

MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM ALS BELEIDSINSTRUMENT – PROEFVELDRESULTATEN

Edwin MOREELS¹, Evi HERELIXKA², Karoline D'HAENE¹,
Nancy VOGELS², Stefaan DE NEVE¹, Maarten GEYSENS²,
Georges HOFMAN¹ & Oswald VAN CLEEMPUT³

¹ Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne, Universiteit Gent

² Bodemkundige Dienst van België, Heverlee

³ Vakgroep Toegepaste Analytische en Fysische Chemie, Universiteit Gent

INLEIDING

Overdadig gebruik van minerale en organische meststoffen in de landbouw is één van de grote oorzaken van de eutrofiëring van het grond- en oppervlaktewater. De Europese Unie tracht deze nutriëntenbelasting van het milieu te beperken door het uitvaardigen van de Nitraatrichtlijn (91/676/EEC). Deze norm verplicht elke Europese Lidstaat een aantal maatregelen te nemen om 'de watervervuiling uit agrarische bronnen te reduceren en verdere vervuiling te voorkomen'. De Lidstaten moeten 'kwetsbare zones' aanduiden, waartoe die gronden behoren die bijdragen tot de vervuiling. Voor deze gebieden moet een actieprogramma opgesteld worden zodat de jaarlijkse hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest maximaal 170 kg N ha⁻¹ bedraagt.

De Vlaamse regering tracht aan deze Europese Nitraatrichtlijn te voldoen door de implementatie van achtereenvolgens het Mestdecreet (1991), het MAP-I (1996) en het MAP-II (2000). Eén van de pijlers van het huidige mestbeleid is de oordeelkundige bemesting. Deze moet leiden tot een maximaal nitraatstikstofresidu van 90 kg N ha⁻¹ tot op een diepte van 90 cm in de periode van 1 oktober tot 15 november. Zoals vastgesteld in het MAP (Art. 13bis), geldt deze residuwaarde tot 31 december 2002. Vanaf 1 januari geldt dan het nitraatstikstofresidu dat de Vlaamse regering zal vastleggen overeenkomstig de resultaten van het onderzoek naar de technische vertaling van de EG-norm van 50 mg NO₃⁻ l⁻¹ of 11.3 mg NO₃⁻-N l⁻¹ in grond- en oppervlaktewater in een perceelsgewijze controleerbare nitraatstikstofresidunorm voor cultuurgronden.

Deze technische vertaling van de Nitraatrichtlijn was het onderwerp van het N-(eco)² project, uitgevoerd door een consortium bestaande uit de Bodemkundige Dienst van België, het Instituut voor Land- en Waterbeheer (K.U.Leuven), het Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en -biologie (K.U.Leuven), de Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne (Universiteit Gent), de Vakgroep Toegepaste Analytische en Fysische Chemie (Universiteit Gent) en SADL (K.U.Leuven). Dit consortium onderzocht de verantwoorde toepassing van N-houdende meststoffen hoofdzakelijk vanuit ecologisch standpunt. Daartoe werd de huidige nitraatstikstofresidunorm wetenschappelijk geëvalueerd en, afhankelijk van de onderzoeksresultaten, eventueel aangepast en gedifferentieerd naargelang bodemtextuur en gewas.

De opzet van dit onderzoeksproject was zodanig dat het eindresultaat van het project, nl. de aanlevering van de nitraatstikstofresidunorm(en) in het bodemprofiel, in de laag 0 tot 90 cm, in de periode van 1 oktober tot 15 november, evenwichtig gebaseerd is op terreingegevens, simulatieresultaten en expertkennis. Voor de terreingegevens werd daarbij beroep gedaan op gegevens van proefvelden (20 percelen).

De gegevens van proefvelden werden gebruikt voor de kalibratie en validatie van simulatiemodellen, meer specifiek het WAVE-model. Deze benadering was essentieel om met hoge zekerheid te kunnen stellen dat de modellen, die in een scenarioanalyse worden aangewend, betrouwbaar zijn. De resultaten van de scenarioanalyse, samen met de informatie van de proefvelden en de aanwezige expertkennis binnen het consortium, vormden de basis waarop de nitraatstikstofresiduenorm(en) en het exploitatieschema dat resulteerde in deze nitraatstikstofresiduenorm(en), werden afgeleid.

MATERIAAL EN METHODEN

Selectie van de proefvelden

Er werden, vanuit de expertkennis van het consortium, 20 gewas-bodemtype-hydrologie combinaties geselecteerd, welke representatief geacht werden voor de land- en tuinbouw in Vlaanderen. Tabel 1 toont het bodemtype en de gewascombinatie van deze percelen.

Tabel 1 Overzicht van de proefvelden

	Nr.	Gemeente	Bodemtype	Gewas / gewascombinatie
Klei	1	Oostende	Ufp	graasweide
	2*	Assenede	sEdp	winterarwe - vlas - gele mosterd
	3	Sint-Laureins	Edpz	suikerbieten - winterarwe - gras
	4*	Knokke-Heist	sUdp	aardappelen - winterarwe - gele mosterd
Leem	258	Kumtich	Aba1	aardappelen - winterarwe - gele mosterd
	259	Tongeren	Eba	winterarwe - winterarwe - gele mosterd
	260	Tongeren	Aba1	erwten - gele mosterd - suikerbieten
	266	Leefdaal	Aba1	winterarwe - gele mosterd - suikerbieten
Zandleem	262	Ottenburg	sLbb	Mais - mais
	263	Geetbets	Lba0	winterarwe - suikerbieten
	264	Bekkevoort	Lbb	winterarwe - raai gras - aardappelen
	265	Tielt-Winge	Lec1	graasweide
	7*	Elverdinge	Lda1	prei - aardappelen - gras
Zand	8	Elverdinge	Pcc1	bloemkool - mais
	255*	Kasterlee	Zfh	Mais - aardappelen - gras
	256	Kasterlee	Seg	aardappelen - wortelen - gras
	257*	Oost-Malle	Sdh	maai- en graasweide
	261	Lichtaart	Sfa	maai- en graasweide
	5	Assenede	Zdp	mais - mais
6	Sint-Laureins	Zfhy	graasweide	

* gedraineerd perceel

Staalname en analysetechniek

Op de 20 geselecteerde sites werden tijdens twee winterperiodes, met name tussen 1 oktober 2000 en 30 maart 2001 en tussen 1 oktober 2001 en 30 maart 2002, de minerale stikstof in de bodem en de nitraatstikstof in het bodem- en grondwater driewekelijks opgevolgd. Per site werd hiertoe een proefvlak van 20x20 m afgebakend. Op de gedraineerde sites werden eveneens driewekelijks monsters van het drainwater op nitraatstikstof geanalyseerd. Op enkele velden werd gedurende de zomer de evolutie van de minerale stikstof eveneens opgevolgd. De percelen 255 tot

266 werden opgevolgd door de Bodemkundige Dienst van België, de andere percelen (1 tot 8) door de Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne.

Bodemstalen

Het nitraat- en ammoniumstikstofgehalte en vochtgehalte werden gemeten in bodemlagen van 30 cm tot op een diepte van 90 cm. Op de meetsites van de Bodemkundige Dienst van België werd per 30 cm een mengstaal van 10 boringen genomen en op minerale stikstof geanalyseerd en werd ook een bodemstaal genomen om het vochtgehalte te bepalen. Op de meetsites van de RUG werd per staalnametijdstip 2 keer een mengstaal van 5 boringen genomen. Op beide stalen werd het minerale stikstofgehalte en het vochtgehalte bepaald. Na de monsternamen werd de grond zo koel mogelijk bewaard om zowel gasvormige N-verliezen (ammoniakale N), als nitrificatie van NH_4^+ -N, als N-omzettingen van organische naar minerale vorm tegen te gaan. De bodemstalen werden volgens de gangbare meetmethoden op de laboratoria geanalyseerd.

Bodemwater

Voor de bemonstering van het bodemvocht werden op ieder proefveld drie poreuze cups verticaal geplaatst op een diepte van 90 cm onder het maaiveld. Bij de installatie werd rond de cup zand gestort zodat het contact tussen de cup en de bodem optimaal was. Om te voorkomen dat er langs de schacht van de cup water naar beneden sijpelde, werd het boorgat opgevuld met bentoniet (Addiscott, 1990). Bij de bemonstering werd in de poreuze cups een onderdruk van ± 60 kPa aangelegd met behulp van een vacuümpomp voorzien van een manometer. Het water werd opgepompt en opgevangen in een monsterflesje en werd geanalyseerd op nitraatstikstof.

Suction cups bemonsteren bij voorkeur grote poriën, waarbij de graad van voorkeur afhangt van de aangelegde zuigspanning. Dit betekent dat met suction cups de nitraatconcentratie in het mobiele bodemwater wordt bepaald en niet de concentratie van het bodemwater vastgehouden in de fijne poriën (Grossmann en Udluft, 1991, Webster *et al.*, 1993). Aangezien de eigenschappen van het bodemwater kunnen variëren met de poriëngrootte kan dit de resultaten systematisch vertekenen en kan de nitraatstikstofconcentratie van het bodemwater bemonsterd met de suction cups afwijken van de nitraatstikstofconcentratie van het totale bodemwater (Grossmann en Udluft, 1991; Djurhuus en Jacobsen, 1995). De nitraatstikstofconcentratie van het bodemwater bemonsterd met suction cups benadert evenwel de nitraatstikstofconcentratie van het mobiele water dat uit de bodem draineert (Webster *et al.*, 1993). Suction cups zijn puntmetingen en om de ruimtelijke variabiliteit van de metingen op te vangen, zijn er meerdere suction cups per veld nodig (Alberts *et al.*, 1977; Webster *et al.*, 1993).

Grondwater

Om de nitraatstikstofconcentratie in het grondwater te bepalen werden op de sites met ondiep grondwater één of meerdere peilbuizen tot 2 meter onder het maaiveld geplaatst. Deze peilbuizen werden samengesteld uit een geperforeerde buis (1.5 m) waarboven een blinde buis van 0.5 m werd gemonteerd. De bovenste halve meter van het grondwater in de peilbuizen werd bemonsterd en op nitraatstikstof geanalyseerd. De stand van de grondwatertafel werd ook in de peilbuizen opgemeten

aangezien deze gegevens noodzakelijk zijn voor de kalibratie van de waterbalans van het simulatiemodel.

Drainwater

Voor de gedraineerde percelen werd een staal genomen van het water aan het einde van het drainageselsel. In de mate van het mogelijke werd ook het debiet bepaald van het water dat de drains verlaat.

Alle waterstalen (uit poreuze cups, peilbuizen en drains) werden koel bewaard en zo snel mogelijk na de monsternamen geanalyseerd.

