



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

ALTEIRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

ICW nota 1799

augustus 1987

NITRAATGEHALTEN IN GROND- EN OPPERVLAKTEWATER VAN EEN INTENSIEF
RUNDVEEHOUDERIJBEDRIJF IN RELATIE TOT DE HYDROLOGISCHE SITUATIE
Projektgroep Zuidelijk Peelgebied 48

ir. J.H.A.M. Steenvoorden

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING	1
2. BESCHRIJVING ONDERZOEKSLOKATIE	2
2.1. Ligging en bedrijfsgegevens	2
2.2. Geologische en geohydrologische situatie	4
3. UITGEVOERDE DEELONDERZOEKEN WATERKWALITEIT	8
3.1. Algemeen	8
3.2. Resultaten deelonderzoeken	
3.2.1. Freatisch grondwater	8
3.2.2. Greppel- en slootwater	11
3.2.3. Dieper grondwater	12
3.2.4. Denitrificatie in grondwater	16
4. DISCUSSIE	21
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	23
6. LITERATUUR	24
7. BIJLAGEN	25

ALTEERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING

Bij de bescherming van grond- en oppervlaktewater tegen verontreiniging neemt in Nederland nitraat een belangrijke plaats in vanwege de risico's voor de volksgezondheid en voor de kwaliteit van het natuurlijke milieu. Voor het voeren van een beschermingsbeleid is kennis nodig van de optredende processen, zodat de maatregelen kunnen worden afgestemd op maximaal toelaatbare belasting van grond- en oppervlaktewater in het beschouwde gebied.

Onder invloed van het sterk toegenomen kunstmest-N verbruik en de overschotten aan dierlijke meststoffen is nitraatuitspoeling onder landbouwgrond een ernstige problematiek geworden, vooral bij zandgronden met een diepe grondwaterstand (o.a. STEENVOORDEN, 1983). De gevolgen voor de kwaliteit van het diepere grondwater en het oppervlaktewater worden behalve door bemesting, grondgebruiksvorm, grondsoort en grondwaterstand eveneens bepaald door de optredende processen in grond- en oppervlaktewater. Deze laatste processen zijn gebiedsspecifiek omdat zij afhankelijk zijn van verblijftijden in grond- en oppervlaktewater en dus van de hydrologische situatie. Bestudering van de gevolgen van bemesting voor de nitraatbelasting van grond- en oppervlaktewater dient daarom plaats te vinden in samenhang met de hydrologische situatie in een gebied. Dit type onderzoek is tot nu toe weinig uitgevoerd in verband met de benodigde onderzoekscapaciteit.

In het kader van het onderzoek naar optimalisatie van regionaal waterbeheer in de Zuidelijke Peel zijn vanuit meerdere disciplines bij het ICW onderzoeksgegevens verzameld bij een intensief rundveehouderijbedrijf welke benut kunnen worden om inzicht te krijgen in de samenhang tussen de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater ten aanzien van nitraat en de processen in de ondergrond. In deze nota zullen de beschikbare gegevens daartoe worden geordend en bediscussieerd.

2. BESCHRIJVING ONDERZOEKSLOKATIE

2.1. Ligging en bedrijfsgegevens

Het bedrijf ligt circa 1,5 km ten oosten van Deurne (fig. 1) en heeft een oppervlakte van circa 15 ha. De ontginning van de grond heeft plaats gevonden omstreeks 1928 in opdracht van de gemeente Deurne, die daarna de grond in erfpacht heeft uitgegeven aan de vader van de huidige gebruiker. Tot aan het einde van de zestiger jaren was

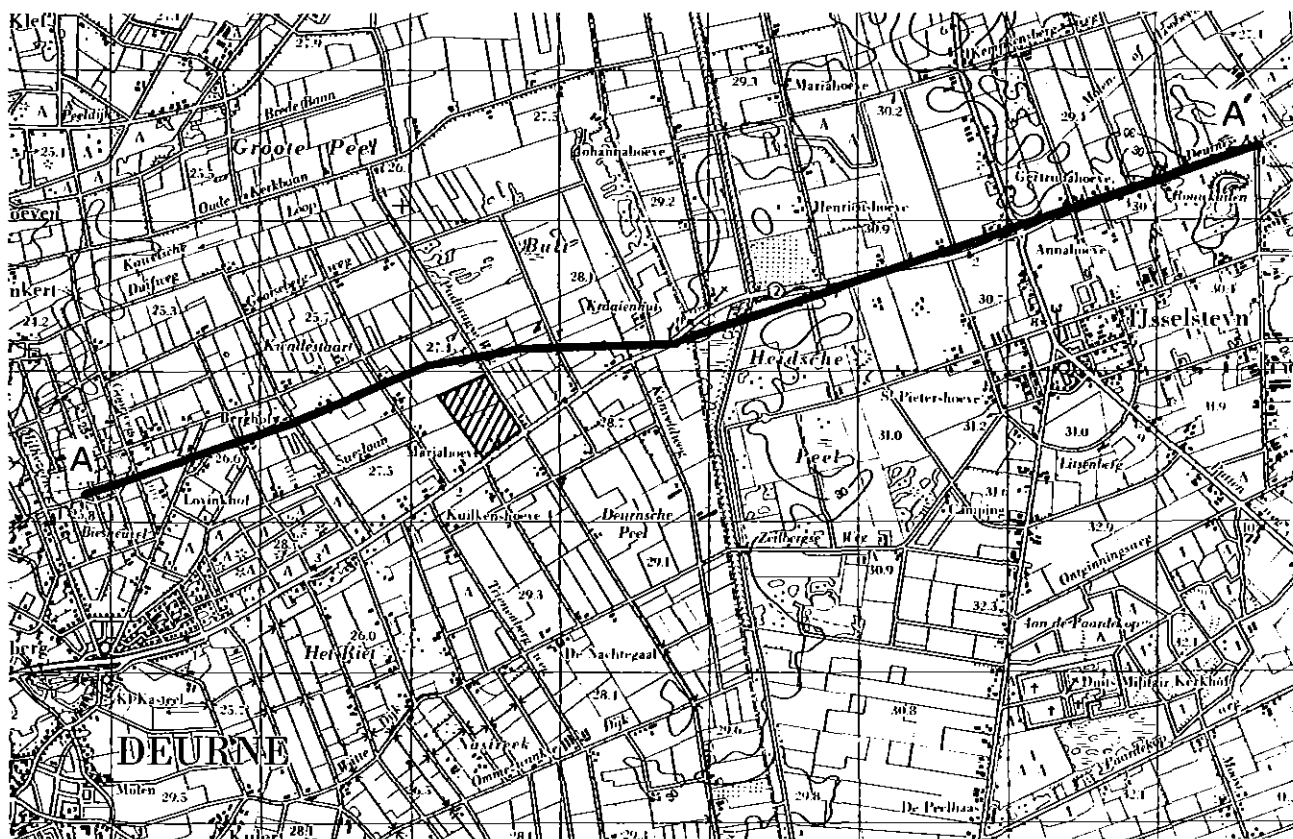


Fig. 1. Ligging van het bedrijf en schets van de geologische dwarsdoorsnede A-A1 (zie figuur 3)

het een gemengd bedrijf bestaande uit 3 à 4 ha grasland en de rest bouwland met als gewassen rogge, haver, suikerbieten en aardappelen. In het begin van de jaren zeventig is alle bouwland omgezet in grasland waarbij het aantal melkkoeien al snel 40 stuks bedroeg. Geleidelijk is het aantal melkkoeien opgelopen tot 70 stuks en zijn sinds 1968 300 mestvarkens aan de veestapel toegevoegd. De veebezetting op basis van melkkoeien en bijbehorend jongvee bedroeg in het begin van de jaren tachtig circa 5,5 grootvee-eenheid. Een deel van de varkensmest wordt afgevoerd naar akkerbouwgrond in de omgeving.

Het stikstofverbruik lag vóór 1940 op circa 100 à 125 kg N/ha.jaar in de vorm van kalkammonsalpeter. Momenteel wordt jaarlijks circa 400 kg N/ha gegeven. In het jaar 1981 is gemiddeld over het bedrijf circa 490 kg N/ha toegediend. Daarnaast wordt drijfmest uitgereden. In 1981 bedroeg dit circa 30 m³ varkensdrijfmest. Het grasland wordt regelmatig gescheurd in het voorjaar. Tijdens de winterperiode wordt op de percelen, die in aanmerking komen om te worden gescheurd, circa 100 m³ drijfmest uitgereden per ha. Het scheuren gebeurt meestal 1 maal per circa 6 jaar.

Een schets van de indeling van het bedrijf, de ligging van de woning en bedrijfsgebouwen en van de sloten en greppels geeft figuur 2.

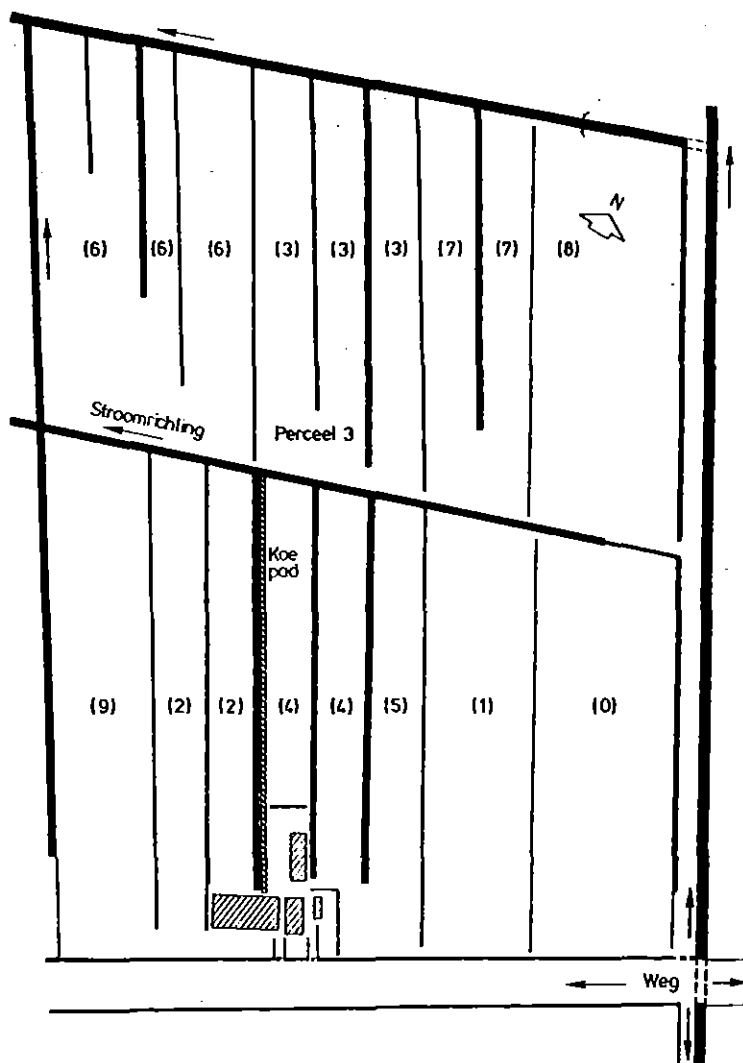


Fig. 2. Afwateringssituatie van het bedrijf en perceelsindeling.
Perceelsindeling is tussen haken vermeld

Het bodemprofiel is dat van een podzolgrond (zie bijlage 1) en waterhuishoudkundig kan de grond worden gekarakteriseerd met Gt V. Onder een humeuze bouwvoor van circa 30 cm komt bruin gekleurd zand voor dat met de diepte steeds lichter van kleur wordt. Naar achteren toe daalt het maaiveld enigszins, waardoor de grondwaterstand circa 20 cm dichterbij het maaiveld zit, en komen meer veenresten in het profiel voor (bijlage 1).

