),  $M_i$  staat voor de hoeveelheid grond in de bodemlaag  $i$  (in  $\text{kg ha}^{-1}$ ) en  $D_{\text{AM}}$  staat voor de representatieve gemiddelde gemeten actuele denitrificatie (in  $\text{kg N kg}^{-1} \text{ uur}^{-1}$ ). In tegenstelling tot de overige methoden, waarin denitrificatie voor een heel jaar wordt geschat, geldt  $N_{\text{den,m}}$  voor een periode van in dit geval 1/3 jaar ( $= \sum T_j$ ; namelijk november 2004 – februari 2005). Opschaling naar een heel jaar is niet mogelijk.

### 2.5.5 Complex model

Het complexe model ANIMO (Groenendijk & Kroes, 1999) kan de bijdrage uitrekenen van allerlei processen aan de organische stof-, de fosfaat- en stikstofkringloop. Denitrificatie is één van de processen, die berekend wordt door ANIMO. Omdat denitrificatie en diverse andere processen beïnvloed worden door de vochttoestand in de bodem, wordt ANIMO gebruikt in combinatie met het hydrologisch model SWAP (Kroes & van Dam, 2003). Met SWAP en ANIMO is de hoeveelheid denitrificatie gedurende de periode maart 2004 - maart 2005 berekend voor percelen 2 en 17\_2.

#### *Standaard variant*

Bij de standaard variant is gebruik gemaakt van het consensusmodel STONE (Wolf *et al.*, 2003), waarin zowel SWAP als ANIMO opgenomen is. In het kader van STONE is het landelijke gebied van Nederland opgedeeld in ruim 6400 plots, ieder met zijn eigen unieke combinatie van hydrologie, bodem en gebruik. Uit al deze plots zijn twee plots gekozen, die het meest representatief zijn voor perceel 2 en 17\_2 van 'De Marke', respectievelijk plot 3647 en 3837. Vervolgens zijn deze twee plots (ieder met zijn eigen kenmerkende invoergegevens) doorgerekend met SWAP en ANIMO en is de hoeveelheid denitrificatie gedurende de periode maart 2004 - maart 2005 vastgesteld.

#### *Locatiespecifieke variant*

Hoewel de invoergegevens uit de standaard variant representatief zijn voor de beide gekozen STONE-plots, wijken de invoergegevens op punten af van de werkelijke situatie op perceel 2 en 17\_2. Daarom zijn de invoergegevens uit de standaard variant locatiespecifieker gemaakt en is opnieuw de hoeveelheid denitrificatie uitgerekend met SWAP en ANIMO. Invoergegevens, die locatiespecifieker gemaakt zijn, betreffen het weer, bemesting, opname, depositie, stikstofbinding en de bodemfysische parameters. Volgens Hack-ten Broeke (2000) zijn standaard bodemfysische parameters zoals uit de Staringreeks (i.c. Wösten *et al.*, 2001) geschikt om op 'De Marke' op veldschaal de waterbalans te simuleren. Voor perceel 2 betekent dit zand-b1 (0-25 cm-mv) op zand-o1 (25-200 cm-mv) op zand-o3. Voor

perceel 17\_2 betekent dit zand-b2 (0-25 cm-mv) op zand-o2 (25-50 cm-mv) op zand-o1 (50-100 cm-mv) op zand-o3.

### 2.5.6 Eenvoudig denitrificatiemodel

Heinen (2005a,b; zie evt. ook Heinen, 2003) heeft aan de hand van een literatuuronderzoek geconstateerd dat veel procesmodellen denitrificatie op een vergelijkbare manier beschrijven. De actuele denitrificatie is hierbij dan gelijk aan de potentiële denitrificatie (zie §2.3) na correctie voor het nitraatgehalte, de verzadigingsgraad en de bodemtemperatuur, volgens

$$D_A = D_P f_N f_S f_T, \quad (8)$$

$D_A$  staat voor de actuele denitrificatie ( $\text{mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ),  $D_P$  voor de potentiële denitrificatie ( $\text{mg N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), en  $f$  is een reductiefunctie voor nitraatgehalte  $N$  ( $\text{mg N kg}^{-1}$ ), waterverzadigingsgraad  $S$  (dimensieloos) en bodemtemperatuur  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). In deze studie zijn de volgende reductiefuncties toegepast (zie Heinen *et al.*, 2005). De reductiefunctie voor het nitraatgehalte ( $f_N$ ) luidt

$$f_N = \frac{N}{K + N}, \quad (9)$$

waarin  $K$  gelijk is aan het nitraatgehalte, waarbij  $f_N$  0,5 is ( $\text{mg N kg}^{-1}$ ).

De reductiefunctie voor de verzadigingsgraad ( $f_S$ ) bestaat uit 3 delen. Wanneer de verzadigingsgraad ( $S$ ) lager is dan een bepaalde ondergrens ( $S_t$ ), wordt  $f_S$  (en daarmee denitrificatie  $D_A$ ) gelijk aan 0. Wanneer de verzadigingsgraad ( $S$ ) hoger is dan een bepaalde bovengrens ( $S_m$ ), wordt  $f_S$  gelijk aan 1. Als  $S$  groter is dan  $S_t$  en kleiner dan  $S_m$  luidt de reductiefunctie voor de verzadigingsgraad als volgt

$$f_S = \left( \frac{S - S_t}{S_m - S_t} \right)^w, \quad (10)$$

waarin  $w$  een vormparameter is. De verzadigingsgraad  $S$  is gedefinieerd als het volumetrische watergehalte  $\theta$  ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) gedeeld door de porositeit of volumetrisch watergehalte bij verzadiging  $\theta_s$  ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).

$$S = \frac{\theta}{\theta_s}, \quad (11)$$

De porositeit is berekend uit de droge bulkdichtheid  $\rho_d$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) en een veronderstelde dichtheid van de vaste fase  $\rho_s$  ( $= 2600 \text{ kg m}^{-3}$ ) volgens

$$\theta_s = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}, \quad (12)$$

De gebruikte reductiefunctie voor de bodemtemperatuur luidt

$$f_T = Q_{10}^{(T-T_{\text{ref}})/10}, \quad (13)$$

waarin  $T_{\text{ref}}$  staat voor de referentie-bodemtemperatuur (waarbij  $D_p$  is gemeten) en  $Q_{10}$  is een factor die de toename bij 10 °C temperatuurstijging weergeeft.

#### *Standaard variant*

Bij deze variant worden standaard parametersets gebruikt, die representatief zijn voor de beide percelen van 'De Marke'. De parameters, horende bij 'Dry sand' uit Heinen (2003), zijn gebruikt voor het droge perceel 2. De parameters, horende bij 'Wet sand', zijn gebruikt voor het natte perceel 17\_2 (zie Tabel 4). Heinen (2003) is tot deze parametersets gekomen door een optimalisatieprocedure toe te passen. Bij deze procedure worden de parameters uit vergelijkingen (9), (10) en (13) zo aangepast, dat de berekende actuele denitrificatiewaarden (met behulp van vergelijking 8) minimaal verschillen van de beschikbare actuele denitrificatiemetingen (uit 1996 en 2001). Met behulp van de standaard parameterwaarden is de hoeveelheid denitrificatie gedurende de periode maart 2004 - maart 2005 berekend voor perceel 2 en 17\_2. De benodigde tijdreeksen voor nitraatgehalte, verzadigingsgraad en bodemtemperatuur zijn afkomstig van de locatiespecifieke variant van het complexe model (§2.5.5).

*Tabel 4. Gebruikte standaard parameters (bron: Heinen, 2003).*

<b>Bodemtype</b>	<b><math>K</math></b>	<b><math>S_t</math></b>	<b><math>S_m</math></b>	<b><math>w</math></b>	<b><math>Q_{10}</math></b>	<b><math>T_{\text{ref}}</math></b>
Dry sand	22,84	0	1	6,39	3,11	20
Wet sand	4,38	0,33	1	3,69	3,11	20

#### *Locatiespecifieke variant*

Bij de locatiespecifieke variant van het eenvoudige denitrificatiemodel is de optimalisatieprocedure (Heinen, 2005b) toegepast op de actuele en potentiële denitrificatiemetingen uit dit onderzoek (§2.3). Vervolgens is met behulp van de geoptimaliseerde parameterwaarden de hoeveelheid denitrificatie berekend op dezelfde wijze als bij de standaard parameterset-variant.

### 3 Resultaten

#### 3.1 Meetresultaten

In deze paragraaf worden de meetresultaten gepresenteerd, die gebruikt zijn bij het toepassen van de diverse denitrificatie-berekeningsmethoden.