RESULTATEN

Inleiding

Het is niet evident om rechtlijnige verbanden te vinden tussen de opgemeten NO_3^- -N-concentraties in het bodemvocht en het gehalte aan nitraatstikstof in het profiel omdat gelijktijdig verschillende processen optreden. Bovendien wordt de begroting van de optredende processen bemoeilijkt door een grote variabiliteit, zowel in de ruimte als in de tijd.

Tot de belangrijkste outputprocessen kunnen nitraatuitspoeling, ammoniakvervluchtiging, denitrificatie, en N-opname door planten en dieren gerekend worden. Tot de belangrijkste inputprocessen behoren depositie, fixatie en bemesting. Immobilisatie en mineralisatie vervolledigen de N-cyclus. In de winterperiode wordt de minerale stikstofinhoud van het bodemprofiel hoofdzakelijk beïnvloed door nitraatuitspoeling en in veel mindere mate door denitrificatie en N-opname.

In **Tabel 2** zijn de gemiddelde temperatuur en de neerslag per maand voor beide winterperiodes weergegeven voor het weerstation te Ukkel. Door de hoge temperatuur in november en begin december 2000 en in oktober 2001 was er nog een sterke microbiële activiteit mogelijk tijdens deze periode. September 2001 daarentegen was de natste en somberste septembermaand sinds 1833.

Tabel 2 Gemiddelde maandtemperatuur en de maandelijkse neerslag voor het weerstation te Ukkel

Maand	2000-2001		2001-2002		Nominale waarde	
	Neerslag mm	Temp °C	Neerslag mm	Temp °C	Neerslag mm	Temp °C
Oktober	98	11.5	68	14.5	71	10.4
November	87	7.8	100	6.2	78	6.0
December	58	5.7	51	2.8	76	3.4
Januari	84	3.4	71	4.5	67	2.5
Februari	84	4.6	168	7.1	54	3.2
Maart	112	6.5	66	7.8	73	5.7

In het algemeen kan vastgesteld worden dat in de winterperiode het gehalte aan nitraatstikstof in het bodemprofiel afneemt, omwille van een migratie van NO_3^- -N naar diepere bodemlagen met het percolerende water. Afhankelijk van factoren als het initieel gehalte aan nitraatstikstof en initieel vochtgehalte van het bodemprofiel,

de neerslaghoeveelheid, de begroeiing, ... vindt er een N-aanrijking plaats van de diepere bodemlagen.

Resultaten van de 20 meetsites

De 20 proefvelden vertonen een groot gamma aan gewassen, texturen, bemestingstrategieën en managementpraktijken. Van alle percelen wordt de recente (bemestings)voorgeschiedenis weergegeven, maar per bodemtexturen zullen echter slechts een paar proefvelden besproken worden.

Kleibodems

Tabel 3 toont de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de 4 proefvelden op kleibodems.

Tabel 3 Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis

Locatie (nummer)	jaar	Teelt	Minerale bemesting	Organische bemesting
Oostende (veld 1)	2000	Graasweide onbeperkt	250 kg N ha ^{-1***}	Geen, 4 GVE/ha tot half november
	2001	Graasweide onbeperkt	300 kg N ha ^{-1***}	Geen, 3 GVE/ha tot half november
Assenede Drain 70cm (veld 2)	2000	Wintertarwe	200 kg N ha ^{-1***}	Geen 30 ton RDM (144 kg N ha ⁻¹)* (begin september 2000)
	2001	Vias Gele mosterd	60 kg N ha ⁻¹ Geen	Geen 30 ton RDM (144 kg N ha ⁻¹)* (6 aug, zaai 10 aug)
St-Laureins (veld 3)	2000	Suikerbieten	260 kg N ha ^{-1***}	Geen
	2001	Wintertarwe Gras	190 kg N ha ^{-1***} Geen	Geen 16 ton VDM (130 kg N ha ⁻¹)* (20 sep, zaai 14 sep)
Kn-Heist Drain 70cm (veld 4)	2000	Aardappelen	80 kg N ha ⁻¹	Geen
	2001	Wintertarwe Gele mosterd	200 kg N ha ^{-1***} Geen	Geen Geen

*: totale N forfaitair berekend, ***: gefractioneerde bemesting

GVE: grootvee eenheden, RDM: runderdrijfmest, VDM: varkensdrijfmest

Perceel 1: graasweide

Tijdens de eerste meetperiode (oktober 2000 tot maart 2001) werden relatief hoge gehalten aan nitraatstikstof gemeten in de bodem (tot iets boven 100 kg NO₃-N ha⁻¹) die echter niet resulteerden in een overschrijding van de norm van de nitraatrichtlijn (11.3 mg NO₃-N l⁻¹). De nitraatgehalten in de bodem waren in de tweede meetperiode (september 2001 - maart 2002) nog hoger en resulteerden wel in een overschrijding van de norm. Tussen november 2001 en januari 2002 is een duidelijke aanrijking van nitraatstikstof in de 60-90 cm vast te stellen.

Naast de peilbuizen en de poreuze cups werden bij aanvang van de tweede meetperiode houten palen geplaatst omdat het perceel nog beweid werd. Deze palen werden echter door de koeien gebruikt om tegen te schuren en het proefveld kan dus een voorkeurplaats geworden zijn met een verhoogde mestdepositie tot gevolg. Dit

kan mede een verklaring zijn voor de hoge gehalten aan nitraatstikstof in het bodemprofiel en in het grond- en bodemwater in de winter 2001 - 2002.

Perceel 4: aardappelen - wintertarwe – gele mosterd

De $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in grond- en bodemwater overschreden de norm van de nitraatrichtlijn niet tijdens de eerste meetperiode, wat te verwachten was met de relatief beperkte residu's na de oogst van de aardappelen. Hierbij dient opgemerkt dat slechts 80 kg N ha^{-1} werd toegediend. Enkel de nitraatstikstofconcentratie in het drainwater overschreed de norm. Het drainwater van dit perceel komt aan de oppervlakte in een verzamelput. Omdat er nog andere omliggende percelen afwateren naar deze verzamelput, kon de oorzaak van de te hoge concentraties niet met zekerheid achterhaald worden.

Na de oogst van de wintertarwe (2001) werd gele mosterd ingezaaid, die in staat was om voldoende nitraatstikstof op te nemen zodat de concentraties in het grond- en bodemwater onder de norm bleven. Het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem steeg na het inploegen van deze groenbemester (7 november 2001). Ook tijdens deze tweede meetperiode overtrof de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het drainwater de norm (Figuur 2).

Besluit

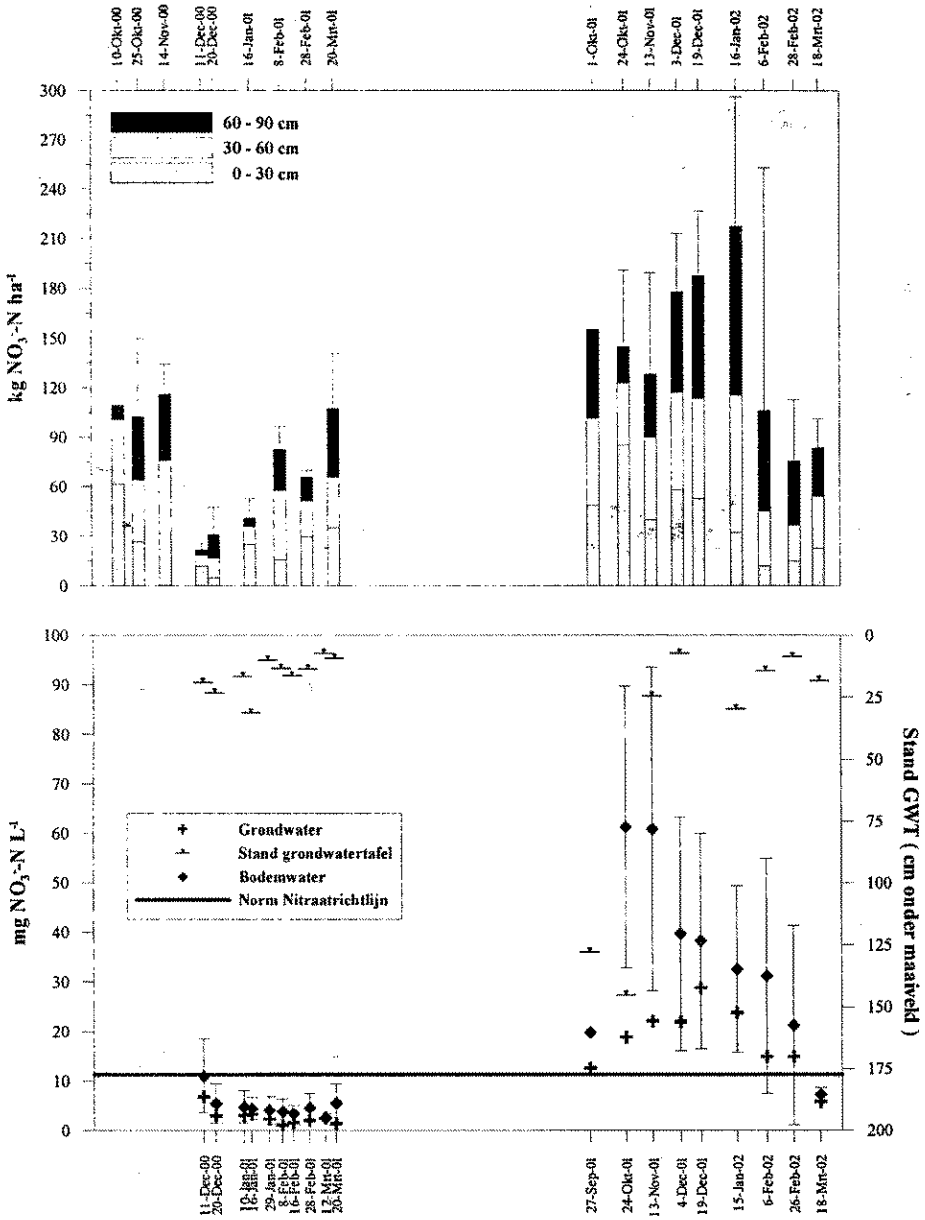
Uit het veldonderzoek bleek dat hoge $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's in het najaar, hoge $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het bodem- en grondwater veroorzaken waardoor de norm overschreden wordt (perceel 1, 2001). Het inzaaien van een groenbemester heeft een positief effect op de $\text{NO}_3\text{-N}$ hoeveelheid in het bodemprofiel en op de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het grond- en bodemwater (perceel 4, 2001). De positieve invloed van een groenbemester op de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties neemt duidelijk af naarmate de groenbemester later ingezaaid wordt waardoor de N-opname duidelijk daalt met een overeenstemmende geringere afname in $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheden in het bodemprofiel en van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in bodem-, grond- en drainwater. Dit kan afgeleid worden uit een vergelijking van de resultaten van perceel 4 met perceel 3 (resultaten niet expliciet vermeld). Bij het te vroeg inploegen van de groenbemester kan er nog najaarsmineralisatie van de groenbemester optreden met een overschrijding van de norm tot gevolg (perceel 4, 2001).