2.2. Geologische en geohydrologische situatie

Het proefgebied is gelegen op de Peelhorst, $\pm 3,5$ km ten oosten van de Peelrandbreuk en $\pm 0,5$ km ten westen van de Griendtsveenbreuk.

Figuur 3 geeft een dwarsdoorsnede door een gedeelte van de Peelhorst. Deze doorsnede laat duidelijk de invloed zien van de breuken op de geologische opbouw van het gebied.

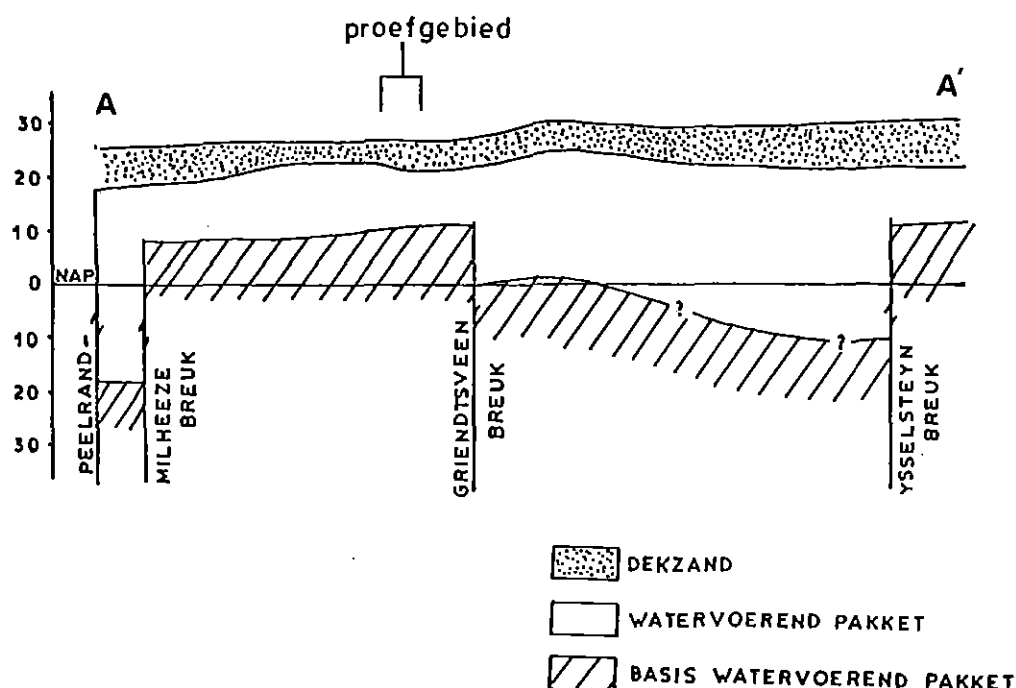


Fig. 3. Geologisch dwarsprofiel langs het proefbedrijf (zie voor ligging fig. 1) (KOPPERS, 1984)

In bijlage 2 wordt de beschrijving gegeven van een boring die op het proefterrein is uitgevoerd door de Technische Buitendienst van het ICW.

Onder de laag van maaiveld tot 3,5 m diep met een geringe doorlatendheid ($K \approx 10$ m/dag) volgt een matig doorlatende laag van 3,5–8 m diep ($K \approx 35$ m/dag). Daarna volgt een grindrijk pakket tot 13 m diep ($K > 50$ m/dag) en een matig doorlatende laag tot 17 m ($K \approx 15$ m/dag). Daaronder bevindt zich slecht doorlatend materiaal ($K < 5$ m/dag) welk pakket meestal als hydrologische basis wordt aangehouden (tertiair). Het gebied is oorspronkelijk bedekt geweest met een laag veen dat vóór de ontginning vrijwel geheel is afgegraven. In het proefgebied wordt plaatselijk restveen aangetroffen.

Op grond van het bovenstaande kan de opbouw van de ondergrond van het proefgebied wordt geschematiseerd zoals in figuur 4 is aangegeven.

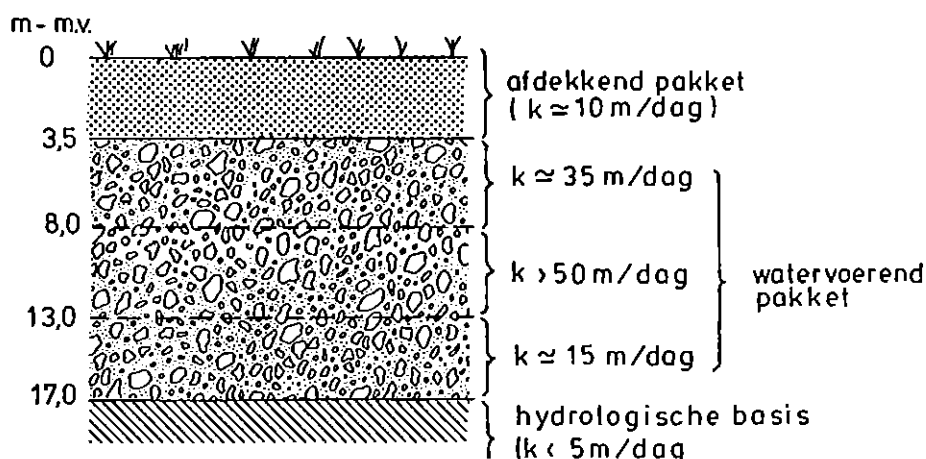


Fig. 4. Schematische opbouw van de ondergrond (KOPPERS, 1984)

De stromingsrichting van het grondwater zal in de bovenste 3,5 m (afdekkend pakket) voornamelijk verticaal gericht zijn als gevolg van de geringe horizontale doorlatendheid. De horizontale stroming in het daaronder liggende watervoerend pakket kan worden afgeleid uit de isohypsenkaart, aangezien de stroming loodrecht op de isohypsen plaats vindt. In figuur 5 is de isohypsenkaart van een zomersituatie opgenomen. De stromingsrichting is noord-west geöriënteerd. Uit de boorbeschrijving van de op het proefbedrijf uitgevoerde boring kan een doorlaatvermogen (kD -waarde) worden afgeleid van circa $530 \text{ m}^2/\text{dag}$ (BLÖMER, 1985). Het grondwaterverhang bedraagt circa 1 m per km, zodat de horizontale stroomsnelheid circa 45 m/jaar bedraagt.

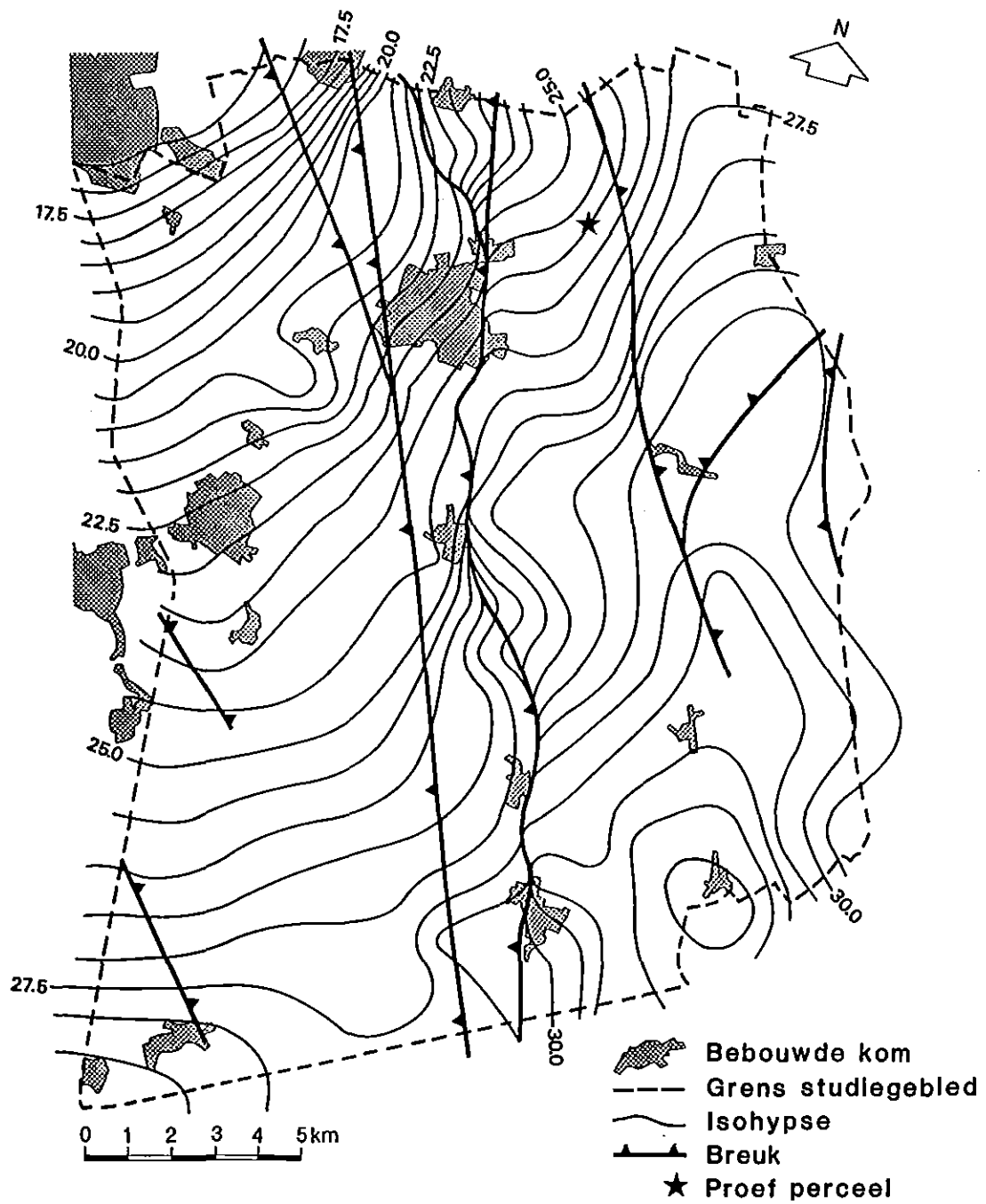


Fig. 5. Isohypsenaart van het eerste watervoerende pakket van het Zuidelijk Peelgebied in augustus 1982 (WIT, 1986)