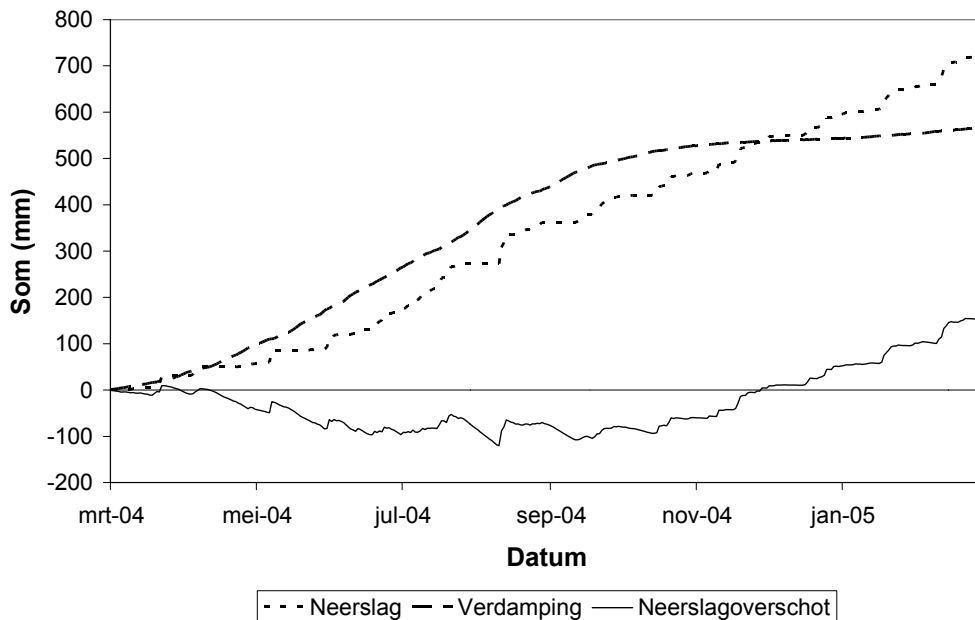
##### 3.1.1 Weer

De hoeveelheid neerslag gedurende de periode maart 2004 tot maart 2005 is 719 mm. Hiermee was het droger dan normaal in deze regio. Gemiddeld is de neerslag in de normaalperiode (periode 1971-2000) voor deze regio namelijk tussen 775 en 800 mm (Heijboer & Nellestijn, 2002).

De referentieverdamping volgens Makkink tijdens de periode maart 2004 tot maart 2005 is 568 mm. Volgens Heijboer & Nellestijn (2002) is de gemiddelde referentieverdamping in de normaalperiode tussen 525 en 540 mm.

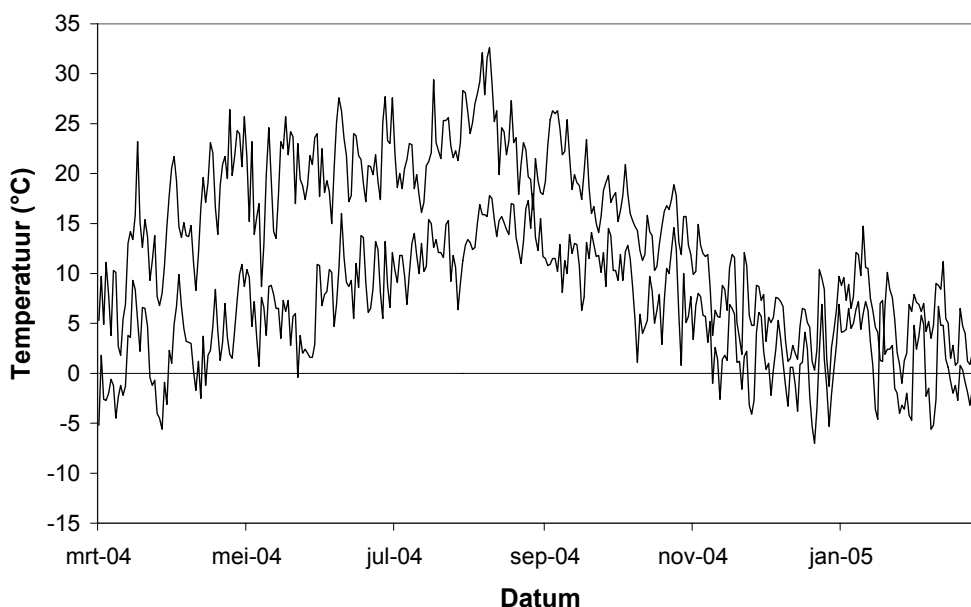
Het neerslagoverschot voor maart 2004 - maart 2005 komt hiermee op 151 mm.

In Figuur 1 is het verloop van de neerslagsom, de verdampingssom en het neerslagoverschot in de tijd weergegeven.



Figuur 1. Neerslagsom, verdampingssom en neerslagoverschot als functie van de tijd, gerekend vanaf 1 maart 2004 (in mm).

In Figuur 2 is het verloop van de minimum en maximum luchttemperatuur in de tijd weergegeven. De laagste en hoogste gemiddelde dagtemperatuur, die op 'De Marke' geregistreerd zijn tijdens de betreffende periode, zijn respectievelijk -4,3 en 27,2 °C. Tijdens 17 dagen was de gemiddelde dagtemperatuur onder het vriespunt.

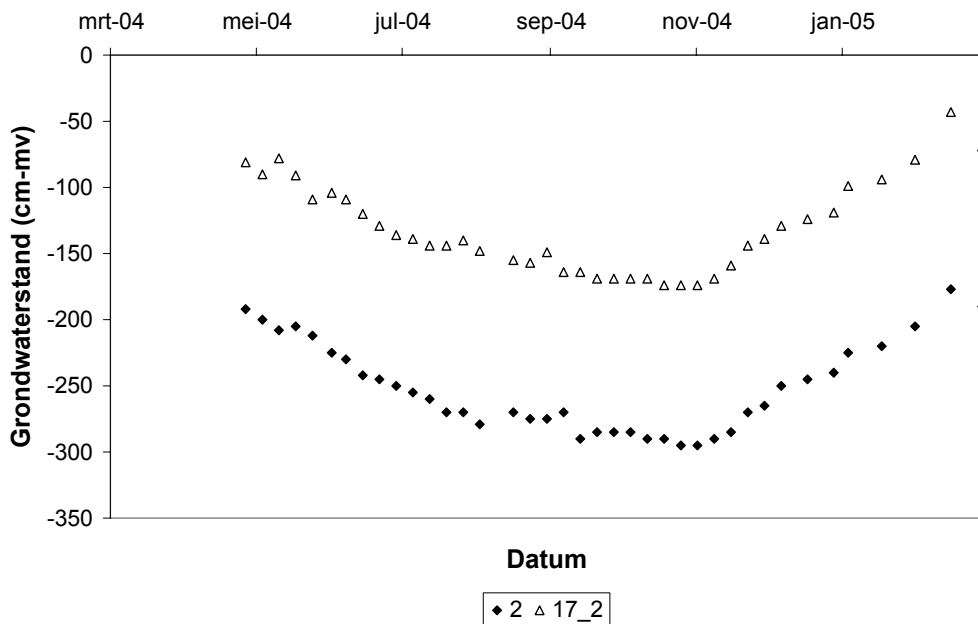


*Figuur 2. Minimum (onderste lijn) en maximum (bovenste lijn) luchttemperatuur als functie van de tijd, gerekend vanaf 1 maart 2004.*

### 3.1.2 Grondwaterstand

Figuur 3 geeft de grondwaterstand in de tijd weer voor perceel 2 en 17\_2. Perceel 2 was het droogst met een grondwaterstand, die bijna de hele periode lager was dan 200 cm-mv. De grondwaterstand in perceel 17\_2 is tijdens de periode niet dieper geweest dan 175 cm-mv.





Figuur 3. Grondwaterstand van perceel 2 en 17\_2 als functie van de tijd vanaf 1 maart 2004 (in cm-mv).

### 3.1.3 N-bodemoverschot

De totale stikstofaanvoer was op de percelen 2 en 17\_2 respectievelijk 394 en 332 kg N ha<sup>-1</sup>. Het verschil tussen de beide percelen is vooral het gevolg van beweiding (weidemest) en het gebruik van klaver (N-binding). De totale stikstofafvoer door maaien en beweiden was op de percelen 2 en 17\_2 respectievelijk 281 en 247 kg N ha<sup>-1</sup>.

Het N-bodemoverschot voor de percelen 2 en 17\_2 is dus aan de lage kant, namelijk respectievelijk 113 kg N ha<sup>-1</sup> en 85 kg N ha<sup>-1</sup>.

### 3.1.4 Nitraatconcentratie

De gemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater van percelen 2 en 17\_2 was respectievelijk 13,2 (±8,6; n = 12) en 3,8 (±1,2; n = 12) mg NO<sub>3</sub>-N l<sup>-1</sup>.