Leembodems

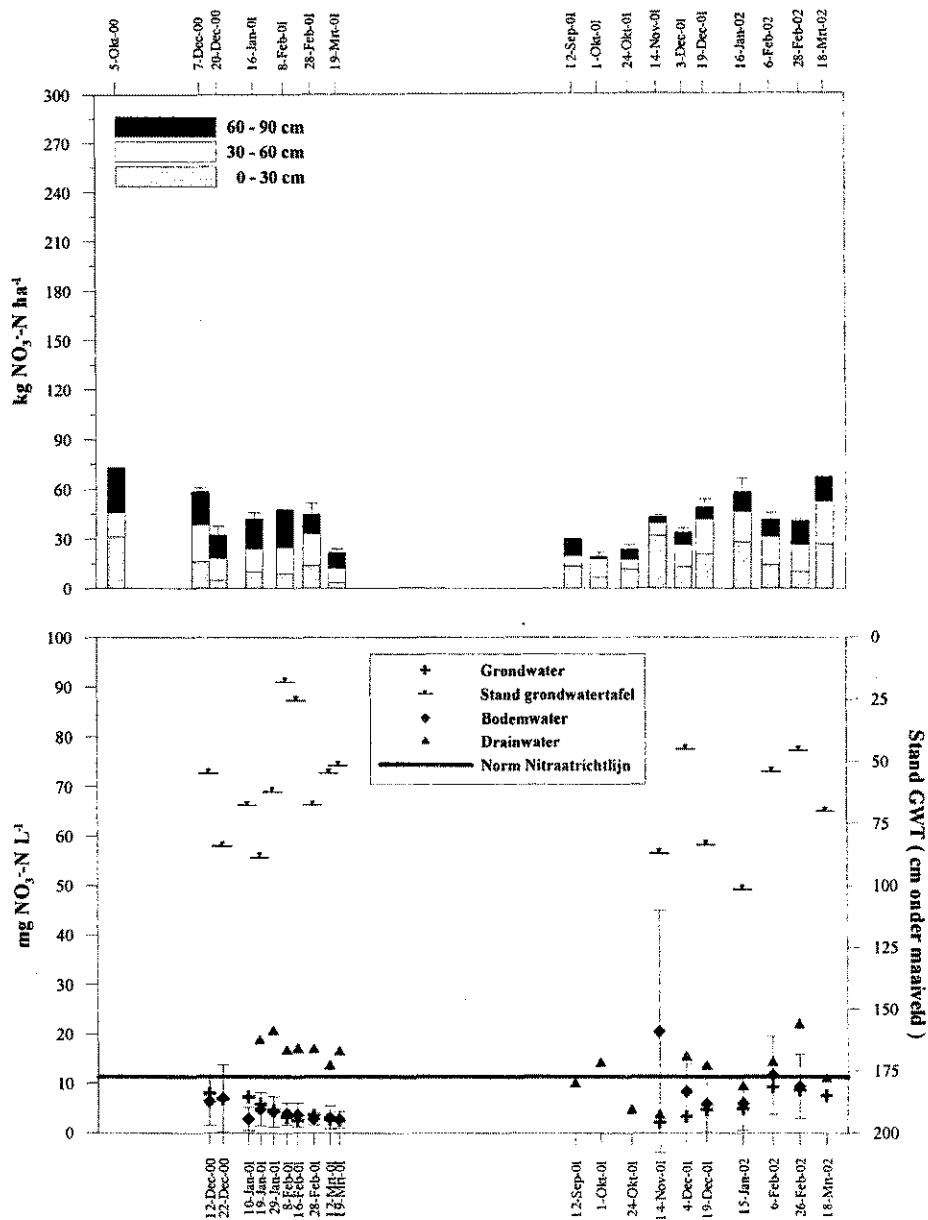
Tabel 4 toont een overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de proefvelden op leembodems. Deze vier leembodems zijn plateaugronden en zijn dus gekenmerkt door een vrije drainage en een diepe grondwatertafel.

Perceel 259: wintertarwe - wintertarwe – gele mosterd

Tijdens de eerste meetperiode (oktober 2000 - maart 2001) werd geen overschrijding van de norm in het bodemwater waargenomen. De overschrijdingen in april en juni 2001 zijn hoogstwaarschijnlijk een gevolg van een voorafgaande bemesting. Na de tweede teelt van wintertarwe werd varkensdrijfmest (178 kg N ha^{-1} , forfaitair berekend) toegediend en gele mosterd ingezaaid (eind augustus 2001). Na het toedienen van de varkensdrijfmest (24 augustus 2001) werd er een sterke stijging van het gehalte aan nitraatstikstof in het bodemprofiel waargenomen. Een gelijkaardige stijging deed zich voor na het inploegen van de groenbemester (31 december 2001) met een hoge nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater tot gevolg (Figuur 3).



Figuur 1 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor perceel 1 (grasweide)



Figuur 2 Verloop van het gehalte aan $\text{NO}_3\text{-N}$ in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het grondwater, $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor perceel 4 (aardappelen - wintertarwe – gele mosterd)

Tabel 4 Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis

Locatie (nummer)	jaar	Gegevens voordeel	Minerale bemesting	Organische bemesting
Kumtich (veld 258)	2000	Raaigras	Geen	20 ton/ha VDM (162 kg N ha ⁻¹)* (15 aug 1999)
		Aardappelen	190 kg N ha ^{-1***}	Geen
	2001	Wintertarwe	87 kg N ha ^{-1***}	Geen
		Gele mosterd	Geen	15 ton/ha VDM (122 kg N ha ⁻¹)* (25 aug, zaai 25 aug))
Tongeren (veld 259)	2000	Wintertarwe	170 kg N ha ^{-1***}	Geen
	2001	Wintertarwe	180 kg N ha ^{-1***}	Geen
		Gele mosterd	Geen	22 ton/ha VDM (178 kg N ha ⁻¹)* (24 aug, zaai 25 aug)
Tongeren (veld 260)	2000	Groene erwten	30 kg N ha ⁻¹	Geen
		Gele mosterd	Geen	20 ton/ha ZDM (88 kg N ha ⁻¹)* (20 aug, zaai eind aug))
	2001	Suikerbieten	120 kg N ha ⁻¹	Geen
Leefdaal (veld 266)	2000	Wintertarwe	180 kg N ha ^{-1***}	Geen
		Gele mosterd	Geen	25 ton/ha VDM (203 kg N ha ⁻¹)* (aug, zaai eind aug)
	2001	Suikerbieten	169 kg N ha ⁻¹	Geen

*: totale N forfaitair berekend, ***: gefractioneerde bemesting
VDM: varkensdrijfmest, ZDM: zeugendrijfmest

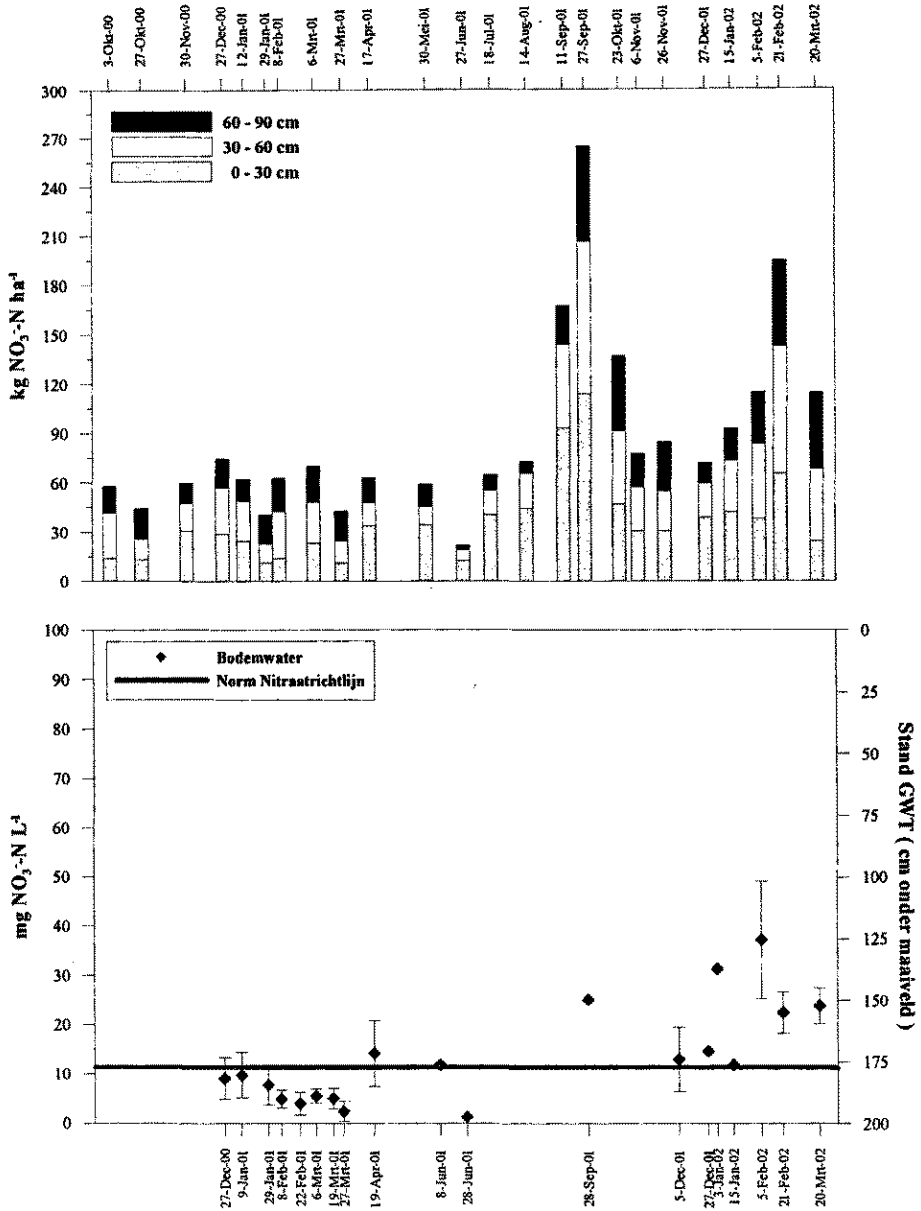
Perceel 266: wintertarwe – gele mosterd - suikerbieten

De gele mosterd zorgde ervoor dat, ondanks de toediening van varkensdrijfmest (203 kg N ha⁻¹, forfaitair berekend) in augustus 2000, de nitraatstikstofconcentratie in het bodemwater beperkt bleef (Figuur 4).