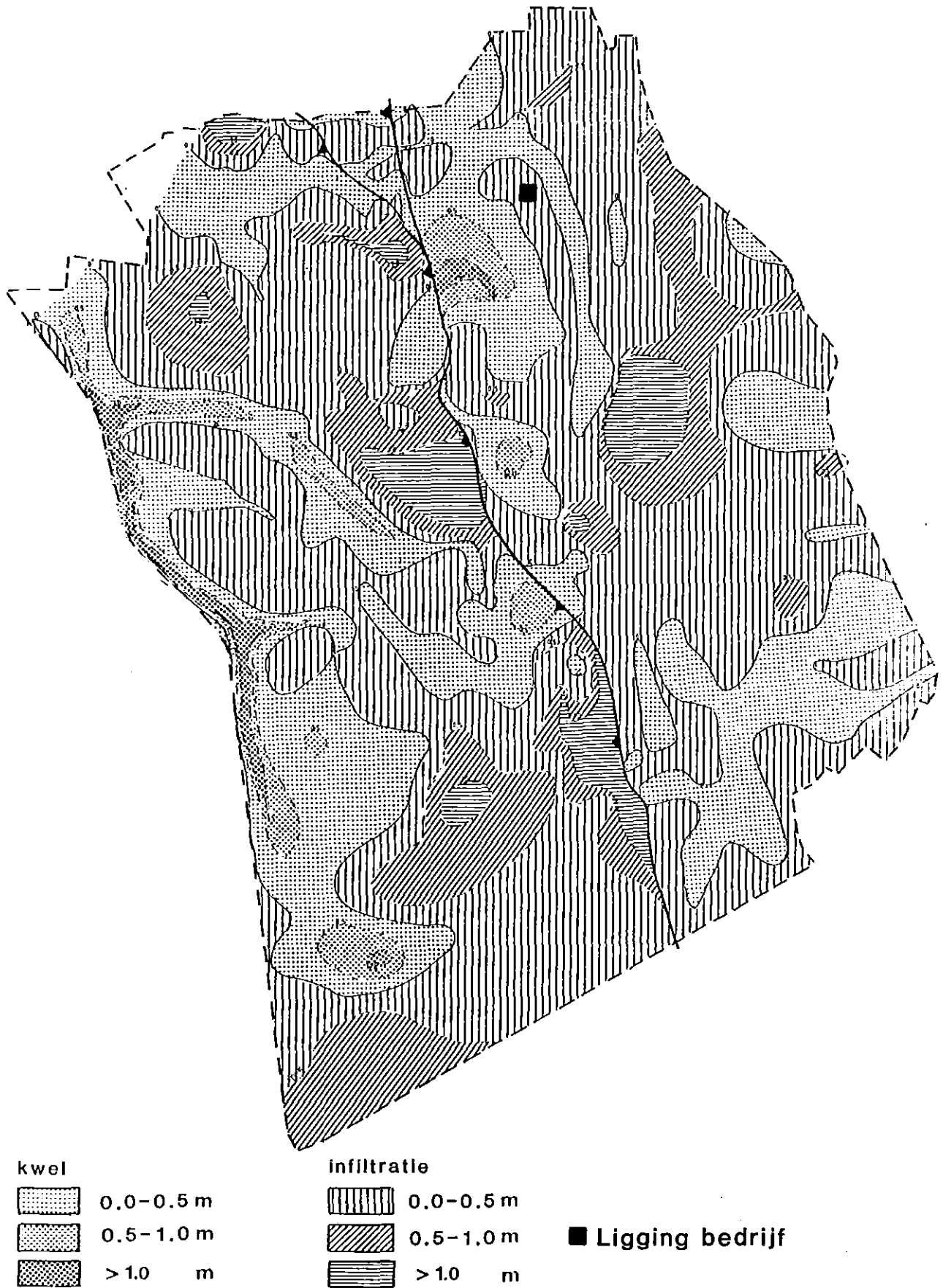


Fig. 6. Stijghoogteverschillen tussen freatisch grondwater en eerste watervoerend pakket (aug. '82) (WIT, 1986)

Figuur 6 geeft de stijghoogteverschillen van freatisch vlak en 1e watervoerend pakket. Uit de kaart blijkt dat in de omgeving van het bedrijf een potentiële infiltratiesituatie aanwezig is. De werkelijke omvang van de infiltratie is afhankelijk van de weerstand van het afdekkend pakket, die in de omgeving van het bedrijf circa 500 dagen bedraagt. De infiltratie ligt gemiddeld in het traject van 0-1 mm/dag.

3. UITGEVOERDE DEELONDERZOEKEN WATERKWALITEIT

3.1. Algemeen

Meerdere onderzoeken zijn uitgevoerd in het kader van het project 'Optimalisatie van regionaal waterbeheer in gebieden met tegengestelde belangen' die betrekking hebben op de situatie van het proefbedrijf:

- freatisch grondwater: de chemische samenstelling van het bovenste grondwater in het voorjaar van 1982 is onderzocht bij 4 percelen (OOSTEROM, 1982). Eenzelfde onderzoek uitgevoerd in het voorjaar van 1984 is niet gepubliceerd.
- sloot- en greppelwater: in de periode november 1983 tot en met april 1984 is het sloot- en greppelwater op enkele plaatsen geanalyseerd op NO_3^- , Cl^- , pH en e.g.v. De gegevens zijn niet gepubliceerd.
- diepere grondwater: op het bedrijf zijn op 8 lokaties boringen geplaatst met filters om de 2 à 3 meter, tot circa 20 m diepte. Het grondwater op de verschillende diepten is onderzocht op de chemische samenstelling (KOPPERS, 1984; POMPER, 1986).
- denitrificatieonderzoek: de denitrificatiecapaciteit van de ondergrond is onderzocht via kolomproeven op het laboratorium (KOPPERS, 1984; POMPER, 1986; POMPER, 1987).

De gemeten NO_3^- -gehalten in grond- en oppervlaktewater zullen geïnterpreteerd moeten worden tegen de achtergrond van bodemgebruik, bemesting, hydrologie en denitrificatie in de achtergrond. Dit vindt plaats in hoofdstuk 4.

3.2. Resultaten deelonderzoeken

3.2.1. Freatisch grondwater

Omstreeks mei 1982 is van de percelen 0 tot en met 3 (fig. 2) het bovenste grondwater bemonsterd via de boorgatenmethode, waarbij per

perceel circa 20 boringen zijn uitgevoerd tot 1 meter onder de grondwaterspiegel. De grondwaterstand ten tijde van de bemonstering was circa 1,25 m-mv. De bemesting in het groeiseizoen 1981/1982 bedroeg voor alle percelen circa 490 kg N/ha als kunstmest en 32 m³ varkensdrijfmest. De gemiddelde gehalten van de 4 percelen voor enkele analyses zijn (OOSTEROM, 1982):

Tabel 1. Analyseresultaten van het freatisch grondwater in het voorjaar 1982

		Gemiddeld	Minimum	Maximum
NO ₃ ⁻	(g.m ⁻³ als N)	68,5	55	90
NH ₄ ⁺	(g.m ⁻³ als N)	0,7	0,5	1,2
Kjeldahl N	(g.m ⁻³ als N)	5,4	4,8	6,0
K ⁺	(g.m ⁻³)	69	45	93
Cl ⁻	(g.m ⁻³)	59	51	65
SO ₄ ²⁻	(g.m ⁻³)	87	60	110
e.g.v.	(mS.m ⁻¹)	89	80	97
kationgehalte	(meq.l ⁻¹)	8,3	7,4	8,5

In het voorjaar van 1984 is opnieuw een bemonstering van het freatisch grondwater uitgevoerd. Inmiddels was inzicht verkregen in de globale stromingsrichting van het grondwater. Het grondwater is over korte trajecten in raaien loodrecht op de stroomrichting bemonsterd (fig. 7). Vanwege de vrij homogene bemesting is nu niet vastgehouden aan perceelsgrenzen. Wel is rekening gehouden met de situatie dat het noordelijk deel van het bedrijf circa 20 cm lager is gelegen en er in dat deel meer veenresten in het profiel voorkomen (zie bijlage 1). De analyseresultaten zijn gegeven in bijlage 3 en tabel 2.

Bij het vergelijken van de analyseresultaten van de twee jaren dient men zich te realiseren dat in 1982 75% van de bemonsteringen zijn uitgevoerd in het zuidelijk deel van het bedrijf tegenover iets meer dan 40% in 1984. Het voorkomen van veen tot diepten van 0,70-1,20 m-mv leidt voor het noordelijk deel van het bedrijf plaatselijk tot lagere nitraatgehalten van omstreeks 20 g.m⁻³ N.