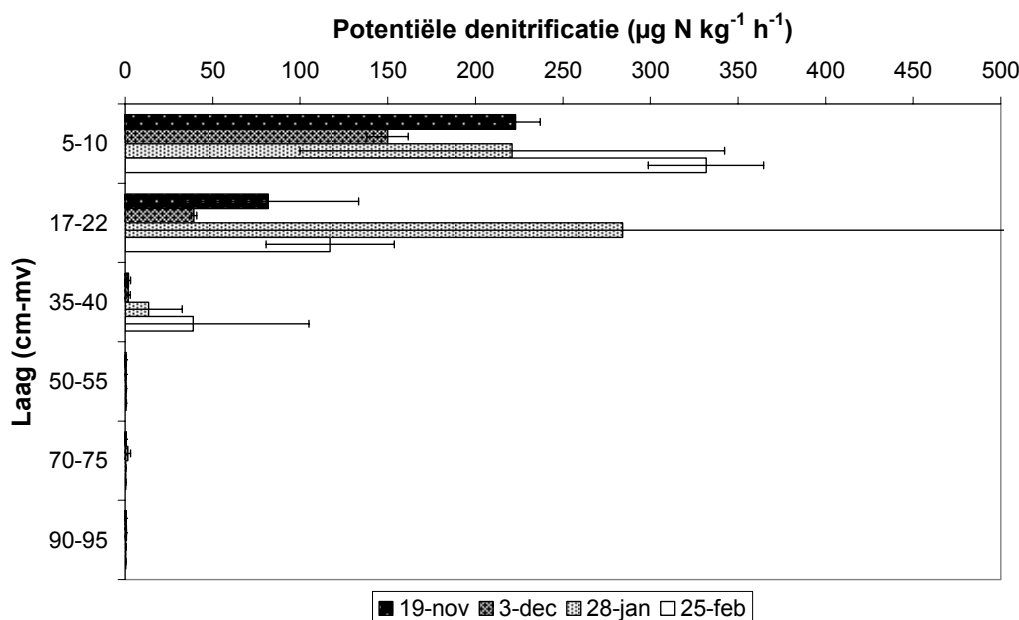
### 3.1.5 Potentiële en actuele denitrificatie

In Bijlage 3 zijn de gemeten bodemtemperatuur, nitraatgehalten, volumetrische watergehalten en droge bulkdichtheden per laag weergegeven voor percelen 2 en 17\_2.

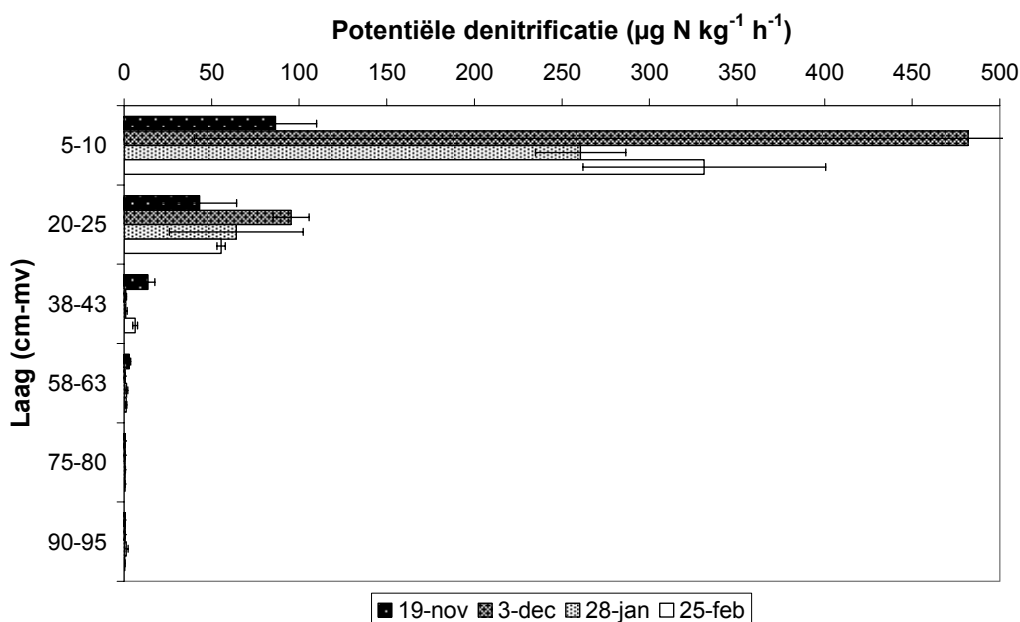
Uit de meetresultaten van Bijlage 3 blijkt dat perceel 17\_2 duidelijk natter is dan perceel 2, vooral in de onderste meetlagen (geheel in lijn met Figuur 3). Het natte

perceel lijkt iets langzamer af te koelen, maar ook langzamer op te warmen. De eerste drie meetmomenten is de gemiddelde bodemtemperatuur in perceel 17\_2 namelijk hoger dan in perceel 2 en het laatste meetmoment lager. Gemiddeld zijn de verschillen in droge bulkdichtheid tussen de beide percelen minimaal. De gemeten nitraatgehalten zijn relatief laag. Gemiddeld (in de tijd) zijn de nitraatgehalten in de bovenste drie meetlagen van perceel 2 het hoogst. In de meetlagen daaronder zijn juist de nitraatgehalten in perceel 17\_2 het hoogst.

Figuren 4 en 5 geven de gemeten potentiële denitrificatie weer voor de verschillende meetlagen en de verschillende meetmomenten van respectievelijk perceel 2 en 17\_2. Potentiële denitrificatie ( $D_p$ ) wordt vooral gemeten in de bovenste twee meetlagen van het perceel. In de derde meetlaag is  $D_p$  beduidend lager en daaronder nagenoeg afwezig. Uit Figuren 4 en 5 blijkt dat  $D_p$  in een laag zeker niet constant is in de tijd, wanneer aangenomen mag worden dat de aanwezige variatie niet het gevolg is van ruimtelijke variatie (de bemonstering op de verschillende momenten heeft niet plaatsgevonden op precies dezelfde plek, maar op naast elkaar gelegen plekken). Gemiddeld is alleen in laag 1 van perceel 17\_2  $D_p$  hoger dan in perceel 2. Dit houdt mogelijk verband met het gebruik van de beide percelen, perceel 17\_2 is namelijk een permanent grasland en op perceel 2 wordt vruchtwisseling toegepast. De hoge gehalten organisch koolstof in de lagen 30-60 en 60-90 cm-mv van perceel 17\_2 (Assinck *et al.*, 2005) komen niet tot uitdrukking in de gemeten  $D_p$ -waarden. Mogelijk dat deze organische koolstof moeilijker afbreekbaar is. Het is ook goed mogelijk dat deze hoge gehalten gerelateerd zijn aan het plaatselijk aangetroffen dunne moerige laagje (§2.1) en dat dit laagje niet aanwezig is op de bemonsterde plekken.

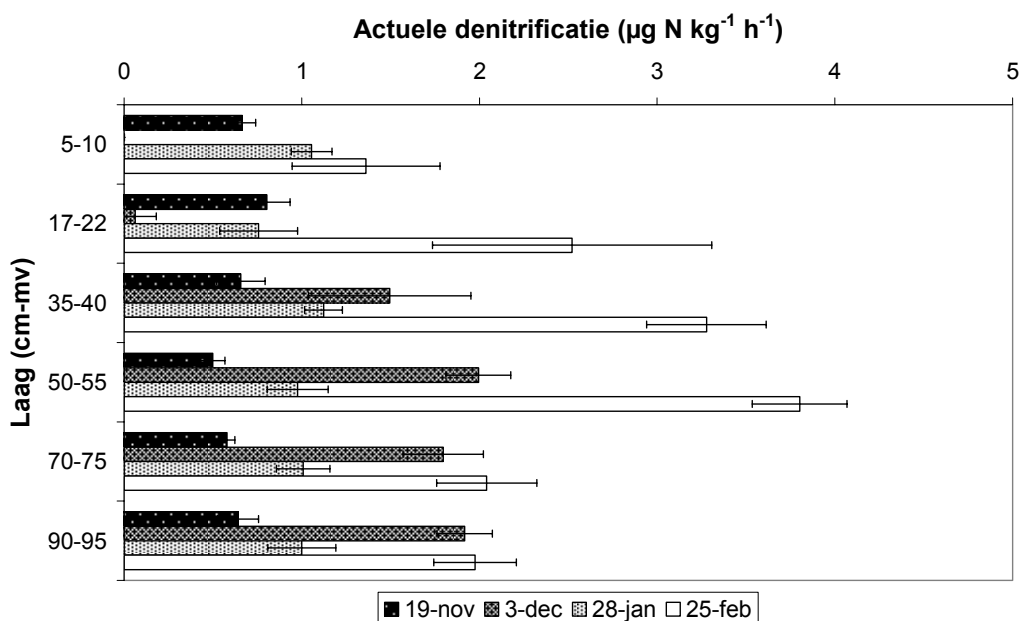


Figuur 4. Gemeten potentiële denitrificatie (in  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) voor de verschillende meetlagen (in cm-mv) en meetmomenten van perceel 2. Met behulp van de foutbalken is de standaarddeviatie (zowel + als -) weergegeven.