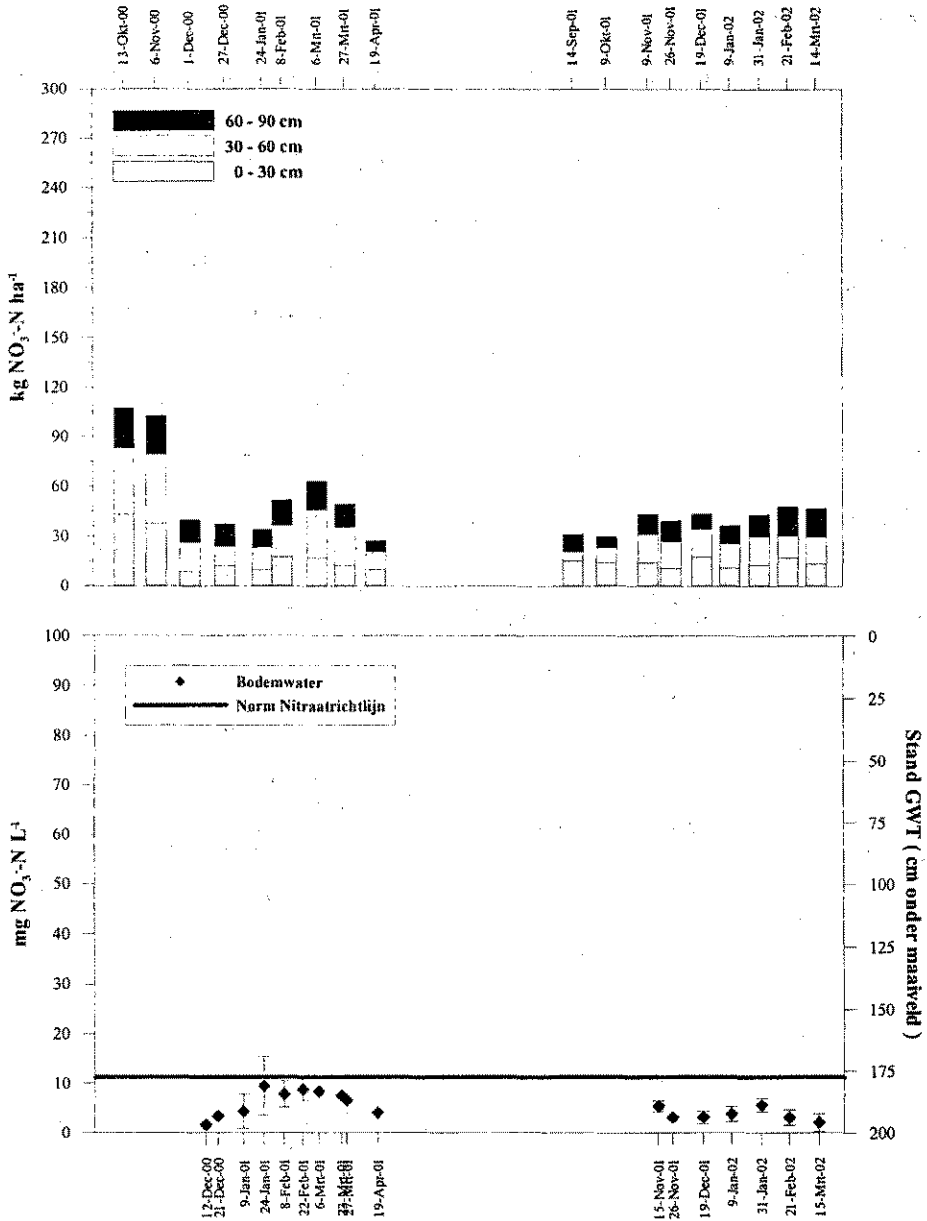
Omdat suikerbieten het bodemprofiel sterk uitputten, werden lage nitraatstikstofresidu's bekomen. De NO₃-N-concentraties in het bodemwater bleven dan ook onder de norm.

Besluit

Ook hier veroorzaakten de hoge nitraatstikstofresidu's in het bodemprofiel overschrijdingen van de norm in het bodem- en grondwater (perceel 259, 2001). Op drie van de vier velden waren de NO₃-N-concentraties in het bodemwater gedurende beide winters echter niet significant hoger dan de norm van de nitraatrichtlijn. Op perceel 259 (wintertarwe - wintertarwe - gele mosterd) bleek de groenbemester niet in staat om de aangeboden N op te nemen, waarschijnlijk te wijten aan een te hoge bemesting. Op perceel 266 had gele mosterd wel een positieve invloed en bleven de overeenkomstige NO₃-N-concentraties in het bodemwater onder de norm. Vergelijkbare resultaten werden bekomen voor de twee andere percelen. Na het inploegen van de groenbemester werd wel een stijging van de NO₃-N-concentraties in het bodemwater vastgesteld (perceel 259, 2001 en perceel 266, 2000).



Figuur 3 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor perceel 259 (wintertarwe - wintertarwe - gele mosterd)



Figuur 4 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor het perceel 266 (wintertarwe – gele mosterd – suikerbieten)

Zandleembodems

Tabel 5 toont een overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de proefvelden op zandleembodems.

Tabel 5 Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis

Locatie (nummer)	Jaar	Teelt	Minerale bemesting	Organische bemesting
Ottenburg (veld 262)	2000	Mais	30 kg N ha ⁻¹	25 ton/ha RSM (120 kg N ha ⁻¹)* (midden maart) 40 ton/ha RDM (192 kg N ha ⁻¹)* (28 april)
	2001	Mais	50 kg N ha ⁻¹	50 ton/ha RDM (240 kg N ha ⁻¹)* (15 mei)
Geetbets (veld 263)	2000	Wintertarwe	66 kg N ha ^{-1****}	Imploegen groenbemester najaar 1999
	2001	Suikerbieten	52 kg N ha ⁻¹	22 ton/ha VDM (110 kg N ha ⁻¹)** (april)
Bekkevoort (veld 264)	2000	Wintertarwe Raaigras	207 kg N ha ^{-1****} Geen	Geen 15 ton/ha VDM (100 kg N ha ⁻¹)** (17 aug, zaai 19 aug)
	2001	Aardappelen	266 kg N ha ⁻¹	Geen
Tielt-Winge (veld 265)	2000	Graasweide Omweiden	300 kg N ha ^{-1****}	Geen, Tot eind sept
	2001	Graasweide Omweiden	Geen	Geen, Tot 30 aug
Elverdinge Drain 70cm (veld 7)	2000	Prei	22 kg N ha ⁻¹	35 ton /ha VDM (284 kg N ha ⁻¹)* (juni)
	2001	Aardappelen Gras	80 kg N ha ⁻¹ Geen	26 ton /ha VDM (211 kg N ha ⁻¹)* (15 mei) Geen (zaai 20 okt)
Elverdinge (veld 8)	2000	Bloemkool	22 kg N ha ⁻¹	40 ton/ha RDM (192 kg N ha ⁻¹)* (mei)
	2001	Mais	54 kg N ha ⁻¹	25 ton /ha VDM (203 kg N ha ⁻¹)* (mei)

*: totale N forfaitair berekend, **: totale N mestanalyse, ***: gefractioneerd
RDM: runderdrijfmest, RSM: runderstalmest, VDM: varkensdrijfmest

Perceel 262: maïs - maïs

Dit perceel is een typisch maïsperceel (monocultuur), waarbij de N-bemesting voor het grootste deel ingevuld wordt met dierlijke mest (runderdrijfmest en stalmest). Het gehalte aan nitraatstikstof in het bodemprofiel nam na de oogst (5 oktober 2000) sterk toe wat gedeeltelijk verklaard kan worden door N-mineralisatie, waarna een sterke daling volgde. Dit nitraatstikstofverlies weerspiegelde zich in NO₃⁻-N-concentraties van het bodemwater, die de norm duidelijk overschreden (**Figuur 5**). Ook bij metingen in juni en juli 2001 werd de norm niet gehaald, waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de maïs (gezaaid op 21 mei) nog niet voldoende in staat was om de aangeboden N op te nemen.

Tijdens de tweede meetperiode (oktober 2001 - maart 2002) was de maximale NO₃⁻-N in het bodemprofiel iets geringer, met lagere nitraatconcentraties in het bodemwater tot gevolg.