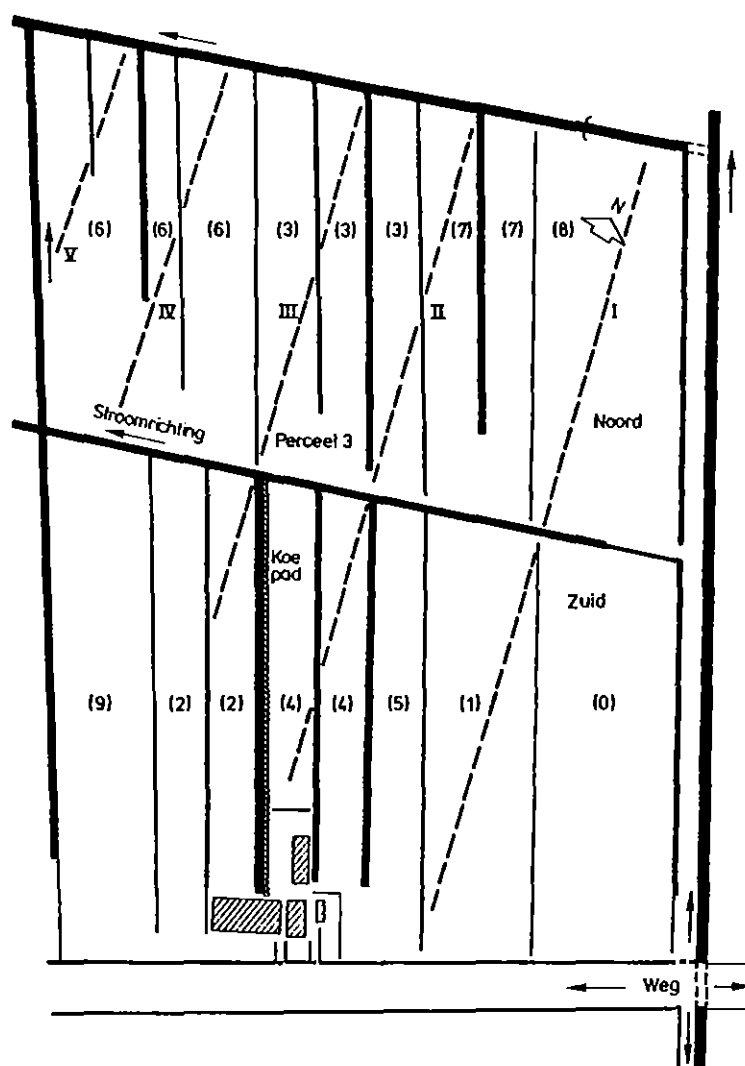


Fig. 7. Bemonsteringsschema voor het freatisch grondwater in mei 1984

Tabel 2. Gemiddelde analyseresultaten van het freatisch grondwater onder het beweide grasland (bemonstering mei 1984) (OOSTEROM, 1987)

	Noordelijk deel	Zuidelijk deel
grondwaterstand (m-mv)	0,80	0,97
NO_3^- (g.m ⁻³ als N)	36	60
Cl^- (g.m ⁻³)	75	68
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	69	80
zuurgraad (pH-water)	4,7	4,6

Bij het onderzoek naar nitraatgehalten in greppel- en slootwater (zie 3.2.2.) is eveneens gelijktijdig het grondwater van het noordelijk deel op 2 m diepte op drie plekken via een tensiometer bemonsterd. Deze resultaten zijn minder representatief voor de kwaliteit van het infiltrerende grondwater vanwege het geringe aantal meetpunten. Op de resultaten wordt hierna ingegaan.

3.2.2. Greppel- en slootwater

Bemonstering van greppel- en slootwater is maandelijks uitgevoerd vanaf eind november 1983 tot half april 1984. Vanwege het ontbreken van meetschotten zijn geen debieten gemeten. Bovendien zou de waarde gering zijn omdat een debietmeting van éénmaal per maand niet representatief is. Het onderzoek is uitgevoerd om een globaal beeld te krijgen van het nitraatniveau in het sloot- en greppelwater, ten opzichte van het grondwater. De ligging van de monsterpunten is aangegeven in figuur 8. De analyseresultaten (bijlage 4) zijn gemiddeld voor de greppels, het grondwater en het slootwater (tabel 3), afzonderlijk voor het noordelijk en het zuidelijk deel van het bedrijf vanwege de verschillen in hoogteligging.

Tabel 3. Gemiddelde gehalten in grond-, greppel- en slootwater in de periode november 1983 - april 1984 (ligging mp zie fig. 8) (OOSTEROM, 1987)

	NO_3^- (g.m ⁻³ als N)	Cl^- (g.m ⁻³)	e.g.v. (mS.m ⁻¹)
Zuidelijk deel			
greppels 1, 2, 3	26,5	57	63
slootwater mp 7	18,5	67	71
Noordelijk deel			
grondwater 4, 5, 6	11	63	52
greppels 4, 5, 6	9	65	57
slootwater mp 8	11	61	50

De hoogste nitraatgehalten zijn gevonden in het greppel- en slootwater van het zuidelijk deel van het bedrijf met een gemiddelde waarde van 20 à 25 g.m⁻³ (als N). In het noordelijk deel ligt het gehalte de helft lager. De gemiddelde analyseresultaten van het greppelwater in het noordelijk deel komen goed overeen met die van het grondwater

onder de greppels. In het zuidelijk deel is het grondwater onder de greppels niet bemonsterd.

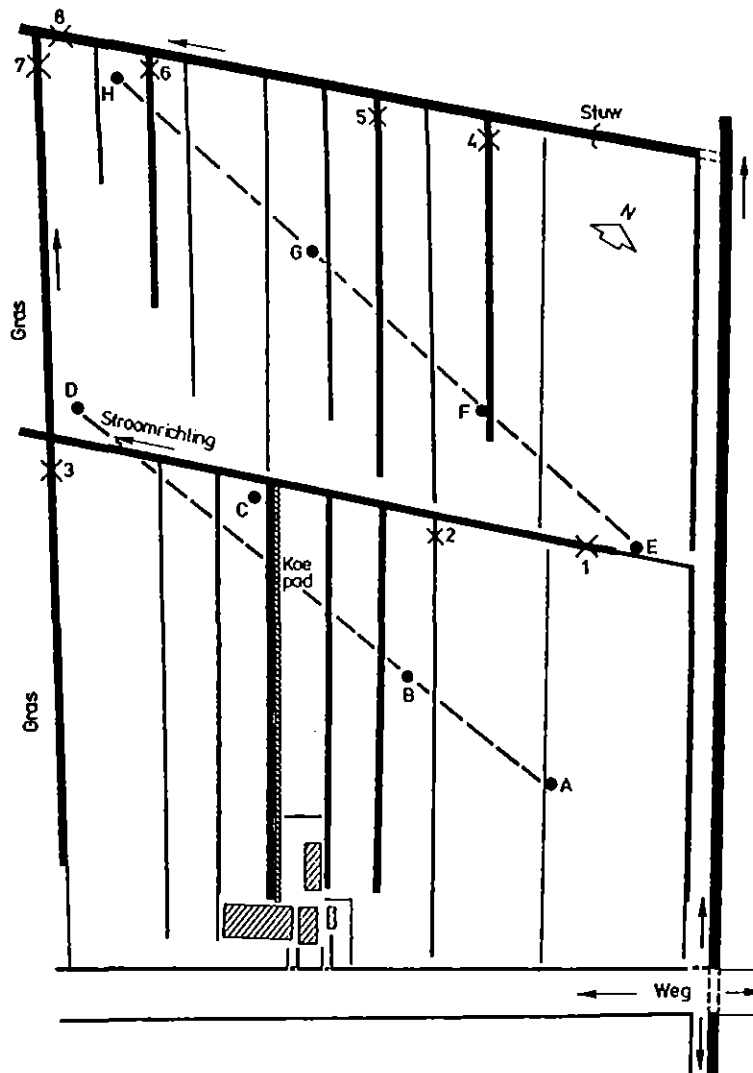


Fig. 8. Ligging van monsterpunten voor het diepere grondwater

3.2.3. Dieper grondwater

Op 8 plaatsen zijn filters om de 2 à 3 meter diepte geplaatst tot maximaal 20 m diepte. De 8 putten zijn over twee evenwijdige raaien van elk 4 putten verdeeld en ongeveer evenwijdig aan de stromingsrichting van het grondwater. De ligging van de putten is aangegeven in figuur 8.

Bemonstering en analyse van het grondwater heeft plaats gevonden in oktober 1983. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 9, 10 en 11 voor respectievelijk de belangrijkste kat- en anionen in de vorm van stiffdiagrammen, het Cl^- , en het NO_3^- -gehalte.

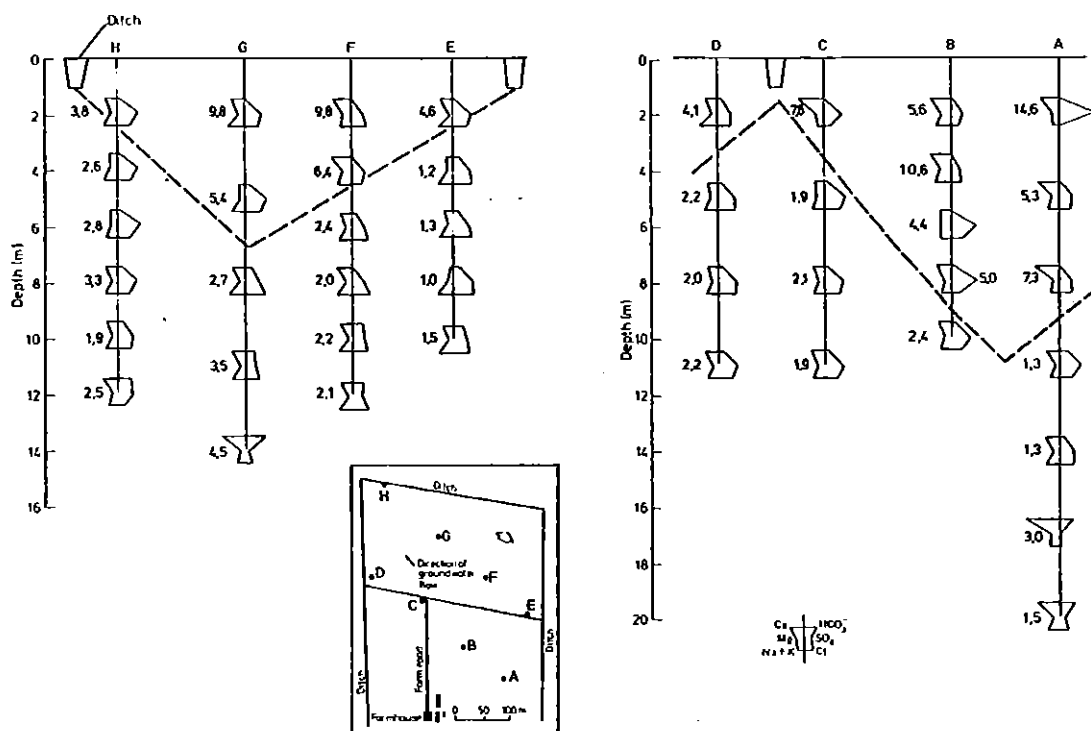


Fig. 9. Twee profielen met de chemische samenstelling van het grondwater aangegeven met stiff-diagrammen. De getallen boven de diagrammen geven het totaal kationengehalte aan in meq.l⁻¹ (POMPER, 1986) (----- overgang tussen 'zuiver' infiltratiewater en mengwater)

Het Cl⁻-gehalte van 'zuiver' infiltratiewater, afkomstig van de erboven liggende graslandpercelen zal veelal meer dan 45 g.m⁻³ bedragen (bijlage 3). Water uit het Miocene wordt gekenmerkt door een Cl-gehalte van < 25 g.m⁻³, een SO₄-gehalte van < 25 g.m⁻³ en een kationengehalte van minder dan 3 meq.l⁻¹. Met deze uitgangspunten kan bij alle boringen de grootste diepte waarop zich nog 'zuiver' infiltratiewater bevindt worden vastgesteld evenals de diepte waarop zich Miocene-grondwater bevindt (tabel 4).