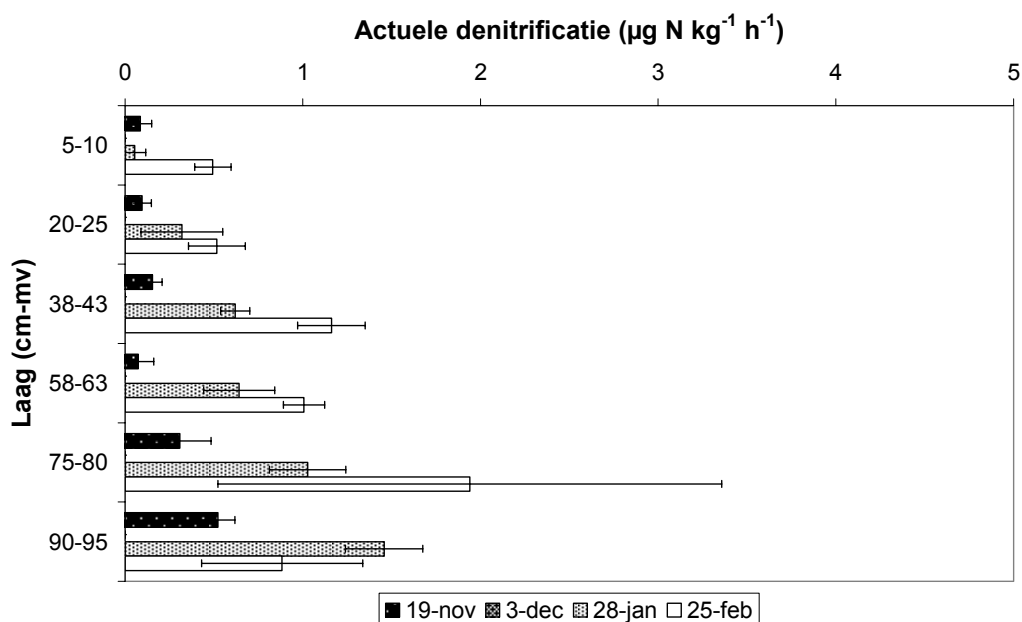


Figuur 5. Gemeten potentiële denitrificatie (in  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) voor de verschillende meetlagen (in cm-mv) en meetmomenten van perceel 17\_2. Met behulp van de foutbalken is de standaarddeviatie (zowel + als -) weergegeven.

In Figuren 6 en 7 zijn de gemeten actuele denitrificatiewaarden weergegeven voor de verschillende meetlagen en de verschillende meetmomenten van respectievelijk perceel 2 en 17\_2.



Figuur 6. Gemeten actuele denitrificatie (in  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) voor de verschillende meetlagen (in cm-mv) en meetmomenten van perceel 2. Met behulp van de foutbalken is de standaarddeviatie (zowel + als -) weergegeven.



Figuur 7. Gemeten actuele denitrificatie (in  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) voor de verschillende meetlagen (in cm-mv) en meetmomenten van perceel 17\_2. Met behulp van de foutbalken is de standaarddeviatie (zowel + als -) weergegeven.

De gemeten actuele denitrificatie ( $D_A$ ) is op het drogere perceel 2 hoger dan op het nattere perceel 17\_2. Uit Figuren 6 en 7 blijkt dat  $D_A$  in een laag varieert in de tijd. Opvallend is dat op 3 december in perceel 17\_2 totaal geen  $D_A$  gemeten is.

Hoewel de  $D_P$  het hoogst is in de bovenste lagen van het profiel, treedt de meeste  $D_A$  vooral op in de lagen onder de bouwvoor. Bovenin het profiel is de gemiddelde  $D_P$  vele malen hoger dan  $D_A$ . Hier wordt de denitrificatie dus flink geremd. Onderin het profiel is  $D_A$  in enkele gevallen zelfs hoger dan  $D_P$ . Theoretisch is dat niet mogelijk wanneer de bodemtemperatuur lager is dan de referentie-bodemtemperatuur. Echter de gemeten waarden liggen in deze lagen dicht bij elkaar in de buurt en zijn zeer laag. Bovendien zijn  $D_P$  en  $D_A$  gemeten met behulp van twee verschillende soorten methoden, respectievelijk acetyleen-inhibitie-methode en 'isotope pairing' en aan verschillende grondmonsters. Dit kan ook een mogelijke verklaring zijn voor het feit dat enkele malen is waargenomen dat  $D_A > D_P$ .

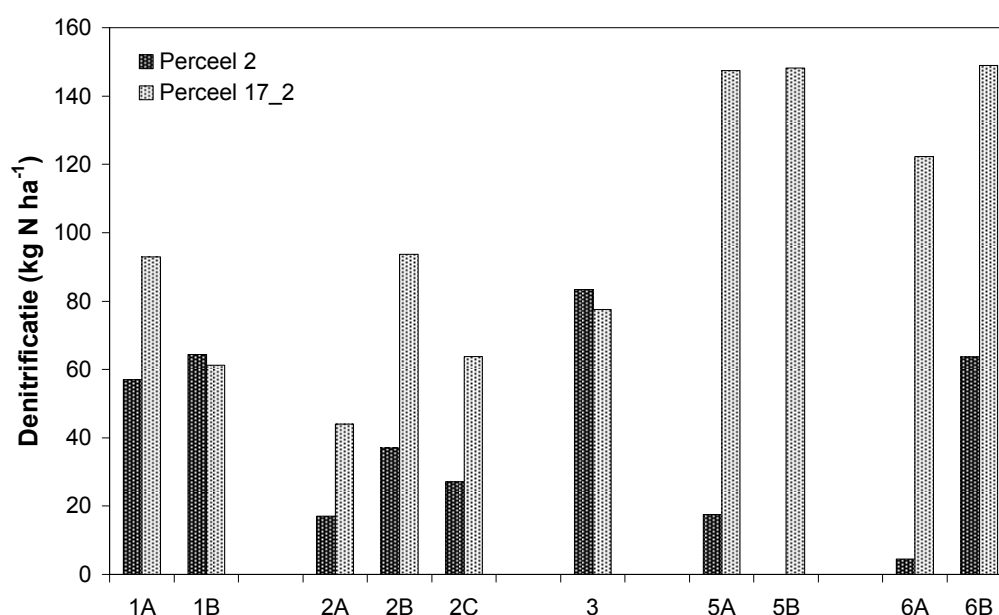
De gemeten grondwaterstanden, vochtgehalten, bodemtemperaturen en nitraatgehalten geven geen verklaring voor het feit dat de gemeten  $D_A$ -waarden op het nattere perceel 17\_2 laag zijn (zeker in vergelijking met het drogere perceel 2).

De  $D_P$ -resultaten zijn qua orde grootte vergelijkbaar met metingen van Zwart (2003) en Gorissen *et al.* (2001). Een exacte vergelijking is niet uitgevoerd omdat de bemonsterde diepten en laagdikten in de verschillende onderzoeken elkaar overlappen maar niet precies met elkaar overeenkomen. Bovendien zijn de perioden in het jaar, waarop de bemonstering is uitgevoerd, en daarmee de voorliggende historie verschillend.

De gemeten  $D_A$ -waarden van de bouwvoor van perceel 17\_2 vallen in de range van de resultaten van Corré (1996). Onder de 40 cm-mv lijken de  $D_A$ -waarden iets hoger te zijn dan bij Corré (1996). Echter ook hier verschillen de bemonsterde diepten en laagdikten tussen de onderzoeken. Bovendien is onduidelijk in hoeverre de omstandigheden tijdens de monsternamen en daarmee de resultaten vergelijkbaar zijn.

### 3.2 Resultaten denitrificatie-berekeningsmethoden

In Figuur 8 zijn de berekende hoeveelheden denitrificatie weergegeven voor de verschillende methoden en varianten van perceel 2 en perceel 17\_2. In de figuur is eerst de standaard variant en vervolgens de locatiespecifieke variant van de methode weergegeven.