Perceel 265: graasweide

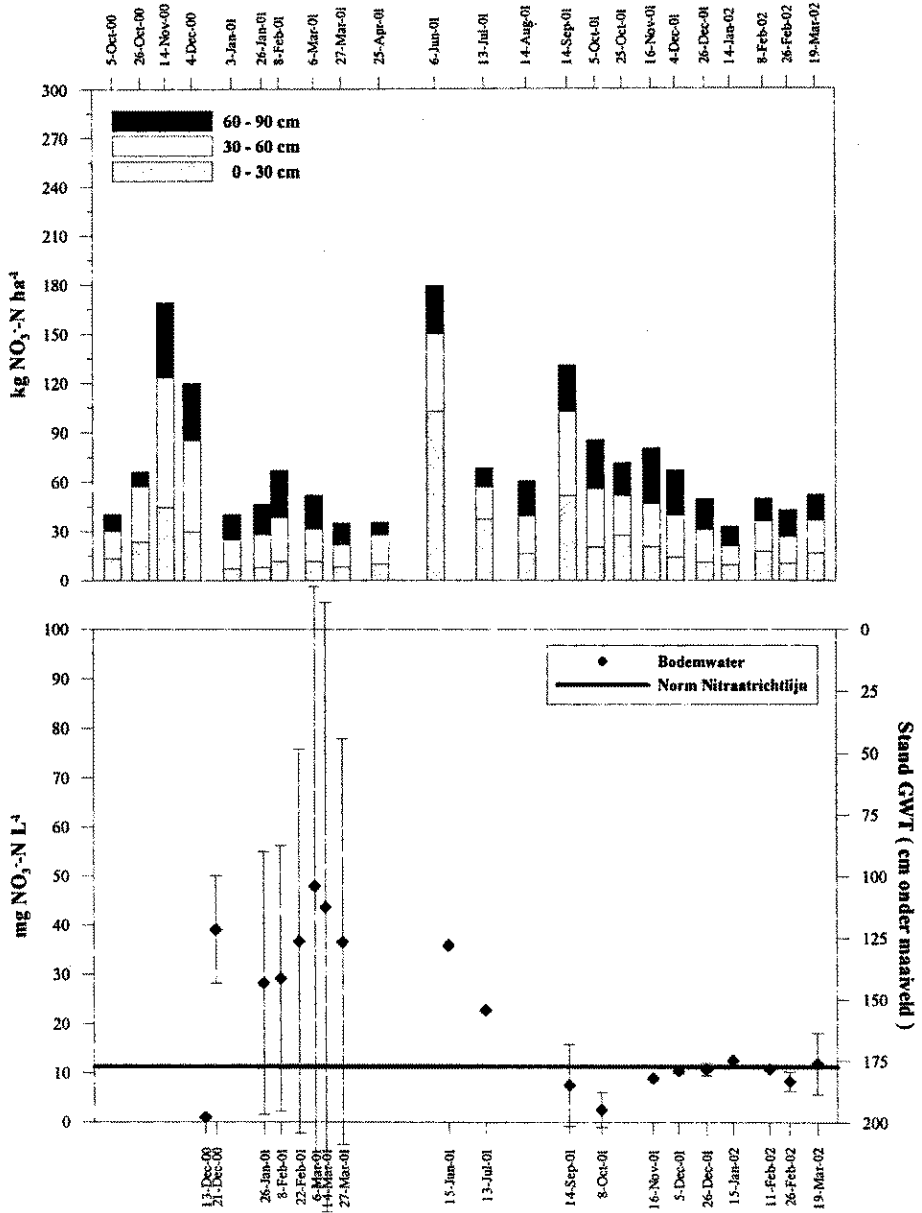
Deze weide ligt in een valleigebied en is voor het grootste deel van de winter waterverzadigd. Dit perceel werd uitgebaat als graasweide gedurende de periodes van juni tot eind september 2000 en van juni tot eind augustus 2001. Wegens de voortdurende wateroverlast werd de weide in 2001 niet bemest. De nitraatconcentratie in het bodemwater bleef steeds onder de norm (Figuur 6). Door de min of meer permanente waterverzadiging zal de denitrificatie wellicht hoog zijn.

Perceel 8: bloemkool - maïs

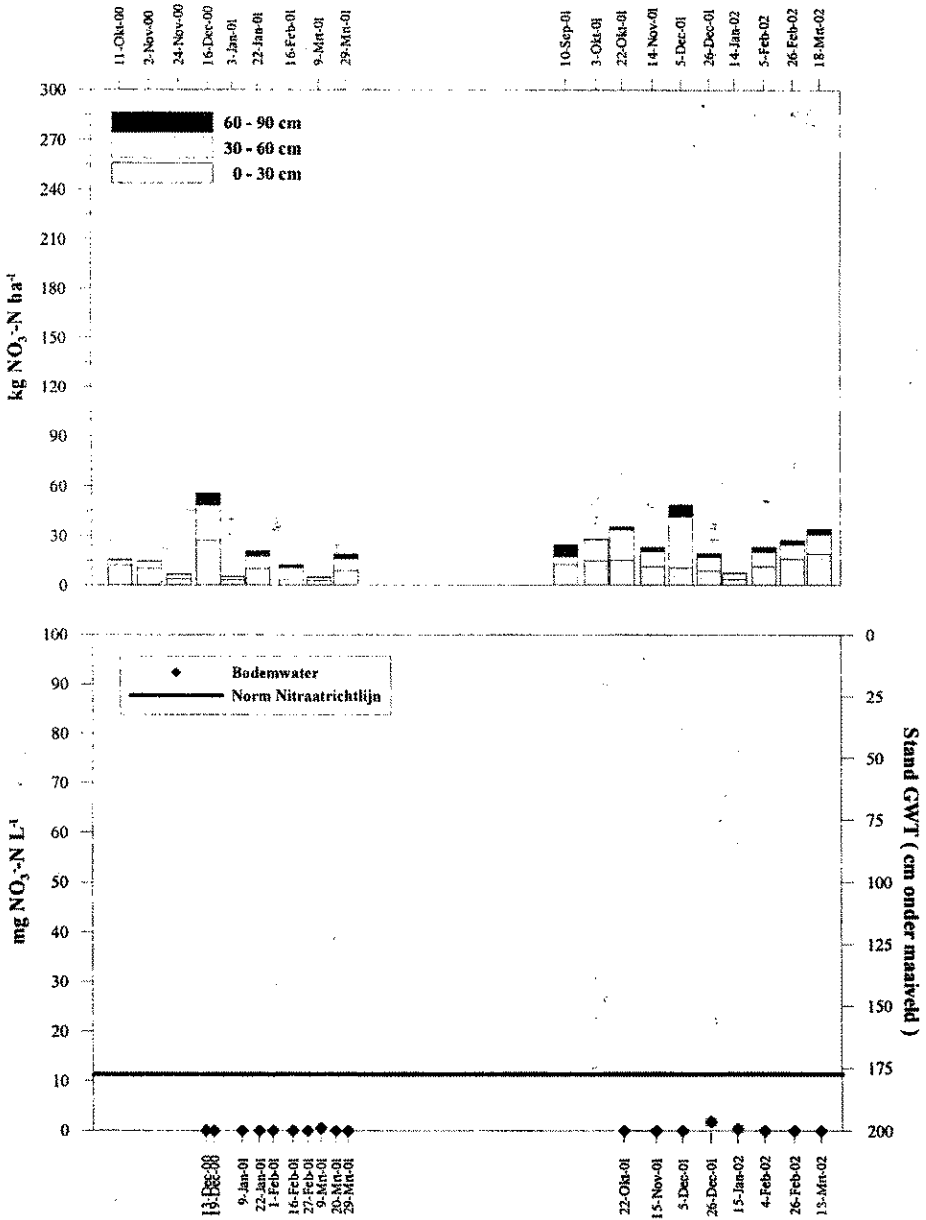
Het $\text{NO}_3\text{-N}$ gehalte in het bodemprofiel bleef na de oogst van de bloemkolen vrij constant. De nitraatconcentratie in het bodem- en grondwater daarentegen nam gestaag toe. Mineralisatie van oogstresten kan hiervan de oorzaak zijn. Tussen beide meetperiodes werden drainagebuizen in het perceel aangebracht zodat tijdens de tweede winterperiode ook dit perceel gedraineerd was. Het perceel waterde af naar dezelfde moerbuis als perceel 7 (prei - aardappelen - gras). Opvallend is dat de nitraatconcentratie in het grondwater dubbel zo hoog is als deze in het bodemwater (Figuur 7).

Besluit

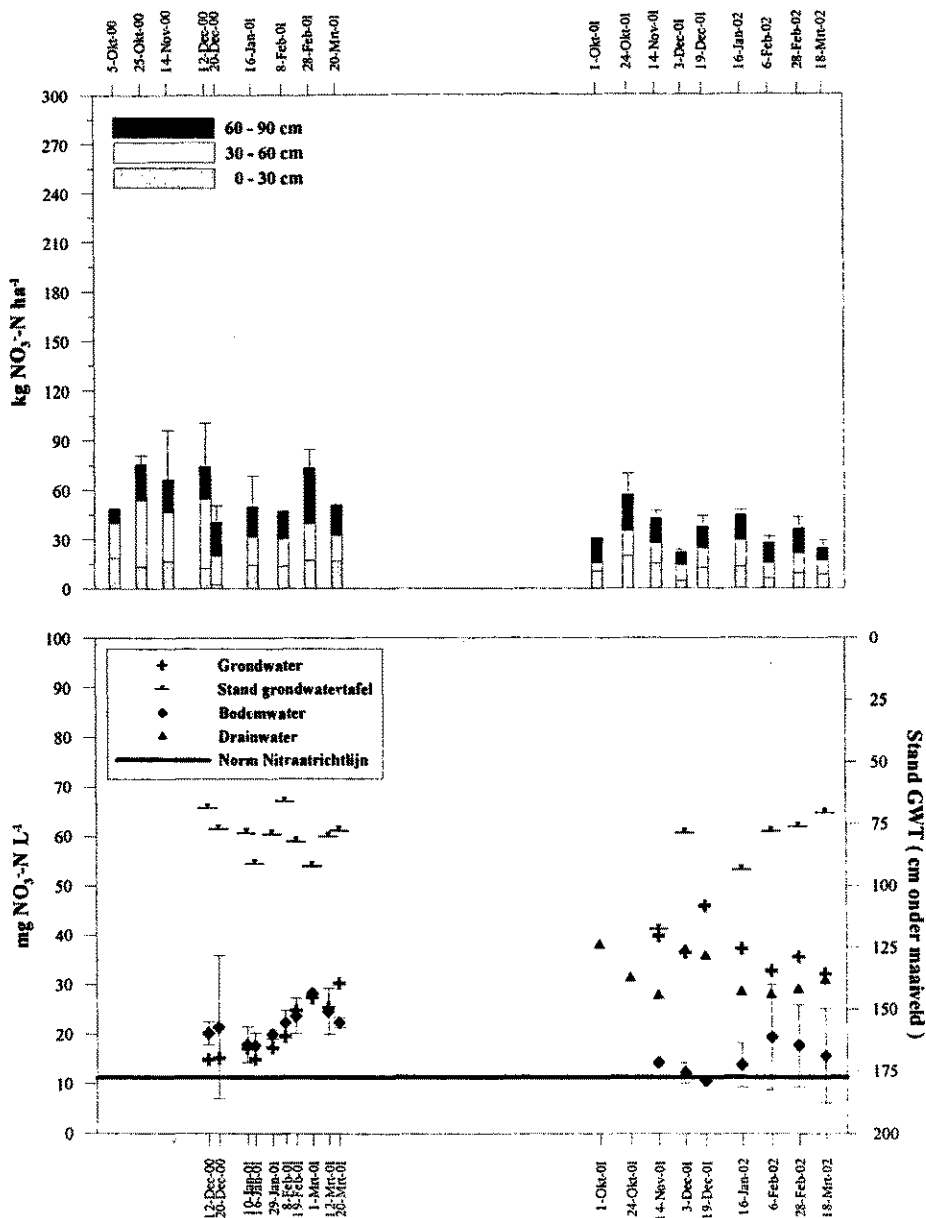
Ook hier leverden hoge $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalten in het bodemprofiel te hoge concentraties in het grond-, bodem- en drainwater (perceel 262, 2000). De N-vrijstelling door mineralisatie van makkelijk afbreekbare oogstresten (zoals bloemkoolbladeren) kan een grote invloed hebben op het verloop van de N-voorraad in het najaar en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's in het bodem- en grondwater (perceel 8, 2000). Idealiter zouden deze gewasresten van het perceel moeten verwijderd worden om N-verliezen naar het grondwater te minimaliseren, maar deze oplossing is moeilijk haalbaar in de praktijk. Percelen met begroeiing in het najaar (weide) kennen minder problemen met te hoge nitraatconcentraties in het grond- en oppervlaktewater (perceel 265).