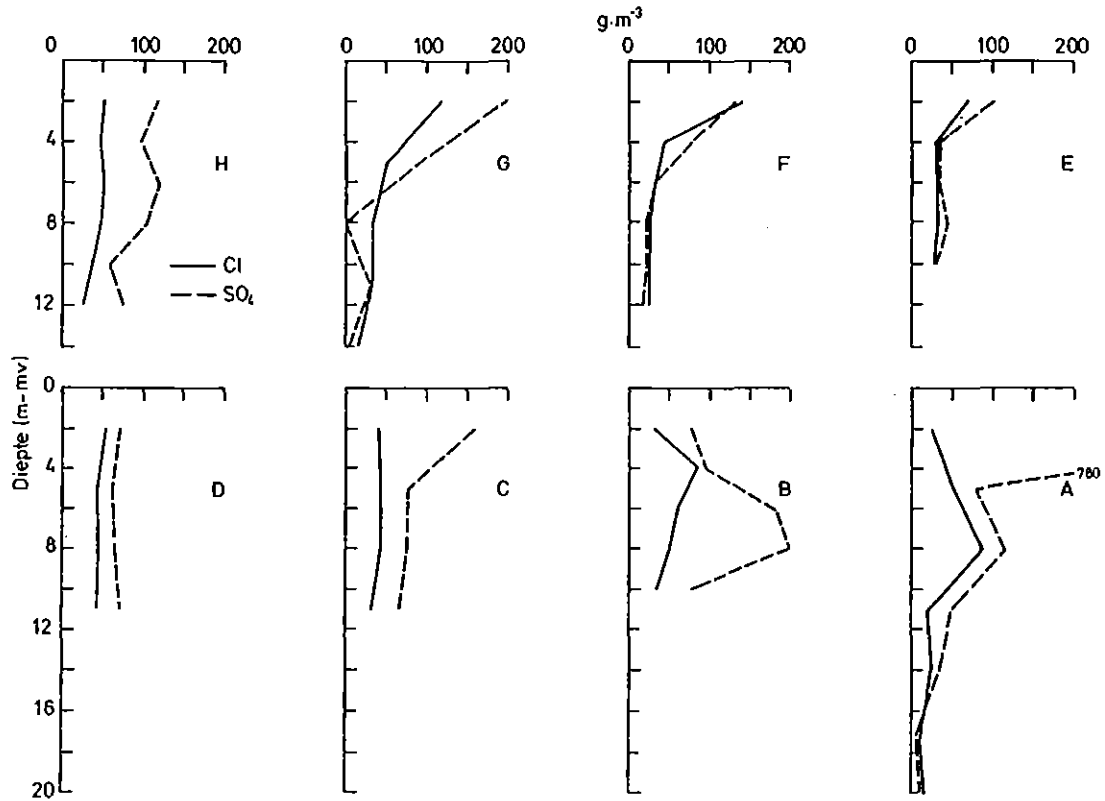


Fig. 10. Het verloop van het Cl^- - en SO_4^{2-} -gehalte met de diepte in het grondwater voor twee raaien

Tabel 4. Grootste diepte (m-mv) waarop zich 'zuiver' infiltratiewater bevindt en de diepte vanaf waar Miocene grondwater wordt aangetroffen. De grootste diepte waarop nog NO_3^- is geanalyseerd is aangegeven evenals het gehalte op die diepte

	Boringnummer							
	A	B	C	D	E	F	G	H
'zuiver' infiltratiewater	8 m	8 m	4-8 m	2 m	2 m	4 m	5 m	8 m
Miocene water	11 m	>10 m	>11 m	>11 m	>10 m	10 m	14 m	>12 m
NO_3^- -gehalte > 0	5 m	4 m	2 m	2 m	2 m	4 m	2 m	0 m
NO_3^- (g.m^{-3} als N) op bovenstaande diepte	32	33	57	7	3	3	18	0

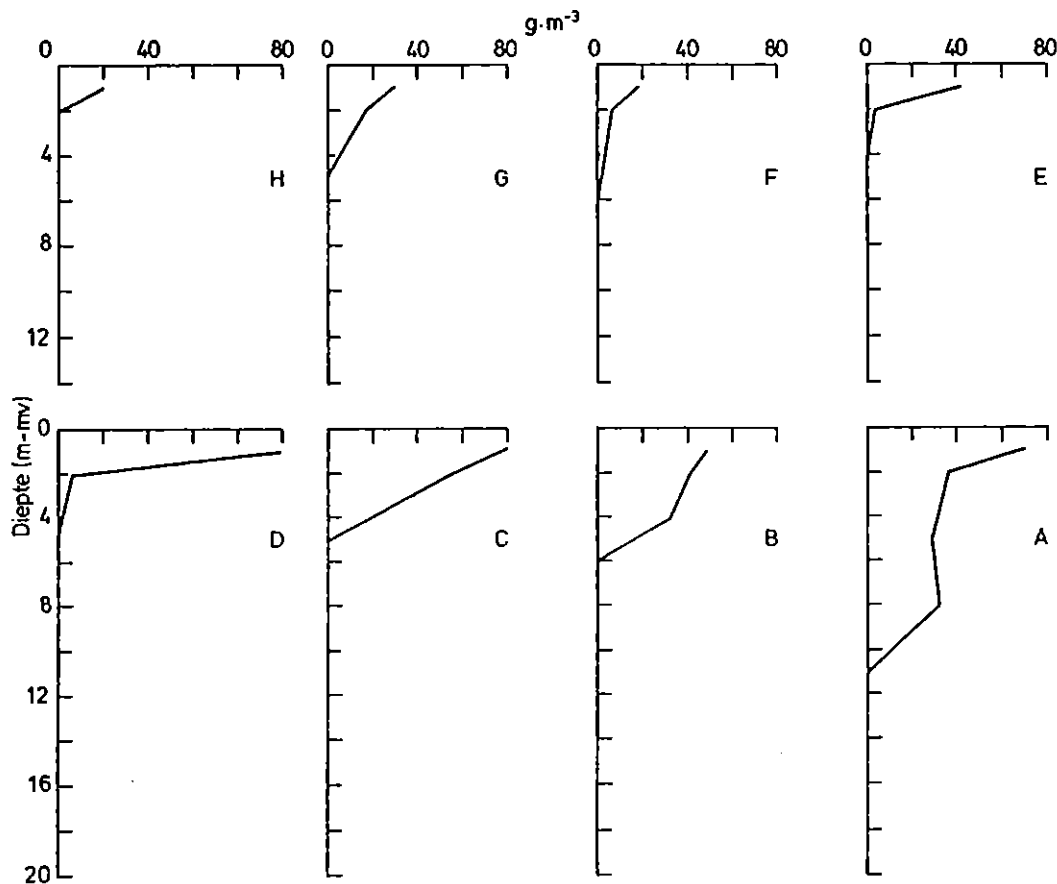


Fig. 11. Het verloop van het NO_3^- -gehalte (als N) met de diepte in het grondwater voor twee raalen. Het op 1 m-mv ingetekende gehalte is ontleend aan de bemonstering van het freatisch grondwater (bijlage 3)

Bij de meeste boringen is de maximale uitspoelingsdiepte voor NO_3^- geringer dan de diepte waar nog infiltratiewater wordt aangetroffen, hetgeen duidt op afbraak van NO_3^- via het denitrificatieproces. Een uitzondering vormen de boringen D, E en F waar de diepten gelijk zijn namelijk 2 à 4 m-mv. De NO_3^- -gehalten zijn op deze diepten al zo laag dat vermoedelijk al een belangrijke denitrificatie heeft plaatsgevonden.

De scheidingslijn tussen het 'zuivere' infiltratiewater en het grondwater van het 'mengtype' lijkt qua vorm sterk te worden beïnvloed door de nabijheid van sloten (figuur 9). In de omgeving van sloten ligt de scheidingslijn op circa 2 à 3 m diepte, terwijl op grotere afstand de overgang plaats vindt op 6 à 8 m diepte.

3.2.4. Denitrificatie in grondwater

Tijdens het denitrificatieproces wordt NO_3^- gereduceerd tot stikstofgassen (N_2 , N_2O), waarbij andere verbindingen (organische stof, sulfide, enz.) worden geoxydeerd. Het NO_3^- verdwijnt hierbij en de gevormde gasvormige produkten zullen, in verband met de geringe wateroplosbaarheid, naar de atmosfeer ontwijken. Om met absolute zekerheid vast te kunnen stellen of NO_3^- verdwijnt door denitrificatie dient de vorming van N_2 of N_2O te worden aangetoond. Bij kolomexperimenten wordt vaak volstaan met het meten van de NO_3^- -concentratie, aangezien de verdwijning van NO_3^- onder anaerobe omstandigheden voornamelijk is toe te schrijven aan denitrificatie. Slechts 5 à 10% van het verdwenen NO_3^- zal onder bepaalde omstandigheden worden vastgelegd in bacterie-eiwit (VAN KESSEL, 1976). Bij kolomexperimenten waar het verloop van NO_3^- is gevolgd zou feitelijk gesproken moeten worden van 'verdwijnsnelheid' in plaats van 'denitrificatiesnelheid'. In deze nota zal de term denitrificatie worden gebruikt ook als sprake is van het verdwijnen van NO_3^- zonder dat de produktie van stikstofgassen is aangetoond.

Informatie over de denitrificatiesnelheid in de ondergrond van het proefbedrijf is verkregen via kolomexperimenten op het laboratorium (KOPPERS, 1984; ZEVENBERGEN, 1984; POMPER, 1986). Resultaten van experimenten met grondkolommen zijn vooral van belang voor diepten waar in het veld NO_3^- voorkomt. Voor dit bedrijf betreft dit diepten tot maximaal circa 8 meter. Tot deze diepte lijkt denitrificatie onder invloed van pyriet geen rol te spelen aangezien in de kolomexperimenten geen extra sulfaat wordt gevormd. De denitrificatie wordt zodoende geheel bepaald door de snelheid waarmee organische stof wordt afgebroken. Behalve het organische stofgehalte zijn eveneens belangrijke factoren: zuurgraad en temperatuur (STEENVOORDEN, 1983). Resultaten van experimenten kunnen worden vergeleken indien met deze factoren rekening wordt gehouden. Correctie kan bijvoorbeeld plaats vinden met behulp van de door STEENVOORDEN (1983) afgeleide benadering:

$$D = K_D^{\text{MAX}} \cdot C_{\text{OM}} \cdot F_{\text{pH}} \cdot F_T \frac{(\text{NO}_3^-)}{(K_m + (\text{NO}_3^-))} \quad (1)$$

waarbij: D = de in de proef gemeten denitrificatiesnelheid ($\mu\text{gN/g}$ grond.dag)

K_D^{MAX} = de denitrificatiecapaciteit per gew. % organische stof bij 10°C en $\text{pH} = 7$

C_{OM} = gew. % organische stof

F_{pH} = correctiefactor voor de zuurgraad ($0 \leq F_{\text{pH}} \leq 1$; zie STEENVOORDEN, 1983, fig. 9)

F_T = correctiefactor voor de temperatuur (temp. 10°C hoger $F_T = 2,5$)

(NO_3^-) = nitraatgehalte (g.m^{-3})

K_m = waarde van nitraatgehalte waarbij $D = \frac{1}{2} K_D^{\text{MAX}}$ onder gelijke omstandigheden voor temperatuur, zuurgraad en organische stof (g.m^{-3}); veelal is K_m klein zodat $(\text{NO}_3^-)/(K_m + \text{NO}_3^-) \approx 1$

Informatie over proefomstandigheden tijdens denitrificatieexperimenten met grondkolommen van bij het ICW beschikbare gegevens is vermeld in tabel 6.