Figuur 8. Berekende hoeveelheid denitrificatie (in kg N ha<sup>-1</sup>) voor het drogere perceel 2 en het nattere perceel 17\_2 voor de periode maart 2004 tot maart 2005 (voor de laag 0 - 100 cm-mv). Weergegeven zijn de verschillende methoden en varianten uit Tabel 2, namelijk:

- (1A) ABC-methode: Standaard variant
- (1B) ABC-methode: Locatiespecifieke variant
- (2A) ADI-methode: Standaard variant 1
- (2B) ADI-methode: Standaard variant 2
- (2C) ADI-methode: Locatiespecifieke variant
- (3) Veldbalans
- (5A) Complex model: Standaard variant
- (5B) Complex model: Locatiespecifieke variant
- (6A) Eenvoudig denitrificatiemodel: Standaard variant
- (6B) Eenvoudig denitrificatiemodel: Locatiespecifieke variant

De resultaten van de meetmethode (4) zijn uit deze figuur gelaten, omdat de beschouwde periode veel korter is (NB: november 2004 – februari 2005).

In de periode november 2004 – februari 2005 was de hoeveelheid denitrificatie, bepaald met de meetmethode, voor perceel 2 en perceel 17\_2 respectievelijk 61 en 22 kg N ha<sup>-1</sup>. Opschaling naar een heel jaar is op basis van de beschikbare metingen niet mogelijk.

Bij de meeste methoden en varianten is de hoeveelheid denitrificatie in perceel 17\_2 het hoogst (Figuur 8). Bij methode 1B, 3 en 4 is de hoeveelheid denitrificatie in perceel 2 echter het hoogst, hierop wordt later teruggekomen. Gemiddeld is de hoeveelheid denitrificatie in de periode maart 2004 tot maart 2005 voor perceel 2 en 17\_2 respectievelijk 37 en 100 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (in de laag 0 - 100 cm-mv). De verschillen tussen de diverse methoden zijn groot (relatief gezien het grootst bij het droge perceel 2). De standaardafwijkingen voor percelen 2 en 17\_2 zijn namelijk 29 en 39 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>.

Bij methode 1A, 2B, 5 en 6 is de hoeveelheid denitrificatie op perceel 17\_2 hoger dan het N-bodemoverschot op dat perceel. De oorzaak bij 1A en 2B (standaard varianten van respectievelijk de ABC- en ADI-methode) is een N-bodemoverschot, die hoger is dan het ‘werkelijke’ N-bodemoverschot. Een mogelijke oorzaak bij methode 5 is denitrificatie van N, die aanwezig is in de bodemvoorraad. De oorzaak bij methode 6 is een combinatie van de gebruikte parameterset, tijdreeksen en gemeten  $D_p$ -waarden.

Het effect van het locatiespecifieker maken van een methode leidt gemiddeld gezien tot een kleine toename van de hoeveelheid denitrificatie (zowel bij het droge perceel 2 als het natte perceel 17\_2). Dit betekent echter niet dat de denitrificatie altijd toeneemt of de verandering altijd klein is, wanneer een methode locatiespecifieker toegepast wordt.

### 3.2.1 ABC-methode

In Figuur 8 zijn de denitrificatiewaarden van de standaard variant weergegeven, die horen bij de gemiddelde uitspoelfractie (zie Tabel 3). Bij gebruik van de minimum of maximum uitspoelfractie wordt de hoeveelheid denitrificatie op het droge perceel (nr 2) 7 kg N ha<sup>-1</sup> hoger respectievelijk lager dan aangegeven in Figuur 8 bij variant 1A. Bij gebruik van de minimum of maximum uitspoelfractie op het natte perceel (nr 17\_2) neemt de hoeveelheid denitrificatie toe respectievelijk af met 6 kg N ha<sup>-1</sup>. De verschillen zijn in de orde grootte van 10%.

Bij de locatiespecifieke variant is de hoeveelheid denitrificatie op het natte perceel 17\_2 iets lager dan op het droge perceel 2 (het verschil is 3 kg N ha<sup>-1</sup>). Dit is volledig toe te schrijven aan het verschil in het N-bodemoverschot. Het N-bodemoverschot op het droge perceel is bijna 30 kg N ha<sup>-1</sup> hoger dan op het natte perceel.

### 3.2.2 ADI-methode

De standaard variant 1, die gebaseerd is op Alterra-rapport 730.1 (Velthof *et al.*, 2004), resulteert in een lagere hoeveelheid denitrificatie dan de standaard variant 2. Een verklaring is dat de studie van Velthof *et al.* (2004) onderzoek heeft gedaan naar de ondergrond en dus bewust geen rekening houdt met denitrificatie in de wortelzone. In de wortelzone is van tijd tot tijd wel degelijk denitrificatie te verwachten, zeker wanneer de wortelzone nat is. Organische stof en nitraat zijn vaak voorhanden in de wortelzone en de temperatuur zal in een groot deel van het jaar ook niet de belangrijkste beperkende factor zijn. De gemiddelde *ADI*-waarden (en range) voor het droge perceel 2 en het natte perceel 17\_2 zijn respectievelijk 0,1 (0,01 - 0,37) en 0,26 (0,1 - 0,52). De bijbehorende inspoeling vanuit de wortelzone is bij deze standaard variant 1 met waarden van respectievelijk 183 en 223 kg N ha<sup>-1</sup> beduidend hoger dan het werkelijke N-bodemoverschot van de beide percelen.

Bij standaard variant 2 zijn de gemiddelde *ADI*-waarden voor het droge perceel en het natte perceel respectievelijk 0,24 en 0,75. De bodembelasting bij deze variant is voor beide percelen met  $\pm 250$  kg N ha<sup>-1</sup> beduidend hoger dan het werkelijke bodemoverschot. De *ADI*-waarden van de standaard variant 2 zijn bij de locatiespecifieke variant toegepast op het werkelijke N-bodemoverschot van beide percelen.

Bij alle drie de varianten is de hoeveelheid denitrificatie op het natte perceel 17\_2 het hoogst.

### 3.2.3 Veldbalans

De vrij lage nitraatconcentraties (§ 3.1.4) leiden er toe dat er relatief weinig N uitspoelt en dus relatief veel N van het N-bodemoverschot beschikbaar is voor denitrificatie. Wanneer er geen Gt-correctie uitgevoerd zou zijn op het neerslagoverschot, zou de uitspoeling nog lager en de denitrificatie dus nog hoger zijn.

Deze methode resulteert in een hoeveelheid denitrificatie, die het hoogst is op het droge perceel 2. De oorzaak hiervoor is het verschil in het N-bodemoverschot (zie § 3.1.3). Het N-bodemoverschot is op het natte perceel 17\_2 lager. Het effect hiervan op de hoeveelheid denitrificatie wordt deels teniet gedaan door de veel lagere nitraatconcentratie op het natte perceel. De lagere concentratie leidt namelijk tot minder uitspoeling en daardoor is er meer N beschikbaar voor denitrificatie. Het verschil in N-bodemoverschot is 28 kg N ha<sup>-1</sup>, het verschil in denitrificatie bijna 6 kg N ha<sup>-1</sup>. Relatief gezien is de hoeveelheid denitrificatie op het natte perceel het hoogst.

### 3.2.4 Meetmethode

Omdat er alleen denitrificatiemetingen uitgevoerd zijn tijdens het uitspoelseizoen van 2004-2005, is de totale hoeveelheid denitrificatie alleen berekend voor deze periode en dus niet voor de periode maart 2004 tot maart 2005. Tijdens het uitspoelseizoen 2004-2005 vindt de meeste denitrificatie plaats op het droge perceel. De verwachting is echter dat in het restant van de beschouwde periode er meer denitrificatie op zal treden op het natte perceel dan op het droge perceel. Dit patroon wordt bevestigd door de modelresultaten van § 3.2.5.

Zoals in § 3.1.5 aangegeven is er geen duidelijke verklaring voor de lage gemeten actuele denitrificatiewaarden van perceel 17\_2 (in vergelijking met perceel 2).

### 3.2.5 Complex model

De resultaten van de standaard variant geven geheel in lijn van de verwachting aan dat de denitrificatie op het natte perceel veel hoger is dan op het droge perceel.

Wanneer de invoer voor de modellen SWAP en ANIMO locatiespecifieker gemaakt is, treedt er op het droge perceel 2 geen denitrificatie meer op. De berekende denitrificatie op het natte perceel 17\_2 blijft ongeveer hetzelfde. Hierbij dient wel beseft te worden dat de invoergegevens waarop de standaard en de locatiespecifieke variant gebaseerd zijn flink van elkaar verschillen.

Ten opzichte van de standaard variant is het locatiespecifieke weer droger. Zowel de hoeveelheid bemesting als de hoeveelheid opname zijn bij de locatiespecifieke variant lager. De depositie daarentegen is iets hoger. Op perceel 2 groeit gedurende de periode ook klaver, dat volgens de inschatting in het project 'Koeien & Kansen' ongeveer 40 kg N ha<sup>-1</sup> bindt.