Figuur 5 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor perceel 262 (maïs – maïs)



Figuur 6 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater (onder) voor perceel 265 (grasweide)



Figuur 7 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertafel (onder) voor perceel 8 (bloemkool – maïs)

Zandbodems

Tabel 6 toont de recente (bemestings)voorgeschiedenis van de proefvelden op zandbodems.

Tabel 6 Overzicht van de recente (bemestings)voorgeschiedenis

locatie	Jaar	Teelt	Minerale bemestingen	Organische bemestingen
Kasterlee Drain 110cm (veld 255)	2000	Mais (na maaiweide)	36 kg N ha ⁻¹	55 ton/ha RDM (264 kg N ha ⁻¹)* (10 mei)
	2001	Aardappelen	108 kg N ha ^{-1****}	40 ton/ha RDM (192 kg N ha ⁻¹)** (9 mei)
Gras		Geen	30 ton/ha RDM (144 kg N ha ⁻¹)* (28 aug, zaai 1 sep)	
Kasterlee (veld 256)	2000	Raaigras	Geen	Geen
		Aardappelen	41 kg N ha ⁻¹	50 ton/ha VDM (405 kg N ha ⁻¹)* (april)
2001	Wortelen	Geen	31 ton/ha VDM+ZDM (210 kg N ha ⁻¹)* (14 april)	
	Gras	Geen	Geen (zaai 24 sep)	
Oost-Malle Drain 70cm (veld 257)	2000	Maai- en graasweide	260 kg N ha ^{-1****}	24 ton/ha RDM (115 kg N ha ⁻¹)* (14 maart)
				18 ton/ha RDM (86 kg N ha ⁻¹)* (12 mei)
2001	Maai- en graasweide	321 kg N ha ^{-1****}	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (21 juni)	
			Tot eind sept	
2001	Maai- en graasweide	321 kg N ha ^{-1****}	25 ton/ha RDM (120 kg N ha ⁻¹)* (6 maart)	
			20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (31 mei)	
2001	Beperkt omweiden	321 kg N ha ^{-1****}	18 ton/ha RDM (86 kg N ha ⁻¹)* (3 aug)	
			Tot begin november	
Lichtaart (veld 261)	2000	Maai- en graasweide	243 kg N ha ^{-1****}	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (14 maart)
		Omweiden		Tot begin nov
2001	Maai- en graasweide	108 kg N ha ^{-1****}	20 ton/ha RDM (88 kg N ha ⁻¹)** (7 maart)	
			18 ton/ha KDM (99 kg N ha ⁻¹)** (19 mei)	
2001	Omweiden	108 kg N ha ^{-1****}	Tot eind september	
Assenede (veld 5)	2000	Mais	54 kg N ha ⁻¹	50 ton /ha RDM (240 kg N ha ⁻¹)* (6 mei)
	2001	Mais	90 kg N ha ⁻¹	34 ton /ha RDM (163 kg N ha ⁻¹)* (6 mei)
St-Laureins (veld 6)	2000	Graasweide	432 kg N ha ^{-1****}	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (15 maart),
		Omweiden		Tot half oktober
2001	Graasweide	270 kg N ha ^{-1****}	20 ton/ha RDM (96 kg N ha ⁻¹)* (17 maart)	
			Omweiden	Tot half november

*: totale N forfaitair berekend, **: totale N mestanalyse, ***: gefractioneerde bemesting
KDM: konijnendrijfmest, RDM: runderdrijfmest, VDM: varkensdrijfmest, ZDM: zeugen-
drijfmest

Perceel 255: maïs - aardappelen - gras

Het nitraatstikstofresidu na maïs (2000) was laag en de nitraatstikstofconcentratie in grond- en bodemwater bleef dan ook onder de norm (Figuur 8).

Onder aardappelen was de benutting van de stikstof geringer met een hoger NO_3^- -N-residu tot gevolg bij het rooien (20 augustus 2001). Vlak voor het inzaaien van het gras (1 september 2001) werd 30 ton runderdrijfmest (144 kg N ha^{-1} , forfaitair berekend) toegediend. Het verloop van de nitraatconcentratie in bodem-, grond- en drainwater toont aan dat het gras niet in staat was deze N ten volle te benutten zodat de nitraatstikstofconcentraties in het water de norm overstegen. Gedurende de winter is een duidelijke daling van de nitraatstikstofconcentratie vast te stellen.

Perceel 256: aardappelen - wortelen - gras

Ondanks de lage stikstofresidu's in het bodemprofiel oversteeg de nitraatstikstofconcentratie in het bodem- en grondwater de norm tot begin februari 2001 (Figuur 9).

Ook na wortelen was het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem laag. Mede door het gras, bleef de nitraatstikstofconcentratie in grond- en bodemwater onder de norm.

Perceel 261: maai- en graasweide

De lage gehalten aan nitraatstikstof in het bodemprofiel gaven gedurende beide winters geen aanleiding tot overschrijding van de norm in het bodem- en grondwater (Figuur 10).

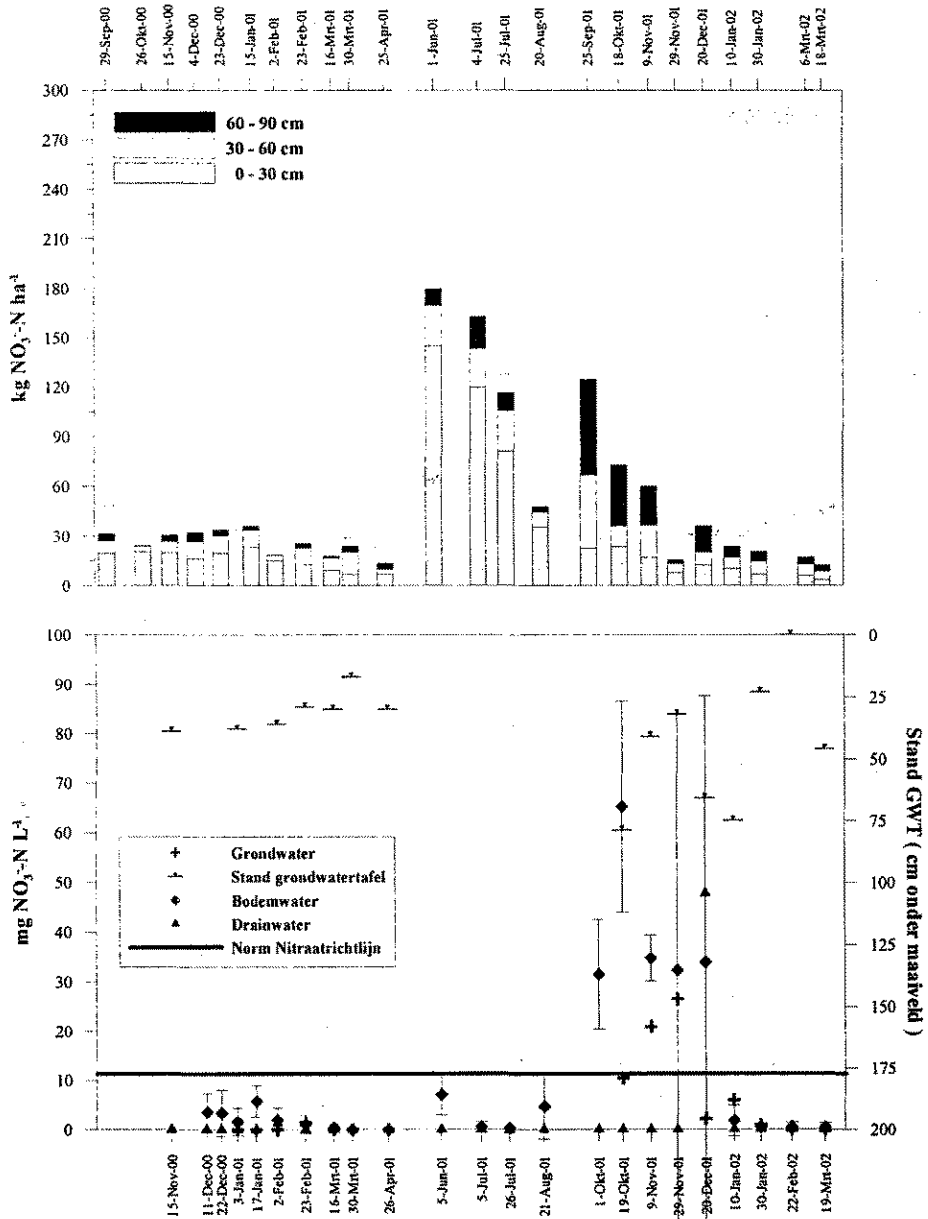
Perceel 5: maïs - maïs

De hoge NO_3^- -N-gehalten na de oogst (4 oktober 2001) resulteerden in zeer hoge nitraatconcentraties in het bodem- en grondwater (