Het onderzoek van STEENVOORDEN (1983) heeft betrekking op 3,30 m diepe lysimeters gevuld met zandgrond uit de Achterhoek ('Ste 1') en de Peel ('Ste 2'). De door ZEVENBERGEN (1984) uitgevoerde experimenten zijn voortgezet door POMPER (1987) en hebben betrekking op één grondsoort die belast is met influent met 3 verschillende pH-waarden.

De wijze waarop de berekening van de denitrificatiesnelheid (D, zie tabel 6) plaats vindt verloopt voor bijvoorbeeld gegevens van 'Pom 3' als volgt:

- verschil nitraatgehalte influent en effluent: $3,6 \text{ g.m}^{-3}$ (als N)
- doseersnelheid (48 ml/dag) $4,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$
- nitraatverwijderingssnelheid $1,73 \cdot 10^{-4} \text{ g.dag}^{-1}$ (als N)
- volume kolom $2,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- volumemassa grond $1,65 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$
- denitrificatiesnelheid (D) $0,036 \text{ } \mu\text{gN/g grond.dag}^{-1}$

Omdat er aanvankelijk slechts geringe verschillen waren tussen de kolommen, zijn de resultaten van ZEVENBERGEN (1984) gemiddeld over de 3 kolommen. De waarde van K_D^{MAX} geeft enig inzicht in de denitrifica-

Tabel 6. Gegevens over proefomstandigheden van denitrificatie-experimenten met grondkolommen door: STEENVOORDEN (1983); KOPPERS (1984); ZEVENBERGEN (1984) en POMPER (1987)

	Ste1	Ste2	Kop1	Kop2	Kop3	Zev	Pom1	Pom2	Pom3
diepte grondmonsters (m-mv)	1-3	1-3	2-3	6-7	8-9	4-6	4-6	4-6	4-6
organische stof (gew. %)	0,9	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
pH influent	6,0	4,5				3-5	3,0	4,0	5,0
pH effluent	6,0	4,5	4-5	4-5	3,5-4,5	4-5	±4,2	±4,3	4,3-5
proefduur (dagen)	2000	2000	60	60	60	110	1000	1000	1000
temperatuur (°C)	10	10	17	17	17	17	17	17	17
D (zie form (1))									
µgN/g grond.dag	0,03	0,003	0,042	0,018	0,035	0,089	≈ 0	≈ 0	0,036
K_D^{MAX} (zie form (1))									
µgN/g grond.dag	0,05	0,05	0,4	0,26	2,2	2,6	≈ 0	≈ 0	10

tiesnelheid onder gestandaardiseerde condities (temp., org. stof-gehalte, pH). Er blijken grote verschillen te bestaan in K_D^{MAX} . Bij een K_D^{MAX} waarde van 1,0 wordt per meter diepte in de verzadigde zone een hoeveelheid nitraat gereduceerd van circa 6000 kg N/ha.jr. De hoge K_D^{MAX} waarden worden met name gevonden bij de laboratoriumexperimenten met grondkolommen. Ten aanzien van de resultaten van kolomexperimenten kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- De denitrificatiesnelheid lijkt in de loop van de tijd terug te lopen (vergelijk 'Zev' met 'Pom3' in tabel 6). In het diepe lysimeterexperiment wordt met een ander profiel uit het Peelgebied over een nog langere onderzoeksperiode een beduidend lagere denitrificatie gemeten (vergelijk 'Ste2' met 'Pom3' in tabel 6).
- De resultaten van de kolomexperimenten zijn sterk afhankelijk van de mate waarin men erin slaagt kolommen anaeroob te houden. In de periode tussen 290 en 460 dagen zijn de kolommen op het laboratorium aeroob geweest gezien de sterk verhoogde nitraatgehalten (fig. 12). Dit effect is verwaarloosd bij de berekeningen in tabel 6.
- De zuurgraad speelt een belangrijke rol gezien de verwaarloosbare denitrificatie na circa 1000 dagen bij de kolommen met een influent pH-waarde van respectievelijk 3,0 en 4,0 (vergelijk 'Pom1' en 'Pom2' met 'Pom3' in tabel 6).

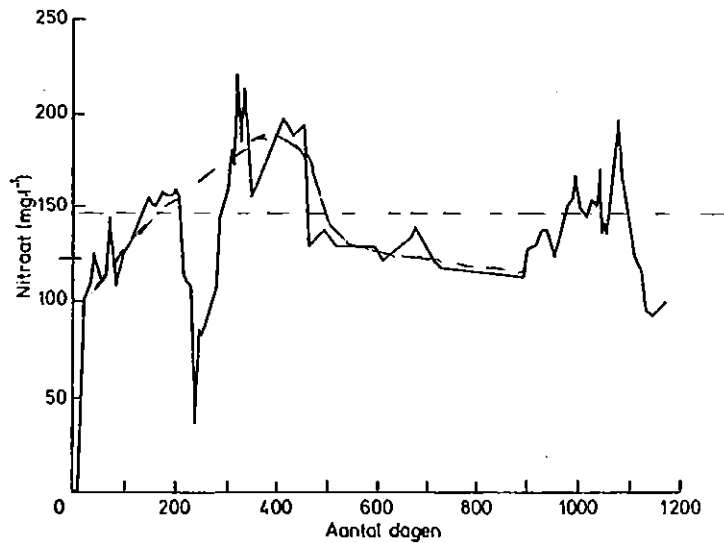


Fig. 12. Verloop van het nitraatgehalte (als $\text{g.m}^{-3} \text{NO}_3^-$) in het effluent van een kolom met grof zand, waarbij het influent een gehalte heeft van 146 g.m^{-3} en een $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=5$ (POMPER, 1987)

Voor een schatting van de omvang van de denitrificatie in de veldsituatie bij het proefbedrijf is informatie nodig over de in de ondergrond heersende condities. De zuurgraad varieert op 1-2 m-mv van 4,6-5,5 en op grotere diepten van 5,0 tot 5,5 (POMPER, 1987). In de bovenste meters wordt meer organische stof aangetroffen dan op grotere diepte. Van 2-3 m is het gehalte 0,3 gew. % en van 3-3,5 m 1,1%. Tot 11,5 m varieert het gehalte veelal tussen 0,0 en 0,3% (RUIKEN en STEENVOORDEN, 1986; tabel 1, boring N 163). De temperatuur van het grondwater kan worden gesteld op circa 10°C zodat de denitrificatiesnelheid als gevolg hiervan circa de helft bedraagt van die onder laboratoriumomstandigheden bij 17°C . Een schatting van de denitrificatiecapaciteit per bodemlaag kan nu worden gemaakt met behulp van vergelijking (1) en is weergegeven in tabel 7. Uitgegaan is van meetgegevens voor K_D^{MAX} van zowel 'Ste2' als 'Pom3' in tabel 6 vanwege de onzekerheid rond de invloed van de proefduur op de denitrificatiesnelheid.

Bij een geschat poriënvolume van 30% is het watervolume per meter bodemlaag 300 mm ofwel $3000 \text{ m}^3/\text{ha}$. Dit komt globaal overeen met het jaarlijkse neerslagoverschot. Wordt dit in zijn geheel afgevoerd naar grotere diepten dan resulteert de vermelde denitrificatiecapaciteit, (zie tabel 7 onder 'Ste 2') tot een verlaging van het N-gehalte in de lagen 1 tot 5 van respectievelijk 9, 12, 24, 4 en 4 g.m^{-3} . Volgens gegevens van 'Pom3' is de verlaging een factor 20 maal zo hoog.

Tabel 7. Geschatte jaarlijkse denitrificatiecapaciteit per m bodemlaag onder verzadigde omstandigheden (D, zie verg. (1)) op basis van de meetgegevens van 'Ste2' en 'Pom3' in tabel 6. De verlaging van het nitraatgehalte is berekend uitgaande van een jaarlijkse neerslagoverschot van 300 mm

Laag no	Diepte (m-mv)	Org. stofgeh. (gew. %)	Zuurgraad (pH)	D (kg N/ha)		Verlaging nitraat- gehalte (g.m ⁻³ als N)	
				Ste2	Pom3	Ste2	Pom3
1	1-2	0,3	4,5-5,5	27	540	9	180
2	2-3	0,3	5,0-5,5	36	720	12	240
3	3-4	0,6	5,0-5,5	72	1440	24	480
4	4-5	0,1	5,0-5,5	12	240	4	80
5	5-6	0,1	5,0-5,5	12	240	4	80

4. DISCUSSIE

Voor de interpretatie van de analyseresultaten van grond-, greppel- en slootwater is kennis van de waterhuishoudkundige situatie van essentieel belang. Alvorens in te gaan op het lot van nitraat zal daarom eerst worden stilgestaan bij de hydrologische aspecten.

Inzicht in het hydrologisch gebeuren is op de eerste plaats verkregen in het regionaal hydrologisch onderzoek (WIT, 1986). Op het bedrijf zelf is geen meetpunt ingericht. De resultaten duiden op een infiltratie ter waarde van gemiddeld 0-1 mm.dag⁻¹. Ten eerste is dit, gezien vanuit het oogpunt van waterkwaliteit, een vrij wijde range aangezien bij de minimumwaarde niets van het jaarlijkse neerslagoverschot infiltreert en bij de maximumwaarde vrijwel alles infiltreert. Daarnaast moet men zich realiseren dat als gevolg van variatie in de bodemopbouw- en samenstelling er al op korte afstanden verschillen kunnen zijn in kwel en wegzijging. Daarom kan de chemische samenstelling van het grondwater een belangrijk hulpmiddel zijn voor de vaststelling van een kwel- of wegzijgingssituatie. Op grond van de chemische samenstelling is afgeleid dat infiltratie van neerslagoverschotten niet heeft plaatsgevonden beneden 10 à 12 m diepte (tabel 4).