### 3.2.6 Eenvoudig denitrificatiemodel

De standaard parameterset-variant resulteert in een denitrificatie die het hoogst is op het natte perceel.

Het is zeer lastig gebleken om op basis van de dataset uit §3.1.5 optimale parameters te fitten. Hiervoor zijn een aantal redenen. Een belangrijke reden is dat de gemeten ranges van met name de verklarende factoren temperatuur en nitraatgehalten klein zijn. De meettemperatuur varieerde tussen 2,8 en 8,3 °C en de nitraatgehalten tussen 0,2 en 3,5 mg kg<sup>-1</sup>. Daarnaast was het totaal aantal monsters (48) mogelijk te klein. Een andere belangrijke reden is dat de dataset van met name het droge perceel 2 tegenstrijdige meetresultaten lijkt te bevatten. Denk hierbij aan een relatief hoge actuele denitrificatie in een laag met een lage verzadigingsgraad en een laag nitraatgehalte. Dit soort meetresultaten zullen nooit goed te verklaren zijn op basis van dit eenvoudige denitrificatiemodel. Ondanks bovenstaande problemen zijn de



parameterwaarden, horende bij een van de betere (c.q. minst slechte) fits, toegepast op beide percelen:  $K = 185 \text{ mg N kg}^{-1}$ ,  $S_t = 0$ ,  $S_m = 1$ ,  $w = 1$ ,  $Q_{10} = 1,5$ . De denitrificatie van met name het droge perceel nam hierdoor flink toe ten opzichte van de standaard parameterset.



## 4 Conclusies

De meeste methoden en varianten geven aan dat de hoeveelheid denitrificatie in de periode maart 2004 tot maart 2005 in de laag 0 - 100 cm-mv het hoogst is in het natte perceel 17\_2. Gemiddeld (over alle methoden) is de denitrificatie in dit perceel 100 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Op het droge perceel is de denitrificatie gemiddeld 37 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. De verschillen tussen de diverse methoden zijn echter groot.

Het locatiespecifieker maken van een methode (gebruikmakend van lokale perceelsgegevens in plaats van standaardwaarden) leidt gemiddeld gezien tot een kleine toename van de hoeveelheid denitrificatie, de denitrificatie neemt echter niet altijd toe.

Het feit dat het werkelijke N-bodemoverschot van het natte perceel 17\_2 (85 kg N ha<sup>-1</sup>) lager was dan van het droge perceel 2 (113 kg N ha<sup>-1</sup>) resulteert er bij methode 1B en 3 in dat de hoeveelheid denitrificatie op het natte perceel lager is dan op het droge perceel.

De gemeten actuele denitrificatie is op perceel 17\_2 laag in vergelijking met perceel 2. Een duidelijke verklaring hiervoor ontbreekt. De metingen zijn ook gebruikt om de eenvoudige rekenregel te parametriseren. Dit bleek (met name voor perceel 2) zeer moeilijk te gaan (gering aantal waarnemingen en geringe spreiding in de bodemcondities), waardoor de voorspellende waarde van de gecalibreerde rekenregel gering is.

Een 'beste' methode is op basis van dit onderzoek niet te kiezen. De meest geschikte methode om denitrificatie onder veldomstandigheden te bepalen is afhankelijk van de beschikbare data en de beschikbare tijd, maar dient wel zo locatiespecifiek mogelijk te zijn.

Zeer intensief meten van actuele denitrificatie in ruimte en tijd heeft de grootste voorkeur, maar ook een aantal duidelijke nadelen (duur en arbeidsintensief). Goed bruikbare (maar wel redelijk arbeidsintensieve) methoden zijn de complexe modellen en het eenvoudige denitrificatiemodel. Deze hebben als voordeel dat ook hier de variatie in de tijd als gevolg van de wisselende omstandigheden tot uitdrukking komt. Locatiespecifiek calibreren van de benodigde parameters is dan wel vereist. Het is echter wenselijk om deze drie methoden nog beter met elkaar te vergelijken voor verschillende situaties. De ABC-, ADI- en veldbalansmethode hebben als voordeel dat deze methoden relatief weinig invoergegevens nodig hebben en snel toepasbaar zijn.

Uit dit onderzoek blijkt dat het schatten van de denitrificatie onder veldomstandigheden lastig en complex is, zelfs als er veel gegevens ter beschikking zijn.



## Literatuur

- Arah, J.R.M., 1992. *New formulae for mass spectrometric analysis of nitrous oxide and dinitrogen emissions*. Soil Science Society of American Journal 56:795-800.
- Assinck, F.B.T., T. van Steenbergen, F. Brouwer & G.L. Velthof, 2005. *De bodemgesteldheid van de referentiepercelen. Resultaten van veld- en laboratoriumonderzoek*. Koeien & Kansen-rapport 31, Animal Sciences Group, Lelystad.
- Dekkers, J.M.J., 1992. *De bodemgesteldheid van het proefbedrijf "Melkveehouderij en Milieu" te Hengelo (Gld.). Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek*. Rapport 66, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Gorissen, A., E.W.J. Hummelink & O. Oenema, 2001. *Kwantificering van stikstofverliezen door denitrificatie in de ondergrond*. Nota 140, Plant Research International, Wageningen.
- Groenendijk, P. & J.G. Kroes, 1999. *Modelling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface water with ANIMO 3.5*. Report 144, Winand Staring Centre, Wageningen.
- Hack-ten Broeke, M.J.D., 2000. *Nitrate leaching from dairy farming on sandy soils. Case studies for experimental farm De Marke*. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Heijboer, D. & J. Nellestijn, 2002. *Klimaatatlas van Nederland. De normaalperiode 1971-2000*. Elmar, Rijswijk.
- Heinen, M., 2003. *A simple denitrification model? Literatuur review, sensitivity analysis and application*. Alterra-rapport 690, Alterra, Wageningen.
- Heinen, M., 2005a. *Simplified denitrification models: overview and properties*. Geoderma, in press.
- Heinen, M., 2005b. *Application of a widely used denitrification model to Dutch data sets*. Geoderma, in press.
- Heinen, M., K.B. Zwart & E.W.J. Hummelink, 2005. *Calibratie van de reductiefuncties in een eenvoudig denitrificatiemodel*. Alterra-rapport 1216, Alterra, Wageningen.
- KNMI, 2004 & 2005. *Maandoverzicht neerslag en verdamping in Nederland*. Jaargang 73 en 74, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt.
- Kroes, J.G. & J.C. van Dam, 2003. *Reference manual SWAP version 3.0.3*. Alterra-report 773, Alterra, Wageningen.

Mosier, A.R. & L. Klemetsson, 1994. *Measuring denitrification in the field*. In: S.H. Mickelson (ed.). *Methods of Soil Analysis Part 2 - Microbiological and biochemical properties*. p. 1047-1066. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

NEN 5781, 1992. *Gravimetrische bepaling van het watergehalte en de droge volumieke massa van grond*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.

Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. de Bode, W. van Dijk, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof & W.J. Willems, 2004. *Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten*. Rapport 79, Plant Research International, Wageningen.

Van Beek, C.L., E.W.J. Hummelink, G.L. Velthof & O. Oenema, 2004. *Denitrification rates in relation to groundwater level in a peat soil under grassland*. *Biology and Fertility of Soils* 39:329-336.

Velthof, G.L., C.L. van Beek, F. Brouwer, S.L.G.E. Burgers, B. Fraters, P. Groenendijk, M.J.D. Hack-ten Broeke, A.J. van Kekem, H.P. Oosterom, O.F. Schoumans, F. de Vries, W.J. Willems & K.B. Zwart, 2004. *Denitrificatie in de zone tussen bouwvoor en het bovenste grondwater in zandgronden*. Alterra-rapport 730.1, Alterra, Wageningen.

Willems, W.J., T.V. Vellinga, O. Oenema, J.J. Schröder, H.G. van der Meer, B. Fraters & H.F.M. Aarts, 2000. *Onderbouwing van het Nederlandse derogatieverzoek in het kader van de Europese Nitraatrichtlijn*. RIVM-rapport 718201002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Wolf, J. A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter & H. van Zeijts, 2003. *The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands*. *Environmental Modelling & Software* 18:597-617.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot & J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001*. Alterra-rapport 153, Alterra, Wageningen.

Zwart, K.B., 2003. *Denitrificatie in de bouwvoor en de ondergrond. Resultaten van metingen in 13 profielen tot 2 m diep*. Alterra-rapport 724, Alterra, Wageningen.

## Bijlage 1 ADI- en denitrificatiewaarden horende bij ADI-variant Alterra-rapport 730.1

In deze bijlage is de hele tabel 1 (blz 23) uit Velthof *et al.* (2004) weergegeven.