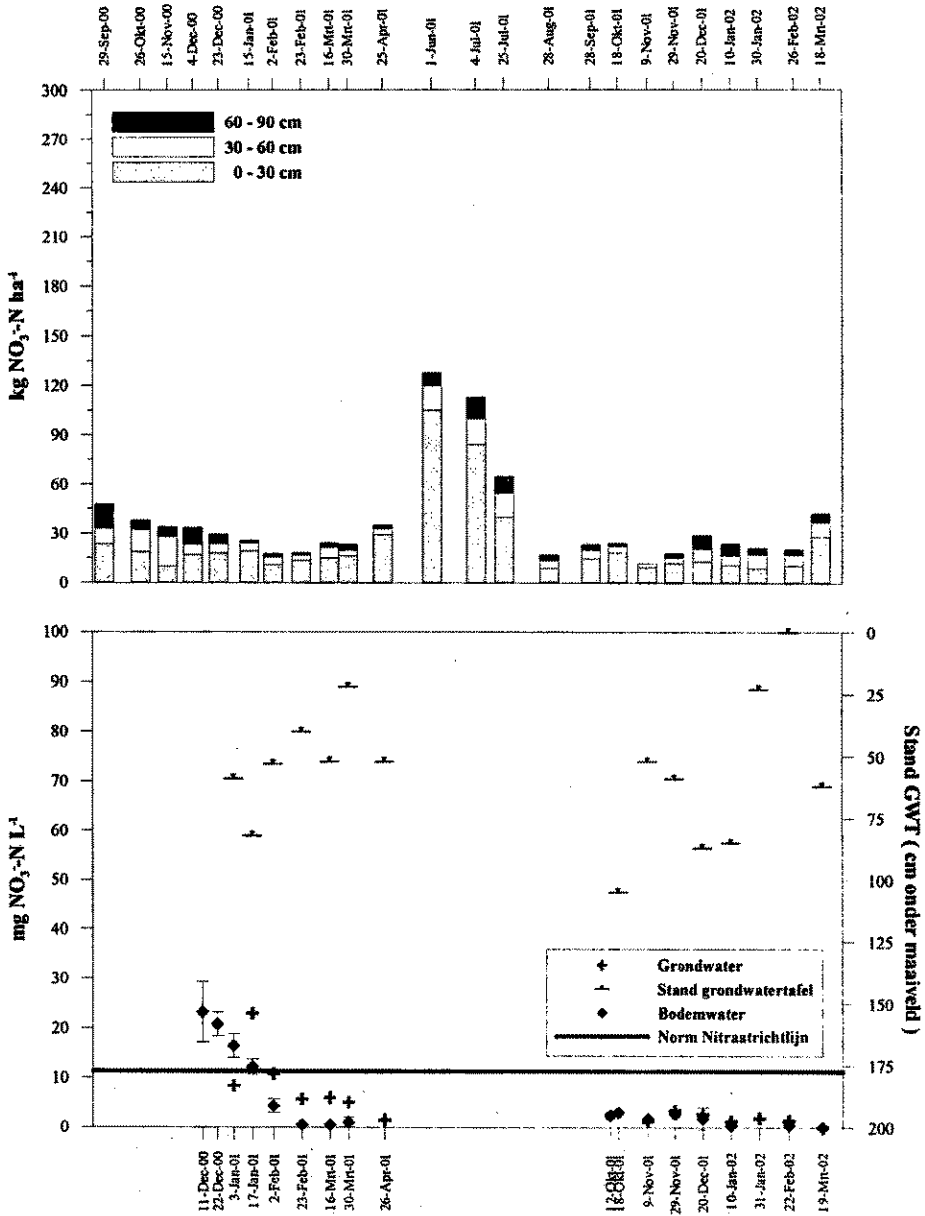
Figuur 11). Tijdens de tweede meetperiode lagen de stikstofresiduwaarden heel wat lager, maar werd de norm toch nog overschreden.

Besluit

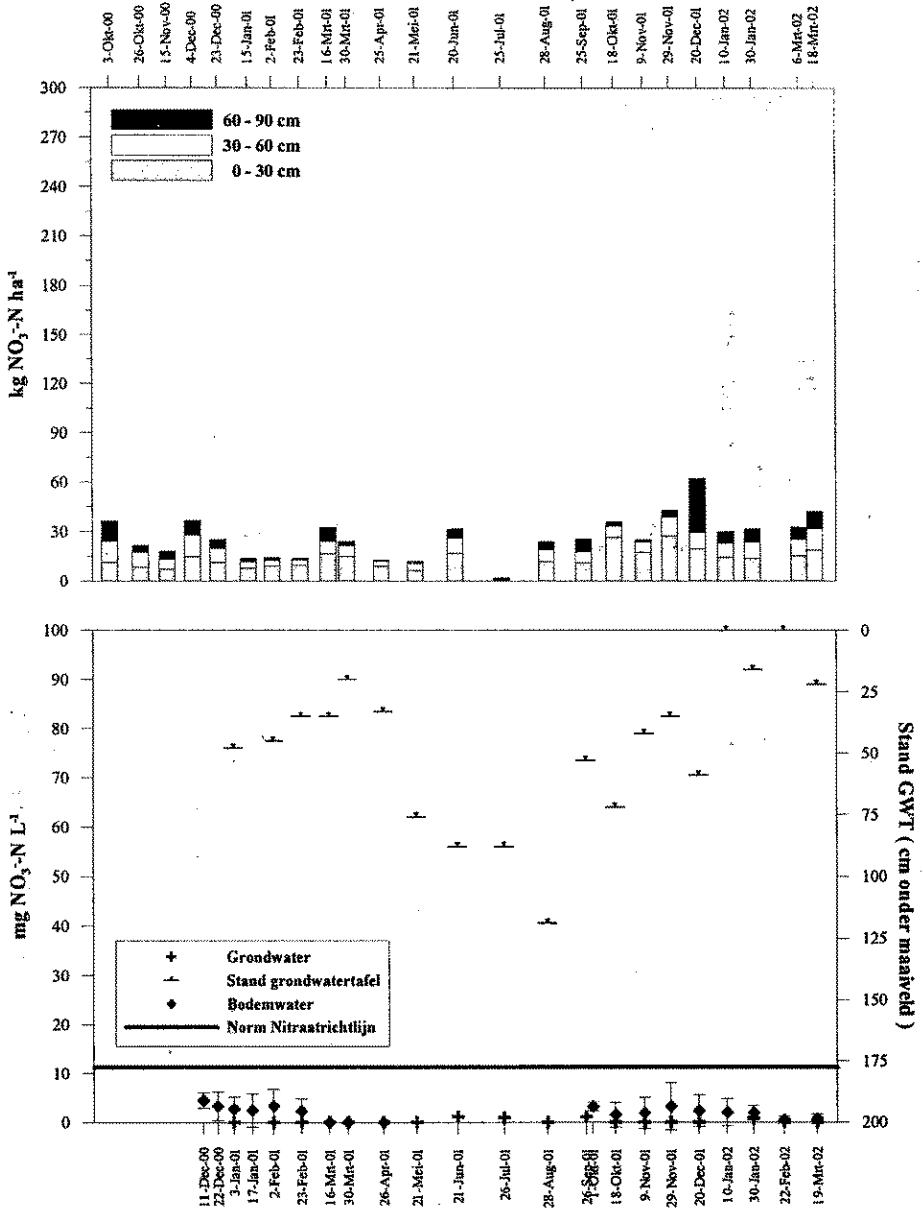
Vier van de 6 zandbodems hadden lage tot zeer lage NO_3^- -N-residu's ($< 60 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$) gedurende de twee winters en de concentraties in het bodem-, grond- en drainwater bleven meestal onder de norm. De hoge nitraatstikstofresidu's van perceel 255 in de winter 2001-2002 en perceel 5 in de winter 2000-2001 resulteerden in een duidelijke overschrijding van de norm. Bij het toepassen van een groenbemester zal het positieve effect op de beperking van de NO_3^- -N-relikwaten beïnvloed worden, niet alleen door het zaaitijdstip, maar eveneens door het al dan niet toedienen van een bemesting. Dit wordt geïllustreerd door de velden 255 (supplementaire bemesting en overschrijding van de normen) en 256 (geen supplementaire bemesting en geen overschrijding van de normen). Onder gras worden vaak lage NO_3^- -N-residu's teruggevonden met overeenstemmend lage NO_3^- -N-concentraties in het bodem- en grondwater (perceel 261).



Figuur 8 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater, NO₃-N-concentratie in het drainwater en stand grondwatertaf (onder) voor perceel 255 (maïs - aardappelen - gras)



Figuur 9 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (hoben) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor perceel 256 (aardappelen - wortelen - gras)



Figuur 10 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel (tot 90 cm, in lagen van 30 cm) (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie met standaardafwijking in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwatertafel (onder) voor perceel 261 (maai- en grasweide)

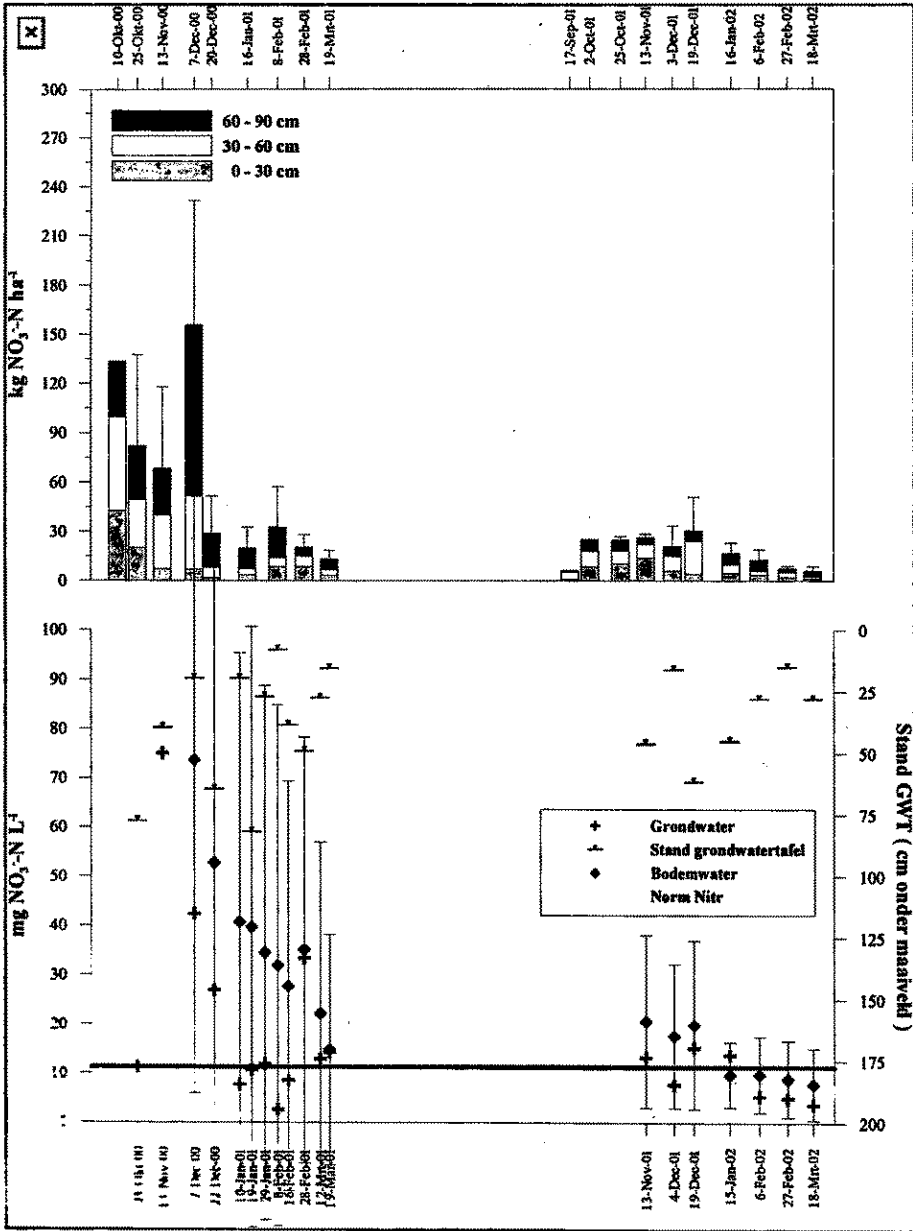


Figure 11 Verloop van het gehalte aan NO₃-N in het bodemprofiel met standaardafwijking van 30 cm (boven) en het verloop van de gemiddelde NO₃-N-concentratie in het bodemwater, gemiddelde NO₃-N-concentratie in het grondwater en stand grondwater tafel (onder) voor perceel 5 (maïs - maïs)

Verband tussen het nitraatstikstofgehalte in de bodem en de nitraatstikstofconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Met behulp van het gemeten nitraatstikstofgehalte in de bodem en het vochtgehalte kan de nitraatstikstofconcentratie van het totale bodemwater (mobiel + immobiel water) berekend worden. Deze berekende waarde geeft een idee van de nitraatstikstofconcentratie in een bepaalde bodemlaag (Addiscott, 1990). Bij het vergelijken van de resultaten van de berekende nitraatstikstofconcentratie en gemeten in het bodemwater bemonsterd met suction cups moet men zich wel bewust zijn dat het grondstaal representatief is voor de bodemlaag van 60-90 cm, daar waar een suction cup het bodemwater opzuigt op 90 cm beneden het maaiveld. Daarnaast zijn de nitraatstikstofconcentraties van het bodemwater van de suction cups resultaten van puntmetingen terwijl het bodemstaal een mengstaal is van een aantal boringen op diverse locaties in het perceel.