Daarboven bevindt zich een mengwaterzone die in dikte sterk varieert en waarbij de ligging van de boring ten opzichte van de sloot van belang is evenals de ligging binnen het bedrijf. In het zuidelijk deel treedt een sterkere infiltratie op dan in het noordelijk deel. Bij volledige infiltratie van het jaarlijks neerslagoverschot van circa 300 mm kan bij een poriënvolume van circa 35% globaal worden uitgegaan van een verplaatsing van het infiltratiefront met een snelheid van 1 m.jr^{-1} . Reeds vanaf omstreeks 1930 is de grond in landbouwkundig gebruik zodat infiltratie theoretisch maximaal tot ruim 50 m diepte kan hebben plaatsgevonden. Gezien de geconstateerde infiltratiediepte van 10 à 12 m kan worden verondersteld dat het overgrote deel van de neerslagoverschotten via ondiepe grondwaterstroming naar greppels en sloten op het bedrijf wordt afgevoerd.

Een schets van de nitraatgehalten in het bovenste grondwater en in sloot- en greppelwater geeft tabel 8.

Tabel 8. Gemiddelde nitraatgehalten (g.m^{-3} als N) in de bovenste meter van het grondwater en in sloot- en greppelwater in de periode van najaar '83 tot voorjaar '84 (zie tabellen 2 en 3)

Bedrijfsdeel	Grondwater freatisch	Greppelwater			Slootwater		
		min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
zuid	60	3,5	26,5	47	0,1	18,5	28
noord	36	0,1	9	40	0,1	11	21

Zowel in het greppelwater als in het slootwater zijn de gemiddelde gehalten beduidend lager dan in het recentelijk geïnfiltreerde bovenste grondwater. De variatie in de nitraatgehalten is echter vrij groot. De maximumwaarden van het greppelwater liggen in de buurt van die in het grondwater. Voor het slootwater zijn de maximumwaarden beduidend lager. Het greppelwater heeft als gevolg van de korte verblijftijd in de bodem een deel van de tijd nitraatgehalten die vrijwel vergelijkbaar zijn met die in het bovenste grondwater. Dit geldt met name voor het noordelijk bedrijfsdeel waar greppels een belangrijkere functie hebben voor de afvoer door de lagere maaiveldsligging. De verblijftijd is te kort voor een belangrijke reductie van het nitraatge-

halte door denitrificatie. Het nitraatgehalte in het slootwater komt tot stand door menging van grond- en greppelwater. De hogere gehalten in het greppelwater moeten dus gecompenseerd worden door gehalten in het toegevoerde grondwater die lager zijn dan die van het slootwater. Dit duidt op een belangrijke invloed van het denitrificatieproces. Als denitrificatie in de verzadigde zone geen rol zou spelen zou in het afgevoerde slootwater een nitraatgehalte verwacht mogen worden dat vergelijkbaar is met die in het bovenste grondwater. Intensieve rundveehouderij, gepaard gaande met een hoog stikstofbemestingsniveau en hoge nitraatuitspoeling, vond namelijk reeds minstens 5 jaar voor dit onderzoek plaats.

Dat denitrificatie mogelijk is in de verzadigde zone op deze locatie wordt bevestigd in de kolomexperimenten met een aantal bodemonsters (tabel 6). De omvang van de denitrificatie is enigszins onzeker door de variatie in de samenstelling van de ondergrond en de invloed van de duur van de experimenten. Het organische stofgehalte is op een bepaalde diepte niet overal hetzelfde ook al is dit bij berekeningen in tabel 7 wel aangenomen. Bij een langere duur van de denitrificatie-experimenten lijkt de denitrificatiesnelheid af te nemen (tabel 6). Hoe lang dit effect zich voor blijft doen is onzeker. Bij 5 van de 8 boringen wordt op diepten groter dan 2 meter geen nitraat aangetroffen. De grootste diepte waarop nitraat voorkomt is 5 meter. Dit duidt erop dat niet overal denitrificatiesnelheden voorkomen zoals op basis van in het laboratorium uitgevoerde kolomexperimenten is berekend (tabel 7 onder 'Pom3'), aangezien dan reeds op 2 meter diepte al het nitraat verdwenen zou moeten zijn. De lagere denitrificatiesnelheid zoals gevonden in het diepe lysimeterexperiment (tabel 7 onder 'Ste2') lijkt voor de boring met nitraat tot op 5 meter diepte meer van toepassing. De lagere denitrificatiesnelheid kan zowel samenhangen met ruimtelijke variabiliteit in de opbouw van de ondergrond ten aanzien van het organische stofgehalte als met een lagere afbraaksnelheid van de organische stof dan in de kolomexperimenten is gemeten.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het kader van het onderzoek naar 'Optimalisatie van het regionale waterbeheer' is in het Zuidelijk Peelgebied een gedetailleerd waterkwaliteitsonderzoek uitgevoerd op een intensief rundveehouderij-

bedrijf. De belangstelling ging primair uit naar nitraat vanwege de geringe kennis over het belang van nitraatafbraak door denitrificatie in de verzadigde zone op bedrijfsniveau en regionale schaal. In de jaren 1983 en 1984 zijn gegevens verzameld over nitraatgehalten in het freatische en dieper gelegen grondwater, tot 20 m-mv, en het sloot- en greppelwater. Het grondwater is ook uitvoerig onderzocht op de kationen- en anionensamenstelling.

Op grond van gegevens van het regionaal hydrologisch onderzoek en de chemische samenstelling van het diepere grondwater is geconstateerd dat een beperkte infiltratie optreedt. 'Zuiver' infiltratiewater wordt aangetroffen tot maximaal 8 m diepte, waarna een enkele meters dikke laag 'mengwater' voorkomt. Ondanks de reeds vele jaren uitgeoefende intensieve bedrijfsvoering wordt nitraat maximaal tot 5 m diepte aangetroffen, waarbij de concentratie sterk afneemt met de diepte. De nitraatgehalten in sloot- en greppelwater variëren sterk in afhankelijkheid van de afvoersituatie, maar gemiddeld zijn de gehalten ongeveer een factor drie lager dan die in het freatisch grondwater. De conclusie dat denitrificatie in de verzadigde zone verantwoordelijk is voor de reductie van het nitraatgehalte wordt ondersteund door de resultaten van het denitrificatieonderzoek met grondkolommen in het laboratorium.

LITERATUUR

- KESSEL, J.F. VAN, 1976. Influence of denitrification in aquatic sediments on the nitrogen content of natural waters. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, The Netherlands, 104 pp.
- KOPPERS, R.G.M., 1984. Onderzoek naar de verplaatsing van stikstof in de ondergrond van een veehouderijbedrijf ten oosten van Deurne (N.Br.), nota 1519, ICW, 45 pp.
- OOSTEROM, H.P., 1982. Samenstelling van het bovenste grondwater onder landbouwpercelen en enkele bospercelen. Projectgroep Zuidelijk Peelgebied no 15. Nota 1385, ICW, 22 pp.
- 1982. Bodem en bodemgebruik binnen de grenzen van enkele afwateringsgebieden. Projectgroep Zuidelijk Peelgebied no 16. Nota 1386, ICW, 13 pp.
- 1987. Ongepubliceerde gegevens.
- POMPER, A.B., 1986. Human influences on groundwater quality in the Southern Peel, a sandy region in the Netherlands. Reports 16, ICW, 13 pp.
- 1987. Ongepubliceerde gegevens.
- RUIKEN, M.J. en J.H.A.M. STEENVOORDEN, 1986. Organische stofgehalten in de ondergrond van het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1709, ICW, 10 pp.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1983. Nitraatbelasting van het grondwater in zandgebieden; denitrificatie in de ondergrond. Nota 1435, ICW, 30 pp.
- WIT, K.E., 1986. Hydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. Projectgroep Zuidelijk Peelgebied no 49. Nota 1691, ICW, 44 pp.
- ZEVENBERGEN, Chr., 1984. Onderzoek naar effecten van zure depositie op de grondwaterkwaliteit. Verslag doctoraal onderzoek. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwuniversiteit, Wageningen.

Bijlage 1. Profielbeschrijvingen

-

• monsterpunt voor dieper grondwater

- 482000 - 35 à 40 cm humeuze zandgrond. Ondergrond bruin tot lichtbruin zand (plaatselijk tot 1 m-mv veen).
- 482001 - (boring tot 1,80 mv) 40 cm humeuze zandgrond. Ondergrond bruin naar geel zand.
- 482003 - (boring tot 1,50 mv) 30 cm humeuze zandgrond gevolgd door 10 à 20 cm vast veen. Ondergrond bruin zand met op 1,50 mv wit lemig grof zand met grind.
- 482004 en 482005 - (boring tot 2,30 mv) 40 cm humeuze zandgrond met op enkele lage plaatsen iets vast veen. Ondergrond bruin tot licht bruin zand. Op 1,60 à 1,80 m-mv lemig grof zand.
- 482006 - 40 à 34 cm humeuze zandgrond met een laagje vast veen van 5 à 10 cm. Ondergrond bruin tot lichtbruin zand. Achterin het perceel enkele lage plekken met circa 70 cm veen. Op diepte van 1,80 m-mv lemig grof zand met grind.
- 482007 - De bovengrond (tot 60 cm-mv) wordt van zuid naar noord gaande humeuzer naar de diepte, gevolgd door een dikker wordend veenpakket (tot 1,20 m-mv). In het midden van het perceel bevindt zich nog circa 10 cm turf. Vermoedelijk gaat het hier om een vennetje dat in de loop der tijd dichtgegroeid is. Op een diepte van 1,20 m-mv wit, grof zandig materiaal. Soms gemengd met kleiig veen.

Bijlage 1. vervolg

482008 - 40 cm humeus zand. Ondergrond donkerbruin grof zand. Plaatselijk vast veen. In eerste boring geen wit zand met grind aangetroffen. Het opgepompte water is sterk ijzerhoudend. Bij tweede boring tot 2,20 m-mv op 2 m diepte wit grind- en leemhoudend zand.