*Tabel. Met STONE berekende inspoeling vanuit de wortelzone naar diepere lagen, denitrificatie en ADI voor verschillende combinaties van organische stof klassen en GLG (uit Velthof et al., 2004).*

Klasse <sup>1</sup> org. stof kgdm <sup>-3</sup>	Klasse GLG m-mv	Gem. org.stof kg dm <sup>-3</sup>	Gem. GLG m-mv	Aantal waar- nemingen	Areaal ha	Inspoeling kg N ha <sup>-1</sup>	Denitri- ficatie kg N ha <sup>-1</sup>	Gem. ADI	ADI range
<0,01	<2	0,009	1,86	39	11114	223	44	0,26	0,10-0,52
0,01-0,07	<2	0,015	1,68	275	115815	139	41	0,36	0,06-0,85
>0,07	<2	0,199	1,58	47	14063	118	110	0,81	0,36-0,99
<0,01	2-4	0,008	2,93	178	65142	183	17	0,10	0,01-0,37
0,01-0,07	2-4	0,013	2,51	158	63091	132	24	0,18	0,01-0,56
>0,07	2-4	0,223	2,50	26	6782	125	122	0,61	0,09-1,00
<0,01	>4	0,007	5,19	121	43467	106	6	0,04	0,00-0,47
0,01-0,07	>4	0,013	4,85	13	4271	116	19	0,13	0,01-0,33
>0,07	>4	0,078	4,95	13	3376	125	34	0,15	0,01-0,87
<b>Totaal</b>					<b>327121</b>				

<sup>1</sup> In klasse 0,01-0,07 komen slechts vier waarnemingen tussen 0,03 en 0,07 voor.





## Bijlage 2 ADI uit EMW2002 STONE berekeningen.

Op basis van STONE berekeningen ten behoeve van EMW2002 zijn voor alle plots waarden voor de Actuele Denitrificatie Index (*ADI*) berekend. *ADI* is de verhouding van denitrificatie ten opzichte van de som denitrificatie plus uitspoeling (zie vergelijking (3) in hoofdstuk). De *ADI*-waarden zijn vastgesteld voor de bodemkolom maaiveld tot aan Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG).

Binnen STONE is Nederland onderverdeeld in 6405 plots. Deze zijn onder te verdelen in de hoofdgrondsoorten zand, veen en klei (inclusief löss), en in de hoofdgrondgebruiken gras, maïs en overig bouwland. Uit de berekening volgt wat voor een grondwatertrap (Gt) bij de betreffende plot hoort. De tabel met *ADI*- en denitrificatiewaarden wordt ingevuld met het gemiddelde (en de standaardafwijking) van alle plots behorende bij betreffende tabellocatie. Dit geeft dus een ruimtelijke middeling weer. De uitgangswaarden per plot zijn zelf echter weer een tijdgemiddelde over een periode van 15 jaar (rond 2030). Men moet zich realiseren dat niet elke combinatie grondsoort-grondgebruik-Gt evenveel voorkomt. Dit is te zien in het areaal van alle combinaties zoals gegeven in onderstaande Tabel 2.A.

Tabel 2.A. Areal (in ha) van alle STONE combinaties grondsoort-grondgebruik-grondwatertrap. De grootste arealen (aandeel 10% of meer van het totale areaal van alle Gt's samen) per grondsoort-grondgebruik combinatie zijn vet gedrukt. Ov. BL = Overig bouwland.

Grondsoort	Grondgebruik	Grondwatertrap									
		I	II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
Zand	Gras	168	8090	<b>38268</b>	243	<b>53492</b>	15469	1031	<b>93071</b>	<b>77744</b>	<b>77346</b>
	Maïs		1429	11535	206	12658	6280	125	<b>44844</b>	<b>34247</b>	<b>41204</b>
	Ov. BL	468	1729	5950	1362	<b>25201</b>	2932		<b>26086</b>	<b>56680</b>	<b>39900</b>
Veen	Gras	<b>39354</b>	<b>129485</b>	<b>44789</b>	193	1691	9070		5906	1923	2940
	Maïs	<b>2278</b>	<b>3986</b>	<b>8441</b>		672	897	125	<b>2320</b>	983	2039
	Ov. BL	2732	<b>11375</b>	<b>23809</b>		<b>15448</b>	3919		<b>11236</b>	<b>15087</b>	3591
Klei	Gras	1736	14684	<b>34827</b>	2605	24966	25376	2074	<b>185345</b>	<b>32764</b>	14453
	Maïs		1166	<b>6039</b>	193	2678	<b>6064</b>	418	<b>13847</b>	<b>5720</b>	<b>4616</b>
	Ov. BL	749	1697	6262		<b>44677</b>	9564	468	<b>382184</b>	22388	20880

Voor scenario A (handhaving bemesting op niveau 2000) zijn hieronder de berekende *ADI* (Tabel 2.B) en denitrificatie (Tabel 2.C) gegeven. Scenario's D1 en H (met een steeds lager netto bodemoverschot) geven slechts gering afwijkende *ADI*-waarden (uiteraard wel grote verschillen in totaal verlies = denitrificatie + uitspoeling). Over het algemeen geldt dat de *ADI* groot is (bijv. > 0,6) met relatief geringe standaardafwijking. Duidelijke uitzondering hierop wordt gevonden bij de droge zandgronden met Gt > VI. Hier wordt een gemiddelde *ADI* gevonden van 0,25 met een relatief hoge standaardafwijking (variatiecoëfficiënt ca. 50%).

Tabel 2.B. Gemiddelde ADI (verhouding denitrificatie gedeeld door som denitrificatie+uitspoeling) voor de laag maaiveld tot aan GLG voor alle STONE combinaties grondsoort-grondgebruik-grondwatertrap. De resultaten zijn afkomstig uit de EMW2002 berekeningen voor scenario A (handhaving bemesting op niveau 2000) voor de toestand in 2030. De vetgedrukte waarden komen overeen met de grootste arealen van de betreffende combinatie (zie Tabel 2.A). Tussen haakjes is de (ruimtelijk) standaardafwijking gegeven. Ov.BL = Overig bouwland.

Grondsoort	Grondgebruik	Grondwatertrap									
		I	II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
Zand	Gras	1,25	0,86	<b>0,82</b> <b>(0,05)</b>	0,72	<b>0,76</b> <b>(0,08)</b>	0,75	0,63	<b>0,61</b> <b>(0,12)</b>	<b>0,38</b> <b>(0,14)</b>	<b>0,24</b> <b>(0,16)</b>
	Maïs		0,78	0,71	0,63	0,61	0,63	0,73	<b>0,47</b> <b>(0,11)</b>	<b>0,28</b> <b>(0,11)</b>	<b>0,20</b> <b>(0,11)</b>
	Ov. BL	0,54	0,71	0,58	0,62	<b>0,52</b> <b>(0,15)</b>	0,57		<b>0,40</b> <b>(0,12)</b>	<b>0,25</b> <b>(0,17)</b>	<b>0,16</b> <b>(0,16)</b>
Veen	Gras	<b>0,90</b> <b>(0,12)</b>	<b>0,92</b> <b>(0,22)</b>	<b>0,80</b> <b>(0,10)</b>	0,76	0,72	0,83		0,76	0,57	0,51
	Maïs	<b>0,83</b> <b>(0,08)</b>	<b>0,81</b> <b>(0,13)</b>	<b>0,72</b> <b>(0,06)</b>		0,71	0,76	0,67	<b>0,67</b> <b>(0,04)</b>	0,56	0,46
	Ov. BL	0,72	<b>0,69</b> <b>(0,22)</b>	<b>0,61</b> <b>(0,16)</b>		<b>0,60</b> <b>(0,11)</b>	0,72		<b>0,53</b> <b>(0,09)</b>	<b>0,46</b> <b>(0,07)</b>	0,35
Klei	Gras	0,85	0,90	<b>0,84</b> <b>(0,04)</b>	0,82	0,83	0,86	0,86	<b>0,82</b> <b>(0,08)</b>	<b>0,81</b> <b>(0,11)</b>	0,68
	Maïs		0,80	<b>0,83</b> <b>(0,03)</b>	0,84	0,80	<b>0,82</b> <b>(0,06)</b>	0,79	<b>0,85</b> <b>(0,08)</b>	<b>0,81</b> <b>(0,18)</b>	<b>0,54</b> <b>(0,10)</b>
	Ov. BL	0,59	0,85	0,77		<b>0,75</b> <b>(0,09)</b>	0,78	0,65	<b>0,79</b> <b>(0,11)</b>	0,70	0,57

Tabel 2.C. Gemiddelde denitrificatie (kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) voor de laag maaiveld tot aan GLG voor alle STONE combinaties grondsoort-grondgebruik-grondwatertrap behorende bij berekende ADI uit Tabel 2.B. De resultaten zijn afkomstig uit de EMW2002 berekeningen voor scenario A (handhaving bemesting op niveau 2000) voor de toestand in 2030. De vetgedrukte waarden komen overeen met de grootste arealen van de betreffende combinatie (zie Tabel 2.A). Tussen haakjes is de (ruimtelijk) standaardafwijking gegeven. Ov.BL = Overig bouwland.