Verband tussen de nitraatconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Door het opstellen van een correlatiematrix kan nagegaan worden of er een significante correlatie bestaat tussen de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het grond-, bodem- en drainwater. **Tabel 7** toont de correlatiematrix, zoals die berekend werd wanneer alle metingen tussen 1 oktober en 31 maart in beschouwing werden genomen. Hierbij is het bodemwater afkomstig van de suction cups.

Tabel 7 Correlatiematrix voor grond-, bodem- en drainagewater

		grondwater	bodemwater	drainwater
grondwater	Pearson Correlation	1.000	.681**	.348**
	Sig. (2-tailed)		.000	.003
	N	218	188	71
bodemwater	Pearson Correlation	.681**	1.000	.035
	Sig. (2-tailed)	.000		.757
	N	188	354	79
drainwater	Pearson Correlation	.348**	.035	1.000
	Sig. (2-tailed)	.003	.757	
	N	71	79	96

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Uit **Tabel 7** blijkt dat de correlatie tussen het grond- en bodemwater het hoogst is ($R = 0.681$) en dat dit verband significant is voor $\alpha < 0.001$. Het verband tussen grond- en drainwater is ook significant, terwijl de correlatie tussen bodem- en drainwater niet significant is. Hierbij dient opgemerkt dat het aantal meetpunten voor drainwater relatief beperkt is en dat de herkomst van dat drainwater niet altijd ondubbelzinnig gekend is.

Verband tussen het gehalte aan nitraatstikstof in de bodem en de nitraatstikstofconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Er kan eveneens nagegaan worden of er een verband bestaat tussen het nitraatgehalte in het bodemwater, berekend uit het gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ - en vochtgehalte in de

metingen en de gemeten nitraatconcentratie in het bodem-, grond- en drainwater. Tabel 8 toont de correlatiematrix, zoals die berekend werd wanneer alle metingen in beschouwing werden genomen.

Tabel 8 Correlatie tussen de berekende $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in de laag 60-90 cm en het grond-, bodem- en drainwater

		grondwater ppm	bodemwater ppm	drainwater ppm
berekende concentratie	Pearson Correlation	.481**	.495**	-.004
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.972
	N	170	236	77

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

De correlatie tussen de berekende concentratie in het bodemwater van de laag 60-90 cm (uitgedrukt als $\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) en de gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het bodemwater is het hoogst en significant voor $\alpha < 0.001$. Dat beide concentraties een verband vertonen is niet verwonderlijk, daar de poreuze cups die gebruikt worden om het bodemwater te bemonsteren, op een diepte van 90 cm geplaatst werden. Deze cups zijn enkel in staat om, afhankelijk van de aangelegde onderdruk, (een deel van) het mobiele bodemwater te bemonsteren. Een vergelijkbare significante correlatie werd tevens gevonden met de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het ondiepe grondwater.

Tussen de berekende concentratie van het bodemwater en de gemeten concentratie in het drainwater kon geen verband vastgesteld worden. Hierbij dient vermeld dat de herkomst van het drainwater niet exact gekend is en eventueel, naast het beschouwde veld, ook van andere velden kan afkomstig zijn.

Verband tussen nitraatstikstofresidu in de bodem en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie in het bodem-, grond- en drainwater

Er werd tevens onderzocht of er significante verbanden konden gevonden worden tussen het nitraatstikstofresidu in het bodemprofiel in oktober en de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het bodem-, grond- en drainwater. De gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheid van de eerste 2 metingen na 1 oktober van elke meetperiode werd hiervoor in beschouwing genomen. Deze waarden werden gecorreleerd met de $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het grond-, bodem- en drainwater, zoals die opgemeten werden tussen begin oktober en eind maart.

Tabel 9 toont de correlatiematrix en daaruit blijkt dat de correlatie tussen de gemeten concentratie in het grond-, bodem- en drainwater het hoogst is met het gemeten gehalte aan $\text{NO}_3\text{-N}$ in de laag 30-90 cm.

Tabel 9 Correlatie tussen het gehalte aan $\text{NO}_3\text{-N}$ in de bodem, gemeten in oktober, en de gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties in het grond-, bodem- en drainwater

		grondwater ppm	bodemwater ppm	drainwater ppm
NO ₃ -N-residu (laag 0-30 cm)	Pearson Correlation	.242**	.264**	.281**
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.009
	N	194	324	86
NO ₃ -N-residu (laag 30-60 cm)	Pearson Correlation	.386**	.363**	.372**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	194	324	86
NO ₃ -N-residu (laag 60-90 cm)	Pearson Correlation	.399**	.343**	.365**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
NO ₃ -N-residu (laag 0-60 cm)	Pearson Correlation	.332**	.334**	.344**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
NO ₃ -N-residu (laag 30-90 cm)	Pearson Correlation	.404**	.367**	.385**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
	N	194	324	86
NO ₃ -N-residu (laag 0-30 en 60-90 cm)	Pearson Correlation	.335**	.330**	.343**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86
NO ₃ -N-residu (laag 0-90 cm)	Pearson Correlation	.363**	.352**	.363**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001
	N	194	324	86

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

BESLUIT

Op basis van de meetresultaten op de 20 meetsites, representatief voor de meest voorkomende 'bodem-gewas-hydrologie' combinaties in Vlaanderen, kan er op de meeste sites een daling van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -inhoud van het bodemprofiel vastgesteld worden in de loop van de winter. Aangezien dit gepaard gaat met een verplaatsing van de $\text{NO}_3\text{-N}$ bulk, wijst dit op een migratie van de nitraatstikstof naar de diepere bodemlagen en het bovenste grondwater.

De grote moeilijkheid in het bepalen van nitraatverliezen door uitspoeling is de grote variabiliteit van residuele $\text{NO}_3\text{-N}$ in het bodemprofiel en het simultaan optreden van verschillende N-transformatieprocessen. Tot deze processen behoren nitrificatie, denitrificatie, mineralisatie en immobilisatie.

Stikstofinput, groeiomstandigheden, weersomstandigheden en bodemtype hebben een groot effect op N-transformatieprocessen en beïnvloeden bijgevolg de hoeveelheden nitraatstikstof die uiteindelijk worden uitgespoeld. Naast weersomstandigheden, voorgeschiedenis van het perceel en bodemkarakteristieken, worden N-drainageverliezen beïnvloed door de hoeveelheid en distributie van minerale stikstof in het bodemprofiel.

In het huidige Mestactieplan is een residueel $\text{NO}_3\text{-N}$ gehalte van 90 kg N ha⁻¹ tot op een diepte van 90 cm toegelaten in de periode tussen 1 oktober en 15 november. In het najaar werd deze norm op meerdere percelen gehaald. De lage residuele nitraatgehalten in de bodem vertalen zich tevens in relatief lage nitraatconcentraties in

het bodemwater (metingen suction cups), het bovenste grondwater (peilbuizen) of in het drainwater. Deze relatie is evenwel niet steeds even duidelijk: op een aantal velden worden ondanks de lage nitraatresiduwaarden hoge nitraatconcentraties in het bodemwater gemeten. Dit leidt tot significante maar toch relatief lage correlatiecoëfficiënten tussen residuele $\text{NO}_3\text{-N}$ in het bodemprofiel en de concentraties in het bodem-, grond en drainwater. Indien de hiervoor vernoemde N-transformatieprocessen in rekening gebracht worden, kunnen duidelijk hogere correlaties verwacht worden. Deze gegevens uit de praktijk waren dan ook onontbeerlijk om de toegelaten $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheden in het bodemprofiel in het najaar af te leiden en meer genuanceerd te benaderen.

REFERENTIES

- Addiscott, T.M. (1990). Measurement of nitrate leaching: a review of methods. In: Calvet, R. (ed.), *Nitrates – agriculture – eau*, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 157 –168.
- Alberts, A.E., Burwell, R.E. and Schuman, G.E. (1977). Soil nitrate-nitrogen determined by coring and solution extracting techniques. *Agric. Water Manag.*, 34: 1-16.
- Anoniem (1991). Council directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources.
- Anoniem (1991). Decreet van 23 januari 1991 inzake de bescherming van het leefmilieu tegen verontreiniging door meststoffen (B.S., 28 februari 1991), zoals gewijzigd bij de decreten van 25 juni 1992 (B.S., 11 juli 1992), van 18 december 1992 (B.S., 29 december 1992), van 22 december 1993 (B.S., 29 december 1993), van 19 december 1997 (B.S., 30 december 1997), 11 mei 1999 (B.S., 20 augustus 1999) en van 3 maart 2000 (B.S., 30 maart 2000).
- Djurhuus, J. en Jacobsen, O.H. (1995). Comparison of ceramic cups and KCl extraction for the determination of nitrate in soil. *Journal of Soil Science*, 46: 387-395.
- Grossmann, J. en Udluft, P. (1991). The extraction of soil water by the suction cup method: a review. *Journal of Soil Science*, 42: 83-94.
- Webster, C.P., Sheppard, M.A., Goulding, K.W.T. en Lord, E. (1993). Comparisons of methods for measuring the leaching of mineral nitrate from arable land. *Journal of Soil Science*, 44: 49-62.