Bijlage 2: Profielbeschrijving boring N163

Pulsboring: N163

Onderzoek : Zuidelijk Peelgebied

Kaartblad : 52A; coördinaten: 186 600 - 388 660

Hoogte : circa 28,00 m+NAP

Datum : 15 oktober 1982

U-, S-, sl- en gri-cijfers getaxeerd

Diepte
ondervlak
in m-mv

- 0,30 Zand, donkerbruinig grijs, slibarm, humeus, matig fijn, matig gesorteerd, niet bont, veel fijne en weinig grove planten- en veenresten, kalkvrij.
U 65, S 65, sl 0,5, k 10
- 1,00 Zand, bruin, stoffig, matig fijn, matig gesorteerd, niet bont maar met veel bruingekleurde korrels ten gevolge van humuszuren, spoor zeer fijn grind, weinig plantenresten, kalkvrij.
U 65, S 65, sl 0,2, k 11
- 2,00 Zand, geel, slibvrij, middelfijn, goed gesorteerd, niet bont, weinig plantenresten, kalkvrij.
U 100, S 70, sl 0, k 5
- 3,50 Zand, gelig grijs, slibarm, matig fijn tot matig grof naderend, goed gesorteerd, niet bont, spoor zeer fijn en fijn grind, enkele grijze zeer zandige leembrokken tot 5 cm (volgens veldstaat enkele leemlaagjes), spoor plantenresten, kalkvrij.
U 55, S 70, sl 0,5, k 16
- 4,00 Zand, gelig grijs, slibarm, matig grof, matig gesorteerd, met een enkele bonte en donkere korrel, zeer weinig zeer fijn en fijn zwart/wit grind, spoor glimmer en plantenresten, kalkvrij.
U 40, S 65, sl 0,5, gri 2, k 27

Bijlage 2. vervolg

Diepte
ondervlak
in m-mv

- 5,00 Zand, lichtgrijs, slibvrij, matig grof, goed gesorteerd, met een enkele bonte korrel, weinig zeer fijn, fijn en grof meest zwart/wit grind, maar ook enkele bonte kwartsieten, verder enkele sterk verweerde vuursteentjes, spoor plantenresten, glimmer en biotiet, kalkvrij.
U 40, S 70, sl 0, gri 14, k 35
- 6,00 Zand, grijs, slibarm, matig grof tot middelgrof naderend, goed gesorteerd, met een enkele bonte korrel, veel zeer fijn, fijn en grof meest zwart/wit grind, maar met een enkele bonte kwartsiet, spoor glimmer, kalkvrij.
U 35, S 70, sl 0,5, gri 30, k 46
- 8,00 Zand, grijs, stoffig, matig grof, goed gesorteerd, met een enkele bonte en donkere korrel, spoor zeer fijn grind, spoor glimmer, kalkvrij.
U 40, S 70, sl 0,2, k 32
- 9,00 Zand, bruinig grijs, stoffig, matig grof tot middelgrof naderend, matig gesorteerd, met enkele bonte en donkere korrels, zeer rijk aan zeer fijn, fijn en grof zwart/wit grind waarbij een conglomeraat, spoor glimmer, kalkvrij.
U 35, S 65, sl 0,2, gri 50, k 60
- 9,50 Zand, grijs, stoffig, matig grof tot middelgrof naderend, tweetoppig gesorteerd in de fracties matig fijn en zeer grof, met een enkele bonte en donkere korrel, rijk aan grind als in vorige laag met hoekige vuursteen, spoor glimmer, kalkvrij.
U 35, S 50, sl 0,2, gri 38, k 31
- 10,50 Grind, zeer fijn, fijn en grof, zwart/wit met een enkele bonte kwartsiet en hoekige vuursteen; het zeer weinige zand is bruiniggrijs, stoffig, matig tot middelgrof, tweetoppig gesorteerd in de fracties matig fijn tot matig grof en zeer tot uiterst grof, met enkele bonte en donkere korrels, spoor glimmer, kalkvrij.
U 30, S 50, sl 0,2, gri 85, k 67

Bijlage 2. vervolg

Diepte
ondervlak
in m-mv

- 11,00 Grindzand, het zand is bruinig grijs, stoffig, matig fijn tot matig grof, zeer slecht gesorteerd, met een enkele bonte en donkere korrel, spoor glimmer, kalkvrij; het grind is zeer fijn, fijn en grof, zwart/wit, met hoekige vuursteen, volgens veldstaat: met enkele stenen.
U 50, S 55, sl 0,2, gri 53, k 24
- 12,00 Zand, bruinig grijs, stoffig, matig grof, zeer slecht gesorteerd, niet bont, met enkele donkere korrels, zeer weinig zeer fijn en fijn zwart/wit grind, spoor biotiet, kalkvrij.
U 40, S 55, sl 0,2, gri 4, k 22
- 13,00 Grind, zwart/wit, meest grof en volgens veldstaat met stenen, bevat hoekige vuursteen; het zand is grijs, stoffig, matig grof tot middelgrof naderend, matig gesorteerd, niet bont, met een enkele donkere korrel, spoor glimmer, kalkvrij.
U 35, S 65, sl 0,2, gri 80, k 75
- 14,00 Zand, grijs, slibarm, matig grof tot middelgrof naderend, zeer goed gesorteerd, niet bont, zeer weinig zeer fijn en fijn zwart/wit grind, spoor fijne houtrestjes, weinig glimmer, kalkvrij.
U 35, S 80, sl 0,5, gri 2, k 50
- 15,50 Zand, grijs, slibarm, matig grof tot matig fijn naderend, matig gesorteerd, niet bont, spoor zeer fijn grind, weinig glimmer, spoor fijne houtresten, kalkvrij.
U 45, S 65, sl 0,5, k 21
- 17,00 Zand, grijs, slibarm, matig fijn, goed gesorteerd, niet bont, spoor fijne leembrokjes en verkitte zandkluitjes, glimmerhoudend, weinig glauconiet, kalkvrij.
U 60, S 70, sl 0,5, k 13
- 18,00 Zand, donkergrijs, zwak slibhoudend, matig tot middelfijn, zeer goed gesorteerd, niet bont, glimmerhoudend, vrij veel glauconiet, spoor deels versteende fijne houtbrokjes, kalkvrij.
U 80, S 80, sl 2,5, k 5

Bijlage 2. vervolg

Diepte
ondervlak
in m-mv

20,00 Zand, donker-iets groenig-grijs, slibhoudend, matig tot
middelfijn, zeer goed gesorteerd, niet bont, weinig
glimmer, veel glauconiet, spoor fijne kleibrokjes en fijne
houtrestjes, kalkvrij.
U 80, S 80, sl 4, k 3

Bijlage 3. Analyseresultaten van het freatisch grondwater in mei 1984 (zie fig. 7 voor ligging raaien) (OOSTEROM, 1987)

Bemonsterde strook		Grondwater stand (m-mv)	NO_3^- (g.m^{-3} als N)	Cl (g.m^{-3})	e.g.v. (mS.m^{-1})	Zuurgraad (pH-water)
raai I	noord	0,70	42	64	71	4,9
	zuid 1	1,00	49	86	80	4,7
	zuid 2	1,08	69	98	98	4,6
raai II	noord	0,86	18	118	62	5,5
	zuid 1	0,97	58	46	71	4,6
	zuid 2	0,87	46	50	63	4,7
raai III	noord	0,75	24	72	60	4,5
	zuid	0,91	79	59	89	4,5
Raai IV	noord 1	0,88	42	72	70	4,7
	noord 2	0,73	15	58	66	4,3
	noord 3	0,92	89	88	83	4,1
Raai V	noord	0,92	21	56	70	4,7

Gemiddeld noord		0,80	36	75	69	4,7
zuid		0,97	60	68	80	4,6

Gemiddeld totaal		0,87	46	72	74	4,7

BIJLAGE 4: Analyseresultaten van het grondwater op 2 m - m.v. en greppel- en slootwater (zie ligging monsterp., figuur 8.) en grondwaterstand (- = geen greppelafvoer) (Oosterom, 1987)

	1983		1984					Gem.
	29/11	28/12	10/1	1/2	10/2	9/3	12/4	
<u>Grondwater mp 4</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	1,0	7,8	30,8	5,6	11,7	19,0	21,8	14
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	126	133	81	74	74	66	61	88
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	86	87	58	49	51	51	50	62
<u>Greppelwater mp 4</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	-	-	10,5	5,0	4,6	-	-	7,0
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	-	-	37	40	38	-	-	38
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	-	-	59	40	37	-	-	45
pH	-	-	7,4	6,5	6,6	-	-	
<u>Grondwater mp 5</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	21,5	22,2	6,6	0,3	3,3	0,2	0,1	9
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	70	46	43	39	40	45	34	45
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	49	34	32	31	28	34	28	34
<u>Greppelwater mp 5</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	5,2	12,2	7,3	2,1	1,4	7,8	0,1	5
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	81	99	79	71	72	92	89	83
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	58	70	62	57	47	61	78	62
pH	6,7	6,7	7,1	6,3	6,1	4,3	6,6	
<u>Grondwater mp 6</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	8,9	11	16,2	23,1	8,5	0,3	9,8	11
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	77	57	60	55	53	51	-	54
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	37	52	73	57	50	46	-	53
<u>Greppelwater mp 6</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	-	-	-	40,5	10,1	-	-	25
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	-	-	-	44	34	-	-	39
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	-	-	-	60	50	-	-	55
pH	-	-	-	5,2	5,7	-	-	
<u>Greppelwater mp 1</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	10,1	24,4	7,3	28,5	20,5	-	-	18
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	88	85	68	64	46	-	-	70
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	64	66	69	60	42	-	-	60
<u>Greppelwater mp 2</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	-	-	29,1	46,0	46,7	-	-	41
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	-	-	-	64	64	-	-	64
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	-	-	81	81	70	-	-	77

BIJLAGE 4 (vervolg)

	29/11	28/12	10/1	1/2	10/2	9/3	12/4	Gem.
<u>Greppelwater mp 3</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	10,1	3,5	46,4	31,0	33,2	31,2	28,8	26
Cl ⁻ (g.m ⁻³)†	53	47	45	44	43	45	45	46
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	54	58	66	61	58	58	54	58
<u>Slootwater mp 7</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	27,5	23,5	0,1	20,3	27,9	15,9	14,8	18,5
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	74	80	65	66	58	57	66	67
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	76	91	78	74	64	50	64	71
pH	6,7	6,8	7,4	6,6	6,0	5,4	6,1	
<u>Slootwater mp 8</u>								
NO ₃ ⁻ (g.m ⁻³ als N)	0,1	0,1	16	12,2	13,2	21,3	13,5	11
Cl ⁻ (g.m ⁻³)	74	58	61	57	53	61	60	61
e.g.v. (mS.m ⁻¹)	55	52	49	51	47	46	48	50
pH	6,5	5,9	6,7	5,5	5,2	5,9	5,4	
<u>Grondwaterstand (m-m.v.)</u>	0,30	0,30	0,18	0,18	?	0,55	0,55	

Opmerkingen: Het oppervlaktewater op mp 8 wordt in najaar en winter niet beïnvloed door water vanuit noordoostelijke richting omdat de stuw dit verhindert.