Grondsoort	Grondgebruik	Grondwatertrap									
		I	II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
Zand	Gras	23	70	<b>83</b> <b>(20)</b>	75	<b>91</b> <b>(21)</b>	94	76	<b>77</b> <b>(21)</b>	<b>51</b> <b>(24)</b>	<b>37</b> <b>(38)</b>
	Maïs		107	119	116	116	109	152	<b>88</b> <b>(21)</b>	<b>56</b> <b>(25)</b>	<b>42</b> <b>(19)</b>
	Ov. BL	11	46	41	85	<b>46</b> <b>(22)</b>	57		<b>37</b> <b>(17)</b>	<b>26</b> <b>(24)</b>	<b>21</b> <b>(31)</b>
Veen	Gras	<b>20</b> <b>(3)</b>	<b>31</b> <b>(13)</b>	<b>67</b> <b>(14)</b>	70	83	98		130	73	161
	Maïs	<b>60</b> <b>(20)</b>	<b>100</b> <b>(37)</b>	<b>148</b> <b>(31)</b>		164	194	173	<b>166</b> <b>(20)</b>	139	127
	Ov. BL	34	<b>51</b> <b>(34)</b>	<b>77</b> <b>(47)</b>		<b>94</b> <b>(43)</b>	111		<b>89</b> <b>(37)</b>	<b>87</b> <b>(23)</b>	53
Klei	Gras	20	35	<b>52</b> <b>(19)</b>	55	63	74	61	<b>76</b> <b>(31)</b>	<b>93</b> <b>(49)</b>	118
	Maïs		88	<b>114</b> <b>(23)</b>	132	127	<b>119</b> <b>(22)</b>	135	<b>128</b> <b>(30)</b>	<b>137</b> <b>(47)</b>	<b>102</b> <b>(13)</b>
	Ov. BL	35	40	54		<b>63</b> <b>(30)</b>	65	25	<b>69</b> <b>(32)</b>	74	93

### Bijlage 3 Bodemtemperatuur, nitraat\_N-gehalte, volumetrisch watergehalte en droge bulkdichtheid

In Tabel 3.A respectievelijk 3.B zijn de gemiddelde gemeten bodemtemperatuur, nitraat\_N-gehalten, volumetrische watergehalten en droge bulkdichtheden per laag weergegeven voor perceel 2 en 17\_2.

*Tabel 3.A. De gemiddelde bodemtemperatuur, nitraat\_N-gehalten, volumetrische watergehalten en de droge bulkdichtheid op de verschillende momenten en in de verschillende lagen van perceel 2. De waarden tussen haakjes geven de standaarddeviatie weer.*

Meetlaag (cm-mv)	Bodemtemperatuur (°C)	Nitraat_N (mg kg <sup>-1</sup> )	Volumetrisch watergehalte (-)	Droge bulk- dichtheid (g cm <sup>-1</sup> )
<b>19 november 2004</b>				
5-10	5,1	2,2 (1,0)	0,26 (0,01)	1,42 (0,06)
17-22	7,9	2,5 (1,1)	0,22 (0,01)	1,34 (0,01)
35-40	8,9	1,8 (<0,1)	0,13 (0,01)	1,55 (0,03)
50-55	7,6	0,9 (0,2)	0,11 (<0,01)	1,62 (0,03)
70-75	9,3	0,8 (0,6)	0,09 (0,01)	1,66 (0,02)
90-95	9,4	0,2 (0,2)	0,06 (0,02)	1,62 (0,02)
<b>3 december 2004</b>				
5-10	4,2	0,7 (0,2)	0,22 (0,01)	1,42 (0,04)
17-22	4,9	1,1 (0,3)	0,18 (0,01)	1,41 (0,02)
35-40	5,5	0,5 (0,2)	0,11 (<0,01)	1,53 (0,01)
50-55	6,3	0,4 (0,1)	0,07 (0,01)	1,59 (0,04)
70-75	6,9	0,4 (0,1)	0,07 (0,01)	1,60 (0,01)
90-95	7,5	1,6 (0,7)	0,07 (0,01)	1,65 (0,06)
<b>28 januari 2005</b>				
5-10	0,5	0,7 (0,2)	0,24 (0,02)	1,38 (0,02)
17-22	1,5	0,6 (0,1)	0,22 (0,01)	1,35 (0,02)
35-40	2,6	0,2 (<0,1)	0,15 (0,01)	1,47 (0,04)
50-55	3,3	0,4 (0,1)	0,11 (0,01)	1,54 (0,02)
70-75	4,3	0,3 (<0,1)	0,11 (0,01)	1,62 (0,02)
90-95	4,7	0,4 (0,1)	0,11 (0,01)	1,63 (0,02)
<b>25 februari 2005</b>				
5-10	0,7	0,4 (0,1)	0,22 (0,01)	1,39 (0,03)
17-22	1,0	0,8 (0,4)	0,20 (<0,01)	1,40 (0,03)
35-40	4,8	0,3 (0,2)	0,13 (0,01)	1,49 (0,01)
50-55	5,6	0,2 (<0,1)	0,09 (0,01)	1,54 (0,03)
70-75	5,8	0,2 (<0,1)	0,08 (0,01)	1,57 (0,01)
90-95	4,9	0,3 (<0,1)	0,09 (0,01)	1,59 (0,02)

Tabel 3.B. De gemiddelde bodemtemperatuur, nitraat\_N-gehalten, volumetrische watergehalten en de droge bulkdichtheid op de verschillende momenten en in de verschillende lagen van perceel 17\_2. De waarden tussen haakjes geven de standaarddeviatie weer.

Meetlaag (cm-mv)	Bodemtemperatuur (°C)	Nitraat_N (mg kg <sup>-1</sup> )	Volumetrisch watergehalte (-)	Droge bulk- dichtheid (g cm <sup>-3</sup> )
<b>19 november 2004</b>				
5-10	6,7	1,3 (0,2)	0,28 (0,01)	1,44 (0,03)
20-25	7,6	1,3 (0,5)	0,29 (0,01)	1,48 (0,04)
38-43	8,8	1,6 (0,6)	0,36 (0,02)	1,37 (0,04)
58-63	9,7	1,7 (2,4)	0,33 (0,01)	1,53 (0,01)
75-80	9,2	2,1 (1,0)	0,31 (0,01)	1,58 (0,03)
90-95	9,7	1,2 (0,2)	0,30 (0,01)	1,65 (0,01)
<b>3 december 2004</b>				
5-10	4,8	0,8 (0,3)	0,27 (0,01)	1,51 (0,03)
20-25	5,5	0,4 (0,2)	0,23 (0,01)	1,50 (0,03)
38-43	6,4	0,3 (0,1)	0,21 (0,02)	1,50 (0,06)
58-63	6,9	0,6 (0,5)	0,23 (0,01)	1,57 (0,04)
75-80	7,6	2,3 (0,9)	0,25 (0,02)	1,57 (0,21)
90-95	8,4	0,9 (0,3)	0,31 (0,02)	1,62 (0,04)
<b>28 januari 2005</b>				
5-10	1,0	0,6 (0,2)	0,32 (<0,01)	1,44 (0,02)
20-25	2,0	0,5 (0,1)	0,29 (0,01)	1,52 (0,02)
38-43	2,8	0,3 (0,1)	0,24 (0,02)	1,57 (0,07)
58-63	3,5	0,6 (0,2)	0,31 (0,02)	1,54 (0,03)
75-80	4,2	3,5 (2,1)	0,41 (0,05)	1,29 (0,12)
90-95	5,0	3,2 (0,5)	0,37 (0,01)	1,61 (0,02)
<b>25 februari 2005</b>				
5-10	0,5	0,5 (0,1)	0,31 (0,02)	1,48 (0,04)
20-25	1,1	0,5 (0,2)	0,28 (0,01)	1,53 (0,02)
38-43	0,3	0,4 (0,1)	0,38 (0,01)	1,40 (0,03)
58-63	0,7	0,9 (0,6)	0,34 (0,01)	1,56 (0,04)
75-80	3,3	1,1 (0,6)	0,36 (0,02)	1,55 (0,05)
90-95	4,2	1,7 (0,5)	0,35 (0,01)	1,59 (0,05)